

Avaliação do Risco Ambiental de uma mina de urânio (Gouveia, Centro de Portugal)

André Filipe Pereira Ribeiro

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, realizada sob a orientação científica da Doutora Isabel Margarida Horta Ribeiro Antunes, Professor Adjunto da Unidade Técnico Científica de Recursos Naturais e Desenvolvimento Sustentável da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

Uma mina é como uma ideia. Nasce, desenvolve-se e é abandonada quando deixa de fazer sentido.
(André Ribeiro, 2011)

Uma mina abandonada é como uma ideia abandonada. É necessário estar atento a ela para que não contamine tudo à sua volta.
(André Ribeiro, 2011)

AGRADECIMENTOS

Ao chegar ao fim de mais uma etapa da minha vida, não quero deixar passar em falso, este momento que me deixa bastante feliz e orgulhoso, agradecendo a todas as pessoas e entidades que contribuíram para a realização deste projecto.

Agradeço à professora Doutora Isabel Margarida Horta Ribeiro Antunes, a 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 do Carmo Simões Mendonça Horta Monteiro, pela sua disponibilização para o esclarecimento de dúvidas acerca do trabalho laboratorial.

À professora Doutora Maria Cristina Canavarro Teixeira, pela sua disponibilidade em esclarecer algumas dúvidas pontuais sobre questões relacionadas com a análise multivariada dos resultados.

À professora Doutora Maria Teresa Durães Albuquerque, pela sua disponibilização para esclarecimento de dúvidas acerca da distribuição espacial dos resultados obtidos.

À Direcção da Escola Superior Agrária de Castelo Branco por me ter possibilitado a realização deste projecto no seu Laboratório de Solos.

À Dona Otília, técnica do Laboratório de Solos da Escola Superior Agrária de Castelo Branco, pelos ensinamentos e trabalho, ajuda, partilha, amizade e paciência, no decurso do trabalho laboratorial; à Dona Aurora, técnica do laboratório de Águas e Resíduos da Escola Superior Agrária de Castelo Branco, pela disponibilização do seu tempo para me ajudar em algumas tarefas na ausência da Dona Otília, amizade e também alguma paciência e também à Engenheira Marta Baptista, Técnica do Laboratório de Solos da Escola Superior Agrária de Castelo Branco pelos ensinamentos e ajuda na realização de algumas tarefas laboratoriais.

Ao professor José António Abrantes Massano Monteiro, como responsável pelo Laboratório de SIG/CAD da Escola Superior Agrária de Castelo Branco, por me ter permitido o acesso a alguma da informação utilizada no trabalho bem como a utilização do espaço para a resolução de algumas questões relacionadas com os Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

À Engenheira Natália Roque, técnica do Laboratório de SIG/CAD, por toda a ajuda, partilha, amizade, trabalho e apoio nas questões relacionadas com os SIG

À minha amiga Ana Neves pois, sem a sua boa vontade, amizade, companheirismo e partilha de saberes, teria sido muito complicado estar presente a muitas das aulas do Curso de Mestrado e perceber alguns conteúdos relacionados com determinadas matérias.

Aos meus amigos Francisco Mendes, Cláudia Lourenço, Marta Duarte, Sónia Soares, Maria do Rosário por toda a sua amizade, companheirismo, sabedoria, ajuda, espírito de equipa e de partilha. Ao meu amigo Luís Castro pois sem a sua disponibilização ter-me-ia sido impossível ir a casa visitar a minha família.

Aos meus pais pelo seu apoio, compreensão, amizade, carinho e amor, por me terem dado a oportunidade de ter estado no Ensino Superior contribuindo para o meu enriquecimento social, cultural, científico e profissional.

Ao meu tio Pedro Rego, pela imprescindível ajuda que me deu para ter frequentado o Curso de Mestrado, pelos seus conselhos, esclarecimentos, pela partilha da sua sabedoria e toda a sua amizade.

À minha namorada Inês Pataco, pela sua paciência, companheirismo, amizade e apoio que demonstrou para que este projecto fosse concluído.

E agradeço aos restantes elementos da minha família pela paciência e compreensão demonstradas nas minhas ausências, aos seus momentos mais importantes, onde desejariam ter a família toda reunida.

A todos **MUITO OBRIGADO!**

Palavras-chave: mina de urânio abandonada, Canto do Lagar, urânio, sedimentos de corrente, solos, material de escombreira.

RESUMO

A mina de urânio abandonada de Canto do Lagar está localizada em Arcozelo da Serra, na zona uranífera das Beiras, centro de Portugal. A mina foi explorada a céu aberto e produziu cerca de 12 430 kg de óxido de urânio (U_3O_8), entre 1987 e 1988.

Na região, a unidade geológica dominante é o granito porfiróide, de grão grosseiro, de duas micas, predominantemente biotítico. O jazigo é constituído por duas brechas de esmagamento, paralelas, ao granito porfiróide grosseiro, onde ocorrem dois filões de quartzo branco brechificado, de pendor aproximado entre 70° a 80° para WNW. Estes filões encontram-se afastados cerca de 6 metros e contém fases secundárias de fosfatos de urânio, como a autunite e a torbernite com alguns sulfuretos associados. Os materiais rejeitados da exploração mineira (cerca de 1000000 ton) foram depositados em duas escombreiras e formou-se uma lagoa de mina no céu aberto.

Para avaliar o risco ambiental da mina de urânio abandonada de Canto do Lagar, foram recolhidas 70 amostras: 14 de sedimentos de corrente, 40 de solos e 16 amostras de material de escombreira, em áreas localizadas fora e dentro da área de influência mineira. Estas amostras foram posteriormente analisadas em laboratório para diversos parâmetros físico-químicos e elementos químicos possivelmente associados com este tipo de exploração mineira. Com os resultados obtidos foi avaliada a possível associação dos elementos constituintes das amostras, usando a Análise em Componentes Principais (ACP) e foi estudada a distribuição espacial com recurso à Krigagem por Indicatriz.

Na avaliação do possível grau de contaminação dos sedimentos de corrente, recorreu-se ao índice de geoacumulação de Müller. De um modo geral, os sedimentos de corrente foram classificados como não poluídos e/ou como não poluídos a moderadamente poluídos, à excepção das amostras Clsd 1, Clsd 2, Clsd 8, Clsd 9, Clsd 10 e Clsd 15.

Os solos não podem ser usados para espaços públicos, privados ou residenciais de acordo com a legislação utilizada mas, todas as amostras de solos indicam que podem ser aplicadas para espaços comerciais ou industriais, à excepção das amostras Cls 8, Cls 13, Cls 21 e Cls 26. De acordo com a Legislação Holandesa, (VROM 2000), apenas as amostras Cls 13 e Cls 16 apresentam teores que exigem intervenção. Os materiais de escombreira, por sua vez, estão muito poluídos em tório (Th) e em urânio (U) e não devem ser utilizados em qualquer aplicação.

Como resultado da distribuição espacial dos valores das amostras, pode verificar-se que para os sedimentos de corrente, a expressão da componente principal 1 diminui na direcção SE-NW e a expressão da componente principal 2 aumenta até ao meio da linha de água, diminuindo depois até à amostra Clsd 16 para aumentar a seguir até à amostra Clsd 14.

Para os solos, a expressão da componente principal 1 diminui na direcção SE e aumenta nas direcções NE e SW e a expressão da componente principal 2 diminui do centro para a periferia, aumentando nas direcções N e SW.

A distribuição espacial, das amostras de material de escombreira, não permitiu retirar conclusões.

Keywords: abandoned uranium mine, Canto do Lagar, uranium; stream sediments; soils; mine tailing materials.

ABSTRACT

The abandoned uranium mine of Canto do Lagar is located in Arcozelo da Serra, in “zona uranífera das Beiras”, central Portugal. The mine was exploited in open pit and produced about 12 430Kg of uranium oxide (U_3O_8) between 1987 and 1988.

In the region, the dominant geological unit is the porphyritic granite, coarse-grained, two-mica, mainly biotite. The deposit consists of two holes crushing, parallel to the coarse porphyritic granite with two thin veins of white quartz with gaps, ferruginous with approximately inclination of 70 degrees from 80 degrees to the WNW. These veins are about 6 meters away from each other and contain secondary phases of uranium phosphates such as autunite and torbernite. Rejected materials from mining (about 1.000.000 tons) were deposited in two mine tailings and a lake was formed in the open pit.

To assess the environmental risk of the abandoned uranium mine of Canto do Lagar, were collected 70 samples: stream sediments (14), soils (40) and 16 samples of mine tailing material, in areas outside and within the mining area influence. These samples were later analysed in laboratory for physical and chemical properties and chemical elements which possibly associated with this mining area. With obtained results, was assessed the possible association of samples properties, using Principal Components Analysis (PCA) and the spatial distribution was assessed using Indicator Kriging.

In assessing the potential extent of stream sediments contamination, was used the Müller geoaccumulation index. In general, the stream sediments were classified as unpolluted and not polluted or moderately polluted, with the exception of Clsd 1, Clsd 2, Clsd 8, Clsd 9, Clsd 10 and Clsd 15 samples.

Soils cannot be used for public, private or residential uses according the rules, but all indicate that soil samples can be applied to commercial or industrial spaces, with the exception of Cls 8, Cls 13, Cls 21 and Cls 26 samples. According to Dutch legislation, VROM (2000), only Cls 13 and Cls 16 samples have values that require intervention. Mine tailing materials, in turn, are very contaminated in thorium (Th) and uranium (U) and should not be used in any application.

As a result of the spatial distribution of sample values, can be verified that expression of principal component 1 for stream sediments decreases along SE-NW direction and the expression of principal component 2, increases until the middle of stream line, decreases to Clsd 16 sample and increases until the Clsd 14 sample.

For soils the expression of principal component 1 decreases along SE direction and increases along NE and SW directions. The expression of principal component 2, decreases from central points to peripheral points and gradually increases along N and SW directions.

The spatial distribution of mine tailing materials samples did not allow concluding anything.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	v
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
INTRODUÇÃO.....	1
2. CARACTERIZAÇÃO BIOFÍSICA DA ÁREA MINEIRA.....	2
2.1. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA MINEIRA.....	2
2.2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO.....	3
2.3. CLIMATOLOGIA.....	5
2.4. HIDROGRAFIA.....	7
2.5. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	8
3. AMOSTRAGEM E METODOLOGIA ANALÍTICA.....	9
3.1. REDE DE AMOSTRAGEM.....	9
3.2. MÉTODOS ANALÍTICOS.....	11
3.2.1. pH.....	12
3.2.2. Condutividade Eléctrica (CE).....	12
3.2.3. Humidade.....	12
3.2.4. Matéria Orgânica (MO).....	12
3.2.5. Acidez Total.....	13
3.2.6. Fósforo (P ₂ O ₅) e Potássio (K ₂ O) Assimiláveis.....	13
3.2.7. Bases de troca.....	13
3.2.8 Textura.....	13
3.2.9. Elementos Metálicos e Metalóides.....	13
3.3. REPRODUTIBILIDADE DOS RESULTADOS.....	14
4. CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS DE CORRENTE, SOLOS E ESCOMBREIRA.....	14
4.1. SEDIMENTOS DE CORRENTE.....	22
4.2. SOLOS.....	23
4.3. ESCOMBREIRAS.....	24
4.4. REPRODUTIBILIDADE DOS RESULTADOS.....	24
4.5. ANÁLISE MULTIVARIADA DOS RESULTADOS.....	27
4.5.1. Sedimentos de Corrente.....	27
4.5.2 Solos.....	29
4.5.3. Escombreyras.....	30
4.6. AVALIAÇÃO DO RISCO AMBIENTAL E SEUS EFEITOS NA SAÚDE HUMANA.....	32
4.6.1. Sedimentos de Corrente.....	32
4.6.2. Solos.....	35

4.6.3. Escombreyras	36
4.6.4. Efeitos na saúde	38
5. CONSTRUÇÃO DE MAPAS DE ANOMALIAS GEOQUÍMICAS E RISCO AMBIENTAL	39
5.1. Sedimentos de Corrente	39
5.2. Solos	41
5.3. Escombreyras	44
6. PROPOSTA DE MEDIDAS DE MONITORIZAÇÃO E MINIMIZAÇÃO DOS SEUS EFEITOS AMBIENTAIS	45
CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localização Geográfica da área mineira de Canto do Lagar, Centro de Portugal (adaptado Serviços Cartográficos do Exército, 1974).	2
Figura 2: Fotografias de enquadramento das escombrelas: a) escombrela de estéreis; b) escombrela de minério pobre (Fonte: Ribeiro, 2010).	3
Figura 3: Excerto da Carta Geológica de Portugal para a área mineira de Canto do Lagar. Legenda: γ - Granitos e gnaisses migmatíticos; γ_a^I -Granitos de duas micas; γ_b^I - Granitos biotíticos com plagioclase cálcica; γ_b^{II} - Granitos biotíticos com plagioclase cálcica; γ_2 - Ortognaisses, granitos e dioritos deformados; γ^{III} - Granitos biotíticos; γ_{ap} - pórfiros graníticos e aplito-pegmatíticos; NP ϵ - Filitos, metagrauvaques, metaquartzovaques, metaconglomerados, metacalcários e xistos (flysch); gnaisses e migmatitos ; E- Arenitos, arcoses, conglomerados, argilitos e siltitos; Q- Quartzos; Q ² - Areias, cascalheiras, siltes e argilas; q- filões de quartzos; Φ^2 - Filões básicos (230-72 Ma); Li- Lítio; Fe- Ferro; Felds - Feldspato (adaptado de LNEG-LGM, 2010).	4
Figura 4: Fotografias da área envolvente da mina de Canto do Lagar. a) Relevo junto à Ribeira de São Paio a N da exploração mineira; b) e c) Relevo junto à Ribeira de São Paio a E da exploração mineira e d) Encosta do céu aberto (Fonte: Ribeiro, 2010).	5
Figura 5: Fotografias da área envolvente da exploração mineira de Canto do Lagar. a) Paisagem granítica. b) Pormenor dos "thors" de blocos graníticos (Fonte: Ribeiro, 2010).	5
Figura 6: Classificação climática da área mineira de Canto do Lagar: a) para Portugal Continental e b) ampliação do local onde se encontra a área mineira de Canto do Lagar (adaptado do Instituto de Meteorologia, 2008).	6
Figura 7: Dados da precipitação para a área de influência da estação de monitorização da Covilhã. Na esquerda da figura é apresentado o mapa IDW para Portugal Continental da relação entra a precipitação acumulada até ao mês de Outubro do ano hidrológico 2009-10 e a precipitação média acumulada de 1940/41 a 1997/98 para o mesmo mês, em percentagem; com base em 42 estações de medição de precipitação. No lado direito, apresenta-se a tabela com os valores mensais de precipitação para a estação de medição de precipitação da Covilhã no ano hidrológico de 2009/10 (adaptado de SNIRH, 1995-2011).	6
Figura 8a: Excerto da Carta de Ocupação de Solo para a área envolvente da mina de Canto do Lagar. O rectângulo a negro indica a área da mina (adaptado de COS 90, IGP, 2011).	8
Figura 8b: Pormenor da carta de ocupação do solo junto à zona das escombrelas. II2 - vegetação arbustiva baixa - matos; JY1 - solos sem coberto vegetal (adaptado de COS 90, IGP, 2011).	8
Figura 9: Esquema ilustrativo do processo metodológico na recolha de amostragem e trabalho laboratorial.	9
Figura 10a: Rede de amostragem definida para a área mineira de Canto do Lagar (adaptado de Serviços Cartográficos do Exército, 1974). O rectângulo a negro, representa a localização da área mais próxima à exploração mineira.	10
Figura 10b: Pormenor da rede de amostragem nas escombrelas e sua envolvente (adaptado de Serviços Cartográficos do Exército, 1974).	11
Figura 11: Projecção das amostras de sedimentos de corrente, solos e escombrelas da área mineira de Canto do Lagar (a) no diagrama triangular para a classificação textural adaptado dos limites internacionais das fracções granulométricas; (b) ampliação da projecção das amostras. Legenda: 1- Arenoso; 2- Arenoso - Franco; 3- Franco - Arenoso; 4- Franco; 5- Franco - Limoso; 6- Limoso; 7- Franco - Argilo - Arenoso; 8- Franco - Argiloso; 9- Franco - Argilo - Limoso; 10- Argilo - Limoso; 11- Argiloso; 12- Argilo - Arenoso (Os limites dos campos são os definidos por Gomes e Antunes, 1962).	21
Figura 12: Variáveis explicadas para cada componente principal, para as amostras de sedimentos de corrente.	28
Figura 13: Relação entre as duas componentes principais para as amostras de solo.	29
Figura 14: Relação entre as duas componentes principais para as amostras de escombrela.	31
Figura 15: Krigagem por Indicatriz para a direcção de escoamento da Ribeira de São Paio - componente principal 1. O rectângulo a negro representa a localização da exploração mineira.	39
Figura 16: Semi-variograma para a direcção SE-NW, de modelação esférica, com "nugget" = 0,07; "Partial Sill" = 0,20832 e "Major Range" = 600 - componente principal 1.	40
Figura 17: Krigagem por Indicatriz para a direcção de escoamento da Ribeira de São Paio - componente principal 2. O rectângulo a negro representa a localização da exploração mineira.	40

Figura 18: Semi-variograma para a direcção SE-NW, de modelação esférica, com "nugget" = 0,12; "Partial Sill" = 0,15546 e "Major Range" = 580 - componente principal 2.	41
Figura 19: Krigagem por Indicatriz para a direcção predominante do vento NW-SE - componente principal 1. O rectângulo a negro representa a localização da exploração mineira.	42
Figura 20: Semi-variograma para a direcção NW-SE, de modelação esférica, com "nugget" = 0,22106; "Partial Sill" = 0,060763 e "Major Range" = 480 - componente principal 1.	42
Figura 21: Krigagem por Indicatriz para a direcção predominante do vento NW-SE - componente principal 2. O rectângulo a negro representa a localização da exploração mineira.	43
Figura 22: Semi-variograma para a direcção NW-SE, de modelação esférica, com "nugget" = 0,09; "Partial Sill" = 0,182399 e "Major Range" = 230 - componente principal 1.	43

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela I: Metodologia utilizada na determinação dos vários parâmetros e respectivas unidades de medida.	12
Tabela II: Resultados obtidos nas amostras de sedimentos de corrente da área mineira de Canto do Lagar.	17
Tabela III: Resultados da análise granulométrica obtidos nas amostras de sedimentos de corrente da área mineira de Canto do Lagar.	17
Tabela IV: Resultados obtidos nas amostras de solos da área mineira de Canto do Lagar.	18
Tabela V: Resultados da análise granulométrica obtidos nas amostras de solos da área mineira de Canto do Lagar. ..	19
Tabela VI: Resultados obtidos nas amostras de escombreira da área mineira de Canto do Lagar.	20
Tabela VII: Resultados da análise granulométrica obtidos nas amostras de escombreira da área mineira de Canto do Lagar.	20
Tabela VIII: Resultados da reprodutibilidade obtidos nas amostras de sedimentos de corrente, solos e escombreira da área mineira de Canto do Lagar.	25
Tabela IX: Resultados da reprodutibilidade das Bases de Troca, nas amostras de sedimentos de corrente, solos e escombreiras da área mineira de Canto do Lagar.	26
Tabela X: Resumo do modelo de Análise em Componentes Principais para as amostras de sedimentos de corrente da área mineira de Canto do Lagar.	27
Tabela XI: Novos valores das amostras, após a ACP.	27
Tabela XII: Resumo do modelo de Análise em Componentes Principais, das amostras de solo da área mineira de Canto do Lagar.	29
Tabela XIII: Novos valores das amostras, após a ACP.	29
Tabela XIV: Resumo do modelo de Análise em Componentes Principais, das amostras de escombreira da área mineira de Canto do Lagar.	30
Tabela XV: Novos valores das amostras, após a ACP.	31
Tabela XVI: Classificação do Índice de geoacumulação de Müller (1979).	32
Tabela XVII: Índice de geoacumulação de Müller.	33
Tabela XVIII: Índice de geoacumulação de Müller - continuação.	33
Tabela XIX: Índice de Geoacumulação de Müller - continuação.	34
Tabela XX: Índice de geoacumulação de Müller - continuação.	34
Tabela XXI: Valores de concentração limite no solo (mg/Kg) (adaptado de Decreto Ministeriale nº471, 1999).	35
Tabela XXII: Valores de Intervenção para solos (mg/Kg) (adaptado de VROM 2000).	36

1. INTRODUÇÃO

A evolução e o crescimento da sociedade humana promoveram a exploração dos recursos naturais, o que contribuiu para o desenvolvimento da economia nacional.

Portugal dispõe de vasta experiência na exploração de minérios radioactivos, concentrada, na região “Uranífera das Beiras” (Cotelo Neiva, 2003), onde podem ser encontradas mais de 61 áreas mineiras, actualmente abandonadas. A maioria destas explorações não foi alvo de medidas de remediação ou recuperação, pelo que poderão constituir um risco ambiental. 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 a definição de medidas de remediação e monitorização.

O principal foco de contaminação, nestes locais, resulta da acumulação de rejeitados em escombreliras constituídas predominantemente por minerais de urânio e sulfuretos associados que, por oxidação, promovem a mobilização dos elementos metálicos, contaminando solos e sedimentos de corrente (Hill, 2004). A estabilidade do U e elementos associados e a sua biodisponibilidade dependem das características físico-químicas do solo e sedimentos de corrente, de processos de troca iónica, precipitação/dissolução, reacções ácido-base, hidrólise, oxidação/redução, complexação iónica (Ferreira de Almeida, 2009) e da adsorção em argilas, oxi-hidróxidos de ferro e alumínio e na matéria orgânica (Botelho da Costa, 2004).

Na avaliação do risco ambiental de minas de urânio actualmente abandonadas, é necessária uma caracterização da geoquímica da área, bem como a identificação de potenciais contaminantes e o seu comportamento ambiental, nomeadamente ao nível dos solos e dos sedimentos de corrente.

Com este projecto pretende-se a avaliação do risco ambiental da mina de Canto do Lagar, onde foram produzidas cerca de 12 430Kg de U_3O_8 , em minerais de urânio; tendo cessado a actividade mineira no ano de 1988, sem qualquer plano de remediação (Relatórios Internos da EDM, 2003). Nesta área mineira, é possível encontrar uma lagoa de mina, resultante da exploração a céu aberto, ocupando uma área de cerca de 5000m², e duas escombreliras com cerca de 1.000.000 de toneladas de rejeitados. Todos estes materiais estão expostos à acção dos agentes atmosféricos, constituindo uma possível fonte de contaminação para os solos agrícolas e linhas de água existentes na sua envolvente (Relatórios Internos da EDM, 2003).

Para a avaliação do risco ambiental desta área será importante estudar a associação dos diversos elementos químicos presentes nos solos e sedimentos de corrente, sua mobilidade e consequente distribuição espacial na área de influência das actividades mineiras abandonadas. Será ainda, identificada a contaminação associada a alguns elementos químicos e o seu possível efeito na saúde humana. Com esta avaliação poderão ser propostas algumas medidas de recuperação e sua monitorização temporal.

2. CARACTERIZAÇÃO BIOFÍSICA DA ÁREA MINEIRA

2.1. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA MINEIRA

A exploração mineira de Canto do Lagar localizada na zona Centro de Portugal está situada na Freguesia de Arcozelo da Serra, Concelho de Gouveia, Distrito da Guarda (Figura 1).

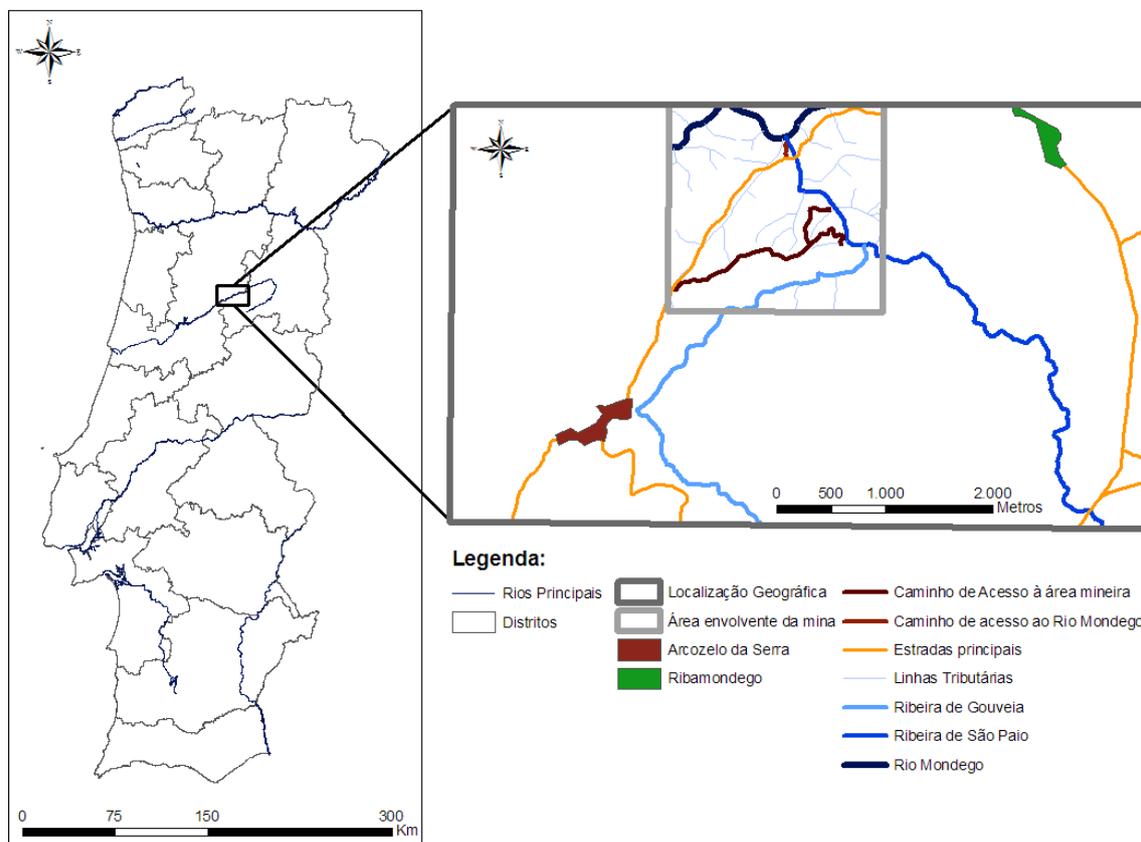


Figura 1: Localização Geográfica da área mineira de Canto do Lagar, Centro de Portugal (adaptado Serviços Cartográficos do Exército, 1974).

A Freguesia de Arcozelo da Serra situa-se no sopé da Serra da Estrela, apresenta uma área geográfica de aproximadamente 22km², e tem como limites geográficos as freguesias de Ribamondego; Cativelos; Rio Torto; Nespereira e São Paio. Dista cerca de 10Km da sede de concelho (Gouveia) e é atravessada por várias linhas de água sendo, as mais importantes, as Ribeiras de São Paio e de Gouveia que desaguam no Rio Mondego (Figura 1) (Junta de Freguesia de Arcozelo da Serra, 2006).

A área de exploração mineira de Canto do Lagar situa-se aproximadamente a 2,5km para NE de Arcozelo da Serra e a 2,5km para SW de Ribamondego (Figura 1). Trata-se de uma exploração mineira a céu aberto, cuja área é aproximadamente de 5 000m², em flanco de encosta. Após cessada a sua exploração em 1988, o céu aberto ficou parcialmente inundado por águas pluviais. Este possui um drene escavado para transbordo de água, para a Ribeira de São Paio, através de uma linha de água sua tributária de regime torrencial (encontrando-se sem água durante os períodos secos). Esta exploração produziu cerca de 12 430kg de U₃O₈, contido em minérios com teor médio de 0,137% de U₃O₈, sendo os minerais explorados maioritariamente de

autonite¹ e de torbernite², da qual resultaram duas escombrelas. Uma delas corresponde à escombrela de estéreis que ocupa uma área aproximada de 5000 m², com uma crista de 23 m e com uma quantidade de material estimada em 1.000.000 toneladas. Para além desta, encontra-se no local o que resta de uma escombrela de minério pobre, dispersa por uma área estimada em cerca de 3000 m² e com altura compreendida entre 0,5 a 1 metro, cujo conteúdo se estima em cerca de 1.000 toneladas (Figura 2). Na sua totalidade, o céu aberto e as duas escombrelas, perfazem uma área aproximada de 3,2 ha (Relatórios Internos da EDM, 2003).

Ambas as escombrelas se encontram revestidas por vegetação espontânea, nomeadamente giestas e pinheiros (bravos e mansos) e expostas aos agentes atmosféricos.

Por análise da Carta Militar n.º. 201, à escala 1:25000, do Instituto Geográfico do Exército, pode observar-se que a Ribeira de São Paio aproxima-se da área mineira de Canto do Lagar entre as cotas 310 e 320m e, o céu aberto, bem como as escombrelas, encontram-se entre as curvas de nível dos 310m e 360m.



Figura 2: Fotografias de enquadramento das escombrelas: a) escombrela de estéreis; b) escombrela de minério pobre (Fonte: Ribeiro, 2010).

2.2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO

A área de estudo encontra-se na região designada por “Granito das Beiras” (Galopim de Carvalho, 1997) (Figura 3), também conhecida por região “Uranífera das Beiras” (Cotelo Neiva, 2003).

Nesta região, a unidade geológica dominante é o granito porfiróide, de grão grosseiro, de duas micas, predominantemente biotítico. O jazigo é constituído por duas brechas de esmagamento, paralelas, ao granito porfiróide grosseiro. 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 filões delgados, de quartzo branco brechificado, ferruginoso e jasperizado, com calcedónia, jaspe vermelho e opala, com pendor aproximado entre 70° a 80° para WNW. Estes filões encontram-se afastados cerca de 6 metros (Relatórios internos da EDM, 2003 e LNEG-LGM, 2010).

¹ (Com fórmula geral: Ca(UO₂)₂(PO₄)₂·10-12H₂O).

² (Com fórmula geral: Cu(UO₂)₂(PO₄)₂·8-12H₂O).

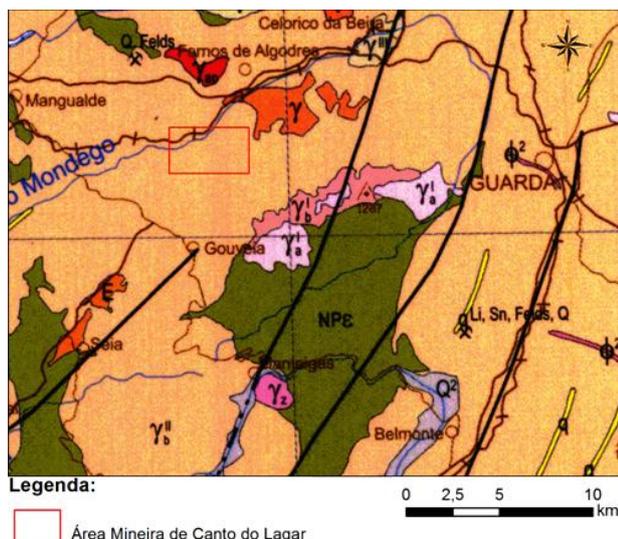


Figura 3: Excerto da Carta Geológica de Portugal para a área mineira de Canto do Lagar (adaptado de LNEG-LGM, 2010)
 Legenda: γ - Granitos e gnaisses migmatíticos; γ_a^I -Granitos de duas micas; γ_b^I - Granitos biotíticos com plagioclase cálcica; γ_b^{II} - Granitos biotíticos com plagioclase cálcica; γ_z - Ortognaisses, granitos e dioritos deformados; γ^{III} - Granitos biotíticos; γ_{ap} - pórfiros graníticos e aplito-pegmatíticos; NPE - Filitos, metagrauvaques, metaquartzovaques, metaconglomerados, metacalcários e xistos (flysch); gnaisses e migmatitos ; E- Arenitos, arcoses, conglomerados, argilitos e siltitos; Q- Quartzos; Q²- Areias, cascalheiras, siltes e argilas; q- filões de quartzo; Φ^2 - Filões básicos (230-72 Ma); Li- Lítio; Fe- Ferro; Felds - Feldspato.

Os principais sistemas regionais, de filões e de falhas, têm direcções médias N50° a 80°E, N10° a 35°E e N70° a 85°W, todos eles apresentando mineralização uranífera em alguns locais. A área mineira de Canto do Lagar, apresenta uma extensão idêntica à estrutura do jazigo de Ribeira do Bôco, localizado a SW. De referir a existência de mineralização secundária com autunite e torbernite junto de filões e brechas, impregnando também o granito esmagado dos encostos (Figura 3) (Relatórios internos da EDM, 2003 e LNEG-LGM, 2010).

Quanto à geomorfologia da área, pode dizer-se que o relevo é menos acidentado junto à Ribeira de São Paio, a Norte da exploração mineira de Canto do Lagar; sendo bastante acidentado junto à mesma linha de água, a este exploração, bem como, na zona do céu aberto (Figura 4).



Figura 4: Fotografias da área envolvente da mina de Canto do Lagar. a) Relevo junto à Ribeira de São Paio a N da exploração mineira; b) e c) Relevo junto à Ribeira de São Paio a E da exploração mineira e d) Encosta do céu aberto (Fonte: Ribeiro, 2010).

Daqui podemos concluir que a exploração mineira se situa num local com relevo acentuado, sujeito a uma forte erosão, como testemunham os vários “thors” de blocos graníticos aí presentes ou na paisagem circundante.



Figura 5: Fotografias da área envolvente da exploração mineira de Canto do Lagar. a) Paisagem granítica. b) Pormenor dos “thors” de blocos graníticos (Fonte: Ribeiro, 2010).

2.3. CLIMATOLOGIA

A classificação climática da área mineira de Canto do Lagar foi realizada de acordo com a classificação climática proposta por Köppen em 1918 (Miranda, 2009).

Relativamente à mesma área, esta pode dizer-se que pertence à classe Csb (Figura 6). De acordo com esta classe, e de uma forma geral, pode dizer-se que o clima na área de estudo é um clima temperado com Invernos suaves e Verões longos e frescos (Miranda, 2009).

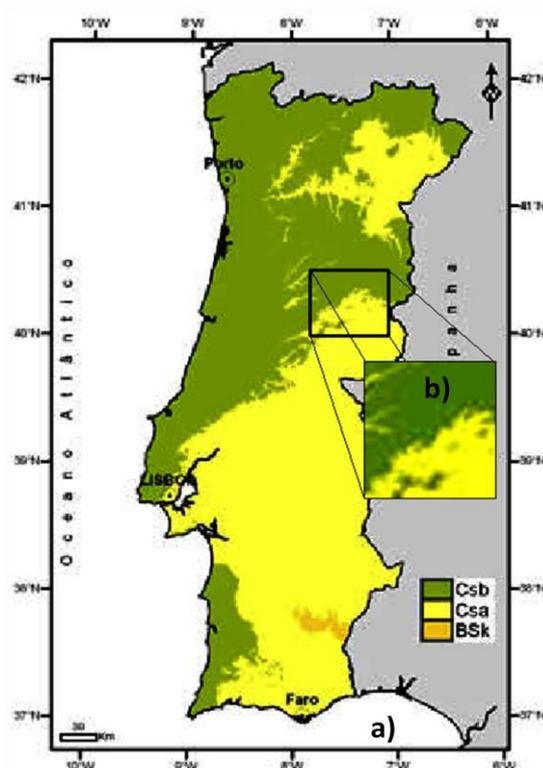


Figura 6: Classificação climática da área mineira de Canto do Lagar: a) para Portugal Continental e b) ampliação do local onde se encontra a área mineira de Canto do Lagar (adaptado do Instituto de Meteorologia, 2008).

Em termos de precipitação, apenas existem dados recolhidos pela estação de medição de precipitação da Covilhã, identificada pela seta do mapa, com dados recolhidos no ano hidrológico 2009/2010 (Figura 7) (SNIRH, 1995-2011).

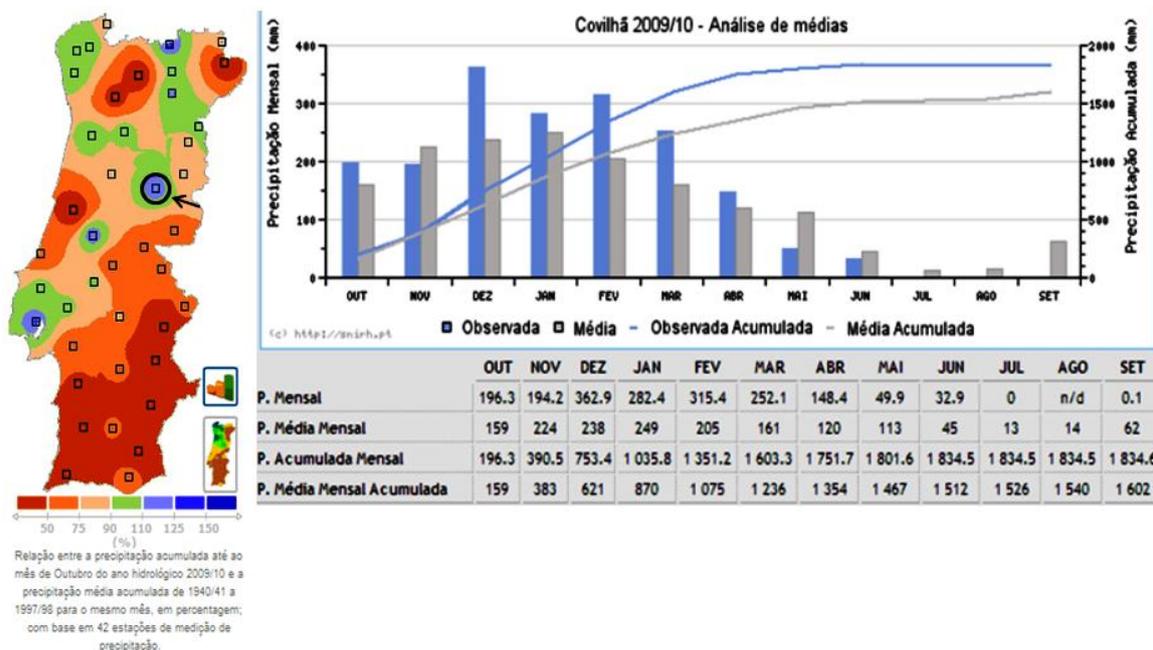


Figura 7: Dados da precipitação para a área de influência da estação de monitorização da Covilhã. Na esquerda da figura é apresentado o mapa IDW para Portugal Continental da relação entra a precipitação acumulada até ao mês de Outubro do ano hidrológico 2009/10 e a precipitação média acumulada de 1940/41 a 1997/98 para o mesmo mês, em percentagem; com base em 42 estações de medição de precipitação. No lado direito, apresenta-se a tabela com os valores mensais de precipitação para a estação de medição de precipitação da Covilhã no ano hidrológico de 2009/10 (adaptado de SNIRH, 1995-2011).

Da análise desta figura, podemos concluir que estes dados foram generalizados para a zona onde se insere a área mineira de Canto do Lagar, podendo observar-se que os meses de Dezembro de 2009 e Janeiro, Fevereiro e Março de 2010 foram aqueles em que ocorreram valores mais elevados de precipitação, com 362,9, 282,4, 315,4 e 252,1 mm, respectivamente. A mesma figura também mostra que durante os primeiros nove meses deste ano hidrológico ocorreu precipitação, o que pode promover possíveis contaminações por escorrência superficial e subterrânea.

Relativamente ao escoamento (quantidade de água superficial na rede hidrográfica), pode dizer-se que para a área mineira de Canto do Lagar, os valores médios anuais variam entre os 300mm e os 400mm; aumentando para 400 a 600mm a SE da mesma (Quintela, 1974).

Em termos de Temperatura, os valores médios anuais da temperatura diária do ar variam entre 12,5 a 15,0 °C na área mineira de Canto do Lagar e entre os 10,0 e 12,5°C a SE da mesma (Serviço Meteorológico Nacional, 1974).

Quanto à Insolação, os valores médios anuais para a área mineira de Canto do Lagar variam entre as 2300 a 2400 horas (Serviço Meteorológico Nacional, 1974).

No que diz respeito ao vento, foram utilizados os dados relativos às Penhas Douradas, por se encontrar mais próxima da área mineira, com direcções dominantes para SE, S, W e NW. As duas primeiras direcções, apresentam uma percentagem expressiva de frequência da velocidade do vento entre os 6 e os 21 Km/h. Já as direcções W e NW, embora apresentem percentagens de frequência da velocidade do vento consideráveis entre os 6 e os 21Km/h, destacam-se por apresentarem percentagens expressivas de frequência da velocidade do vento entre os 21 e os 51Km/h, em especial a direcção NW (Serviço Meteorológico Nacional, 1974).

2.4. HIDROGRAFIA

Em termos de hidrografia, a região da área mineira de Canto do Lagar, pertence à bacia hidrográfica do Rio Mondego, possuindo diversas linhas de água das quais se destacam as Ribeiras de Gouveia (a Sul) e São Paio (a SSE-NNW) e o próprio Rio Mondego, como receptor das águas provenientes das linhas de água anteriormente referidas (Figura 1).

Na zona próxima da área mineira de Canto do Lagar, existe uma ligeira diminuição da ocupação por linhas de água tributárias da Ribeira de S. Paio. Estas têm regime torrencial e drenam no sentido dominante SW/NE. A Ribeira de São Paio desagua no Rio Mondego a cerca de 1000 m a NNW do jazigo (Figura 1). Esta distribuição hidrográfica proporciona a existência de uma forte probabilidade de contaminação destes cursos de água, bem como, das águas subterrâneas por infiltração.

A montante do jazigo de urânio, há utilização da água dos poços para rega. O grau de permeabilidade do granito nesta área é desconhecido, embora seja um substrato litológico permeável, assim como a direcção de escoamento subterrâneo, sendo provável que esta se efectue, preferencialmente para NNE, segundo a direcção das estruturas principais, e em direcção à Ribeira de S. Paio.

2.5. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Segundo a Carta de Ocupação de Solo de 1990 (COS90), pode observar-se que para o local onde se situa a área mineira de Canto do Lagar, existem várias manchas de ocupação de solo, destacando-se as de culturas anuais mais olival (CO1), sequeiro (CC1), vegetação arbustiva baixa - matos (II2), outras folhosas (FF5)³ e locais identificados como solos sem coberto vegetal (JY1)⁴, onde foram colhidas as amostras (Figura 8a e 8b).

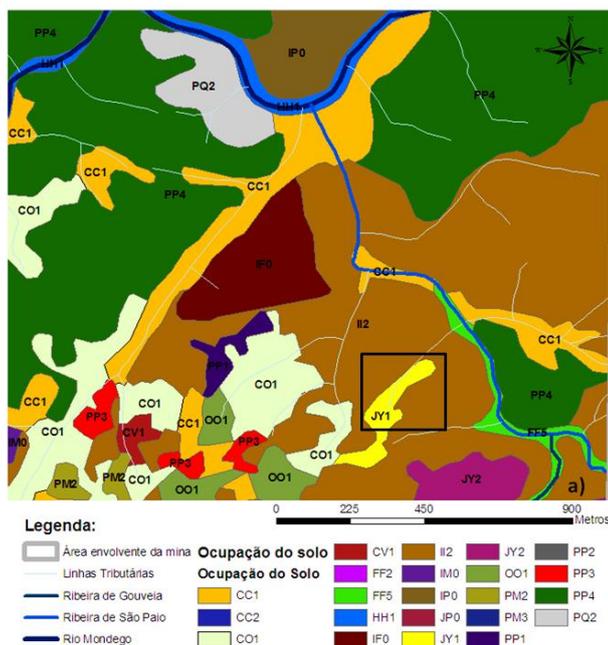


Figura 8a: Excerto da Carta de Ocupação de Solo para a área envolvente da mina de Canto do Lagar. O rectângulo a negro indica a área da mina (adaptado de COS 90, IGP, 2011).

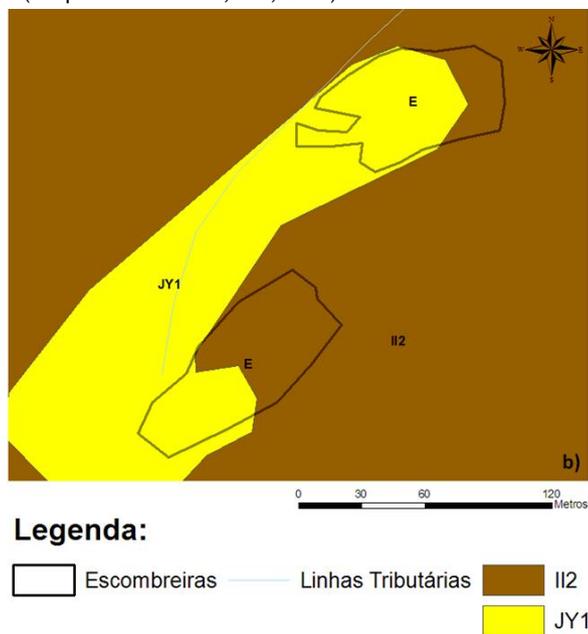


Figura 8b: Pormenor da carta de ocupação do solo junto à zona das escombrelas. II2 - vegetação arbustiva baixa - matos; JY1 - solos sem coberto vegetal (adaptado de COS 90, IGP, 2011).

³ FF corresponde à designação de outras folhosas e o algarismo 5 indica a possibilidade de duas situações: zona verde urbana ou de protecção. Neste caso, será de protecção porque a mancha em questão encontra-se junto a uma linha de água (Ribeira de São Paio) tratando-se por isso, de vegetação ripícola (COS90, Instituto Geográfico Português (IGP), 1990).

⁴ Esta mancha de ocupação de solo tomou esta designação, possivelmente, porque é nesta zona que se encontram as escombrelas, à data pouco revestidas de vegetação, tendo em conta o período de exploração da mina de Canto do Lagar (COS90, Instituto Geográfico Português (IGP), 1990).

3. AMOSTRAGEM E METODOLOGIA ANALÍTICA

O esquema apresentado na Figura 9 mostra, de uma forma resumida, o processo de como decorreram os trabalhos desde a recolha de amostragem ao trabalho laboratorial para obtenção dos dados analíticos.

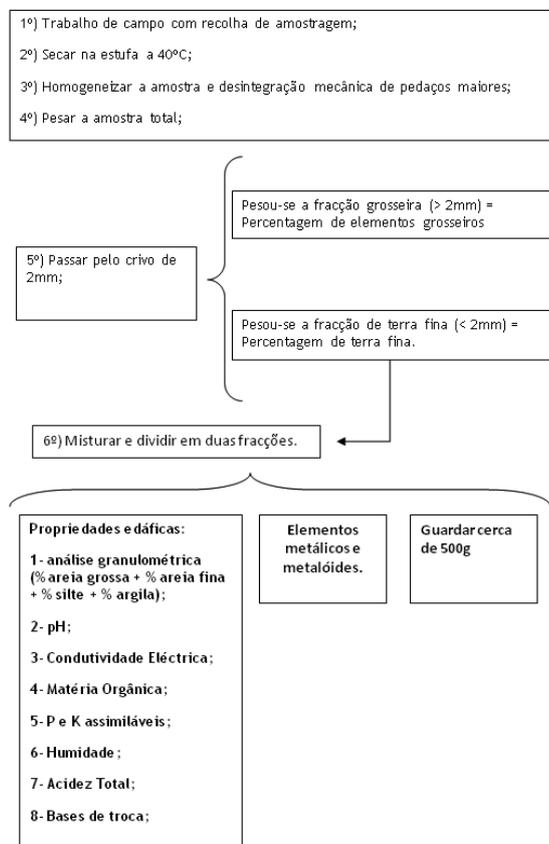


Figura 9: Esquema ilustrativo do processo metodológico na recolha de amostragem e trabalho laboratorial.

3.1. REDE DE AMOSTRAGEM

A rede de amostragem de solos, sedimentos de corrente e materiais de escombreira para a avaliação do risco ambiental da área mineira de Canto do Lagar, consistiu numa rede aleatória de amostragem, com os pontos de amostragem localizados dentro e fora da área de influência da exploração mineira. Foram recolhidas 70 amostras no total, distribuindo-se por materiais de escombreira (16 amostras), sedimentos de corrente (14 amostras, das quais 3 fora da área de influência (Cls D11, Cls D12 e Cls D13)) e solos (40 amostras, das quais 7 fora da área de influência (Cls C, Cls 33, Cls 34, Cls 35, Cls 36, Cls 37 e Cls 38)). As amostras de sedimentos de corrente e de solo colhidas fora da área de influência das actividades mineiras servem para definição do fundo geoquímico de referência para os diversos parâmetros e, respectiva comparação com os resultados obtidos dentro da área de influência.

Todas as amostras se designam por Cl mais o indicativo sd, s ou e, consoante se trate de sedimentos de corrente, solos ou escombreira, respectivamente. As figuras 10a e 10b mostram a rede de amostragem de sedimentos de corrente, solos e materiais de escombreira na área mineira de Canto do Lagar.

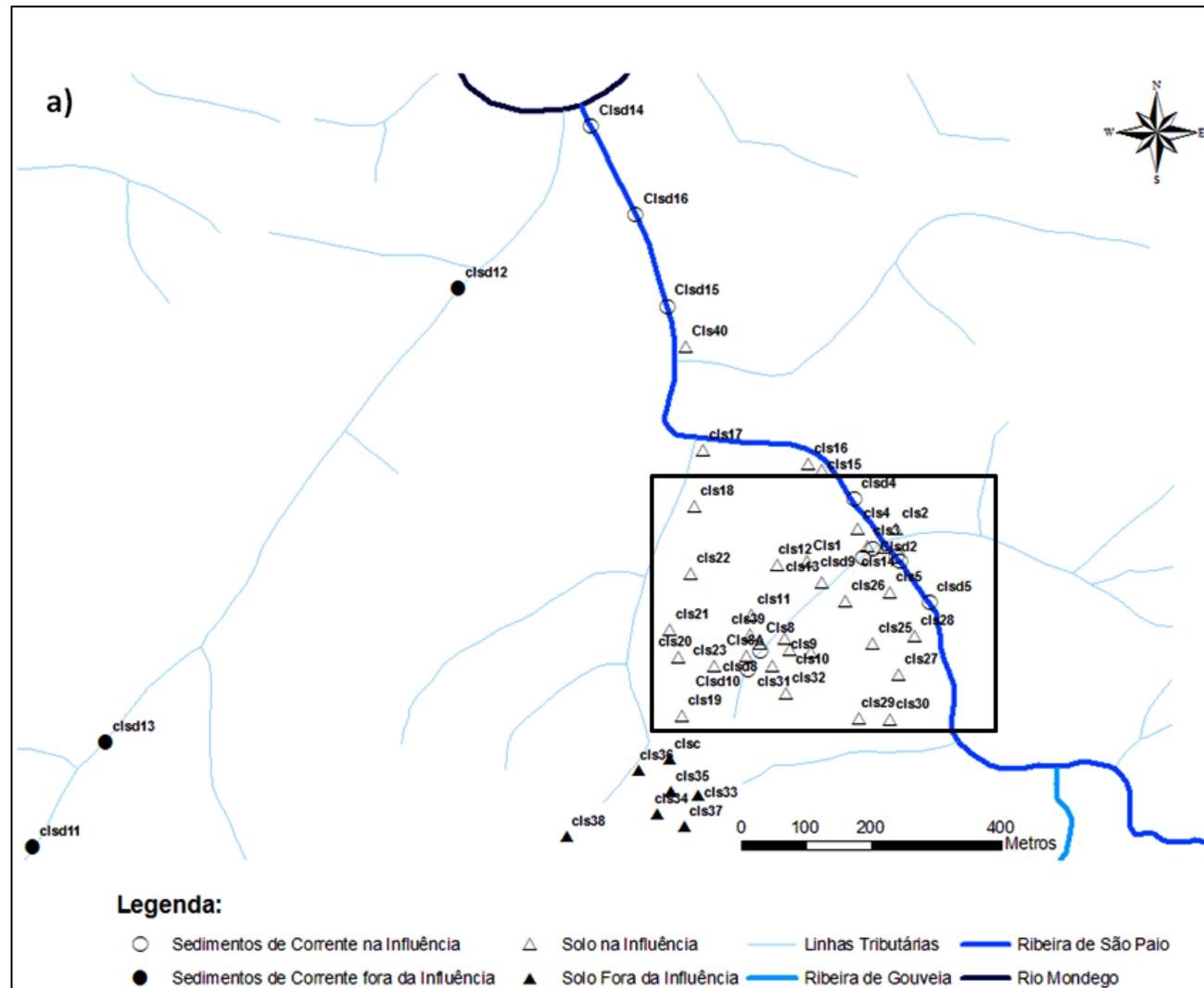
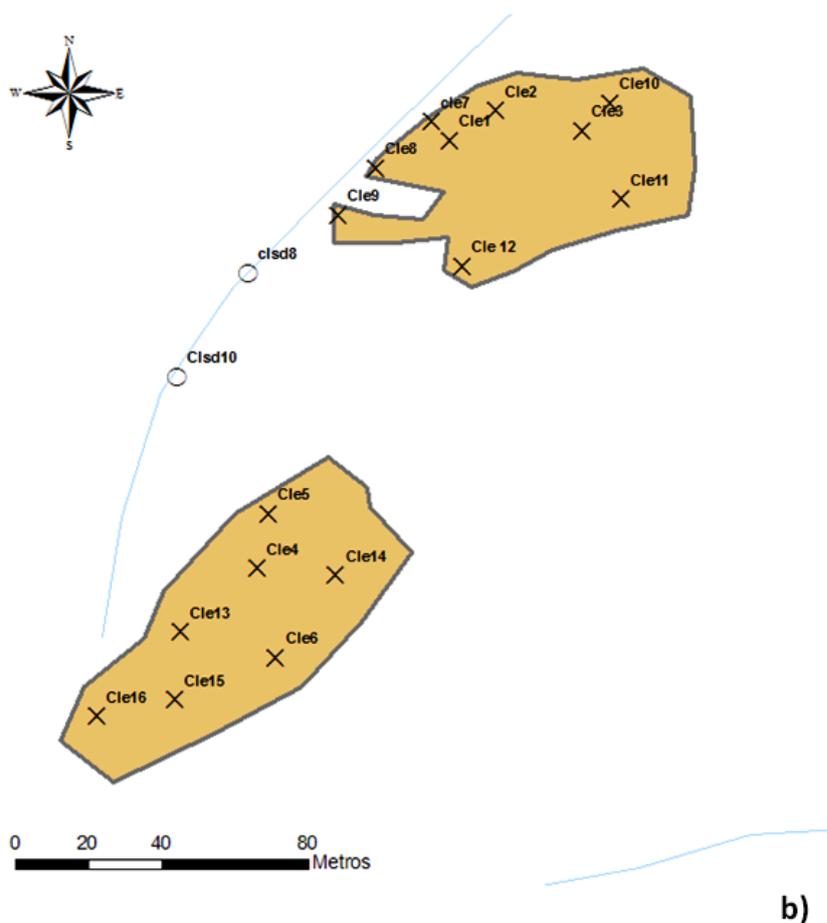


Figura 10a: Rede de amostragem definida para a área mineira de Canto do Lagar (adaptado de Serviços Cartográficos do Exército, 1974). O retângulo a negro, representa a localização da área mais próxima à exploração mineira.



Legenda:

- X escombreira ○ Sedimentos de Corrente na Influência — Linhas Tributárias

Figura 10b: Pormenor da rede de amostragem nas escombrelas e sua envolvente (adaptado de Serviços Cartográficos do Exército, 1974).

3.2. MÉTODOS ANALÍTICOS

As amostras de sedimentos de corrente, solos e de material de escombreira, após serem colhidas, foram transportadas para o laboratório e foram sujeitas ao mesmo tratamento inicial.

Os métodos analíticos utilizados na determinação do pH, Condutividade Eléctrica, humidade, matéria orgânica, Acidez total, fósforo e potássio assimiláveis e bases de troca, são utilizados no Laboratório de Solos da Escola Superior Agrária de Castelo Branco. Na análise da textura das amostras foi utilizado o densímetro de Boyoucus, no Laboratório de Solos indicado anteriormente, e os teores de elementos metálicos e metalóides foram obtidos por ICP-MS (Elan 6000, Perkin-Elmer Sciex equipado com autosampler AS 91) na Universidade Autónoma de Madrid. A Tabela I resume as metodologias utilizadas e as respectivas unidades de medida.

Tabela I: Metodologia utilizada na determinação dos vários parâmetros e respectivas unidades de medida.

Parâmetro	Unidade	Método Analítico
pH(H ₂ O)	Escala de Sorensön	Norma ISO 10390:2005 - Potenciometria (em suspensão 1:2,5)
Condutividade Eléctrica (CE)	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	Método Interno (Condutivímetro, em suspensão 1:5)
Humidade	%	Norma ISO 11465:1993 - Método Gravimétrico
Matéria Orgânica (MO)	%	Método Gravimétrico - Incineração
Fósforo assimilável (P ₂ O ₅)	mg.kg ⁻¹	Método de Égner et al. (1960), colorimetria por espectrofotometria de absorção molecular (doseamento)
Potássio assimilável (K ₂ O)	mg.kg ⁻¹	Método de Égner et al. (1960), fotometria de chama (doseamento)
Acidez Total	-	Método de extracção com Cloreto de Potássio e doseamento por colorimetria
Bases de troca: Cálcio, Magnésio, Potássio e Sódio	Cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹	Método do Acetato de Amónio 1N, tamponizado a pH=7,0 (Extracção) e leitura em Espectrofotometria de Absorção Atómica
Textura	%	Densímetro de Boyoucus
Elementos metálicos e metalóides	ppm	Método ICP-MS

3.2.1. pH

Para a determinação do pH, pesaram-se cerca de 10 g de amostra, às quais foram adicionados 25 ml de água e agitou-se com uma vareta. Deixou-se a mistura de água e solo em contacto durante aproximadamente 1 hora mexendo, com uma vareta de vidro, de meia em meia hora. No final mediu-se, o pH com recurso a um potenciómetro de correcção automática da temperatura.

3.2.2. Condutividade Eléctrica (CE)

Este parâmetro foi obtido após preparação das amostras para a determinação do parâmetro anterior, com a adição de mais 25 ml de água. Em seguida, foram colocadas no agitador mecânico durante 1 hora. Após este período, a condutividade eléctrica das amostras foi medida através de um condutivímetro.

3.2.3. Humidade

O parâmetro humidade foi obtido através do método gravimétrico. Para tal, pesaram-se cerca de 5 g de cada amostra em cápsulas de porcelana (com registo prévio do seu peso), em seguida registou-se o peso da amostra + cápsula e colocaram-se na estufa a 105°C, durante aproximadamente 24 h. Após este período, por diferença de peso, obteve-se a percentagem de humidade da amostra.

3.2.4. Matéria Orgânica (MO)

A matéria orgânica foi obtida através do método gravimétrico por incineração, na continuidade das amostras já preparadas para a humidade. Desta forma, para a matéria

orgânica, após a pesagem para obter a percentagem de humidade, colocaram-se as cápsulas com as amostras na mufla a 400°C, durante aproximadamente 24 horas. Após este tempo, pesaram-se e, por diferença de peso, obteve-se a percentagem de matéria orgânica.

3.2.5. Acidez Total

Para a determinação da acidez total, pesaram-se cerca de 5 g de amostra, às quais se adicionaram 50 ml de solução de KCl 1N, e foram colocadas num agitador mecânico durante aproximadamente 30 min. De seguida, filtrou-se o preparado com papel de filtro, adicionaram-se cerca de 5 gotas de fenolftaleína e titularam-se as amostras com solução de NaOH 0,25N.

3.2.6. Fósforo (P₂O₅) e Potássio (K₂O) Assimiláveis

Pesaram-se cerca de 2g de amostra, às quais se adicionaram 40 ml de solução extractiva Fósforo e Potássio 3.1.3 e de seguida foram colocadas no agitador mecânico durante aproximadamente 2 h. Após este período, foram colocadas na centrífuga durante aproximadamente 10 minutos a 3000 rotações.

Para a análise do fósforo assimilável, retiraram-se 5 ml do extracto (com diluição de amostras pontuais) e adicionaram-se 20ml de solução de ensaio para desenvolvimento da cor. Deixou-se repousar no escuro entre 1h e 15min a 1h e 30min e depois procedeu-se às suas leituras no espectrofotómetro UV a 882 nm. Para o potássio assimilável, do preparado obtido após centrifugação, fez-se a leitura directa no fotómetro de chama.

3.2.7. Bases de troca

Pesaram-se cerca de 4,000 g de amostra para um balão de Erlenmeyer e adicionaram-se 40 ml de Acetato de amónio 1N, tamponizado a pH=7. Essa mistura permaneceu em contacto com o solo, de um dia para o outro. No dia seguinte, procedeu-se à filtração da amostra com papel de filtro para balões volumétricos de 100 ml. Seguidamente, foi efectuada a lavagem dos balões Erlenmeyer com a solução indicada anteriormente, até perfazer o volume de 100 ml. A leitura das amostras foi realizada num espectrofotómetro de absorção atómica.

3.2.8. Textura

Após a recepção das amostras no laboratório, foi realizada uma crivagem com um crivo de 2mm, com o objectivo de separar os elementos grosseiros da terra fina. A partir da terra fina, foi realizada a determinação da textura para cada uma das amostras. Estas foram colocadas em provetas, às quais se adicionou 1L de água. De seguida, registou-se o valor de densidade obtido 45 minutos, após agitada energicamente a mistura, com uma vareta de vidro, correspondendo à fracção de areia. Seguidamente, a mistura é de novo agitada e após passadas 2h, regista-se o valor de densidade que representa a fracção de limo. Por diferença obtém-se a fracção de argila. Este é um método expedito na análise granulométrica de amostras.

3.2.9. Elementos Metálicos e Metalóides

A determinação analítica dos elementos metálicos e metalóides foi obtida por ICP-MS, nos Serviços Interdepartamentais de Investigação (SIQI) da Universidade Autónoma de Madrid. Esta análise semi-quantitativa foi efectuada nas diversas amostras aplicando o método BCR com dissolução com Aqua-regia, numa mistura de HNO₃-HCl 1:3, após terem sido atacadas previamente com ácido acético (0,11 ml/L), cloreto de hidroxilamónio (0,5ml/L) e peróxido de

hidrogénio (8/8 mol/L) seguido de acetato de amónio, efectuada no Laboratório Químico do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra.

3.3. REPRODUTIBILIDADE DOS RESULTADOS

Para testar a reprodutibilidade dos resultados, foram seleccionadas 3 amostras (sedimentos de corrente, solos e material de escombreira), tentando contemplar amostras com resultados mais elevados, intermédios ou mais baixos, relativamente aos diversos parâmetros analisados. Essas amostras foram repetidas 6 vezes para todos os parâmetros analisados, com excepção dos parâmetros Humidade e Matéria Orgânica, onde foram seleccionadas 5 amostras e repetidas 6 vezes e para as Bases de Troca foram seleccionadas 4 amostras mas apenas com 3 repetições.

4. CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS DE CORRENTE, SOLOS E ESCOMBREIRA

Cada parâmetro analisado tem as suas características e a sua importância ao nível do comportamento dos vários contaminantes nos sedimentos de corrente, nos solos e nas escombreiras.

O parâmetro pH caracteriza a reacção do solo (Quelhas dos Santos, 2001) e mede o grau de acidez ou alcalinidade do mesmo, através da concentração de hidrogeniões (H^+) (Rebelo da Silva, 2000) ou da actividade dos iões H_3O^+ (Quelhas dos Santos, 2001). É avaliado através da escala de pH (entre 0 e 14), correspondendo os solos ácidos àqueles cujos valores são inferiores a 6,5 e os solos alcalinos àqueles cujos valores são superiores a 7,5 (Rebelo da Silva, 2000). Contudo, como o pH mede a concentração de hidrogeniões ou a actividade dos iões H_3O^+ , são de esperar variações na sua concentração ao longo do ano, aumentando no período do Verão e diminuindo no período de Inverno (Rebelo da Silva, 2000). Estas variações podem dever-se à absorção preferencial de certos iões pelas plantas; à actividade dos microorganismos; à diluição ou concentração de sais, entre outros (Rebelo da Silva, 2000). Assim, podemos dizer que a acidez do solo é influenciada por processos naturais, com dependência do clima e da natureza da rocha mãe, que poderão ser, por sua vez, influenciados pela acção do Homem (Rebelo da Silva, 2000).

O parâmetro Condutividade Eléctrica é uma propriedade representativa da capacidade da água conduzir a corrente eléctrica, estando directamente relacionada com o conteúdo de sais dissolvidos sob a forma de iões (E-GEO/LNEG, 2004-2010). Segundo Batista e Filipe (2007), a condutividade eléctrica de uma solução, corresponde à medida da quantidade de carga transportada pelos iões. No contexto deste trabalho, a condutividade eléctrica das amostras, foi determinada na solução resultante do contacto da água com a amostra, podendo dizer-se que quanto menor for a condutividade dessa solução para essa amostra, menor será a quantidade de sais ou iões aí presentes.

O teor de Humidade do solo, segundo Botelho da Costa (2004), corresponde geralmente à percentagem do peso de água em relação ao peso do solo seco a 105°C.

A Matéria Orgânica faz parte da fase sólida das amostras e compreende um vasto e heterogéneo conjunto de restos de outros seres vivos, parcial ou completamente decompostos, atribuindo-se a designação de húmus à parte da matéria orgânica bem decomposta (Rebelo da

Silva, 2000). Sendo no húmus que estão presentes materiais com propriedades coloidais, este possui grande capacidade de troca catiónica.

Segundo Botelho da Costa (2004) a acidez total, potencial ou titulável de uma solução aquosa, é influenciada tanto pelos hidrogeniões livres como pelos que se encontram combinados. Esta acidez nos solos minerais, em partes substanciais, ou mesmo dominante, corresponde ao hidrogénio resultante da hidrólise de alumínio (e também do ferro) de troca do solo pelo catião do sal usado na lixiviação. Assim, a acidez total da fracção mineral das amostras resultará principalmente de alumínio (e ferro) de troca e, só em pequena escala, de hidrogénio de troca (Botelho da Costa, 2004).

De acordo com Rebelo da Silva (2000), a determinação do fósforo (P) assimilável para as plantas é uma questão bastante complexa. Isto deve-se ao facto da sua absorção pelas culturas depender não só da sua concentração na solução do solo, mas, também, de factores como o valor do seu pH, temperatura, humidade, actividade microbiana, entre outros. A dificuldade que as plantas apresentam para ter acesso ao fósforo biodisponível, resulta do facto das formas solúveis reagirem no solo, transformando-se em formas insolúveis. Contudo, estas formas insolúveis não se mobilizam por lixiviação (por exemplo) pois, estão fixas no solo, podendo ser utilizadas mais tarde (Rebelo da Silva, 2000).

O potássio (K), por sua vez, segundo o mesmo autor, existe em teores elevados na maioria dos solos pois, trata-se de um elemento que faz parte da constituição de muitos minerais, com excepção dos solos cujo mineral dominante seja o quartzo. Contudo, na sua maioria, encontra-se sob formas não assimiláveis não só devido ao referido anteriormente mas, porque uma pequena percentagem se encontra adsorvida no complexo de troca e outra, dissolvida na solução do solo. São estas últimas formas as que constituem o chamado potássio assimilável.

Designa-se por bases de troca, o conjunto dos nutrientes minerais para as plantas como o cálcio, o magnésio e o potássio (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , respectivamente) e o sódio (Na^+) (Rebelo da Silva, 2000). Na sua maioria, estes iões são retidos no chamado complexo de troca dos solos, correspondendo ao conjunto das substâncias coloidais do solo, onde ocorrem fenómenos de troca ou permuta de iões (Rebelo da Silva, 2000). Estes colóides são partículas com superfície específica muito elevada e têm a particularidade de apresentarem cargas eléctricas à sua superfície, o que lhes permite atrair, reter e trocar elementos que apresentem também cargas eléctricas (iões) (Rebelo da Silva, 2000). Esta é a designação genérica das argilas (partículas minerais mais finas) e do húmus (partículas orgânicas mais finas), por possuírem propriedades coloidais. Como estas partículas possuem carga eléctrica, principalmente, de natureza negativa, os iões retidos ou trocados são predominantemente catiões (Rebelo da Silva, 2000). Contudo, um solo possui uma capacidade máxima para a adsorção dos catiões. É essa capacidade que se designa por Capacidade de Troca Catiónica do solo (Rebelo da Silva, 2000).

O parâmetro Textura representa a proporção relativa numa camada do solo de lotes constituídos por partículas minerais de dimensões compreendidas entre certos limites (Botelho da Costa, 2004). Neste trabalho procedeu-se não só à recolha dos elementos grosseiros (partículas de diâmetro $> 2\text{mm}$) mas também da terra fina (partículas de diâmetro $< 2\text{mm}$). Na terra fina de cada uma das amostras foi feita a determinação da textura. Ao analisar

granulometricamente cada uma das amostras, foi possível determinar as percentagens de Areia Grossa (partículas com diâmetro entre 2 a 0,2 mm), Areia Fina (partículas de diâmetro entre 0,2 a 0,02 mm), Limo (partículas de diâmetro entre 0,02 a 0,002 mm) e de Argila (partículas de diâmetro < 0,002 mm), (Botelho da Costa, 2004). A obtenção destas percentagens, permite-nos proceder à projecção das amostras num diagrama triangular, de forma a serem estabelecidas classes de textura, definidas por limites de variação das proporções de cada lote (Botelho da Costa, 2004). A obtenção das proporções relativas de areia, limo e argila, são muito importantes pois, o comportamento físico e químico dos solos minerais está dependente delas (Botelho da Costa, 2004). Esta característica do solo está dependente de vários factores, nomeadamente da rocha-mãe, da topografia e do clima. Em geral, quanto menos evoluído é o solo, mais a sua textura se relaciona com a rocha-mãe (Botelho da Costa, 2004).

Housecroft e Sharpe, (2008) e Müller (2007), fizeram a distinção entre elementos metálicos e não metálicos. De acordo com estes autores, são as suas propriedades físicas, nomeadamente a sua capacidade de condução térmica e resistência eléctrica directamente proporcional à temperatura; a sua ductilidade, maleabilidade e brilho, que permite distinguir estes dois grupos de elementos. Contudo estas características perdem-se após a transformação química dos metais em compostos químicos disponíveis para as plantas (Shaw et al., 2004). Relativamente à designação de metais pesados, esta é usada geralmente para fazer referência a um grupo de metais ou metalóides, cuja concentração é passível de causar toxicidade e problemas ecológicos, no local em que se encontram (Gáspár Bánfalvi, 2011).

Os resultados obtidos nas amostras de sedimentos de corrente, solos e escombreliras, são apresentados nas tabelas II, III, IV, V, VI e VII, bem como, a projecção de cada uma das amostras no diagrama triangular de classificação da textura (Figura 11).

Tabela II: Resultados obtidos nas amostras de sedimentos de corrente da área mineira de Canto do Lagar.

Sedimentos de Corrente	Amostras	pH	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	MO (%)	Assimiláveis		Humidade (%)	Acidez Total	Bases de Troca ($\text{cmol}_{(+)}, \text{kg}^{-1}$)			
					P (ppm)	K (ppm)			[Ca]	[Mg]	[K]	[Na]
Dentro Influência	CLsd 1	4,40	154,20	5,82	123,88	101,00	1,16	1,35	1,06	0,31	0,30	0,09
	CLsd 2	6,31	63,00	2,37	256,70	152,00	0,66	0,05	2,57	0,53	0,22	0,21
	CLsd 3	6,35	49,00	1,40	154,70	166,00	0,37	0,15	1,03	0,31	0,25	0,15
	CLsd 4	6,42	52,50	1,99	153,47	110,00	1,20	0,50	1,66	0,39	0,19	0,20
	CLsd 5	5,72	61,70	3,03	296,76	144,00	0,70	0,50	1,33	0,27	0,23	0,20
	CLsd 8	5,72	26,50	1,30	92,76	52,00	0,83	0,45	2,19	1,64	0,08	0,16
	CLsd 9	6,06	40,80	2,80	188,29	170,00	0,76	0,45	2,08	0,57	0,20	0,11
	CLsd 10	5,96	48,20	2,99	215,72	214,00	0,84	0,20	1,87	0,48	0,33	0,12
	CLsd 14	6,15	25,40	1,02	105,39	62,00	0,27	0,15	0,47	0,10	0,08	0,13
	CLsd 15	5,96	25,10	2,04	75,19	66,00	0,62	0,45	0,89	0,31	0,08	0,15
CLsd 16	6,12	60,40	3,70	213,25	146,00	0,97	0,40	2,21	0,51	0,20	0,18	
Fora da Influência	CLsd 11	5,99	34,20	2,64	133,44	160,00	0,82	0,70	1,51	0,58	0,18	0,15
	CLsd 12	6,13	20,90	1,59	102,00	110,00	0,76	0,55	1,77	0,66	0,18	0,20
	CLsd 13	6,01	12,70	0,79	124,19	56,00	0,33	0,50	0,44	0,22	0,05	0,11

Tabela III: Resultados da análise granulométrica obtidos nas amostras de sedimentos de corrente da área mineira de Canto do Lagar.

Sedimentos de Corrente	Amostra	Elementos Grosseiros (%)	Terra Fina (%)	% Areia	% Argila	% Limo	Textura	
Dentro da Influência	CLsd 1	44,8	55,2	84,8	6,5	8,7	Arenoso - Franco	
	CLsd 2	32,7	67,3	89,5	6,5	4,0	Arenoso - Franco	
	CLsd 3	39,9	60,1	90,8	6,5	2,7	Arenoso	
	CLsd 4	11,5	88,5	91,8	6,5	1,7	Arenoso	
	CLsd 5	6,0	94,0	86,8	6,5	6,7	Arenoso - Franco	
	CLsd 8	41,0	59,0	84,4	8,5	7,2	Arenoso - Franco	
	CLsd 9	45,9	53,9	87,8	5,8	6,4	Arenoso - Franco	
	CLsd 10	53,7	46,1	86,8	6,5	6,7	Arenoso - Franco	
	CLsd 14	16,3	83,4	92,1	6,5	1,4	Arenoso	
	CLsd 15	46,2	53,6	90,1	7,2	2,7	Arenoso	
	CLsd 16	31,0	68,6	88,8	7,5	3,7	Arenoso - Franco	
	Fora da Influência	CLsd 11	43,8	55,9	85,5	7,5	7,0	Arenoso - Franco
		CLsd 12	28,1	71,6	82,8	9,5	7,7	Franco - Arenoso
		CLsd 13	34,1	65,7	86,8	9,5	3,7	Arenoso - Franco

Tabela IV: Resultados obtidos nas amostras de solos da área mineira de Canto do Lagar.

Solos	Amostras	ph	CE (µs/cm)	MO (%)	Assimiláveis		Humidade (%)	Acidez Total	Bases de Troca (cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹)				
					P (ppm)	K (ppm)			[Ca]	[Mg]	[K]	[Na]	
Dentro da Influência	CLs 1	4,91	50,80	4,08	140,32	126,00	1,55	1,75	3,05	1,17	0,20	0,03	
	CLs 2	5,03	15,70	5,53	41,94	46,00	1,38	2,55	0,13	0,04	0,05	0,02	
	CLs 3	5,89	24,20	2,72	79,68	86,00	1,15	0,50	2,50	0,93	0,12	0,14	
	CLs 4	5,82	91,80	3,32	148,39	144,00	1,22	0,75	3,42	0,81	0,23	0,14	
	CLs 5	4,81	28,00	9,57	50,97	62,00	2,95	3,15	0,27	0,03	0,06	0,03	
	CLs 8	5,28	37,10	1,98	75,48	58,00	1,31	1,45	2,90	1,96	0,06	0,22	
	CLs 8A	5,68	24,40	1,81	76,12	66,00	0,78	0,65	1,31	1,00	0,08	0,15	
	CLs 9	4,71	66,90	6,59	205,81	106,00	1,91	3,20	0,80	0,63	0,12	0,03	
	CLs 10	5,18	26,00	3,50	91,61	96,00	2,02	4,00	2,09	0,96	0,15	0,04	
	CLs 11	4,93	19,00	6,16	89,03	64,00	1,66	3,20	0,26	0,04	0,08	0,02	
	CLs 12	5,42	18,40	3,82	247,42	112,00	1,21	1,75	1,78	0,75	0,18	0,01	
	CLs 13	5,25	24,10	3,48	309,35	94,00	1,09	1,70	1,70	0,58	0,12	0,03	
	CLs 14	5,93	31,80	3,61	168,06	168,00	1,13	0,15	3,10	0,66	0,26	0,05	
	CLs 15	5,26	15,50	3,94	106,45	100,00	1,27	1,55	0,22	0,10	0,16	0,01	
	CLs 16	5,95	38,00	3,58	106,45	164,00	1,31	0,25	2,57	0,57	0,31	0,11	
	CLs 17	5,44	22,50	3,00	99,68	162,00	2,44	1,90	2,45	1,28	0,26	0,02	
	CLs 18	5,35	30,30	4,18	82,90	216,00	1,24	1,10	2,14	0,55	0,37	0,03	
	CLs 19	4,98	20,20	2,83	158,06	86,00	0,83	2,30	0,44	0,19	0,09	0,01	
	CLs 20	5,15	18,30	2,51	89,68	136,00	1,15	2,40	1,74	0,66	0,19	0,03	
	CLs 21	4,93	19,50	6,96	83,87	90,00	1,96	3,05	0,35	0,25	0,12	0,01	
	CLs 22	5,32	19,20	3,71	126,77	140,00	1,43	2,00	1,48	0,60	0,25	0,02	
	CLs 23	5,23	22,60	3,67	170,97	144,00	0,97	1,05	1,46	0,42	0,14	0,00	
	CLs 24	4,91	18,30	8,18	60,97	68,00	2,54	3,80	0,14	0,08	0,08	0,04	
	CLs 25	5,19	14,30	3,76	143,55	110,00	1,05	2,20	0,44	0,22	0,13	0,00	
	CLs 26	5,11	25,70	7,49	46,45	92,00	1,92	3,15	0,41	0,17	0,10	0,08	
	CLs 27	4,99	15,10	4,91	80,32	78,00	1,25	2,40	- (*)	0,05	0,12	0,02	
	CLs 28	4,95	17,90	5,36	50,97	50,00	1,44	3,25	0,10	0,07	0,07	0,04	
	CLs 29	4,96	19,40	9,37	59,68	84,00	2,42	3,75	0,99	0,26	0,13	0,02	
	CLs 30	5,20	29,10	5,93	103,23	68,00	1,66	2,00	1,34	0,41	0,10	0,05	
	CLs 31	5,40	21,90	4,22	209,35	138,00	1,64	1,85	1,36	0,48	0,25	0,00	
	CLs 32	5,35	19,80	3,96	220,00	116,00	1,42	2,50	0,99	0,48	0,14	0,03	
	CLs 39	5,37	10,70	1,87	150,08	84,00	0,58	1,60	0,14	0,03	0,10	0,10	
	CLs 40	5,35	22,60	3,35	103,24	156,00	0,97	1,75	1,11	0,44	0,25	0,12	
	Fora da Influência	CLs C	5,73	124,80	3,75	263,79	250,00	1,32	0,50	5,53	1,51	0,47	0,75
		CLs 33	5,09	12,80	2,13	160,00	96,00	0,71	2,10	0,09	0,04	0,10	0,00
		CLs 34	5,27	16,70	3,01	254,19	116,00	0,76	1,75	0,34	0,07	0,14	0,03
		CLs 35	5,32	18,60	4,33	137,74	78,00	1,46	2,65	0,91	0,35	0,12	0,03
		CLs 36	5,58	24,70	2,72	300,32	340,00	0,90	2,15	1,55	0,46	0,82	0,02
		CLs 37	5,59	45,90	3,29	400,32	346,00	0,97	1,20	2,18	0,23	0,87	0,10
		CLs 38	5,31	20,00	2,46	101,61	244,00	0,68	1,40	0,56	0,28	0,45	0,11

- (*) Significa que o valor se encontra abaixo do limite de detecção do espectrofotómetro de absorção atómica.

Tabela V: Resultados da análise granulométrica obtidos nas amostras de solos da área mineira de Canto do Lagar.

		Amostra	Elementos Grosseiros (%)	Terra Fina (%)	% Areia	% Argila	% Limo	Textura		
Solos	Dentro da Influência	CLs 1	52,1	47,9	81,8	9,5	8,7	Franco - Arenoso		
		CLs 2	43,1	56,9	84,8	8,5	6,7	Arenoso - Franco		
		CLs 3	39,2	60,8	75,3	12,9	11,8	Franco - Arenoso		
		CLs 4	18,9	81,1	76,8	10,5	12,7	Franco - Arenoso		
		CLs 5	30,1	69,9	78,8	7,5	13,7	Franco - Arenoso		
		CLs 8	57,4	42,6	79,4	9,7	10,9	Franco - Arenoso		
		CLs 8A	45,4	54,4	82,8	8,5	8,7	Franco - Arenoso		
		CLs 9	42,5	57,5	81,9	7,2	10,9	Franco - Arenoso		
		CLs 10	45,3	54,7	78,2	9,7	12,2	Franco - Arenoso		
		CLs 11	39,6	60,2	85,5	6,8	7,7	Arenoso - Franco		
		CLs 12	42,8	56,7	80,8	7,5	11,7	Franco - Arenoso		
		CLs 13	43,6	56,2	84,8	6,5	8,7	Arenoso - Franco		
		CLs 14	12,1	87,8	81,5	7,8	10,7	Franco - Arenoso		
		CLs 15	11,6	88,1	82,5	5,8	11,7	Franco - Arenoso		
		CLs 16	21,2	78,5	81,5	7,8	10,7	Franco - Arenoso		
		CLs 17	46,6	53,3	77,5	9,8	12,7	Franco - Arenoso		
		CLs 18	29,3	70,4	77,5	9,8	12,7	Franco - Arenoso		
		CLs 19	33,0	67,0	85,5	6,8	7,7	Arenoso - Franco		
		CLs 20	45,6	54,3	83,5	8,8	7,7	Franco - Arenoso		
		CLs 21	38,7	61,1	78,8	7,8	13,4	Franco - Arenoso		
		CLs 22	35,9	64,0	76,8	10,5	12,7	Franco - Arenoso		
		CLs 23	34,5	65,3	82,5	7,8	9,7	Franco - Arenoso		
		CLs 24	40,7	59,0	78,8	8,5	12,7	Franco - Arenoso		
		CLs 25	33,9	65,8	80,8	8,5	10,7	Franco - Arenoso		
		CLs 26	27,6	72,2	79,8	8,5	11,7	Franco - Arenoso		
		CLs 27	33,2	66,6	81,5	8,5	10,0	Franco - Arenoso		
		CLs 28	38,1	61,8	82,8	8,5	8,7	Franco - Arenoso		
		CLs 29	39,7	60,0	78,8	8,5	12,7	Franco - Arenoso		
		CLs 30	38,0	62,0	81,0	9,4	9,7	Franco - Arenoso		
		CLs 31	39,6	60,2	82,8	7,8	9,4	Franco - Arenoso		
		CLs 32	41,3	58,5	80,8	8,5	10,7	Franco - Arenoso		
		CLs 39	41,9	57,9	85,5	7,5	7,0	Arenoso - Franco		
		CLs 40	28,6	71,1	80,1	10,5	9,4	Franco - Arenoso		
			Fora da Influência	CLs C	50,4	49,6	76,8	10,5	12,7	Franco - Arenoso
				CLS 33	29,8	70,1	80,8	8,5	10,7	Franco - Arenoso
				CLs 34	34,6	65,1	81,5	8,5	10,0	Franco - Arenoso
				CLs 35	41,8	58,0	81,5	7,5	11,0	Franco - Arenoso
				CLs 36	40,0	59,9	78,8	11,2	10,0	Franco - Arenoso
				CLs 37	36,4	63,3	76,0	13,1	10,9	Franco - Arenoso
				CLs 38	33,6	66,2	78,8	11,5	9,7	Franco - Arenoso

Tabela VI: Resultados obtidos nas amostras de escombreira da área mineira de Canto do Lagar.

Amostras	pH	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	MO (%)	Assimiláveis		Humidade (%)	Acidez Total	Bases de Troca ($\text{cmol}_{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$)				
				P (ppm)	K (ppm)			[Ca]	[Mg]	[K]	[Na]	
Escombreira	CLe 1	5,19	19,70	1,47	192,30	72,00	1,37	0,95	2,83	1,82	0,10	0,13
	CLe 2	6,36	33,00	1,42	234,82	56,00	1,96	0,25	1,92	1,31	0,05	0,13
	CLe 3	4,82	13,40	1,02	214,48	50,00	1,49	7,10	1,51	0,77	0,07	0,12
	CLe 4	4,77	15,00	1,32	207,09	56,00	1,65	3,80	3,03	1,84	0,08	0,13
	CLe 5	4,91	12,30	1,03	221,57	60,00	1,93	3,40	3,74	1,86	0,08	0,13
	CLe 6	4,34	41,00	5,96	82,90	46,00	1,61	2,70	0,04	0,01	0,06	0,14
	CLe 7	6,11	14,00	0,98	234,82	62,00	1,31	0,60	4,57	2,19	0,09	0,13
	CLe 8	5,85	12,30	1,30	114,95	42,00	1,55	0,75	4,49	1,99	0,09	0,13
	CLe 9	6,07	20,40	0,89	155,93	96,00	1,57	0,80	5,20	1,92	0,10	0,13
	CLe 10	5,49	10,50	1,08	171,65	58,00	1,25	2,40	2,58	1,99	0,05	0,11
	CLe 11	5,92	9,10	1,50	255,78	36,00	1,30	0,55	2,37	1,68	0,06	0,12
	CLe 12	5,54	16,60	2,07	152,23	68,00	1,58	1,60	4,43	2,32	0,07	0,13
	CLe 13	6,02	9,90	1,07	194,45	42,00	1,79	0,75	5,29	2,88	0,09	0,13
	CLe 14	5,19	11,30	1,10	225,27	48,00	2,46	5,75	3,33	1,83	0,07	0,13
	CLe 15	5,31	11,30	2,38	226,19	31,00	2,71	3,90	1,76	1,14	0,06	0,10
	CLe 16	5,53	11,90	4,75	155,01	64,00	1,34	3,35	2,64	1,72	0,10	0,13

Tabela VII: Resultados da análise granulométrica obtidos nas amostras de escombreira da área mineira de Canto do Lagar.

Amostra	Elementos Grosseiros (%)	Terra Fina (%)	% Areia	% Argila	% Limo	Textura	
Escombreira	CLe 1	71,9	28,1	78,5	10,6	10,9	Franco - Arenoso
	CLe 2	61,7	38,3	78,8	11,5	9,7	Franco - Arenoso
	CLe 3	64,3	35,7	77,3	10,6	12,2	Franco - Arenoso
	CLe 4	64,6	35,4	81,1	10,5	8,4	Franco - Arenoso
	CLe 5	58,5	41,5	76,8	12,5	10,7	Franco - Arenoso
	CLe 6	46,0	54,0	84,4	8,1	7,5	Arenoso - Franco
	CLe 7	67,0	32,9	80,8	10,5	8,7	Franco - Arenoso
	CLe 8	67,6	32,3	79,4	12,2	8,4	Franco - Arenoso
	CLe 9	67,7	32,3	83,5	10,2	6,4	Franco - Arenoso
	CLe 10	64,0	35,6	85,5	7,8	6,7	Arenoso - Franco
	CLe 11	68,0	32,0	82,8	10,5	6,7	Franco - Arenoso
	CLe 12	51,5	48,1	80,1	9,5	10,4	Franco - Arenoso
	CLe 13	63,8	36,1	77,4	10,5	12,2	Franco - Arenoso
	CLe 14	54,8	45,0	78,1	12,5	9,4	Franco - Arenoso
	CLe 15	60,9	39,0	73,4	15,2	11,4	Franco - Arenoso
	CLe 16	53,6	46,3	80,1	10,5	9,4	Franco - Arenoso

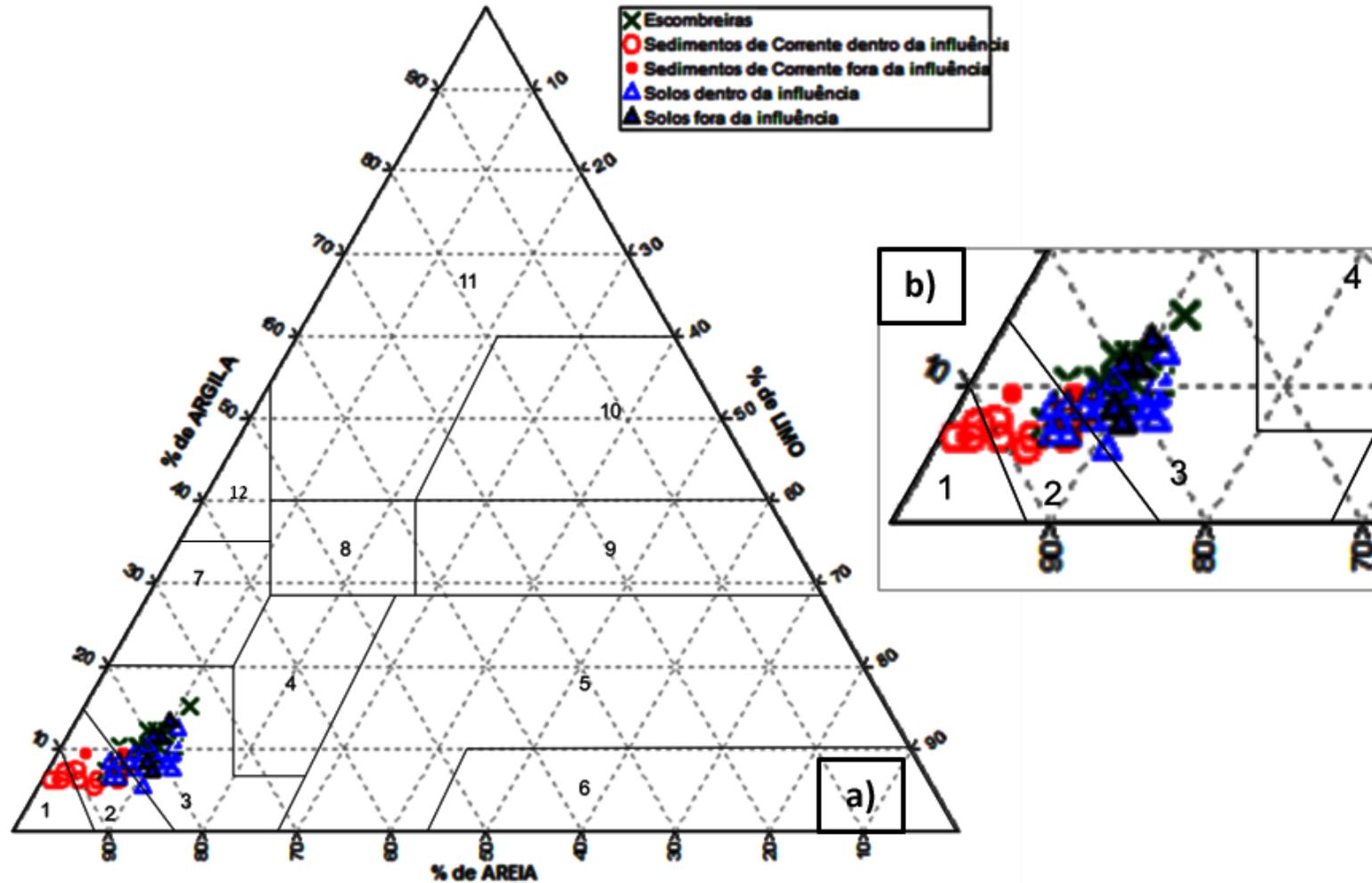


Figura 11: Projecção das amostras de sedimentos de corrente, solos e escobreiras da área mineira de Canto do Lagar (a) no diagrama triangular para a classificação textural adaptado dos limites internacionais das fracções granulométricas; (b) ampliação da projecção das amostras. Legenda: 1- Arenoso; 2-Arenoso - Franco; 3- Franco - Arenoso; 4- Franco; 5- Franco - Limoso; 6- Limoso; 7- Franco - Argilo - Arenoso; 8- Franco - Argiloso; 9- Franco - Argilo - Limoso; 10- Argilo - Limoso; 11- Argiloso; 12- Argilo - Arenoso (Os limites dos campos são os definidos por Gomes e Antunes, 1962).

Como se pode verificar na figura 11, a maioria das amostras de solos e todas as amostras de material de escombreira, estão projectadas no diagrama triangular de classificação de textura, sobre a classificação Franco - Arenoso e a projecção das amostras de sedimentos de corrente, encontra-se distribuída pelas classes de classificação de textura Arenoso, Arenoso - Franco e, com menos expressão, sobre a classe Franco - Arenoso.

4.1. SEDIMENTOS DE CORRENTE

Com base nos resultados obtidos para estas amostras, foi possível verificar os valores mínimos e máximos para cada um dos parâmetros analisados (Tabelas II e III). Paralelamente, utilizando o fundo geoquímico obtido através da mediana dos resultados para cada uma das amostras recolhidas fora da influência da área mineira, como elemento de comparação com todos os resultados obtidos naquelas que foram recolhidas dentro da sua influência, é possível verificar quais são as amostras que apresentam parâmetros com possível contaminação/poluição associada.

Neste conjunto, dentro da área de influência da exploração mineira, as amostras que se evidenciam são: Clsd 1, Clsd 2, Clsd 3, Clsd 4, Clsd 5, Clsd 8, Clsd 9, Clsd 10, Clsd 15 e Clsd 16; não só por evidenciarem valores mais baixos e mais elevados em mais de um parâmetro das Tabelas II e III, mas também pela mesma razão em relação a elementos metálicos e metalóides, tais como o Li, Be, Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W, Tl, Pb, Bi, Th, U. As amostras Clsd 8, Clsd9 e Clsd 10, são aquelas que se encontra mais próximas da exploração mineira (Figura 10a), daí os seus valores. Contudo, as restantes estão localizadas quer na Ribeira de São Paio (Clsd 4, Clsd5, Clsd 15 e Clsd 16), quer na confluência da linha tributária com a Ribeira de São Paio (Clsd 1, Clsd 2 e Clsd 3) (Figura 10a). Fora da área de Influência, as três amostras Clsd 11, Clsd 12 e Clsd 13 complementam-se em termos de máximos e mínimos, acabando por ambas ser importantes quer para os parâmetros das Tabelas II e III como para os elementos anteriormente referidos.

No que diz respeito à relação com o teor de fundo geoquímico, pode dizer-se que para a maioria dos parâmetros analisados nas amostras recolhidas na área de influência, os resultados obtidos são inferiores aos teores de fundo. No entanto, é de destacar parâmetros como o Li, Be, Na, Al, K, Ti, Rb, Sr, Cs e Tl por possuírem valores abaixo do teor de fundo geoquímico para todas as amostras e, parâmetros como a condutividade eléctrica e Si, por possuírem valores superiores ao teor de fundo geoquímico, para todas as amostras. É de destacar, também, as amostras Clsd 8, Clsd 9 e Clsd 10 por possuírem, exclusivamente, valores superiores ao teor de fundo geoquímico para a humidade, Zr e U e por possuírem as três, igualmente, valores superiores para o cálcio de troca, P, Ca, Ge, Y, La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu e Hf, pois são estas as amostras que se encontram mais próximas da exploração mineira (Figura 10a). As amostras Clsd 8 e Clsd 9, também apresentam valores superiores ao do teor de fundo geoquímico a par da amostra Clsd 3. Além destas, é de destacar o valor de Ga na amostra Clsd 15, claramente superior ao teor de fundo geoquímico.

Relativamente à textura, todas as amostras dentro da influência da área mineira, apresentam classificação Arenoso - Franco, à excepção das amostras Clsd 3, Clsd 4, Clsd 14 e

Clsd 15, que apresentam classificação Arenoso. Fora da área de influência, a amostra Clsd 11 apresenta classificação Arenoso - Franco, a amostra Clsd 12 Franco - Arenoso e a amostra Clsd 13 Arenoso - Franco (Tabela III).

A importância dos sedimentos de corrente para a avaliação do risco ambiental de áreas mineiras de urânio abandonadas, prende-se com o facto de estes poderem ser resultado da remobilização de materiais de escombreira e filões mineralizados (Marques et. al., 2001).

4.2. SOLOS

Com base nos resultados obtidos para estas amostras, foi possível verificar os valores mínimos e máximos para cada um dos parâmetros analisados (Tabelas IV e V). Paralelamente, utilizando o fundo geoquímico obtido através da mediana dos resultados para cada uma das amostras recolhidas fora da influência da área mineira, como elemento de comparação com todos os resultados obtidos naquelas que foram recolhidas dentro da sua influência, é possível verificar quais são as amostras que apresentam parâmetros com possível contaminação/poluição associada, à semelhança dos sedimentos de corrente.

Neste conjunto, dentro da área de influência da exploração mineira, as amostras que se evidenciam são: Cls 1, Cls 2, Cls4, Cls 8A, Cls 10, Cls 13, Cls 14, Cls 15, Cls 17, Cls 18, Cls 24, Cls 25 e Cls 31; não só por evidenciarem valores mais baixos e valores mais elevados em mais de um parâmetro das Tabelas II e III, mas também pela mesma razão em relação a elementos metálicos e metalóides, tais como o Li, Be, Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W, Tl, Pb, Bi, Th, U. As amostras Cls 8A, Cls 10 e Cls 31 (Figura 10a), encontram-se muito próximas da exploração mineira, daí os seus valores; as amostras Cls 15 e Cls 17 (Figura 10a), foram recolhidas junto à Ribeira de São Paio, mas num local utilizado para práticas agrícolas/pastoris, e as restantes encontram-se espalhadas pela área de influência (Figura 10a). Fora da área de Influência, as amostras Cls C, Cls 33, Cls 34, Cls 35, Cls 36, Cls 37 e Cls 38 apresentam valores mais baixos e mais elevados para os parâmetros das tabelas IV e V e para os elementos anteriormente referidos, mais distribuídos entre si.

No que diz respeito à relação com o teor de fundo geoquímico, pode dizer-se que para a maioria dos parâmetros analisados nas amostras recolhidas na área de influência, os resultados obtidos são superiores aos teores de fundo geoquímico, nomeadamente, para a matéria orgânica, humidade, cálcio de troca, magnésio de troca, sódio de troca, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Ni, Ga, As, Se, Sr, Nb, Mo, Sn, W, Bi e U. No entanto, é de referir que o pH, fósforo assimilável, potássio assimilável e potássio de troca, apresentam na sua maioria amostras com valores abaixo do teor de fundo geoquímico.

Relativamente à textura, todas as amostras dentro da influência da área mineira, apresentam classificação Franco - Arenoso, à excepção das amostras Cls 2, Cls 11, Cls 13 e Cls 19 e Cls 39, que apresentam classificação Arenoso - Franco. Fora da área de influência, todas as amostras apresentam classificação Franco - Arenoso (Tabela V).

Os solos, são um meio natural resultante da alteração química e física de rochas consolidadas, da deposição de restos de plantas e animais (matéria orgânica) e por todos os seres

vivos que habitam nele. Pode derivar de processos amplamente naturais ou por acção do homem (Botelho da Costa, 2004). Por se tratar de um sistema anisotrópico (com distinção das fases sólidas, líquidas e gasosas), torna-se importante na avaliação do risco ambiental originado por áreas mineiras abandonadas, pela sua capacidade de dissolução de elementos metálicos e metalóides (Botelho da Costa, 2004).

4.3. ESCOMBREIRAS

As escombreliras resultam da acumulação de material estéril (material sem valor), produto da exploração de minas superficiais ou a céu aberto (Freitas, 2005). E como tal é expectável que apresentem valores baixos para alguns parâmetros, como por exemplo o pH e valores mais elevados para alguns elementos metálicos e metalóides.

Com base nos resultados obtidos para estas amostras, foi possível verificar mais uma vez, os valores mínimos e máximos para cada um dos parâmetros, bem como, quais aquelas que os evidenciavam à semelhança dos sedimentos de corrente e dos solos. Com estes valores, é possível verificar o intervalo, no qual se situam os valores para cada um dos parâmetros analisados. Isto é perceptível pela observação das Tabelas VI e VII.

Neste conjunto, as amostras que se evidenciam são: Cle 1, Cle 2, Cle 3, Cle 6, Cle 10, Cle 12 e Cle 16; não só por evidenciarem valores mais baixos e valores mais elevados em mais de um parâmetro das Tabelas VI e VII, mas também pela mesma razão em relação a elementos metálicos e metalóides, tais como o Li, Be, Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W, Tl, Pb, Bi, Th, U (Figura 10b).

Relativamente à textura, todas as amostras apresentam classificação Franco - Arenoso, à excepção das amostras Cle 6 e Cle 10, que apresentam classificação Arenoso - Franco (Tabela VII).

4.4. REPRODUTIBILIDADE DOS RESULTADOS

Para a avaliação da reprodutibilidade dos resultados, foi calculado o coeficiente de variação, tendo por base a média e o desvio-padrão obtidos nas amostras com valores incluídos no intervalo de valores aceitáveis, para cada um dos parâmetros sujeitos a repetição. O coeficiente de variação é uma medida de dispersão relativa, calculado através do quociente entre o desvio-padrão e a média dos parâmetros repetidos e multiplicado por 100, vindo por isso, expresso em percentagem (Murteira et. al., 1983).

No caso dos resultados obtidos para os parâmetros analisados no Laboratório de Solos da Escola Superior Agrária de Castelo Branco, é de referir que todos eles apresentam coeficientes de variação inferiores a 10% à excepção dos parâmetros acidez total, fósforo assimilável, cálcio de troca e sódio de troca, que apresentam alguns coeficientes de variação superiores a 10%, o que pode ser explicado pelas ordens de grandeza quer dos valores de desvio-padrão quer da média (Tabelas VIII e IX).

Tabela VIII: Resultados da reprodutibilidade obtidos nas amostras de sedimentos de corrente, solos e escombreira da área mineira de Canto do Lagar.

		Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Valores aceitáveis (média - desvio padrão / média + desvio padrão)	Coefficiente de variação (%)
pH		4,3300	4,3600	4,3383	0,0117	4,33-4,35	0,13
		4,4500	4,4800	4,4667	0,0121	4,46-4,48	0,22
		5,1400	5,2600	5,2150	0,0432	5,18-5,26	0,49
C.E(µs/cm)		19,1000	24,8000	20,4167	2,1849	18,23-22,60	2,31
		41,1000	42,7000	42,0167	0,5382	41,48-42,55	0,49
		133,5000	154,3000	142,6167	6,6877	135,93-149,30	0,63
Humidade (%)		0,2265	0,3110	0,2500	0,0318	0,22-0,28	5,13
		0,6887	0,8450	0,7750	0,0620	0,71-0,84	6,41
		1,3826	1,4567	1,4149	0,0306	1,38-1,45	1,81
		1,5762	1,8327	1,6913	0,0964	1,59-1,79	3,91
		2,1951	2,6271	2,3867	0,1612	2,23-2,55	4,54
Matéria Orgânica (%)		1,0544	1,4291	1,2049	0,1278	1,08-1,33	4,18
		1,0996	1,5651	1,3247	0,1816	1,14-1,51	4,72
		1,7788	2,1433	1,9715	0,1463	1,83-2,12	3,22
		3,5512	3,9455	3,7527	0,1475	3,61-3,90	2,71
		8,9417	10,1699	9,4756	0,4525	9,02-9,93	3,06
Acidez Total		0,1500	0,2500	0,2083	0,0376	0,17-0,25	12,45
		0,2500	0,5000	0,3917	0,0917	0,30-0,48	14,43
		1,7000	2,2000	1,8750	0,1917	1,68-2,07	6,60
Assimiláveis	P	58,5366	149,5935	95,1220	34,5198	60,60-129,64	25,26
		170,7317	297,5610	207,8591	50,8963	156,96-258,76	15,12
		356,0976	434,1463	389,4309	36,4424	352,99-425,87	8,56
	K	50,0000	50,0000	50,0000	0,0000	50,00-50,00	0,00
		160,0000	170,0000	168,3333	4,0825	164,25-172,42	0,00
		530,0000	540,0000	536,6667	5,1640	531,50-541,83	0,00

Tabela IX: Resultados da reprodutibilidade das Bases de Troca, nas amostras de sedimentos de corrente, solos e escombreciras da área mineira de Canto do Lagar.

		Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Valores aceitáveis (média - desvio padrão/média + desvio padrão)	Coefficiente de variação (%)
Bases de Troca (cmol(+) / Kg)	[Ca]	0,2086	0,5206	0,3781	0,1577	0,22-0,54	17,63
		1,8827	2,4775	2,2313	0,3104	1,92-2,54	4,23
		2,3393	2,7470	2,5351	0,2043	2,33-2,74	5,23
		5,3506	5,7846	5,5282	0,2275	5,30-5,76	1,29
	[Mg]	0,0455	0,0491	0,0470	0,0019	0,045-0,049	1,39
		0,5222	0,5854	0,5606	0,0337	0,53-0,59	1,35
		1,3864	1,5109	1,4514	0,0624	1,39-1,51	0,00
		1,4273	1,7713	1,6226	0,1767	1,45-1,80	4,20
	[K]	0,0503	0,0574	0,0538	0,0036	0,050-0,057	4,50
		0,0587	0,0656	0,0626	0,0036	0,059-0,066	0,00
		0,3734	0,3807	0,3771	0,0037	0,373-0,381	0,98
		0,7921	0,8670	0,8280	0,0375	0,791-0,866	2,88
	[Na]	0,0094	0,0269	0,0152	0,0101	0,005-0,025	0,01
		0,0149	0,0409	0,0274	0,0130	0,014-0,040	39,17
		0,0372	0,0545	0,0443	0,0090	0,035-0,053	7,26
		0,2251	0,2631	0,2453	0,0191	0,226-0,264	4,26

4.5. ANÁLISE MULTIVARIADA DOS RESULTADOS

A análise multivariada dos resultados foi realizada pela técnica exploratória multivariada de Análise em Componentes Principais (ACP), utilizando o software SPSS 19, existente na Escola Superior Agrária de Castelo Branco. Segundo Maroco (2003), esta técnica consiste na transformação de um conjunto de variáveis correlacionadas num conjunto menor de variáveis independentes, através da combinação linear das variáveis originais, designadas por “*componentes principais*”. Foi escolhida esta técnica não só por permitir a redução dos dados mas, também, por resumir a informação proveniente dos vários parâmetros analisados em uma ou mais combinações lineares independentes que expressam a maioria da informação contida nos parâmetros originais (Maroco, 2003).

Esta informação (componentes principais) será utilizada mais tarde para a construção de mapas de possíveis anomalias geoquímicas.

4.5.1. Sedimentos de Corrente

Os resultados obtidos na análise em componentes principais para as amostras de sedimentos de corrente da área mineira de Canto do Lagar estão expressos nas Tabelas X e XI e na Figura 12.

Tabela X: Resumo do modelo de Análise em Componentes Principais para as amostras de sedimentos de corrente da área mineira de Canto do Lagar.

Componentes Principais	Cronbach's Alpha*	Variance Accounted For*	
		Total (Eigenvalue)*	% of Variance*
1	0,979	28,416	41,183
2	0,963	19,668	28,504
Total	0,994	48,084	69,687

* Designações do Software.

Esta tabela apresenta os valores próprios (“*Eigenvalue*”) para ambas as componentes principais, bem como, a percentagem de variância explicada (“*% of Variance*”) (Tabela X) para cada uma delas, sendo úteis para a decisão do número de componentes principais a escolher (Maroco, 2003). Para além destes valores, também o peso que cada parâmetro possui nas componentes principais (Tabela XII), serviu para escolher quais as que deveriam ser utilizadas na criação de mapas de possíveis anomalias geoquímicas (Maroco, 2003).

A Tabela XI apresenta os valores que cada amostra passou a ter, após a aplicação desta técnica.

Tabela XI: Novos valores das amostras, após a ACP.

Amostra	Componentes Principais	
	1	2
Clsd 1	0,378	0,790
Clsd 2	-0,866	-0,550
Clsd 3	-0,166	-0,405
Clsd 4	-0,920	-0,429
Clsd 5	-0,749	-0,299

Clsd 8	1,882	-1,458
Clsd 9	2,158	-1,014
Clsd 10	0,008	0,279
Clsd 14	-0,807	0,320
Clsd 15	-0,720	-0,569
Clsd 16	-0,820	-0,392
Clsd 11	-0,792	-0,197
Clsd 12	0,664	1,226
Clsd 13	0,750	2,699

Estas duas componentes principais foram escolhidas por explicarem a maior parte dos parâmetros analisados, principalmente o Urânio, tendo por base os valores indicados na Figura 11. Esta, por sua vez, representa as variáveis explicadas para cada uma das componentes principais escolhidas.

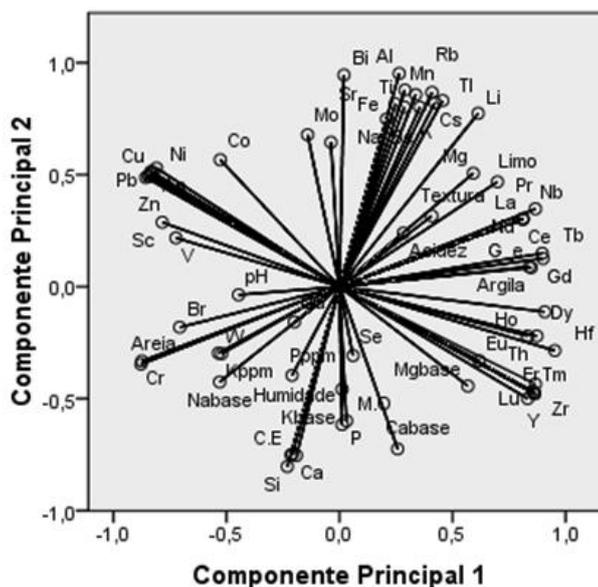


Figura 12: Variáveis explicadas para cada componente principal, para as amostras de sedimentos de corrente.

Pela análise da Figura 12, pode verificar-se que a componente principal 1 explica os parâmetros potássio assimilável (Kppm), magnésio de troca (Mgbase), sódio de troca (Nabase), % de areia (Areia), % de argila (Argila), % de limo (Limo), Li, Mg, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Br, Y, Zr, Nb, Sn, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W, Pb, Th e U.

Da análise da mesma figura, também se pode verificar que os parâmetros potássio assimilável (Kppm), sódio de troca (Nabase), % de areia (Areia), Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Br, Sn, Ba, W e Pb, são opostos aos restantes. Isto significa que as amostras que apresentam novos valores mais elevados para a componente principal 1, possuem menores teores nos parâmetros anteriormente referidos ou vice-versa.

Ainda na Figura 12, pode verificar-se que a componente principal 2 explica os parâmetros condutividade eléctrica (CE), matéria orgânica (MO), cálcio de troca (Cabase), potássio de troca (Kbase), Li, Be, Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, As, Rb, Sr, Mo, Cs, Ba, Lu, Tl e Bi, sendo de referir que os parâmetros condutividade eléctrica (CE), matéria orgânica (MO), cálcio de troca (Cabase), potássio de troca (Kbase), Si, P, Ca e Lu, são opostos aos restantes. Isto significa que as amostras que apresentam novos valores mais elevados para a componente principal 2, possuem menores teores dos parâmetros anteriormente referidos ou vice-versa. Além destas diferenças, é possível identificar que alguns parâmetros são explicados pelas duas componentes principais, tais como o Li, Mg, Co, Ni, Cu, As, Ba e Lu. É de notar que as amostras com valores novos mais elevados para a componente principal 1, são aquelas que estão mais próximas da exploração mineira (Clsd 8 e Clsd 9) (Figura 10a); quanto à componente principal 2, as amostras que possuem valores novos mais elevados, são a Clsd 12 e Clsd 13, localizadas fora da área de influência da exploração mineira (Figura 10a).

4.5.2 Solos

Para as amostras de solo, foi seguido o mesmo procedimento indicado para as amostras de sedimentos de corrente. As justificações para a escolha das componentes principais são as anteriormente apresentadas.

Os resultados obtidos na análise em componentes principais para as amostras de solo da área mineira de Canto do Lagar estão expressos nas Tabelas XII e XIII e na Figura 13.

Tabela XII: Resumo do modelo de Análise em Componentes Principais, das amostras de solo da área mineira de Canto do Lagar.

Componentes Principais	Cronbach's Alpha*	Variance Accounted For*	
		Total (Eigenvalue)*	% of Variance*
1	0,972	23,845	34,558
2	0,941	13,790	19,985
Total	0,988	37,635	54,543

* Designações do software.

Tabela XIII: Novos valores das amostras, após a ACP.

Amostra	Componentes Principais	
	1	2
Cls 1	-0,221	-0,181
Cls 2	0,330	-0,546
Cls 3	-0,119	0,307
Cls 4	0,687	2,285
Cls 5	-0,013	1,307
Cls 8	-0,336	-0,107
Cls 8A	3,363	-1,284
Cls 9	-0,104	-0,077
Cls 10	3,957	-1,755
Cls 11	-0,360	0,168

Cls 12	0,293	-0,434
Cls 13	0,173	-0,939
Cls 14	0,074	1,603
Cls 15	-0,425	0,083
Cls 16	-0,038	1,924
Cls 17	0,180	0,253
Cls 18	0,000	2,278
Cls 19	-0,363	-0,769
Cls 20	-0,146	-0,651
Cls 21	-0,567	-0,741
Cls 22	-0,337	-0,245
Cls 23	-0,298	-0,301
Cls 24	-0,821	-0,613
Cls 25	-0,493	-0,966
Cls 26	-0,656	-0,462
Cls 27	-0,627	-0,712

Cls 28	-0,723	-0,767
Cls 29	-0,722	-0,797
Cls 30	-0,518	-0,629
Cls 31	-0,615	-0,680
Cls 32	-0,600	-0,174
Cls 39	-0,579	-0,202
Cls 40	-0,510	-0,229
Cls C	2,358	1,634
Cls 33	-0,539	-0,907
Cls 34	-0,445	0,016
Cls 35	-0,477	-0,638
Cls 36	-0,325	0,939
Cls 37	-0,031	1,422
Cls 38	0,592	1,587

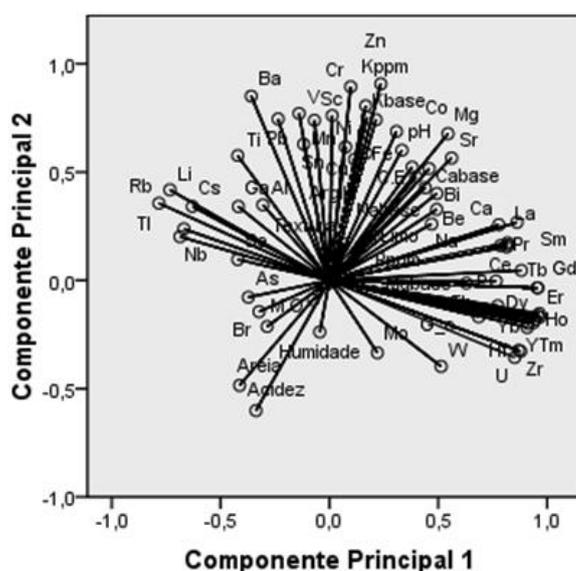


Figura 13: Relação entre as duas componentes principais para as amostras de solo.

Pela análise da Figura 13, pode verificar-se que a componente principal 1 explica os parâmetros magnésio de troca (Mgbase), Li, Mg, P, Ca, Ge, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W, Tl, Th e U. Na mesma figura também se pode verificar que os parâmetros Li, Rb, Nb, Cs e Tl são opostos aos restantes parâmetros. Isto significa que as amostras que apresentam novos valores mais elevados para a componente principal 1, possuem menores teores nos parâmetros anteriormente referidos ou vice-versa.

Ainda na mesma figura, é possível verificar que a componente principal 2 explica os parâmetros pH, potássio de troca (Kppm), acidez total (Acidez), cálcio de troca (Cabase), potássio de troca (Kbase), % de argila (Argila), K, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr e Pb, sendo que o parâmetro acidez total é oposto aos restantes. Isto significa que as amostras que apresentam novos valores mais elevados para a componente principal 2, possuem menores teores de acidez total ou vice-versa. Além destas diferenças, é de referir que à semelhança dos sedimentos de corrente, também nos solos existem parâmetros explicados pelas duas componentes principais, como é o caso do parâmetro Sr. É de referir que as amostras que possuem valores novos elevados, para a componente principal 1 são a Cls 8A, Cls 10 (junto à exploração mineira) e a Cls C (fora da área de influência) (Figura 10a); quanto à componente principal 2, as amostras que possuem valores novos elevados são Cls 4 e Cls 5 (junto à Ribeira de São Paio); Cls 14 e Cls 16 (junto à Ribeira de São Paio, mas no terreno agrícola); Cls 18 (mais perto da exploração mineira) e, por fim as amostras Cls C, Cls 37 e Cls 38, localizadas fora da área de influência mineira (Figura 10a).

4.5.3. Escombeiras

Para as amostras de escombeira, foi também seguido o mesmo procedimento das amostras de sedimentos de corrente e de solos, bem como, a justificação para a utilização das componentes principais.

Os resultados obtidos na análise em componentes principais para as amostras de escombeira da área mineira de Canto do Lagar estão expressos nas Tabelas XIV e XV e na Figura 14.

Tabela XIV: Resumo do modelo de Análise em Componentes Principais, das amostras de escombeira da área mineira de Canto do Lagar.

Componentes Principais	Cronbach's Alpha*	Variance Accounted For*	
		Total (Eigenvalue)*	% of Variance*
1	0,986	35,442	51,365
2	0,935	12,795	18,543
Total	0,994	48,237	69,909

* Designações do software.

Tabela XV: Novos valores das amostras, após a ACP.

Amostra	Componentes Principais	
	1	2
Cle 1	-0,189	-1,026
Cle 2	-0,323	0,157
Cle 3	-0,509	2,838
Cle 4	-0,314	0,042
Cle 5	-0,346	0,160
Cle 6	3,829	0,492
Cle 7	-0,205	-0,164
Cle 8	-0,151	-0,953
Cle 9	-0,309	-0,234
Cle 10	0,088	-1,524
Cle 11	-0,050	-1,367
Cle 12	-0,097	-0,214
Cle 13	-0,392	0,193
Cle 14	-0,425	1,075
Cle 15	-0,204	0,126
Cle 16	-0,403	0,400

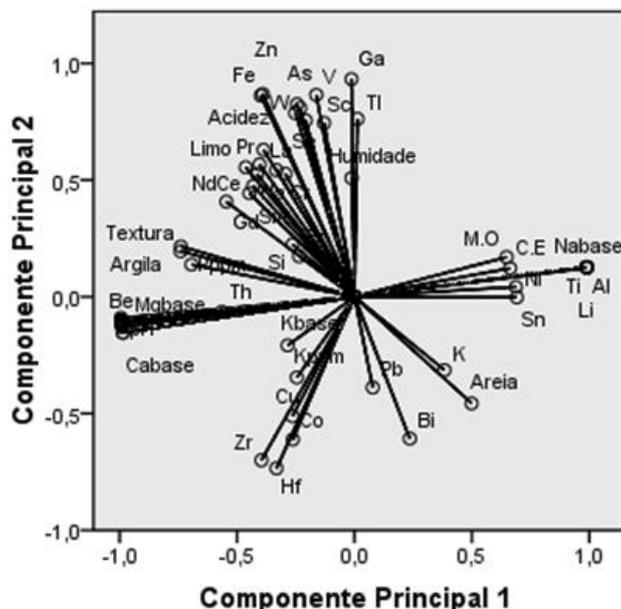


Figura 14: Relação entre as duas componentes principais para as amostras de escombreira.

Pela análise da Figura 14, pode verificar-se que a componente principal 1 explica os parâmetros pH, condutividade eléctrica (CE), matéria orgânica (MO), fósforo assimilável (Pppm), cálcio de troca (Cabase), magnésio de troca (Mgbase), sódio de troca (Nabase), % de argila (Argila), textura (Textura), Li, Be, Mg, Al, P, Ca, Ti, Mn, Ni, Ge, Rb, Sr, Y, Nb, Mo, Sn, Cs, Ba, Nd, Eu, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Th e U, sendo de referir que os parâmetros pH, fósforo assimilável (Pppm), cálcio de troca (Cabase), magnésio de troca (Mgbase), % de argila (Argila), textura (Textura), Be, Mg, P, Ca, Mn, Ge, Sr, Y, Mo, Hf e Bi são opostos aos restantes. Isto significa que as amostras que apresentam novos valores mais elevados para a componente principal 1, possuem menores teores nos parâmetros anteriormente referidos ou vice-versa.

Ainda pela análise da mesma figura, verifica-se que a componente principal 2 explica os parâmetros humidade (Humidade), acidez total (Acidez), % de limo (Limo), Na, Sc, V, Cr, Fe, Co, Cu, Zn, Ga, As, Se, Zr, La, Ce, Pr, Hf, W, Tl e Bi, sendo de referir que os parâmetros Co, Cu, Zr, Hf e Bi são opostos aos restantes. Isto significa que as amostras que apresentam novos valores mais elevados para a componente principal 2, possuem menores teores dos parâmetros anteriormente referidos ou vice-versa.

Ao contrário do que sucedeu com as amostras de sedimentos de corrente e de solos, as de escombreira não revelaram parâmetros explicados em simultâneo pelas duas componentes principais.

É importante referir que na aplicação desta técnica às amostras de sedimentos de corrente, solos e escombreira, a classificação nominal da classe de textura foi substituída por uma classificação numérica da classe de textura (de 1 a 3), estando de acordo com a representação em a) da Figura 11.

4.6. AVALIAÇÃO DO RISCO AMBIENTAL E SEUS EFEITOS NA SAÚDE HUMANA

4.6.1. Sedimentos de Corrente

Na ausência de legislação portuguesa relativamente a valores máximos recomendados, para os parâmetros analisados em sedimentos de corrente, a avaliação do grau de poluição pode ser obtida através do índice de geoacumulação definido por Müller (1979). Assim,

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{(1,5 \times B_n)} \right], \text{ onde}$$

- C_n é a concentração determinada para cada parâmetro ou elemento;
- B_n é o teor de fundo geoquímico, tendo sido utilizada a mediana das três amostras de sedimentos de corrente recolhidas fora da influência da área mineira;
- 1,5 é o factor de multiplicação devido a possíveis variações dos valores do teor de fundo geoquímico atribuídas a efeitos geológicos.

Este índice divide-se em 6 classes (Tabela XVI). A classe 6 corresponde ao grau de poluição mais elevado (valores cerca de 100 vezes superiores que o teor de fundo geoquímico) e a classe 1 ao grau de poluição mais baixo (valores cerca de 3 vezes superiores ao teor de fundo geoquímico).

Tabela XVI: Classificação do Índice de geoacumulação de Müller (1979).

Classificação	Classe do I_{geo}	I_{geo}
Praticamente não poluído	0	<0
Não poluído a Moderadamente poluído	1	>0 a 1
Moderadamente poluído	2	>1 a 2
Moderadamente poluído a Fortemente poluído	3	>2 a 3
Fortemente Poluído	4	>3 a 4
Fortemente a Extremamente poluído	5	>4 a 5
Extremamente poluído	6	>5

As Tabelas XVII, XVIII, XIX e XX, apresentam os resultados do Índice de geoacumulação de Müller (1979), para cada um dos parâmetros analisados.

Tabela XVII: Índice de geoacumulação de Müller.

Sedimentos de Corrente	Dentro Influência	Amostras	ph	C.E ($\mu\text{s/cm}$)	M.O (%)	Assimiláveis		Humidade (%)	Acidez Total	Bases de Troca (cmol(+)/Kg)			
						P (ppm)	K (ppm)			[Ca]	[Mg]	[K]	[Na]
						Clsd 1	0			3	2	0	0
Clsd 2	0	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0		
Clsd 3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0		
Clsd 4	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0		
Clsd 5	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0		
Clsd 8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		
Clsd 9	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0		
Clsd 10	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0		
Clsd 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Clsd 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Clsd 16	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0		
Teor de Fundo Geoquímico		6,01	20,90	1,59	124,19	110,00	0,76	0,55	1,51	0,58	0,18	0,15	

Tabela XVIII: Índice de geoacumulação de Müller - continuação.

Sedimentos de Corrente	Dentro da Influência	Amostra	Li	Be	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga
		Clsd 1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
CLsd 14	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
CLsd 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6
CLsd 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Teor de Fundo Geoquímico		172,59	5,60	211,21	2748,14	25679,92	28,72	345,95	3612,57	2624,81	1,64	749,40	12,68	5,58	498,81	19453,99	3,83	5,07	21,34	102,08	10,77	

Tabela XIX: Índice de Geoacumulação de Müller - continuação.

Sedimentos de Corrente	Dentro da Influência	Amostra	Ge	As	Se	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Sn	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd		
		Clsd 1	0	1	- (*)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 2	0	0	- (*)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Clsd 4	0	0	- (*)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 5	0	0	- (*)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 9	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 10	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 14	0	0	- (*)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	- (*)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 16	0	0	- (*)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Teor de Fundo Geoquímico		0,16	18,71	0,59	10,04	120,26	13,75	17,90	0,34	4,61	0,23	7,50	18,94	35,40	48,62	108,35	12,44	45,83	9,72	0,41	8,13			

(*) - Abaixo do limite de detecção.

Tabela XX: Índice de geoacumulação de Müller - continuação.

Sedimentos de Corrente	Dentro da Influência	Amostra	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	W	Tl	Pb	Bi	Th	U
		Clsd 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Clsd 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2
Clsd 9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	3
Clsd 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clsd 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Teor de Fundo Geoquímico		1,05	4,80	0,69	1,52	0,19	1,09	0,14	0,03	1,62	0,88	22,02	1,14	20,96	102,48	

Pela análise dos resultados obtidos no cálculo dos índices de geoacumulação, é possível verificar que, a maioria das amostras assumem classificação de praticamente não poluídas ($I_{geo}=0$), para a maioria dos parâmetros analisados. Contudo, algumas apresentam classificação de não poluída a moderadamente poluída ($I_{geo}=1$), como se pode verificar nas tabelas.

Por outro lado, é de referir amostras como a Clsd 1, com $I_{geo}=3$ para a condutividade eléctrica, $I_{geo}=2$ para a matéria orgânica e $I_{geo}=2$ para o molibdénio (Mo); Clsd 2 com $I_{geo}=2$ para a condutividade eléctrica; Clsd 8 com $I_{geo}=3$ para o zircónio (Zr) e $I_{geo}=2$ para o Urânio; a Clsd 9 com $I_{geo}=3$ para o zircónio (Zr) e para o urânio (U) e a Clsd 10 com $I_{geo}=2$ para o bromo (Br). São estas as amostras de sedimentos de corrente dentro da influência da área mineira que apresentam maior poluição. Além destas, é de especial atenção a amostra Clsd 15 pois, apresenta um $I_{geo}=6$ para o gálio (Ga), resultante de um teor de gálio cerca de 530 vezes superior ao do teor de fundo para o mesmo parâmetro.

Estes índices podem ser justificados pelas características da rocha mãe que deu origem aos sedimentos de corrente presentes na amostra, por fontes de contaminação provenientes da actividade agrícola envolvente e, principalmente, pela mobilização de material proveniente das escombrelas e suas mineralizações associadas. No caso particular da amostra Clsd 15, tendo em conta a sua localização geográfica (Figura 10a), os valores de gálio podem ser resultado da contaminação desse local através da linha de água tributária localizada a montante deste ponto de amostragem ou por uma anomalia local neste elemento, visto que as amostras mais a jusante (Clsd 16 e Clsd 14), apresentam $I_{geo}=0$ para este parâmetro.

4.6.2. Solos

Na ausência de legislação portuguesa, relativamente a valores máximos recomendados, para cada parâmetro analisado para os solos, foi considerada legislação de dois países da União Europeia, nomeadamente o Decreto Ministeriale nº 471 de 1999 (Itália) que define os valores de concentração limite no solo para espaços públicos, privados, residenciais, comerciais e industriais (Tabela XXI), obtidos de acordo com as metodologias indicadas no Decreto Ministeriale nº248 de 1999 e a norma Holandesa VROM (2000) (Holanda), que define os valores de intervenção para solos (Tabela XXII), obtidos de acordo com a norma NEN 6465 de 1981.

Tabela XXI: Valores de concentração limite no solo (mg/Kg) (adaptado de Decreto Ministeriale nº471, 1999).

Elemento	Espaços públicos, privados e residenciais (mg/Kg)	Espaços Comerciais e Industriais (mg/Kg)
Arsénio (As)	20	50
Berílio (Be)	2	10
Cobalto (Co)	20	250
Crómio (Cr)	150	800
Níquel (Ni)	120	500
Chumbo (Pb)	100	1000
Cobre (Cu)	120	600
Selénio (Se)	3	15
Estanho (Sn)	1	350
Tálio (Tl)	1	10
Vanádio (V)	90	250
Zinco (Zn)	150	1500

Em termos de amostragem, nenhuma amostra de solo pode ser utilizada para espaços públicos, privados ou residenciais por apresentarem teores superiores aos indicados na Tabela XXI, em pelo menos um dos elementos. Contudo, e de acordo com a mesma tabela, todas as amostras poderão ser utilizadas para espaços comerciais e industriais, à excepção das amostras Cls 8, Cls 13, Cls 21 e Cls 26, por possuírem teores de arsénio (As) superiores aos permitidos pela legislação utilizada (Tabela XXI).

Tabela XXII: Valores de Intervenção para solos (mg/Kg) (adaptado de VROM 2000).

Elementos	Valores de Intervenção (mg/Kg)
Arsénio (As)	55
Bário (Ba)	625
Berílio (Be)	30
Crómio (Cr)	380
Cobalto (Co)	240
Cobre (Cu)	190
Níquel (Ni)	210
Chumbo (Pb)	530
Molibdénio (Mo)	200
Selénio (Se)	100
Tálio (Tl)	15
Estanho (Sn)	900
Vanádio (V)	250
Zinco (Zn)	720

Relativamente à amostragem, só as amostras Cls 13 e Cls 26, necessitam de uma intervenção adequada, pois possuem teores de arsénio (As), superiores aos teores indicados na tabela XXII.

Apesar de nas tabelas anteriores não haver limites indicados para o urânio, é de referir que as amostra Cls 8A e Cls 10, devido aos seus teores neste elemento, não deveriam ser utilizadas para qualquer fim.

Embora tratando-se de legislação de dois países diferentes, ambas limitam o uso das amostras Cls 13 e Cls 26 pelos seus teores de arsénio.

4.6.3. Escombreyras

Relativamente às escombreyras, é absolutamente desaconselhável a utilização do material que as constitui para qualquer fim, pois apresenta teores elevados, nomeadamente na maioria dos elementos metálicos e metalóides, mais propriamente de ferro (Fe), arsénio (As), zircónio (Zr) e, sobretudo, teores elevados de tório (Th) e bastante elevados de urânio (U), quando em comparação com os teores de fundo geoquímico dos sedimentos de corrente e dos solos. Por isso, os materiais aí localizados, representam um grande risco ambiental pois poderão promover a contaminação da sua envolvente, tanto por mobilidade física como química, utilizando a água de escorrência e de infiltração.

A contaminação ambiental por elementos metálicos e metalóides, decorrente de actividades mineiras, pode ocorrer ao nível do ar pela emissão de partículas e ao nível da água

através da lixiviação dos materiais que restam da exploração mineira (por exemplo: escombreliras) pelas águas de escorrência (Hill, 2004). Se esses materiais possuírem teores elevados de enxofre, como é o caso dos sulfuretos, em contacto com o oxigénio, por oxidação leva à formação de ácido sulfúrico que pode criar um ambiente ácido, mobilizando mais facilmente os elementos químicos em solução (Hill, 2004). Os metais e os ácidos podem contaminar uma elevada extensão de linhas de água tributárias e de rios, a jusante das explorações (Hill, 2004). Esta contaminação, também pode ocorrer ao nível dos solos, se estes não forem cuidadosamente protegidos durante a exploração da mina e devidamente recuperados após a actividade da mesma pois, os elevados teores em metais tornam-no inutilizável para outros fins (Hill, 2004).

Além disso, ao contrário do que sucede com os poluentes no ar e na água (efeito de diluição), nos solos e sedimentos muitos deles tendem a acumular-se (Alloway & Ayres, 1997). De facto, este meio funciona como um recipiente para os poluentes, pois através do processo de adsorção ficam ligados à superfície dos colóides do solo e sedimentos. Quando isto acontece, os poluentes ficam imobilizados e indisponíveis para absorção pelas plantas e, quanto mais forte for a adsorção mais difícil se torna a mobilização e a biodisponibilização dos poluentes (Alloway & Ayres, 1997).

Existem diferentes reacções de adsorção entre os colóides do solo e os poluentes. Essas reacções são determinadas pela composição dos solos, nomeadamente a quantidade e tipo dos minerais de argila, matéria orgânica e oxi-hidróxidos; o pH, o estado redox do solo e a própria natureza dos poluentes (Alloway & Ayres, 1997). A matéria orgânica existente nos solos assume um papel importante na troca catiónica e na formação de complexos (maioritariamente quelatos com metais-traço) (Alloway & Ayres, 1997)

Segundo Hill (2004), os elementos químicos persistentes, bioacumuláveis e tóxicos, são aqueles que apresentam maior preocupação em termos ambientais. Dentro destes, destacam-se alguns metais pois, na verdade todos os metais são persistentes mas, nem todos são persistentes, bioacumuláveis e tóxicos (PBT's) (Hill, 2004).

Destes metais, cinco são considerados nutrientes (cobre, crómio, níquel, selénio, e zinco), contudo se os seus teores forem superiores aos necessários como nutrientes, estes metais podem tornar-se tóxicos (Hill, 2004). Por outro lado, metais como ferro, cobalto, manganês e molibdénio, também são nutrientes, mas não são considerados como PBT'S (Gilbert, 2004). Contudo, metais como o arsénio, berílio, e o chumbo, não sendo considerados nutrientes, são também metais persistentes, bioacumuláveis e tóxicos (Hill, 2004).

Para além dos elementos metálicos e metalóides, outra preocupação ambiental a ter em conta, sobretudo em relação a minas de urânio, é a exposição às radiações ionizantes emitidas por estes elementos. Contudo, os seus efeitos na saúde, variam consoante o tipo de radiação (partículas α , partículas β (electrões), raios- γ ou raios-X) (Gilbert, 2004) e a dose a que se está exposto.

Uma vez que o urânio decai em isótopos radioactivos predominantemente emissores de partículas α e é um elemento quimicamente tóxico, constitui um risco para a saúde (Schöner,

et., al., 2008). No caso particular das minas de urânio, o risco ambiental pode ser acrescido pela libertação do gás radão, que é radioactivo e bastante frequente nestes locais, ocorrendo em elevada concentração nalguns solos associados a este tipo de mineralizações (Gilbert, 2004).

4.6.4. Efeitos na saúde

Segundo Gilbert (2004), a dose com que uma determinada substância é administrada ou exposta condiciona o seu efeito de toxicidade. Esta noção é muito importante para perceber que, mesmo tratando-se de nutrientes essenciais para o funcionamento do organismo, os elementos metálicos, podem tornar-se tóxicos.

Neste sentido, a exposição a elevados teores de crómio (Cr), pode provocar insuficiência renal, quando em contacto com a pele pode causar dermatite e se inalado é irritante para as fossas nasais. Deverá ser considerado como um cancerígeno pulmonar, quando em excesso (Gilbert, 2004). De seguida, são apresentados os efeitos na saúde de alguns dos elementos, indicados como possíveis poluentes, para a área mineira de Canto do Lagar.

O ferro (Fe) em excesso pode provocar vômitos, insuficiência hepática, insuficiência renal e, até mesmo a morte. Nos casos de exposição crónica, pode levar à ulceração do tracto intestinal resultando na defecação de fezes negras e vômitos com sangue (Gilbert, 2004).

Quanto ao arsénio (As), exposições agudas a este elemento, podem provocar dor gastrointestinal, perda dos sentidos, paragem cardiovascular e, até mesmo a morte. Exposições crónicas ou em resultado da sobrevivência a exposições agudas, pode provocar graves lesões no sistema nervoso periférico e central, bem como, causar cancro do pulmão e da pele (Gilbert, 2004).

Exposições a elevadas concentrações de gálio podem causar insuficiências renais, náuseas, vômitos e anemia (Gilbert, 2004).

Uma forma de tratar envenenamentos com elementos metálicos e metalóides é através da sua eliminação do organismo através da utilização de agentes quelantes. Contudo, o melhor tratamento é prevenir a exposição, eliminando a sua fonte (Gilbert, 2004).

Relativamente às radiações ionizantes, o seu primeiro efeito para o organismo é o cancro. Estas radiações podem até afectar os fetos das mães expostas durante a gravidez (Gilbert, 2004).

A exposição a este tipo de radiação, tem uma relação directa entre a dose e a resposta isto é, quanto maior a radiação recebida, maior será a probabilidade de desenvolver cancro (Gilbert, 2004). Para além destas características, o facto de possuírem energia suficiente para removerem electrões de átomos, pode constituir um risco elevado para a saúde, pois o ADN pode ser danificado (Gilbert, 2004).

No caso das minas de urânio, o problema está relacionado com a exposição ao gás radão (^{222}Rn), que é radioactivo e que causa cancro do pulmão e do esófago quando inalado (Gilbert, 2004). O radão faz parte da cadeia de decaimento do urânio (^{238}U) e a partir do momento que entra no organismo, até decair para o chumbo (^{206}Pb), foram emitidas 5 partículas α e 5 partículas β , passados cerca de 150 dias após a exposição - daí o seu risco para a saúde (Mayer-Kuckuk, 1993).

5. CONSTRUÇÃO DE MAPAS DE ANOMALIAS GEOQUÍMICAS E RISCO AMBIENTAL

A construção de mapas de anomalias geoquímicas e consequente risco ambiental foi efectuada recorrendo à Krigagem por Indicatriz das duas componentes principais resultantes da análise multivariada dos diversos resultados obtidos. Para tal, foi utilizado o módulo de Geoestatística do ArcGis 9.3.1, no Laboratório de SIG/CAD, da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

A sua utilização deve-se ao facto desta técnica, possibilitar a criação de mapas de probabilidades, o que nos poderá indicar uma ideia da possível contaminação da área em estudo (Soares, 2000).

Na sua elaboração foi utilizado como medida de “corte” a mediana de cada uma das componentes principais, por ser menos sensível aos extremos. Esta técnica foi realizada, apenas, nas direcções SE-NW e SW-NE para os sedimentos de corrente, por corresponderem à direcção de escoamento das linhas de água existentes na área mais próxima da mina e da linha de água onde foram recolhidas as amostras fora da influência. As direcções NW-SE, SE-NW, S-N e W-E, por sua vez, foram utilizadas para os solos e escombreciras, por corresponderem às direcções predominantes do vento naquele local. Este critério prende-se com o facto de ser importante verificar como é que se comporta a distribuição das componentes principais face à direcção do escoamento das linhas de água (possível efeito de diluição), e direcção dominante dos ventos, de modo a analisar o possível comportamento das duas componentes principais quanto à mobilidade dos materiais.

5.1. Sedimentos de Corrente

Os resultados da Krigagem por Indicatriz na direcção SE-NW são apresentados nas Figuras 15 e 17. As Figuras 16 e 18 mostram os semi-variogramas correspondentes. Para a direcção SW-NE, os resultados obtidos, não permitem uma interpretação coerente e, por isso, não são apresentados.

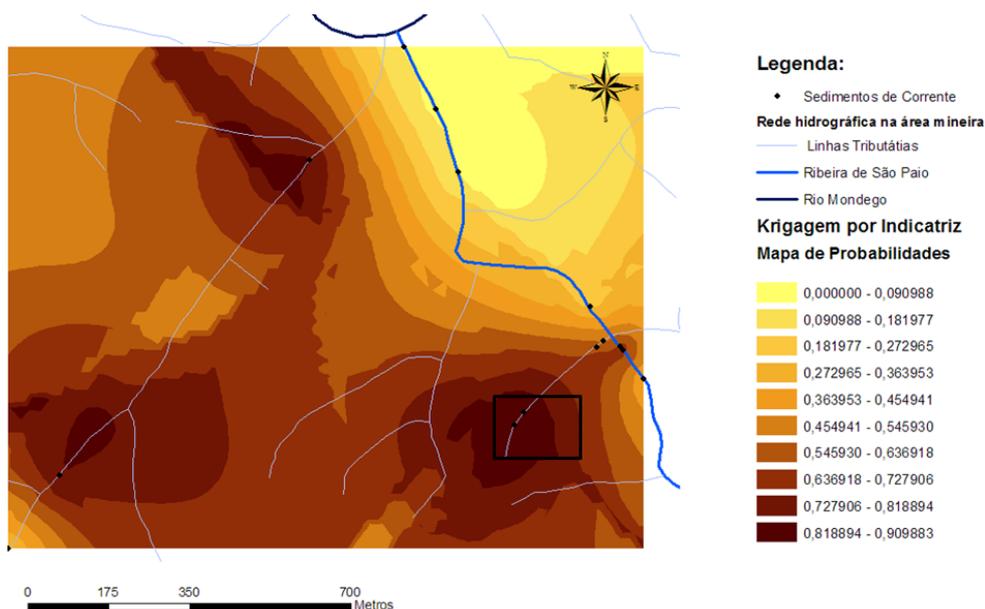


Figura 15: Krigagem por Indicatriz para a direcção de escoamento da Ribeira de São Paio - componente principal 1. O rectângulo a negro representa a localização da exploração mineira.

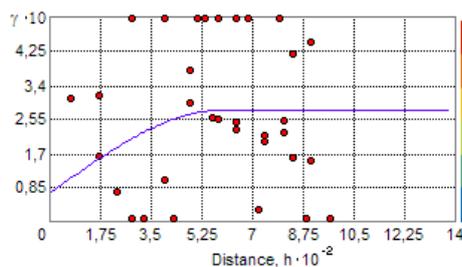


Figura 16: Semi-variograma para a direcção SE-NW, de modelação esférica, com "nugget" = 0,07; "Partial Sill" = 0,20832 e "Major Range" = 600 – componente principal 1.

Analisando a Figura 15, pode verificar-se que a probabilidade de manifestação da componente principal 1 ao longo da Ribeira de São Paio, vai diminuindo na direcção NW, até chegar perto do Rio Mondego, possuindo aí, probabilidade entre 0 e 9%. Se assim o é, também podemos dizer que os parâmetros, representados pela componente principal 1, poderão sofrer um decréscimo nos seus teores na direcção NW, à excepção daqueles que esta representa mas opostos aos primeiros, que poderão sofrer um aumento nos seus teores, como descrito no ponto 4.5.1.

Relativamente à figura 16, pode verificar-se que o semi-variograma apresentado um “nugget” relativamente baixo e um “Partial Sill” bastante elevado. O “Major Range” igual a 600, corresponde à distância para a qual o número de pontos estabilizou em torno da linha da variância. Olhando só para esta representação, não é possível verificar a distribuição espacial dos parâmetros analisados.

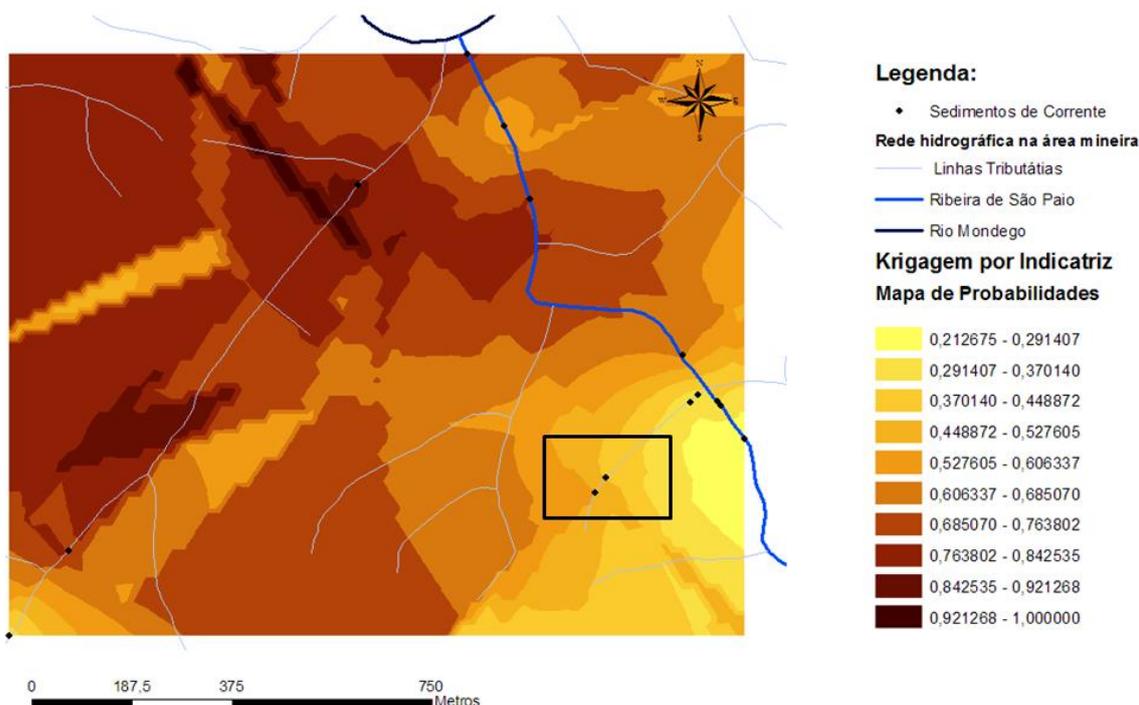


Figura 17: Krigagem por Indicatriz para a direcção de escoamento da Ribeira de São Paio - componente principal 2. O rectângulo a negro representa a localização da exploração mineira.

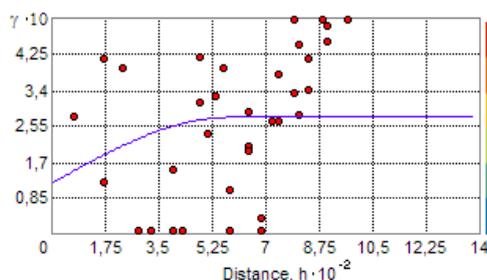


Figura 18: Semi-variograma para a direcção SE-NW, de modelação esférica, com "nugget" = 0,12; "Partial Sill" = 0,15546 e "Major Range" = 580 - componente principal 2.

Analisando a Figura 17, pode verificar-se que há um aumento gradual da probabilidade de manifestação da componente principal 2 na direcção de escoamento da Ribeira de São Paio, até a mesma sofrer um desvio para W, onde começa a diminuir até à posição da amostra Clsd 16, (Figura 10a), para de novo aumentar até à região perto do Rio Mondego. Isto significa que há uma flutuação dos teores dos parâmetros explicados pela componente principal 2, tendo sempre em atenção o que foi referido no ponto 4.5.1.

Relativamente à figura 18, pode verificar-se que o semi-variograma apresentado um "nugget" relativamente próximo do "Partial Sill". O "Major Range" igual a 580, corresponde à distância para a qual o número de pontos estabilizou em torno da linha da variância. Olhando só para esta representação, não é possível verificar a distribuição espacial dos parâmetros analisados.

5.2. Solos

OS resultados da Krigagem por Indicatriz na direcção NW-SE são iguais aos da direcção SE-NW, figurando apenas no trabalho os mapas de uma destas direcções (NW-SE, por ser a direcção com maior predominância). As restantes direcções apresentavam resultados que impossibilitavam uma análise mais coerente das probabilidades de manifestação de cada uma das componentes principais, pelo que não são apresentados no trabalho. Assim, as Figuras 19 e 21 apresentam os resultados para a Krigagem por Indicatriz para a direcção predominante do vento NW-SE para cada uma das componentes principais e as Figuras 20 e 22 os respectivos semi-variogramas.

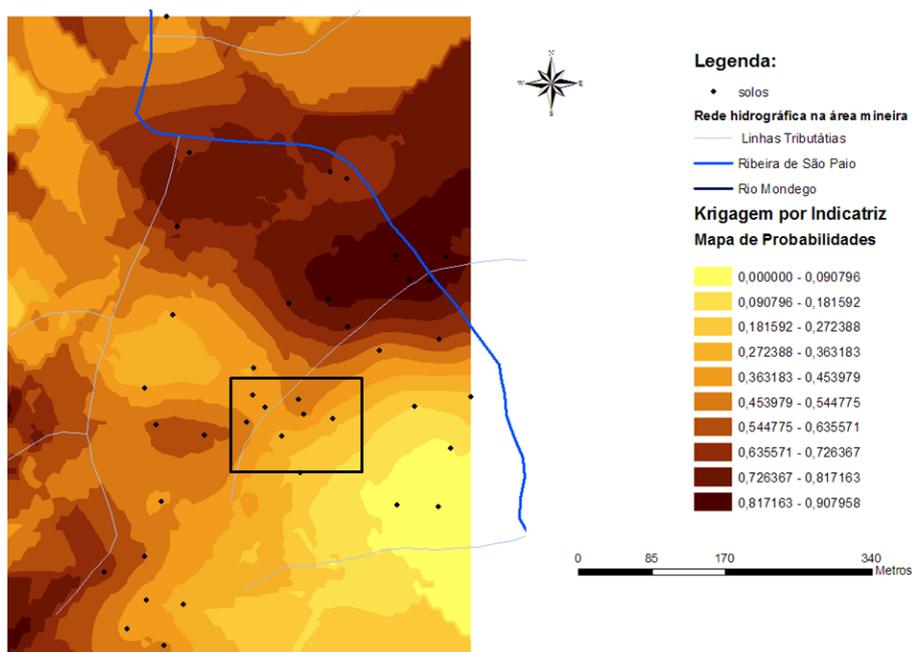


Figura 19: Krigagem por Indicatriz para a direcção predominante do vento NW-SE - componente principal 1. O rectângulo a negro representa a localização da exploração mineira.

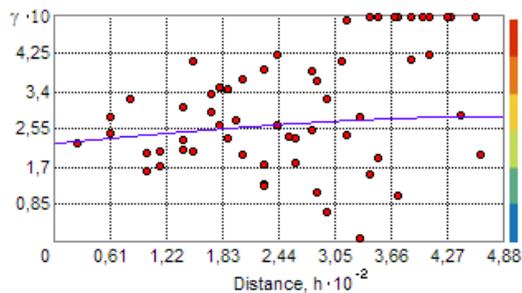


Figura 20: Semi-variograma para a direcção NW-SE, de modelação esférica, com “nugget” = 0,22106; “Partial Sill” = 0,060763 e “Major Range” = 480 - componente principal 1.

Analisando a Figura 19, pode verificar-se que se o vento soprar de NW, a probabilidade de manifestação da componente principal 1 vai diminuindo gradualmente em direcção a SE e aumentando quer para NE, quer para SW. Esta situação está de acordo com o sugerido em 4.5.2.

Relativamente à figura 20, pode verificar-se que o semi-variograma apresentado um “nugget” relativamente elevado e um “Partial Sill” bastante baixo. O “Major Range” igual a 480, corresponde à distância para a qual o número de pontos estabilizou em torno da linha da variância. Olhando só para esta representação, não é possível verificar a distribuição espacial dos parâmetros analisados.

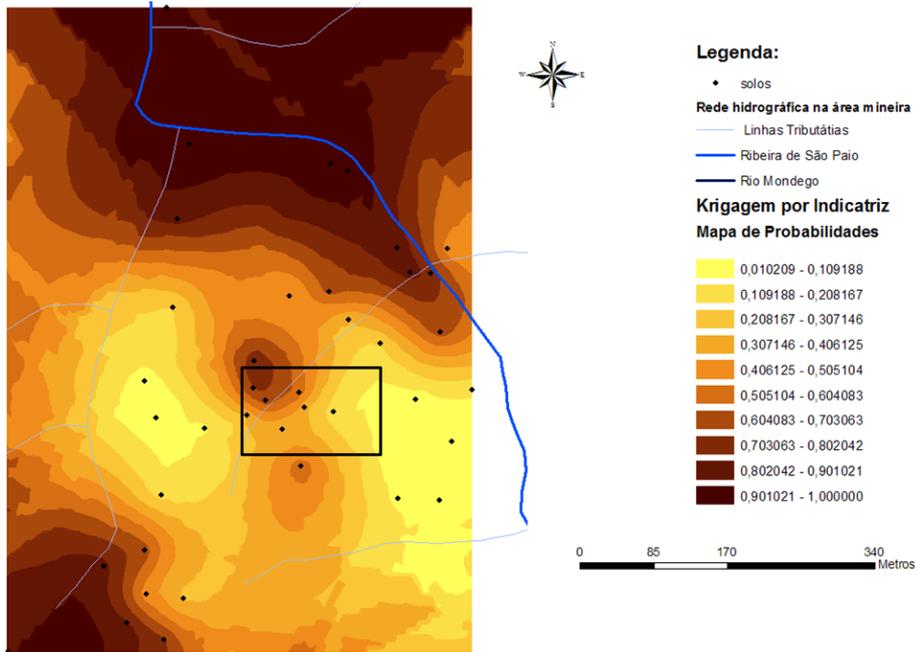


Figura 21: Krigagem por Indicatriz para a direção predominante do vento NW-SE - componente principal 2. O retângulo a negro representa a localização da exploração mineira.

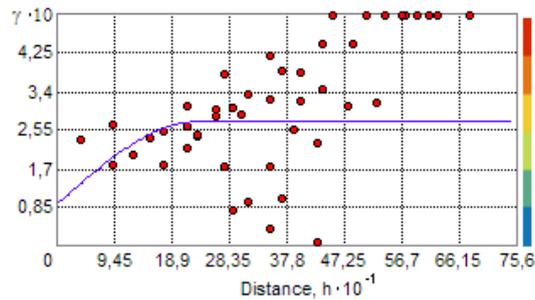


Figura 22: Semi-variograma para a direção NW-SE, de modelação esférica, com “nugget” = 0,09; “Partial Sill” = 0,182399 e “Major Range” = 230 - componente principal 1.

Analisando a Figura 21, pode verificar-se que se o vento soprar de NW, a probabilidade de manifestação da componente principal 2, tende a diminuir gradualmente do centro para a periferia, para depois aumentar novamente, sobretudo na direção N e SW. Esta situação poderá levar à manifestação do citado em 4.5.2, em relação à componente principal 2.

Relativamente à figura 22, pode verificar-se que o semi-variograma apresentado um “nugget” relativamente baixo e um “Partial Sill” bastante elevado. O “Major Range” igual a 230 corresponde à distância para a qual o número de pontos estabilizou em torno da linha da variância. Olhando só para esta representação, não é possível verificar a distribuição espacial dos parâmetros analisados.

5.3. Escombreyras

Relativamente a este ponto, os resultados obtidos para as direcções já mencionadas, não permitiam fazer uma análise coerente dos mesmos e, por isso, não constam do trabalho.

É de referir que estas análises foram efectuadas sem considerar o coberto vegetal, topografia, assim como as variações de direcção que o vento sofre com a sua ocorrência.

Alguns resultados, poderiam ser mais elucidativos e um pouco mais rigorosos se se apresentassem mais pontos de amostragem nas direcções testadas contudo, face à extensa rede de amostragem aqui apresentada poderia tornar ainda mais complicadas as diversas interpretações.

Em termos de escombreyras, torna-se bastante complicado obter resultados relativamente à distribuição espacial, pois ambas estão muito próximas, uma da outra e, qualquer tentativa de alargar a amostragem poderia levar à mesma situação - não ser possível fazer interpretações coerentes. Contudo, e de acordo com o que foi referido anteriormente, não fará sentido testar outras direcções.

Estas análises são válidas para a modelação dos respectivos semi-variogramas e para os dados obtidos no cálculo de cada uma das componentes principais.

No geral, os mapas de probabilidades para as duas componentes principais escolhidas, apresentam comportamentos distintos para as amostras de sedimentos de corrente e de solos, como se pode verificar anteriormente. Relativamente às amostras de material de escombreyra, não é possível estabelecer uma relação, visto que os mapas obtidos não permitiram tirar conclusões. Contudo, estes mapas, foram importantes para verificar qual a tendência de expressão de cada uma das componentes principais para a área de influência da exploração mineira e para a área fora da sua influência.

6. PROPOSTA DE MEDIDAS DE MONITORIZAÇÃO E MINIMIZAÇÃO DOS SEUS EFEITOS AMBIENTAIS

Para a monitorização da área mineira de Canto do Lagar, e de acordo com o referido anteriormente, podem ser propostas algumas medidas de monitorização como sejam: recolha de amostras de água superficiais e subsuperficiais ao longo de vários pontos localizados a montante e a jusante da área de influência mineira; fazer um estudo da sazonalidade dos vários parâmetros e elementos determinados, com pelo menos, uma colheita na época húmida e outra colheita na época mais seca. Na área em estudo assume particular importância a avaliação das águas subsuperficiais, face aos diversos poços de água existentes e utilizados para rega de terrenos agrícolas.

Ao longo do tempo, por exemplo, de 5 em 5 anos, deveria repetir-se a rede de amostragem apresentada neste trabalho, para averiguar a evolução/atenuação dos contaminantes existentes nesta área mineira abandonada. Propõe-se o intervalo temporal de 5 anos, por se tratar de uma mina de urânio e ser possível testar a atenuação natural dos poluentes (Gavrilescu, et. al., 2007).

Face aos resultados obtidos, a primeira medida de minimização dos efeitos ambientais da mina de Canto do Lagar, embora não considerada como fortemente poluída, deveria ser a remoção das escombrelas, para um centro destinado ao tratamento destes materiais, por representarem uma fonte de exposição à grande maioria dos elementos metálicos e metalóides analisados e às radiações ionizantes, anteriormente referidas. Segundo os relatórios internos da EDM (2003), uma parte da escombrela de minério pobre, já foi retirada para o centro de tratamento de minérios marginais do Castelejo. Este tipo de tratamento é o mais adequado para a presença de elementos metálicos e metalóides, permitindo a prevenção da exposição e, conseqüente eliminação da sua fonte (Gilbert, 2004). Esta situação, também se aplica à exposição a radiações ionizantes. Se esta solução se mostrar economicamente inviável e, para evitar contaminações de outros locais por transporte do material das escombrelas, pelos veículos utilizados, podem utilizar-se outras medidas de minimização.

Estas medidas podem ser as seguintes: atenuação natural; utilização de capas impermeáveis; lavagem do solo; solidificação dos contaminantes; conversão química dos contaminantes em formas solúveis na água; imobilização química; utilização de agentes quelantes para a remoção do urânio; biomineralização com formação de sulfatos e fosfatos metálicos insolúveis, através da acção de microorganismos; fitoestabilização; fitodegradação/fitotransformação; fitovolatilização; risodegradação; fitohidráulica; biosorção; electromigração e electroosmose (Gavrilescu, et. al., 2007).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo do risco ambiental da mina de urânio abandonada de Canto do Lagar foi efectuado através dos sedimentos de corrente, solos e escombrelas, recolhidos na área de influência da exploração mineira e sua comparação com amostras localizadas fora desta área de influência. Para a maioria dos sedimentos de corrente pode indicar-se que não estão poluídos, embora algumas amostras se classifiquem como pouco a moderadamente poluídas, nomeadamente ao nível da condutividade eléctrica, matéria orgânica, teor em molibdénio, zircónio, urânio e bromo. Como seria de esperar, são as amostras de sedimentos de corrente localizadas dentro da influência da área mineira que apresentam maior poluição. Pontualmente, uma amostra de sedimento de corrente (Clsd 15) está extremamente poluída em gálio.

Relativamente aos solos da área, estes não deverão ser utilizados para espaços públicos, privados ou residenciais, de acordo com os valores definidos no Decreto Ministeriale nº 471 de 1999. Contudo, poderão ser utilizados para espaços comerciais e industriais, à excepção de alguns locais (amostras Cls 8, Cls 13, Cls 21 e Cls 26), pois apresentam teores de arsénio superiores aos permitidos. Comparativamente com a legislação Holandesa (VROM, 2000), os solos localizados dentro da área de influência da mina de Canto do Lagar, não necessitam de intervenção, com excepção das amostras Cls 13 e Cls 26, por possuírem teores de arsénio, superiores aos permitidos. Embora não estejam legislados os valores de urânio permitidos nos solos, em função da sua possível utilização é de considerar que a amostra Cls 10 estará contaminada face aos elevados teores de urânio que apresenta e que deverá ser sujeita a adequada intervenção.

Quanto aos materiais de escombrela, é absolutamente desaconselhável a sua utilização para qualquer fim, pois apresenta teores elevados, nomeadamente na maioria dos elementos metálicos e metalóides, mais especificamente de ferro, arsénio, zircónio e, sobretudo, teores elevados de tório e bastante elevados de urânio, quando comparados com os teores de fundo geoquímico dos sedimentos de corrente e dos solos para estes elementos. Assim sendo, os materiais aí localizados, representam um grande risco ambiental pois poderão promover a contaminação da sua zona envolvente, tanto por mobilidade, bem como, por escorrência superficial e subsuperficial. Caso ocorra esta contaminação, os campos agrícolas existentes na envolvente da área mineira, nomeadamente a N-NNE, e a W, poderão ser contaminados, levando à possível contaminação de pessoas e animais que recorrem aos produtos agrícolas aí existentes.

Face aos resultados obtidos na distribuição espacial das componentes principais, pode concluir-se que nos sedimentos de corrente, a probabilidade de manifestação da componente principal 1 ao longo da Ribeira de São Paio, vai diminuindo na direcção NW, até chegar perto do Rio Mondego, possuindo aí, probabilidade entre 0 e 9%. Neste sentido, também pode ser referido que os parâmetros, representados pela componente principal 1, poderão sofrer um decréscimo nos seus teores na direcção NW. Por oposição, os restantes parâmetros e elementos poderão sofrer um aumento nos seus teores, bem como, um aumento gradual da probabilidade de manifestação da componente principal 2 na direcção de escoamento da Ribeira de São Paio, até a mesma sofrer um desvio para W, onde começa a diminuir até à posição da amostra Clsd 16,

para de novo aumentar até à região perto do Rio Mondego. Isto significa que há uma variação irregular dos teores das variáveis explicadas pela componente principal 2. Relativamente aos solos, pode concluir-se que se o vento dominar na direcção de NW, a probabilidade de manifestação da componente principal 1 vai diminuindo gradualmente em direcção a SE e aumentando tanto para NE, como para SW e a probabilidade de manifestação da componente principal 2, tende a diminuir gradualmente do centro para a periferia, para depois aumentar novamente, sobretudo na direcção N e SW.

O estudo das anomalias geoquímicas de sedimentos de corrente e solos quer seja pela técnica utilizada neste trabalho ou por outras técnicas, ajudam a localizar as zonas com maior probabilidade de estarem poluídas nos parâmetros que se estão a analisar. Com este conhecimento, poderá ser possível aplicar medidas de monitorização e/minimização nesses locais, já que aplicá-las de uma só vez e a toda a área da exploração mineira, poderia ser economicamente inviável. Assim, pode concluir-se que os mapas de probabilidades, relativos ao estudo das anomalias geoquímicas, poderão ser uma ferramenta útil para aplicar medidas de minimização nas áreas mineiras de urânio, actualmente abandonadas, pois podem ajudar, por exemplo, nas questões orçamentais necessárias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alloway, B.J., Ayres, D.C., 1997. Chemical Principles of environmental pollution., Second Edition., Blackie Academic & Professional., Chapman & Hall.
- Bánfalvi, G. 2011. Cellular effects of heavy metals: Definition of heavy metals., Gáspár Bánfalvi Editor., Springer Science + Business Media B. V.
- Batista, E., Filipe, E., Funchal-Madeira., 2007. A Influência da variação da condutividade e densidade da água na calibração gravimétrica., apresentado no âmbito da 2ª Conferência Nacional em Metrologia e Inovação.
- Botelho da Costa, J. Lisboa. 2004. Caracterização e constituição do solo: Constituintes do Solo., 7ª Edição., Fundação Caloust Gulbenkian., pp 14-15.
- Carta Geológica de Portugal à escala 1:1000000., edição 2010., LNEG-LGM., Lisboa.
- Cotelo Neiva, J. M. 2003. Jazigos portugueses de minérios de urânio e sua génese., In: Ferreira, M. R. P. V. (ed): A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos., Livro em honra do Prof. J. M. Cotelo Neiva., Imprensa da Universidade de Coimbra., 1: 15-76.
- Decreto Ministeriale nº 248. 21 October. 1999. Approvazione dei metodi ufficiali di analisi chimica del suolo., S.O. Gazzetta Ufficiale nº248.
- Decreto Ministeriale nº 471. 1999. Regolamento recante criteri, procedure e modalità 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, nº22, e successive modificazioni e integrazioni., Gazzetta Ufficiale nº293 de 15/12/1999., Suplemento Ordinário nº218.
- E-GEO/LNEG. 2004-2010., Glossário de termos Hidrogeológicos., disponível para consulta em: http://e-geo.ineti.pt/bds/lexico_hidro/glossario.aspx?letra=C., consultado em 31 de Agosto de 2011.
- Empresa de Desenvolvimento Mineiro - Relatórios Internos., 2003.
- Ferreira de Almeida, C. A., Coimbra. 2009. 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. pp 1.
- Freitas, M. da C. Lisboa. 2005. Geologia e Ambiente - Recursos Geológicos., Universidade Aberta., pp 213.
- Galopim de Carvalho, A. M. Lisboa. 1997. Geologia - Petrogénese e Orogénese., Universidade Aberta., pp 38-53.
- 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.
- Hill, M. K. 2004. Understanding Environmental Pollution: A Primer., Second Edition., Cambridge University Press., pp
- Housecroft, E., Sharpe, A.G. 2008. Inorganic Chemistry. Prentice Hall. Harlow.
- Instituto de Meteorologia, IP. 2008., Normais Climatológicas de 1971-2000., consultável em: <http://www.meteo.pt/pt/oclima/clima.normais/>., consultado em 04/10/2011.
- Instituto Geográfico Português. Lisboa. 1990. Carta de Ocupação do Solo de 1990., disponível para download em: <http://www.igeo.pt/produtos/CEGIG/COS.htm>., consultado em 10 de Março de 2010.
- Junta de Freguesia de Arcozelo da Serra. Arcozelo da Serra. 2006. Freguesia de Arcozelo da Serra., consultável em: <http://www.arcozelodaserra.com/freguesia.html>., consultado em 1 de Janeiro de 2010.
- Maroco, J. Lisboa. Abril. 2003. Análise Estatística com utilização do SPSS: Análise em Componentes Principais., 1ª Edição., Edições Sílabo., pp 231-257.
- Marques, M. J., Martinez-Conde, E., Rovira, J. V., Ordenez, S., Basque Country, Spain. 2001. Heavy metals pollution of aquatic ecosystems in the vicinity of a recently closed underground lead-zinc mine. Environ Geol., pp 1125-1137.
- Mayer-Kuckuk, T. Lisboa. 1993. Física Nuclear: Decaimento dos Núcleos Instáveis., Serviço de Educação., Fundação Caloust Gulbenkian., pp 105-107.
- Miranda, P. M. A. Lisboa. 2009. Meteorologia e Ambiente - Fundamentos de Meteorologia, Clima e Ambiente Atmosférico., Segunda Edição., Universidade Aberta., pp 277-284.
- Müller, U. 2007., Inorganic Structural Chemistry., John Wiley, Chichester.
- Müller., 1979. Schwer Metall. In: Den sediment des Rheins - Veränderungen seit 1971. Umschau 79:778-783.
- Murteira, B. J., G. Hubert e J. Black. Lisboa. Julho. 1983. Estatística Descritiva: Dispersão Absoluta, Dispersão Relativa., McGraw-Hill., pp 105-109.

- Quelhas dos Santos, J. Mem Martins. Abril. 2001. Fertilização e Ambiente - Reciclagem Agro-Florestal de Resíduos e Efluentes: Solos., Edição nº137053/7621., Publicações Europa-América.
- Quintela, A. C., 1974., Escoamento - Valores Médios Anuais (mm)., disponível para download em: [http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/.](http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/), consultado em 10 de Março de 2010.
- Rebello da Silva., 2000., Manual de Fertilização das Culturas., INIA - Laboratório Químico Agrícola., Stória Editores, Lda.
- Ribeiro, A. F. P. 2010. Fotografias da área mineira de Canto do Lagar.
- Schöner, A., et al., Geochemistry of natural wetlands in former uranium milling sites (eastern Germany) and implications for uranium retention. *Chemie Erde-Geochemistry* (2008), doi: 10.1016/j.chemer.2007.12.003.
- Serviço Meteorológico Nacional. 1974., Carta Base: Vento - frequência do rumo e da velocidade (18 T.M.G)., disponível para download em: [http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/.](http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/), consultado em 10 de Março de 2010.
- Serviço Meteorológico Nacional. 1974., Insolação - Valores Médios Anuais (horas), Período 1931-1960., disponível para download em: [http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/.](http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/), consultado em 10 de Março de 2010.
- Serviço Meteorológico Nacional. 1974., Temperatura - Valores Médios Anuais (graus centígrados), Período 1931-1960., disponível para download em: [http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/.](http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/), consultado em 10 de Março de 2010.
- Serviços Cartográficos do Exército. 1974. Carta Militar de Portugal nº201, estéereofotogrametria aérea e restituição., Escala 1:25000, Projecção Gauss, equidistância de 10 metros, Coordenadas Militares do ponto central - origem das coordenadas geodésicas: M - 200Km e P- 300Km.
- Shaw, B. P., Sahu, S. K., Mishra, R. K., Berlin. 2004. In: Prasad MNV(ed) Heavy metals stress in plants., Second Edition., Springer., pp 84-126.
- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH). 1995-2011. Boletim de Precipitação do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, para o ano hidrológico de 2009/2010 na área de influência da estação de monitorização da Covilhã., consultável em: <http://snirh.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.1.>, consultado em 04 de Outubro de 2011.
- Soares, A. Lisboa. Março. 2000. Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente., IST Press., pp 103-119.
- VROM. 2000. Circular on target values and intervention values for soil remediation. The Hague, The Netherlands: The Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, Department of Soil Protection (VROM).