



**UNIVERSIDADE DE COIMBRA**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**Departamento de Ciências da Terra**

**Contaminação Ambiental Associada à Antiga Exploração  
Aurífera da Escádia Grande – Águas, Solos e Sedimentos**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Geociências, na  
Universidade de Coimbra

**Mário David da Costa Pereira Sequeira**

**MESTRADO EM GEOCIÊNCIAS**  
**Ramo de Ambiente e Ordenamento**

**Orientador científico**

Professor Doutor João António Mendes Serra Pratas, Faculdade de Ciências e Tecnologia  
da Universidade de Coimbra

**setembro, 2013**

## Resumo

A antiga mina de ouro da Escádia Grande, localizada na região de Góis, foi explorada durante a ocupação romana na Península Ibérica, e novamente entre 1939 e 1952, tendo sido abandonada desde então. A área é predominantemente constituída pelo Complexo Xisto-Grauváquico (CXG), constituído por filitos e metagrauvasques de onde intruem os filões tipo “Stockwork” que foram aqui explorados. A mina apresenta quatro entradas para as galerias que se encontram seladas, tendo drenos na parte inferior por onde irrompem drenagens mineiras, assim como duas escombreliras que ocupam uma área total de 25.000 m<sup>2</sup>, onde estão misturados os estéreis com o material rejeitado após o processo de tratamento do minério. No presente estudo pretende-se caracterizar e avaliar as alterações ambientais que terão sido geradas pela atividade mineira e seu abandono relativamente às águas, sedimentos de corrente e solos.

As águas que atravessam a área mineira apresentam contaminações que se estendem até 1,5 km para Sul, com teores elevados de As, Cu, Pb e SO<sub>4</sub>, associado a uma diminuição do pH e a um aumento da condutividade elétrica. Devido aos baixos valores de pH, e altos teores de arsénio e níquel, a água torna-se imprópria para consumo humano, sendo, no entanto, o seu uso aceitável para rega.

Os sedimentos de corrente estão sob uma influência direta da mina, apresentando índices de geoacumulação elevados de Ag, As, Au, Fe, Pb, Sb e Zn, sendo de maior preocupação a linha de água que atravessa a área mineira com grande geoacumulação de arsénio, antimónio, prata e ouro, ocorrendo menores contaminações de chumbo, ferro e zinco.

A zona mineira e de filões mineralizados apresentam geralmente solos ácidos e de baixa condutividade. A escombrelira Sul provoca um aumento de teores de As, Au, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb e Zn nos solos da sua periferia, sendo esta escombrelira o principal foco de contaminação. A escombrelira Norte provoca um aumento dos teores de Cu e Ni nos solos anexos a esta. Enquanto que os filões com mineralização, localizados a Este da área mineira, provocam um aumento dos teores dos solos em Ag, Au e Sb.

**Palavras-chave:** Escádia Grande, escombreliras, drenagem ácida de mina, contaminação.

## Abstract

The old Escádia Grande gold mine, located in the Góis region, was exploited during the roman occupation in the Iberian Peninsula, and again between 1939 and 1952, having been abandoned ever since. The area is predominantly constituted by the “Complexo Xisto-Grauvaquico” (CXG), consisting of phyllites and metagraywackes, with intrusions of stockwork type veins that where explored. The mine has four entrances to the galleries that are sealed, with drains at the bottom that pour mining drainage, as well as two tailing occupying a total area of 25,000 m<sup>2</sup>, which are a mixed of the sterile material and the discarded materials from the process of ore treatment. The presented study describes and evaluates the environmental changes that have been generated by the mining activity and its abandonment in terms of water, stream sediments and soils.

The waters that travel through the mining area show a contamination that extends up to 1.5 km South, with high levels of As, Cu, Pb and SO<sub>4</sub>, associated with a decrease in pH and an increase in electrical conductivity. Due to the low pH values, and high concentrations of arsenic and nickel, the water becomes unfit for human consumption, being, however, acceptable for irrigation.

The stream sediments are under the direct influence of the mine, presenting high geoaccumulation indexes of Ag, As, Au, Fe, Pb, Sb and Zn, being the highest preoccupation the water line that crosses the mining area, with high geoaccumulation of arsenic, antimony, silver and gold, occurring smaller contaminations of lead, iron and zinc.

The mining area and mineralized veins area present, generally, acid soils with low electric conductivity. The Southern tailings causes, in the surrounding soils, an increase in concentrations of As, Au, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb and Zn, being the main focus of soil contamination. The Northern tailings causes an increase of Cu and Ni concentrations in the nearby soils. While the mineralized veins increase the concentrations of Ag, Au and Sb.

**Keywords:** Escádia Grande, tailings, acid mine drainage, contamination.

## **Agradecimentos**

Esta dissertação só foi possível com o apoio de diversas pessoas e instituições que me acompanharam ao longo deste trabalho, assim como na minha vida académica, e a quem quero desde já expressar o meu agradecimento.

Ao meu coordenador, Professor Doutor João Pratas, pelo apoio e disponibilidade incansável, orientação, sugestões e contributo crítico fundamental para a realização deste trabalho.

Aos meus Pais, Isabel e David, pela amizade e apoio ao longo de todo o meu percurso académico, indispensáveis a realização deste trabalho, assim como todo o sucesso na minha vida pessoal.

Ao meu irmão João, pela amizade, apoio, paciência, colaboração na recolha de amostras e elucidação nas questões de ordem estatística.

Ao Hugo Correia, pela amizade, apoio e colaboração na recolha de amostras.

Ao Professor Doutor José Manuel Azevedo, pelo apoio e por facultar as sondas de pH e condutividade elétrica.

Ao Professor Doutor Fernando Pedro Figueiredo, pela disponibilidade e por facultar a sonda multi-parâmetros.

A Professora Doutora Lídia Catarino, pela disponibilidade e bibliografia facultada.

Ao Departamento de Ciências da Terra, todos os seus docentes pelos conhecimentos transmitidos, indispensáveis à realização deste trabalho, sem esquecer todos os seus funcionários, especialmente a Doutora Cristina Bojo e a Senhora Conceição Cruz pela ajuda na localização bibliográfica.

Ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia, especialmente ao Engenheiro Augusto Filipe, pelos dados fornecidos relativos a Mina da Escádia Grande.

# Índice

Resumo.....	i
Abstract.....	ii
Agradecimentos .....	iii
Índice .....	iv
Índice de Quadros .....	viii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Anexos.....	xiv
Abreviaturas.....	xv
1. Introdução .....	1
1.1 Objetivos do estudo .....	1
2. Caracterização da Área de Estudo .....	3
2.1 Localização geográfica .....	3
2.2 Enquadramento Geológico .....	4
2.2.1 Geologia da região de Góis .....	5
2.2.1.1 Complexo Xisto-Grauváquico .....	5
2.2.1.2 Filões quartzosos .....	6
2.2.1.3 Grés Arcósitos – “Formação da Coja” .....	6
2.2.1.4 Formação de Campelo .....	6
2.2.1.5 Aluviões.....	7
2.3. Geologia da área mineira da Escádia Grande.....	7
2.3.1 Complexo Xisto-Grauváquico .....	7
2.3.2 Filões Quartzosos.....	11
2.3.2.1 Petrografia do Filão .....	12
2.4. Enquadramento Tectónico .....	13
2.4.1 Fracturação .....	14
2.4.2 Diaclases.....	14
2.5 Mina da Escádia Grande.....	15
2.5.1 Génese.....	15
2.5.2 Exploração da mina.....	16
2.6 Enquadramento Geomorfológico .....	17
2.7 Enquadramento Hidrográfico .....	18
2.8 Clima .....	18

2.9 Ocupação do solo .....	19
3. Principais Impactes Ambientais Associados à Exploração Mineira .....	20
3.1 Introdução.....	20
3.2 Impactes sobre a água .....	20
3.2.1 Drenagens Ácidas de Minas (AMD).....	21
3.2.2 Génese das Drenagens Ácidas de Minas.....	22
3.2.3 Impactes sobre a água na área de estudo.....	26
3.3 Impactes sobre o solo.....	27
3.3.1 Impactes gerados pelas escombrelas sobre os solos.....	27
3.4 Impactes sobre a fauna e flora.....	30
3.5 Impactes sobre o ar .....	30
3.6 Impactes sobre o clima .....	31
3.7 Impactes sobre o ambiente sonoro .....	31
3.8 Impactes sobre o equilíbrio geodinâmico .....	31
3.9 Impactes sobre a paisagem .....	32
3.10 Impactes sobre o Homem .....	32
3.11 Súmula qualitativas dos impactes previsíveis .....	34
4. Metodologia.....	35
4.1 Métodos de amostragem .....	35
4.1.1 Amostragem de águas superficiais.....	35
4.1.2 Amostragem de solos.....	36
4.1.3 Amostragem de sedimentos de corrente .....	38
4.1.4 Amostragem de materiais de escombrelas.....	38
4.2 Medições de parâmetros “ <i>in situ</i> ” .....	39
4.3 Tratamento de amostras .....	41
4.3.1 Tratamento das amostras de águas superficiais.....	41
4.3.2 Tratamento das amostras de solos e materiais de escombrela .....	41
4.3.3 Tratamento das amostras de sedimentos de corrente .....	41
4.4 Técnicas analíticas .....	42
4.4.1 Águas superficiais .....	42
4.4.1.1 Determinação de bicarbonatos .....	42
4.4.1.2 Determinação de sulfatos .....	43
4.4.1.3 Determinação de nitratos.....	44
4.4.1.4 Determinação de cloretos.....	44
4.4.1.5 Determinação de catiões .....	45
4.4.1.6 Erro analítico.....	45

4.4.2 Solos, sedimentos de corrente e material de escombrelras.....	46
4.4.2.1 Determinação do pH.....	46
4.4.2.2 Determinação da condutividade elétrica .....	47
4.4.2.3 Determinação de Elementos maiores e menores .....	47
4.5 Trabalhos de gabinete .....	48
4.5.1 Tratamento dos dados cartográficos .....	48
4.5.1.1 Cartografia de unidades geológicas.....	49
4.5.1.2 Cartografia dos trabalhos mineiros .....	49
4.5.1.3 Curvas de nível e linhas de água.....	50
4.5.1.4 Vias de Acesso e tecido urbano.....	50
4.5.2 Registo e tratamento de dados.....	50
4.5.2.1 Tratamento dos dados físico-químicos das águas .....	50
4.5.2.2 Tratamento dos dados das concentrações de elementos das águas.....	51
4.5.2.3 Tratamento dos dados físico-químicos dos solos, sedimentos de corrente e materiais das escombrelras.....	51
5. Resultados .....	52
5.1 Caracterização dos materiais das escombrelras.....	52
5.2 Caracterização das águas superficiais.....	55
5.2.1 – Propriedades físico-químicas das águas .....	59
5.2.1.1 – pH.....	59
5.2.1.2 - Condutividade elétrica .....	60
5.2.1.3 – Temperatura .....	61
5.2.1.4 - Oxigénio Dissolvido .....	61
5.2.2 - Composição química das águas.....	62
5.2.2.1 - Elementos Maiores.....	62
5.2.2.2 - Elementos Vestigiais .....	66
5.2.3 Análise das correlações de parâmetros.....	72
5.2.4 Classificação das águas da área da Mina da Escádia Grande .....	75
5.2.4.1 Diagrama de Piper.....	75
5.2.4.2 Classificação SAR (Índice de saturação de sódio).....	77
5.2.4.3 Classificação de efluentes gerados pela atividade mineira .....	78
5.3 Caracterização dos sedimentos de corrente .....	79
5.3.1 - Características físico-químicas dos sedimentos de corrente .....	83
5.4 Caracterização dos solos.....	95
5.4.1 Dispersão dos elementos sobre os solos .....	100
6. Caracterização de Impacte Ambiental .....	113

6.1 Avaliação do impacte ambiental das águas .....	113
6.1.1 Águas destinadas ao consumo humano .....	114
6.1.2 Águas destinadas à rega .....	114
6.2 Avaliação do impacte ambiental sobre os sedimentos .....	115
6.3 Avaliação do impacte ambiental sobre os solos .....	118
6.4 Limitações.....	120
7. Conclusões .....	122
8. Referências Bibliográficas .....	126
9. Anexos .....	130



## Índice de Quadros

Quadro 3.1 – Classificação dos efluentes gerados pelas atividades mineiras, segundo White (1968) .....	21
Quadro 3.2 – Súmula dos impactes previsíveis e classificação do risco espectável .....	34
Quadro 4.1 – Especificações da sonda DKK-TOA Model WQC-24 .....	39
Quadro 4.2 – Erros analíticos das análises “in situ” .....	40
Quadro 4.3 – Valores dos padrões determinados para os sulfatos .....	43
Quadro 4.4 – Valores dos padrões determinados para nitratos .....	44
Quadro 4.5 – Valores determinados para a electroneutralidade das águas analisadas nas campanhas de setembro e março .....	46
Quadro 5.1 – Valores de explicação dos eixos fatoriais .....	52
Quadro 5.2 – Valores de correlação dos elementos presentes nas escombreyras com os eixos .....	53
Quadro 5.3 – Estatística descritiva das amostras dos materiais das escombreyras da Mina da Escádia Grande .....	54
Quadro 5.4 – Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos das águas da área de estudo (setembro de 2012) .....	55
Quadro 5.5 – Estatística descritiva dos parâmetros físico químicos das águas da área de estudo (março de 2013) .....	56
Quadro 5.6 – Valores de explicação dos eixos fatoriais .....	57
Quadro 5.7 – Valores de correlação dos elementos presentes nas águas com os eixos .	57
Quadro 5.8 – Anomalia e Fundo Geoquímico das águas da área mineira da Escádia Grande .....	59
Quadro 5.9 – Índice de saturação de sódio para as águas da Escádia Grande .....	77
Quadro 5.10 – Estatística descritiva dos sedimentos da área de estudo .....	79
Quadro 5.11 – Valores de explicação dos eixos fatoriais .....	80
Quadro 5.12 – Correlações entre as variáveis e os eixos da ACP realizada aos sedimentos de corrente .....	80
Quadro 5.13 – Teores do fundo geoquímico dos sedimentos de corrente da área mineira da Escádia Grande .....	82
Quadro 5.14 – Estatística descritiva dos parâmetros e teores de elementos presentes nos solos da área de estudo .....	96
Quadro 5.15 – Valores da informação total presentes nos eixos .....	97
Quadro 5.16 - Correlações entre as variáveis e os eixos da ACP realizada aos solos ....	97
Quadro 5.17 – Teores do fundo geoquímico dos solos .....	100

Quadro 6.1 – Teores legais para consumo humano e para rega para os parâmetros medidos na área da Escádia Grande .....	113
Quadro 6.2 – Classificação do índice de geoacumulação de Müller .....	115
Quadro 6.3 – Índices de geoacumulação dos metais pesados dos sedimentos de corrente da área de estudo .....	116
Quadro 6.4 – Índices de geoacumulação dos solos da área de estudo .....	118

## Índice de Figuras

Fig. 2.1 a) Localização geográfica da área de estudo no mapa de Portugal .....	3
Fig. 2.1 b) Representação no excerto da carta militar de Portugal, nº 253 (Pampilhosa da Serra), 1/25 000, dos Serviços Geográficos do Exército (1993) .....	3
Fig. 2.2 a) Localização geográfica da área de estudo .....	5
Fig. 2.2 b) Carta geológica simplificada (adaptada da carta geológica de Portugal 1/500 000) .....	5
Fig. 2.3 – Carta Geológica da área da mina da Escádia Grande. Pereira (1984) (Escala 1:25 000) .....	8
Fig. 2.4 – Carta geológica da mina da Escádia Grande. Carvalho (1989) (Escala 1:2000) .....	10
Fig. 2.5 – Esquema de uma secção polida. Grãos de arsenopirite com grãos intergranulares de ouro (Adaptado de Cerveira, 1947) .....	13
Fig. 2.6 – Modelo digital do terreno da área mineira, onde é possível observar as diferenças de cotas entre as cristas quartzíticas e os vales em “V” .....	17
Fig. 3.1 – Escoamento de efluentes mineiros em entradas para galerias da mina da Escádia Grande. a) Coordenadas: 4437129 N, 575224 E. b) Coordenadas 4437148 N, 575254 E. (março, 2013) .....	26
Fig. 3.2 – Escombrelras da antiga mina da Escádia Grande. a) Escombrelra de Norte. b) Escombrelra Sul .....	29
Fig. 3.3 – Edifício anexo a exploração da mina da Escádia Grande em elevado estado de degradação (março, 2013) .....	33
Fig. 3.4 – Edifício de alimentação elétrica da mina da Escádia Grande (março 2013) .....	33
Fig. 4.1 – Localização dos pontos de amostragem das águas .....	36
Fig. 4.2 – Localização dos pontos de amostragem de solos na área mineira .....	37
Fig. 4.3 – Localização dos locais de amostragem das escombrelras .....	38
Fig. 5.1 – Projeção das variáveis nos eixos 1 e 2 das águas da área de estudo .....	53
Fig. 5.2 – Projeção das variáveis nos eixos 1 e 2 das águas da área de estudo .....	58
Fig. 5.3 a) Gráfico da variação espacial e temporal do pH das águas da área de estudo; b) Gráfico da variação espacial e temporal da condutividade elétrica da área de estudo .	60
Fig. 5.4 a) Gráfico da variação espacial e temporal da temperatura das águas da área de estudo; b) Gráfico da variação espacial e temporal do oxigénio dissolvido da área de estudo .....	62

Fig. 5.5 a) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações do cálcio das águas da área de estudo; b) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de sódio das águas da área de estudo .....	63
Fig. 5.6 a) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações do potássio das águas da área de estudo; b) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de magnésio das águas da área de estudo .....	64
Fig. 5.7 a) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações do sulfato das águas da área de estudo; b) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de bicarbonato das águas da área de estudo .....	65
Fig. 5.8 a) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações do sulfato das águas da área de estudo; b) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de bicarbonato das águas da área de estudo .....	66
Fig. 5.9 a) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de arsénio das águas da área de estudo; b) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de chumbo das águas da área de estudo .....	67
Fig. 5.10 a) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de prata das águas da área de estudo; b) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de cobre das águas da área de estudo .....	68
Fig. 5.11 a) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de antimónio das águas da área de estudo; b) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de níquel das águas da área de estudo .....	69
Fig. 5.12 a) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de crómio das águas da área de estudo; b) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de cádmio das águas da área de estudo .....	70
Fig. 5.13 Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de cobalto das águas da área de estudo .....	71
Fig. 5.14 – Matriz de correlação de Spearman dos parâmetros físico-químicos das águas da Escádia Grande .....	72
Fig. 5.15 – Diagramas de Piper representando as amostras da área de estudo. a) Águas colhidas na campanha de setembro de 2012; b) Águas recolhidas na campanha de março de 2013 .....	76
Fig. 5.16 – Projeção das águas da Escádia Grande em diagrama SAR-Conductividade ...	78
Fig. 5.17 – Projeção das variáveis nos eixos 1 e 2 da primeira ACP dos sedimentos da área de estudo .....	81

Fig. 5.18 – Projeção das variáveis nos eixos 1 e 2 da segunda ACP dos sedimentos da área de estudo, considerando em suplementar as amostras anômalas .....	82
Fig. 5.19 – a) Carta de valores de condutividade elétrica dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial da condutividade elétrica dos sedimentos de corrente da área de estudo .....	83
Fig. 5.20 – a) Carta de valores de pH dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial do pH dos sedimentos de corrente da área de estudo .....	84
Fig. 5.21 – a) Carta dos teores de prata dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de prata dos sedimentos de corrente da área de estudo .....	85
Fig. 5.22 – a) Carta dos teores de ouro dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de ouro dos sedimentos de corrente da área de estudo .....	86
Fig. 5.23 – a) Carta dos teores de arsénio dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de arsénio dos sedimentos de corrente da área de estudo .....	86
Fig. 5.24 – a) Carta dos teores de cobalto dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de cobalto dos sedimentos de corrente da área de estudo .....	87
Fig. 5.25 – a) Carta dos teores de crómio dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de crómio dos sedimentos de corrente da área de estudo .....	88
Fig. 5.26 – a) Carta dos teores de cobre dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de cobre dos sedimentos de corrente da área de estudo .....	89
Fig. 5.27 – a) Carta dos teores de ferro dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de ferro dos sedimentos de corrente da área de estudo .....	90
Fig. 5.28 – a) Carta dos teores de manganês dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de manganês dos sedimentos de corrente da área de estudo .....	91
Fig. 5.29 – a) Carta dos teores de níquel dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de níquel dos sedimentos de corrente da área de estudo .....	92

Fig. 5.30 – a) Carta dos teores de chumbo dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de chumbo dos sedimentos de corrente da área de estudo .....	93
Fig. 5.31 – a) Carta dos teores de antimónio dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de antimónio dos sedimentos de corrente da área de estudo .....	94
Fig. 5.32 – a) Carta dos teores de zinco dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de zinco dos sedimentos de corrente da área de estudo .....	95
Fig. 5.33 – Projeção das variáveis nos eixos 2 e 3 dos sedimentos da área de estudo, evidenciando os 3 agrupamentos de elementos .....	98
Fig. 5.34 – Projeção das variáveis nos eixos 1 e 2 dos sedimentos da área de estudo ...	98
Fig. 5.35 – Projeção das variáveis nos eixos 1 e 2 dos sedimentos da área de estudo ...	99
Fig. 5.36 – Projeção das variáveis nos eixos 1 e 2 dos sedimentos da área de estudo ...	99
Fig. 5.37 - Carta da variação de pH dos solos da área mineira da Escádia Grande .....	101
Fig. 5.38 - Carta da variação da condutividade elétrica dos solos da área mineira da Escádia Grande .....	102
Fig. 5.39 - Carta de dispersão horizontal da prata nos solos da área mineira .....	103
Fig. 5.40 - Carta de dispersão horizontal do ouro nos solos da área mineira .....	103
Fig. 5.41 - Carta de dispersão horizontal do arsénio nos solos da área mineira .....	104
Fig. 5.42 – Carta de dispersão horizontal do cobalto nos solos da área mineira .....	105
Fig. 5.43 - Carta de dispersão horizontal do crómio nos solos da área mineira .....	106
Fig. 5.44 - Carta de dispersão horizontal do cobre nos solos da área mineira .....	107
Fig. 5.45 - Carta de dispersão horizontal do ferro nos solos da área mineira .....	108
Fig. 5.46 - Carta de dispersão horizontal do manganês nos solos da área mineira .....	108
Fig. 5.47 - Carta de dispersão horizontal do níquel nos solos da área mineira .....	109
Fig. 5.48 - Carta de dispersão horizontal do chumbo nos solos da área mineira .....	110
Fig. 5.49 - Carta de dispersão horizontal do antimónio nos solos da área mineira .....	111
Fig. 5.50 - Carta de dispersão horizontal do zinco nos solos da área mineira .....	112

**Índice de Anexos**

Anexo I – Carta da variação de pH dos solos da área mineira da Escádia Grande .....	131
Anexo II – Carta da variação da condutividade elétrica dos solos da área mineira da Escádia Grande .....	132
Anexo III – Carta de dispersão horizontal da prata nos solos da área mineira da Escádia Grande .....	133
Anexo IV – Carta de dispersão horizontal do ouro nos solos da área mineira da Escádia Grande .....	134
Anexo V – Carta de dispersão horizontal do arsénio nos solos da área mineira da Escádia Grande .....	135
Anexo VI – Carta de dispersão horizontal do cobalto nos solos da área mineira da Escádia Grande .....	136
Anexo VII – Carta de dispersão horizontal do crómio nos solos da área mineira da Escádia Grande .....	137
Anexo VIII – Carta de dispersão horizontal do cobre nos solos da área mineira da Escádia Grande .....	138
Anexo IX – Carta de dispersão horizontal do ferro nos solos da área mineira da Escádia Grande .....	139
Anexo X – Carta de dispersão horizontal do manganês nos solos da área mineira da Escádia Grande .....	140
Anexo XI – Carta de dispersão horizontal do níquel nos solos da área mineira da Escádia Grande .....	141
Anexo XII – Carta de dispersão horizontal do chumbo nos solos da área mineira da Escádia Grande .....	142
Anexo XIII – Carta de dispersão horizontal do antimónio nos solos da área mineira da Escádia Grande .....	143
Anexo XIV – Carta de dispersão horizontal do zinco nos solos da área mineira da Escádia Grande .....	144

## **Abreviaturas**

ACP – Análise de Componentes Principais

AMD – Acid Mine Drainage

CXG – Complexo Xisto-Grauváquico

E.N. – Escombreira Norte

E.S. – Escombreira Sul

Eq. – Equação

GPS – Global Positioning System

Igeo – Índice de Geoacumulação

NUTS – Unidades Territoriais Estatísticas de Portugal

SAR - Índice de Saturação de Sódio

UTM – Universal Transverse Mercator

VMA – Valor Máximo Admissível

VMR – Valor Máximo Recomendado



## **1. Introdução**

A exploração mineira é uma atividade indispensável para a manutenção do nível de vida e progresso das sociedades modernas. Os recursos minerais explorados, são aproveitados das jazidas com base em critérios essencialmente económicos. Face a este interesse e à falta de preocupação e legislação ambiental até aos anos 60, verificou-se até a um passado recente o aparecimento de situações de perigosidade ambiental que sofreram um agravamento após a desativação das explorações. Em Portugal, a preocupação ambiental só começa a ser tomada em conta nos anos 80, com a entrada do país na União Europeia, sendo mais tarde transpostas para a legislação nacional as diretivas da Comissão Europeia.

No contexto atual, as companhias mineiras são obrigadas a cumprir normas ambientais, antes, durante e após a exploração, de forma a assegurar que a área afetada pela exploração mineira regresse à sua condição inicial, ou próxima da inicial. No entanto, todas as explorações nacionais que surgiram antes da legislação atual foram deixadas ao abandono, dando origem a problemas característicos de zonas mineiras abandonadas, entre os quais as drenagens ácidas, contaminações de águas e solos, instabilidade geotécnica, entre outros. Este problema tem levado a que nos últimos anos, tenham sido elaborados vários trabalhos de investigação no âmbito da avaliação, com o intuito de criar medidas apropriadas para a potencial recuperação de zonas mineiras do ponto de vista ambiental.

Contudo, a melhor forma de avaliar e recuperar áreas contaminadas, passa pela identificação dos agentes contaminantes e o seu modo de dispersão.

### **1.1 Objetivos do estudo**

Com esta dissertação pretende-se contribuir para a caracterização geoambiental de diversos domínios da área periférica da Mina da Escádia Grande, avaliando e caracterizando as alterações ambientais consequentes da atividade mineira desenvolvida. Para tal, foram desenvolvidos uma série de sub-objectivos, seguidamente nomeados:

- Estabelecimento de um enquadramento geológico e geográfico, e caracterização da área em estudo no que toca a vários aspetos geofísicos e biofísicos.
- Compilar o histórico da atividade mineira na zona de estudo.
- Determinar os impactes associados aos trabalhos mineiros desenvolvidos, das escombreiras, e escorrências de águas mineiras, no domínio da contaminação.

- Observar a dispersão dos elementos poluentes nas águas, sedimentos de corrente e nos solos.
- Identificar os riscos ambientais de maior gravidade.

Para cumprir os objetivos acima mencionados, foram executados os seguintes trabalhos de investigação:

- Amostragem e caracterização físico-química sazonal das águas de drenagem da área de estudo.
- Amostragem e caracterização físico-química dos sedimentos de linhas de água do sistema fluvial da área de estudo.
- Amostragem e caracterização físico-química dos solos da área envolvente, segundo uma malha regular, e determinação das concentrações de vários elementos químicos.
- Amostragem e caracterização físico-química dos materiais depositados nas escombreliras.

## 2. Caracterização da Área de Estudo

### 2.1 Localização geográfica

A antiga Mina da Escádia Grande localiza-se na Região do Centro (NUTS II) de Portugal (Fig. 2.1 a), mais concretamente na freguesia de Alvares, concelho de Góis, no distrito de Coimbra, na vertente nascente do Vale das Olinas a uma cota de 700 metros, com coordenadas UTM próximas de M: 201.500 e P: 346.000. A área de estudo encontra-se definida, no sector Este da Carta Militar nº 253 (Pampilhosa da Serra) dos Serviços Cartográficos do Exército, à escala 1:25.000 (Fig. 3.1 b). Um possível acesso é através do ramal da Estrada Nacional nº2, Coimbra – Castelo Branco, que do Km 287,5 se dirige para a povoação de Roda Cimeira.

Os principais aglomerados populacionais mais próximos são Góis localizado 15 km a Norte da mina e Pampilhosa da Serra, 30 km para Este.

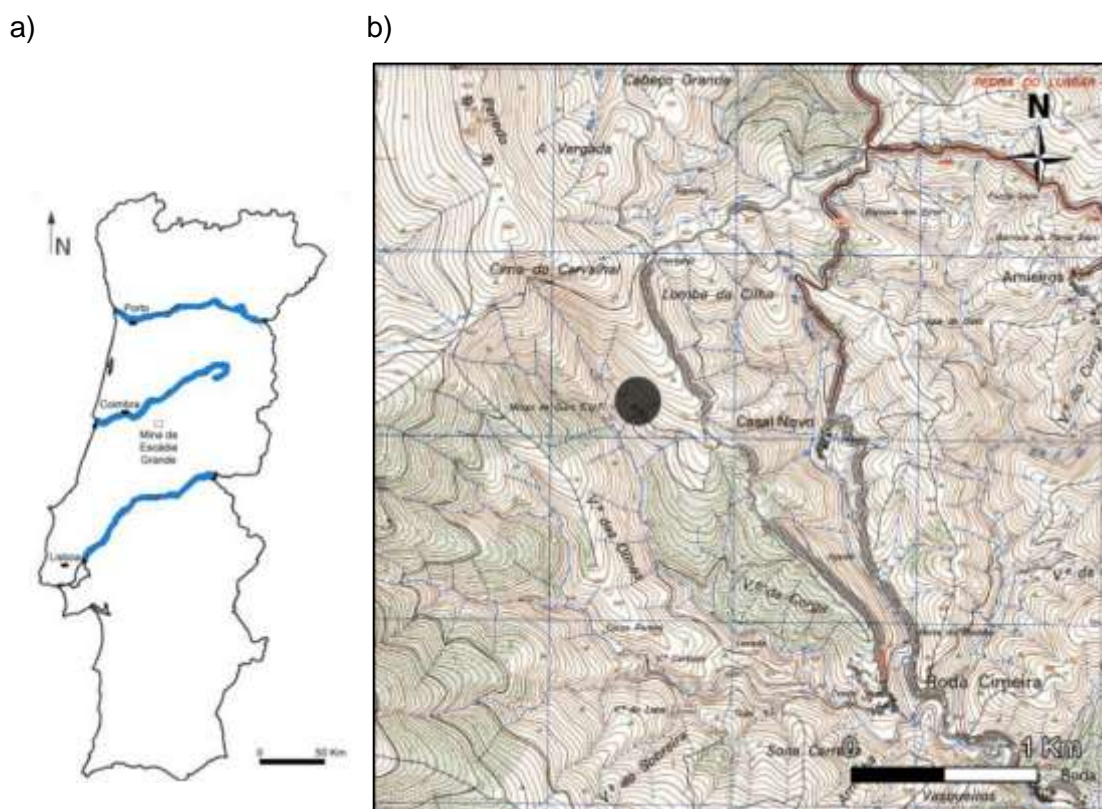


Fig. 2.1: a) Localização geográfica da área de estudo no mapa de Portugal; b) Representação no excerto da carta militar de Portugal, nº 253 (Pampilhosa da Serra), 1/25 000, dos Serviços Geográficos do Exército (1993).

## 2.2 Enquadramento Geológico

A Mina da Escádia Grande está localizada na província metalogénica tungsto-estanífera da Zona Centro-Ibérica (Julivert; *et al*, 1972 *in* Dias, R.; *et al*, 2013), limitada a Nordeste pela falha de Vivero e pelo sinclinal de Sil-Trucha, a Oeste pelo cavalgamento de Ferreira do Zêzere e zona de cisalhamento Porto – Tomar e a Sul pelo alinhamento tectonomagmático de Los Pedroches – Vegas – Altos – Albuquerque - Nisa e a flexura de Guadalquivir. Esta zona é considerada heterogénea, em parte devido a variedade de metamorfismo presente, com zonas sem metamorfismo, zonas com baixo metamorfismo, metamorfismo médio e alto metamorfismo, assim como pela sua constituição de formações autóctones, sendo estas os Terrenos Alóctones Continentais, os Terrenos Ofiolíticos Setentrionais, o Complexo de Mantos Alóctones com afinidades à Zona de Ossa Morena e o Complexo de Mantos Parautóctones com afinidades à Zona Centro Ibérica. Sendo importante mencionar que tanto os Terrenos Alóctones Continentais, como os Terrenos Ofiolíticos Setentrionais não pertencem ao terreno Ibérico.

As formações autóctones da Zona Centro Ibérica são agrupadas em duas megasequências, a megasequência ante-Ordovícica, constituída pelo Complexo Xisto Grauváquico ante-Ordovícico e a megasequência pós-Câmbrica constituída pelo Ordovícico, Silúrico, Devónico e Carbónico.

A área de estudo, localizada na região de Góis, é dominada principalmente pelos Metassedimentos Câmbricos do Complexo Xisto-Grauváquico (CXG), estando também presentes Filões Quartzosos e Formações Sedimentares do final do Terciário e Quaternário, nomeadamente Grés Arcósitos, Cascalheiras e Aluviões (Fig. 2.2 b).

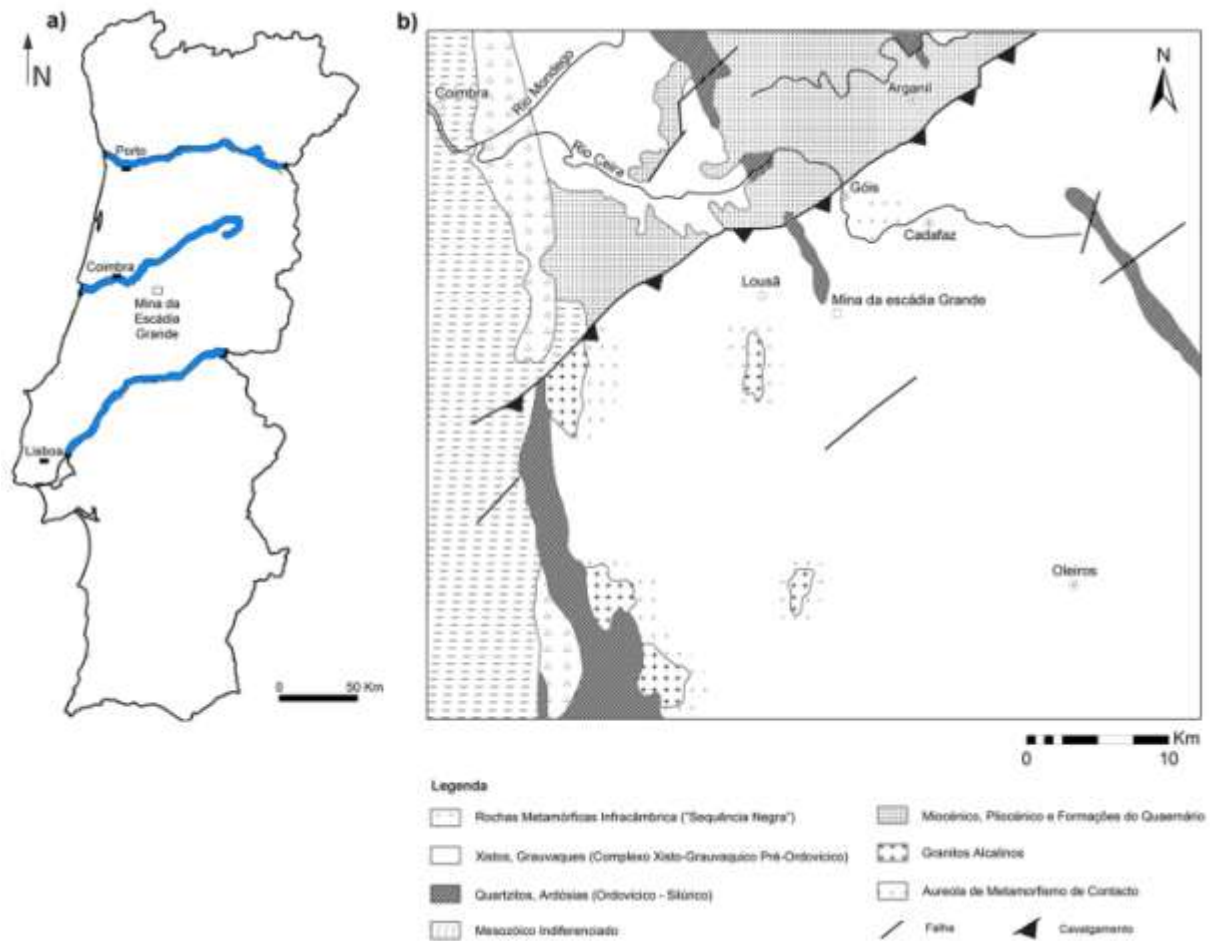


Fig. 2.2 a) Localização geográfica da área de estudo; b) Carta geológica simplificada (adaptada da carta geológica de Portugal 1/500 000).

## 2.2.1 Geologia da região de Góis

### 2.2.1.1 Complexo Xisto-Grauváquico

Os metassedimentos do Complexo Xisto-Grauváquico (CXG), de idade Pré-Câmbrica e Câmbrica, pertencem ao denominado Grupo das Beiras e afloram em quase toda a região, sendo limitado a Norte pelo acidente Lousã – Pombal (Carvalho, 1989). Trata-se de sequências monótonas de rochas metassedimentares do tipo flysch, compostos principalmente por filitos pretos, siltitos, argilitos e grauvaques, com um baixo grau de metamorfismo regional na zona da clorite. Tanto a estratificação como a xistosidade regional apresentam uma direção WNW-ESE mergulhando para NNE de 70° a 80° que corresponde

à 1<sup>o</sup> fase do dobramento hercínico, notando-se também uma certa ondulação da estratificação e da xistosidade que podem apontar para deformações mais recentes. A este Complexo sobrepõe-se em discordância angular os quartzos Ordovícicos, com orientações lineares NNW-SSE.

### **2.2.1.2 Filões quartzosos**

Na área de Góis são comuns os filões quartzíticos com espessuras inferiores a 10 cm, com direções preferenciais NW-SE, e inclinações que variam entre 45° NE a 30° SW. São constituídos principalmente por quartzo, por vezes brechóide, ricos em sulfuretos, maioritariamente arsenopirite, e pirite. Em menor frequência também ocorrem filões com direção NNE-SSW, que apresentam vestígios de sulfuretos e espessura entre os 7 e os 8 metros (Pereira, 1984).

Na zona mais a Nordeste de Góis, junto a povoação do Outeiro foi também observado por Pereira (1984), um filão de rocha leucocrata bastante alterada, com espessura entre os 40 e 50 centímetros e direção N 50° W, sub-vertical, que este classificou como um aplito.

### **2.2.1.3 Grés Arcósitos – “Formação da Coja”**

Os grés arcósitos ocorrem em zonas em que a erosão decapou os depósitos de cobertura, apresentando espessuras superiores a 50 metros, podendo mesmo chegar aos 100 metros, como é o caso de Casalinho de Cima. O grés arcósico é maioritariamente constituído por um cimento argiloso, resultante da alteração dos feldspatos, com clastos de quartzo sub-angulosos de granulometria fina a média (Pereira, 1984).

### **2.2.1.4 Formação de Campelo**

A Formação de Campelo foi descrita por Cunha (1992), como uma série de depósitos imaturos de espessura variável, constituídos por uma alternância de conglomerados, arenitos e lutitos, cuja cor varia de castanho a vermelho. Os conglomerados são ricos em clastos de rocha metasedimentar, quartzo filoniano e quartzito, apresentando um cortejo argiloso esmectítico com presença de ilite e caulinite.

### **2.2.1.5 Aluviões**

Os aluviões presentes na região de Góis apresentam dimensões bastante representativas no rio Ceira e na ribeira da Celavisa, passando a pouco espessos nos cursos de água subsidiários. A sua constituição inclui argilas, areias e cascalheira, assentando quase sempre sobre o Complexo Xisto-Grauváquico, e mais raramente sobre o Grés Arcósico.

## **2.3. Geologia da área mineira da Escádia Grande**

### **2.3.1 Complexo Xisto-Grauváquico**

Pereira (1984), define para a área de Góis, 3 níveis litologicamente distintos, que se dividem em blocos, separados dois sistemas de fraturas (NNW-SSE e ENE-WSW). Estes 3 níveis são de difícil correspondência em termos de homogeneidade, devido à grande alternância de sub-unidades presentes nesta zona, no entanto, na área da Escádia Grande é possível encontrar os três níveis descritos (Fig. 2.3):

O nível 1, onde predominam os xistos grauvacóides e grauvaques, gresosos, de grão fino a médio, em bancadas individuais que vão dos 5 aos 20 cm, apresentando por vezes cristais de pirite. Quando alterado, apresenta cor acastanhada ou amarelada, e a sua estratificação torna-se mais evidente que a xistosidade, conferindo-lhe assim, um aspeto ondulado suave.

O nível 2 é constituído por xistos negros pelíticos, muito físseis e filitosos, em bancadas finas, espessuras centimétricas, podendo, quando alterados apresentar uma cor acinzentada. Apresenta planos de xistosidade bem definidos, não sendo influenciado pelo crescimento dos cristais de pirite, que ocorrem normalmente perfeitos e com arestas entre 1 a 2 mm.

Por fim, o nível 3 corresponde a xistos muito siliciosos, chegando a quartzíticos, de cor negra ou cinzenta, destacam-se na topografia, devido a sua grande resistência a erosão, com bancadas entre os 5 e os 30 centímetros. Apresenta cristais de pirite, muito alterada, sendo os espaços dos antigos cristais preenchidos por novos cristais milimétricos.





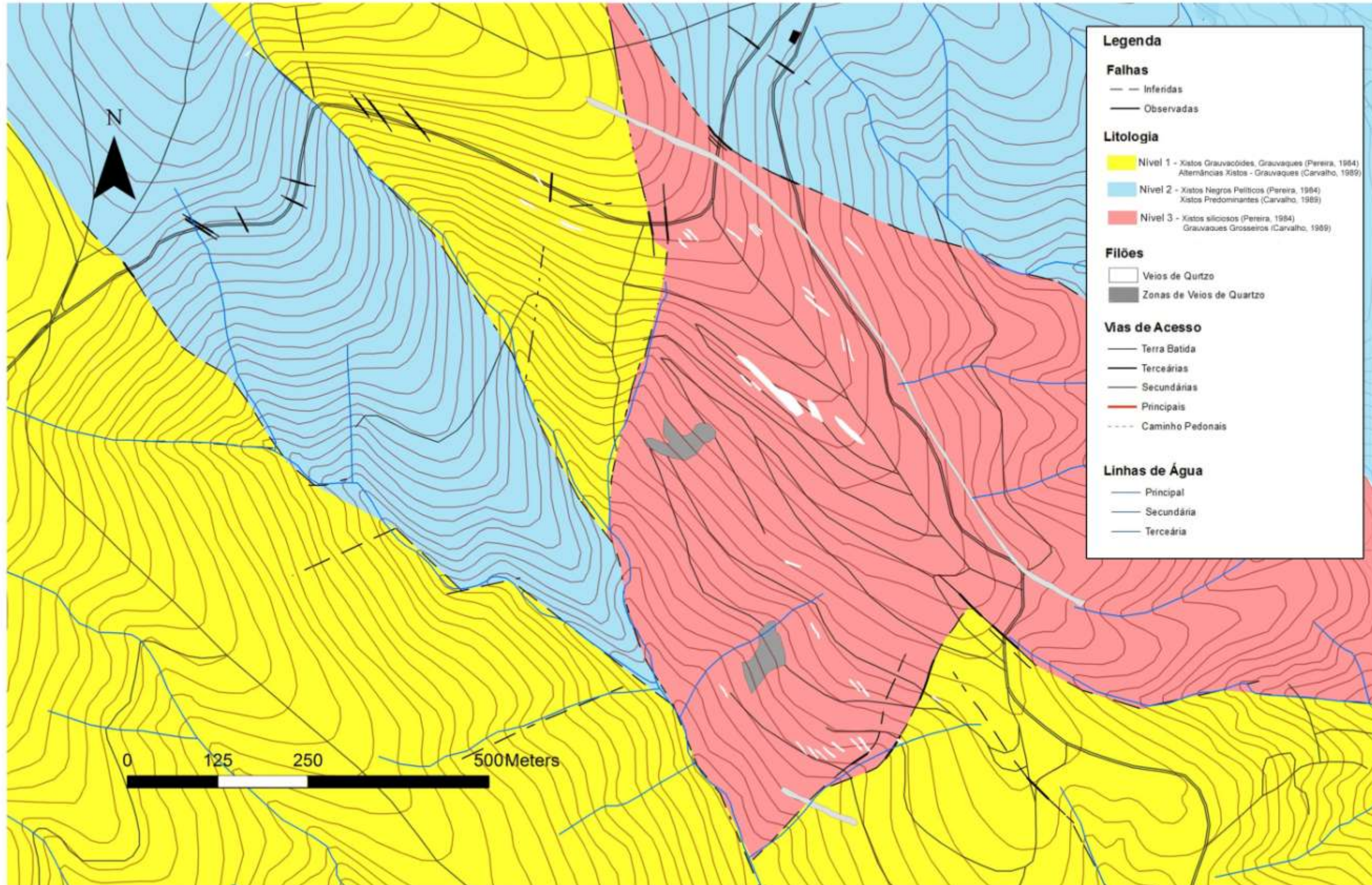


Fig. 2.3 – Carta Geológica da área da mina da Escádia Grande. Pereira (1984).

Carvalho, José (1989), no entanto, apresenta sete litologias presentes na área de estudo (Fig. 2.4), que se englobam nos três níveis previamente descritos, não só pelas falhas presentes na área de estudo mas também pelas suas alternâncias. Assim no bloco central, equivalente ao nível 3, encontram-se predominantemente bancadas de grauvaques verdes, de grão grosseiro, aflorando, também xistos negros e xistos siliciosos, relacionados com a presença do filão mineralizado. A NW e SE deste bloco, encontram-se grauvaques cinzentos alternados com xistos cinzentos, com algumas intercalações de xistos escuros e xistos cremes, que de correspondem ao nível 1, proposto por Pereira (1984). Os blocos a Norte, Este e Sul, equivalente ao nível 2, apresentam xistos castanho-escuros, que por vezes intercalam com grauvaques de grão médio a fino. A uma escala macroscópica, definem-se, de seguida, as litologias propostas:

Gc – Grauvaques maciços em bancadas de 0,5 a 1 metros, de grão grosseiro, com cristais de quartzo bem definidos numa matriz verde, sendo também cortados por filonetes de quartzo branco de ordem milimétrica. Esta sub-unidade encontra-se maioritariamente em contacto com os xistos negros, ou em passagens graduais a grauvaques mais finos.

Gm – Grauvaques cinzento esverdeados, de grão milimétrico. Parecem representar uma passagem de grauvaques grosseiros para grauvaques mais finos.

X-G – Grauvaques cinzentos ou castanhos, de grão fino, alternados com filitos cinzentos, correspondendo a uma passagem de depósitos arenosos a depósitos pelíticos.

Xb – Xistos cinzentos alternados com xistos creme, formando bancadas superiores ao metro.

X – Xistos castanhos, micáceos, com presença de pirite nos planos de xistosidade.

Xn – Xistos cinzentos ou negros, fiseís, normalmente localizados juntos as falhas, podendo também se encontrar intercalando outras litologias. Os xistos mais negros parecem estar ligados a alterações hidrotermais provocados pela circulação de fluidos nos planos de falha.

Xs – Xistos castanhos, compactos e siliciosos, com alguma alteração hidrotermal, que se localizam nas proximidades das falhas estando quase sempre associados a filões. Não é perceptível a xistosidade regional, devido a silicificação sofrida.

Existe uma grande presença de pirite em quase todos os xistos e grauvaques, localizada nos planos de xistosidade, facto que pode ser explicado pela presença próxima dos filões de quartzo mineralizado, associado a alterações hidrotermais, que terá provocado a precipitação da pirite após o desenvolvimento da xistosidade regional.



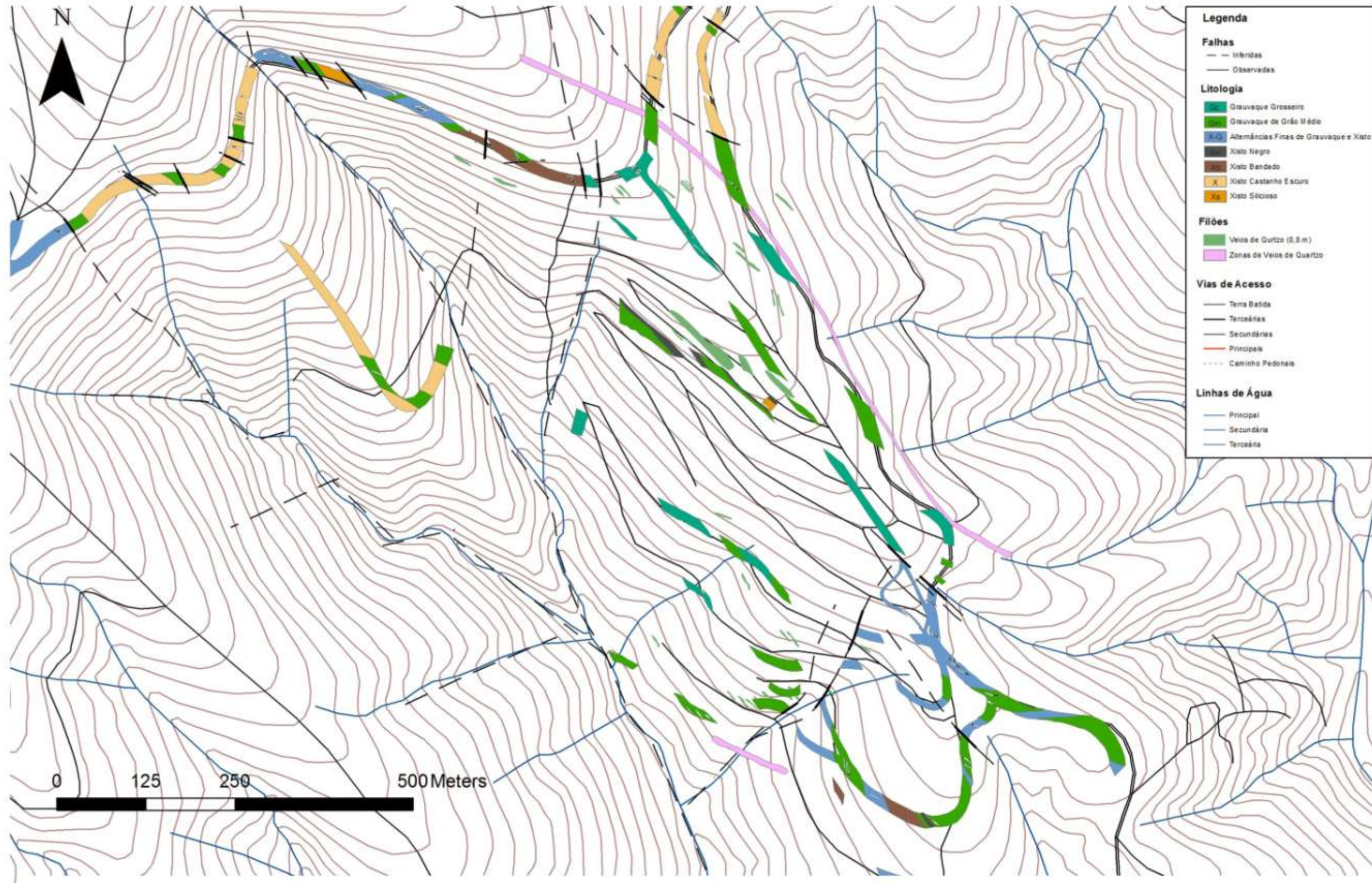


Fig. 2.4 – Carta geológica da mina da Escádia Grande. Carvalho (1989).

### 2.3.2 Filões Quartzosos

Os filões de quartzo são comuns na área de estudo, englobando-se numa área de 300 metros a volta do filão mineralizado principal, no entanto, estes são mais comuns na zona Oeste, sendo o bloco Este o muro da estrutura mineralizada que foi explorada na mina da Escádia Grande. Geralmente apresentam direções próximas NW – SE, com pendor entre 40° a 50° SW (Carvalho, 1989). Apresentam-se muito meteorizados, com um pendor sub-vertical, oposto a xistosidade, não estando afetado por esta.

Segundo Carvalho (1989), é possível observar seis famílias de filões de quartzo, que podem ser cronologicamente ordenadas a partir das deformações por estas sofridas, assim como as suas interceções. De seguida, apresenta-se a descrição, feita por este autor, dos filões mais antigos para os mais recentes:

- Filonetes de quartzo branco sujo, presentes em bancadas de metagrauvaques, que foram afetados pela fracturação, com direção concordante com a xistosidade regional, e que por vezes se apresentam dobrados ou mesmo boudinados. Estes filonetes são observados apenas no interior da mina, próximo da mineralização principal.
- Filões de quartzo branco, presentes em passagens pelíticas, com dimensões decimétricas, que cortam a xistosidade regional com ângulos inferiores a 10°. São abundantes no teto dos corpos mineralizados.
- Retículos de quartzo branco, presentes nos grauvaques de grão médio e grão grosseiro, previamente mencionados.
- Com uma orientação próxima de NW – SE, e pendendo para SW, observam-se na proximidade do filão mineralizado, conjunto de filões de quartzo, de dimensões inferiores ao centímetro.
- Filões de quartzo mineralizado, que se encontra instalado na falha inversa, com uma direção próxima de NNW – SSE e pendor SSW. Com possança média de 80 cm, corresponde a uma época metalogénica Pérmica, estando relacionado com a intrusão de um magma granítico (Cerveira, 1947). Apresenta pontuações e laminações de arsenopirite e pontuações de pirite, galena, blenda e por vezes calcopirite, ocorrem mais raramente sulfosais de ouro e chumbo e electrum (Ag>20%) (Shepard, 1990).
- Filões de quartzo ceroso com pontuações de sulfuretos, que se encontra em zonas de falhas junto ao filão mineralizado.

### 2.3.2.1 Petrografia do Filão

Cerveira (1947), descreve a mineralogia dos filões da Mina da Escádia Grande, agrupando os minerais em hipogénicos e supergénicos. O mineral hipogénico principal é quartzo, os minerais acessórios são: a arsenopirite, a galena, a blenda, a pirite, a calcopirite, o ouro e a argentite. Os minerais supergénicos: são os óxidos, os sulfatos e os arseniats de ferro.

O mineral predominante, o quartzo, apresenta-se de dois tipos. Um tipo de quartzo branco, maciço, localizando-se na parte mais central dos filões, podendo, nas zonas onde ocorrem uma recristalização, conter galena e blenda inclusos. O outro tipo de quartzo, de cor cinza, apresenta laminações de arsenopirite. Carvalho (1988), observou, nas bolsadas mineralizadas, uma terceira variedade de quartzo, ceroso e brechóide, com massas de galena e blenda e algumas pequenas massas de arsenopirite. São em veios, milimétricos, paralelos aos hastiais que é possível observar a maior parte dos sulfuretos, normalmente em pequenas massas.

A arsenopirite, microgranular, forma cristais agregados ou isolados na matriz de quartzo. Por vezes, esta molda os cristais de calcopirite, pirite, blenda e galena.

A galena é abundante nas diaclases da massa filoniana, apresentando, nestas zonas maiores teores que os restantes sulfuretos. Normalmente aparece com sistema ortogonal, orientando-se perpendicularmente ou obliquamente às paredes do filão.

O ouro não é visível à vista desarmada, residindo na arsenopirite (Fig. 2.5), sendo o seu teor diretamente proporcional ao teor desta. Ocorre em grãos poligonais em espaços intergranulares de arsenopirite, podendo aparecer em espaços entre o quartzo e a arsenopirite, e muito raramente de modo livre em espaços intergranulares de quartzo.

Os minerais supergénicos, provêm da alteração dos minerais hipogénicos, sendo predominantemente óxidos de ferro, que se depositaram nas zonas de alteração e em fraturas.



Fig. 2.5 – Esquema de uma secção polida. Grãos de arsenopirite com grãos intergranulares de ouro (Adaptado de Cerveira, 1947).

#### 2.4. Enquadramento Tectónico

A área de estudo localiza-se, tal como já foi mencionado, no Complexo Xisto-Grauváquico, que se encontra limitado a Norte pelo acidente Lousã – Pombal, com direcção NE – SW, sendo este uma flexura compressiva com levantamento do bloco SE (Carvalho, 1989), e provocando numa primeira fase, dobramentos nos flancos axiais segundo uma direcção NW – SE, que vai dar origem aos planos de xistosidade do Complexo e posteriormente o dobramento desta mesma xistosidade (Pereira, 1984), assim como uma deformação polifásica dos quartzitos (Shepard, 1990). Não sendo possível observar as dobras da primeira fase Hercínia, é no entanto, possível observar lineações que intercetam a estratificação com a xistosidade, indicando o mergulho do eixo das dobras (Carvalho, 1989).

A acção de uma força compressiva regional ( $\sigma_1$ ), de direcção NE-SW, originou estruturas simples no Ordovícico e outras mais complexas no C.X.G. Nesta formação, os dobramentos resultantes da 1ª fase hercínica, são interpretados como os dois tipos possíveis de dobramento em materiais já afetados por uma deformação anterior.

Durante a orogenia Alpina, terá também ocorrido uma reativação de estruturas antigas (Shepard, 1990).

### 2.4.1 Fracturação

As falhas predominantes na área de estudo, afetam o Complexo Xisto-Grauváquico, dividindo-o em blocos, apresentam direções NNW – SSE (N 25° W, 45° a 70° SW), com movimento direito, e componente inversa e que controla a mineralização, e ENE – WSW (N 80° E, 70° S) com movimento esquerdo, e que posteriormente foram reajustadas acabando por afetar o filão e provocando estrias que mergulham 40° para Oeste (Carvalho, 1989). Posteriormente, poderá ter ocorrido uma rotação do campo de tensões de 20° no sentido anti-horário que deu origem a fraturas NW – SE (N 50° W, 85° NE), com movimento direito, e NE – SW (N 60° E, 60° SE), com movimento esquerdo. Provavelmente associados as anteriores, ocorrem também dois tipos de falhas menos expressivas (Carvalho, 1989).

### 2.4.2 Diaclases

As diaclases não são todas observáveis à superfície, tendo sido descritas por Carvalho (1989), em trabalhos subterrâneos. Na zona mais a Norte da área de estudo, observam-se nas passagens xistosas duas famílias de diaclases, N 40° W, 90° NE e N 15° W, 80° NE. Na zona central, ocorrem no bloco rico em grauvaques, diaclases com orientação N 50° W, 30° SW, com preenchimento de quartzo, que o autor descreve como sendo um bom indicador da presença de uma estrutura do tipo falha inversa com mineralização em ganga quartzosa. No setor Sul, ocorrem diaclases com direções N 35° W, 50° NE e N 50° E, 80° NW, ocorrendo também uma diáclase que se terá formado numa fase mais tardia, e que afetam a mineralização com direção N 50° E, 90° (Carvalho, 1989).



## 2.5 Mina da Escádia Grande

A antiga mina aurífera da Escádia Grande localiza-se no Complexo Xisto-Grauváquico, cujo jazigo do tipo stockwork em sequência turbidítica (Parra, 1997), é constituída por uma série de filões intrusivos de sulfuretos auroargentíferos, tendo o quartzo como ganga, e que se encontram relacionados com a falha de direção NW-SE, e que pende para SW. Esta mineralização produziu uma alteração hidrotermal do encaixante, assim como uma piritização em menor grau (Cerveira, 1947).

Os tipos de filões da região mineira da Serra da Lousã foram divididos por Cerveira (1947), segundo o seu tipo de movimento tectónico que lhes deu origem, assim como o seu valor económico. Um primeiro tipo que correspondente a uma tectónica de movimento horizontal, sem direção preferencial e fraco pendor, e predominância de possanças inferiores a 30 cm. E um segundo tipo, correspondente a uma época metalogénica Pérmica, com tectónica de movimento vertical, direção preferencial NW-SE, pendor entre 50° a 60° SW e uma possança média de 80 cm. Estes últimos, correspondem aos filões encontrados na mina da Escádia Grande e apresentam uma maior importância económica, relativamente ao grupo de filões anteriormente descritos.

Dois filões foram interpretados como um enchimento de quartzo num sistema de fraturas relacionadas com o cisalhamento que pende para SW (Carvalho, 1988). Este preenchimento deu-se em zonas de dilatação que resultaram do desligamento ao longo de uma superfície de fratura ondulante, criando espaços abertos. Nestes espaços formam-se, por sua vez, lenticulas com uma maior possança (Carvalho, 1988).

### 2.5.1 Génese

Carvalho (1989), propõe uma resenha histórica para a formação dos filões, começando por uma primeira fase de implementação de quartzo branco na caixa da falha inversa NW - SE, em distensão, associado a uma alteração hidrotermal que provoca a precipitação de pirite. A formação de brechas entre o quartzo e os metassedimentos é devido a um fenómeno compressivo, associado a uma remobilização da pirite pré-existente e possível introdução de uma nova pirite. A variação de pressão provoca aberturas sucessivas nos bordos dos filões com preenchimento de quartzo, ocorrendo também a formação de encraves da rocha encaixante e um novo fenómeno hidrotermal responsável pela precipitação da arsenopirite, assim como pela formação de quartzo cinzento. De seguida, ocorre a formação de bolsadas de quartzo ceroso, de aspeto brechóide, contendo

galena e blenda, associado a uma recristalização de quartzo branco, sendo uma introdução de quartzo cristalino a última fase de introdução de sílica. Por fim ocorre a formação de estilólitos, quase paralelos aos encostos do filão, provocado por uma compressão perpendicular ao plano do filão.

### 2.5.2 Exploração da mina

Evidências arqueológicas, encontradas antes dos anos quarenta, tais como a existência de galerias de secção retangular que atingem os 100 metros de comprimento, assim como uma pequena corta superficial, localizada próximo da linha de crista da encosta, aparentam indicar uma antiga exploração romana, datada do período da presença deste povo na Península Ibérica.

Entre os anos de 1939 e 1952, a companhia mineira “Minas da Serra da Lousã, Lda.” explorou a mina da Escádia Grande, registada como a concessão nº 1999, em parte recuperando parte dos antigos trabalhos romanos e abrindo sete novos pisos espaçados trinta metros entre si, cinco dos quais se localizam abaixo do nível de escoamento de águas.

Durante o período de exploração por parte da companhia mineira previamente mencionada, mais de 20.000 toneladas de minério foram extraídos, dando origem a mais de 130 toneladas de sulfuretos complexos, 150 toneladas de pirite e 50 toneladas de anidrido arsenioso com teor médio de 30% de arsénio. Em 1950 esta mina produzia 226 gramas de ouro e 679 gramas de prata por tonelada.

Em 2010, a Empresa de Desenvolvimento Mineiro, SA, desenvolveu um projeto de trabalhos de segurança na antiga mina da Escádia Grande, modelando as escombrelas, selando os poços e galerias e colocando sinalização de segurança (Empresa de Desenvolvimento Mineiro, 2012).

Atualmente todos os pisos abaixo do nível de escoamento de águas encontram-se inundados. As galerias e travessas que dão acesso aos pisos 835 e 855, encontram-se em bom estado de conservação. Também parcialmente acessíveis, embora em mau estado de conservação, estão as duas galerias com desmontes romanos acima do piso 835, que foram retrabalhadas nos anos 40. Todos os poços romanos estão cobertos por uma espessa camada de solo, reconhecendo-se apenas pelas pequenas escombrelas. Segundo um relatório do Laboratório Nacional de Energia e Geologia, produzido em 2000, os teores atuais são 8 gramas de Ouro por tonelada e 33 gramas de Prata por tonelada.

## 2.6 Enquadramento Geomorfológico

Do ponto de vista geomorfológico, a região de Góis enquadra-se no confronto entre o Maciço Antigo Ante-Mesozóico e a Orla Meso-Cenozóica Ocidental (Soares; *et al*, 2007). Situando-se no extremo Sudoeste da Cordilheira Central e exibindo cristas quartzíticas que se destacam na topografia, a altitudes entre os 800 e os 1043 metros, com declives abruptos e acentuados nas vertentes a Norte, apresentando a parte Sul declives ligeiramente mais suaves. Observando-se o modelo digital terrestre desta região (Fig. 2.6), destacam-se as cristas quartzíticas, entre as quais o Penedo de Góis, a 1043 metros de altitude, a menos de 1 km a Norte da mina, que define uma das várias altitudes máximas da região e que contrastam com altitudes mais baixas, por volta dos 400 metros, no fundo dos vales em V, que atravessam a área de estudo com direção NW-SE.

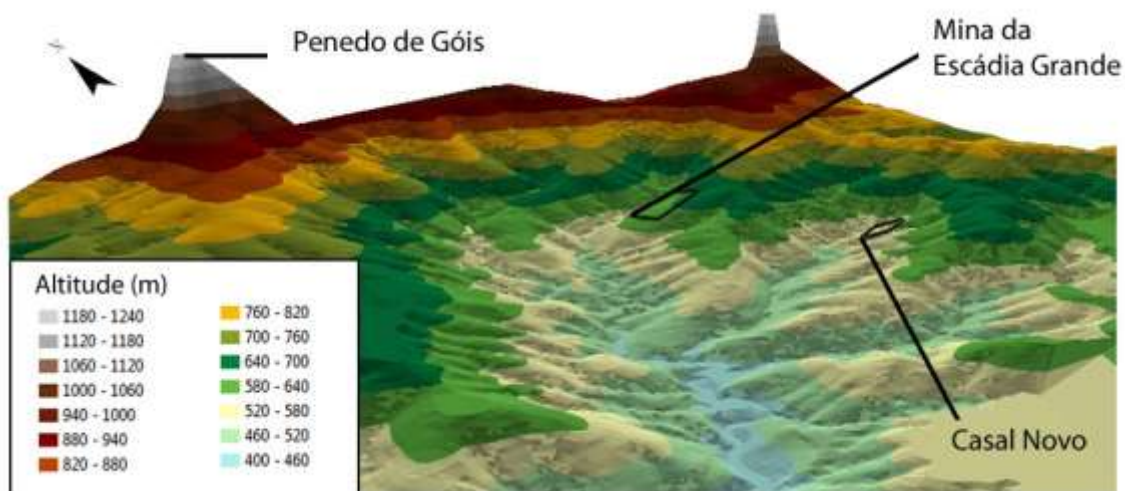


Fig. 2.6 – Modelo digital do terreno da área mineira, onde é possível observar as diferenças de cotas entre as cristas quartzíticas e os vales em “V”.

## 2.7 Enquadramento Hidrográfico

Na região de Góis, os principais cursos de água são o rio Ceira, localizado a 5 Km a Norte da Mina da Escádia Grande, e o rio Zêzere, localizado a 11 km Sul da mesma. Ambos se encontram em vales muito encaixados com vertentes íngremes e escorrência aproximada de NE – SW.

Na zona mineira ocorre uma rede de cursos de água permanentes que apresentam uma orientação dominante NW-SE, que afluem para a Ribeira do Sinhel, um tributário do rio Unhais, que por sua vez é tributário do rio Zêzere.

Segundo a Ficha de Diagnóstico Preliminar de Situação de Abandono de Área Mina (2000), do Instituto Geológico e Mineiro, os recursos hídricos da região não são usados para o consumo humano, pecuária ou mesmo rega. No entanto, é possível observar que os pequenos campos de cultivo perto das linhas de água são irrigados com ás águas locais, e existem mesmo zonas de recreio, nomeadamente uma praia fluvial ao longo da Ribeira do Sinhel, assim como uma zona de recreio com represa na povoação da Roda Cimeira.

## 2.8 Clima

O clima da região de Góis é predominantemente de influência Mediterrânea durante o verão, com valores de insolação e temperatura elevados, destacando-se ainda, uma quase ausência de precipitação. Durante o inverno, a influência sobre o clima é Atlântica, que se manifesta com uma elevada precipitação, provocada pelas superfícies frontais que se deslocam do litoral para o interior.

Segundo a Classificação climática de Köppen-Geiger, o clima desta região é de tipo Csb, um clima temperado húmido com verão seco e temperado, onde os meses de julho e agosto são os meses mais quentes com temperatura média de 22º C, sendo dezembro e janeiro os meses mais frios, com temperatura média de 9º C. A precipitação anual varia entre 1000 a 1800 mm, ocorrendo esta maioritariamente no outono e inverno.

## 2.9 Ocupação do solo

Na área de estudo, existe um predomínio de Litossolos de Cambissolos húmicos (Cardoso *et al.*, 1973), caracterizados por terem horizontes sequenciais A, B e C, e em que o horizonte A, de cor ocre se sobrepõe a um horizonte Câmbrico B, de cor castanho-amarelado ou mesmo vermelho. São solos com fraca permeabilidade, normalmente margosos a argilosos, que ocorrem em locais de grande precipitação mas onde a topografia do terreno permite a descarga superficial do excesso de água (World Reference Base for Soil Resources, 2006).

De acordo com a classificação utilizada pela Carta de Capacidade de Uso do Solo (1980), na área em estudo predomina um solo de classe F, que segundo o Esboço Geral de Ordenamento Agrário, é caracterizado por solos de má qualidade agrícola, sendo indicados para pastagens ou ocupação florestal.

Relativamente à ocupação do solo, dominam as áreas florestais, ocorrendo na zona de maior relevo e de solos mais pobres, existindo algumas zonas agrícolas heterogêneas diminutas junto as linhas de água, zonas de tecido urbano descontínuo e a zona de mina (CORINE Land Cover, 2000). As zonas florestais são dominadas pela exploração do pinhal e do eucaliptal. Estas explorações são normalmente culturas estromes de *Eucalyptus globulus* Labill. e *Pinus pinaster* Aiton, de delimitação bem definida, embora não raras vezes, se encontrarem consociadas. Aparecem também pequenas populações residuais das espécies nativas anteriores como é o caso de *Quercus suber* L., *Quercus robur* L. e *Prunus avium* L. e *Castanea sativa* Miller. Os matos representativos da área sob o coberto das essências silvícolas como em clareiras são compostos principalmente por: *Calluna vulgaris* (L.) Hull, *Erica australis* L., *Erica arborea* L., *Erica cinerea* L., *Erica umbellata* L., *Genista triacanthos* Brot., *Genista falcata* Brot., *Arbutus unedo* L., *Ulex europaeus* L., *Pterospartum tridentatum* (L.) P. Gibbs., *Pteridium aquilinum* L., *Cistus ladanifer* L., *Cistus pseudosepales* Sweet, *Cistus salviifolius* L., *Halimium ocymoides* Lam., *Xolantha guttata* (L.) Gallego, *Lithodora prostrata* Loisel., *Rubus ulmifolius* (L.) Scott., *Cyathus striatus* (Huds.) Willd., além de várias herbáceas das quais se destacam *Agrostis curtisii* Kerguélen, *Digitalis purpurea* L., *Anarrhinum bellidifolium* L., *Andryala intergrifolia* L., *Leontodon taraxacoides* (L.) All., *Hypochaeris radicata* L.. Nas zonas mais húmidas e proximidade das linhas de água observa-se frequentemente o *Salix atrocinerea* Bot..



### **3. Principais Impactes Ambientais Associados à Exploração Mineira**

#### **3.1 Introdução**

Qualquer atividade mineira produz impactes negativos para o ambiente. Impactes estes que têm tendência a serem mais graves quando não foi feito estudo prévio, nem um plano de recuperação da área mineira, ficando esta ao abandono. No capítulo seguinte, serão abordados os impactes significativos que advêm da exploração mineira nos vários domínios geoambientais.

#### **3.2 Impactes sobre a água**

A atividade mineira produz alterações quer das características físico-químicas das águas, como também alterações na sua circulação superficial e subterrânea (ITGE, 1989).

Os trabalhos subterrâneos de mina, desde a abertura de galerias aos trabalhos de manutenção e drenagem de água das galerias, provocam rebaixamentos nos níveis freáticos, podendo chegar a retirar totalmente águas de poços e furos, assim como esgotamento de nascentes (ITGE, 1989). À superfície, a instalação de escombrelas e estruturas de auxílio a exploração, como vias de acesso, provocam alterações no trajeto normal dos cursos de água superficiais. Estas alterações podem levar a um aumento dos processos de erosão, originando maior quantidade de sedimentos depositados nos cursos de água e a um maior risco de inundação, causando prejuízos para a atividade agrícola e florestal (Kunkle, *et al.*, 1987; ITGE, 1989).

As alterações provocadas quer nas águas superficiais, quer nas águas subterrâneas, provoca a introdução de partículas em suspensão tornando a água mais turva e conseqüentemente, menor penetração da luz solar, perda de valor estético, e mais importante, perturbação da atividade fotossintética dos organismos, resultando em perturbações da restante cadeia trófica (ITGE, 1989).

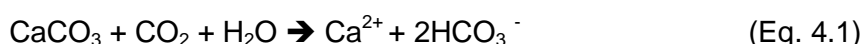
As descargas diretas de efluentes gerados pela própria mina para as linhas de água e aquíferos, antes, durante e após a exploração da mina são muito frequentes e tornam-se um dos riscos mais preocupantes, podendo estas descargas serem classificadas como ácidas ou alcalinas.

Os efluentes ácidos provenientes de minas foram classificados por White (1968), em seis categorias, de acordo com o pH dos mesmos (Quadro 3.1) (ITGE, 1989).

Classes	pH
1 – Altamente ácidos	1,5 – 4,5
2 – Brandos, ligeiramente ácidos	5,0 – 7,0
3 – Duros, neutros a alcalinos	7,0 – 8,5
4 – Brandos, alcalinos	7,5 – 11,0
5 – Muito Salinos	6,0 – 9,0
6 – Brandos, ácidos	3,5 – 5,5

Quadro 3.1 – Classificação dos efluentes gerados pelas atividades mineiras, segundo White (1968) (ITGE, 1989)

Os efluentes alcalinos, tão prejudiciais como os efluentes ácidos, são muitas vezes, incorretamente, colocados numa categoria de menor preocupação, em parte devido ao seu baixo potencial de solubilização, mas principalmente devido a errada conotação literária destes em relação aos ácidos. Na realidade, o conteúdo de anidrido carbónico, presente nos efluentes alcalinos, promove a dissolução de carbonatos de cálcio e formação de iões carbonatados, segundo uma reação:



### 3.2.1 Drenagens Ácidas de Minas (AMD)

O termo “Drenagens Ácidas de Minas” tem sido bastante debatido, no que toca ao seu uso para classificação de efluentes de minas. O seu uso, pressupõe que estes efluentes apresentam um pH ácido, e ao mesmo tempo ignora o seu conteúdo em metais pesados e restantes contaminantes a que a estes estão associados, assim como, erradamente, incorpora drenagens ácidas associadas a processos químicos naturais, sem atividade mineira em que resultam águas ácidas. Schmiermund e Drozd (1997), no entanto, propõe a expressão “Mining-Influenced Waters” (Águas de Influência Mineira) (MIW), amplificando a classificação dentro da escala do potencial de hidrogénio e no conteúdo de contaminantes.



No entanto, devido ao uso geral com que o termo “Drenagens Ácidas de Minas” é usado e aos níveis de pH observados nos efluentes da área da mina da Escádia Grande, serem inferiores a 7, será usado este termo durante todo o restante trabalho.

O elevado conteúdo de elementos químicos, especialmente os metais pesados, faz das drenagens ácidas de minas, um grande contaminante, quando em contacto com os sistemas aquíferos ou rede hídrica superficial, podendo assim condicionar estes recursos ou mesmo impossibilitando o seu uso para fins de consumo humano. As normas, parâmetros e valores desejados para o uso de águas para fim de consumo humano, uso agrícola e industrial, foram definidos, para Portugal, no Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de agosto, transpondo, para a lei Portuguesa, a Directiva nº 98/83/CE do Conselho da União Europeia, tendo sido posteriormente alterado pelo Decreto-Lei nº 243/2001, de 5 de setembro, e novamente pelo Decreto-Lei nº 306/2007, de 27 de agosto.

Para além dos impactes na qualidade da água provocados pelas drenagens ácidas de minas, estas também provocam impactes diretos e indiretos nos ecossistemas fluviais, entre os quais, a redução de oxigénio disponível para o consumo de seres vivos aquáticos, como resultado da oxidação dos catiões de ferro. A formação de precipitados de ferro que pode provocar, por um lado, a diminuição do alimento disponível e prejudicar o ciclo reprodutor de varias espécies de peixes, por outro, quando em suspensão, reduzir a atividade fotossintética das plantas aquáticas. A bioacumulação dos metais, presentes nos efluentes mineiros, pelos organismos da base da cadeia alimentar e a dificuldade em adaptação dos organismos bentónicos a estas condições, leva ao seu desaparecimento, afetando a restante cadeia alimentar. Por fim, existem espécies que conseguem proliferar nos ambientes gerados pelas drenagens ácidas de minas, e que se tornam pragas quando espécies competidoras e predatórias desaparecem do ecossistema.

#### **3.2.2 Génese das Drenagens Ácidas de Minas**

Na natureza, os sulfuretos expostos as condições propícias à sua alteração estão em quantidades muito diminutas. No entanto, a atividade mineira, expõe estes sulfuretos à ação do oxigénio, de águas superficiais e subterrâneas e de bactérias catalisadoras, originando-se ambientes que promovem a solubilização dos minerais. Para além de atuar como reagente, a água age como meio transporte para os contaminantes se deslocarem para os solos e linhas de água a jusante da zona mineira.

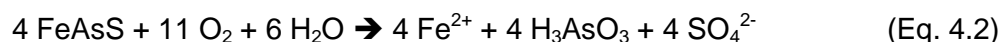
As drenagens ácidas de minas podem originar-se no interior da mina ou mesmo a superfície, com alteração de sulfuretos presentes nas escombreyras, barragens de lamas ou taludes de escavação.

Segundo Krauskopf (1972), a alteração dos variados sulfuretos, resultam, na formação de soluções de iões metálicos ou compostos estáveis a superfície, dependendo das espécies aniónicas presentes e solubilidade dos compostos metálicos, convertendo enxofre em iões sulfato e produzindo soluções ácidas.

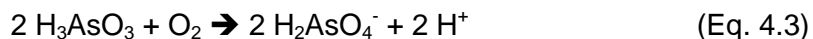
Tendo isto em conta, procede-se de seguida a uma breve explicação dos processos de alteração de alguns sulfuretos presentes na mina da Escádia Grande, que podem potencialmente gerar drenagens ácidas de mina.

#### A alteração da Arsenopirite

A arsenopirite (FeAsS) é constituída maioritariamente pelo ferro, arsénio e enxofre, e em menor quantidade por cobalto e bismuto, podendo apresentar impurezas de prata, ouro, estanho, níquel, cobre e chumbo. Esta pode sofrer alteração por oxidação, segundo a equação (Yaron, B. *et al*; 1996):



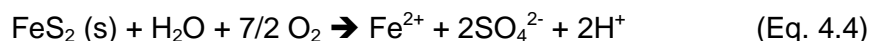
Produzindo, assim, ácido arsenioso (H<sub>3</sub>AsO<sub>3</sub>), um ácido muito fraco, mas que têm a capacidade de oxidar dando origem a ácido arsénico (H<sub>2</sub>AsO<sub>4</sub><sup>-</sup>), um ácido forte:



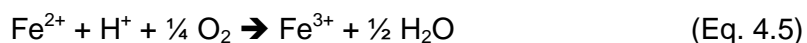
#### A alteração da pirite

A pirite (FeS<sub>2</sub>) é constituída maioritariamente por ferro e enxofre, existindo, por vezes, em menor quantidade, elementos menores de níquel e cobalto, estando também associados contaminações de ouro e cobre. A pirite é alterada por processos naturais orgânicos e inorgânicos, gerando produtos combinados de ferro, oxigénio e sulfatos.

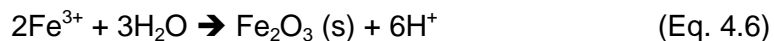
Segundo Stumm e Morgan (1970), o processo de alteração inorgânica da pirite, dá-se por oxidação, na presença de água num meio aeróbio, segundo a equação:



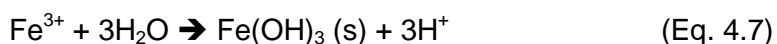
Produzindo-se, assim, sulfato, hidrogeniões e ferro ferroso (Fe<sup>2+</sup>), que por sua vez, irá ser oxidado em ferro férrico (Fe<sup>3+</sup>), igualmente solúvel:



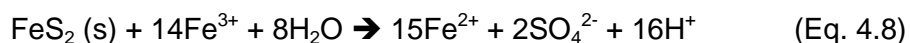
O ião férrico, é então, hidrolisado, dando origem a hidrogeniões, um óxido ou hidróxido férrico que precipita em quase a sua totalidade, conduzindo a formação de “yellow boy”, depósitos de óxidos de ferro que se acumulam no fundo dos cursos de água, apresentado uma cor amarela a laranja.



Ou



Por sua vez, o Ferro (III) ( $\text{Fe}^{3+}$ ), que não precipita, tem a capacidade de oxidar mais pirite, mesmo sem a presença de oxigénio, produzindo mais hidrogeniões e aumentando a acidez (Garrels and Thompson, 1960):



No caso da alteração biológica da pirite, esta dá-se por oxidação por microrganismos, cujo papel tem sido fortemente debatido, em termos de uma ação direta ou indireta, não sendo um dos objetivos deste trabalho a abordagem deste tema.

#### A alteração da galena

A galena ( $\text{PbS}$ ), apresenta na maioria da sua constituição o chumbo e o enxofre, podendo ocorrer em menores quantidades, como contaminantes ou por vezes em substituição do chumbo, o arsénio, o bismuto, o cádmio, o cobre, o ferro, o magnésio, a prata, o tálio e o zinco. A galena é bastante estável em condições de Eh baixo, no entanto, por vezes pode oxidar-se diretamente ou dissolver-se em sulfato férrico e ácido sulfúrico (Guilbert & Park, 1986):

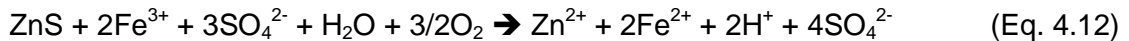


Encontrando-se na presença de carbonatos, pode ocorrer a oxidação da galena em anglesite e de seguida conversão de anglesite em cerussite (Eq. 4.9), que é bastante insolúvel:



A alteração da blenda

A blenda (ZnS), constituída maioritariamente por enxofre e zinco, tendo muitas vezes ferro a substituir o zinco, e quantidades menores de cádmio e manganês. Mais raramente apresenta elementos menores de cobalto, gálio, germânio, índio e mercúrio. A blenda pode oxidar de modo direto, ou na presença de sulfato férrico (Guilbert & Park, 1986):

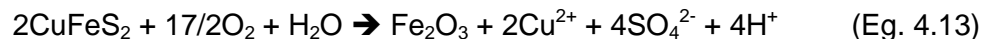


Sendo o sulfato de zinco solúvel, este não tem grande dificuldade em dispersar-se no sistema hídrico.

A alteração da calcopirite

A calcopirite (CuFeS<sub>2</sub>), constituído por cobre, ferro e enxofre, sendo possível a presença de quantidades reduzidas de alumínio, chumbo, cobalto, estanho, manganésio, níquel, platina, ouro e zinco, a substituir o ferro, ou arsénio e selénio, a substituir o enxofre.

Este sulfureto pode alterar por oxidação, na presença de oxigénio e água, dando origem a óxidos de ferro e uma solução ácida de cobre e sulfato (Guilbert & park, 1986):



Para além da alteração direta, a calcopirite pode alterar-se na presença de sulfato férrico em solução aquosa, segundo a reação (Guilbert & Park, 1986):



Assim, o ácido sulfúrico gerado nas reações de alteração da calcopirite, contribui, não só para a diminuição do pH, como na intensificação do processo de alteração de mais calcopirite.

### 3.2.3 Impactes sobre a água na área de estudo

Na área mineira é possível observar as quatro entradas para as galerias que se encontram seladas por tijolo e com manilhas para escoamento de águas na parte inferior (Fig. 3.1). O escoamento de águas a partir das galerias foi observado apenas em época de chuvas, no entanto, esta também ocorre em época seca com menor intensidade. A razão para este escoamento mineiro não ter sido observado na época seca, poderá estar relacionada com a reduzida pluviosidade que se fez sentir por todo o país no ano hídrico de 2012.

No que toca as propriedades físico-químicas das águas da área mineira, estas serão abordadas no Capítulo 5 - Resultados.



Fig. 3.1 – Escoamento de efluentes mineiros em entradas para galerias da mina da Escádia Grande. a) Coordenadas: 4437129 N, 575224 E. b) Coordenadas 4437148 N, 575254 E. (março, 2013)

### **3.3 Impactes sobre o solo**

No que toca ao solo, os impactes associados começam na implantação da exploração mineira, com a decapagem, transporte e criação de aterros dos solos para criação de toda a infraestruturas da zona mineira, assim como a compactação do terreno por onde se deslocam os veículos de trabalho. Estas operações reduzem a quantidade disponível de solo arável, assim como da vegetação que o cobre, e conseqüentemente favorecimento da erosão. Também a implantação de edifícios de apoio a exploração, como lavarias, provoca uma redução da área florestal, que vai depender da dimensão da exploração.

Durante a fase de exploração, podem ocorrer contaminações do solo, por descarga acidental, ou intencionada, de óleos e combustíveis das máquinas. No entanto, as contaminações mais graves, devido à sua perduração após o abandono da mina, são a acidificação dos solos, salinização e a contaminação por metais pesados. A acidificação dos solos, é o resultado da deposição de poeiras com sulfuretos, em conjunto com a oxidação quer destes, quer dos materiais presentes nas escombreliras, assim como a circulação de águas ácidas. A presença de sódio e outros sais igualmente solúveis, conduz a salinização do solo, potenciando, ao mesmo tempo, a migração de sais para os horizontes mais superficiais do solo (Marcus, J., 1997). A contaminação por metais pesados é resultante da difusão dos materiais de escombreliras por águas pluviais ou superficiais (Favas, 2008).

#### **3.3.1 Impactes gerados pelas escombreliras sobre os solos**

As explorações mineiras produzem grandes quantidades de resíduos, que são depositados em escombreliras (ITGE, 1989). Estas acabam no entanto por receber uma miscelânea de diferentes tipos de materiais, desde solos de cobertura, rochas encaixantes do filão, ganga e detritos resultantes do tratamento do minério. Estes materiais apresentam distintas granulometrias, densidades, porosidades, propriedades químicas, metais pesados, entre outras, sendo no entanto depositados em conjunto nas escombreliras (ITGE, 1989). A contaminação dos solos por metais pesados presentes nas escombreliras dá-se por lixiviação e transporte destes metais para o solo, sendo este processo intensificado quando se formam águas ácidas a partir de sulfuretos presentes nas escombreliras e conseqüente criação de meio ótimo para solubilizar e mobilizar metais, provocando uma dispersão destes para o solo, linhas de água superficiais e aquíferos, e posteriormente os seres vivos que dependem destes (Williamson *et al.*, 1982).

Outro modos de dispersão de contaminantes a partir da escombreira, podem estar relacionados com processos de erosão, hídrica ou eólica, e em casos de instabilidade da escombreira os processos de deslizamento de massa, que retiram material das escombreiras depositando-os sobre os solos envolventes.

Na área da Escádia Grande, no entanto, não se encontram problemas de estabilidade das escombreiras, podendo ser devido ao método construtivo destas, ou segundo um relatório da Empresa de Desenvolvimento Mineiro, SA de 2010, alguns trabalhos de estabilização destas executados por esta empresa no local, existindo também um relatório de 2000, do Laboratório Nacional de Energia e Geologia que indicava que as escombreiras se encontravam estáveis. É importante mencionar que as escombreiras de finos se encontram muito instáveis, apesar de se encontrarem revestidos por vegetação. O método construtivo destas foi o despejo livre, em encosta, assentando em concordância com a topografia do terreno, acompanhando esta, estando também sustentadas por bastante vegetação, onde predominam árvores de grande porte. Mesmo assim as escombreiras presentes ocupam uma área de 25.000 m<sup>2</sup>, com materiais bastante heterogéneos, desde blocos de xisto a blocos de quartzo, e presença de sulfuretos (Fig. 3.2). Não há qualquer distinção de granulometria nas escombreiras, sendo possível observar material de todo o tamanho.

As propriedades físico-químicas dos materiais de escombreiras, assim como o seu potencial de contaminação sobre os solos e linhas de água serão abordados no Capítulo 5 - Resultados.

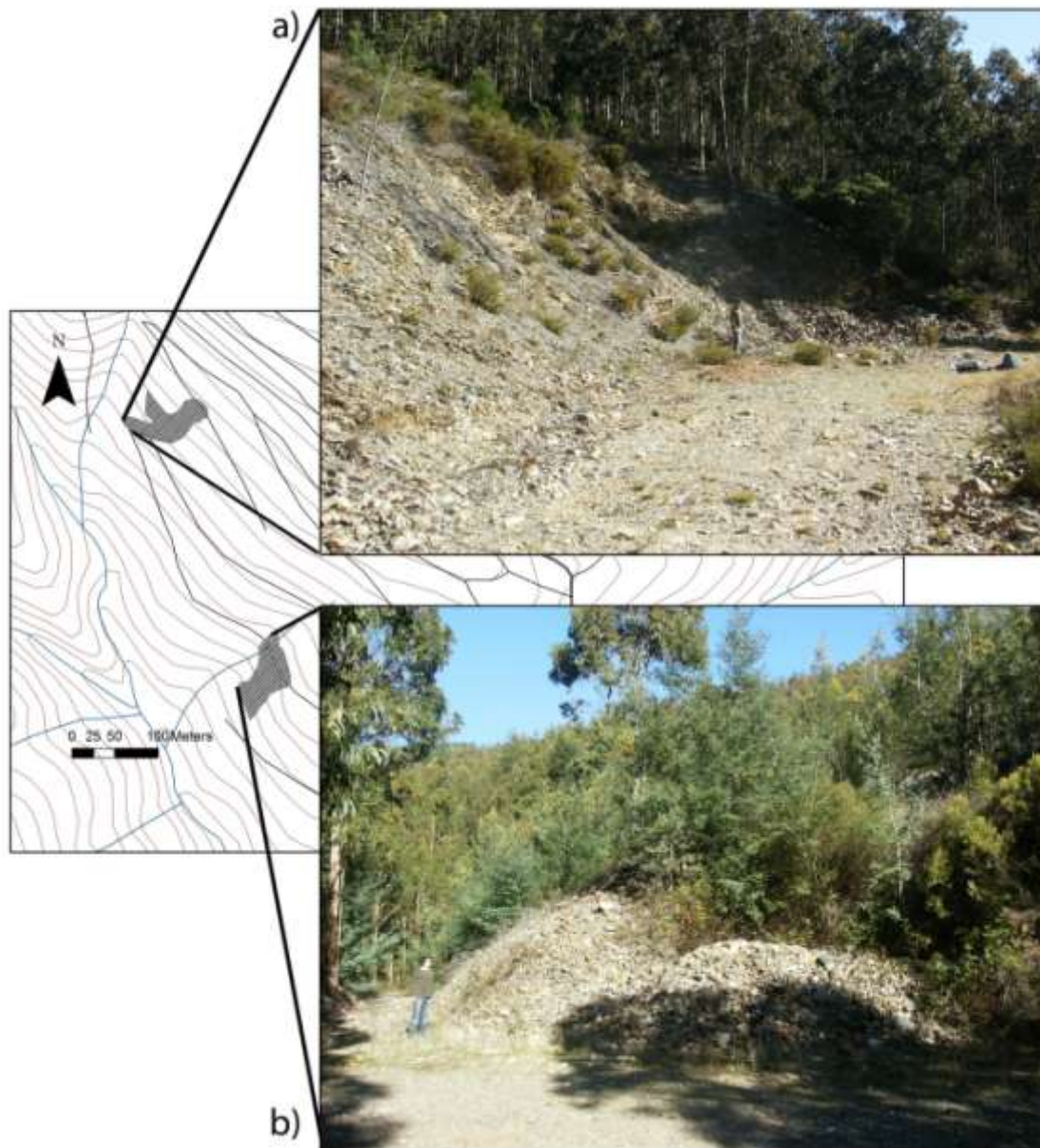


Fig. 3.2 – Escombrelras da antiga mina da Escádia Grande. a) Escombrelra de Norte.  
b) Escombrelra Sul.



### **3.4 Impactes sobre a fauna e flora**

Os impactes ambientais sobre a fauna e a flora fazem-se sentir na fase de implementação das explorações mineiras e perduram após o abandono das atividades. A decapagem do terreno, remoção e compactação de solo e a instalação de escombrelas e anexos mineiros provocam a destruição dos habitats das espécies nativas, e conseqüente êxodo destas para outros locais. Durante a exploração, as poeiras geradas depositam-se nas folhas, reduzindo a atividade fotossintética, ocorrendo também a emissão de gases e um aumento do ruído, que provocam alterações nos parâmetros ecológicos e conseqüentemente na biodiversidade (Williamson *et al*, 1982).

Os seres vivos que habitam ou dependem dos cursos de águas afetados por impactes relacionados com a qualidade da água, já anteriormente referidos, são também afetados pelo aumento da turvação da água, pelas águas ácidas, pelo conteúdo de metais pesados e formação de precipitados de ferro no fundo dos leitos. O aumento da turvação da água reduz a penetração da luz, reduzindo a atividade fotossintética. Os cursos de água afetados pelas águas ácidas, acabam por sofrer uma redução do seu pH, conduzindo a uma mudança das condições do meio a que as espécies locais tem dificuldade em se adaptar, podendo levar ao desaparecimento de diversas populações. Muitos dos metais pesados presentes, em elevadas quantidades, em águas afetadas pela atividades mineiras são tóxicos para plantas e animais, havendo também a possibilidade de bioacumulação destes metais em órgãos e tecidos de espécies que se encontram na base da cadeia alimentar, acabando por contaminar a restante cadeia.

### **3.5 Impactes sobre o ar**

Os impactes das explorações mineiras provocados sobre o ar começam logo na fase de instalação da exploração, com a emissão de gases, fumos e vapores provocados pelos veículo e equipamento usado. No entanto após o encerramento da exploração grande parte dos impactes deixa de se fazer sentir, mantando-se no entanto as poeiras, que surgem no início da exploração podendo manter-se até muito depois desta ter cessado (ITGE, 1989).

As poeiras geradas pelas explorações mineiras provocam problemas de saúde pública, tanto aos trabalhadores como aos habitantes de áreas próximas da exploração, causando também prejuízos na atividades agropecuárias. Quando as poeiras assentam sobre as folhas das árvores criam uma película de poeira que reduz a atividade fotossintética, causando danos na vegetação (ITGE, 1989).

### **3.6 Impactes sobre o clima**

Segundo Gonzáles (1990) (em Favas, 1999), os impactes ambientais sobre o clima só se fazem sentir em explorações mineiras de área geográficas bastante extensas, com implicação da alteração de grandes áreas florestais. Este tipo de explorações não ocorrem em Portugal, sendo considerado que os impactes sobre o clima na área de estudo são nulos.

### **3.7 Impactes sobre o ambiente sonoro**

A abertura de uma exploração mineira impõe um elevado aumento de ruído associado aos trabalhos executados nesta pela maquinaria usada (ITGE, 1989). No entanto, este impacte deixa de se fazer sentir após o abandono dos trabalhos.

### **3.8 Impactes sobre o equilíbrio geodinâmico**

A remoção da vegetação e solo de cobertura, a extração de material subterrâneo e criação de escombrelas são as operações que mais provocam impactes no equilíbrio geodinâmico nas áreas onde são implantadas explorações, começando logo no processo de implementação e permanecendo após o abandono da exploração, podendo ainda agravar devido a ausência de suporte e monitorização existente durante a exploração.

Ao remover o solo de cobertura e a sua respetiva vegetação, expõe-se o substrato a processos de erosão, transporte e sedimentação, levando a problemas que já foram mencionados anteriormente. No que toca à extração de material subterrâneo, esta provoca uma compactação das rochas devido à pressão litostática, podendo levar a subsidência do terreno.

A erosão das escombrelas pode ser causado pelo vento ou pela água. A erosão eólica das escombrelas depende sempre da quantidade de material fino presente na escombrela assim como a velocidade e turbulência do vento, formando poeiras que diminuem a qualidade do ar, depositam-se sobre edifícios, provocando danos materiais, assim como sobre as folhas, provocando redução da atividade fotossintética, como já foi previamente mencionado. Quanto à erosão hídrica, a pluviosidade provoca a desagregação

de partículas de menores dimensões, no entanto, quando a precipitação é superior a capacidade de infiltração, ocorre o escoamento superficial, com maior capacidade erosiva e de transporte, podendo ocorrer o assoreamento de linhas de água, o aumento de partículas em suspensão e turvação da água e consequentes impactes associados, já denominados nos impactes sobre a água.

#### **3.9 Impactes sobre a paisagem**

As explorações mineiras provocam modificações paisagísticas no meio onde se instalam relacionados com a criação de escombreliras e de estruturas anexas à exploração, produzindo assim contrastes de formas e cores que se destacam na paisagem, conduzindo à perda de valor estético desta (Williamson *et al.*, 1982; ITGE, 1989).

No caso da mina da Escádia Grande, as formas que mais se destacam na paisagem são as escombreliras, mesmo que estas se encontrem parcialmente cobertas por vegetação. Sendo também possível observar algumas estruturas anexas à exploração que se encontram em estado degradado (Fig. 3.3; Fig. 3.4), e que se destacam, embora em pequena escala, da vegetação nativa da área de estudo.

#### **3.10 Impactes sobre o Homem**

As explorações mineiras acabam por ter consequências também para o Homem. Durante a fase de trabalhos o ruído, os gases e as poeiras libertados têm consequências para a saúde pública dos habitantes de zonas contíguas a exploração, sendo as últimas também responsáveis sobre danos em edifícios e bens materiais. Os impactes que afetam a qualidade dos solos e das águas, já mencionados, acabam por, indiretamente, afetar o homem, que depende e desenvolve a sua atividade sobre estes.



Fig. 3.3 – Edifício anexo a exploração da mina da Escádia Grande em elevado estado de degradação (março, 2013).



Fig. 3.4 – Edifício de alimentação elétrica da mina da Escádia Grande (março 2013).

### 3.11 Súpula qualitativas dos impactes previsíveis

Apresenta-se seguidamente, uma sumarização dos impactes previamente mencionados, assim como o grau de risco esperado para a área da mina da Escádia Grande (Quadro 3.2).

<b>Componentes</b>	<b>Impactes</b>	<b>Risco</b>
Águas	Rebaixamento dos níveis freáticos	Baixo
	Alteração do trajeto normal dos cursos de água	Nulo
	Turvação da água	Baixo
	Contaminação por metais pesados	Alto
	Acidificação das águas	Alto
Solos	Perda de solos arável	Baixo
	Contaminação por metais pesados	Alto
	Acidificação dos solos	Alto
	Salinização dos solos	Baixo
Fauna e Flora	Destruição de habitats	Nulo
	Bioacumulação de metais por espécies vegetais	Médio/Alto
Ár	Emissão de gases, fumos e/ou vapores	Nulo
	Emissão de poeiras	Médio
Ambiente Sonoro	Ruído	Nulo
Equilíbrio Geodinâmico	Erosão do substrato rochoso	Baixo
	Sedimentação de particulados	Alto
	Subsidência do terreno	Baixo
Paisagem	Perda de valor estético	Baixo
Homem	Consequências para a saúde pública	Baixo
	Danificação de edifícios/bens materiais	Nulo

Quadro 3.2 – Súpula dos impactes previsíveis e classificação do risco espectável.



## 4. Metodologia

### 4.1 Métodos de amostragem

Os trabalhos de amostragem tiveram como objetivo a recolha de amostras de águas superficiais, solos, sedimentos de corrente e material de escombreliras, a fim de dar a conhecer a dispersão horizontal da contaminação, assim como as características do meio que não foi afetado pela atividade mineira. A amostragem dos sedimentos e linhas de água teve em conta as sub-bacias hidrográficas, enquanto que a amostragem de solos foi feita segundo uma malha regular.

#### 4.1.1 Amostragem de águas superficiais

Para recolha de águas superficiais, foram feitas duas campanhas durante um período de um ano, uma correspondente a época seca (setembro de 2012); e outra correspondendo à época de chuvas (março de 2013). Foram escolhidos 10 locais para a amostragem (Fig. 4.1), tendo em conta que:

- 4 pontos situam-se fora da área de influência da área mineira (EG1, EG4, EG6 e EG7), dois dentro da influência de filões com a presença de sulfuretos (EG6 e EG7);
- 2 pontos estão diretamente afetados pela área mineira (EG2 e EG3);
- Os restantes pontos foram recolhidos em linhas de água que confluem com as água que atravessam a área mineira, a jusante das confluências (EG5 e EG8), e na ribeira do Sinhel (EG9 e EG10) a fim de observar como os elementos se comportam ao longo do curso de água principal.

As amostras foram colhidas em frascos de polietileno, previamente lavados com água destilada, mergulhados em HNO<sub>3</sub> a 10% e novamente lavados com água destilada. Quando se procedeu à amostragem o frasco foi lavado com a própria água, e de seguida procedeu-se à colheita, enchendo totalmente o frasco, a fim de evitar alterações nas características físico-químicas da água. O transporte das águas foi feito com recurso a arcas frigoríficas, mantendo a temperatura baixa, evitando alterações nas propriedades das águas.

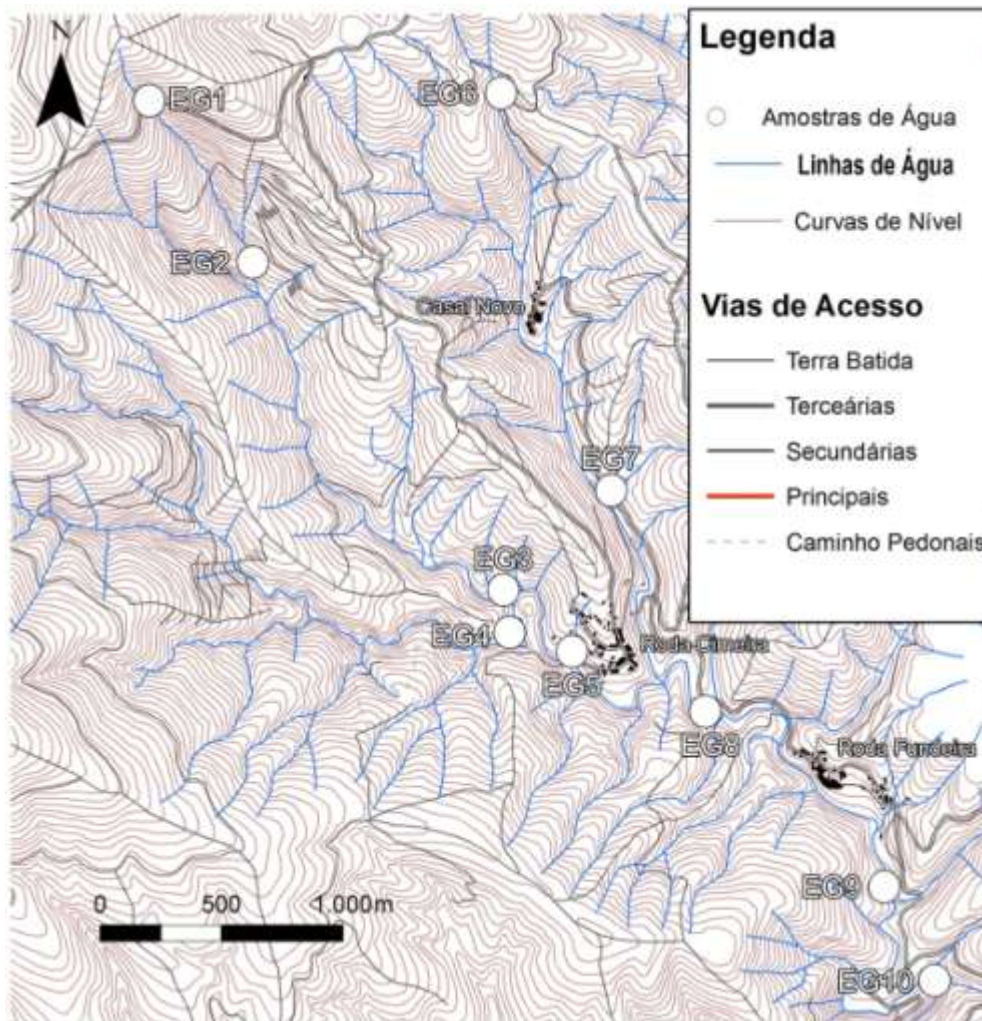


Fig. 4.1 – Localização dos pontos de amostragem das águas.

#### 4.1.2 Amostragem de solos

A colheita de solos foi feita em dois dias com um dia de intervalo, em época seca, onde são esperados níveis de contaminação mais elevados, e segundo 5 perfis perpendiculares à direção do filão NW-SE, com pontos distanciados 100 metros entre si, assim como alguns pontos próximos da mina, totalizando 46 pontos de amostragem, que se encontram representados na figura 4.2.

O processo de recolha destas amostras consistiu na remoção da camada superficial de solo, atingindo o horizonte B. Em cada ponto de amostragem, este processo foi feito em 5 locais, distanciados a menos de um metro do ponto central, a fim de se obter uma amostra bem representativa do local.

A série A, corresponde a um perfil que se espera fora da influência mineira, assim como os últimos números da série B, D, E e M (SEG-B8, SEG-D11, SEG-E4 e SEG-M8). A



série B, que já se encontra dentro da área de influência mineira, localiza-se a Sul da escombreira Norte, enquanto que a série C se encontra a Sul da escombreira Sul. A série D, localiza-se a Sul da série C a uma equidistância semelhante entre a série A e a série B. Por fim, a série E, localiza-se a Sul da série D, tendo como objetivo perceber qual a influência da mina para jusante.

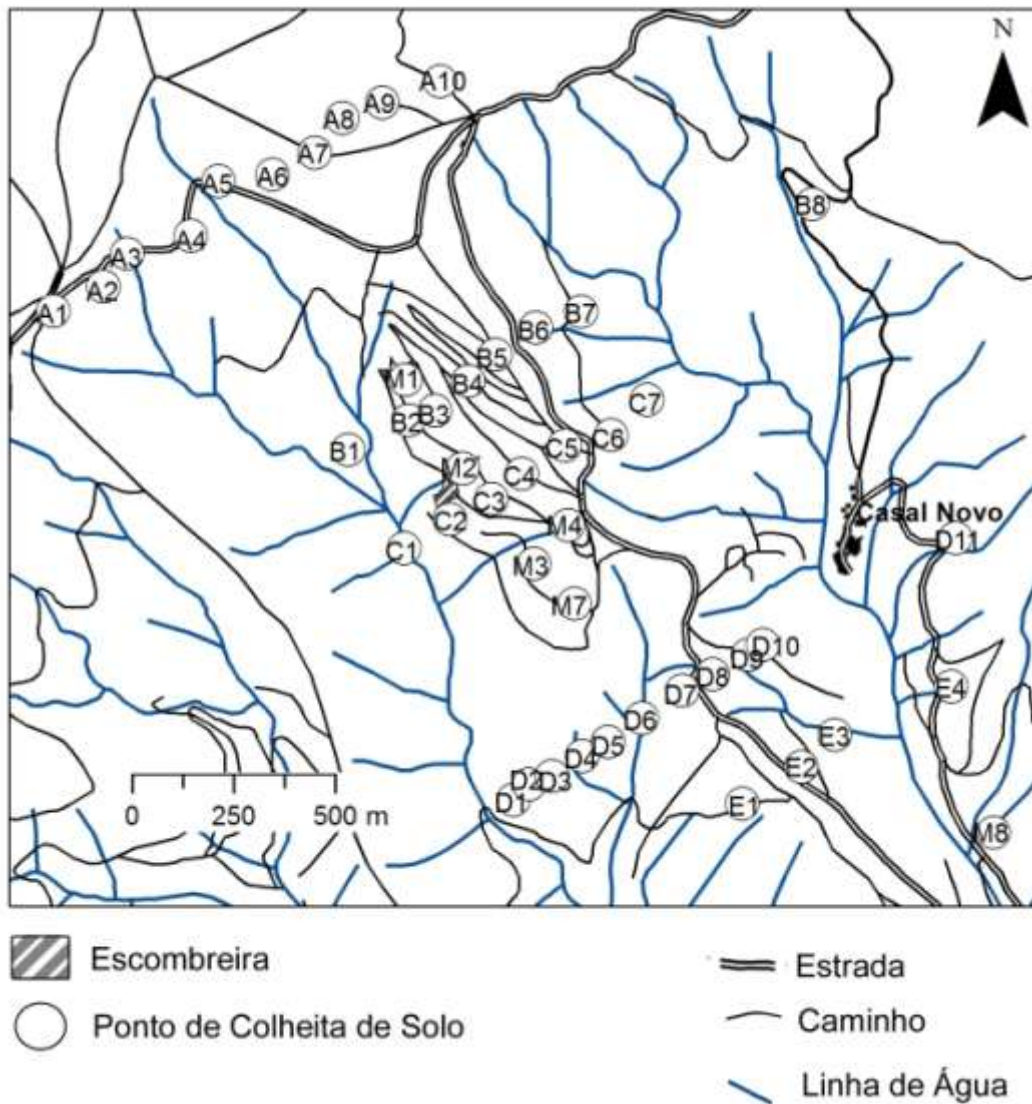


Fig. 4.2 – Localização dos pontos de amostragem de solos na área mineira.

### 4.1.3 Amostragem de sedimentos de corrente

A amostragem dos sedimentos de corrente foi feita na mesma altura da primeira fase de colheita das águas superficiais e nos mesmos locais, obtendo-se assim 10 amostras que se encontram representados na figura 5.1.

Assim, foram colhidos três pontos fora da área de influência da mina da Escádia Grande que servirão para a determinação do fundo geoquímico (SEDEG-1, SEDEG-6 e SEDEG-7), dois pontos a jusante da zona mineira (SEDEG-2 e SEDEG-3) e cinco pontos de zonas que fazem confluência com a linha de água proveniente da zona mineira, e que tem como função observar a variação da geoquímica dos sedimentos ao longo da Ribeira do Sinhel (SEDEG-4, SEDEG-5, SEDEG-8, SEDEG-9 e SEDEG-10). Os sedimentos foram recolhidos do fundo das linhas de água usando uma pá, e depositados, sem água, em caixas abertas, a fim de evitar possíveis alterações químicas.

### 4.1.4 Amostragem de materiais de escombreyras

Os materiais de escombreyras foram recolhidos em época seca, tendo sido colhidas duas amostras por cada escombreyra. Na escombreyra mais a Norte o EGME-1 e EGME-2 e na escombreyra mais a Sul, as amostras EGME-3 e EGME-4, que se encontram representadas na figura 4.3.

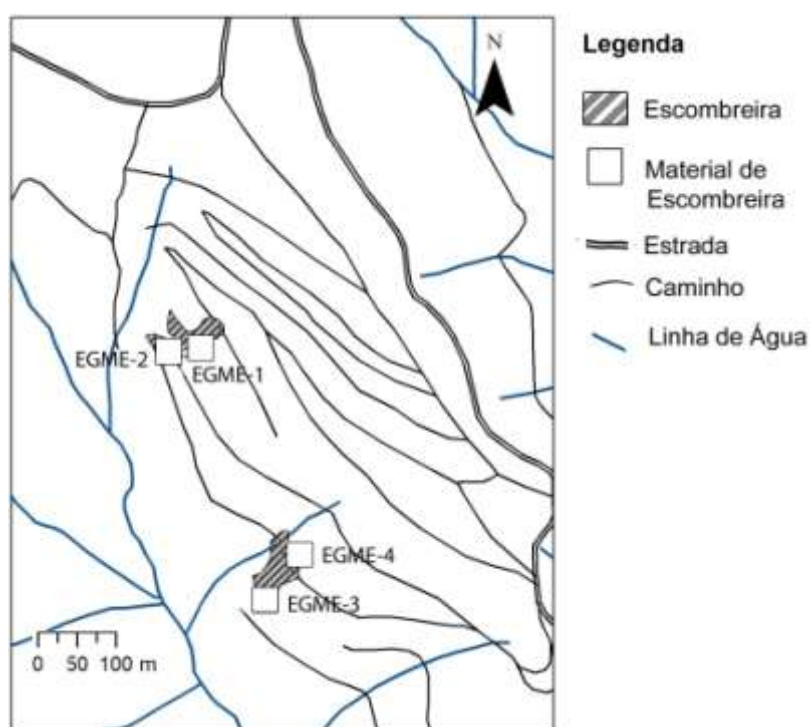


Fig. 4.3 – Localização dos locais de amostragem das escombreyras.

## 4.2 Medições de parâmetros “*in situ*”

Foram feitas medições de propriedades físico-químicas que podem sofrer alterações durante o processo de recolha e transporte para o laboratório. Assim foram determinados em campo, com auxílio da sonda multi-parâmetros DKK-TOA Model WQC-24, o pH, a temperatura, a condutividade elétrica, a turbidez e o oxigénio dissolvido. As especificações da sonda multi-parâmetros encontram-se representadas no Quadro 4.1.

Parâmetros	Unidades	Resolução	Precisão
pH	Escala de <i>Sørensen</i>	0,01	± 0,05
Temperatura	°C	0,1 °C	± 0,25 °C
Condutividade Elétrica	μS/Cm	0,01 μS/Cm	± 1%
Oxigénio Dissolvido	mg/l	0,01 mg/l	± 0,1 mg/l
Turbidez	NTU	0,1 NTU	± 3%

Quadro 4.1 – Especificações da sonda DKK-TOA Model WQC-24.

Foram feitas calibrações da sonda de pH e do oxímetro, previamente às determinações “*in situ*”. A sonda de pH foi calibrada com soluções padrão, com valores de pH de 4,00 e 7,00. Quanto ao oxímetro, este foi calibrado em campo, a uma altitude média dos pontos a amostrar.

Aquando das medições em campo procedeu-se também a cinco repetições das análises em quatro dos ponto de amostragem (EG1, EG2, EG7 e EG9), a fim de determinar o erro das análises “*in situ*”. Assim, procedeu-se a determinação do mínimo, máximo, média, desvio padrão, intervalo de valores aceitáveis e o coeficiente de variação (Quadro 4.2). Este último é dado pela razão entre o desvio padrão e a média, sendo o valor final apresentado em percentagem. Os erros das análises “*in situ*” determinados nunca excederam os 9,58%, podendo assim ser considerados valores aceitáveis.

	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Valores Aceitáveis		Coef. De Variação (%)
					M. - D.P.	M. + D.P.	
pH	6,31	6,33	6,32	0,01	6,31	6,32	0,14
	5,78	6,32	6,03	0,19	5,84	6,22	3,19
	5,25	5,87	5,55	0,26	5,29	5,81	4,70
	5,35	5,78	5,61	0,17	5,44	5,78	2,97
Temperatura (°C)	12,70	12,90	12,88	12,72	0,08	12,80	0,62
	12,60	12,95	12,94	12,66	0,14	12,80	1,07
	13,12	14,10	14,08	13,33	0,38	13,70	2,75
	12,94	14,46	14,24	13,16	0,54	13,70	3,96
Turbidez (NTU)	0,60	0,70	0,66	0,58	0,04	0,62	7,21
	10,50	13,40	12,71	10,49	1,11	11,60	9,58
	0,60	0,70	0,71	0,61	0,05	0,66	8,30
Conductividade Elétrica (µS/cm)	0,90	1,10	1,06	0,90	0,08	0,98	8,54
	2,10	2,45	2,40	2,14	0,13	2,27	5,74
	1,50	1,90	1,83	1,53	0,15	1,68	8,83
	2,30	2,60	2,57	2,35	0,11	2,46	4,63
Oxigénio Dissolvido (mg/l)	2,60	3,20	3,17	2,71	0,23	2,94	7,83
	15,90	18,50	18,23	16,37	0,93	17,30	5,36
	17,60	22,15	21,33	18,09	1,62	19,71	8,22
	95,45	103,46	102,82	97,05	2,89	99,94	2,89
	27,86	34,60	34,63	29,52	2,56	32,08	7,97

Quadro 4.2 – Erros analíticos das análises “in situ”.

### **4.3 Tratamento de amostras**

O processamento das amostras decorreu no laboratório de Biogeoquímica do Departamento de Ciências da Terra, da Universidade de Coimbra.

#### **4.3.1 Tratamento das amostras de águas superficiais**

O tratamento das amostras de águas superficiais foi executado num período 24 horas após a recolha. As águas superficiais foram filtradas com filtros Whatman 0.45  $\mu\text{m}$  com 47 mm de diâmetro, retirando assim o material insolúvel. Todo o material auxiliar deste processo, foi previamente lavado com água destilada, de seguida mergulhado em ácido nítrico a 10% durante pelo menos 24 horas e novamente lavado com água destilada.

Após a filtragem as amostras foram divididas nas seguintes sub-amostras:

- Três frascos de 50 ml para análise de bicarbonatos, nitratos e cloretos;
- Um frasco de 100 ml, um para análise de sulfatos;
- Um frasco de 100 ml para determinação de catiões, ao qual foi adicionado 0,3 ml de  $\text{HNO}_3$  a 65%, tornando a solução ácida ( $\text{pH} < 2$ ), para conservação.

#### **4.3.2 Tratamento das amostras de solos e materiais de escombreira**

As amostras de solos e materiais de escombreira foram colocadas em estufa, a uma temperatura de 40° C, até a secagem completa da amostra e ao mesmo tempo preservando elementos que interessam analisar e são facilmente volatizáveis como por exemplo o arsénio. Estas estiveram na estufa até se encontrarem totalmente secas e posteriormente foram peneiradas com crivos com aberturas de 2 mm, 1 mm e 180  $\mu\text{m}$ . Estas foram guardadas para uso em análises químicas, sendo o material superior a 2 mm guardado como testemunho.

#### **4.3.3 Tratamento das amostras de sedimentos de corrente**

Os sedimentos de corrente foram colocados em tabuleiros entre folhas de papel de filtro, a fim de ser removido o excesso de água. Posteriormente as amostras foram colocadas na estufa a uma temperatura de 40° C, evitando volatilização de elementos que interessam analisar. Quando estas se encontravam secas, procedeu-se de mesmo modo

que com os solos, utilizando os crivos com aberturas de 2 mm, 1 mm e 180 mesh, guardando as frações inferiores a 2 mm para usar em análises químicas, e a fração superior a 2 mm como testemunho.

#### 4.4 Técnicas analíticas

##### 4.4.1 Águas superficiais

As análises das águas superficiais foram realizadas no laboratório do Biogeoquímica do Departamento de Ciências da Terra, da Universidade de Coimbra.

##### 4.4.1.1 Determinação de bicarbonatos

A determinação da concentração de bicarbonatos presente águas foi executada após a filtração, logo que as águas chegaram ao laboratório, uma vez que não foi possível realizar esta determinação em campo.

Para tal, foram realizadas titulações, onde foram colocados 50 ml de água previamente filtrada num copo de vidro, onde posteriormente foi inserida uma sonda de pH, previamente calibrada. De seguida adicionaram-se gotas de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,01N) na amostra até estas atingirem um pH igual a 4,5, e registando a quantidade de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> necessária para tal. Quando o pH atinge um valor de 4,5, pode-se afirmar que todos os aniões de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, consumidos. Foi utilizado o mesmo processo com água destilada, a fim de se obter um branco, não só para controlo da sonda de pH mas também para controlar as potenciais mudanças que pudessem ocorrer durante o procedimento. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998).

Sabendo a quantidade de ácido usado, pode-se determinar, por estequiometria, a quantidade de bicarbonato presente na água inicialmente, através da fórmula:

$$V(\text{HCO}_3^-)_{\text{Amostra}} \text{ (mg/l)} = \frac{[V(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{Amostra}}] - [V(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{Branco}}]}{V_{\text{Amostra}} \text{ (ml)}} \times [\text{Peso HCO}_3^-]$$

Onde: V representa o volume.

Todo o material usado durante o procedimento que esteve em contacto com as águas foi sendo substituído entre amostras a fim de não existir contaminações, com exceção da sonda de pH, que foi lavada com água destilada entre amostragens.

#### 4.4.1.2 Determinação de sulfatos

A determinação da concentração de sulfatos foi feita por espectrofotometria no ultravioleta visível, recorrendo ao espectrofotómetro Milton Ray 1201, segundo o método adotado por Sheen, et al (1935) *in* Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998).

Para tal, foram colocadas num copo de vidro, 100 ml de amostra previamente filtrada, ao qual foi adicionado 0,2 g a 0,3 g de cloreto de bário ( $\text{BaCl}_2$ ) e 5 ml de reagente condicionante, constituído por, 30 ml de HCl (37%), 300 ml de água destilada, 100 ml de etanol (95%), 75 g de NaCl e 50 ml de glicerol. Antes de se proceder à análise dos sulfatos, procedeu-se a medição de padrões que se encontram no quadro 4.3. Procedeu-se então à medição dos sulfatos, colocando uma pequena porção das amostras em pequenos recipientes de quartzo, para leitura da absorvância a 530 nm. Seguidamente foram efetuados leituras de absorvância para uma escala de padrões e os valores finais foram calculados por interpolação na curva definida.

Padrão (ppm)	Valor
0,5	0,269
1,0	0,512
1,5	0,634
2,0	0,931
2,5	1,106
3,0	1,148
3,5	1,343
4,0	1,433
5,0	1,518

Quadro 4.3 – Valores dos padrões determinados para os sulfatos.

#### 4.4.1.3 Determinação de nitratos

A determinação da concentração de nitratos foi feita por espectrofotometria no ultravioleta visível, recorrendo ao espectrofotómetro Milton Roy 1201, segundo a metodologia descrita por Hoather; et al (1959) *in* Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998).

Retiraram-se 50 ml de água de cada amostra, previamente filtrada, para copos de vidro, e adicionaram-se 1 ml de HCl (1N). Tal como os sulfatos foram calculados previamente os padrões que se encontram na Quadro 4.4. Depois de lida a absorvância a 220 nm, fez-se a interpolação sobre a curva de padrões para obter o valor final.

Padrão (ppm)	Valor (Abs.)
1	0,013
2	0,054
4	0,178
10	0,479
20	1,146

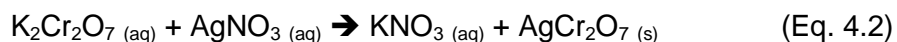
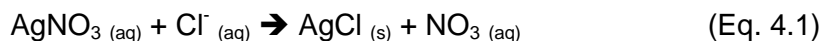
Quadro 4.4 – Valores dos padrões determinados para nitratos.

#### 4.4.1.4 Determinação de cloretos

Para determinação dos cloretos foi usado o método de Mohr, e consiste numa titulação. Foram colocados 50 ml de águas previamente filtradas em copos de vidro, ao qual foram adicionados 1 ml de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) a 5%, que irá agir como indicador. Com o auxílio de uma pipeta volumétrica, vai-se adicionando, gota a gota, nitrato de prata ( $AgNO_3$ ) 0,0141N até a solução atingir uma coloração amarela alaranjada. O nitrato de prata ( $AgNO_3$ ) vai reagir com os cloretos, formando cloreto de prata ( $AgCl$ ) (Eq. 5.1), só quando os cloretos reagirem completamente com o nitrato de prata, é que este reage com o dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ), dando origem a nitrato de potássio ( $KNO_3$ ) e dicromato de prata ( $AgCr_2O_7$ ), que precipita dando origem a coloração amarela alaranjada (Eq.5.2). No entanto, devido ao facto do ponto de viragem da coloração, seja posterior ao ponto de equilíbrio, uma vez que é necessário inserir iões de prata para reagir com o dicromato de



prata, é necessário fazer uma titulação de um branco com água destilada, a fim de corrigir o erro que ocorrera durante esta metodologia (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998).



Os valores de nitrato de prata usados foram registados, e de seguida, foram calculados os valores de cloretos presentes em cada amostra, segundo a equação:

$$V(\text{Cl}^-) \text{ (mg/l)} = \frac{[V(\text{AgNO}_3)_{(\text{Amostra})} - V(\text{AgNO}_3)_{(\text{Branco})}] \times 0,0141 \times M(\text{Cl}^-)}{V_{(\text{Amostra})}}$$

#### 4.4.1.5 Determinação de catiões

A determinação das concentrações dos catiões Ag, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, K, Mg, Na, Ni, Pb e Sb foram efetuados por Espectrofotometria de Absorção Atómica, recorrendo ao uso do espectrómetro SOLAAR M Series AA, no laboratório de Biogeoquímica do Departamento de Ciências da Terra, da Universidade de Coimbra. Utilizou-se a técnica de chama para o Ca, o K, o Mg e o Na, e a câmara de grafite para o Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Sb.

#### 4.4.1.6 Erro analítico

Uma análise hidroquímica considera-se completa se a concentração de aniões seja próxima da concentração de catiões (Feitosa & Filho, 2000). Assim, segundo Appelo & Postma (2005), pode-se determinar o erro de uma amostra através de um balanço de cargas elétricas positivas e negativas, segundo a formula:

$$\text{Electroneutralidade (EN) \%} = \frac{[\sum \text{catiões} - \sum \text{aniões}]}{[\sum \text{catiões} + \sum \text{aniões}]} \times 100$$

A análise de uma amostra é considerada correta, até um erro de 10%. No entanto, águas muito pouco mineralizadas, águas com elementos menores em quantidades avultadas, erros analíticos e a presença de iões não quantificados podem dar origem a erros maiores (Feitosa & Filho, 2000). No Quadro 4.5 encontram-se os valores determinados para a electroneutralidade das águas tanto na campanha de setembro como para a de março, observando-se que os valores podem ser considerados aceitáveis.

	Set-2012 (%)	Mar-2013 (%)
EG1	9,86	9,38
EG2	7,58	7,51
EG3	4,66	8,74
EG4	3,84	9,74
EG5	4,15	1,26
EG6	11,97	8,74
EG7	5,35	11,83
EG8	4,94	10,37
EG9	10,91	2,88
EG10	9,61	4,70

Quadro 4.5 – Valores determinados para a electroneutralidade das águas analisadas nas campanhas de setembro e março.

#### 4.4.2 Solos, sedimentos de corrente e material de escombrelras

##### 4.4.2.1 Determinação do pH

Para a medição do pH das amostras, utilizou-se o método potenciométrico (Bastos, M., 1967) (*in* Estação Agronómica Nacional, 1975). Procedeu-se à pesagem de 20 gramas da fração inferior a 2mm, numa balança de precisão. De seguida, os 20 gramas foram colocados em um copo de vidro ao qual se adicionou 50 ml de água ultra pura e posteriormente colocado num agitador magnético durante 15 minutos, atingindo uma fase homogénea. O copo foi retirado do agitador e esperou-se entre 5 a 10 minutos, até se observar uma superfície de interface entre a fase líquida e sólida. Usou-se um medidor de

pH, previamente calibrado, colocando a sonda acima da interface e foi feito o registo do valor. Para cada amostra recolhida este procedimento foi aplicado em duplicado.

#### **4.4.2.2 Determinação da condutividade elétrica**

Para este ensaio utilizou-se o método com medida de extrato de saturação (Silva, A., 1967) (*in* Estação Agronómica Nacional, 1975). As amostras de solos, sedimentos e material de escombrelas, com dimensões inferiores a 2 mm. Colocou-se um copo sobre a balança de precisão, que foi previamente tarado e adicionou-se 40 gramas de amostra. Posteriormente, adicionou-se 100 ml de água ultra pura e mexeu-se suavemente. A mistura ficou em repouso durante 24 horas até se proceder a medição com o medidor de condutividade elétrica, colocando a sonda acima da interface e registando o valor. Tal como para a medição de pH, também para a condutividade elétrica, foram feitos dois ensaios por cada amostra.

#### **4.4.2.3 Determinação de Elementos maiores e menores**

Para a mina da Escádia Grande foram determinados as concentrações dos elementos As, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, e Zn recorrendo a Espectrofotometria de Absorção Atómica, utilizando para isso, o espectrómetro SOLAAR M Series AA.

Para tal foi necessário fazer a “digestão” dos solos, sedimentos de corrente e material de escombrela. Foi usada a fração inferior a 180 mesh, colocando 0,5 gramas de amostra num tubo de teflon. De seguida, procedeu-se a um ataque com água régia, constituída por 9 ml de ácido clorídrico (37%) e 3 ml de ácido nítrico (65%). Os tubos de teflon foram fechados e colocados em micro-ondas (Microwave 3000 – Anton Paar) durante um período de uma hora. Após este período, deixaram-se os tubos arrefecer durante meia hora, a fim de evitar a fuga de substâncias facilmente volatizáveis, como o arsénio. O produto da dissolução foi posteriormente transferido para um balão de 50 ml preenchendo o restante volume com água destilada.

#### **4.4.2.3.1 Determinação das concentrações de ouro**

Para a determinação de ouro, retirou-se 5 ml da solução para balões volumétricos de 10 ml e adicionando-se mais 5 ml de ácido clorídrico (2M). Foram adicionados mais 2 ml de MIBK para se proceder a extração do Au. Depois de agitado num “shaker” e deixado em repouso para a separação das fases o Au foi medido em câmara de grafite na fase orgânica.

#### **4.4.2.3.1 Determinação dos restantes elementos**

Na determinação das concentrações dos restantes elementos foram usados os produtos da “digestão” por aqua regia, ocasionalmente fazendo diluições quando os valores eram superiores aos limites de deteção, utilizando a técnica de chama e por câmara de grafite.

### **4.5 Trabalhos de gabinete**

Os trabalhos de gabinete passaram pelo tratamento de dados cartográficos, registo e análise de resultados e aplicação espacial dos dados tratados.

#### **4.5.1 Tratamento dos dados cartográficos**

Esta etapa foi realizada previamente a primeira deslocação a área de estudo, consistindo na importação para o ArcGIS® 10.0 dos seguintes dados cartográficos:

- Carta Militar nº 253 (Pampilhosa da Serra) dos Serviços Cartográficos do Exército, à escala 1:25.000;
- Imagem aérea do Google Earth™ da área de estudo ( 2 de junho de 2011);
- Escádia Grande surfasse geological map, à escala 1:2.000 da Direcção-Geral de Geologia e Minas (Carvalho, 1989);
- Mapa da superfície geológica da mina da Escádia Grande, à escala de 1:25.000 da Direcção-Geral de Geologia e Minas (Pereira, 1984).

Estes dados cartográficos foram posteriormente georreferenciados e foram elaboradas shapefiles, arquivos de dados geoespaciais em formato vetorial, que permites condensar e analisar uma série de parâmetros numa área espacial. Cada “shapefile”, foi elaborada com base em um ou vários dados cartográficos pré-existentes, sendo estes posteriormente confirmados pelas campanhas de campo.

#### **4.5.1.1 Cartografia de unidades geológicas**

Neste processo foram elaborados quatro “shapefiles”: uma cartografia baseada nos níveis definidos por Pereira (1984); uma cartografia baseada nas litologias observadas por Carvalho (1989), uma “shapefile” baseada nas falhas detetadas e inferidas pelos autores previamente mencionados; e uma para os filões também mencionados pelos mesmos autores. Durante a campanha de campo, tentou-se, sempre que possível, confirmar as informações presentes na cartografia original, registando-se pontos de interesse (contactos, falhas, filões, etc.) em GPS a fim de se poder fazer uma comparação. Por fim foi elaborada uma cartografia que cruza os dados de Pereira (1984), Carvalho (1989) e as observações feitas em campo.

#### **4.5.1.2 Cartografia dos trabalhos mineiros**

A cartografia dos trabalhos mineiros contemplou as escombrelas e as galerias. As escombrelas foram baseadas nos trabalhos cartográficos de Pereira (1984) e Carvalho (1989), assim como recolha das coordenadas dos vértices das escombrelas por GPS na campanha de campo, que posteriormente foram inseridos no ArcGIS® 10.0 e conectados para gerar a shapefile. Tanto os dados cartográficos como as coordenadas dos vértices recolhidos em campo, apresentaram-se quase sempre em concordância, ocorrendo por vezes vértices com desvios de alguns metros. Esta variância pode ser atribuída ao erro relativo dos dados do GPS usado, relacionado com o número de sinais recebidos no campo, erro no relógio recetor, fatores atmosféricos e obstáculos naturais do terreno.

A localização das galerias apoiam-se totalmente na recolha de coordenadas GPS, recolhidas em campo, uma vez que nenhuma da cartografia utilizada possuía dados relativamente a estas.

#### **4.5.1.3 Curvas de nível e linhas de água**

A construção da “shapefile” “Curvas de nível”, apoiou-se totalmente na Carta Militar nº 253 (Pampilhosa da Serra) dos Serviços Cartográficos do Exército, à escala 1:25.000.

Tal como as curvas de nível, as linhas de água foram representadas usando como referencia a Carta Militar nº 253 (Pampilhosa da Serra) dos Serviços Cartográficos do Exército, à escala 1:25.000.

#### **4.5.1.4 Vias de Acesso e tecido urbano**

Para a realização destas duas shapefiles, recorreu-se a Carta Militar nº 253 (Pampilhosa da Serra) dos Serviços Cartográficos do Exército, à escala 1:25.000. No entanto, devido as alterações que ocorreram nestes dados desde 1993, ano da sua publicação, optou-se por fazer uma atualização usando a fotografia aérea do Google Earth™, recolhida no dia 2 de junho de 2011.

#### **4.5.2 Registo e tratamento de dados**

Os dados geoquímicos das águas, solos, sedimentos de corrente e material de escombreliras foram registados no Microsoft® Excel™ 2007, e analisados por ACP no ANDAD Versão 7.12. A análise de componentes principais (ACP) e a análise estatística multivariada permite visualizar e reduzir um enorme número de dados, interpondo os indivíduos, neste caso as amostras, com variáveis quantitativas, os elementos nestas presentes, e assim determinar os fatores que explicam as similitudes e oposições entre amostras e elementos.

##### **4.5.2.1 Tratamento dos dados físico-químicos das águas**

Os dados recolhidos nas campanhas de setembro de 2012 e março de 2013 foram registados no Microsoft® Excel™ 2007, e foram calculados dados estatísticos descritivos (ACP) no ANDAD versão 7.12, a fim de serem determinados valores anómalos e proceder a comparações.

#### **4.5.2.2 Tratamento dos dados das concentrações de elementos das águas**

Os dados provenientes das análises das concentrações de elementos presentes nas águas foram registados no Microsoft® Excel™ 2007, onde se procedeu a conversão para miliequivalentes por litro, a fim de poder fazer um balanço iónico.

Os dados relativos as concentrações dos elementos, assim como os parâmetros das águas foram correlacionados. Posteriormente, procedeu-se a classificação das águas segundo o seu conteúdo em catiões e aniões, através do diagrama de Piper, segundo o índice de saturação de sódio e segundo a classificação de drenagens geradas pela atividade mineira, de White (1968).

#### **4.5.2.3 Tratamento dos dados físico-químicos dos solos, sedimentos de corrente e materiais das escombreliras**

Os dados relativos aos solos, sedimentos de corrente e materiais de escombreliras foram registados no Microsoft® Excel™ 2007. Posteriormente estes foram tratados no ANDAD versão 7.12, tendo sido feita a estatística descritiva. No caso dos solos e sedimentos de corrente foram detetados os valores anómalos através da ACP, para posterior determinação do fundo geoquímico.

Nos sedimentos de corrente, recorreu-se ao fundo geoquímico para o calculo do o índice de geoacumulação de Müller (1979).

Quanto aos solos, os teores dos elementos foram importados para o Surfer 11™, procedendo-se a krigagens para observar razões espaciais dos elementos analisados e posteriormente construção de mapas de dispersão horizontal de elementos.





## 5. Resultados

Apresentam-se seguidamente os resultados deste trabalho assim como uma análise destes no âmbito das características físico-químicas dos materiais das escombreyras, das águas, dos sedimentos de corrente e dos solos, interpretando e avaliando os efeitos produzidos pela exploração na área da Mina da Escádia Grande.

### 5.1 Caracterização dos materiais das escombreyras

A análise de componentes principais dos materiais das escombreyras, indicou que o primeiro eixo fatorial apresenta 56,18 % da informação total, o segundo eixo 30,32 % e o terceiro 13,49 % (Quadro 5.1). Esta análise, permitiu observar as seguintes relações das variáveis com os 2 primeiros eixos (Quadro 5.2), pois estes refletem mais de 86 % da explicação:

- O eixo 1 apresentou correlações fortes negativas com o Cr, o Cu, o Fe, o Mn, o Pb e o Zn. Estes elementos são constituintes maiores e menores da pirite e calcopirite (Fig.5.1), levando a crer que grande parte dos teores destes elementos nas escombreyras provêm da alteração destes minerais;
- O eixo 2, separou o Co e Ni do Pb, Zn e As, o primeiro par parece estar relacionado com a alteração da pirite que se encontra presente em rochas básicas ou em certas bancadas de xistos da região; o Pb, Zn e As, estão relacionados com a blenda, a galena e a arsenopirite que estão presentes na mineralização.

	Valor Proprio	% Exp	% Acum
<b>Eixo 1</b>	5,0560	56,1778	56,1778
<b>Eixo 2</b>	2,7291	30,3236	86,5013
<b>Eixo 3</b>	1,2149	13,4987	100,0000
<b>Eixo 4</b>	0,0000	0,0000	100,0000

Quadro 5.1 – Valores de explicação dos eixos fatoriais.

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4
<b>As</b>	0,3812	-0,6323	0,6744	0,0007
<b>Co</b>	0,2633	0,8297	0,4923	0,0005
<b>Cr</b>	-0,9361	-0,0857	-0,3412	-0,0003
<b>Cu</b>	-0,8405	0,3121	0,4428	0,0005
<b>Fe</b>	-0,9916	-0,0759	0,1045	0,0000
<b>Mn</b>	-0,9473	0,2938	0,1274	0,0001
<b>Ni</b>	-0,6887	0,7195	-0,0897	-0,0001
<b>Pb</b>	-0,7029	-0,5995	0,3829	0,0004
<b>Zn</b>	-0,6399	-0,7531	-0,1529	-0,0001

Quadro 5.2 – Valores de correlação dos elementos presentes nas escombreliras com os eixos

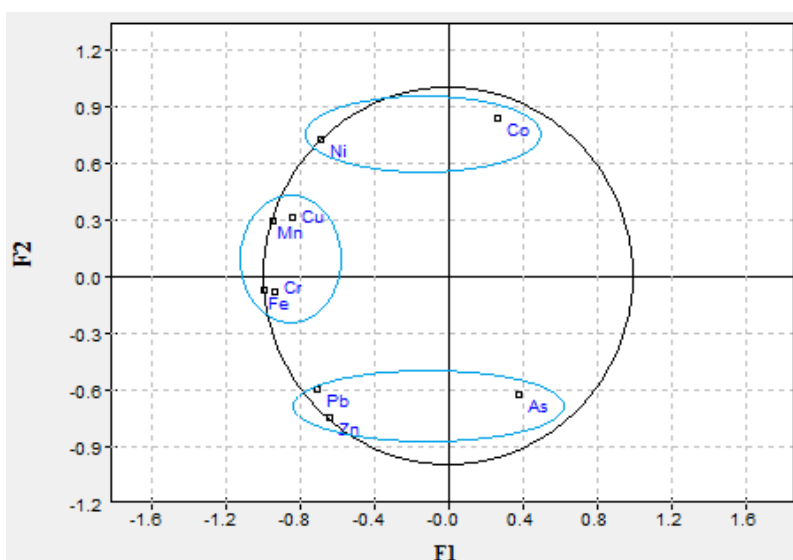


Fig. 5.1 – Projeção das variáveis nos eixos 1 e 2 das escombreliras da área de estudo.

Os dados estatísticos relativos aos parâmetros físico-químicos dos materiais das escombreliras encontram-se representados no Quadro 5.3, onde as amostras EGME-1 e EGME-2 pertencem à escombrelira Norte, e EGME-3 e EGME-4 pertencem a escombrelira Sul.

n = 4	pH	C.E. ( $\mu\text{S/cm}$ )	Ag (mg/Kg)	As (mg/Kg)	Au (mg/Kg)	Co (mg/Kg)	Cr (mg/Kg)
<b>Mínimo</b>	4,15	24,50	3,33	1173,48	1,31	18,68	28,46
<b>Máximo</b>	5,71	78,20	6,28	4446,09	3,72	51,30	42,95
<b>Média</b>	4,98	47,25	4,72	2547,08	2,65	35,10	38,05
<b>Mediana</b>	5,03	43,15	4,63	2284,37	2,78	35,21	40,40
<b>1º Quartil</b>	4,52	35,38	3,59	1390,95	2,28	21,30	35,81
<b>3º Quartil</b>	5,48	55,03	5,76	3440,50	3,15	49,01	42,64
$\sigma$	0,71	22,68	1,44	1525,22	1,01	17,05	6,74
<b>M,A,D,</b>	0,53	11,40	1,12	965,91	0,56	14,57	2,35

n = 4	Cu (mg/Kg)	Fe (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	Ni (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)	Sb (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)
<b>Mínimo</b>	47,80	21503,75	60,39	43,28	25,64	15,63	186,83
<b>Máximo</b>	112,18	45507,87	955,02	49,25	162,67	65,40	452,35
<b>Média</b>	72,48	35391,93	466,09	45,59	94,02	35,40	339,76
<b>Mediana</b>	64,96	37278,06	424,48	44,91	93,88	30,29	359,93
<b>1º Quartil</b>	53,37	32031,24	333,17	43,87	63,28	18,74	288,48
<b>3º Quartil</b>	84,07	40638,75	557,40	46,63	124,62	46,94	411,21
$\sigma$	28,80	10138,50	368,38	2,65	57,85	22,83	115,04
<b>M.A.D.</b>	13,45	4983,74	182,24	1,24	43,15	12,58	65,00

Quadro 5.3 – Estatística descritiva das amostras dos materiais das escombrelras da Mina da Escádia Grande.

Os valores de pH mais baixos encontram-se na escombrelra Sul, com valor de 4,15, no entanto os restantes valores de pH são sempre inferiores a 6,0. Quanto à condutividade elétrica, esta apresenta os valores mais baixos em EGME-1 (Escombrelra Norte), de valor 24,50  $\mu\text{S/cm}$  e os mais altos na escombrelra Sul, com 78,20  $\mu\text{S/cm}$ .

Os teores de cobre, ferro e manganês, apresentam-se mais elevados na escombrelra Norte, com teores de 112 ppm para o Cu, 45507 ppm para o Fe e 955 ppm para o Mn, que contrastam com os teores mais reduzidos na escombrelra Sul, com valores de 48 ppm de Cu, 21504 ppm de Fe e 60 ppm para o Mn.

Para o Zn, o Pb e o Au tanto os teores mais elevados como os mais reduzidos encontram-se nas amostras da escombrelra Sul, oscilando entre 452 ppm e 187 ppm para o Zn, 163 ppm e 26 ppm para o chumbo e 4 ppm e 1 ppm para o ouro. Ocorrendo na escombrelra Norte teores mais próximos nas duas amostragens, com valores quase tão elevados como os máximos da escombrelra Sul.

Os teores de Cr e Ni são mais elevados na escombrelra Norte, com valores máximos de 43 ppm e 49 ppm respetivamente; ocorrendo os teores mais baixos na escombrelra Sul com 28 ppm para o Cr e 44 ppm para o Ni.

O As, o Ag e o Sb apresentam-se mais elevados na escombreira Sul, com teores máximo de 4446 ppm, 6 ppm e 65 ppm respetivamente, ocorrendo os mínimos na escombreira Norte, com 1173 ppm de As, 3 ppm de Ag e 16 ppm de Sb. A escombreira Sul tem o teor mais elevado de Co, com o teor de 51 ppm, sendo o valor mais baixo de 19 ppm na escombreira Norte.

## 5.2 Caracterização das águas superficiais

A caracterização físico-químicas das águas superficiais foi feita com base nas amostras recolhidas nas campanhas de setembro de 2012 e março de 2013, descritas no capítulo anterior. A amostragem contemplou pontos de referência fora da influência mineira (EG1 e EG4), pontos fora da água mineira, mas dentro da influência dos sulfuretos (EG6 e EG7), pontos dentro da influência da área mineira (EG2 e EG3) e pontos a jusante da área mineira que fazem confluência com a linha de água que atravessa a área mineira (EG5, EG8) até à ribeira do Sinhel (EG9 e EG10), a fim de observar o modo de propagação dos contaminantes ao longo do escoamento da bacia. Os quadros 5.4 e 5.5 apresentam-se os dados correspondentes à estatística descritiva nas campanhas de setembro e março respetivamente.

n = 10	As	Sb	Ag	Cd	Cr	Co	Ni	Cu	Pb	Ca	Mg
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l
<b>Mínimo</b>	0,02	0,01	0,08	0,01	0,32	0,01	2,25	2,47	0,55	0,06	0,27
<b>Máximo</b>	44,40	0,35	2,39	0,03	8,41	2,50	52,25	28,22	1,98	1,17	0,91
<b>Média</b>	5,93	0,08	0,89	0,01	1,70	0,94	24,68	6,69	1,26	0,25	0,57
<b>Mediana</b>	0,65	0,01	0,51	0,01	1,01	0,81	21,90	3,46	1,24	0,14	0,49
<b>1º Quartil</b>	0,29	0,01	0,35	0,01	0,77	0,01	19,04	3,08	0,97	0,12	0,38
<b>3º Quartil</b>	1,32	0,07	1,26	0,02	1,26	1,75	30,98	5,15	1,46	0,21	0,79
<b>σ</b>	13,86	0,12	0,79	0,01	2,40	0,97	13,75	7,93	0,48	0,33	0,24
<b>M.A.D.</b>	0,57	0,00	0,35	0,00	0,27	0,80	8,80	0,45	0,28	0,06	0,18

n = 10	Na	K	HCO3	NO3	Cl	SO4	pH	T	Turb	C.E.	O.D.
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		°C	NTU	µS/Cm	mg/l
<b>Mínimo</b>	4,38	0,16	6,10	0,00	1,10	0,00	5,86	8,30	0,50	16,00	10,72
<b>Máximo</b>	6,56	1,31	12,51	3,45	6,70	0,61	6,68	12,90	799,80	40,00	21,49
<b>Média</b>	5,25	0,39	9,54	1,01	2,82	0,27	6,12	11,66	83,39	25,70	14,56
<b>Mediana</b>	5,00	0,24	9,73	0,76	2,35	0,24	6,07	11,65	3,10	24,00	14,03
<b>1º Quartil</b>	4,87	0,22	7,87	0,02	1,70	0,08	6,02	11,45	2,80	21,00	11,40
<b>3º Quartil</b>	5,57	0,30	11,41	1,16	3,55	0,45	6,15	12,63	6,30	30,00	15,83
<b>σ</b>	0,73	0,37	2,16	1,23	1,66	0,22	0,24	1,34	251,73	7,80	3,84
<b>M.A.D.</b>	0,23	0,06	1,86	0,72	0,85	0,16	0,09	0,60	1,75	6	2,48

Quadro 5.4 – Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos das águas da área de estudo (setembro de 2012).

n = 10	As	Sb	Ag	Cd	Cr	Co	Ni	Cu	Pb	Ca	Mg
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l
Minimo	0,01	0,01	0,13	0,01	0,13	0,28	15,57	1,04	0,50	0,37	0,48
Máximo	23,45	0,13	1,85	0,03	3,44	2,16	33,00	11,92	1,74	2,05	2,14
Média	3,33	0,03	0,61	0,01	0,69	1,14	24,29	2,83	1,12	0,63	1,07
Mediana	0,50	0,01	0,30	0,01	0,41	0,85	25,15	1,46	1,13	0,43	0,93
1º Quartil	0,26	0,01	0,14	0,01	0,31	0,67	19,04	1,30	0,88	0,40	0,69
3º Quartil	1,08	0,01	1,01	0,02	0,52	1,84	29,46	2,18	1,29	0,59	1,30
σ	7,31	0,05	0,62	0,01	0,98	0,71	6,25	3,35	0,42	0,51	0,53
M.A.D.	0,52	0,00	0,17	0,00	0,11	0,65	5,59	0,19	0,23	0,05	0,33

n = 10	Na	K	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	pH	T	Turb	C.E.	O.D.
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		°C	NTU	µS/Cm	mg/l
Minimo	4,19	0,15	9,76	1,04	1,70	0,00	5,55	12,20	0,40	17,00	17,30
Máximo	6,25	1,20	17,08	3,45	6,10	0,00	6,31	14,50	11,60	30,00	99,94
Média	5,01	0,36	13,18	1,75	3,75	0,00	5,76	13,44	2,23	22,90	51,49
Mediana	4,77	0,22	13,42	1,49	3,75	0,00	5,64	13,45	1,15	22,00	41,95
1º Quartil	4,65	0,20	10,37	1,32	3,42	0,00	5,61	12,90	0,63	20,25	24,90
3º Quartil	5,30	0,28	14,64	1,75	4,00	0,00	5,83	13,85	1,83	25,75	75,82
σ	0,69	0,34	2,86	0,78	1,13	0,00	0,24	0,74	3,37	4,56	31,88
M.A.D.	0,21	0,05	2,44	0,25	0,30	0,00	0,07	0,55	0,60	0,35	23,44

Quadro 5.5 – Estatística descritiva dos parâmetros físico químicos das águas da área de estudo (março de 2013).

A análise de componentes principais forneceu os valores que se apresentam no Quadro 5.6, verificando-se que os 4 primeiros eixos apresentam 75 % da explicação. Dos resultados desta análise, que refletem as relações das variáveis com os eixos (Quadro 5.7), destacam-se:

- No eixo 1 correlações fortes negativas com o Ca, Cl, K, Na, NO<sub>3</sub>, e o pH destacando-se os elementos maiores, assim como correlações positivas com o HCO<sub>3</sub> e temperatura, observando-se a mineralização principal das águas.
- O eixo 2 mostrou correlações positivas com o Ag, As, e com o SO<sub>4</sub>, correspondente a influência da mineralização de pirite, e correlações negativas com o Co, Cr e o Mg, que destaca as águas que apresentam uma maior influência ou de níveis de rochas mais básicas ou por níveis piritosos do xistos.
- O eixo 3 apresentou correlações negativas com o Cu e o Pb, elementos menos móveis que tendem a ficar mais afastados dos elementos principais da mineralização, e uma correlação positiva com o Sb, com presença muito diminuta nas águas.
- O eixo 4 apresentou correlações positivas com o Ni, estando relacionado com a grande presença de Ni em águas não só da linha que atravessa a área mineira como nas restantes linhas de água.

	Valor Próprio	% Exp	% Acum
<b>Eixo 1</b>	6,7891	30,8597	30,8597
<b>Eixo 2</b>	4,0215	18,2796	49,1393
<b>Eixo 3</b>	3,3391	15,1775	64,3168
<b>Eixo 4</b>	2,3607	10,7305	75,0473
<b>Eixo 5</b>	1,7468	7,9402	82,9875
<b>Eixo 6</b>	1,5562	7,0735	90,061

Quadro 5.1 – Valores de explicação dos eixos fatoriais

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4
<b>As</b>	-0,0761	0,7445	-0,5609	-0,1984
<b>Sb</b>	-0,056	0,2447	0,7892	-0,0073
<b>Ag</b>	0,0823	0,6645	0,3993	0,5774
<b>Cd</b>	-0,7032	-0,3622	0,0972	-0,0453
<b>Cr</b>	0,2731	-0,5446	-0,2235	-0,3068
<b>Co</b>	0,2286	-0,5258	-0,2338	0,4385
<b>Ni</b>	0,4471	0,0087	-0,2439	0,705
<b>Cu</b>	-0,3224	0,5498	-0,6786	-0,0297
<b>Pb</b>	0,3443	-0,3059	-0,5926	0,292
<b>Ca</b>	-0,8877	-0,2265	-0,1354	0,2092
<b>Mg</b>	0,2815	-0,6805	-0,5351	-0,2277
<b>Na</b>	-0,7678	0,2639	-0,5128	0,1789
<b>K</b>	-0,8293	-0,2642	-0,233	0,3136
<b>HCO3</b>	0,6052	0,3231	-0,6255	0,0884
<b>NO3</b>	-0,8057	0,1313	0,2174	-0,0039
<b>Cl</b>	-0,8537	-0,2819	-0,0747	0,1219
<b>SO4</b>	0,0254	0,6512	-0,4017	-0,2066
<b>pH</b>	-0,6761	-0,2777	-0,1108	0,0782
<b>Temp</b>	0,9232	0,0613	0,0699	-0,0523
<b>Turb</b>	0,3868	0,0939	0,1098	0,8454
<b>CE</b>	0,3697	0,0103	0,0035	-0,3024
<b>OD</b>	-0,4946	0,705	-0,0124	-0,0994

Quadro 5.7 – Valores de correlação dos elementos presentes nas águas com os eixos.

Observando-se a projeção dos elementos nos eixos 1 e 2 (Fig. 5.2), confirma-se um agrupamento onde estão os elementos principais das águas, estando correlacionado com a amostra de água EG1, a única amostra de água que se encontra dentro do fundo geoquímico. O bicarbonato encontra-se num campo oposto a este grupo, dado o seu

comportamento inverso relativamente aos restantes elementos maiores. Também em campos opostos encontram-se os grupos dos elementos presentes em águas de influência mineira, com expressão dos componentes da mineralização, e o grupo de elementos de que resultam as águas sobre a influência das rochas magnesianas. No grupo das águas de influência da mineralização, encontram-se as amostras EG3, EG4 e EG5, estando no campo das águas com níveis de rochas mais básicas ou níveis piritosos do xistos as amostras EG2, EG6, EG7, EG8, EG9 e EG10. Fora do grupo de elementos presentes na mineralização estão o níquel e o chumbo, que estando também presentes na mineralização, aparecem com maior intensidade em locais onde não ocorrem os restantes elementos, e que terão a sua origem provável nas pirites presentes nos xistos.

Deste modo definiu-se para o fundo geoquímico os teores da amostra EG1, e a contaminação da mineralização principal é definida pelas amostras EG3, EG4 e EG5 (Quadro 5.8).

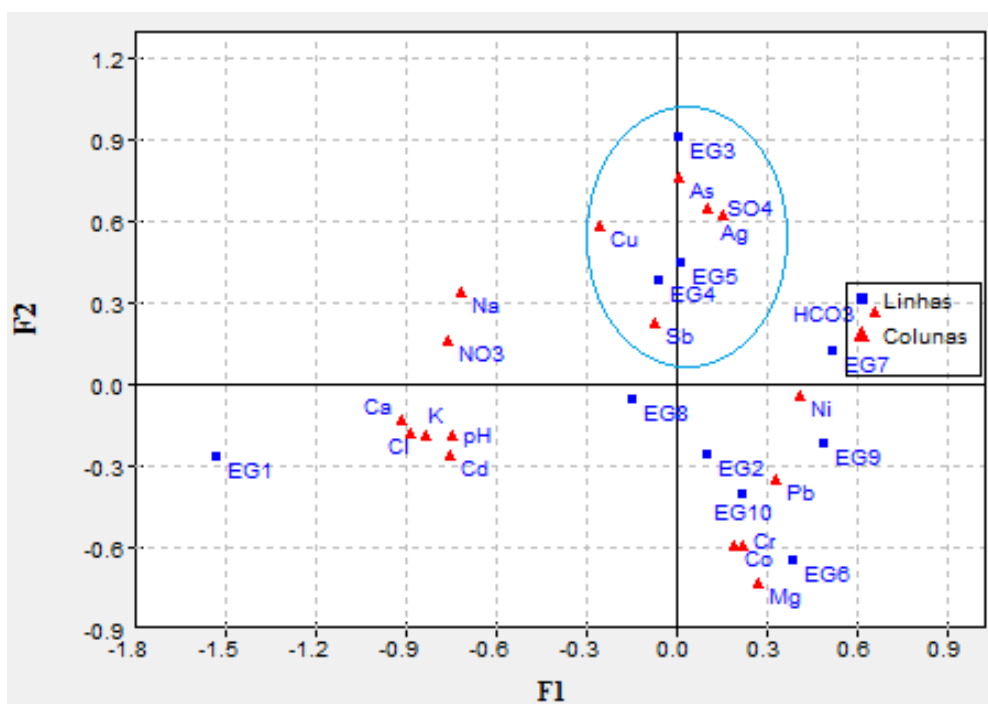


Fig. 5.2 – Projeção das variáveis e amostras nos eixos 1 e 2 das águas da área de estudo.

	Anómalia	F. Geoq.
As ( $\mu\text{g/l}$ )	13,31	0,02
Sb ( $\mu\text{g/l}$ )	0,09	0,02
Ag ( $\mu\text{g/l}$ )	1,26	0,63
Cd ( $\mu\text{g/l}$ )	0,01	0,03
Cr ( $\mu\text{g/l}$ )	0,39	0,91
Co ( $\mu\text{g/l}$ )	0,82	0,85
Ni ( $\mu\text{g/l}$ )	20,44	17,19
Cu ( $\mu\text{g/l}$ )	8,17	7,56
Pb ( $\mu\text{g/l}$ )	1,03	0,87
Ca (mg/l)	0,32	1,61
Mg (mg/l)	0,58	0,64
Na (mg/l)	5,41	6,41
K (mg/l)	0,33	1,26
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	10,55	7,93
NO <sub>3</sub> (mg/l)	1,72	3,45
Cl (mg/l)	2,95	6,40
SO <sub>4</sub> (mg/l)	0,24	0,04

Quadro 5.8 – Anómalia e Fundo Geoquímico das águas da área mineira da Escádia Grande.

## 5.2.1 – Propriedades físico-químicas das águas

### 5.2.1.1 – pH

A oxidação de sulfuretos contribui para um aumento da concentração de iões H<sup>+</sup> em soluções aquosas, contribuindo para uma maior acidez das águas e consequente dissolução de substâncias químicas. O logaritmo negativo da concentração dos iões H<sup>+</sup> corresponde ao pH (Lottermoser, 2003). Observando os valores de pH das águas (Fig. 5.3 a)) nos dois períodos de análise, verifica-se valores de pH mais baixos durante a campanha de março (época das chuvas), existindo uma exceção para o EG2 que é ligeiramente mais ácido em setembro. Também se observam, em ambas as campanhas, que geralmente os valores de pH dos pontos de amostragem fora da influência mineira são superiores aos pontos que recebem águas provenientes da mina, havendo subida dos valores de pH após as confluências com águas regionais. O ponto de amostragem EG7, no entanto, é uma exceção, que apesar de estar fora da influência da mina, em março apresenta valor de pH de 5,5, e na amostragem de setembro apresenta valores de pH de 6. Estes valores podem ser explicados pela presença de filões com sulfuretos assim como sulfuretos presentes em alguns dos níveis de xisto, nomeadamente a pirite. Outra exceção é o ponto EG4, que provém de uma linha de água que se esperava estar fora da influência da mina, no entanto após a análise ACP, este ponto enquadrado-se no grupo que é influenciado pela



mineralização. Considerando que esta linha de água não está em contacto com a mina, estes valores poderão ser explicados por uma potencial presença de sulfuretos não encontrado na campanha de campo, não sendo de descartar a possibilidade de ter ocorrido neste local, lavagem de algum minério, que não foi assinalado nos relatórios anuais da exploração mineira.

### 5.2.1.2 - Condutividade elétrica

A condutividade elétrica representa a capacidade da água conduzir eletricidade, estando relacionada com a quantidade de cargas iónicas presentes na solução, e relacionando-se diretamente com os sólidos totais dissolvidos. Os valores de condutividade elétrica nas linhas de água da área de trabalho (Fig. 5.3 b)) apresentam-se geralmente mais elevados durante a campanha de setembro, com valores entre 16  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em EG2 e 40  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em EG9, sendo os valores de março entre 17  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em EG2 e 30  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em EG10. Em ambas as campanhas, ocorre uma diminuição da condutividade do valor regional após a passagem da água pela escombreira Norte, em EG2, ocorrendo um aumento após a passagem pela escombreira Sul, aumento este que tende a intensificar-se após as confluências com as restantes linhas de água fora da influência da mina.

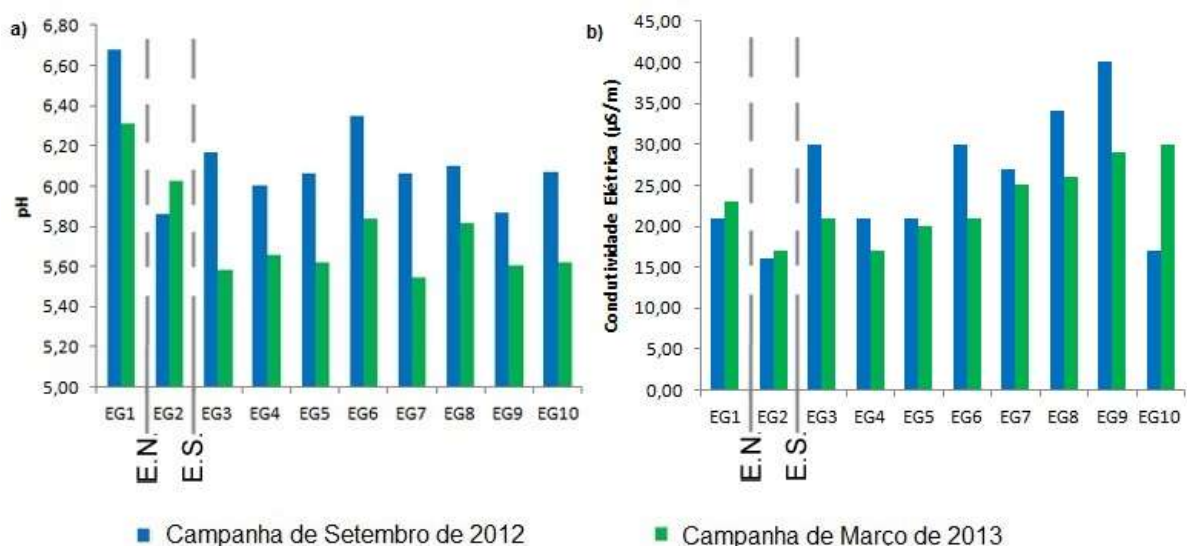


Fig. 5.3 a) Gráfico da variação espacial e temporal do pH das águas da área de estudo; b) Gráfico da variação espacial e temporal da condutividade elétrica da área de estudo. E.N. – Posição relativa da escombreira Norte; E.S. – Posição relativa da escombreira Sul.

### 5.2.1.3 – Temperatura

Este parâmetro é variável com a estação sazonal, a hora do dia e a exposição solar, afetando as características físico-químicas das águas como a capacidade de absorção de gases, e influencia a solubilidade de substâncias e consequentemente valores de resíduo seco e condutividade elétrica. As temperaturas mais baixas foram registadas na campanha de setembro (Fig. 5.4 a.), com valor mínimo de 8,3 °C em EG1, e valor máximo de 12,9 °C em EG7. A campanha de março registou valor mínimo de 12,2 °C em EG4 e valor máximo de 14,5 °C em EG10. A principal razão para as temperaturas mais altas na campanha de março relativamente a campanha de setembro, pode estar relacionado com a precipitação que se fazia sentir na altura da colheita de março, não explicando, no entanto, a enorme variação do ponto amostrado EG1, onde a diferença entre setembro e março é de 4,5 °C. Este último aspeto pode estar relacionado com o facto que o ponto de amostragem se encontra muito próximo da exurgência que lhe dá origem.

### 5.2.1.4 - Oxigénio Dissolvido

O oxigénio dissolvido representa a capacidade da água para suportar organismos aquáticos, sendo influenciado pela turbidez das águas. No que toca a este parâmetro, os teores mais elevados encontram-se representados durante a campanha de março (Fig. 5.4 b.), com valores entre 17,30 mg/l em EG1 e 99,94 mg/l em EG7, que contrastam com os valores da campanha de setembro, cujos valores variam entre 10,72 mg/l em EG6 e 21,49 mg/l em EG4. Na campanha de setembro ocorre um aumento do oxigénio dissolvido após ambas as escombrelas e um aumento ligeiro após as confluências. Quanto a campanha de março, ocorrem também um aumento do valor de oxigénio dissolvido após as escombrelas, diminuindo após a confluência com EG4. No entanto a linha de água EG6-EG7 apresenta valores altíssimos de oxigénio dissolvido, que após confluir com a água proveniente da mina apresenta valores mais reduzidos acabando por aumentar em EG10.

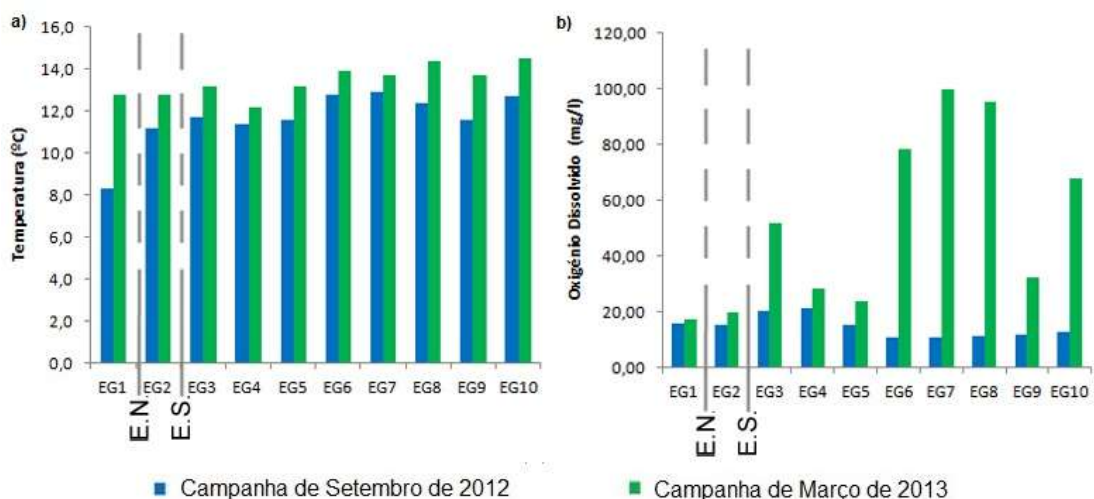


Fig. 5.4 a) Gráfico da variação espacial e temporal da temperatura das águas da área de estudo; b) Gráfico da variação espacial e temporal do oxigênio dissolvido da área de estudo. E.N. – Posição relativa da escombreira Norte; E.S. – Posição relativa da escombreira Sul.

## 5.2.2 - Composição química das águas

As águas amostradas na área da mina da Escádia Grande apresenta, geralmente concentrações menos elevadas no inverno, fruto da disponibilidade hídrica que provoca um efeito de diluição. Existem, no entanto, exceções, como o cádmio, o cálcio, o magnésio, o bicarbonato, o nitrato e o cloro, que serão abordados seguidamente.

### 5.2.2.1 - Elementos Maiores

O cálcio (Fig. 5.5 a), o sódio (Fig. 5.5 b) e o potássio (Fig. 5.6 a) apresentam padrões de comportamento muito semelhantes, apresentando valores mais altos nas águas regionais fora da influência das escombreiras e dos filões com sulfuretos, e valores baixos nas águas regionais sob influência de sulfuretos. A passagem das águas provenientes de EG1 pela escombreira Norte, provocam um decréscimo das concentrações que se faz sentir mais intensamente no cálcio e no potássio. Após a passagem destas águas pela escombreira Sul, ocorre no cálcio e no sódio um aumento das concentrações, enquanto que no potássio a concentração se apresenta ainda mais baixa, possivelmente devido a baixa mobilidade

deste elemento. Após a confluência desta linha de água com a linha de água amostrada como EG4, que apresenta baixas concentrações, os teores baixam relativamente a água que passa na área mineira, fruto de uma diluição. É também possível observar que a linha de água sobre a influência de veios de sulfuretos (EG6/EG7) apresenta valores da mesma ordem de grandeza de EG4, que acabam por aumentar após a confluência com as águas provenientes da zona mineira. Após esta confluência as concentrações destes elementos tendem a estabilizar-se mantendo-se muito semelhantes na ribeira do Sinhel.

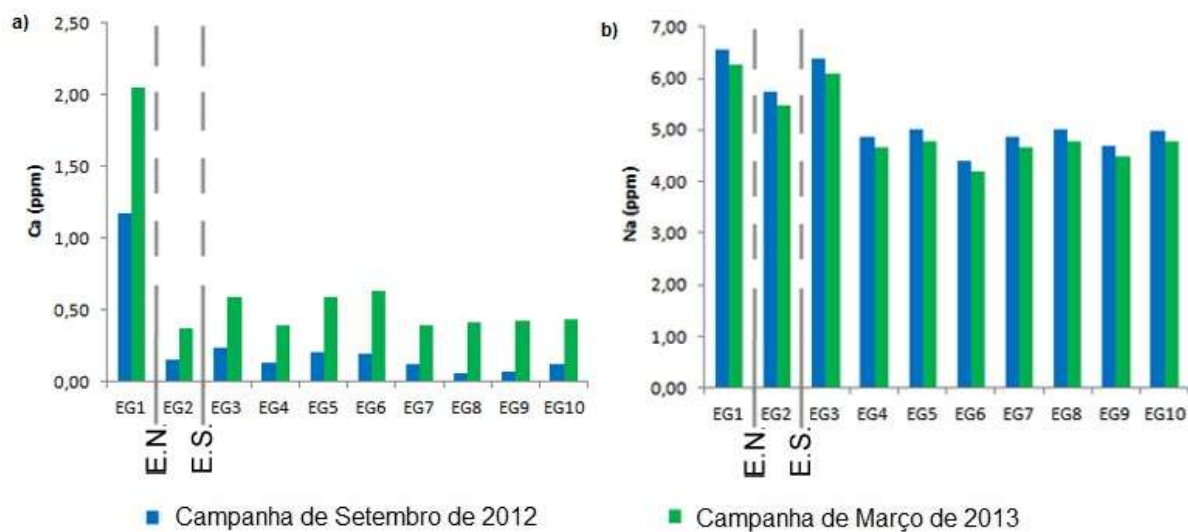


Fig. 5.5 a) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações do cálcio das águas da área de estudo; b) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de sódio das águas da área de estudo. E.N. – Posição relativa da escombreira Norte; E.S. – Posição relativa da escombreira Sul.

A concentração de magnésio (Fig. 5.6 b) nas águas regionais aumenta após a passagem pela escombreira Norte, no entanto volta a descer após a passagem pela escombreira Sul, apresentando durante todo o percurso valores muito baixos comparados com a linha de água regional sobre influência dos sulfuretos e ainda mais baixos quando comparados com os valores da ribeira de Sinhel.

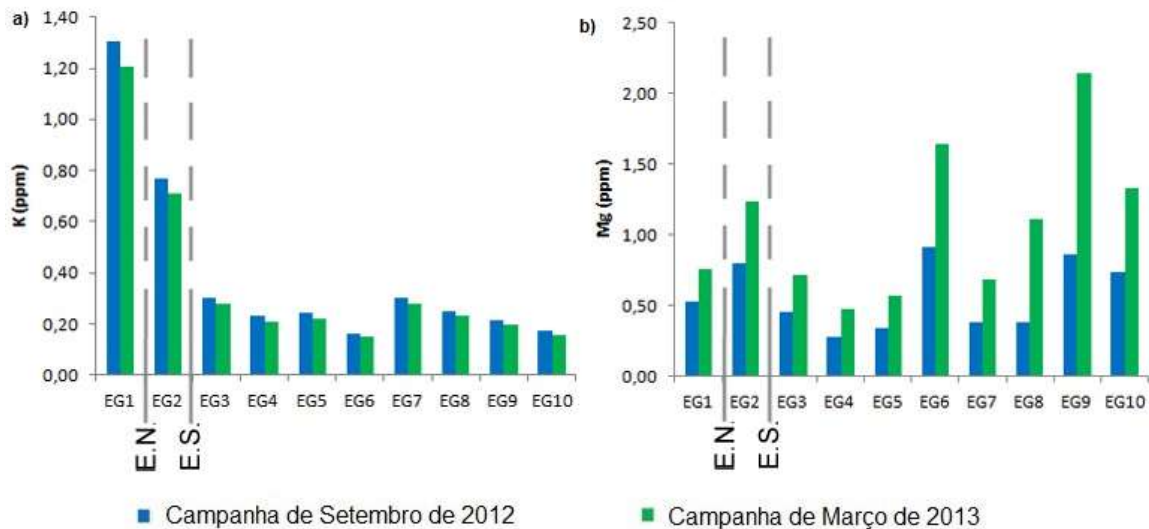


Fig. 5.6 a) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações do potássio das águas da área de estudo; b) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de magnésio das águas da área de estudo. E.N. – Posição relativa da escombreira Norte; E.S. – Posição relativa da escombreira Sul.

O ião sulfato encontrou-se presente apenas nas amostras da campanha de setembro e em teores muito reduzidos, quando existe uma menor disponibilidade hídrica, e se espera uma maior concentração de elementos presentes nas águas. Apresenta-se em concentrações baixas nas águas regionais (Fig. 5.7 a). No entanto, um aumento das concentrações faz-se sentir após a passagem da água regional pela área mineira, fruto da sua alta mobilidade e estabilidade. Mesmo após a confluência da água proveniente da zona mineira com a linha de água amostrada como EG4, a concentração deste elemento encontra-se mantem-se alta, apresentando um carácter muito conservativo, uma vez que mesmo que este elemento precipite, este pode ser transportado e voltar a dissolver-se novamente. Após a confluência de EG5 e a linha de água EG6/EG7, as concentrações começam a decrescer ao longo da ribeira do Sinhel.

Os teores de bicarbonato tendem a aumentar na passagem pela área mineira, após a confluência com EG4, que apresenta teores próximos das águas regionais EG1, os teores de bicarbonato voltam a decrescer, fruto da diluição (Fig. 5.7 b). Na linha de água que atravessa a zona de filões com sulfuretos, os teores apresentam diferenças muito elevadas entre a campanha de setembro e a campanha de março, tendo teores mais reduzidos que os da área mineira em setembro, mas muito mais elevados do que esta na campanha de março. Após a confluência desta linha de água com a água proveniente da área mineira, o bicarbonato apresenta comportamentos diferentes nas duas campanhas. Na campanha de setembro ocorre uma diluição do bicarbonato e posteriormente um aumento, acabando por

baixar novamente em EG10. Na campanha de março, após a confluência ocorre um novo aumento e de seguida os teores baixam, acabando por estabilizar.

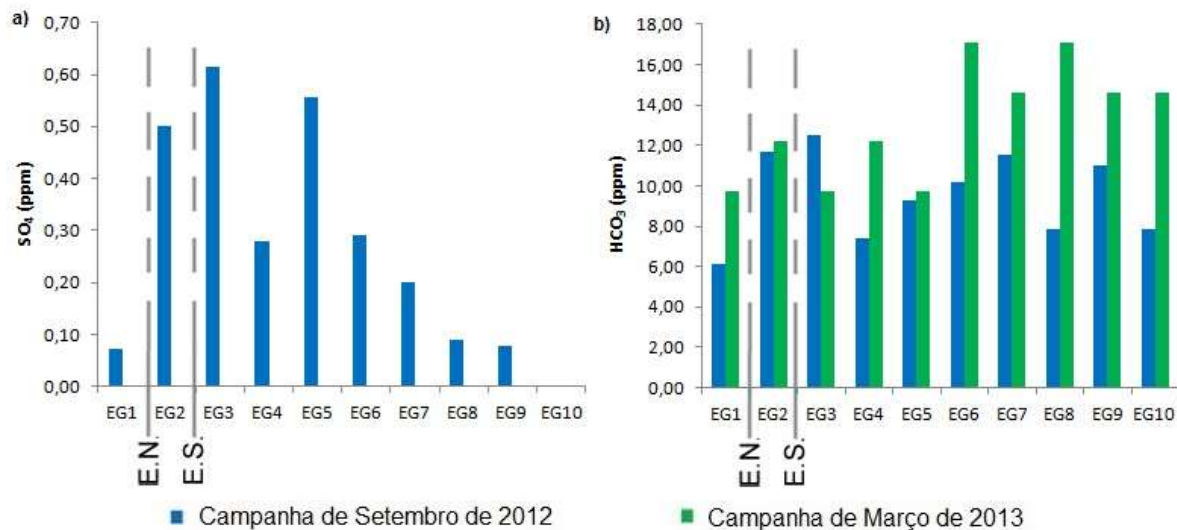


Fig. 5.7 a) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações do sulfato das águas da área de estudo; b) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de bicarbonato das águas da área de estudo. E.N. – Posição relativa da escombreira Norte; E.S. – Posição relativa da escombreira Sul.

O cloro apresenta-se muito elevado no fundo geoquímico das águas, e com teores quase sempre mais elevados na campanha de março (Fig. 5.8 a). Na passagem da água pela zona de escombreyras ocorre uma diminuição dos teores de cloro, ocorrendo, no entanto, um aumento no fim da linha de água na campanha de setembro. Na confluência da água proveniente da zona mineira com a linha de água amostrada como EG4, os teores sofrem uma redução quase insignificante, fruto dos teores de EG4, que se encontram quase tão altos como a água amostrada como EG3, assim, denota-se uma diluição que pouco faz variar o teor de cloro na água. É na linha de água que atravessa os filões com sulfuretos (EG6 e EG7) que se destaca uma maior variação sazonal dos teores de cloro, com teores muito reduzidos no verão, e teores um pouco mais altos no inverno, nunca chegando aos teores das águas regionais. Ocorre, na confluência das águas anteriores com as águas provenientes da zona mineira, um incremento dos teores na campanha de setembro, observando-se, na ribeira do Sinhel variação de teores de 2 ppm 4 ppm.

Quanto aos nitratos (Fig. 5.8 b), este apresentam-se sempre mais elevados na campanha de março, sendo as concentrações deste elemento bastante variáveis ao longo dos cursos de água. Os teores estão relacionados com a presença de matéria orgânica, não existindo uma relação quer com a geologia local, quer com fatores antrópicos.

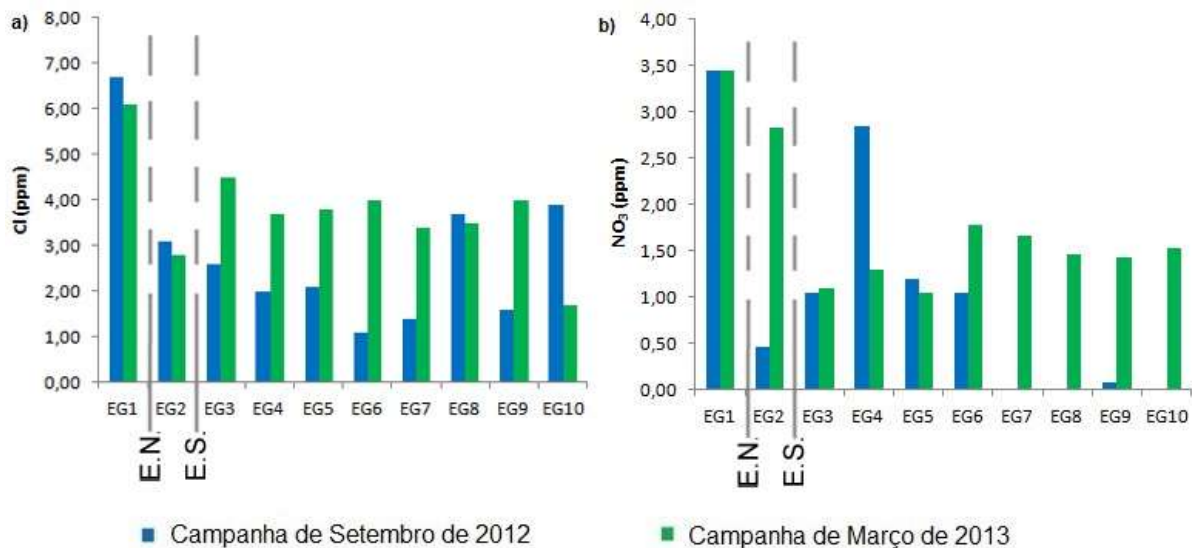


Fig. 5.8 a) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações do sulfato das águas da área de estudo; b) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de bicarbonato das águas da área de estudo. E.N. – Posição relativa da escombreira Norte; E.S. – Posição relativa da escombreira Sul.

### 5.2.2.2 - Elementos Vestigiais

O arsénio apresenta-se com teores baixos no fundo geoquímico (Fig. 5.9 a). Após a passagem da linha de água proveniente de EG1 pela escombreira Norte ocorre um incremento da concentração de arsénio, que se intensifica após a passagem pela escombreira Sul. Tal como foi mencionado anteriormente, a linha de água que se encontra amostrada com a designação EG4, apresenta valores anómalos comparado com o fundo geoquímico, no caso do arsénio apresenta valores da mesma ordem de grandeza que EG2. Após a confluência de EG3 e EG4, observa-se uma ligeira diminuição da concentração de arsénio relativamente a EG3 fruto da diluição desta com EG4. A concentração de arsénio

continua a diminuir, após a confluência com a linha de água EG6/EG7, voltando a ocorrer uma aumento ligeiro em EG10.

Os valores do fundo geoquímico para o chumbo são relativamente baixos, aumentando após a passagem da escombreira Norte, e ocorrendo uma ligeira diminuição após a escombreira Sul (Fig. 5.9 b). Esta diminuição de teores após a escombreira Sul, pode estar relacionada com a baixa mobilidade deste elemento. A linha de água amostrada como EG4 e a amostra EG5, que consiste na confluência de EG3 com EG4, apresenta valores muito baixos para o chumbo, possivelmente também relacionados com a baixa mobilidade deste elemento. Na linha de água, EG6/EG7, fora da influência mineira, mas dentro da influência dos sulfuretos, os teores são elevados chegando a valores quase próximos das águas que atravessa a zona mineira. Após a confluência desta linha de água com EG5, os valores mantem-se relativamente altos, ocorrendo uma diluição até ao ponto de amostragem EG9, mas voltando a subir em EG10.

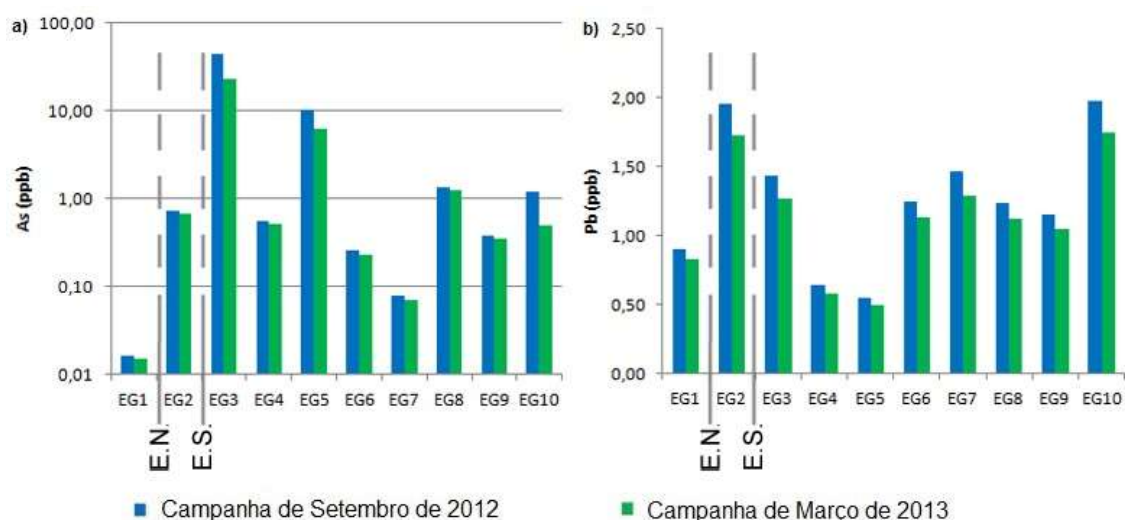


Fig. 5.9 a) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de arsénio das águas da área de estudo; b) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de chumbo das águas da área de estudo. E.N. – Posição relativa da escombreira Norte; E.S. – Posição relativa da escombreira Sul.

A prata apresenta teores baixos na amostra regional EG1 (Fig. 5.10 a), após a passagem pela área próxima da escombreira Norte, os teores apresentam-se ainda mais baixos, no entanto, após a passagem pela área próxima da escombreira Sul, ocorre um incremento do teor deste elemento, ocorrendo um novo aumento após a interceção desta linha de água com a linha de água amostrada como EG4, que apresenta os teores máximos de prata. Após a confluência da água amostrada como EG5 com a linha de água sobre



influência dos sulfuretos (EG6/EG7) os teores de prata baixam, diminuindo a sua concentração ao longo da ribeira do Sinhel.

Quanto ao cobre (Fig. 5.10 b), este só apresenta teores elevados em EG1, EG2 e EG3, ou seja, a linha de água que atravessa a zona mineira e sobre influência desta, consequência da sua baixa mobilidade. No entanto, em EG1, as águas ainda não se encontram sobre a influência mineira, e após a passagem da água pela área da escombreira Norte, ocorre uma diminuição do teor deste elemento, teor este que irá aumentar consideravelmente após a passagem pela área da escombreira Sul.

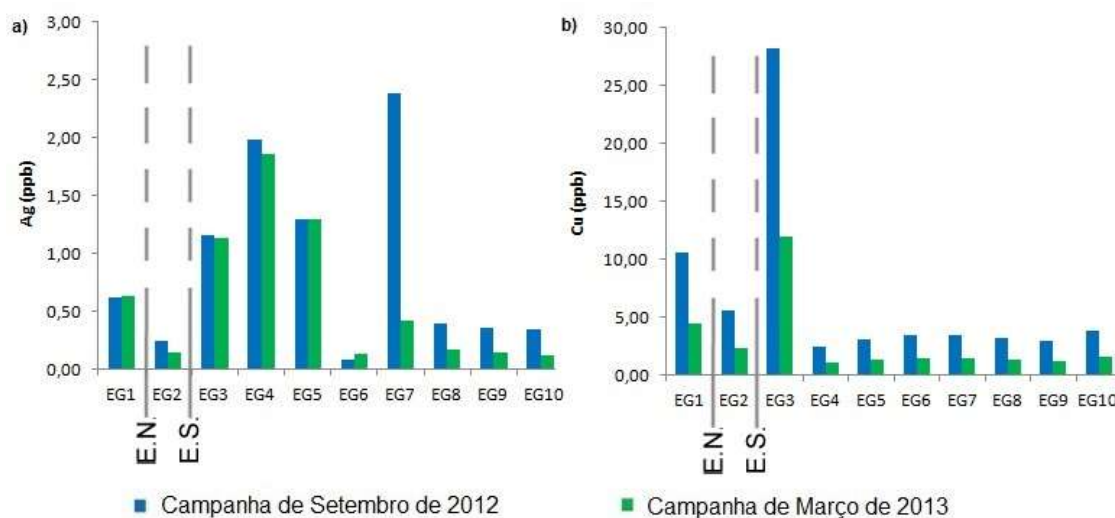


Fig. 5.10 a) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de prata das águas da área de estudo; b) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de cobre das águas da área de estudo. E.N. – Posição relativa da escombreira Norte; E.S. – Posição relativa da escombreira Su

O antimónio, apresenta-se com valores relativamente baixos mesmo em zonas com contaminação, podendo estar relacionado quer com a origem deste elemento, que aparece muito raramente na galena e na pirite, assim como a baixa mobilidade deste elemento em meios ácidos, neutros e alcalinos (Reimann & Caritat, 1998). A passagem das águas pela zona das escombreiras não provoca qualquer aumento de concentração de antimónio (Fig. 5.11 a). Ocorre em EG4 uma concentração um pouco mais elevada de antimónio, com provável origem numa alteração natural de sulfuretos. Concentração esta que acaba por baixar após a confluência com a água proveniente da linha de água que passa junto a área mineira. Em EG7 e EG8, ocorre uma aumento de concentração possivelmente devido a

alteração natural de sulfuretos. Verifica-se posteriormente uma nova diminuição da concentração deste elemento para a restante ribeira do Sinhel.

Na linha de água EG1 a EG3, ocorre um aumento da concentração de níquel após a passagem pela área mineira, no entanto, mesmo após esta influência, este elemento ainda se apresenta com concentrações inferiores aos do fim da linha de água EG6/EG7, águas que atravessam a área onde afloram filões com sulfuretos e que apresentam pirite em algumas bancadas de xisto (Fig. 5.11 b). Estes teores tendem a manter-se altos em águas da Ribeira do Sinhel, ocorrendo uma migração ao longo da linha de água. Entre a campanha de setembro e a campanha de março ocorre uma enorme variação de concentrações em EG5, confluência da água de influência mineira e EG4, e EG8, água da confluência de EG5 e da água regional sobre influência de sulfuretos, estando esta diferença relacionada com a grande mobilidade deste elemento em ambientes ácidos.

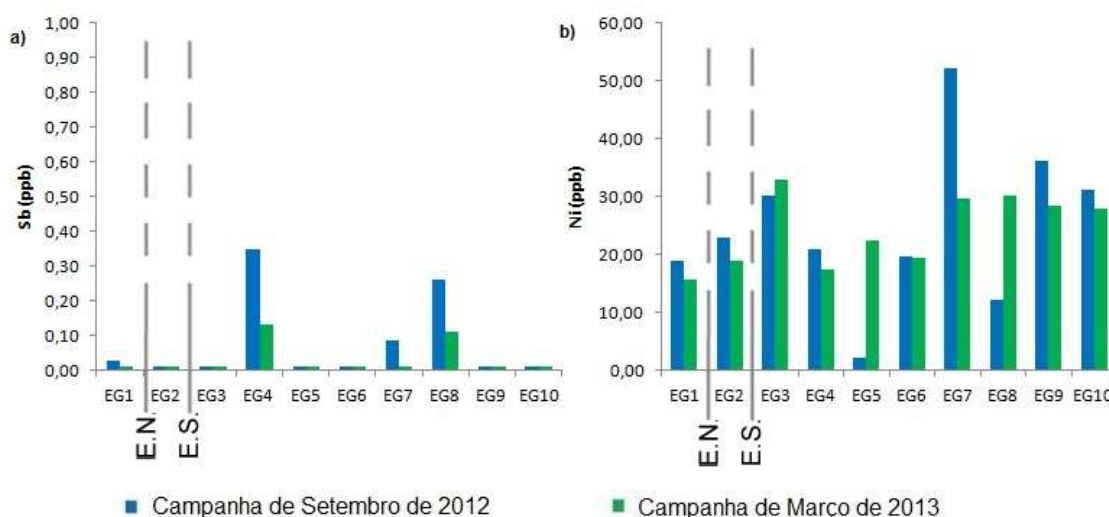


Fig. 5.11 a) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de antimónio das águas da área de estudo; b) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de níquel das águas da área de estudo. E.N. – Posição relativa da escambreira Norte; E.S. – Posição relativa da escambreira Sul.

Tanto o crómio (Fig. 5.12 a) como o cádmio (Fig. 5.12 b) apresentam uma diminuição de teores após a passagem da água pela área mineira, estando presentes em teores mais elevados nas amostras de água EG6, EG8, EG9 e EG10. Como já tinha sido visto pela análise de componentes principais, estes dois elementos parecem ter origem ou nos níveis de rochas mais básicas ou em níveis piritosos do xistos, que têm uma maior influência nestas águas.

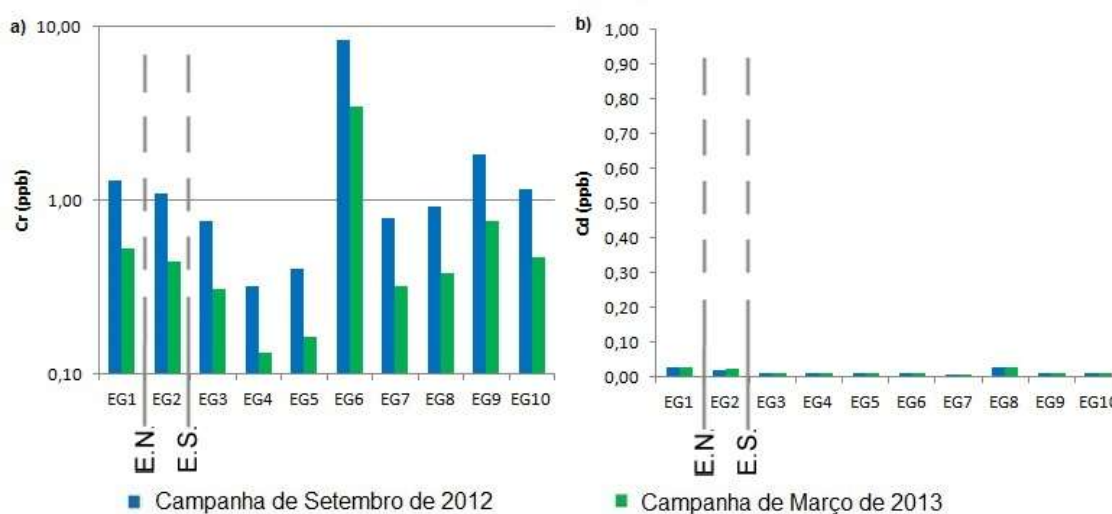


Fig. 5.12 a) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de crómio das águas da área de estudo; b) Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de cádmio das águas da área de estudo. E.N. – Posição relativa da escombreira Norte; E.S. – Posição relativa da escombreira Sul.

O cobalto (Fig. 5.13) apresenta um aumento de concentração após a passagem da água pela área mineira na campanha de março. Na campanha de setembro não se observa este aumento após a passagem pela escombreira Sul, ocorrendo mesmo uma diminuição da concentração deste elemento na água. Esta diferença pode estar relacionada com um aumento de pH na campanha de setembro, uma vez que este elemento apresenta uma mobilidade muito baixa em condições de pH neutro ou básico (Reimann & Caritat, 1998). Na linha de água EG4, a concentração deste elemento é quase igual em ambas as campanhas, apresentando teores próximos da água regional EG1. Na confluência de EG4, com a água proveniente da zona mineira, volta a registrar-se valores distintos de concentração, resultado da mistura das duas linhas de água, com a campanhas de março a apresentar valores mais altos em EG5 devido a adição dos teores provenientes da zona mineira, e na campanha de setembro valores muito baixos fruto da diluição do cobalto de EG4 na água proveniente de mina quase sem presença deste elemento. Pode-se também propor observando o gráfico que a água que atravessa a área mineira parece ter uma maior influência sobre os teores de EG5 que a água de EG4. Observando a linha de água que atravessa a zona de filões, as concentrações de cobalto são superiores aos teores das águas que atravessam a zona mineira, provavelmente consequência de uma alteração natural de sulfuretos presentes nos filões ou nos níveis piritosos dos xistos. Após a confluência desta linha de água com a linha de água de EG5, as concentrações baixam dramaticamente, voltando a subir ligeiramente ao longo da ribeira do Sinhel.

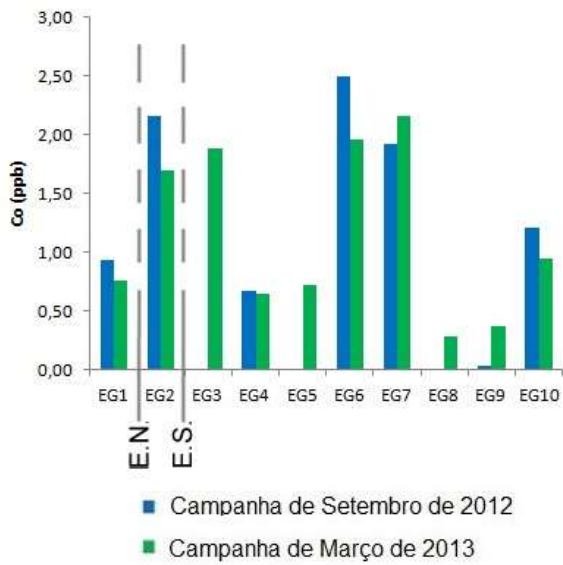


Fig. 5.13 Gráfico da variação espacial e temporal das concentrações de cobalto das águas da área de estudo. E.N. – Posição relativa da escombreira Norte; E.S. – Posição relativa da escombreira Sul

### 5.2.3 Análise das correlações de parâmetros

Apresenta-se de seguida a análise de correlação de parâmetros das campanhas de setembro e de março (Fig. 5.14), pretendendo-se determinar afinidades entre estes. Para tal, foram tidas em conta apenas correlações com significâncias ( $P < 0,05$ ) (Reimann, *et al*, 2008).

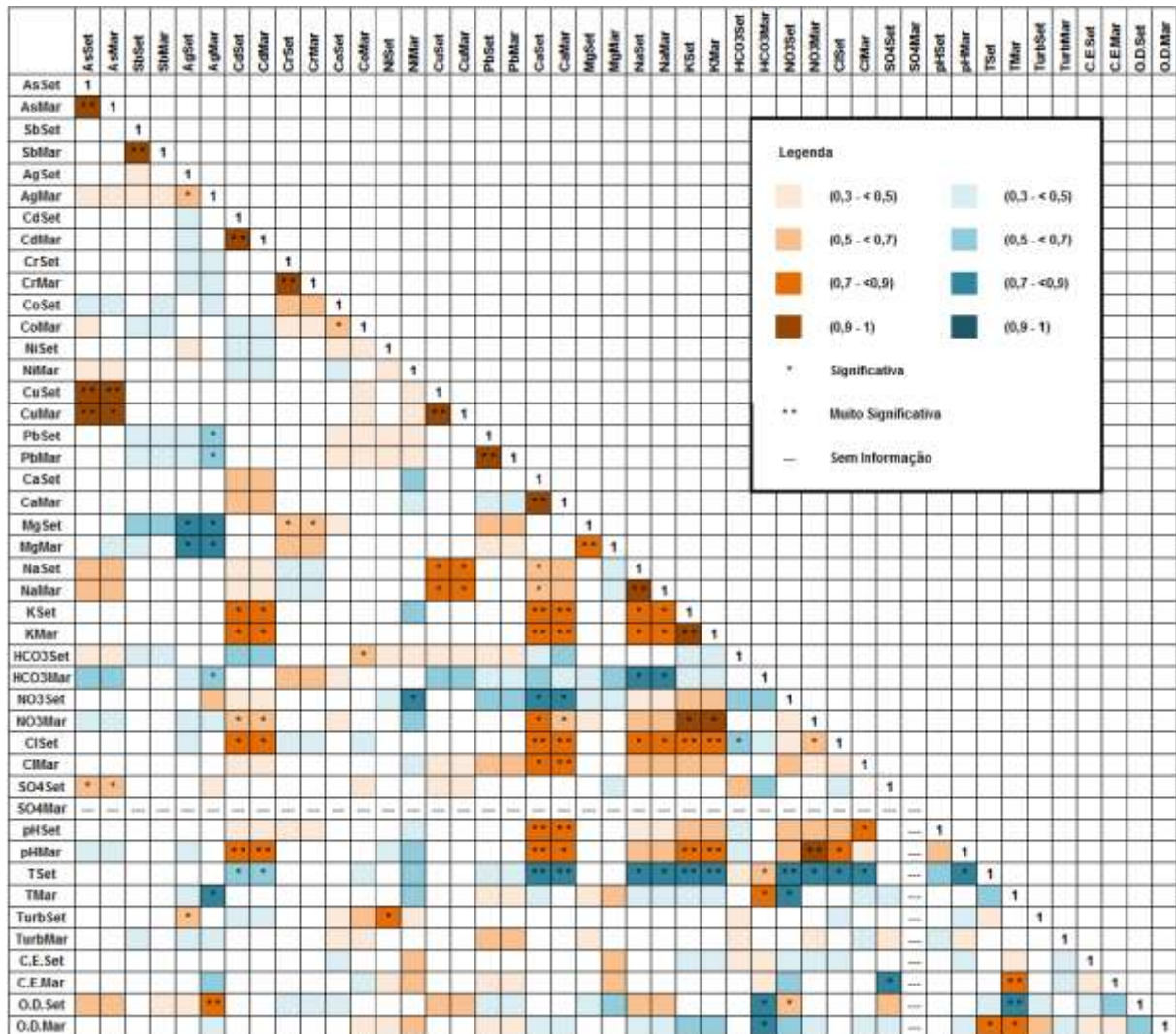


Fig. 5.14 – Matriz de correlação de Spearman dos parâmetros físico-químicos das águas da Escádia Grande.

Avaliando as correlações é possível observar:

- O pH apresenta na campanha de março uma correlação positiva muito alta com o  $\text{NO}_3^-$ , correlações positivas altas com o Cd, Ca e K, e correlação média negativa com Ni. Na campanha de setembro apresenta apenas uma correlação alta positiva com o Ca.
- A condutividade elétrica apresenta na campanha de março correlações altas muito significativas com a temperatura. No entanto na campanha de setembro este parâmetro não apresenta nenhuma correlação.
- A temperatura apresenta na campanha de setembro correlações altas inversas com o Ca, Na, K,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$  e uma correlação negativa inversa média com o Cd. Na campanha de março apresenta correlações positivas altas com o  $\text{HCO}_3^-$ , condutividade elétrica e oxigênio dissolvido e uma correlação inversa alta com a Ag.
- O oxigênio dissolvido apresenta uma correlação média positiva com o  $\text{NO}_3^-$  na campanha de setembro e uma correlação alta positiva com o  $\text{HCO}_3^-$  na campanha de março. Apresenta ainda para a campanha de março uma correlação positiva alta com a temperatura.
- O arsênio apresenta para ambas as campanhas uma correlação muito alta positiva com o Cu. Apresenta ainda, uma correlação positiva média com o  $\text{SO}_4^{2-}$  na campanha de setembro, confirmando a origem comum na mineralização principal.
- A prata apresenta para ambas as campanhas uma correlação alta negativa com o Mg. Sendo também mencionável duas correlações negativas médias com o Pb e o  $\text{HCO}_3^-$  na campanha de março.
- O cádmio apresenta para correlações positivas altas com o K. Na campanha de setembro apresenta também uma correlação positiva alta com o  $\text{Cl}^-$  e na campanha de março uma correlação positiva alta com o  $\text{NO}_3^-$  e com o pH.
- O cromo apresenta uma correlação média positiva com o Mg na campanha de setembro, como já tinha sido observado na ACP, destacando a influência de níveis piritosos ou de rochas mais básicas na composição química da água.
- O níquel apresenta na campanha de março correlações médias com o pH (negativa).
- O cobre apresenta correlações positivas com o As, muito alta, e com o Na, alta, em ambas as campanhas.
- O chumbo apresenta uma correlação média negativa com o Ag na campanha de março.

- O cálcio apresenta correlações altas positivas com o K,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  e com o pH, e uma correlação média positiva com o Na na campanha de setembro, como já tinha sido observado na ACP, sendo estes os elementos maiores da mineralização da água. O Ca também mostra uma correlação alta negativa com a temperatura.
- O magnésio correlaciona-se fortemente com o Ag de forma inversa, tal como já tinha sido observado pela ACP, onde o Mg apresentava correlação negativa com o eixo 2, enquanto que a Ag, apresentava correlação positiva com o mesmo eixo. Na campanha de setembro, uma correlação média do Mg com o Cr, que se correlacionavam pela sua possível origem comum.
- O sódio apresenta correlações positivas altas com o Cu e o K. Apresentando na campanha de setembro uma correlação alta com o Cl, e uma média com o Ca e uma alta negativa com a temperatura. Na campanha de março também tem uma correlação alta inversa com o  $\text{HCO}_3^-$ . As correlações com o K, Ca, Cl e  $\text{HCO}_3^-$ , mais uma vez, demonstram a mineralização principal das águas.
- O potássio apresenta correlações positivas altas com o Cd, Ca e Na. Destacam-se ainda uma correlação positiva alta com o  $\text{Cl}^-$  na campanha de setembro, uma correlação positiva alta com o pH na campanha de março, uma muito alta com o  $\text{NO}_3^-$  na campanha de março e uma correlação negativa inversa com a temperatura na campanha de setembro.
- O bicarbonato apresenta na campanha de setembro uma correlação negativa média com o  $\text{Cl}^-$ . Na campanha de março apresenta uma correlação média negativa com o Ag, uma correlação negativa alta com o Na e duas correlações alta positiva com a temperatura e o oxigénio dissolvido.
- O nitrato apresenta correlação alta com o Ca em ambas as campanhas. Na campanha de setembro observa-se ainda uma correlação média com o oxigénio dissolvido. Observa-se na campanha de março uma correlação alta com o Cd e duas muito altas com o K e o pH.
- O cloro apresenta, na campanha de setembro correlações altas com o Cd, Ca, Na e K e uma correlação média inversa com o  $\text{HCO}_3^-$ . Na campanha de março é observável uma correlação alta com o Ca e uma correlação alta negativa com a temperatura.
- O sulfato correlaciona-se positivamente com o As em setembro, mostrando que estes poderão ter uma origem comum na mineralização principal, como já se tinha observado na ACP.

## 5.2.4 Classificação das águas da área da Mina da Escádia Grande

### 5.2.4.1 Diagrama de Piper

No que toca aos elementos maiores, pode-se considerar que as águas da mina da Escádia Grande são hipossalinas, uma vez que o total de sólidos dissolvidos nunca excede teores de 50 mg/l, procedendo-se, de seguida, a uma projeção dos elementos maiores no diagrama de Piper. O diagrama de Piper permite fazer a classificação química de águas segundo o seu conteúdo em catiões (Ca, Mg, Na e K) e aniões ( $\text{SO}_4$ , Cl,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{CO}_3$ ) dominantes. Projetando-se as águas analisadas nas campanhas de setembro e março no diagrama de Piper, obteve-se os resultados apresentados na fig. 5.15.

Observando os diagramas de Piper realizados, verifica-se que no campo dos catiões quase todas as águas da área de estudo são sódico-potássicas, tanto durante a época seca como na época de chuvas, ocorrendo no entanto uma exceção para EG9, que durante a campanha de março, e conseqüentemente, num período de chuvas intensas, é de tipo indefinido. No que toca ao campo dos aniões, as águas analisadas, tanto na campanha de setembro como na campanha de março, são águas bicarbonatadas, com exceção de EG1, que em ambas as campanhas, apresenta águas cloretadas.



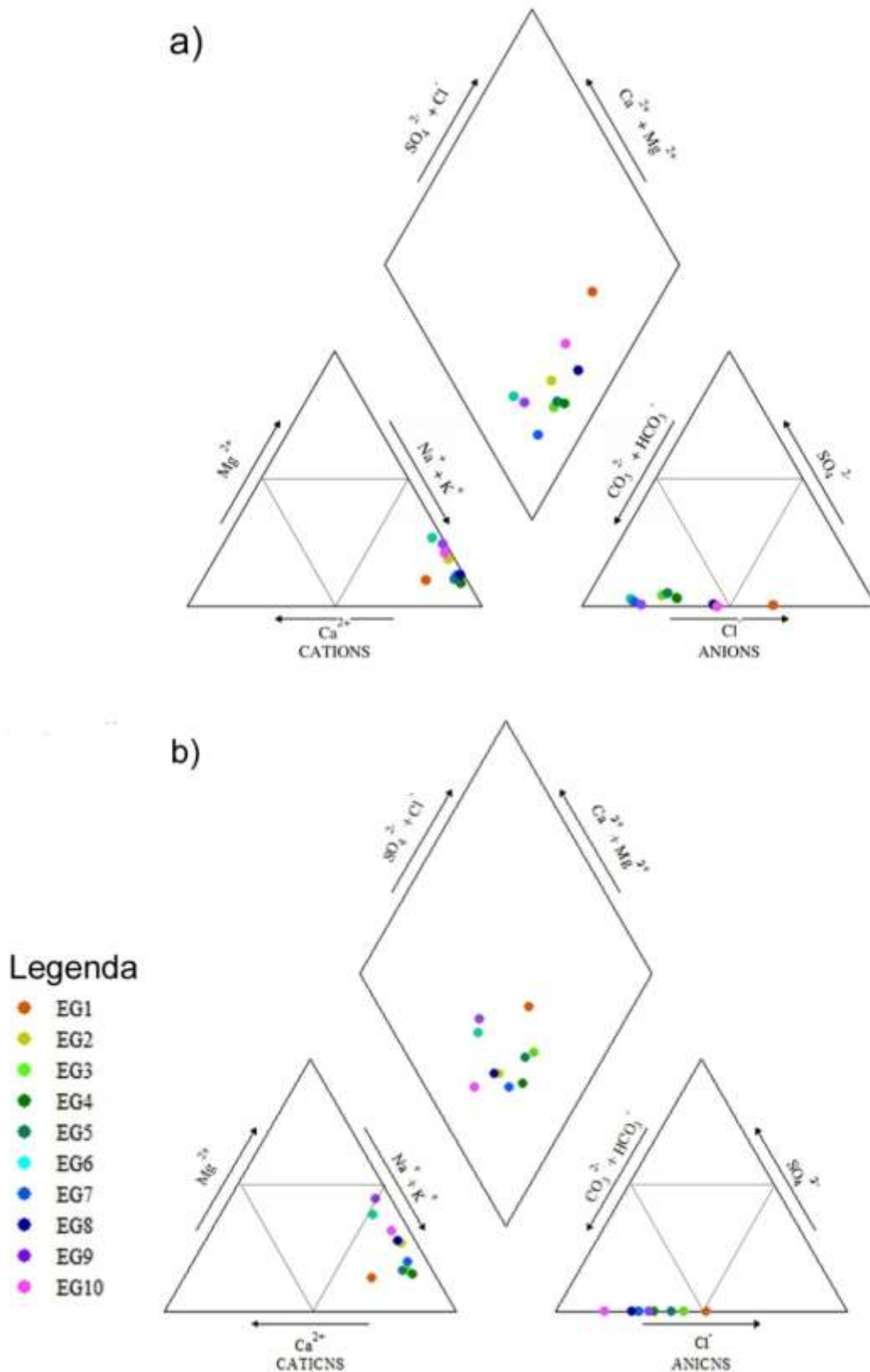


Fig. 5.15 – Diagramas de Piper representando as amostras da área de estudo. a) Águas colhidas na campanha de setembro de 2012; b) Águas recolhidas na campanha de março de 2013.

### 5.2.4.2 Classificação SAR (Índice de saturação de sódio)

O índice de saturação de sódio permite medir o grau com que o sódio substitui o cálcio e o magnésio, adsorvidos no material argiloso. Quando este é projetado em um diagrama SAR-Conductividade permite caracterizar a perigosidade de salinização ou alcalinização das águas. O índice de saturação de sódio é calculado pela expressão:

$$\text{SAR (meq/l)} = [\text{Na}^+] / \sqrt{([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]) / 2}$$

O índice de saturação de sódio (Quadro. 5.9) é baixo para todas as amostras, ocorrendo os valores mais altos em EG3, após a passagem pela zona mineira, e os valores mais baixos em EG6 em setembro e EG9 em março.

	SAR	
	Set. 2012	Mar. 2013
EG1	1,266	0,948
EG2	1,302	0,973
EG3	1,775	1,257
EG4	1,758	1,175
EG5	1,570	1,058
EG6	0,925	0,630
EG7	1,547	1,041
EG8	1,669	0,880
EG9	1,055	0,619
EG10	1,189	0,812

Quadro 5.9 – Índice de saturação de sódio para as águas da Escádia Grande.

Quando se procede a projeção das água em um diagrama SAR-conductividade (Fig. 5.16), observa-se que para qualquer época do ano, como em qualquer local de amostragem, a perigosidade de alcalinização é baixa, assim como a perigosidade de salinização.

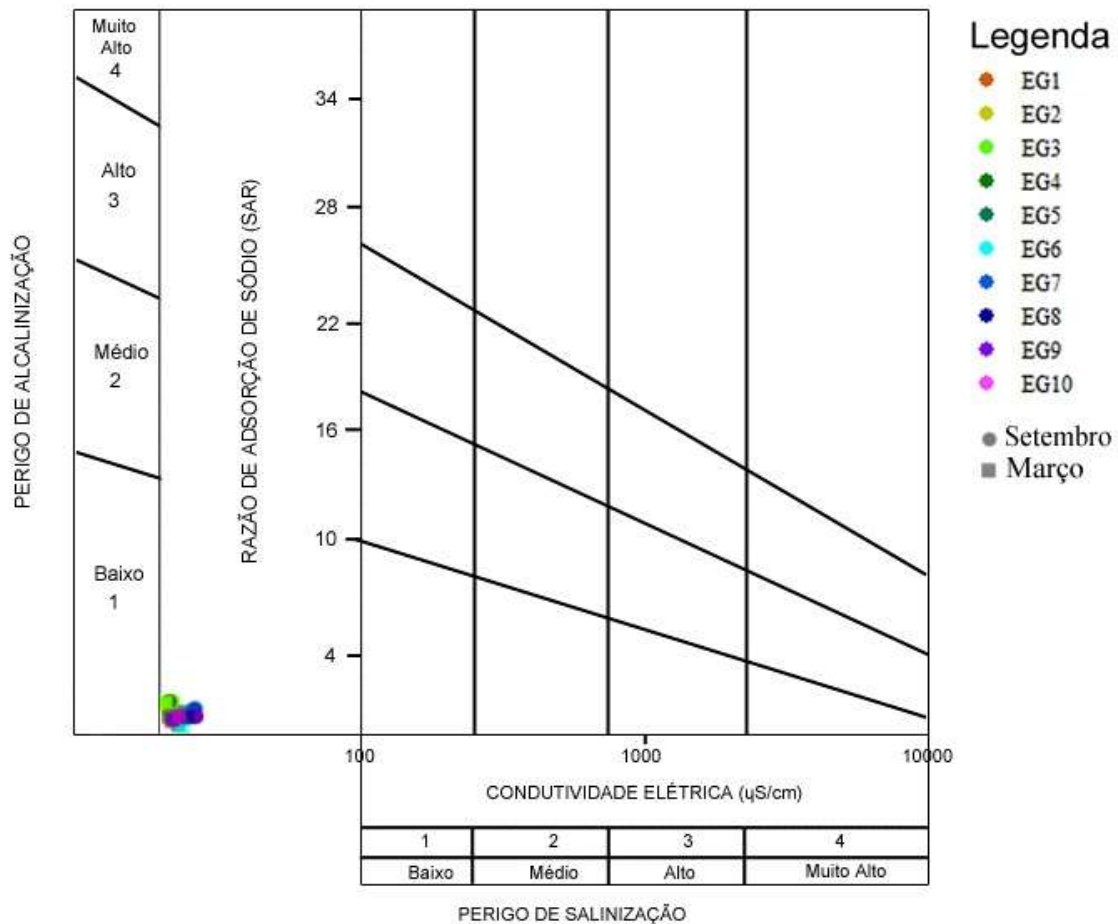


Fig. 5.16 – Projeção das águas da Escádia Grande em diagrama SAR-Conductividade

### 5.2.4.3 Classificação de efluentes gerados pela atividade mineira

Tal como já havia sido mencionado no capítulo 3, os efluentes gerados pela atividade mineira foram classificados por White (1968), em seis categorias, de acordo com o pH dos mesmos (ITGE, 1989). Aplicando esta classificação as águas da área de estudo, estas enquadram-se na classe 2, efluente brandos, ligeiramente ácidos com valores de pH entre 5,0 e 7,0.

### 5.3 Caracterização dos sedimentos de corrente

Os sedimentos de corrente são bons indicadores de fontes poluidoras, quer pela sua baixa variação temporal das concentrações de metais, quer pelas concentrações de maior ordem de grandeza relativamente as águas.

A estatística descritiva da campanha de amostragem de sedimentos realizada em setembro de 2012, encontram-se representados no Quadro 5.10.

n = 10	pH	C.E. ( $\mu\text{S/cm}$ )	Ag (mg/Kg)	As (mg/Kg)	Au (mg/Kg)	Co (mg/Kg)	Cr (mg/Kg)
Minimo	5,21	14,60	0,03	9,26	0,03	2,72	14,67
Máximo	6,45	119,40	1,09	2593,93	2,22	33,29	31,46
Média	5,83	54,79	0,22	511,66	0,52	22,15	24,61
Mediana	5,92	37,00	0,16	129,71	0,12	24,03	24,86
1º Quartil	5,68	24,65	0,06	48,81	0,07	18,16	21,79
3º Quartil	6,01	80,80	0,19	437,44	0,71	27,93	28,76
$\sigma$	0,38	38,55	0,31	849,08	0,74	8,88	5,29
M.A.D.	0,11	18,65	0,09	86,86	0,08	4,61	3,93

n = 10	Cu (mg/Kg)	Fe (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	Ni (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)	Sb (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)
Minimo	26,47	13745,85	146,03	12,29	13,34	0,35	73,66
Máximo	69,34	37126,73	596,33	47,59	147,45	37,72	208,38
Média	49,15	20828,75	427,95	33,16	45,67	9,54	142,80
Mediana	48,69	17302,65	451,88	33,21	35,83	2,07	134,21
1º Quartil	42,91	15953,34	409,92	30,81	21,33	1,00	96,48
3º Quartil	56,56	25231,35	473,39	35,27	49,66	8,68	196,74
$\sigma$	12,37	7823,22	122,11	9,91	39,09	14,86	53,63
M.A.D.	8,42	2196,26	37,97	2,44	15,31	1,28	56,07

Quadro 5.10 – Estatística descritiva dos sedimentos da área de estudo.

A análise de componentes principais indicou os valores que os 3 primeiros eixos apresentam 85 % da explicação (Quadro 5.11). Dos resultados desta análise, que refletem as relações das variáveis com os eixos (Quadro 5.12), destacam-se:

- O eixo 1, que apresenta correlações positivas com o Ag, As, Au, Fe, Sb, Zn e pH, sendo que estes correspondem a mineralização que se deposita nos sedimentos.
- No eixo 2 ocorrem correlações positivas com o Cr, o Cu, o Fe e o Ni, que correspondem aos sulfuretos presente nos xistos, e posteriormente foram erodidos pelas linhas de água. O Pb apresenta uma correlação negativa com este eixo, possivelmente pela sua baixa mobilidade.
- O terceiro eixo apresentou correlações positivas com o Co, e o Mn, estes elementos parecem estar ligados as rochas mais básicas onde se instalam os cursos de água.

	<b>Valor Proprio</b>	<b>% Exp</b>	<b>% Acum</b>
<b>Eixo 1</b>	4,6689	35,9143	35,9143
<b>Eixo 2</b>	3,9280	30,2151	66,1294
<b>Eixo 3</b>	2,4716	19,0122	85,1416
<b>Eixo 4</b>	0,9106	7,0044	92,1460

Quadro 5.11 – Valores de explicação dos eixos fatoriais

	<b>Eixo 1</b>	<b>Eixo 2</b>	<b>Eixo 3</b>	<b>Eixo 4</b>
<b>pH</b>	0,5361	-0,5229	-0,4151	-0,3505
<b>Ag</b>	0,844	0,4759	0,1717	0,1406
<b>As</b>	0,948	0,129	0,2169	0,0684
<b>Au</b>	0,742	0,379	0,3417	0,2734
<b>Co</b>	-0,2935	0,0975	0,8469	-0,2185
<b>Cr</b>	0,0168	0,8945	-0,3834	-0,1169
<b>Cu</b>	-0,4181	0,7352	0,0431	-0,4227
<b>Fe</b>	0,5855	0,6328	-0,489	-0,0902
<b>Mn</b>	-0,1068	0,1768	0,9442	-0,1073
<b>Ni</b>	-0,1139	0,935	0,1012	-0,1822
<b>Pb</b>	0,3206	-0,7628	0,1842	-0,3923
<b>Sb</b>	0,9414	-0,157	0,255	0,0895
<b>Zn</b>	0,7761	-0,0729	-0,0115	-0,4834

Quadro 5.12 – Correlações entre as variáveis e os eixos da ACP realizada aos sedimentos de corrente.

Quando se projetam as variáveis nos eixos 1 e 2 (Fig. 5.17), observa-se o grupo de elementos que se encontra relacionado com a mineralização, onde se encaixam as amostras de sedimentos SEDEG-2 e SEDEG-3.

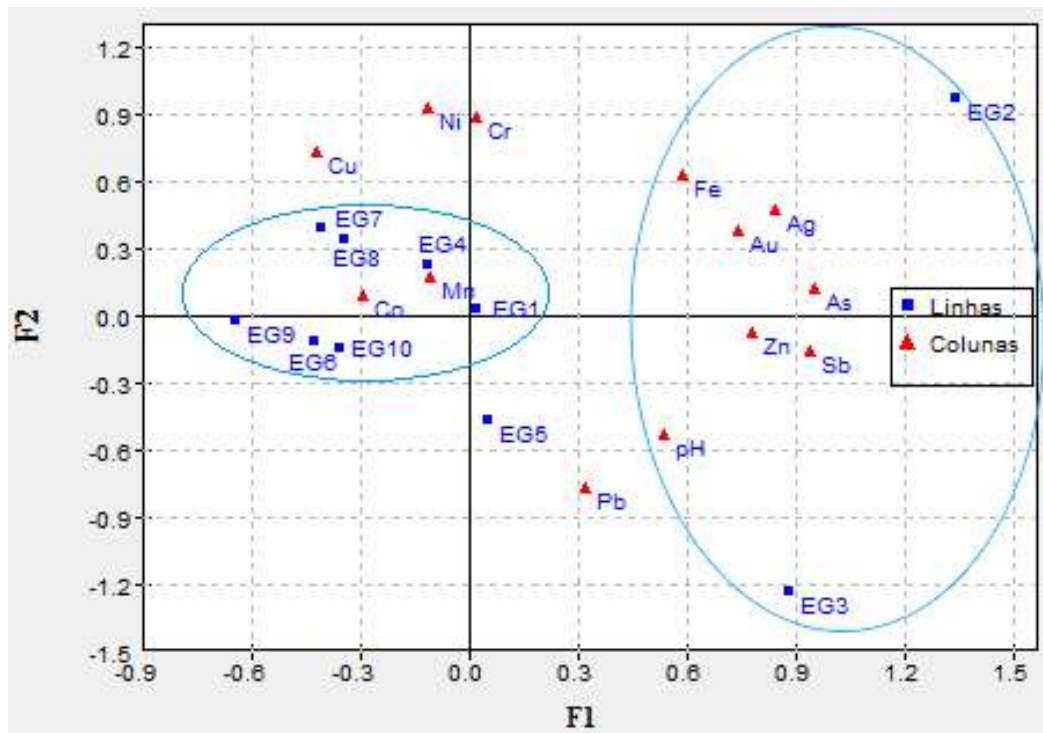


Fig. 5.17 – Projeção das variáveis e amostras nos eixos 1 e 2 da primeira ACP dos sedimentos da área de estudo.

Procedeu-se, no entanto, a uma segunda análise de componentes principais, sem estas duas amostras de sedimentos e apenas com os elementos ligados a mineralização, a fim de perceber se existiriam mais amostras que apresentassem anómalas. Nesta segunda ACP, na projeção dos eixos 1 e 2 (Fig. 5.18), verifica-se que as amostras SEDEG-4, SEDEG-5 e SEDEG-7, se encontram no grupo de elementos que coincide com elementos que correspondem a mineralização. Define-se assim para o fundo geoquímico as amostras SEDEG-1, SEDEG-6, SEDEG-8, SEDEG-9 e SEDEG-10 (Quadro 5.13).

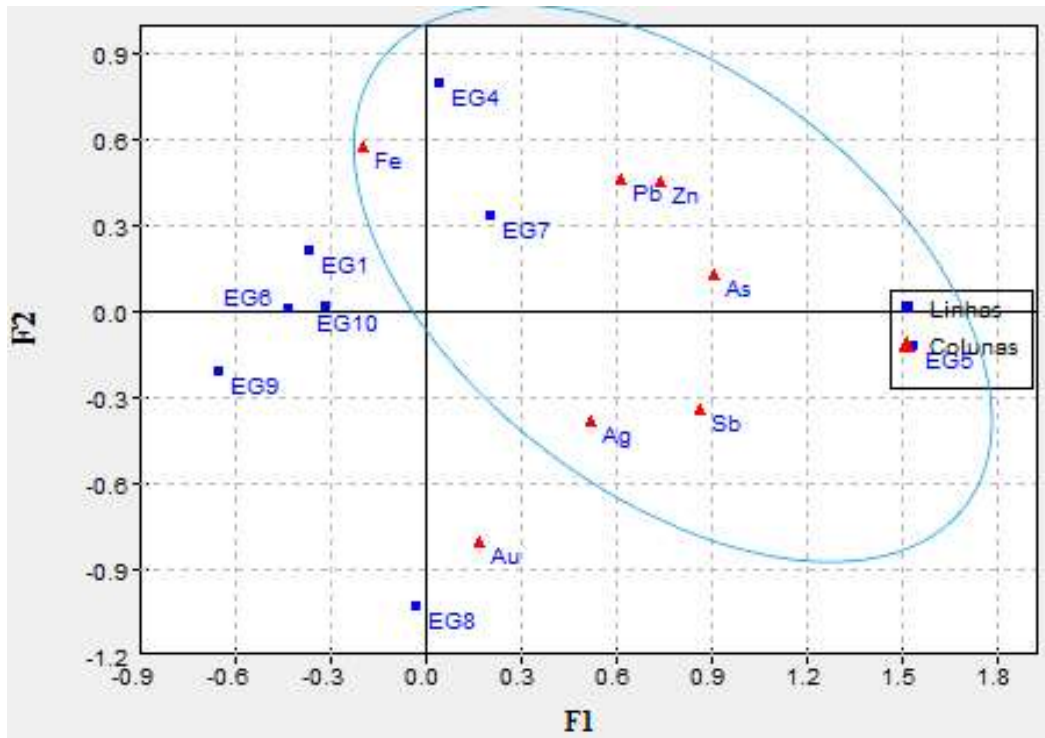


Fig. 5.18 – Projeção das variáveis e amostras nos eixos 1 e 2 da segunda ACP dos sedimentos da área de estudo, considerando em suplementar as amostras anômalas.

	F. Geoq. (ppm)
Ag	0,10
As	61,69
Au	0,34
Co	20,98
Cr	24,87
Cu	48,92
Fe	18962,74
Mn	402,43
Ni	32,60
Pb	27,06
Sb	1,85
Zn	98,10

Quadro 5.13 – Teores do fundo geoquímico dos sedimentos de corrente da área mineira da Escádia Grande.

### 5.3.1 - Características físico-químicas dos sedimentos de corrente

A condutividade elétrica determinada para os sedimentos de corrente apresenta aumentos tanto na linha de água que atravessa a zona mineira (EG1/EG2/EG3) como na linha de água fora de influência da escombreira, mas dentro da influência dos sulfuretos (EG6/EG7), no entanto, é nesta última que se observa um maior incremento da condutividade (Fig. 5.19). A condutividade continua a aumentar até EG8, onde ocorre um máximo de 119,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , após este ponto de amostragem a condutividade elétrica dos sedimentos diminui ao longo da linha de água.

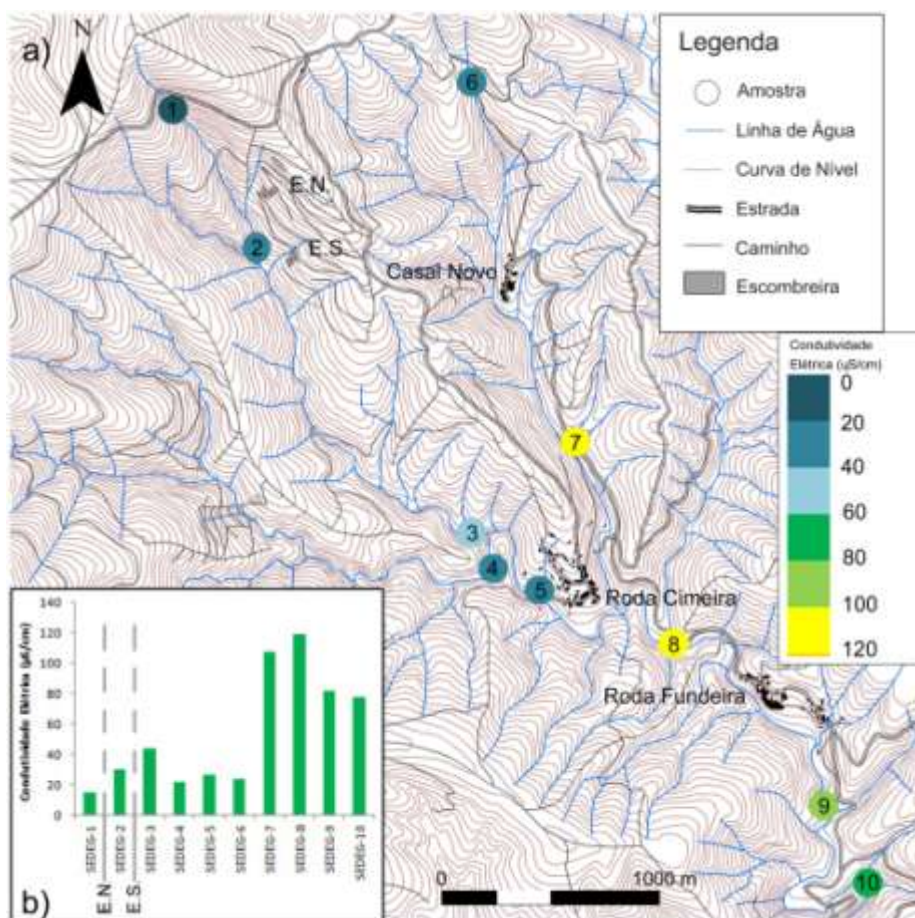
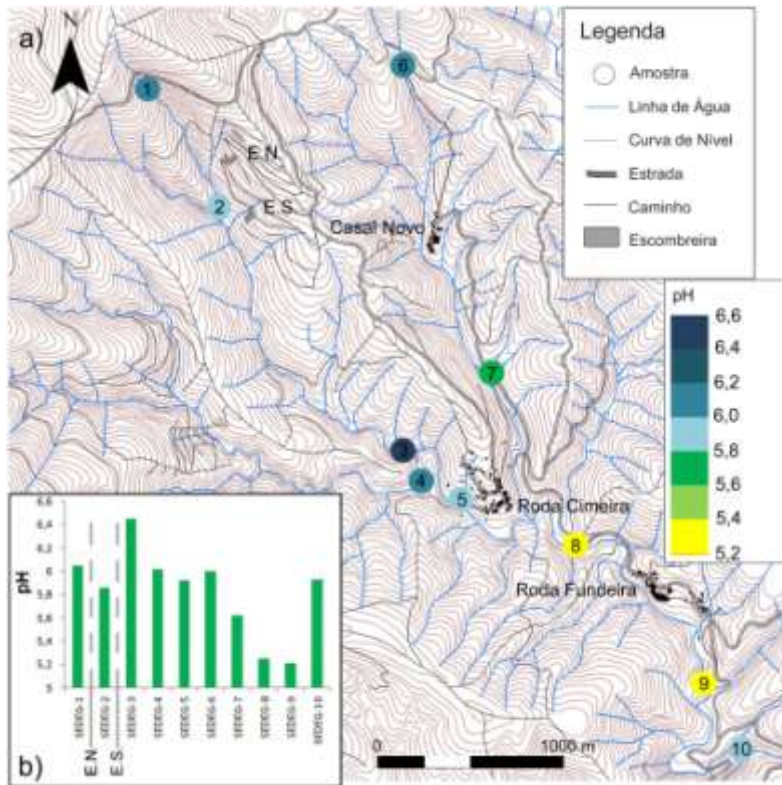


Fig. 5.19 – a) Carta de valores de condutividade elétrica dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial da condutividade elétrica dos sedimentos de corrente da área de estudo.

O pH dos sedimentos apresenta os seus valores mais baixos em SEDEG-8 e SEDEG-9, com valores próximos de 5,2, enquanto que o valor mais alto de pH registou-se nos sedimentos designados como SEDEG-3 (Fig. 5.20). Os sedimentos da linha de água que passa pela zona mineira, sofrem um decréscimo do pH após a passagem pela área da escombreira Norte, já na passagem pela escombreira Sul, os sedimentos tornam-se quase



neutros, com um pH de 6,5. Observando a linha de água que atravessa a área com filões, os sedimentos apresentam valores de pH inferiores aos dos sedimentos da linha de água que atravessa a área mineira.



A prata (Fig. 5.21) e o ouro (Fig. 5.22) presentes nos sedimentos apresentam um comportamento bastante semelhante, atingindo máximos após a escombreira Norte, reduzindo ligeiramente após a área da escombreira Sul, provavelmente devido a distância e já tendo ocorrido a precipitação destes elementos antes do local de amostragem SEDEG-3. A grande diferença entre os dois elementos observa-se no ponto de amostragem EG8, possivelmente devido aos fundões que se encontram nesta zona onde precipitam e ficam retidas maiores quantidades de ouro.

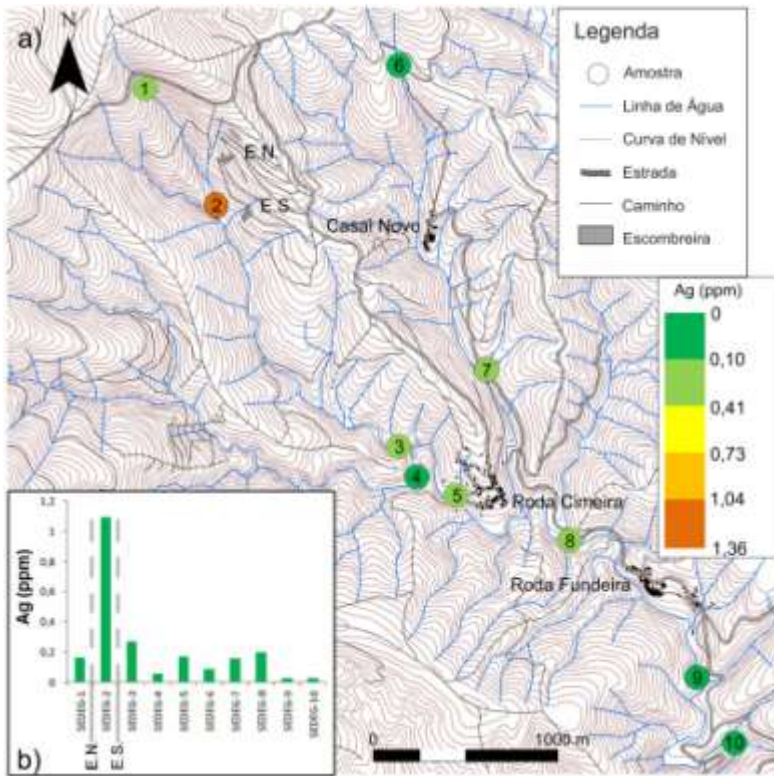


Fig. 5.21 – a) Carta dos teores da prata dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de prata dos sedimentos de corrente da área de estudo.

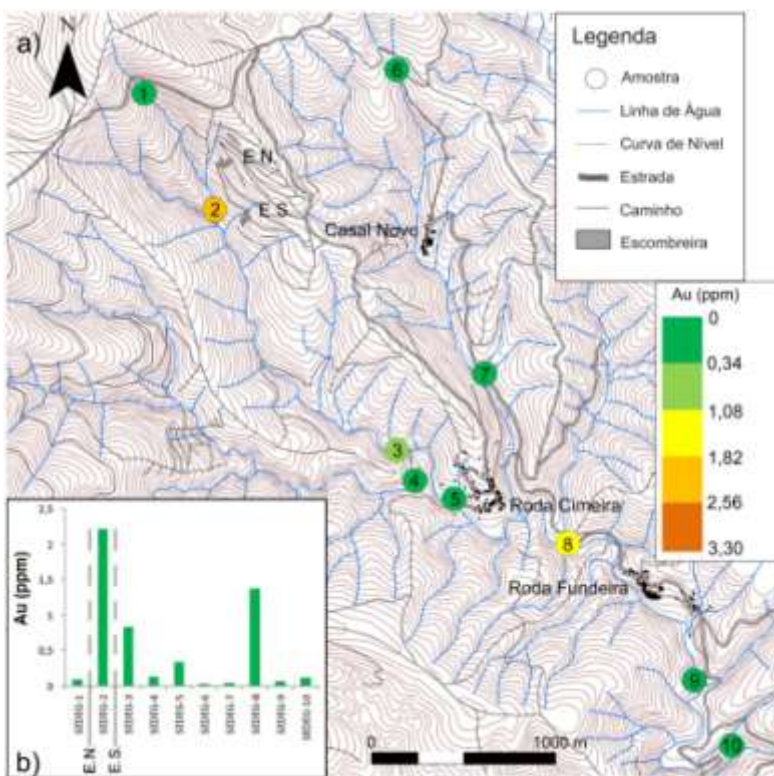


Fig. 5.22 – a) Carta dos teores de ouro dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de ouro dos sedimentos de corrente da área de estudo.

O arsênio presente nos sedimentos, sofre um incremento ao longo da linha de água que atravessa a área mineira, provavelmente devido a alteração da arsenopirite, passando para a linhas de água e posterior deposição deste elemento nos sedimentos (Fig. 5.23). Na confluência entre a linha de água que passa pela zona mineira e a linha de água amostrada como SEDEG-4, que apresenta teores baixos de As, os teores de As presentes nos sedimentos tendem a ser diminutos relativamente a SEDEG-3, ficando retido nos sedimentos mais próximos da fonte. Verifica-se que a distância em relação a fonte contaminante é um elemento chave na dispersão deste elemento. Na linha de água paralela a área mineira, na zona onde ocorrem veios com sulfuretos (EG6 e EG7), também ocorre deposição de As, mas com concentrações muito inferiores as da área mineira, observando-se que na amostra SEDEG-8, o arsênio já se encontra em teores muito reduzidos nos sedimentos. No entanto, ao longo da ribeira do Sinhel, observa-se um aumento pouco significativo da concentração deste elemento nos sedimentos, que pode estar relacionado com condições de amostragem ou do modo de concentração.

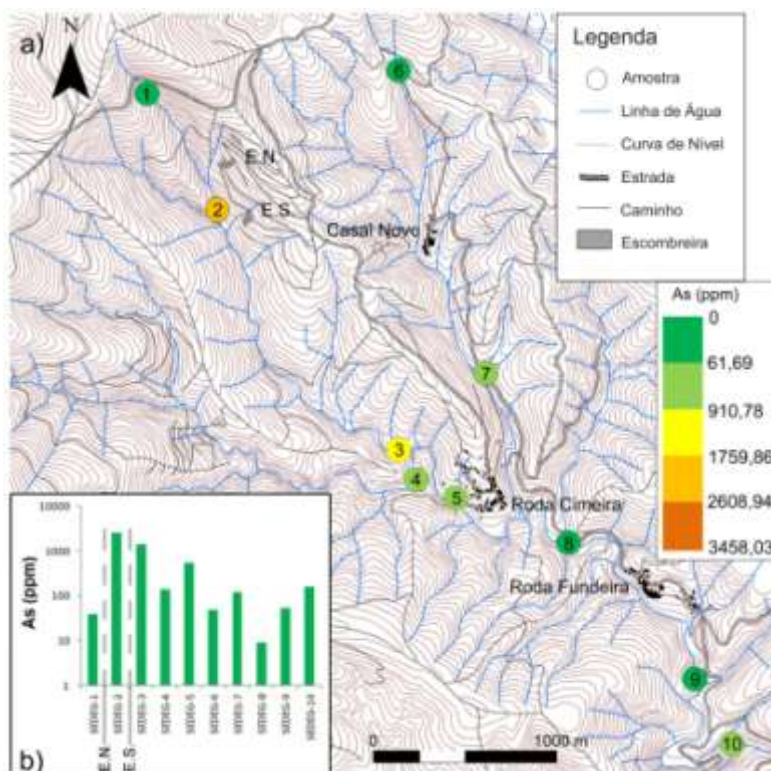


Fig. 5.23 – a) Carta dos teores de arsênio dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de arsênio dos sedimentos de corrente da área de estudo.

Os teores mais elevados de cobalto nos sedimentos encontram-se na linha de água que atravessa a área de filões com sulfuretos (EG6 e EG7), sendo consideravelmente mais altos que os teores de sedimentos da linha de água que atravessa a zona das escombreliras (Fig. 5.24). Os sedimentos de corrente das águas sem influência quer das escombreliras, quer dos filões com sulfuretos, apresentam os teores mais baixos de toda a área de estudo, com valor de 2,72 ppm, que se destacam dos sedimentos da Ribeira do Sinhel, que geralmente apresentam valores entre 14 ppm e 27 ppm.

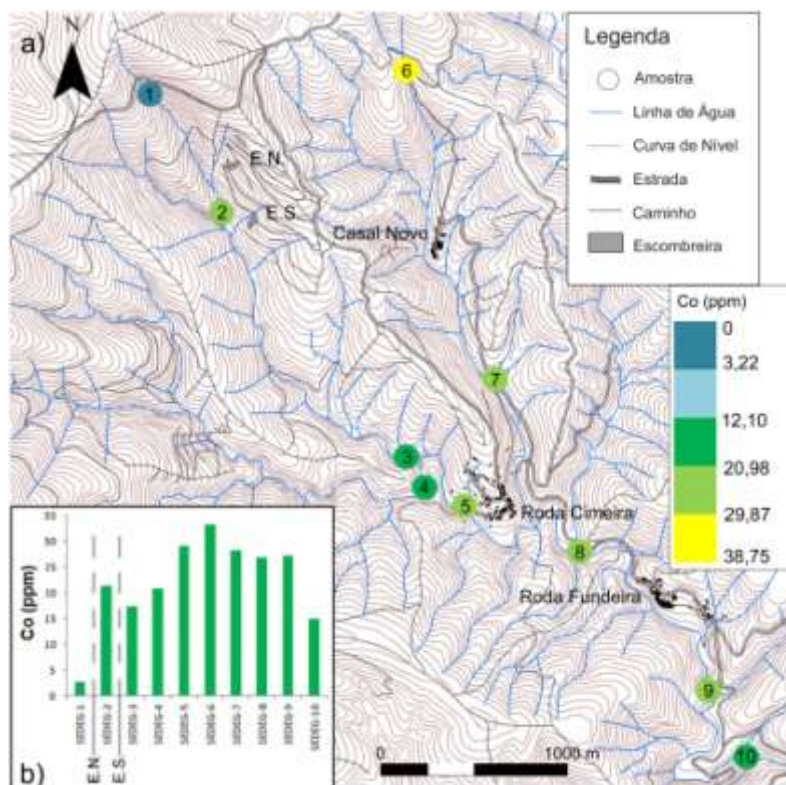


Fig. 5.24 – a) Carta dos teores de cobalto dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de cobalto dos sedimentos de corrente da área de estudo.

O crómio presente nos sedimentos é mais notável após a escombrelira Norte, com valores ligeiramente mais elevados que os sedimentos presentes nas águas amostradas com a designação SEDEG-1, podendo ser resultado da precipitação deste elemento das águas para os sedimentos. Após a escombrelira Sul, tanto os teores dos sedimentos, como os da água diminuem consideravelmente (Fig. 5.25). Os sedimentos da linha de água localizada na área onde afloram filões com sulfuretos, apresentam teores superiores aos sedimentos do local após a escombrelira Sul, mas inferiores aos sedimentos da área após a escombrelira Norte, observando-se também que os sedimentos tendem a apresentar concentrações mais elevadas de crómio para jusante, na amostra SEDEG-7, que foi

considerada anómala, contrariamente aos teores deste elemento nas águas que tende a diminuir. Este facto parece relacionar-se com a precipitação de crómio das águas para os sedimentos de corrente, sendo uma constante ao longo da Ribeira do Sinhel.

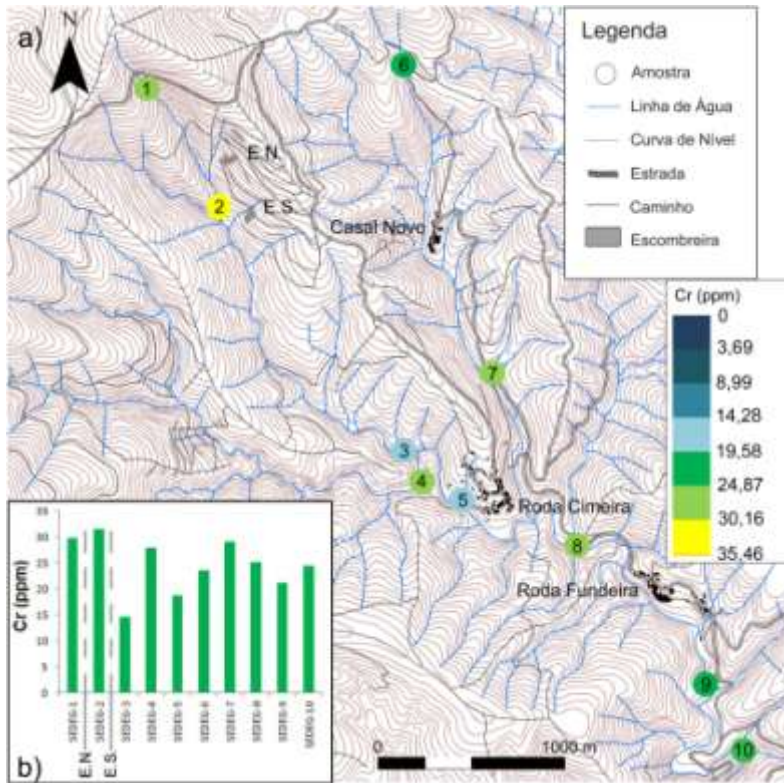


Fig. 5.25 – a) Carta dos teores de crómio dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de crómio dos sedimentos de corrente da área de estudo.

Observando os teores de cobre ao longo dos sedimentos das linhas de água, a concentração de cobre apresenta-se ligeiramente mais elevada após a escombrela Norte, mas mais baixas nos sedimentos após a escombrela Sul (Fig 5.26). O comportamento é inverso ao comportamento das águas onde ocorre uma diminuição da concentração após a escombrela Norte e um grande aumento da concentração após a escombrela Sul. Estes comportamentos podem estar relacionados com uma co-precipitação de cobre com óxidos e hidróxidos de ferro na área após a escombrela Norte, e um abaixamento do teor deste elemento presente na água com um aumento da concentração de cobre na água após a escombrela Sul, associado a um abaixamento do teor de cobre nos sedimentos de corrente. Tal como nas amostras das águas, os sedimentos amostrados como SEDEG-4 apresenta teores associados a contaminação mesmo sem estar ligado a linha de água da área mineira. A linha de água que atravessa os veios com sulfuretos (EG6/EG7) apresenta, nos sedimentos de corrente, teores mais elevados que SEDEG-1, nunca atingindo valores

tão altos como SEDEG-4. Após a confluência destas águas com as águas provenientes da zona mineira, os teores presentes nos sedimentos tendem a diminuir.

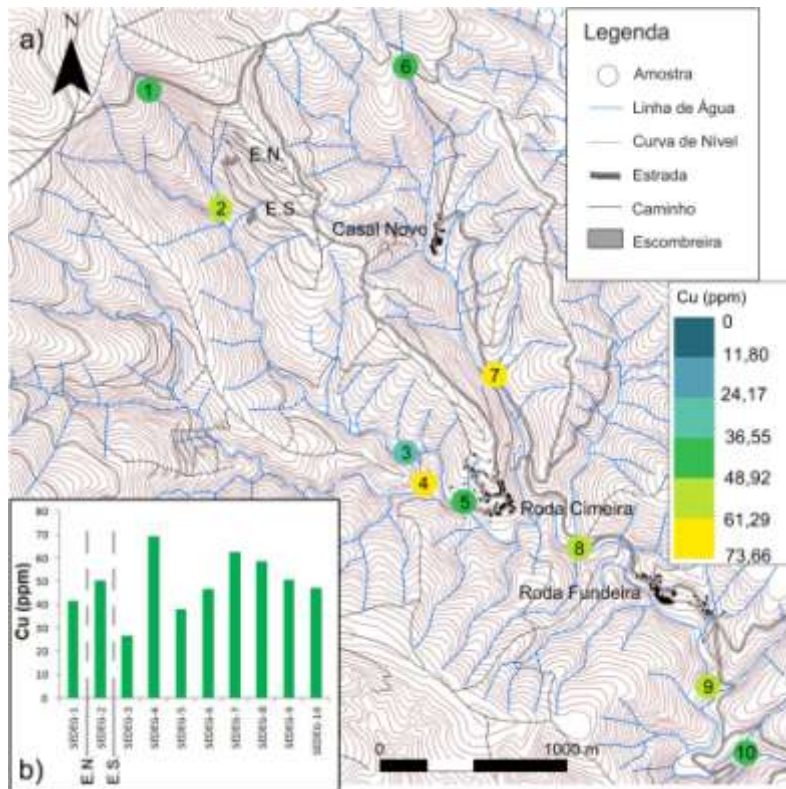


Fig. 5.26 – a) Carta dos teores de cobre dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de cobre dos sedimentos de corrente da área de estudo.

Os sedimentos da área mineira apresentam teores de ferro muito superiores a quaisquer outros sedimentos da área de estudo, observando-se um considerável decréscimo da concentração de ferro após a passagem pela escombreira Sul (Fig. 5.27). Este elemento apresenta uma baixa mobilidade tanto em ambientes ácidos, como alcalinos, ocorrendo a precipitação dos produtos provenientes da oxidação dos sulfuretos, próximo das escombreiras. Na linha de água amostrada como EG4, o ferro presente nos sedimentos volta a apresentar valores elevados, mostrando, mais uma vez, uma anomalia que não seria de esperar nesta zona, talvez motivada por uma concentração de óxidos de ferro transportados pela linha de água. Após a confluência desta última linha de água, e a linha de água que atravessa a área mineira, os teores de ferro dos sedimentos, continuam a ser consideravelmente baixos, fruto da sua baixa mobilidade. Na linha de água a Este da área mineira, sem se encontrar sobre influência desta (EG6 e EG7), os teores de ferro presentes nos sedimentos de corrente, encontram-se mais baixos, com valores entre os 16000 ppm e

os 19000 ppm, e que após a confluência com a linha de água EG5, continuam a decrescer, consequência da baixa mobilidade deste elemento, ao longo da ribeira do Sinhel.

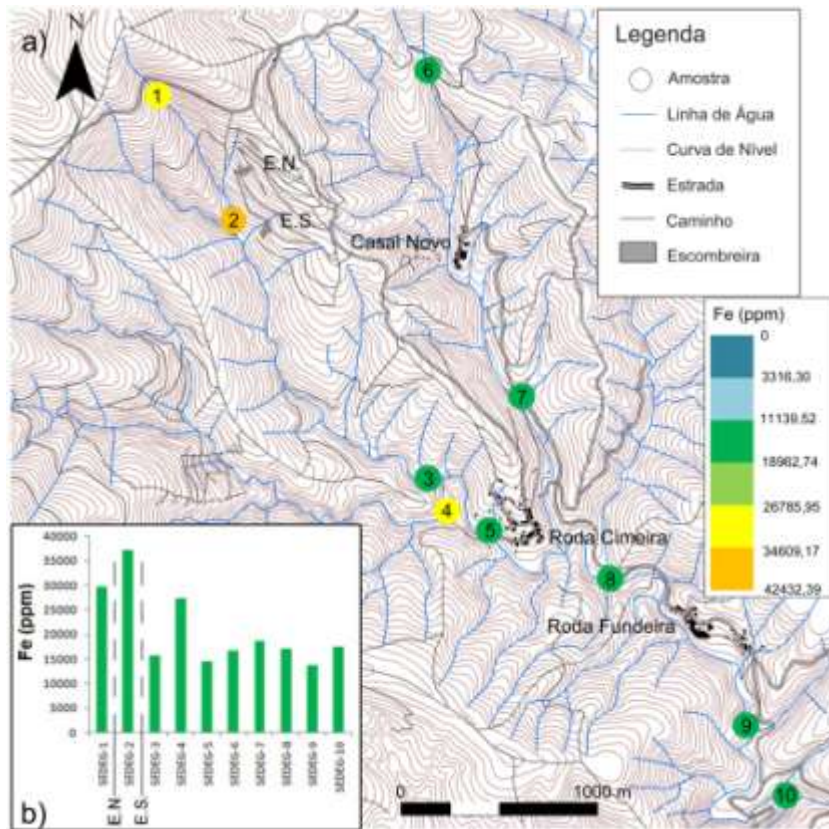


Fig. 5.27 – a) Carta dos teores de ferro dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de ferro dos sedimentos de corrente da área de estudo.

O manganês está presente em baixos teores a montante da linha que atravessa a área mineira, aumentando consideravelmente após a área da escombreira Norte, sofrendo uma redução da concentração após a área da escombreira Sul (Fig. 5.28). Na linha de água a Este da área mineira, os teores dos sedimentos apresenta-se também altos, chegando a atingir valores superiores aos da zona mineira. Posteriormente, a partir da confluência da linha de água previamente mencionada, os teores tendem a diminuir progressivamente ao longo da ribeira do Sinhel.

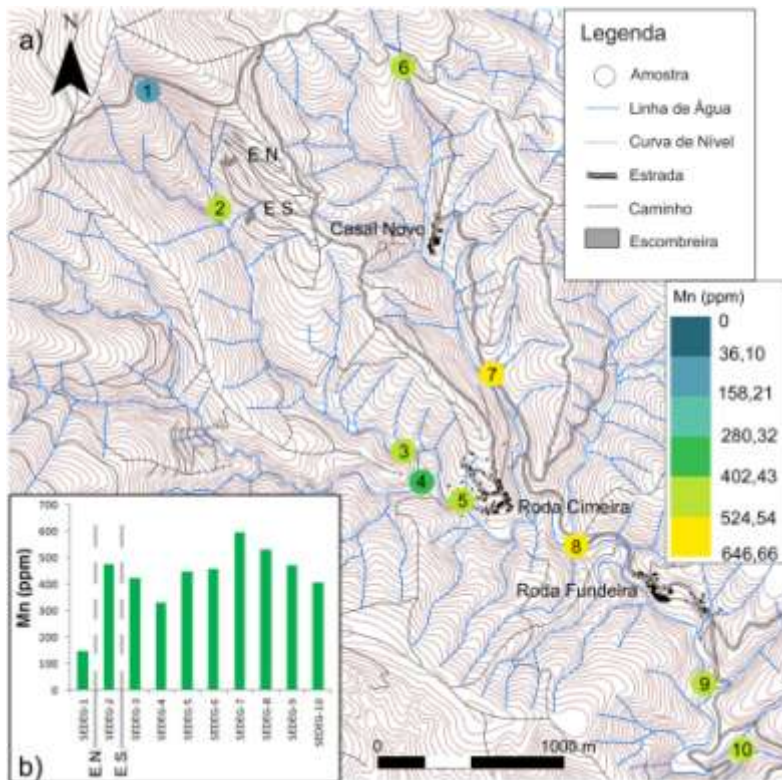


Fig. 5.28 – a) Carta dos teores de manganês dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de manganês dos sedimentos de corrente da área de estudo.

Na linha de água que atravessa a área da mina, os teores de Níquel dos sedimentos aumentam após a passagem pela escombreira Norte, seguindo-se uma diminuição após a escombreira Sul, associado a uma aumento de teores deste elemento nas águas (Fig. 5.29). Ao longo da linha de água que se encontra na área onde afloram filões com sulfuretos (EG6 e EG7) os teores dos sedimentos tendem a aumentar, tal como já tinha acontecido com as águas, atingindo os seus valores máximos. Na confluência desta linha de água com a água proveniente da zona mineira, ocorre um incremento do teor de níquel nas águas e sedimentos de corrente relativamente ao local de amostragem SEDEG-5, possivelmente devido a influência gerada pela linha de água EG6/EG7. Na restante ribeira do Sinhel, observa-se teores bastante semelhantes, com um comportamento semelhante ao níquel presente nas águas.



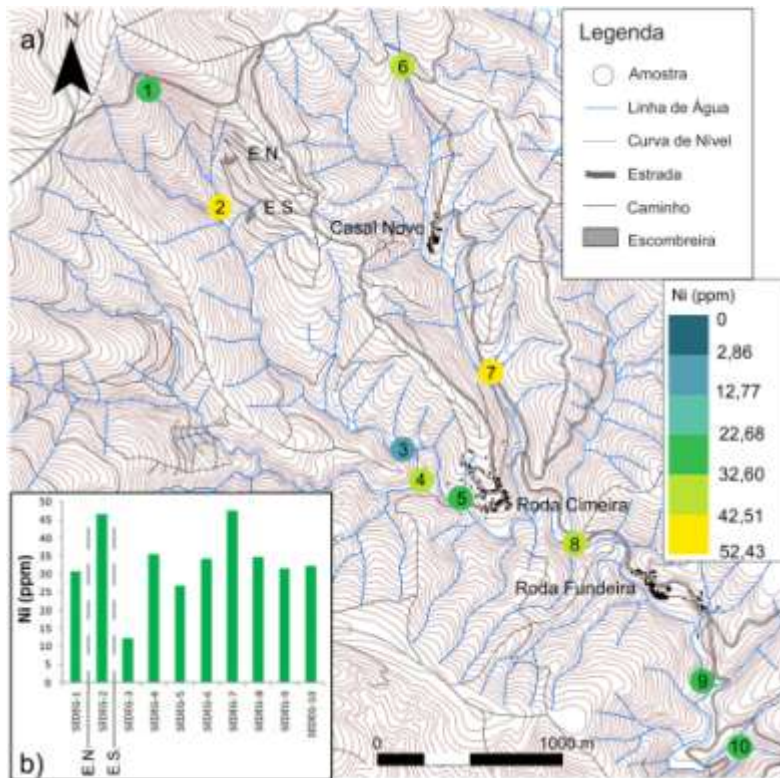
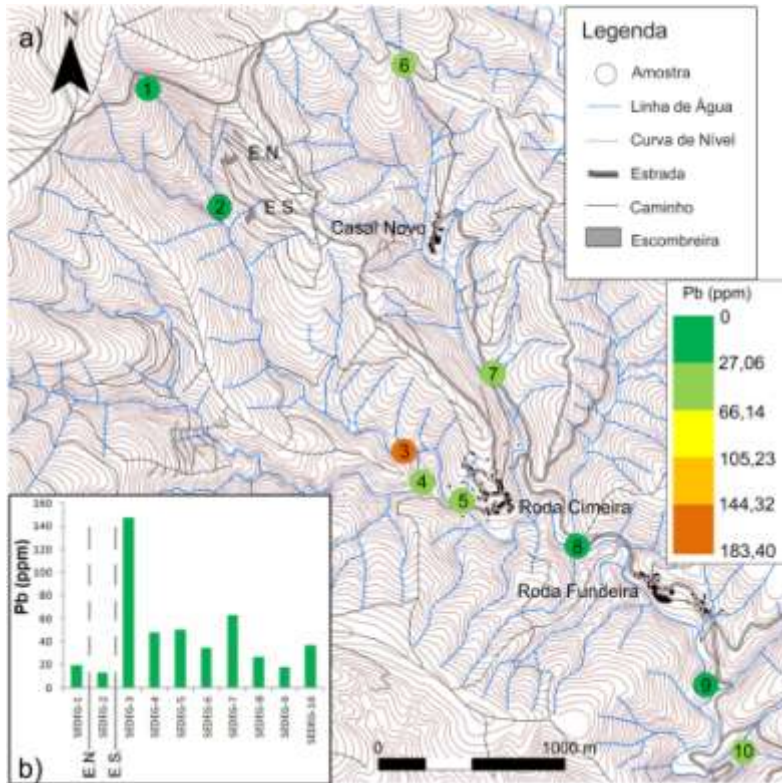


Fig. 5.29 – a) Carta dos teores de níquel dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de níquel dos sedimentos de corrente da área de estudo.

O chumbo encontra-se com teores mais elevados nos sedimentos da zona mineira, após a escombreira Sul, mas apresentando teores muito reduzidos após a escombreira Norte, contrariamente aos teores presentes nas águas, que após a escombreira Norte ocorria um elevado aumento de chumbo na água e uma diminuição após a escombreira Sul (Fig. 5.30). Os sedimentos que se localizam na área onde afloram veios com sulfuretos, apresentam teores mais baixos que na área mineira mas superiores aos sedimentos amostrados como SEDEG-1, assim como os sedimentos da ribeira do Sinhel. Quando comparado com as concentrações deste elemento na água observa-se que há um incremento no ponto EG2 nas águas enquanto que nos sedimentos ocorre uma diminuição da concentração relativamente a EG1, o que pode indicar que o chumbo neste local parece ser influenciado por condições geoquímicas distintas e com mais capacidade de solubilização. Note-se que neste ponto há uma diminuição do pH e um aumento do teor em Fe. Após a passagem pela escombreira Sul, o pH aumenta e ocorre a precipitação de chumbo ocorrendo uma diminuição do teor de chumbo na água ao mesmo tempo que se observa um aumento da concentração de chumbo nos sedimentos.



Os sedimentos da linha de água da área mineira, tem os teores mais altos de antimónio, após as escombreiras, que se destacam de todas as amostras colhidas (5.31). Devido a baixa mobilidade deste elemento, tanto em ambientes ácidos como alcalinas. Este elemento não volta a ser observado em quantidades elevadas a partir do local de amostra SEDEG-3, concentrando-se próximo da fonte.

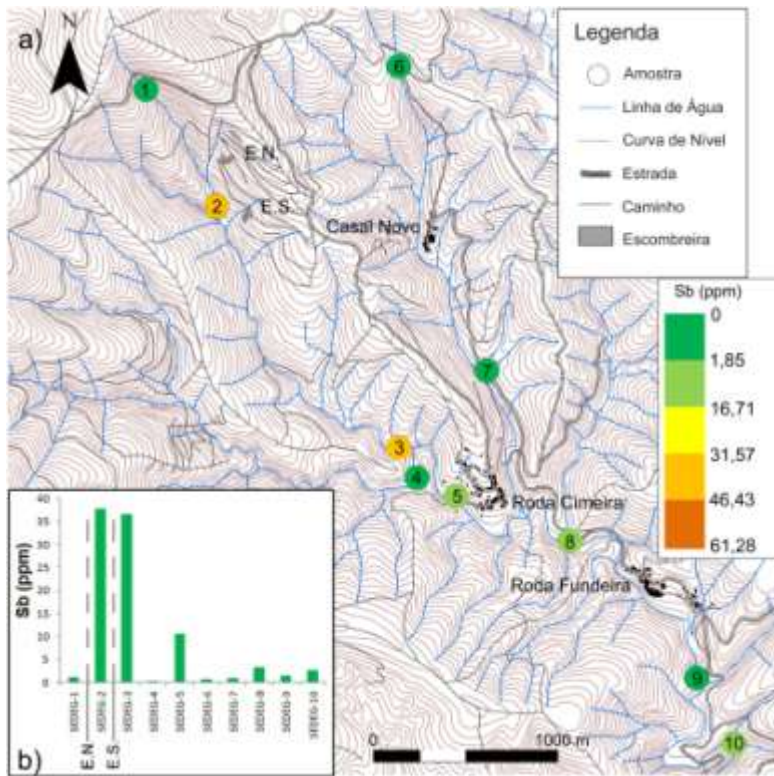
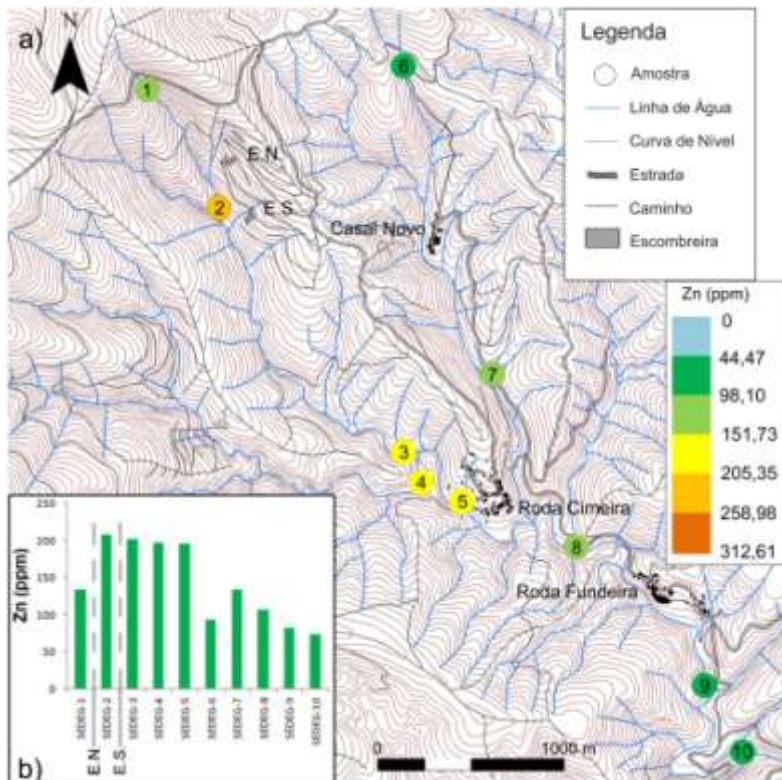


Fig. 5.31 – a) Carta dos teores de antimônio dos sedimentos de corrente da área de estudo. b) Gráfico da variação espacial dos teores de antimônio dos sedimentos de corrente da área de estudo.

O fundo geoquímico dos sedimentos de corrente, apresenta teores muito reduzidos de zinco relativamente aos teores de contaminação, observando-se, na zona da área mineira, concentrações quase duas vezes superiores a estes ( Fig. 5.32). O zinco apresenta uma baixa mobilidade em condições neutras a alcalinas, podendo também co-precipitar com o Fe e o Mn (Reimann, et al; 1998). Tanto o ferro como o manganês precipitam em grandes quantidades na área mineira, podendo ocorrer uma co-precipitação do zinco com qualquer um destes elementos.



#### 5.4 Caracterização dos solos

Nos solos as contaminações estão diretamente ligadas à ocorrência de escorrência superficial e alguma difusão de partículas por meio aéreo. Dos poluentes inorgânicos, destacam-se os metais pesados por serem os mais tóxicos (Siegel, 2002). A toxicidade destes está relacionada com a sua mobilidade e concentração, que por sua vez são controladas por fenómenos de adsorção, trocas iónicas, precipitação e dissolução, reações ácido-base, hidrólise, reações oxidação/redução e complexação iónica.

A Legislação Portuguesa não define limites máximos ou recomendados de elementos ou parâmetros para os solos, recorrendo-se assim a determinação de um fundo geoquímico, a fim de detetar valores anómalos, ou contaminações, para indentificar os impactes sobre o solo, com esse objetivo recorreu-se à análise de componentes principais. No caso da mina da Escádia Grande era de esperar que os valores regionais dos teores de elementos presentes no solo sejam mais elevados que o normal, uma vez que, mesmo sem a presença de uma exploração mineira, ocorrem à superfície sulfuretos presentes em filões, assim como nos xistos, que quando expostos aos processos geodinâmicos sofrem alteração provocando dispersão de elementos, que não estão relacionados com atividade antrópica. Para determinação do fundo geoquímico da área de estudo procedeu-se a uma campanha

de amostragem que contempla áreas de influência mineira e sem influência mineira, sendo assim possível destacar a contaminação provocada pela mina em relação a potenciais contaminações naturais. No Quadro 5.14 apresentam-se um resumo dos resultados obtidos para os solos.

n = 46	pH	C.E. ( $\mu\text{S/cm}$ )	Ag (mg/Kg)	As (mg/Kg)	Au (mg/Kg)	Co (mg/Kg)	Cr (mg/Kg)
Minimo	3,93	11,85	0,05	5,69	0,01	0,63	16,10
Máximo	8,06	86,95	4,05	2206,07	1,15	34,51	82,75
Média	4,92	34,87	1,12	208,56	0,19	13,59	41,61
Mediana	4,55	27,33	0,89	77,04	0,08	12,23	43,56
1º Quartil	4,29	22,05	0,58	37,39	0,03	6,10	27,72
3º Quartil	5,04	42,70	1,45	169,82	0,16	20,38	51,94
$\sigma$	1,02	20,59	0,85	411,05	0,29	9,10	16,18
M.A.D.	0,32	8,78	0,38	56,47	0,05	8,48	13,96

n = 46	Cu (mg/Kg)	Fe (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	Ni (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)	Sb (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)
Minimo	30,81	15265,81	24,81	0,43	10,82	0,20	16,00
Máximo	72,41	42561,60	666,89	51,93	149,86	28,24	454,03
Média	36,71	28455,06	175,18	21,24	40,01	3,43	79,03
Mediana	33,81	29484,90	111,00	21,11	30,35	1,41	64,92
1º Quartil	28,65	24546,78	65,41	13,21	21,96	0,81	50,01
3º Quartil	44,37	31862,51	254,70	27,37	39,73	2,15	88,31
$\sigma$	11,45	6205,03	150,61	12,03	29,88	5,74	65,55
M.A.D.	6,75	3420,19	61,70	7,33	8,53	0,61	17,72

Quadro 5.14 – Estatística descritiva dos parâmetros e teores de elementos presentes nos solos da área de estudo.

A ACP apresentou os valores de explicação representados no Quadro 5.15, desta análise destacou-se as seguintes correlações com os eixos (Quadro 5.16):

- O eixo 1 apresenta correlações positivas fortes com o Co, o Cr, o Cu, o Fe, o Mn e o Ni, elementos maiores e menores constituintes da calcopirite e pirite, indicando que parte dos teores elevados destes elementos nos solos provêm da alteração destes minerais.
- No eixo 2 é observável correlações positivas com o Ag, o As, o Au e com o Sb, que correspondem a mineralização principal.
- O eixo 3 mostra correlações positivas com o Pb e o Zn, elementos característicos da galena e blenda respectivamente.

	<b>Valor Proprio</b>	<b>% Exp</b>	<b>% Acum</b>
<b>Eixo 1</b>	4,1836	32,1816	32,1816
<b>Eixo 2</b>	2,2355	17,1960	49,3776
<b>Eixo 3</b>	1,7703	13,6178	62,9954
<b>Eixo 4</b>	1,1659	8,9688	71,9642

Quadro 5.15 – Valores da informação total presentes nos eixos.

	<b>Eixo 1</b>	<b>Eixo 2</b>	<b>Eixo 3</b>	<b>Eixo 4</b>
<b>pH</b>	0,6159	-0,171	-0,1686	-0,4566
<b>Ag</b>	-0,0662	0,6112	-0,1438	0,4297
<b>As</b>	-0,0001	0,6145	0,2663	-0,457
<b>Au</b>	-0,3054	0,764	-0,0257	0,0334
<b>Co</b>	0,7532	0,2346	-0,1936	0,1267
<b>Cr</b>	0,4966	0,2545	-0,4195	0,4623
<b>Cu</b>	0,8907	0,0903	0,1188	-0,0027
<b>Fe</b>	0,5327	0,0956	-0,5794	-0,277
<b>Mn</b>	0,8221	0,0952	0,186	-0,1542
<b>Ni</b>	0,8052	0,1352	0,1041	0,2712
<b>Pb</b>	-0,0419	0,0316	0,724	0,2808
<b>Sb</b>	-0,3916	0,8279	-0,0549	-0,2735
<b>Zn</b>	0,5798	0,1433	0,7168	-0,0727

Quadro 5.16 - Correlações entre as variáveis e os eixos da ACP realizada aos solos.

Na projeção dos eixos 2 e 3 (Fig. 5.33), consegue-se identificar os 3 agrupamentos, sendo, no entanto, importante destacar a relação entre estes 3 agrupamentos e as amostras recolhidas a fim de se perceber quais se podem considerar do fundo geoquímico, e quais se podem considerar anómalas, projetando os eixos 1 e 2 com os dados das variáveis e dos sujeitos (Fig. 5.34), observa-se que no campo da mineralização, ocorrem 7 amostras (B6, B7, C1, C2, C3, C5 e C6), que se consideram anómalas.

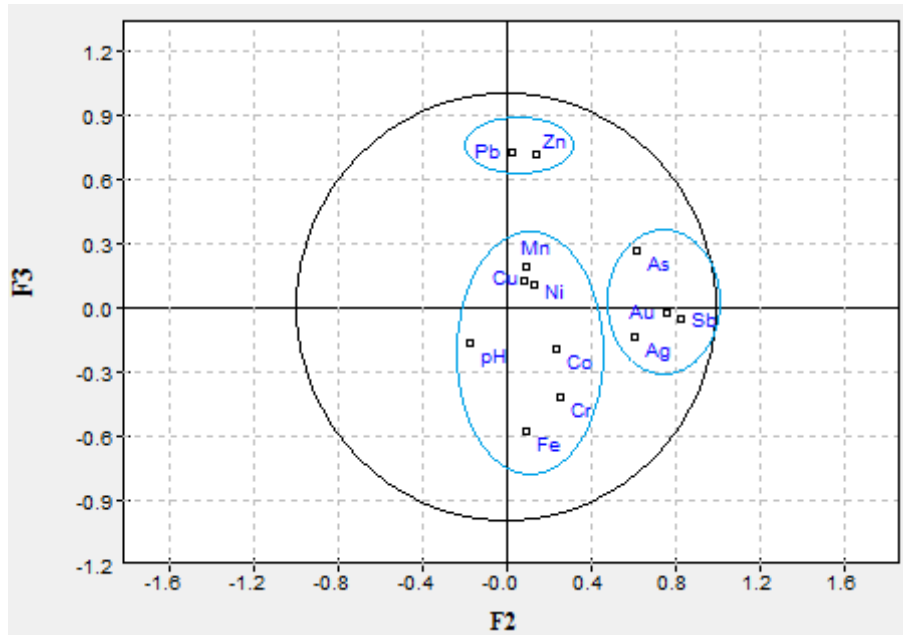


Fig. 5.33 – Projeção das variáveis nos eixos 2 e 3 dos solos da área de estudo, evidenciando os 3 agrupamentos de elementos.

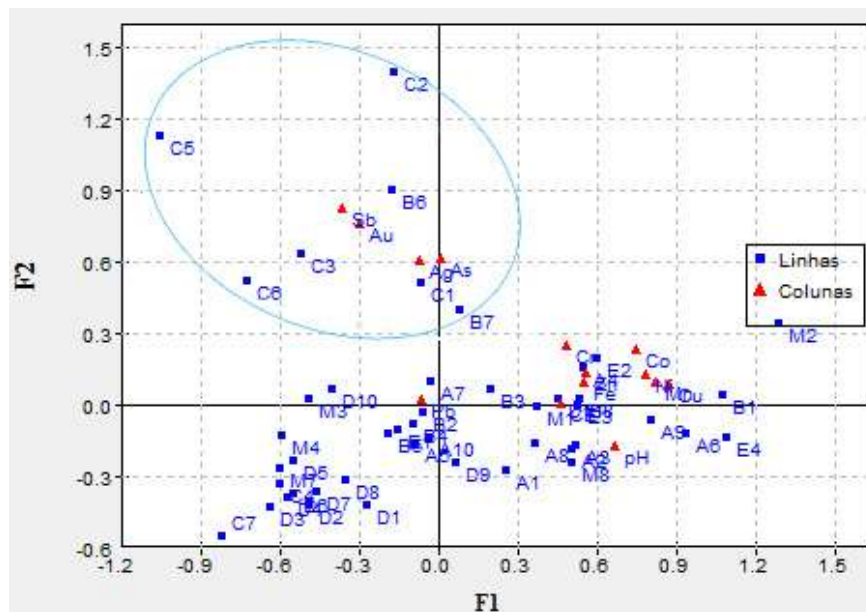


Fig. 5.34 – Projeção das variáveis e amostras nos eixos 1 e 2 dos solos da área de estudo.

Procedeu-se de seguida, a uma nova ACP, desta vez só contabilizando os elementos da mineralização principal, considerando em suplementar as amostras previamente mencionadas, bem como os elementos não presentes na mineralização principal (Co, Cr e Mn), com a finalidade de encontrar outras amostras anómalas. Esta análise da qual se apresenta a projeção dos resultados dos dois primeiros eixos (Fig. 5.35) permitiu destacar as amostras D10, E4 e M2.

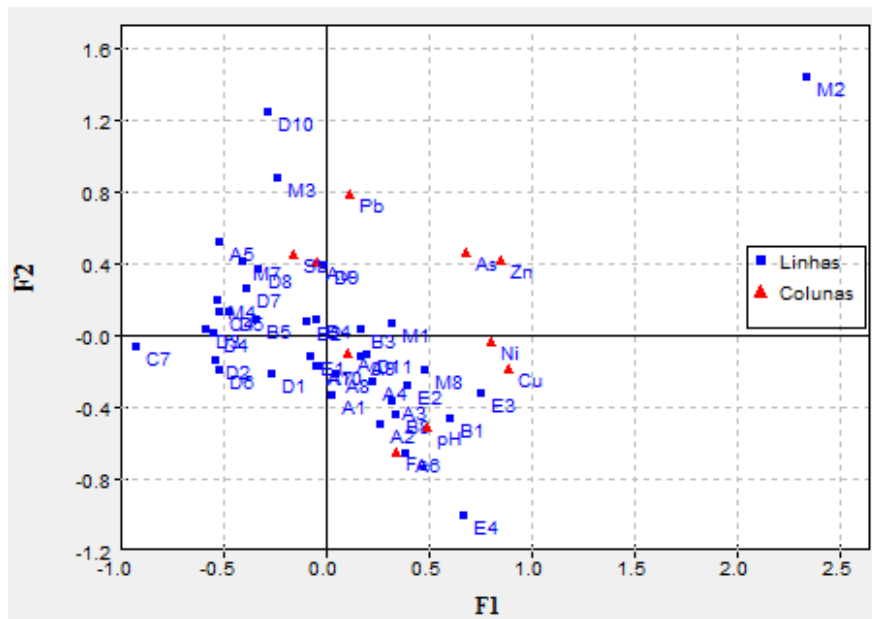


Fig. 5.35 – Projeção das variáveis e amostras nos eixos 1 e 2 dos solos da área de estudo.

Foi elaborada uma última ACP, seguindo a metodologia descrita anteriormente (considerando em suplementar todas as amostras anómalas dos dois primeiros tratamentos), destacando-se os teores de C7, E3 e M3 (Fig. 5.36).

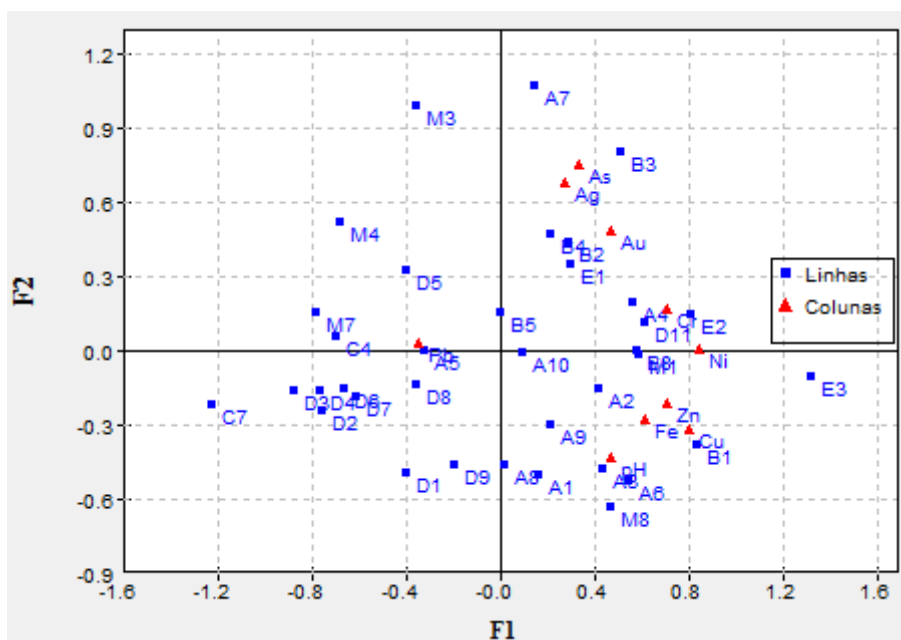


Fig. 5.36 – Projeção das variáveis e amostras nos eixos 1 e 2 dos solos da área de estudo.



Para o cálculo do fundo geoquímico dos solos fez-se a média das restantes amostras que forneceu os valores apresentados no Quadro 5.17.

	F. Geoq. (ppm)
Ag	0,86
As	65,763
Au	0,066
Co	12,23
Cr	43,52
Cu	33,93
Fe	30874,63
Mn	127,57
Ni	21,22
Pb	30,73
Sb	1,04
Zn	66,16

Quadro 5.17 – Teores do fundo geoquímico dos solos

#### 5.4.1 Dispersão dos elementos sobre os solos

Para a elaboração dos mapas de dispersão dos elementos fez-se a determinação da mediana e do desvio absoluto da mediana (M.A.D.) de cada elemento, de todas as amostras recolhidas. Ao valor da mediana foi somado e subtraído, várias vezes o valor do M.A.D., para que fosse possível visualizar a distribuição dos teores de cada elemento presente nos solos.

Observando os mapas de dispersão horizontal dos metais pesados do solo apresentados em anexo, assim como os dados previamente mencionados procede-se seguidamente a uma análise do comportamento dos elementos nos solos. No entanto, é preciso ter em conta que os pontos de amostragem são muito diminutos para Sudoeste e Nordeste das cartas, sendo que estas zonas as curvas de teores não apresentam uma análise tão precisa como nas restantes áreas das cartas.

O pH dos solos da área de estudo (Fig. 5.37) (Anexo I) variam entre 3,93 e 8,06, com valores médios de 4,92. Segundo a escala de Pratolongo (Costa, 1991) os solos da área de estudo são considerados ácidos, existindo na zona Oeste solos subácidos, que se tornam neutros para Noroeste, ocorre também na zona Sudeste da área solos neutros a subalcalinos. Os locais onde os solos são ácidos correspondem à zona mineira e à zona

onde ocorrem imensos veios de quartzo com sulfuretos, apresentando os solos da área mineira valores de pH entre 4,2 e 5,4, e a zona de sulfuretos valores de pH entre 4,2 e 5,0.

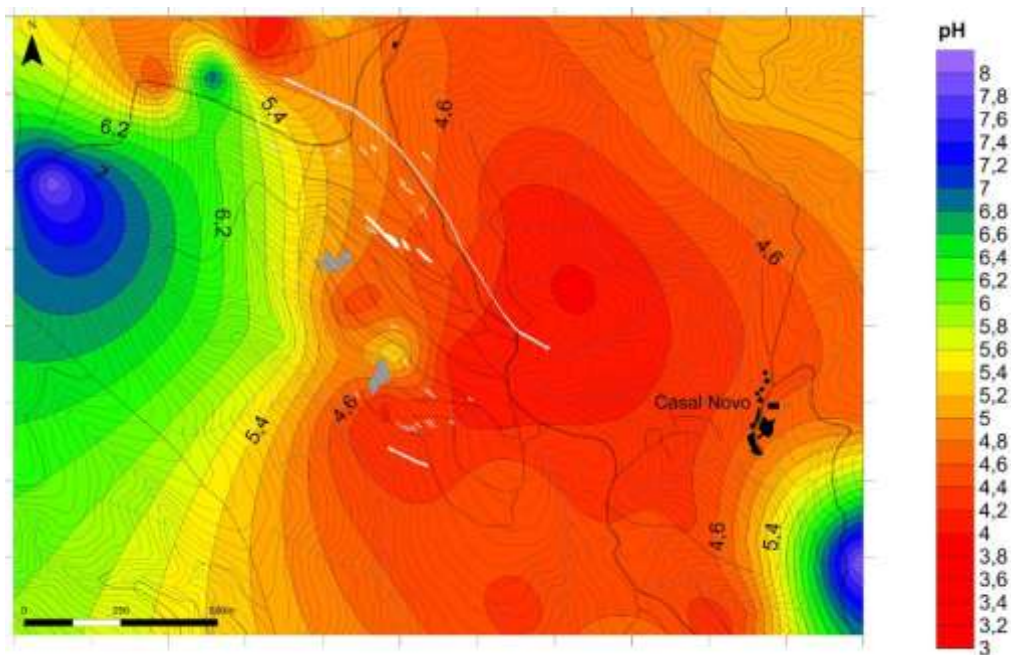


Fig. 5.37 - Carta da variação de pH dos solos da área mineira da Escádia Grande.

Quanto a condutividade elétrica (Fig. 5.38) (Anexo II), os valores dos solos variam entre 11,85  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 86,95  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Os valores mais baixos da condutividade ocorrem nas zonas de veios com sulfuretos, ocorrendo um ligeiro aumento na área mineira, no entanto, os valores nunca ultrapassam os 45  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Este facto pode estar relacionado com a grande rede de drenagem, e uma grande lixiviação associada. Os solos que apresentam maior condutividade elétrica são os que estão fora da área de influência da zona mineira e dos sulfuretos, a Oeste e Sudeste, o que pode ser consequência da presença de pirite em alguns níveis de xisto. No entanto, como não foi realizado análises de determinação dos teores de sulfatos para os solos, não se pode confirmar esta hipótese.

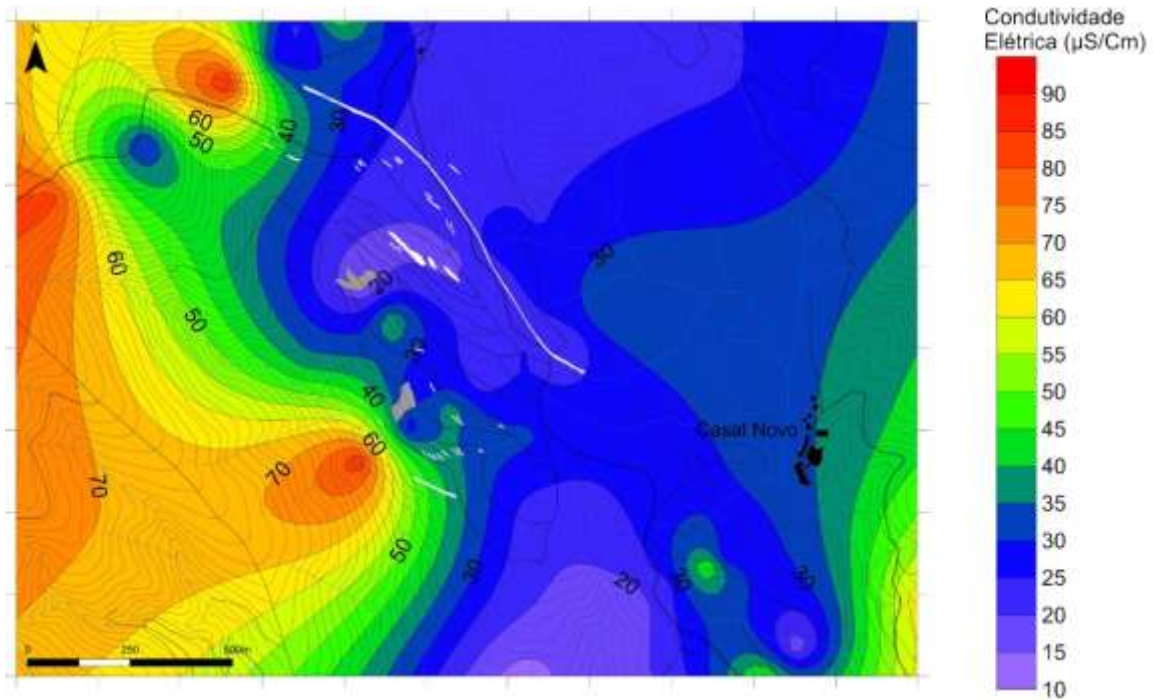


Fig. 5.38 - Carta da variação da condutividade elétrica dos solos da área mineira da Escádia Grande.

Dos elementos analisados, tanto a prata (Fig. 5.39) (Anexo III) como o ouro (Fig. 5.40) (Anexo IV) parecem ter uma relação mais significativa com a presença de filões do que propriamente com as escombreiras, onde só o ouro apresenta teores mais elevados na proximidade com a escombreira Sul, mas tendo uma baixa dispersão. Ambos os elementos revelam teores mais elevados em amostras pontuais sem continuidade para amostras laterais, que após a “krigagem” provoca um efeito pepita, dando a percepção de uma área de concentração que na realidade pode não existir.

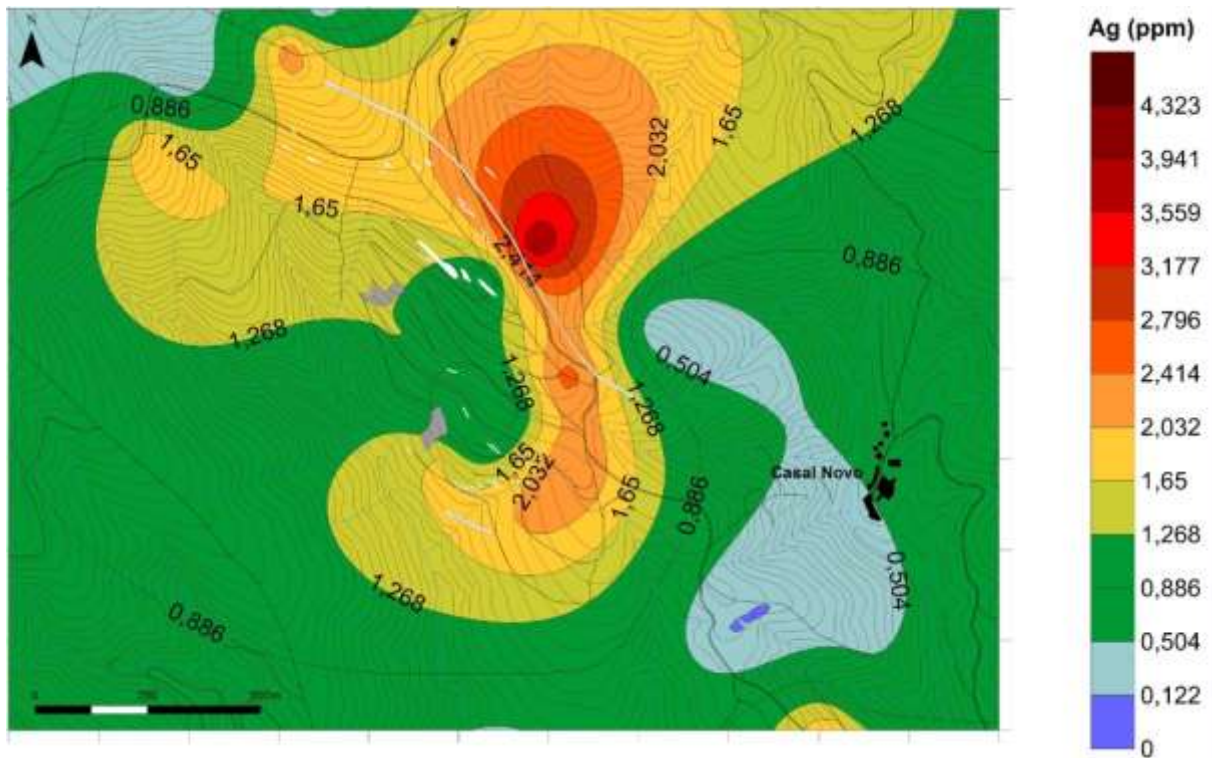


Fig. 5.39 - Carta de dispersão horizontal da prata nos solos da área mineira.

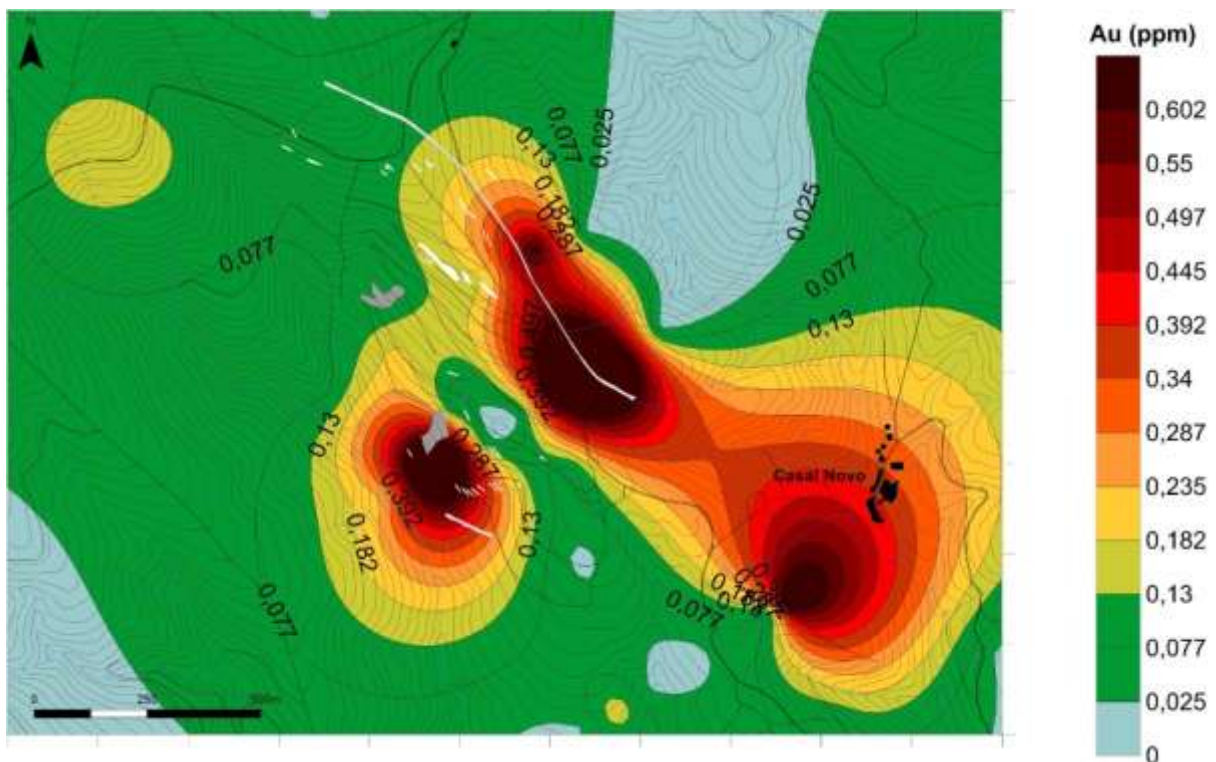


Fig. 5.40 - Carta de dispersão horizontal do ouro nos solos da área mineira.

O mapa de dispersão horizontal do arsênio mostra uma vasta área que se encontra contaminada por este elemento que parece ter o seu foco na escombreira Sul (Fig. 5.41) (Anexo V). É neste foco que se encontra o máximo de 2206 ppm de As, o que equivale a um enriquecimento de 33 vezes relativamente ao fundo geoquímico. A propagação parece dar-se para Sudoeste, que coincide com a direção da vertente, podendo o transporte deste elemento ser feito por escorrência de águas pluviais, ou por levantamento de poeiras pelo vento. Também se pode observar nas proximidades do filão mineralizado principal, e segundo a mesma direção, dois locais com valores muito superiores ao fundo geoquímico, mas cuja origem se parece relacionar com a presença deste filão, sem ter nenhuma relação com a atividade antrópica.

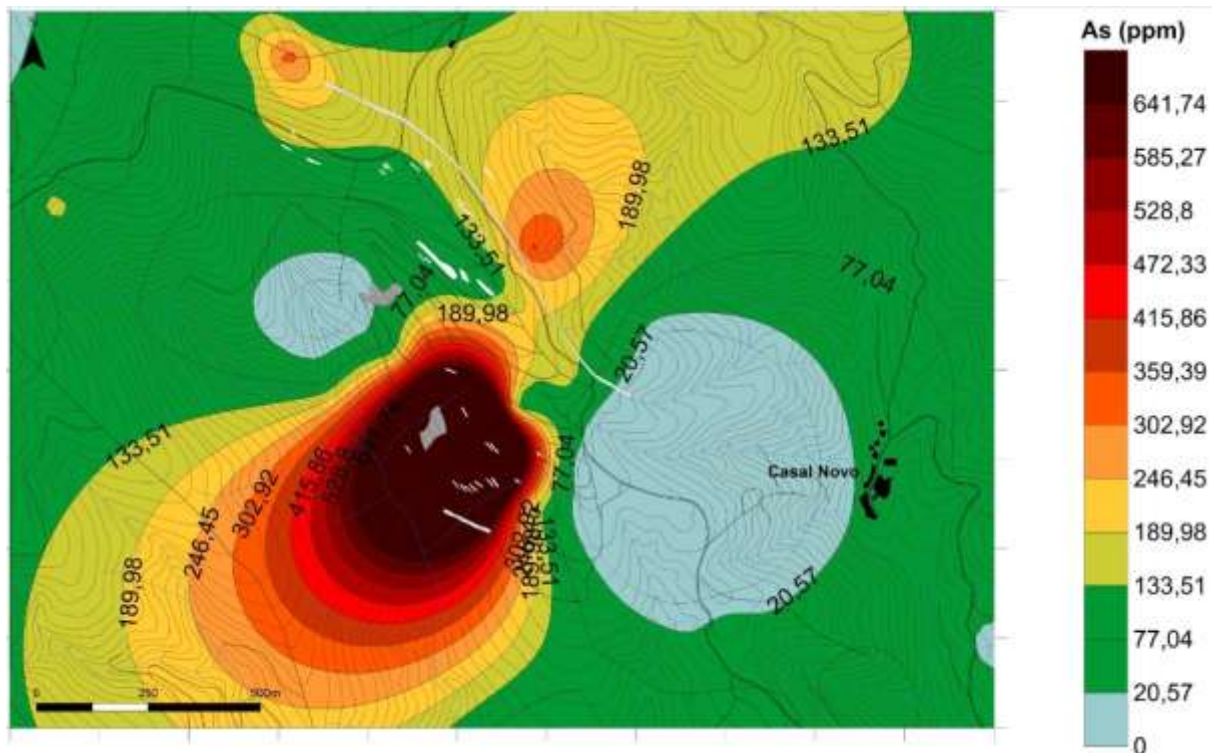


Fig. 5.41 - Carta de dispersão horizontal do arsênio nos solos da área mineira.

O cobalto apresenta teores dentro do fundo geoquímico em quase toda a área de estudo (Fig. 5.42) (Anexo VI), ocorrendo duas manchas, uma a Noroeste e outra a Este da zona mineira, que excedem duas vezes o valor deste elemento para o fundo geoquímico. Nenhuma destas duas zona de altos teores parece apresentar algum tipo de relação com a área mineira, uma vez que a mancha mais a Noroeste se encontra numa topografia mais elevada, e a mancha a Este da área mineira encontra-se separada desta por um vale.

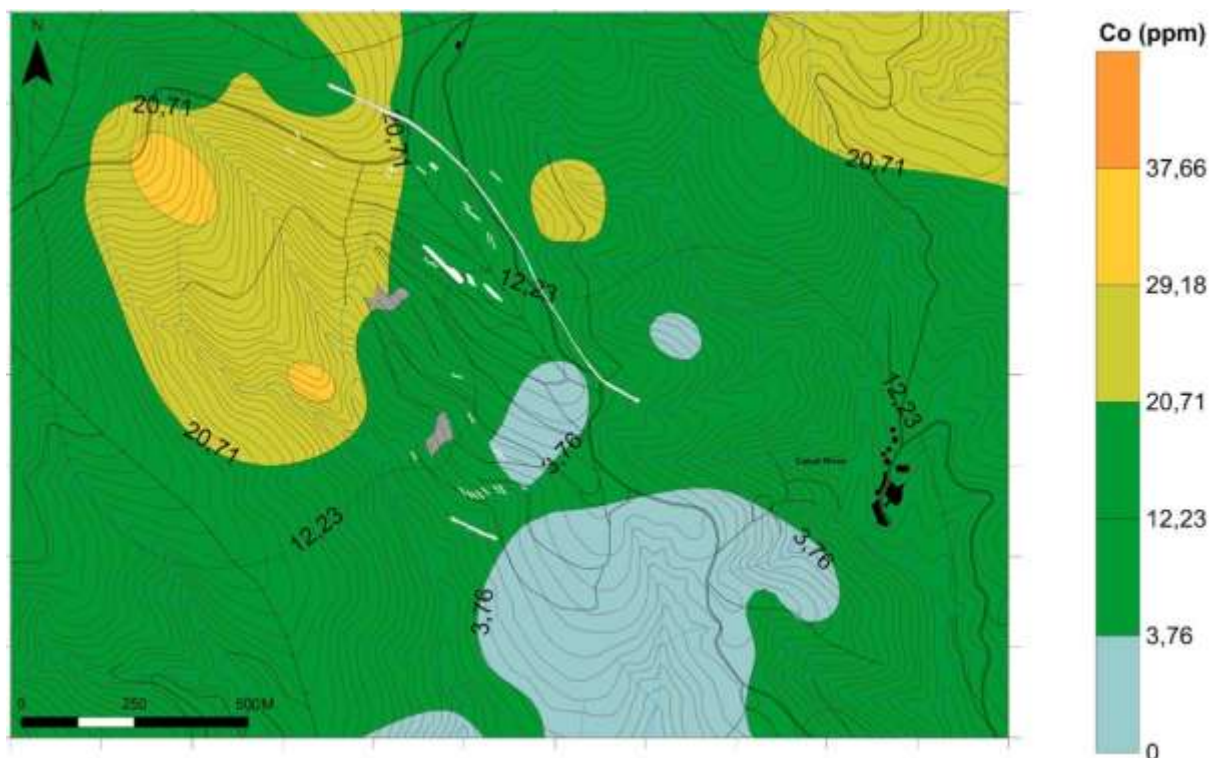


Fig. 5.42 - Carta de dispersão horizontal do cobalto nos solos da área mineira da Escádia Grande.

Os teores de crómio presentes nos solos da área mineira são relativamente baixos (Fig. 5.43) (Anexo VII), observando-se apenas um valor fora do fundo geoquímico, valor esse que se localiza a Sudeste da área mineira e sem qualquer relação com esta, uma vez que este elemento tem uma baixa mobilidade. A jusante da escombreira Sul, ocorrem alguns solos com teores um pouco mais elevados do que o fundo geoquímico, mas devido à muito baixa mobilidade deste elemento, esta área não ultrapassa um raio de 300 metros, sendo também pouco significativa.

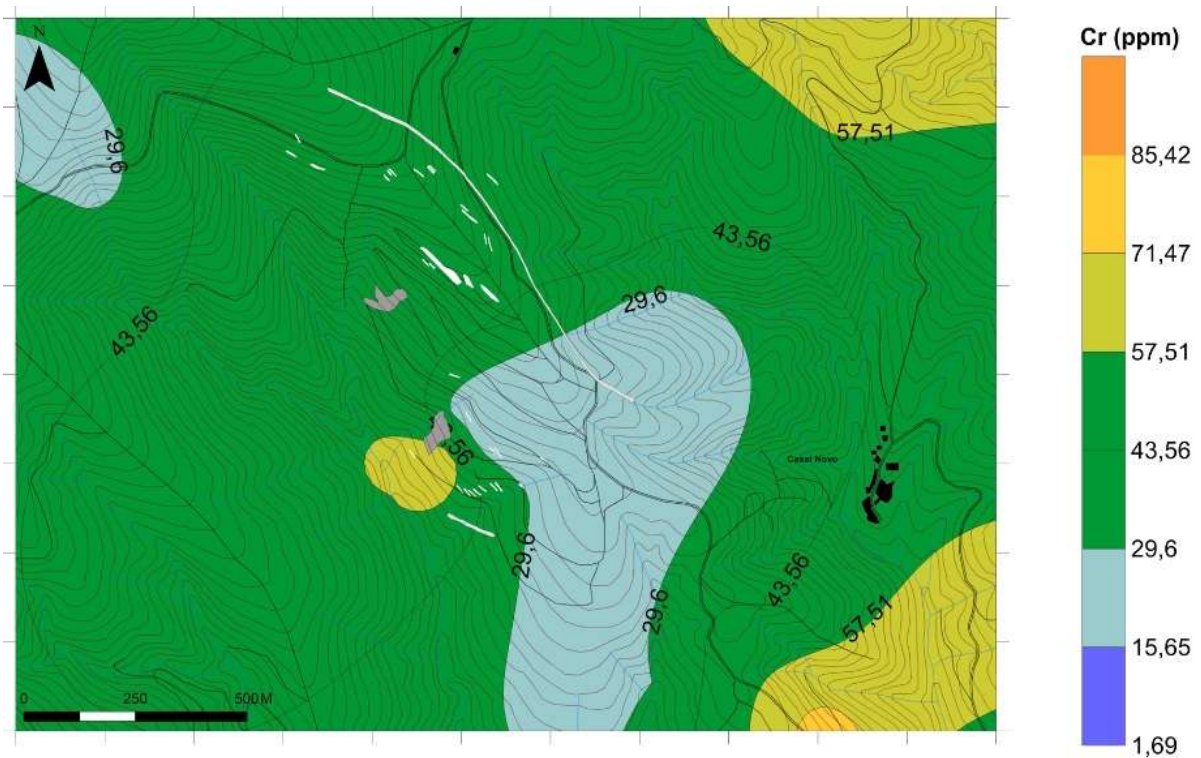


Fig. 5.43 - Carta de dispersão horizontal do cromo nos solos da área mineira da Escádia Grande.

Observando a carta de dispersão horizontal do cobre (Fig. 5.44) (Anexo VIII), este elemento apresenta, na área fora da influência mineira, teores ligeiramente superiores aos teores determinados para o fundo geoquímico. No entanto, perto da escombreira Sul, os teores de cobre conseguem chegar a ser duas vezes superiores ao fundo geoquímico. Quando se compara os valores de cobre presentes na escombreira Sul, com os do solo neste local este são quase iguais, concluindo-se que a presença da escombreira neste local será a principal responsável pelos teores elevados de cobre no solo, no entanto, a fraca mobilidade deste elemento faz com que este não tenha uma grande auréola de dispersão. Na zona Este, a Este da zona de sulfuretos, os teores de cobre também se apresentam acima do fundo geoquímico, não foram detetados veios com sulfuretos na campanha de campo, podendo estes teores serem resultado do material parental, que apresenta por vezes pirites, uma vez que a principal fonte deste elemento num solo é o material parental (McBride & Bouldin, 1984) *in* Yaron, B.; *et al* (1996).

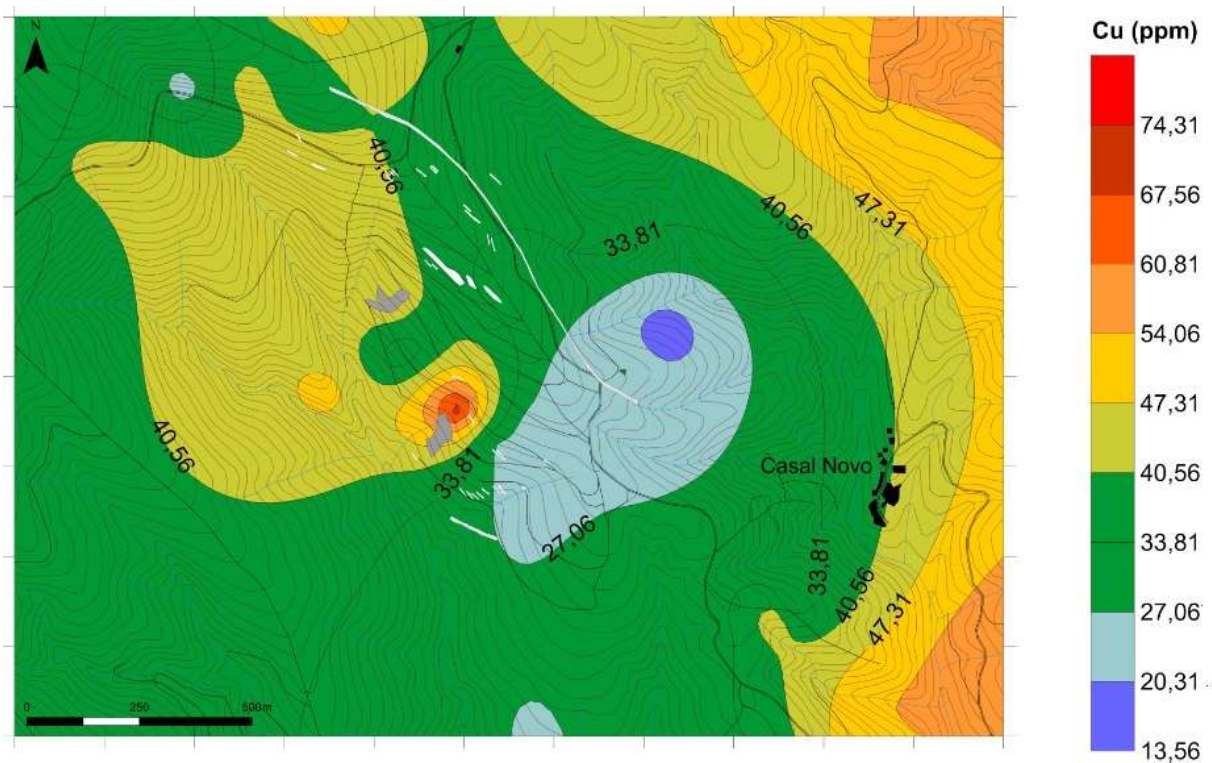


Fig. 5.44 - Carta de dispersão horizontal do cobre nos solos da área mineira da Escádia Grande.

O ferro presente nos solos aparece com anomalias negativas na área da escombreira Norte (Fig. 5.45) (Anexo IX), onde os teores dos solos rondam os 17500 ppm, mas os teores das escombreiras estão entre os 35500 ppm e os 45500 ppm, assim como na área a Sul dos filões com sulfuretos. A área onde os teores de ferro apresentam anomalia negativa coincide com o bloco do Nível 3 dos xistos siliciosos, classificado por Pereira, 1984. Fora da área mineira e da zona onde afloram filões, ocorrem alguns locais com teores superiores ao fundo geoquímico, sendo que a área que se destaca mais é a localizada a Sudeste da área mineira, a Sul do Casal Novo.

Os solos da área Noroeste da área de estudo tem elevados teores de manganês (Fig. 5.46) (Anexo X), sendo relativamente baixos em comparação com os solos da área mineira, que apresentam teores quatro vezes superiores ao fundo geoquímico. Estes teores tendem a ser semelhantes aos teores presentes nas escombreiras, sendo este o principal foco de contaminação deste elemento, no entanto, a grande dispersão que se observa para Noroeste não pode estar relacionada com as escombreiras, em parte pela baixa mobilidade do Mn, aliado também a topografia que se encontra mais elevada para Noroeste.



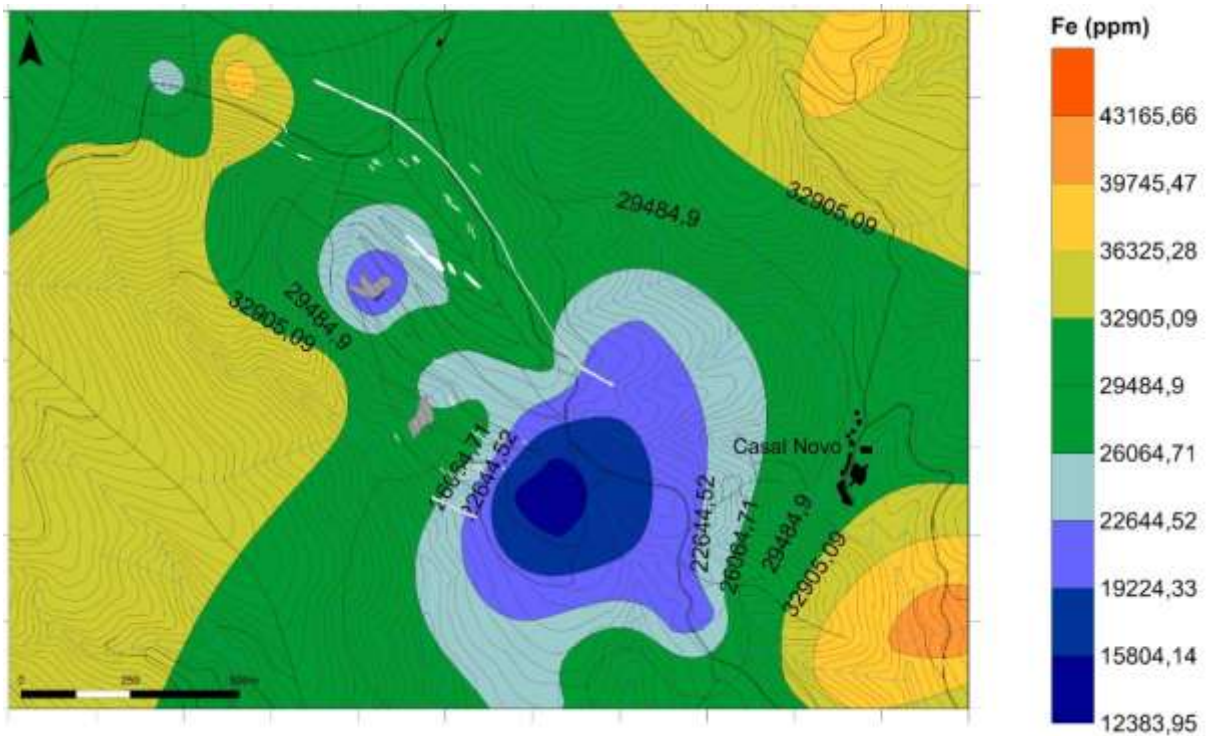


Fig. 5.45 - Carta de dispersão horizontal do ferro nos solos da área mineira da Escádia Grande.

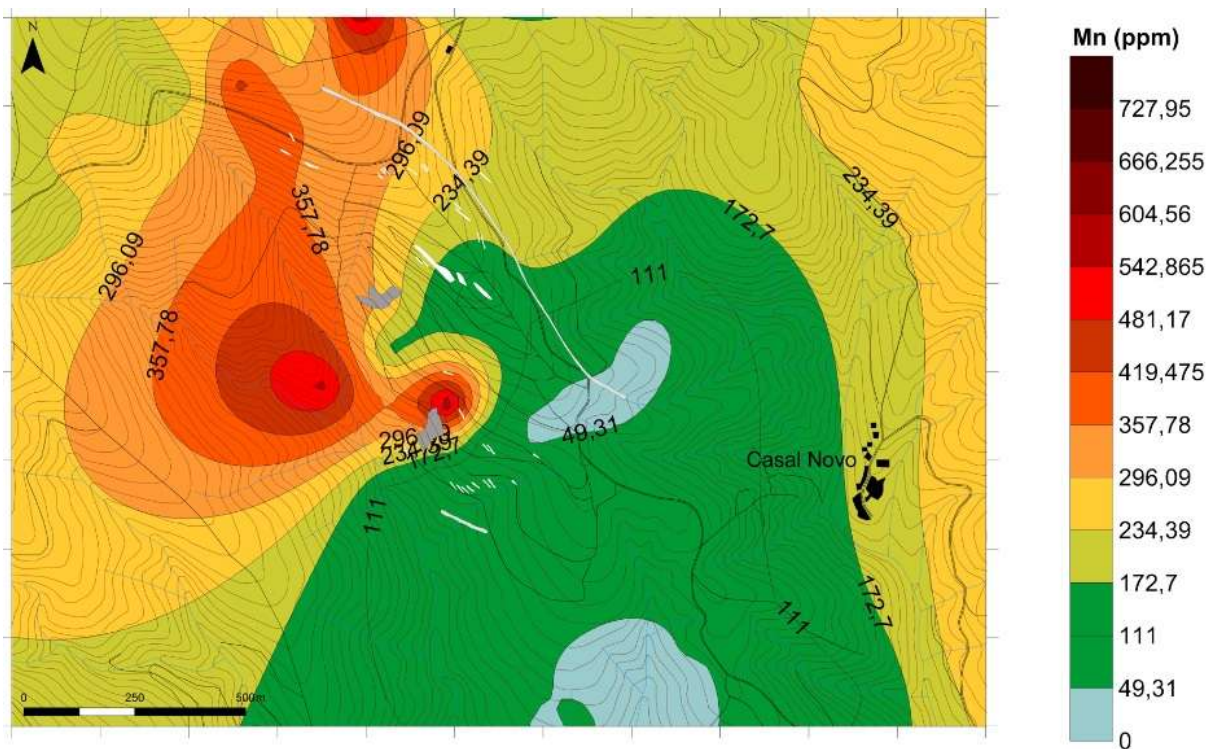


Fig. 5.46 - Carta de dispersão horizontal do manganês nos solos da área mineira da Escádia Grande.

Quanto ao níquel (Fig. 5.47) (Anexo XI), este elemento aparece em maiores concentrações nos solos da área mineira, com teores superiores a 35,77 ppm, tendo as escombrelas uma média de 45,6 ppm de níquel, assim, verifica-se uma clara influência das escombrelas sobre os solos, no que toca ao teor de níquel. Na área Sudeste da carta ocorrem teores elevados, atingindo-se um máximo de 51,9 ppm, no entanto, estes teores não tem qualquer ligação á área mineira.

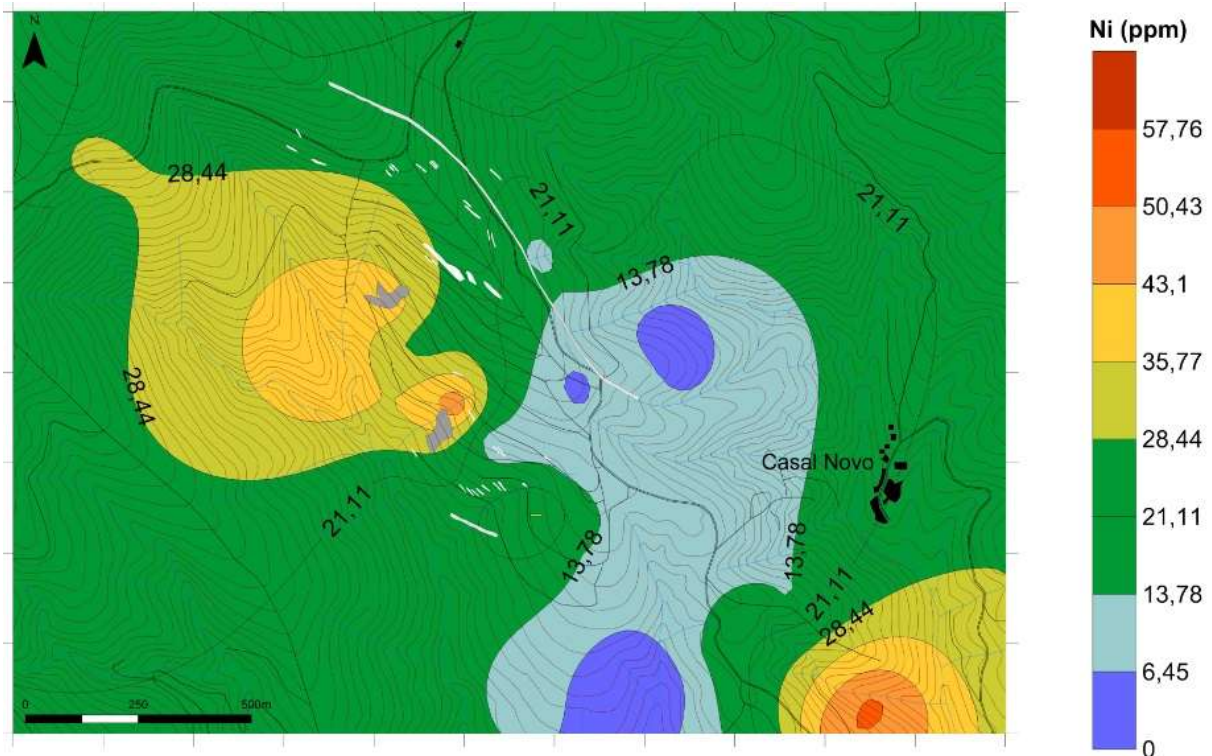


Fig. 5.47 - Carta de dispersão horizontal do níquel nos solos da área mineira da Escádia Grande.

A carta de dispersão horizontal do chumbo (Fig. 5.48) (Anexo XII), apresenta teores muito elevados ligeiramente a Norte da escombrela Sul e numa grande mancha a Sudeste da escombrela Sul. Ocorrem também teores acima do fundo geoquímico num local de presença de filões com sulfuretos, no entanto, nos restantes locais onde afloram filões deste género, são encontrados teores dentro do fundo geoquímico. O chumbo é um elemento com baixa mobilidade, o que pode indiciar que a grande mancha a Sudeste da mina, não terá origem relacionada com a exploração mineira, mas com a presença de filões com sulfuretos que estão a SE desta, ou zonas de falhas mineralizadas, uma vez que segundo Carvalho (1989), a blenda e a galena são de última geração e ocorrem em zonas brechificadas. Na

zona próxima da escombreira Norte, onde os teores de chumbo presentes nesta oscilam entre os 75,8 ppm e 111,9 ppm, os solos apresentam teores dentro do fundo geoquímico, mas a uma M.A.D. abaixo da mediana, não parecendo que haja contaminação de chumbo da escombreira para o solo, provavelmente devido a uma baixa mobilidade.

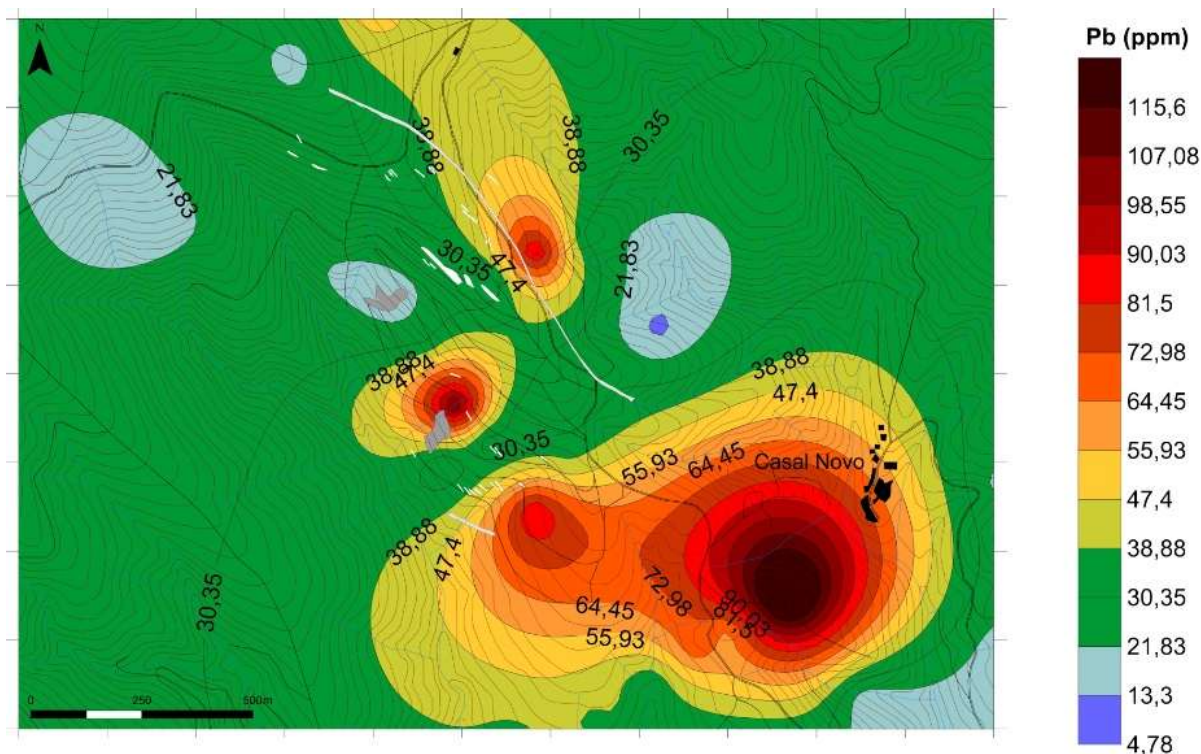


Fig. 5.48 - Carta de dispersão horizontal do chumbo nos solos da área mineira da Escádia Grande.

O antimónio é encontrado com altos teores na periferia da escombreira Sul, assim como ao longo, e com direção próxima, de grande parte da área onde ocorrem filões (Fig. 5,49) (Anexo XIII). As concentrações deste elemento nas escombreiras, no entanto, são três vezes superiores as encontradas no solo, o que vem demonstra a baixa mobilidade deste elemento.

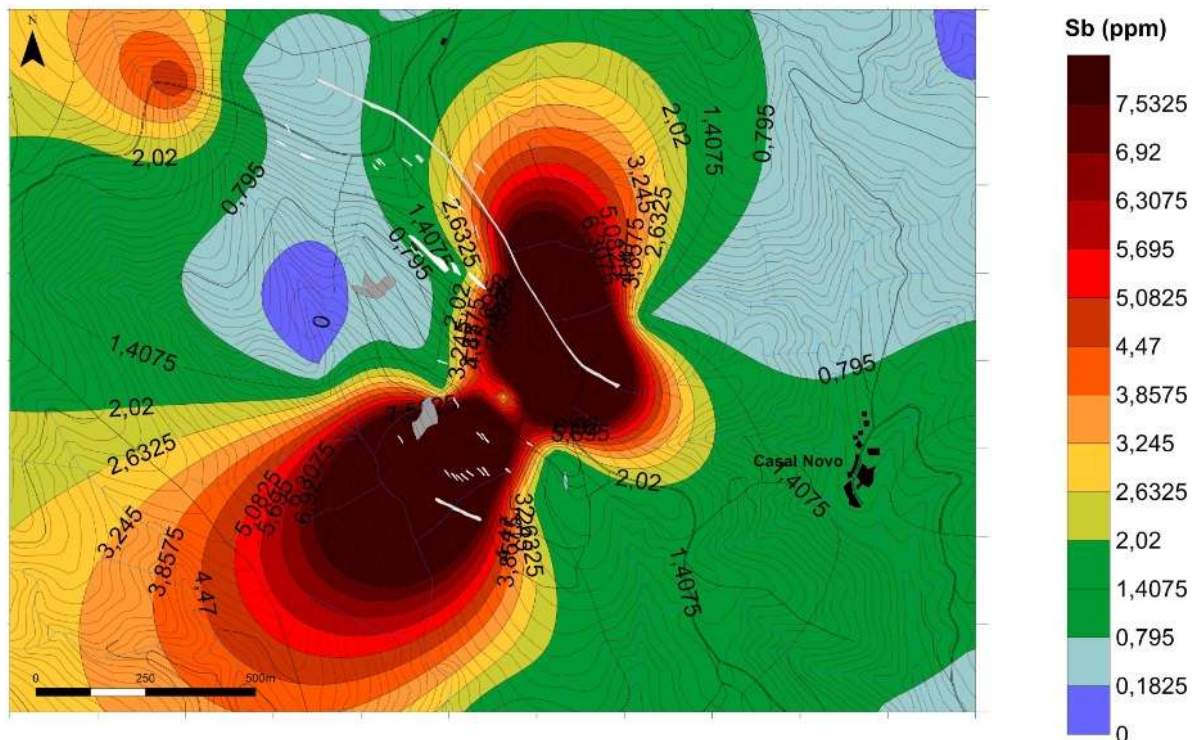


Fig. 5.49 - Carta de dispersão horizontal do antimônio nos solos da área mineira da Escádia Grande.

O zinco apresenta teores mais elevados na zona mineira (Fig. 5.50) (Anexo XIV), principalmente perto da zona das escombreliras onde os teores são superiores ao fundo geoquímico. Na área da escombrelira Norte, onde os teores de zinco da escombrelira se encontram entre 322 ppm e os 398 ppm, os teores do solo ficam três vezes a M.A.D. acima da mediana, correspondente a valores acima de 118,1 ppm. Perto da escombrelira Sul os teores chegam mesmo a ser vinte e uma vezes os desvios absolutos da mediana superiores a mediana, acima dos 436,9 ppm. Ocorrem também teores relativamente altos na parte Sudeste da carta, local onde não foram detetados filões mas onde não se pode descartar a hipótese de estes estarem presentes, assim como a presença de falha mineralizadas contendo blenda e galena. No entanto, a alta mobilidade do zinco n-ao permite que a aureola de dispersão seja tão grande quanto a que é observada no chumbo, que apresenta uma menor mobilidade. Na restante área os teores de zinco apresentam-se dentro dos valores considerados para o fundo geoquímico, mesmo em zonas onde ocorrem veios com sulfuretos.

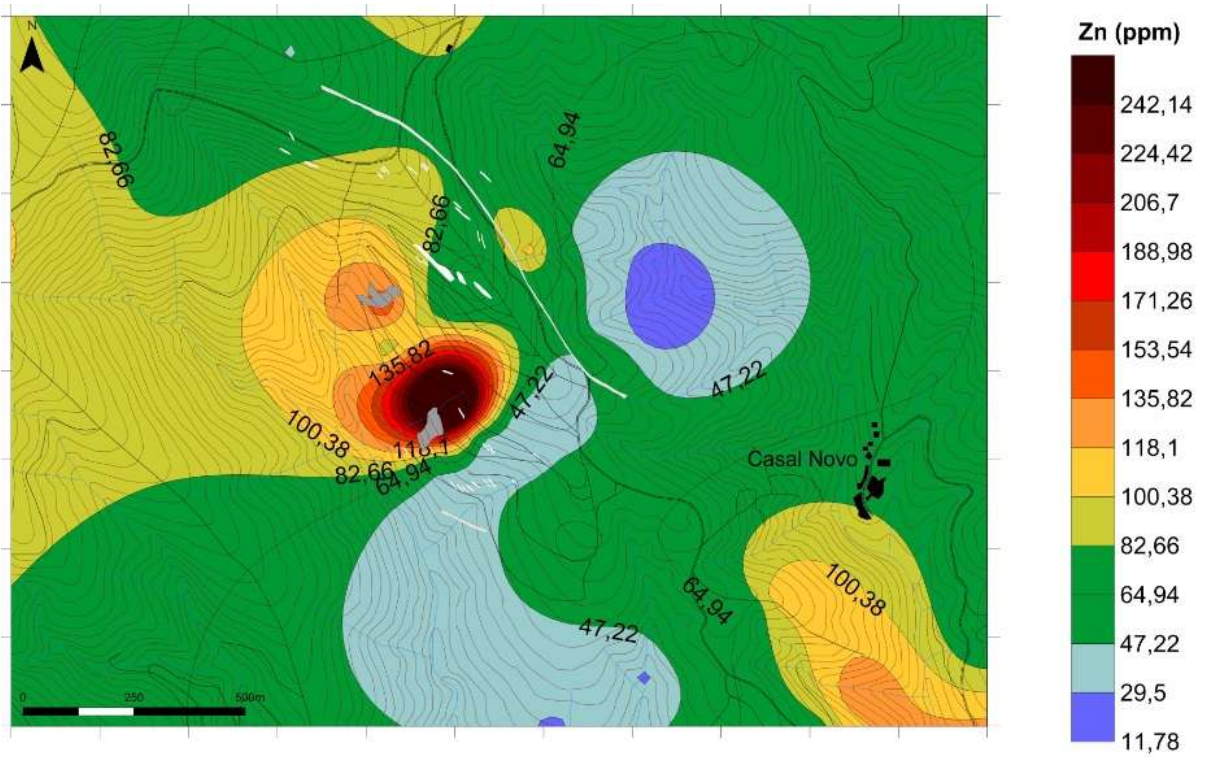


Fig. 6.34 - Carta de dispersão horizontal do zinco nos solos da área mineira da Escádia Grande.



## 6. Caracterização de Impacte Ambiental

### 6.1 Avaliação do impacte ambiental das águas

Segundo a legislação nacional, a qualidade das águas deve ser avaliada de acordo com o fim a que se destina. Neste contexto procede-se de seguida a uma avaliação da qualidade da água para consumo humano, recorrendo a legislação atualmente em vigor, que se encontra estabelecida no Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de agosto, e que estipula os valores de parâmetros físico-químicos aceitáveis para este uso. Também será feita uma análise a qualidade da água para uso de rega, usando a legislação atualmente em vigor, o Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de agosto, que estabelece os valores máximos recomendados (VMR) e os valores máximos admitidos (VMA) para este tipo de uso. No quadro 6.1 encontram-se os valores estabelecidos pela legislação acima mencionada.

	Consumo Humano	Rega	
		VMR	VMA
pH	≥6,5 e ≤9,0	≥6,5 e ≤8,4	≥4,5 e ≤9,0
C.E. (µS/cm)	2.500	-	-
As (µg/l)	10	100	10.000
Cd (µg/l)	5	10	50
Cl (mg/l)	250	70	-
Co (mg/l)	-	0,05	10
Cr (µg/l)	50	100	20.000
Cu (mg/l)	2	0,2	5
Na (mg/l)	200	-	-
Ni (µg/l)	20	50	10.000
NO <sub>3</sub> (mg/l)	50	50	-
Pb (µg/l)	25	5.000	20.000
Sb (µg/l)	5	-	-
SO <sub>4</sub> (mg/l)	250	575	-

Quadro 6.1 – Teores legais para consumo humano e para rega para os parâmetros medidos na área da Escádia Grande

### **6.1.1 Águas destinadas ao consumo humano**

Comparando os resultados obtidos pelas análises na área de estudo com a legislação em vigor, observa-se que os teores de arsénio e níquel excedem, em alguns locais de amostragem, os valores permitidos para o consumo humano tanto na campanha de setembro como na de março, ocorrendo também valores de pH abaixo dos permitidos pela legislação. No que toca ao arsénio, este apresenta-se em valores acima aos impostos, em EG3, para ambas as campanhas, assim como em EG5, para a campanha de setembro. Quanto ao níquel, este apresenta na campanha de setembro valores acima dos permitidos em EG2, EG3, EG4, EG7, EG9 e EG10, apresentando na campanha de março valores acima dos permitidos em EG3, EG5, EG7, EG8, EG9 e EG10. O pH só se encontra dentro dos valores aceitáveis em uma das amostras na campanha de setembro, que corresponde ao local de amostragem EG1, a água que representa melhor o fundo geoquímico.

### **6.1.2 Águas destinadas à rega**

Fazendo a comparação entre os valores das análises das águas da área de estudo e a legislação estabelecida com o Decreto-Lei n.º 236/98, pode-se concluir que ocorre apenas o pH não apresenta valores em conformidade, apresentando valores inferiores ao valor máximo recomendado (VMR) em todas as amostras das duas campanhas, salvo EG1 da campanha de setembro. No entanto, nenhuma das amostras excede os valores máximos admitidos, não impedindo assim o uso das águas para rega.



## 6.2 Avaliação do impacte ambiental sobre os sedimentos

Tendo em consideração que não existe quaisquer teores ou valores paramétricos recomendados para sedimentos, um bom meio de classificação destes é utilizando o índice de geoacumulação de Müller (1979), que classifica o grau de poluição de sedimentos por metais pesados em sete classes. (Quadro 6.2). O índice de geoacumulação ( $I_{geo}$ ) pode ser calculado através do logaritmo de base dois da concentração medida de um determinado elemento ( $C_n$ ) sobre o fundo geoquímico desse mesmo elemento ( $B_n$ ) multiplicado por 1,5, um fator de correção relacionado com potenciais variações do fundo geoquímico, relacionado com efeitos geológicos.

$$I_{geo} = \log_2 [C_n / (1,5 \times B_n)]$$

Classe ( $I_{geo}$ )	Classificação	$I_{geo}$
6	Extremamente poluído	>5
5	Fortemente a extremamente poluído	>4 a 5
4	Fortemente poluído	>3 a 4
3	Moderadamente a fortemente poluído	>2 a 3
2	Moderadamente poluído	> 1 a 2
1	Não poluído a moderadamente poluído	> 0 a 1
0	Praticamente não poluído	<0

Quadro 6.2 – Classificação do índice de geoacumulação de Müller.

No quadro 6.3 apresentam-se os valores do índice de geoacumulação calculados para a área da Escádia Grande. Após a análise desta, é possível observar que a classe maioritária é a classe 0, praticamente não poluído. O cobalto, o crómio, o cobre, o manganês e o níquel, apresentam-se com valores que os colocam nesta classe em toda a extensão dos cursos de água analisados.

A prata e o ouro, apresentam um comportamento semelhante, apesar de apresentarem-se em classes distintas. Tendem a acumularem-se na linha de água que atravessa a área mineira, a prata apresentado classes entre 1 a 4, e o ouro com classes entre 2 a 5. A grande diferença entre estes dois elementos observa-se já na Ribeira do Sinhel, onde o ouro aparece com uma classe de geoacumulação 4, e a prata de classe 1. Sendo que esta grande diferença pode estar ligada aos fundões encontrados neste local, que tendem a acumular maiores quantidades de ouro. É importante mencionar que as classes determinadas para estes elementos são elevadas devido aos baixos valores do

fundo geoquímico, propenciando altas classes onde os teores ainda são relativamente baixos.

	<b>Ag</b>	<b>As</b>	<b>Au</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>
<b>EG1</b>	1	0	0	0	0	0
<b>EG2</b>	4	6	5	0	0	0
<b>EG3</b>	2	5	3	0	0	0
<b>EG4</b>	0	1	0	0	0	0
<b>EG5</b>	1	3	2	0	0	0
<b>EG6</b>	0	0	0	0	0	0
<b>EG7</b>	1	1	0	0	0	0
<b>EG8</b>	1	0	4	0	0	0
<b>EG9</b>	0	0	0	0	0	0
<b>EG10</b>	0	2	0	0	0	0

	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Sb</b>	<b>Zn</b>
<b>EG1</b>	1	0	0	0	0	0
<b>EG2</b>	1	0	0	0	5	1
<b>EG3</b>	0	0	0	2	4	1
<b>EG4</b>	1	0	0	1	0	1
<b>EG5</b>	0	0	0	1	3	1
<b>EG6</b>	0	0	0	0	0	0
<b>EG7</b>	0	0	0	1	0	0
<b>EG8</b>	0	0	0	0	1	0
<b>EG9</b>	0	0	0	0	0	0
<b>EG10</b>	0	0	0	0	1	0

Quadro 6.3 – Índices de geoacumulação dos metais pesados dos sedimentos de corrente da área de estudo.

O ferro apresenta 3 classes 1, de não poluído a moderadamente poluído, ocorrendo toas na linha de água que atravessa a área mineira. Devido a sua baixa mobilidade, este elemento tende a precipitar muito próximo da fonte contaminadora. Também o zinco apresenta apenas classes 1, na linha de água que atravessa a área mineira, mas após a escombreira Norte.

O chumbo apresenta uma classe 2, moderadamente poluído, nos sedimentos após a escombreira Sul, isto deve-se a baixa mobilidade do chumbo, que tende a precipitar bastante próximo da fonte de origem. Ainda ocorrem 2 classes 1, uma na linha de água a Oeste da linha de água que atravessa a área mineira, e outra classe 1, na confluência destas duas linhas de água.

O antimónio, apresentam valores de geoacumulação de que vão desde a classe 0 a classe 5, com os maiores valores a serem registados na linha de água que atravessa a área

mineira. Após a escombreira Norte observa-se uma classe 5, ocorrendo uma classe 4 após a escombreira Sul. Na confluência seguinte ainda se encontra para este elemento uma classe 3, sendo ainda observável mais duas classes 1, uma na confluência com a linha de água que atravessa os filões com sulfuretos, e outra na Ribeira do Sinhel, podendo estar relacionado com condições de amostragem.

O arsénio, apresenta uma grande amplitude de valores, com classes de geoacumulação que vão de 0 a 6. As maiores classes foram detetadas na linha de água que atravessa a área mineira, com uma classe 6 após a escombreira Norte, e uma classe 5 após a escombreira Sul. Ocorre ainda na confluência seguinte uma classe 3, uma classe 1, na linha de água que se encontra na área de ocorrência de filões com sulfuretos, e uma classe 2 na Ribeira do Sinhel, que pode estar relacionado quer com as condições de amostragem ou quer com o modo de concentração deste elemento.

Assim, define-se os seguintes sectores, de acordo com as classes do índice de geoacumulação e relações espaciais entre pontos de amostragem:

- Montante da linha de água que atravessa a zona mineira, que apresenta a classe 1, de não poluída a moderadamente poluída, para a prata e ferro.
- Área a jusante da escombreira Norte, apresentando-se extremamente poluído em arsénio, fortemente a extremamente poluído em ouro e antimónio, fortemente poluído em prata e não poluído a moderadamente poluído em ferro e zinco.
- Área a jusante da escombreira Sul, que se encontra fortemente a extremamente poluído em arsénio, fortemente poluído em antimónio, moderadamente a fortemente poluído em ouro, moderadamente poluído em prata e não poluído a moderadamente poluído em zinco.
- A linha de água a Oeste da linha de água que atravessa a área mineira, que se encontra não poluída a moderadamente poluída em arsénio, ferro, chumbo e zinco.
- A linha de água que atravessa a área onde afloram inúmeros filões com sulfuretos, que se encontra não poluída a moderadamente poluída em prata, arsénio e chumbo.
- A Ribeira do Sinhel, que se encontra fortemente poluída em ouro, moderadamente poluída em arsénio, não poluído a moderadamente poluído em prata e antimónio.

### 6.3 Avaliação do impacte ambiental sobre os solos

Devido a lacuna na Legislação Nacional do uso dos solos relativamente aos seus teores em metais pesados, procede-se a uma avaliação dos solos da área da Escádia Grande, recorrendo-se ao índice de geoacumulação de Müller (1979).

Os valores do índice de geoacumulação calculados para os solos da área da Escádia Grande, apresentam-se no quadro 6.4

	Ag	As	Au	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn
A1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
A2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A3	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1
A4	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
A5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0
A6	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0
A7	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
A8	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
A9	0	0	0	1	0	0	0	2	0	1	0	0
A10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B1	0	0	0	1	0	0	0	2	1	0	0	1
B2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B3	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
B4	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
B6	2	2	3	1	0	0	0	1	0	2	3	1
B7	2	2	0	1	0	0	0	1	0	0	3	0
B8	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
C1	1	4	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0
C2	1	4	4	0	1	0	0	0	0	0	4	0
C3	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
C5	2	1	4	0	0	0	0	0	0	0	5	0
C6	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	4	0
C7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
D4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D5	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
D6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
D8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
D9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0
D10	0	0	3	0	0	0	0	0	0	2	1	1
D11	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
E1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
E2	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
E3	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
E4	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
M1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1
M2	0	4	0	0	0	1	0	2	1	2	1	3
M3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0
M4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
M8	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1

Quadro 6.4 – Índices de geoacumulação dos metais pesados dos solos da área de estudo.

Após a análise dos índices de geoacumulação, observa-se que a classe 0 é a predominante, correspondendo a praticamente não poluído. No entanto só o ferro se encontra nesta classe em todos os solos.

Tal como nos sedimentos, a prata e o ouro, apresentam um comportamento semelhante, com índices de geoacumulação muito pontuais, apresentando, no entanto, amplitude de índices diferentes, com a prata a apresentar classes entre 0 e 2 e o ouro classes entre 0 e 4. A prata tem a sua classe 4 na área próxima do filão principal, tal como já se tinha observado na carta de dispersão deste elemento (Anexo III), enquanto que o ouro se dispõe em zonas pontuais ao longo do mesmo filão, apresentando neste local uma classe 4, e ainda na proximidade da escombreira Sul uma classe 4 e uma classe 2. Como já tinha sido previamente mencionado, a prata e o ouro, apresentam teores baixos no fundo geoquímico, o que provoca um aumento considerável das classes de contaminação em alguns pontos, levando a crer que ocorre contaminação destes elementos.

O arsénio apresenta muitas amostras com classe 4 na proximidade da escombreira Sul, e várias amostras com classe 2 na área em que afloram imensos filões. Também se encontra, na proximidade da escombreira Norte, uma amostra pontual que foi classificada como classe 1.

O cobalto, o crómio, o cobre e o níquel, apresentam quase sempre valores de índice de geoacumulação correspondentes à classe 0, ocorrendo algumas amostras em que o índice de geoacumulação corresponde à classe 1. O cobalto apresenta algumas classes 1 muito pontuais, não sendo consideradas significativas. O crómio apresenta em três amostras valores do índice de geoacumulação correspondentes a classe 1, uma delas na proximidade da escombreira Sul. O cobre tem uma amostra com classe 1 na proximidade da escombreira Sul. Por fim, o níquel tem duas amostras na proximidade da escombreira Norte com valores de índice de geoacumulação correspondentes a classe 1.

O manganês tem uma amplitude de valores do índice de geoacumulação correspondente entre a classe 0 e a classe 2. Sendo a maioritária observada para este elemento a classe 0, ocorrendo um grande número de classes 1 e classes 2, a Norte da área de estudo.

O chumbo apresenta valores de índice de geoacumulação com amplitude correspondente entre a classe 0 e a classe 2. Maioritariamente este elemento apresenta-se com classe 0, no entanto, nas proximidades da escombreira Sul, observa-se uma classe 2, na zona Sudeste, na proximidade do Casal Novo, observa-se também algumas classes 1 e classes 2.

O antimónio apresenta uma grande amplitude de valores de índice de geoacumulação, sendo as classes mais altas observadas na proximidade da escombreira Sul, com classes 4, e na proximidade do filão mineralizado principal, onde se observa uma amplitude de classes desde a classe 3 à classe 5.

O zinco apresenta valores de índice de geoacumulação maioritariamente correspondentes a classe 0, observando-se na periferia da escombreira Norte várias classes 1, assim como na área a Sudeste, onde foram observadas altos teores de Pb e Zn.

Observando as classes do índice de geoacumulação e relações espaciais entre pontos de amostragem, define-se as seguintes áreas com respetiva intensidade de poluição:

- Os solos localizados na proximidade da escombreira Norte, caracterizam-se por apresentarem valores do índice de geoacumulação correspondentes à classe 1, para o Au, Co, Ni e Zn.
- Os solos da área periférica da escombreira Sul encontram-se fortemente a extremamente poluídos em As e fortemente poluídos em Au e Sb. Observando-se,

de modo mais pontual, valores do índice de geoacumulação correspondentes a classe 1, para o Ag, Cr, Cu, Ni, de classe 2 para o Mn, e de classe 3 para o Zn.

- A área onde afloram os filões com sulfuretos, pode ser classificada como fortemente a extremamente poluída em Sb, fortemente poluída em Au, e moderadamente poluído em Ag e As.
- Na zona a Sudeste da área mineira, na proximidade do Casal Novo, e onde foi observado teores altos de Pb e Zn, os valores do índice de geoacumulação permitem classifica-la como não poluída a moderadamente poluída em Pb, Sb e Zn.

#### **6.4 Limitações**

Apresentam-se, seguidamente, algumas limitações do estudo efetuado, resultado quer de limitações técnicas, quer de novas informações que surgiram após a obtenção dos resultados.

- Uma das principais limitações deste trabalho foi a reduzida quantidade de informação geológica relativa a área de estudo, assim como sobre a mina, suas infraestruturas e seus métodos extrativos e de tratamento de minério.
- Nas campanhas de amostragem das águas e sedimentos de corrente deveria ter sido contemplados mais dois pontos de amostragem, um entre EG2 e EG3 (na área mineira) e outro entre EG6 e EG7, devido a enorme distância entre estes pontos, e assim perceber melhor a variação dos elementos ao longo de ambas as linhas de água. Este procedimento não foi, no entanto, possível, devido aos difíceis acessos, assim associados a uma topografia acentuada e vegetação muito densa.
- Seria também importante apertar a malha de amostragem dos solos, a fim de obter as linhas um pouco mais próximas umas das outras. No entanto, este procedimento requereria um maior número de linhas e conseqüentemente um maior número de amostras, a fim de poder elaborar as cartas de dispersão de elementos dos solos com uma área semelhante a que foi elaborada.

- A amostragem dos solos deveria ter contemplado um maior numero de amostras tanto para Este como para Oeste. Tal não foi possível, devido, como já foi mencionado, a dificuldade de acessos.
- As análises dos solos, sedimentos de corrente e materiais de escombreira deveriam ter contemplado um maior número de elementos. Devido à complexidade das análises dos materiais sólidos, não foi possível elaborar um grande número de elementos.
- Para uma melhor compreensão do comportamento dos elementos analisados nos solos, teria sido útil a análise de alguns órgãos de plantas acumuladoras presentes na área de estudo.





## 7. Conclusões

A área mineira da área da Escádia Grande, apresenta um jazigo tipo “stockwork” constituído por uma série de filões intrusivos de sulfuretos auroargentíferos, que foi explorada pelos romanos no período em que este povo marcou presença na Península Ibérica, e novamente entre 1939 e 1952. Após este período a mina foi deixada ao abandono, sem qualquer tipo de plano de recuperação, levando a uma série de impactes ambientais.

Na área de estudo ficaram depositadas os materiais resultantes da atividade mineira em duas escombrelas que apresentam materiais muito heterogéneos quer em granulometria quer em mineralogia, ocupando na totalidade uma área de 25.000 m<sup>2</sup>, com quantidades elevadas de elementos concentrados, estas apresentam teores muito superiores aos teores presentes nos solos envolventes. A análise de componentes principais, demonstrou que a alteração da calcopirite é responsável por uma parte considerável dos teores de crómio, cobre, ferro, manganês, chumbo e zinco, encontrados nas escombrelas, a alteração da arsenopirite, a blenda e a galena, são responsáveis por uma parte dos teores de arsénio, chumbo e zinco respetivamente, sendo os teores de cobalto e níquel o resultado ou da pirite que se encontra presente em rochas mais básicas ou em certas bancadas de xistos da região. A ação dos agentes geodinâmicos sobre as escombrelas provoca a libertação e o transporte destes elementos para as solos e linhas de águas, e conseqüentemente, sedimentos de corrente. A escombrela Norte parece não produzir uma tão elevada quantidade de contaminantes como a escombrela Sul.

As águas de escorrência mineira são outro problema associado a esta atividade. Águas provenientes das galerias e outras exurgências, assim como as águas que percolam as escombrelas, chegam as linhas de água anexas a zona mineira, produzindo uma diminuição do pH e aumentando o seu conteúdo em substâncias químicas. A mineralização principal das águas consiste em Ca, Na, K, NO<sub>3</sub>, Cl e HCO<sub>3</sub>, observando-se uma divisão de dois grupos no que toca a mineralização secundária. As águas consideradas contaminadas (EG3, EG4 e EG5), apresentam teores elevados de As, Ag e SO<sub>4</sub>, resultado de alterações de sulfuretos. As águas do fundo residual apresentam geralmente teores mais elevados de Co, Cr, HCO<sub>3</sub>, Mg, Ni e Pb, e a água que caracteriza o fundo geoquímico apresenta teores mais elevados dos elementos maiores.

A água localizada a montante da zona mineira (EG1), que corresponde ao fundo geoquímico, apresenta pH entre 6,31 e 6,68 e condutividades entre 2,10 µS/Cm a 2,30 µS/Cm. Após a passagem das água pela zona mineira o valor de pH desce e a condutividade elétrica aumenta, assim como ocorre um aumento das concentrações de cobalto, chumbo, bicarbonato, prata, sulfato e especialmente de arsénio, níquel e cobre.

A Este da linha de água contigua a mina da Escádia Grande e paralela a esta, numa área onde afloram filões com sulfuretos, existe uma linha de água cujos valores de pH variam entre 5,55 e 6,35 e a condutividade elétrica entre 2,10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 3,00  $\mu\text{S}/\text{cm}$  com teores de arsénio, cobalto, níquel, chumbo, bicarbonato e sulfato superiores aos detetados para o fundo geoquímico, mas com teores de arsénio, cobre, chumbo, níquel e sulfato inferior as águas que atravessam a área mineira, sendo o pH e condutividade elétrica próxima das águas sobre a influência mineira. Estes teores podem ser explicados por uma potencial alteração dos filões com sulfuretos, ou das pirites presentes nos níveis xistentos, que quando expostos aos agentes geológicos conduzem a um aumento de teores em espécies químicas nos solos, e consequentemente das águas e sedimentos de corrente.

Após as confluências da linha de água que atravessa a zona mineira com as duas linhas de água adjacentes, ocorre uma diminuição dos teores de metais pesados, consequência da distância a que o foco contaminante se encontra, processos de diluição destas águas com águas com teores muito inferiores, precipitação dos contaminantes e fenómenos de adsorção. No entanto, nenhuma das águas ao longo da Ribeira do Sinhel apresenta parâmetros dentro do fundo geoquímico.

Os valores de pH baixos e os elevados teores de arsénio e níquel tornam as águas da área de estudo impróprias para consumo, mas não impedem o seu uso para rega, mesmo que o pH destas águas sejam inferiores ao valores mínimos recomendados pela legislação atualmente em vigor.

As análises de componentes principais dos sedimentos de corrente distinguiu 3 grupos de elementos presentes nos sedimentos, de acordo com a sua origem. Assim, um primeiro grupo corresponde aos elementos que resultam da alteração de elementos da mineralização principal, onde se enquadram as amostras SEDEG-2, SEDEG-3, SEDEG-4, SEDEG-5 e SEDEG-7, tendo sido consideradas anómalas, uma vez que apresentam teores elevados destes elementos. Um segundo grupo, constituído pelos elementos Cr, Cu, Fe e o Ni, correspondente a alteração dos sulfuretos presente nos xistos, sendo o terceiro grupo constituído pelo Co, o Mn maioritariamente resultantes da erosão das rochas mais básicas onde se instalam os cursos de água. Assim, as amostras SEDEG-1, SEDEG-6, SEDEG-8, SEDEG-9 e SEDEG-10 foram definidas para representar o fundo geoquímico.

As classes mais elevadas em termos de Índices de geoacumulação de Müller (1979), foram detetadas para o As com classe 6, correspondendo a extremamente poluído, ocorrendo também classes 5 para o As, Au e Sb, classes 4 para o Au, Ag e Sb, classes 3 para o As, Au e Sb, classes 2 para o Ag, As, Au e Pb, e classes 1 para o Ag, As, Au, Fe, Pb, Sb e Zn. A zona a montante da área mineira apresenta-se, segundo o índice de geoacumulação de Müller, de não poluída a moderadamente poluída em prata e ferro. Na mesma linha de água, mas a jusante da escombreira Norte, ocorre um incremento brusco de

elementos, consequência da presença da escombreira, tornando esta área extremamente poluído em arsénio, fortemente a extremamente poluído em ouro e antimónio, fortemente poluído em prata e não poluído a moderadamente poluído em ferro e zinco. Após a escombreira Sul, os índices de geoacumulação indicaram, fortemente a extremamente poluído em arsénio, fortemente poluído em antimónio, moderadamente a fortemente poluído em ouro, moderadamente poluído em prata e não poluído a moderadamente poluído em zinco. A linha de água situada a Oeste da área mineira, apresentou no índice de geoacumulação como não poluída a moderadamente poluída em arsénio, ferro, chumbo e zinco. A linha de água que atravessa a área onde afloram inúmeros filões com sulfuretos, encontra-se não poluída a moderadamente poluída em prata, arsénio e chumbo. A Ribeira do Sinhel, encontra-se fortemente poluída em ouro, moderadamente poluída em arsénio, não poluído a moderadamente poluído em prata e antimónio.

Assim, pode considerar-se que a linha de água mais contaminada é a que atravessa a área mineira, estando particularmente contaminada com arsénio, antimónio, prata e ouro, ocorrendo menores contaminações de chumbo, ferro e zinco.

Os solos da área da Escádia Grande apresentam valores de pH e condutividade elétrica inferiores na área mineira e na área adjacente onde ocorrem filões com sulfuretos, relativamente a restante área onde não ocorreu a atividade mineira, nem ocorrem grandes filões com sulfuretos. A análise de componentes principais, permitiu definir quais as amostras dos solos que apresentaram teores anómalos, e assim calcular o fundo geoquímico dos solos da área de estudo.

As cartas de dispersão de elementos presentes nos solos, indicaram para o Ag e o Au, concentrações muito pontuais em amostras isoladas nas proximidades do filão mineralizado principal, ocorrendo no ouro algumas amostras continuadas na zona próxima da escombreira Sul, sendo aqui observável alguma dispersão das escombreiras para os solos. O As, Cu, Pb e Sb apresentam teores mais elevados na área próxima a escombreira Sul, estando o Pb também presente em algumas zonas onde ocorrem sulfuretos e numa grande área a Sudeste da área mineira, parecendo esta estar ligada a ocorrências de mineralizações nesta área. O Sb, ocorre também, nas proximidades e acompanhando os filões com sulfuretos. O Zn, o Mn e o Ni ocorrem com teores mais elevados na zona das escombreiras, sendo a concentração destes elementos nas escombreiras que influenciam os solos na envolvente mineira. O zinco também apresenta uma área com teores elevados a Sudeste, que poderá ter origem numa mineralização constituída por galena e blenda. O Co, Cr e o Fe, apresentam-se, quase sempre, com teores semelhantes ao fundo geoquímico, no entanto, o crómio apresenta um aumento pouco significativo nas proximidades da escombreira Sul.

O índice de geoacumulação calculado para os solos, apresentou-se concordante com as cartas de dispersão dos elementos, com os solos da escombreira Sul, a apresentar índices de geoacumulação altos (classes 4 e 5) para o As, Au e Sb, classes 1 para o Ag, Cr, Cu, Ni, e classe 2 e classe 3, para o Mn e Zn respetivamente. Os solos circundantes da escombreira Norte, apresentam índices de geoacumulação correspondentes a classe 1 para o Au, Co, Ni e Zn. A área a Este da mina, onde afloram inúmeros filões com sulfuretos, os solos apresentam-se fortemente poluídos a extremamente poluídos em Sb, fortemente poluídos em Au e moderadamente poluídos em Ag e As.

Assim, pode concluir-se que a presença da escombreira Sul é responsável pelo incremento significativo dos teores de As, Au, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb e Zn nos solos e menos significativo em Ag, sendo esta o principal foco de contaminação da área de estudo. Enquanto que a escombreira Norte induz um aumento dos teores de Cu e Ni nos solos, e com uma menor expressão em Ag. Os filões mineralizados provocam aumentos significativos dos teores de Ag, Au e Sb, aumentando também mas com menos expressividade os teores de As e o Pb.

## 8. Referências Bibliográficas

APHA; AWWA; WEF. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20<sup>th</sup> Edition. USA.

Appelo, C. J.; Postma, D. (2005). *Geochemistry, groundwater and pollution 2<sup>nd</sup> Edition*. Rotterdam. A.A. Balkema. pp. 649

Costa, J. B. (1991) *Caracterização do Solo*. Lisboa. Fundação Calouste Gulbenkian.

Cardoso, J. C.; Bessa, M. T. & Marado, M. B. (1973). *Carta dos Solos de Portugal. Escala 1:1.000.000*.

Carta Geológica de Portugal, escala 1:500.000 (1989) – Direcção dos trabalhos Geológicos (Coordenação J. F. Nery Delgado e Paul Chofat).

Carta militar de Portugal n.º 253 (Pampilhosa da Serra). Instituto Geográfico do Exército, 1993. IGE.

Carta da capacidade de uso do solo (1980). Atlas do Ambiente. Comissão Nacional do Ambiente. Serviços de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário.

Carvalho, J. (1988). *Mina da Escádia Grande. Levantamento geológico e estrutural dos pisos 835 e 855*. Divisão de Prospecção de Minérios Metálicos. Direcção-Geral de Geologia e Minas. Serviços de Fomento Mineiro e Indústria Extractiva. LNEG. Porto.

Carvalho, J. (1989). *Cartografia geológica da área envolvente da mina da Escádia Grande*. Divisão de Prospecção de Minérios Metálicos. Direcção-Geral de Geologia e Minas. Serviços de Fomento Mineiro e Indústria Extractiva. LNEG. Porto.

Cerveira, A. (1947). *Notas sobre as minas de ouro da Serra da Louzã*. Separata do boletim da sociedade geológica de Portugal, 3 (VI), pp. 5-15.

Costa, J. (1991). *Caracterização do solo, 4ª Edição*. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa.

Cunha, P. (1992). Estratigrafia e sedimentologia dos depósitos do Cretácico Superior e Terciário de Portugal Central, a leste de Coimbra. Tese de Doutoramento da Universidade de Coimbra. Coimbra.

Diário da República (2007). Decreto-Lei nº 306/2007 de 27 de Agosto. 1ª Série. Nº 164-27.

Dias, R.; Araújo, A.; Terrinha, P; Kullberg, J. (2013) *Geologia de Portugal – Vol. 1 Geologia Pré-mesozóica de Portugal*. Escolar Editora. Lisboa

Empresa de Desenvolvimento Mineiro (2013) [www.edm.pt; online: Abril 2013]

Estação Agronómica Nacional (1975). Pedologia Métodos de análise de Solos, Plantas e Águas. Vol. 10 nº 3. Oeiras.

Farinha, J.; Brito, C. (2000) *Ficha de diagnóstico preliminar de situação de abandono de área de mina*. Instituto Geológico Mineiro.

Favas, P. (1999). *Impacte ambiental de minas abandonadas. O exemplo das minas de Vale das Gatas (Sabora – Vila Real)*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra

Favas, P. (2008). *Biogeoquímica em áreas mineiras estanho-volframíticas*. Centro de Geociências da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real.

Feitosa, F. A.; Filho, J. M. (2000). *Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações*. Serviços Geológicos do Brasil (CPRM), 390 pp.

Garrels, R.M.; Thompson, M.E. (1960) *Oxidation of Pyrite in Ferric Sulfate Solution*. American Journal of Science. Vol. 258. pp 57-67

Guilbert, J. M.; Park, C. F. (1986). *The Geology of Ore Deposits*. New York. W. H. Freeman and Company.

ITGE, 1989. *Manual de Restauracion de Terrenos y Evaluacion de Impactos Ambientales em Minería, 2ª edición*. Madrid. Instituto Tecnológico Geominero de España.

Krauskopf, K. B. (1972). *Introdução à Geoquímica*. São Paulo. Editora Polígono.

Kunkle, S.; Johnson, S.; Flora, M. (1987) *Monitoring Stream Water for Land-Use Impacts: A Training Manual for Natural Resource Management Specialists*. Washington. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Forestry.

Lottermoser, B. (2007) *Mine Wastes. Characterization, Treatment and Environmental Impacts – 2<sup>nd</sup> Edition*. Berlin. Springer.

Marcus, J. J. (1997). *Mining Environmental Handbook. Effects of Mining on the Environment and American Environmental Controls on Mining*. London. Imperial College Press

McKinstry, H. E. (1970). *Geologia de Minas, segunda edição*. Barcelona. Ediciones Omega.

Pereira, V. (1984). *“Projecto Góis” Cartografia Geológica*. Divisão de Prospecção de Minérios Metálicos. Direcção-Geral de Geologia e Minas. Serviços de Fomento Mineiro e Indústria Extractiva. LNEG. Lisboa.

Reimann, C.; Caritat, P. (1998) *Chemical Elements in the Environment. Factsheets for the Geochemist and Environmental Scientist*. Berlin. Springer

Reimann, C.; Flitzmoser, P.; Garret, R.; Dutter, R. (2008) *Statistical Data Analysis Explained. Applied Environmental Statistics with R*. England. Jon Wiley & Sons Ltd.

Schmiermund, R. L.; Drozd, M. A. (1997). *Acid Mine Drainage and Other Mining-Influenced Waters (MIW)*. In Jerrold J. J. Marcus (Ed.) *Mining Environmental Handbook: Effects of Mining on the Environment and American Environmental Controls on Mining* (chapter 13). London. Imperial College Press.

Sequeira, A.J.; Sousa, M.B.. (1991). *O Grupo das Beiras da Região de Coimbra – Lousã*. Coimbra. Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol., Universidade de Coimbra.

Shepard, T. J.; Oliveira J. M. (1990). *Hydrothermal fluid anomalies: a new strategy for exploration in Portugal – Final Report I – 2. Metallogenesis: Central Iberian Schist Terrains*. LNEG.

Siegel, F. R. (2002) *Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Heavy Metals*. Berlin. Springer.

Soares, A. Ferreira; Marques, Júlio; Sequeira, António (2007). *Notícia explicativa da folha 19-D : Coimbra – Lousã*. Lisboa. Departamento de Geologia, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação.

Stumm, W., and Morgan, J.J. (1970). *Aquatic Chemistry*. New York. Wiley-Interscience. 580pp

Van Zyl, D. (1991). *Cyanide and the Environment, Proceedings*. Tuscon. Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins. 590pp

Williamson, N. A.; Hawkins, D. B. (1978). *Arsenic in Streams, Stream Sediments and Groundwater, Fairbanks Area, Alaska. Environmental Geology*, (vol. 2, nº 4), pp. 195-202.

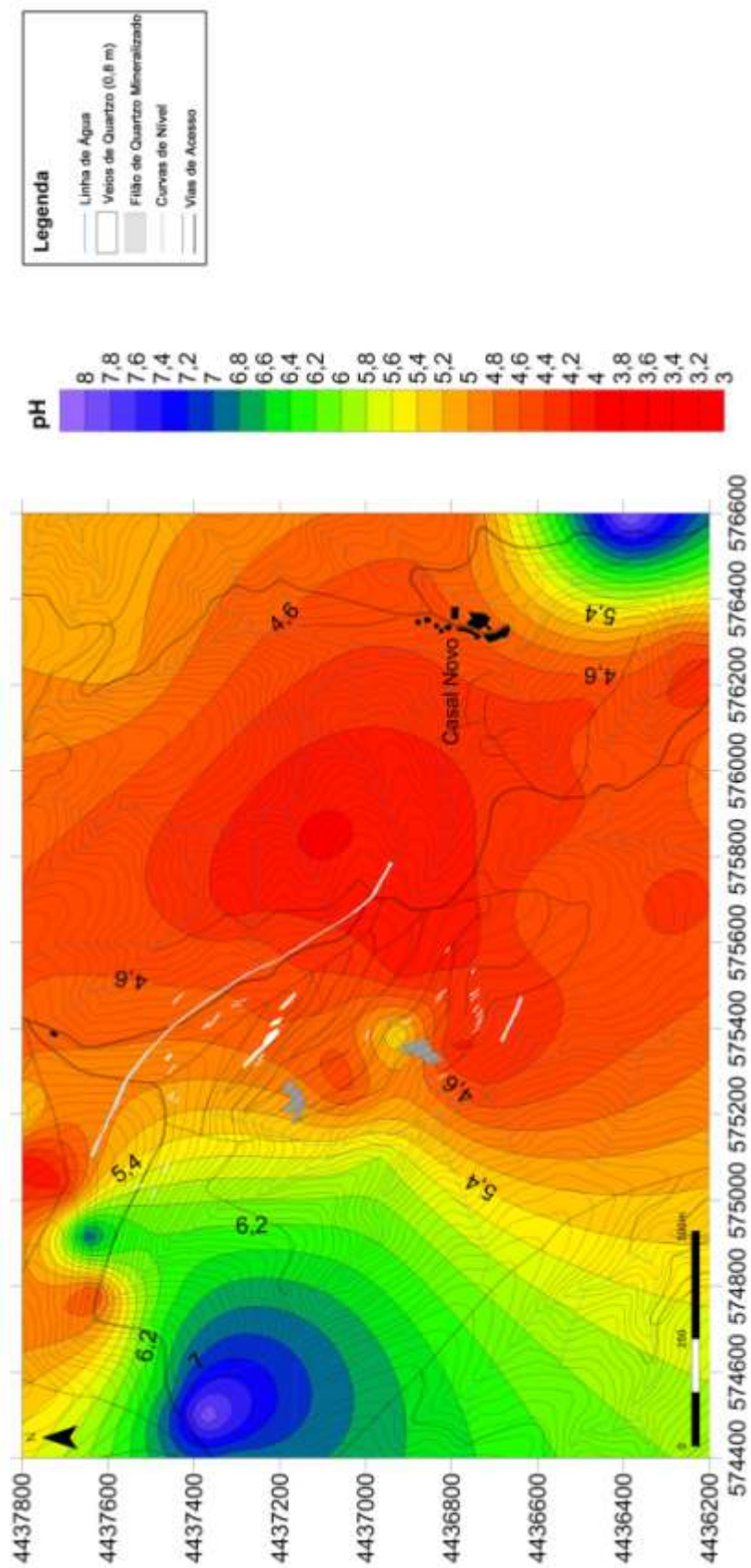
Williamson, N. A.; Johnson, M. S.; Bradshaw, A. D. (1982). *Mine Wastes Reclamation. The Establishment of Vegetation on Metal Mine Wastes*. London: Mining Journal Books.

Yarom, B.; Clavet, R.; Prost, R. (1996) *Soil Pollution. Processes and Dynamics*. Berlin. Springer

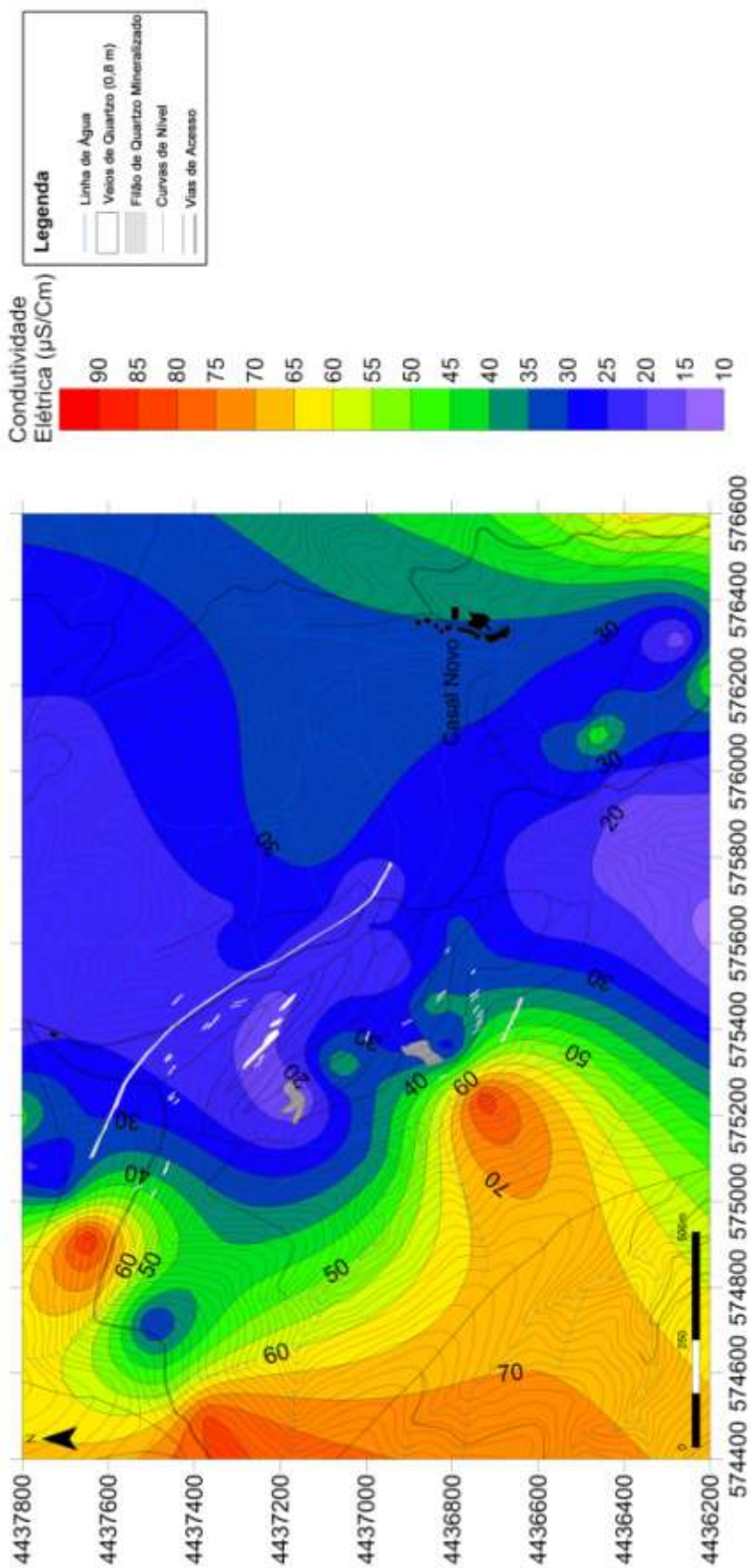


# **9. Anexos**

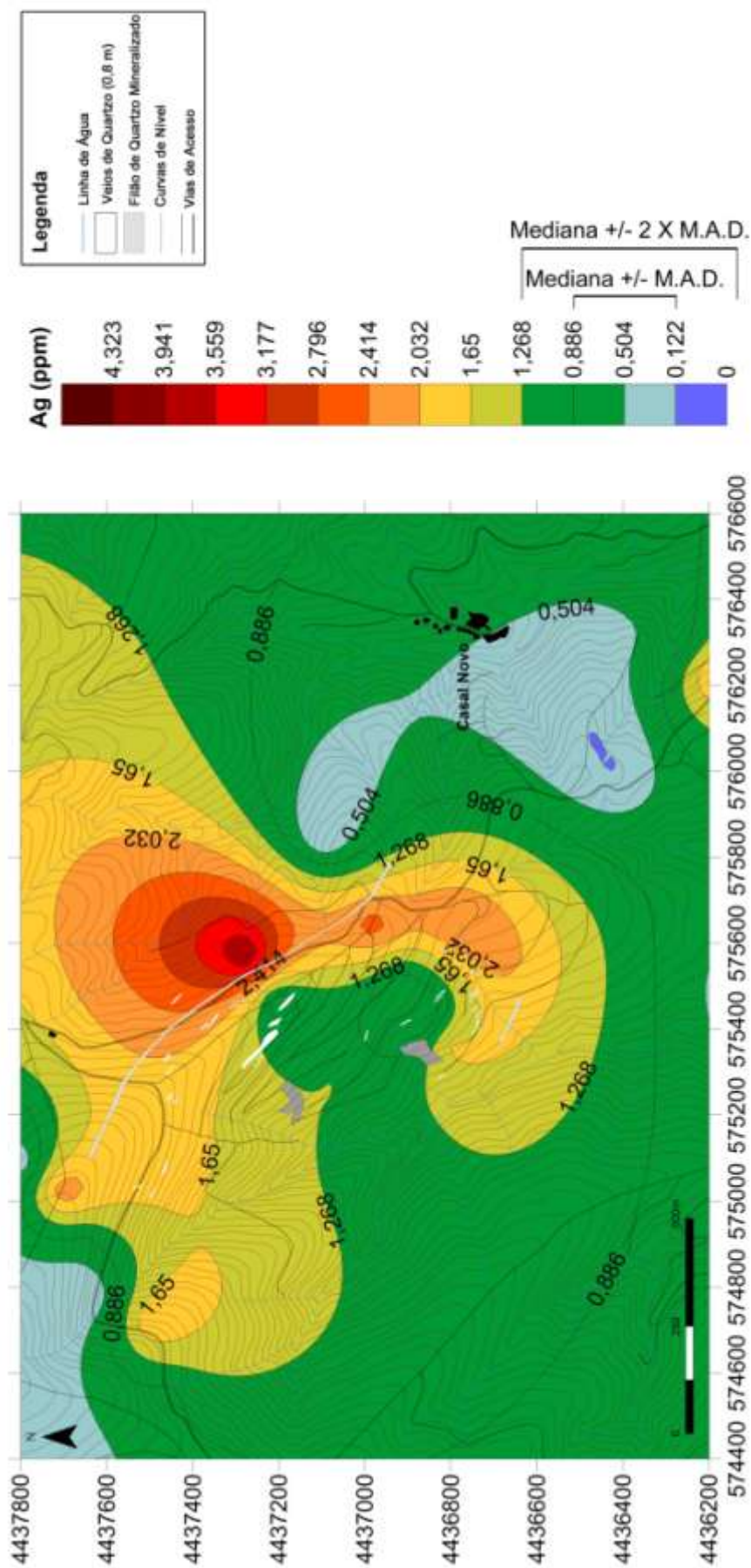
**(Cartas de dispersão de elementos)**



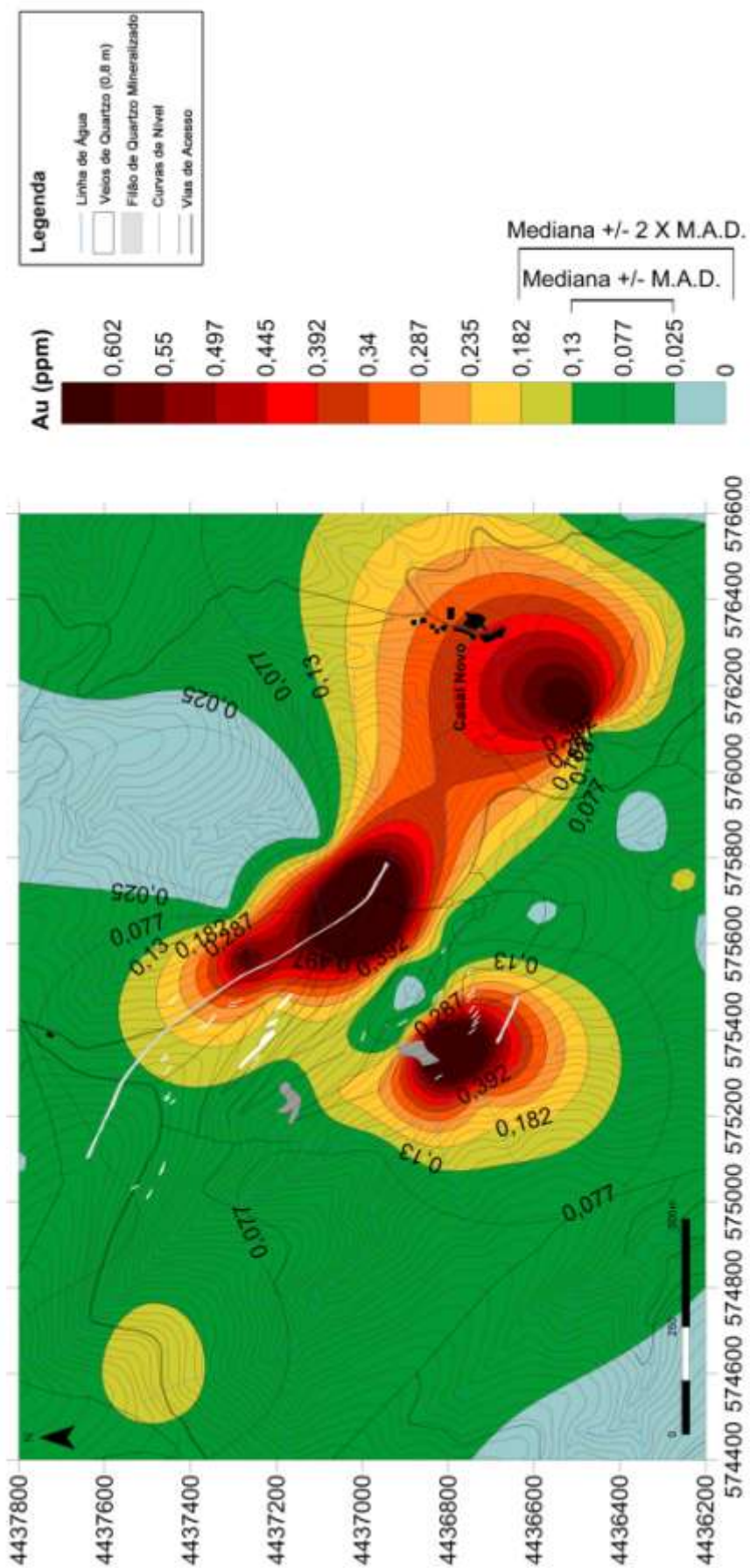
Anexo I – Carta da variação de pH dos solos da área mineira da Escadía Grande.



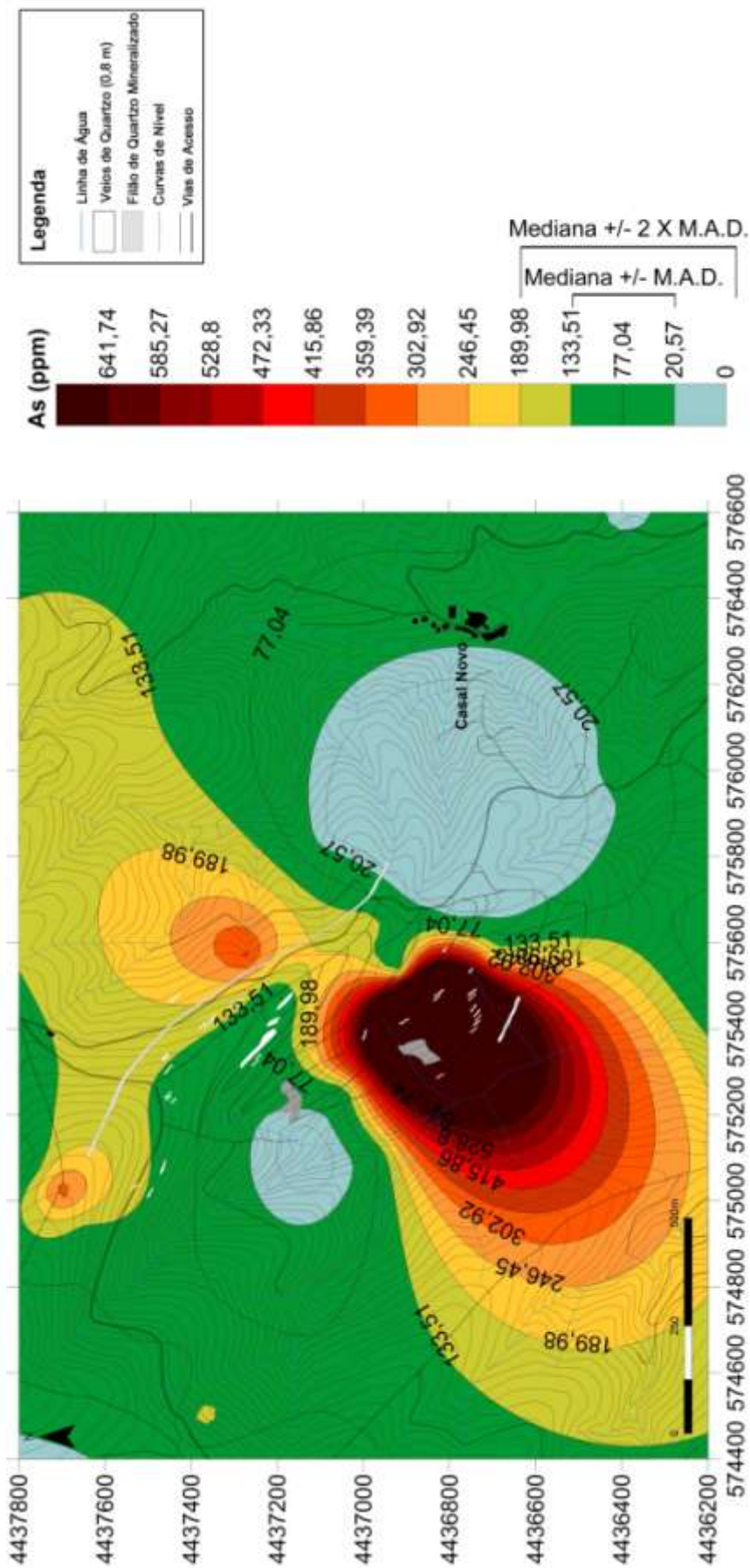
Anexo II – Carta da variação da condutividade elétrica dos solos da área mineira da Escadía Grande.



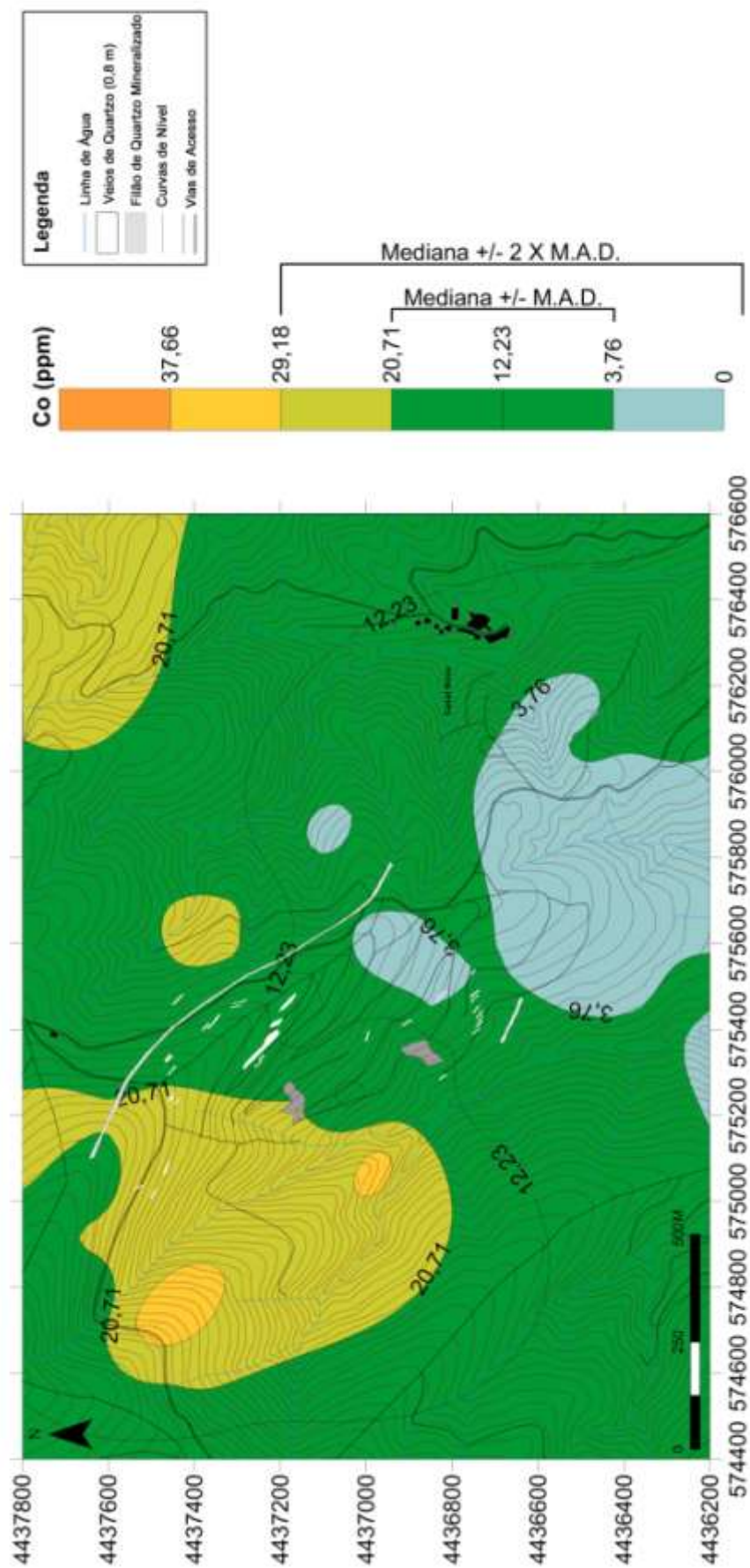
Anexo III – Carta de dispersão horizontal da prata nos solos da área mineira da Escádia Grande.



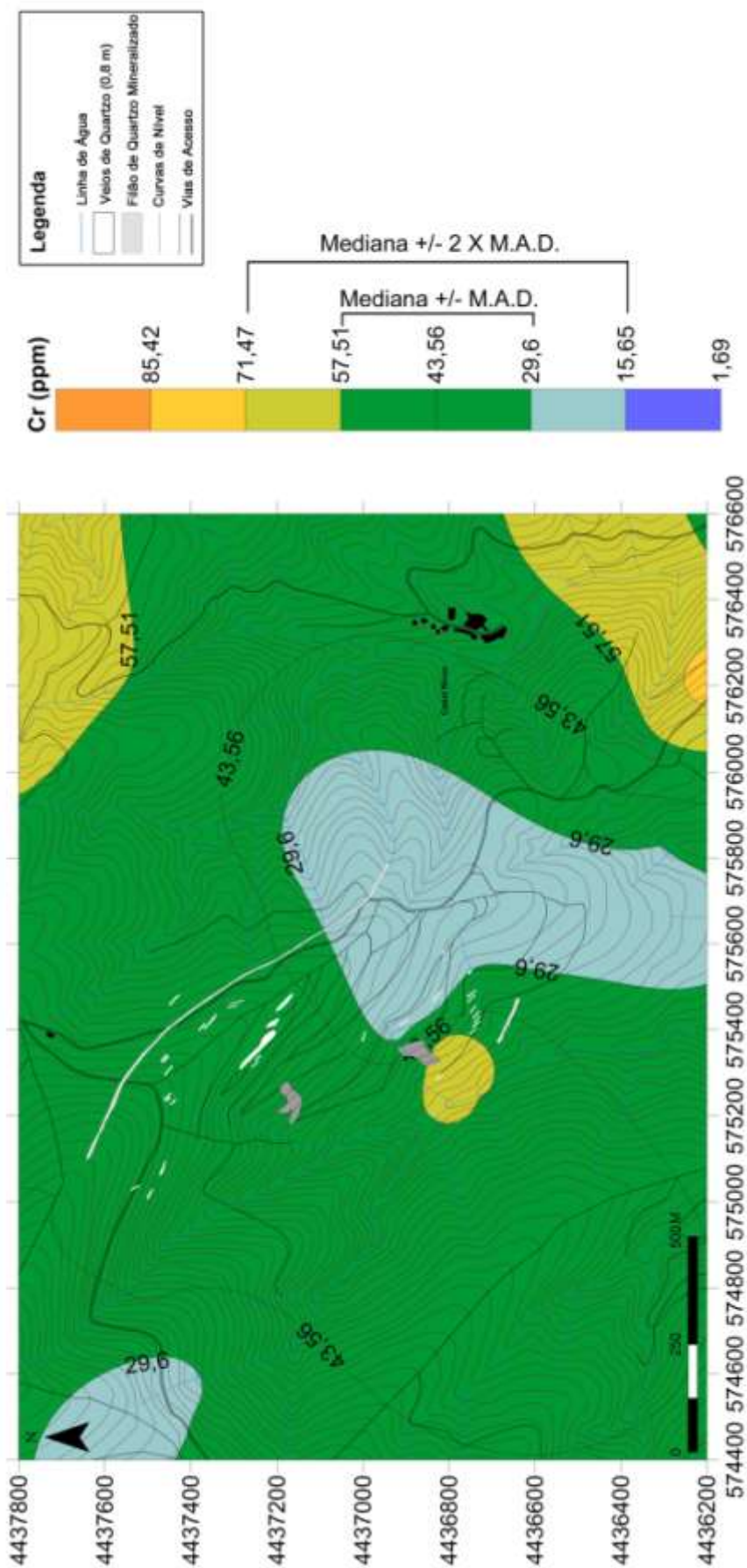
Anexo IV – Carta de dispersão horizontal do ouro nos solos da área mineira da Escádia Grande.



Anexo V – Carta de dispersão horizontal do arsénio nos solos da área mineira da Escadãia Grande.

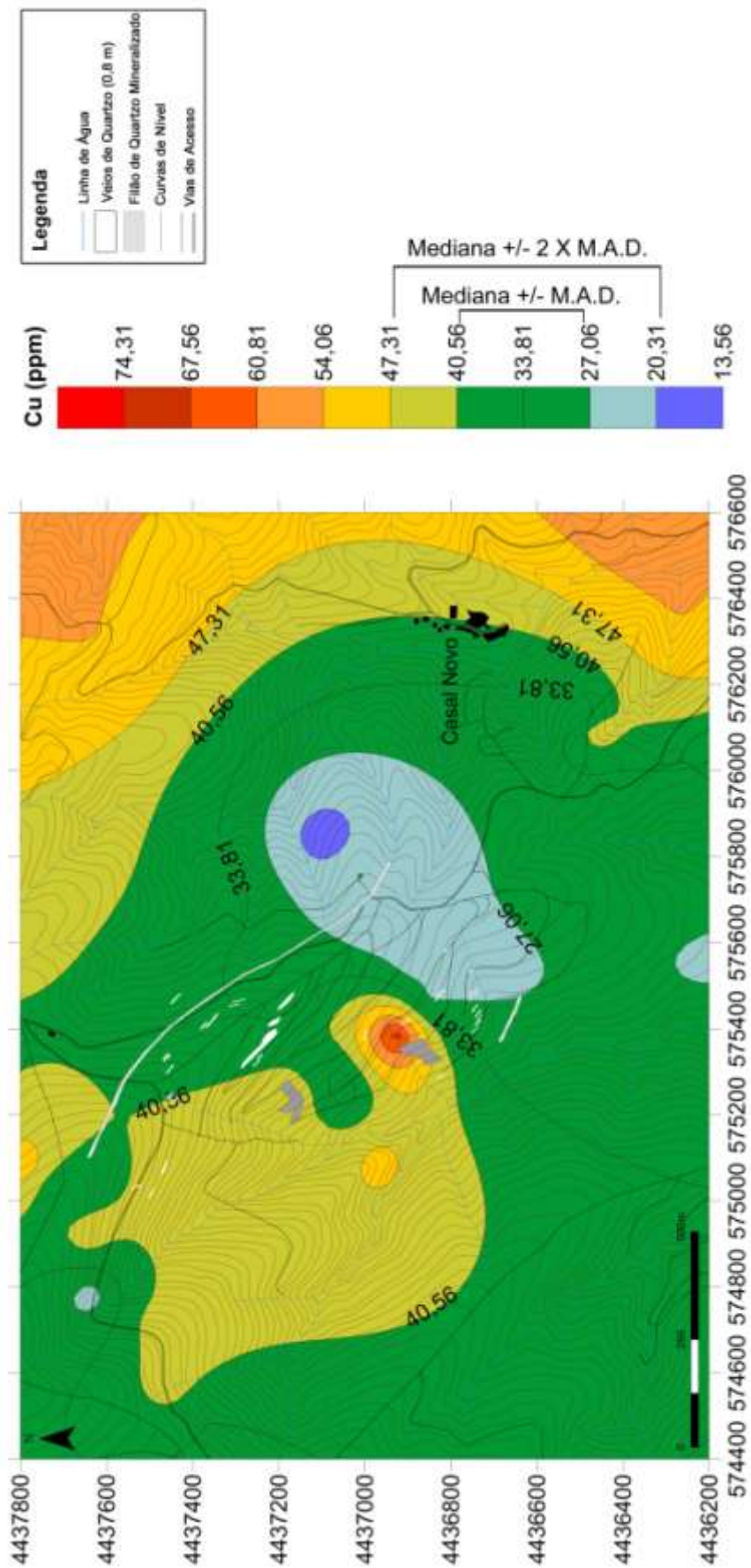


Anexo VI – Carta de dispersão horizontal do cobalto nos solos da área mineira da Escádia Grande.

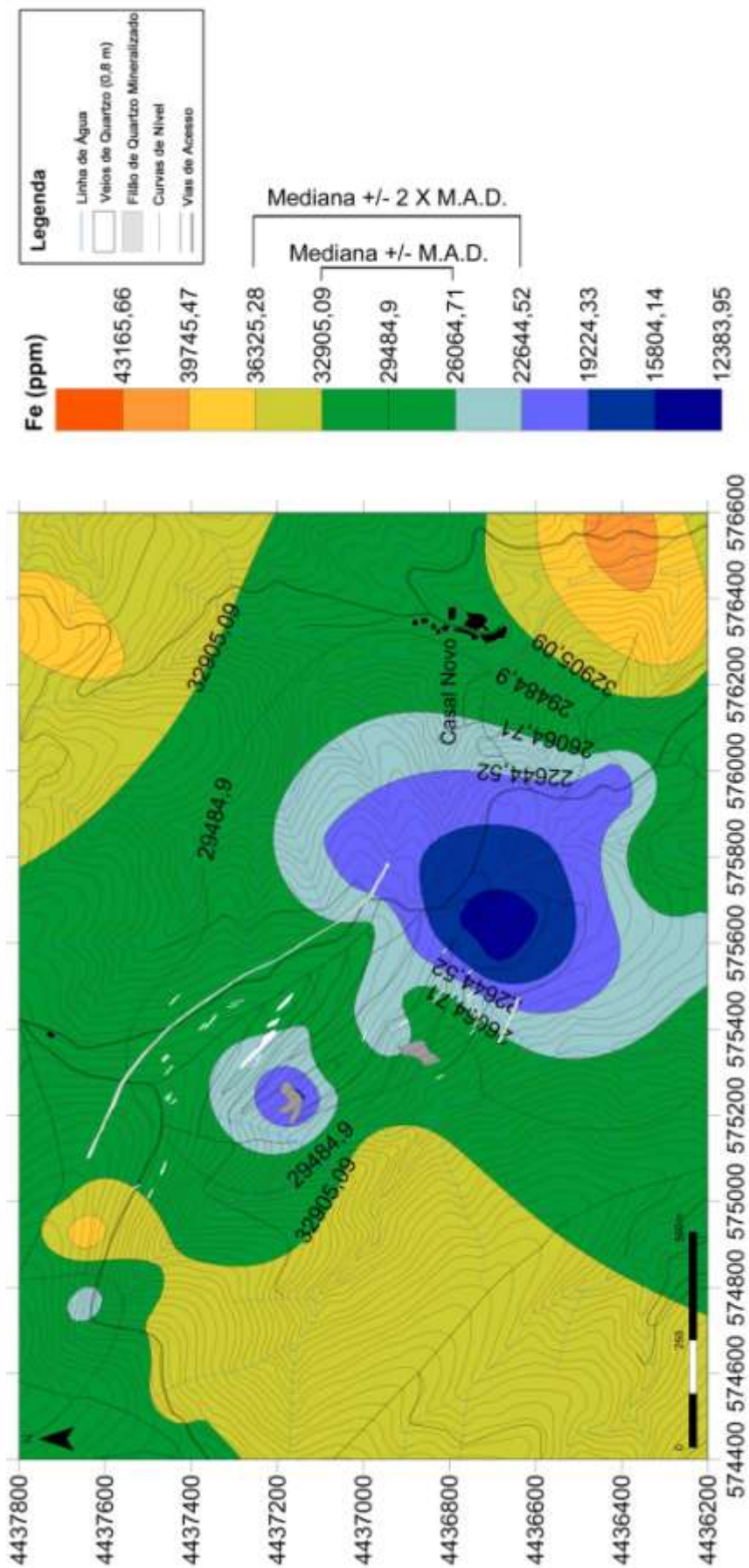


Anexo VII – Carta de dispersão horizontal do crómio nos solos da área mineira da Escádia Grande.

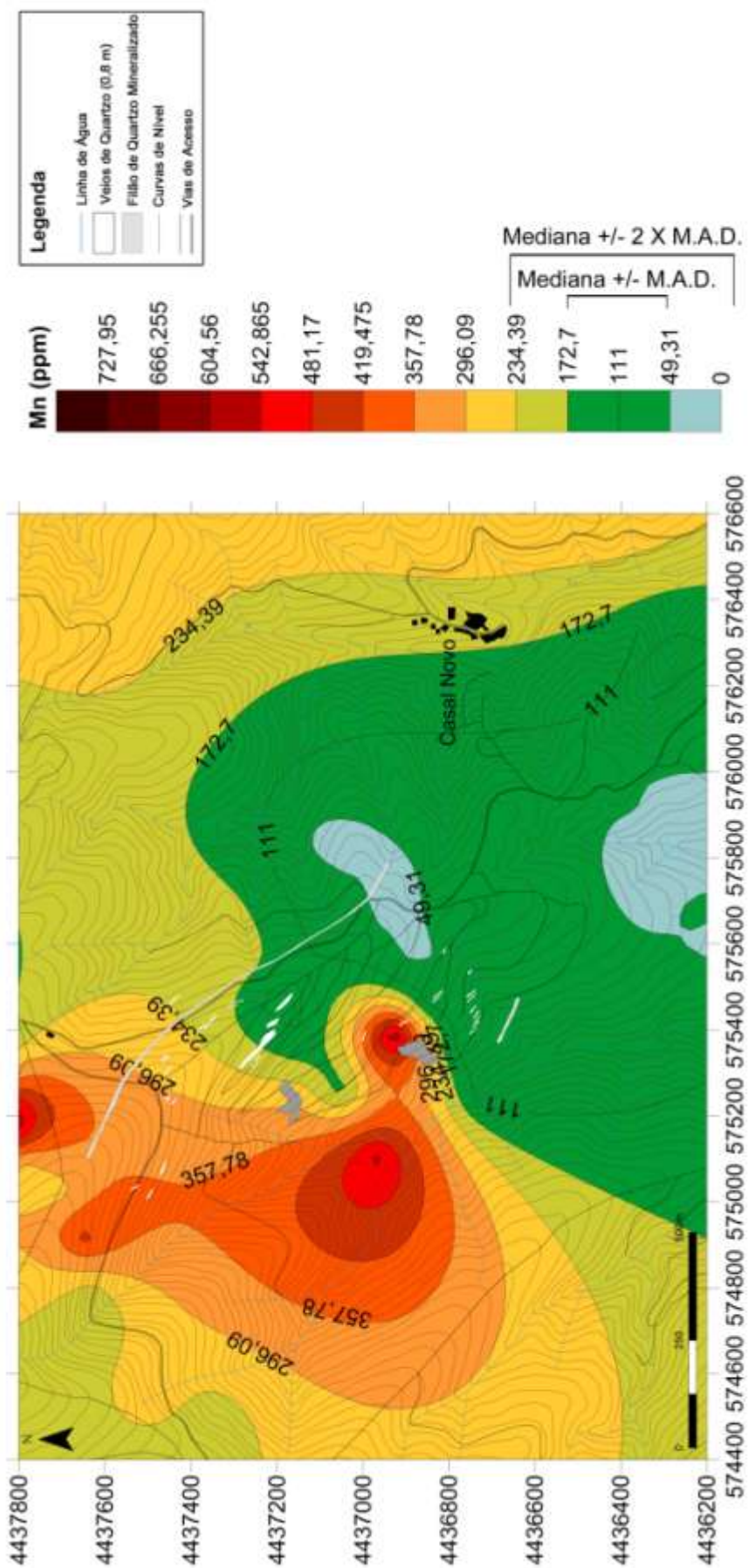




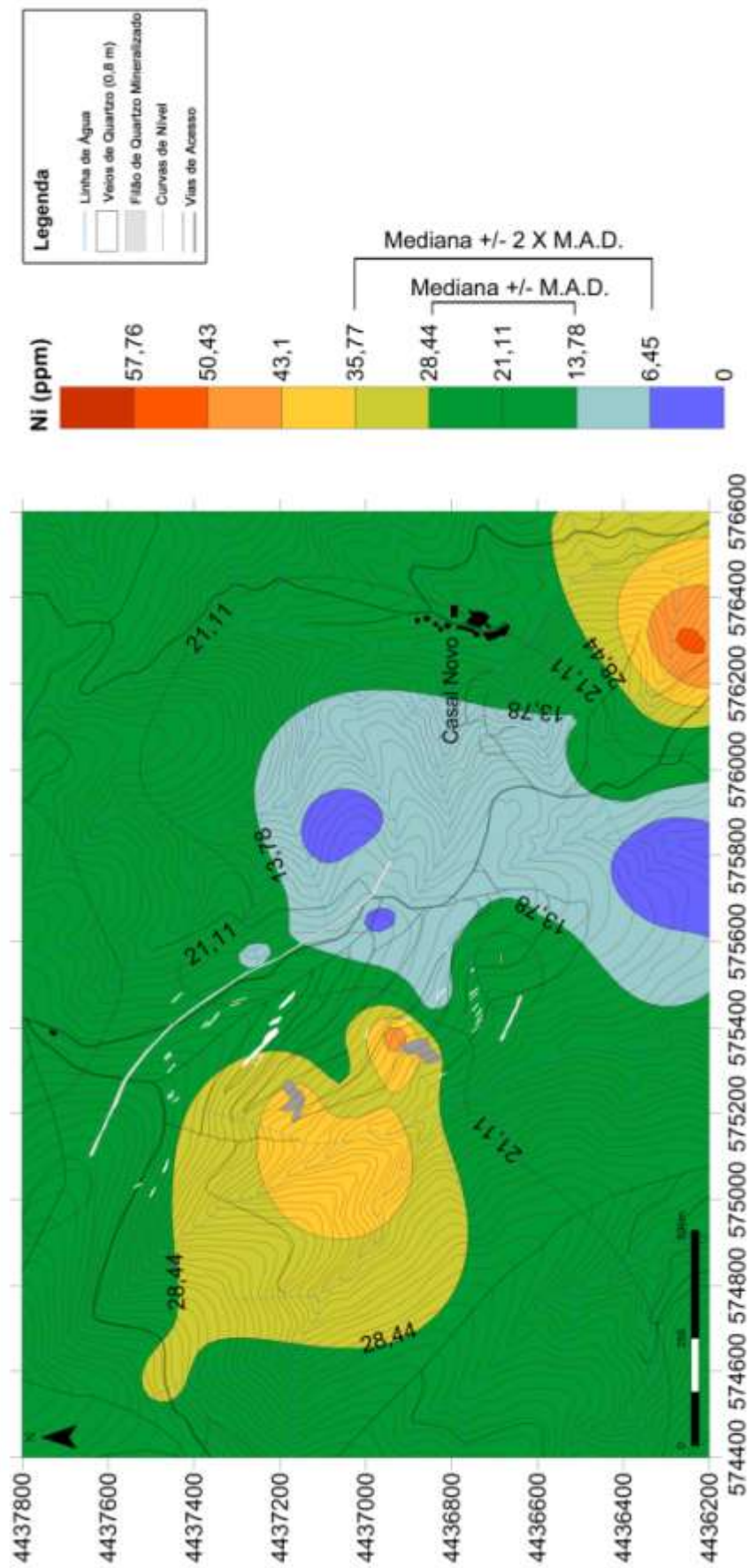
Anexo VIII – Carta de dispersão horizontal do cobre nos solos da área mineira da Escadía Grande.



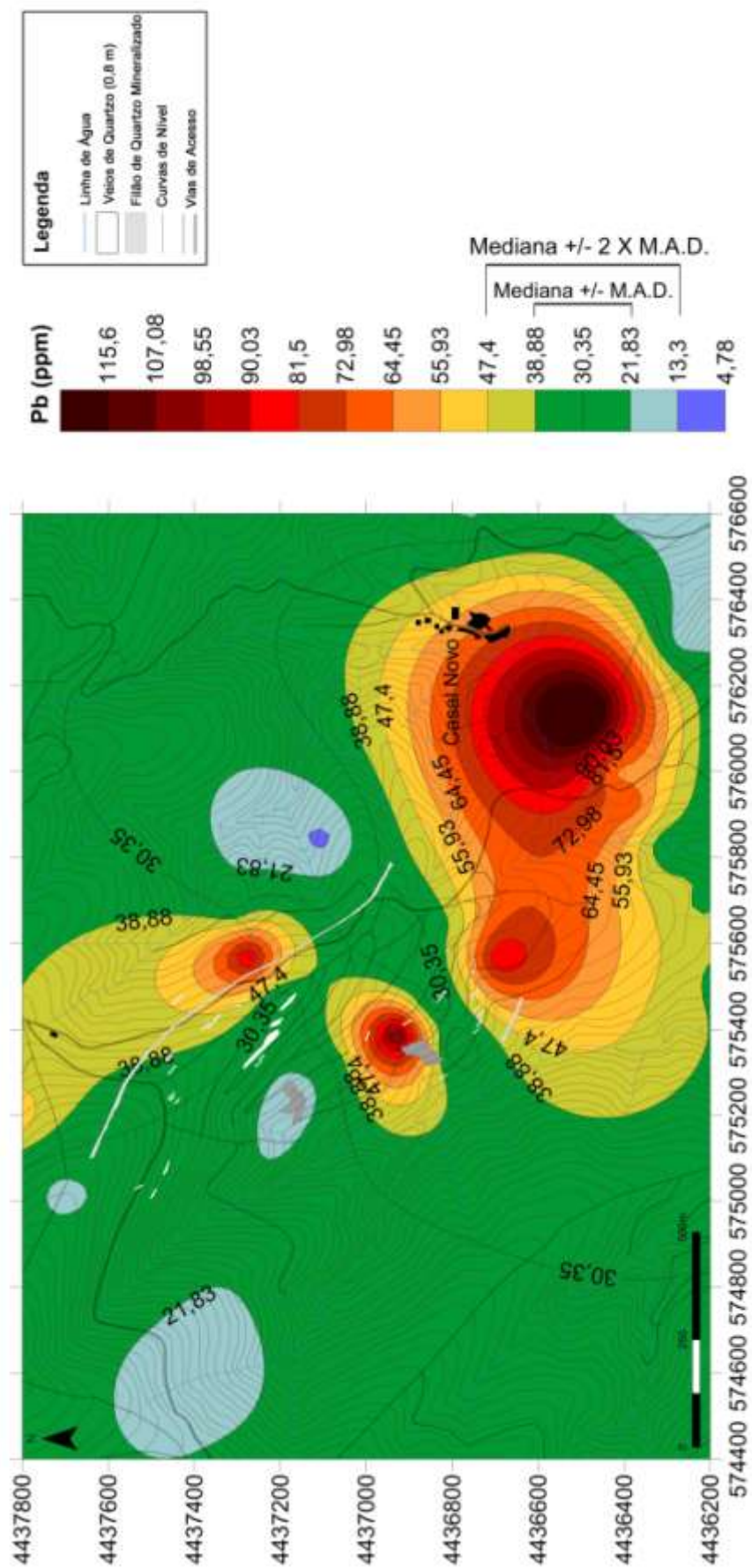
Anexo IX – Carta de dispersão horizontal do ferro nos solos da área mineira da Escádia Grande.



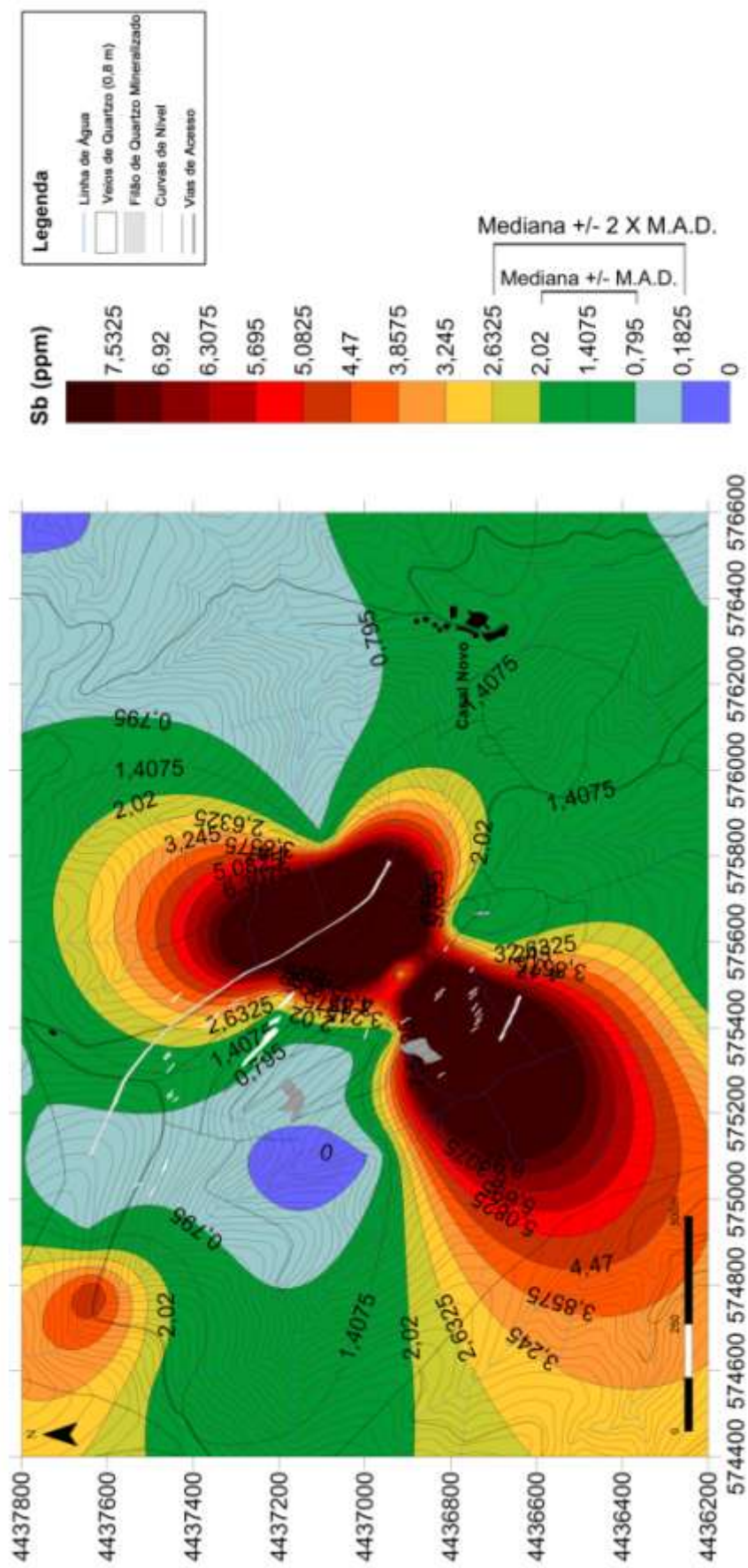
Anexo X – Carta de dispersão horizontal do manganês nos solos da área mineira da Escádia Grande.



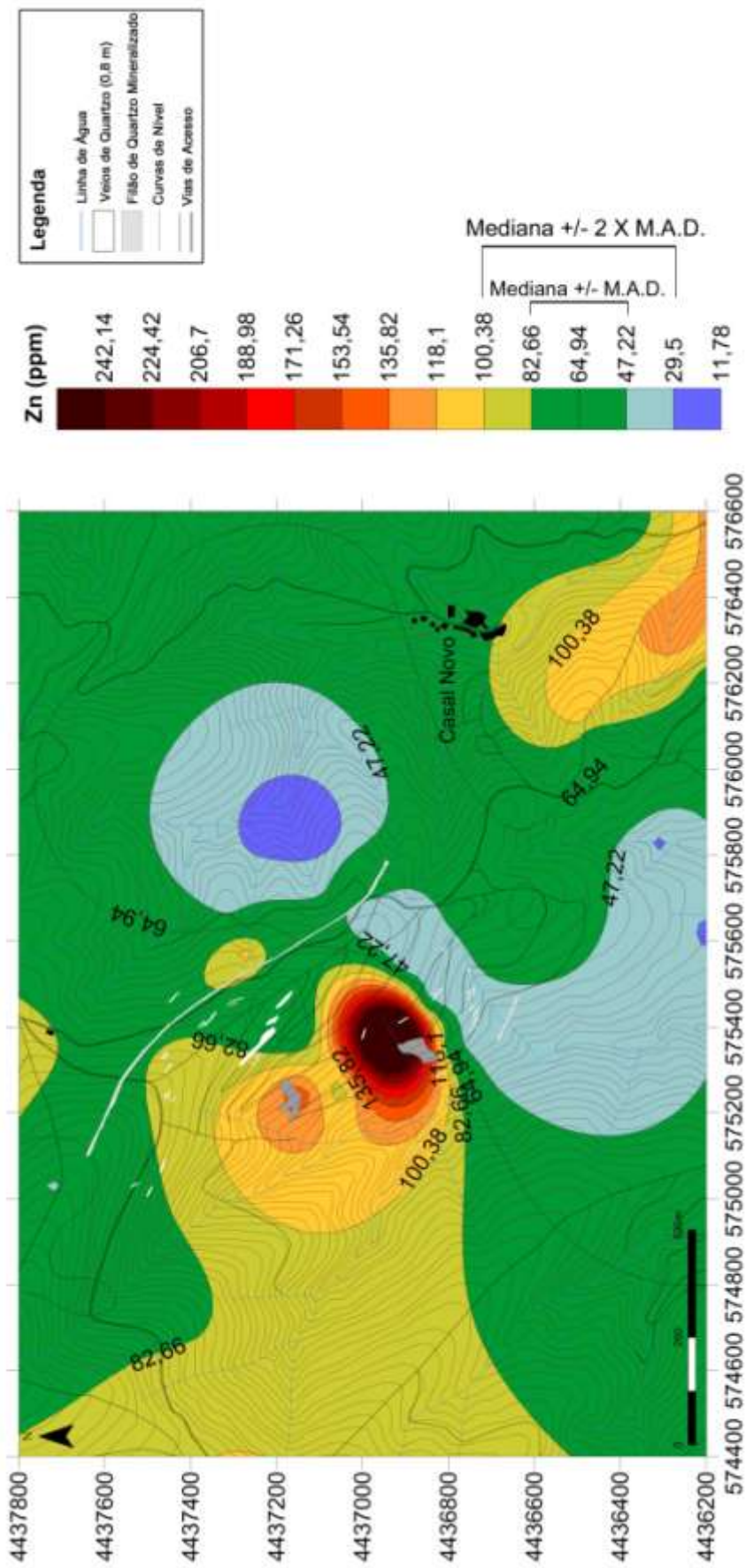
Anexo XI – Carta de dispersão horizontal do níquel nos solos da área mineira da Escadãia Grande.



Anexo XII – Carta de dispersão horizontal da chumbo nos solos da área mineira da Escadía Grande.



Anexo XIII – Carta de dispersão horizontal do antimónio nos solos da área mineira da Escádia Grande.



Anexo XIV – Carta de dispersão horizontal do zinco nos solos da área mineira da Escádia Grande.