

# **Risco ambiental associado a actividades mineiras abandonadas na região centro de Portugal - possíveis impactes na saúde humana**

**Fátima Alexandra Nunes Sanches**

Dissertação apresentada ao Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Monitorização de Riscos e Impactes Ambientais, realizada sob a orientação científica da Doutora Isabel Margarida Horta Ribeiro Antunes, Professor Adjunto da Unidade Técnico Científica de Recursos Naturais e Desenvolvimento Sustentável da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

# Agradecimentos

Ao finalizar este trabalho, quero agradecer a todos que contribuíram para a sua realização.

À professora Doutora Isabel Margarida Horta Ribeiro Antunes, a minha orientadora, pela sua amizade, apoio e disponibilidade para esclarecimento de todas as dúvidas, pela leitura e crítica do trabalho.

À professora Doutora Maria Teresa Durães Albuquerque, a minha Co-orientadora, pela constante disponibilidade, amizade, conhecimentos transmitidos, leitura e crítica do trabalho.

À Engenheira Natália Roque pelo apoio, amizade e disponibilidade e esclarecimento de dúvidas.

Aos meus pais, pela infinita compreensão, incentivo, motivação e paciência em todos os momentos.

**Palavras-chave:** Sedimentos de corrente, minas abandonadas, mapas estimados, saúde pública.

## Resumo

Para avaliar o risco para a saúde pública na área envolvente de antigas explorações mineiras de W-Sn e Pb-Zn, foram colhidas 511 amostras em sedimentos de corrente, localizados fora e dentro da área de influência mineira. De acordo com o enquadramento hidrológico retiveram-se 333 amostras, localizadas em duas bacias hidrológicas contíguas e sob a influência das antigas explorações mineiras. Tendo como objectivo final a construção de cartografias estimadas, exploraram-se duas abordagens metodológicas distintas. A primeira tendo como atributos os teores totais dos elementos químicos analisados (Fe, Ba, P, Cu, Cr, Ag, B, Zn, Sb, Pb, Sn, Ni, V, Mn, Be, Mo, As, W, Co, Y, Cd, Nb e U) e a segunda, adoptando como variáveis as classes correspondentes ao índice de geoacumulação (Fe, Ba, P, Cu, Cr, Ag, B, Zn, Sb, Pb, Ni, V, Mn, Mo, As, W, Co, Cd e U) correspondentes.

Numa primeira análise estatística multivariada exploratória, recorrendo à Análise em Componentes Principais (ACP) aplicada a teores e a índices de geoacumulação, reteve-se, para o primeiro caso o primeiro factor (F1) explicando os teores de P, B, Be e U (correlação negativa com o eixo) em oposição a Cu, Cr, Ni e V (correlação positiva com o eixo); o segundo factor (F2) explicando Fe, Zn e As; o terceiro factor (F3) que explica W, Co e Cd; e o elemento químico Sn. Para os índices de geoacumulação foi retido o primeiro factor (F1) que explica P e B (correlação positiva com o eixo) em oposição a Cu, Cr, Ni e V (correlação negativa com o eixo); o segundo factor (F2) que explica, Fe, Zn, e As; o elemento químico Cd; e o elemento químico U.

O estudo variográfico permitiu verificar a existência de estrutura espacial para as novas variáveis de síntese (F1, F2, F3, Sn-teores; F1, F2, Cd, U-índices de geoacumulação) e desta forma interpolar os valores recorrendo à Krigagem Ordinária. Esta cartografia estimada apresenta um cenário espacial médio, para a distribuição espacial dos teores dos elementos em estudo. Os sedimentos de corrente analisados apresentam-se extremamente poluídos nos elementos Cd e W e fortemente poluídos em Cr, B, Ag, Zn e Pb. A acumulação destes elementos nos sedimentos de corrente é superior nas proximidades das zonas mineiras abandonadas e suas áreas de influência.

As populações de São Miguel de Acha e Oledo encontram-se directamente sob a influência de algumas das antigas explorações mineiras abandonadas em estudo e como tal, para estas populações há um risco elevado de contacto com os elementos P, B, Be, Zn, As, W, Co e Cd (região de São Miguel de Acha) e de Cr, Ni, V, W, Co e Cd (região de Oledo). A presença elevada destes elementos pode trazer problemas graves à saúde humana devido à sua toxicidade.

**Keywords:** stream sediments, abandoned mines, estimated maps, public health.

## Abstract

To assess the risk to public health in the surrounding areas of old W-Sn and Pb-Zn mining resulting tailings and rejected materials, 511 samples were collected in stream sediments, inside and outside the mining influence area. According to the hydrological environment it was retained 333 samples, located in two contiguous watersheds and under the influence of ancient mining. With the ultimate goal of building estimated mapping it was explored two distinct methodological approaches. In the first having as attributes the levels of chemical elements analysis (Fe, Ba, P, Cu, Cr, Ag, B, Zn, Sb, Pb, Sn, Ni, V, Mn, Be, Mo, As, W, Co, Y, Cd, Nb e U) and adopting, in the second approach the corresponding classes of the index of geoaccumulation as variables (Fe, Ba, P, Cu, Cr, Ag, B, Zn, Sb, Pb, Ni, V, Mn, Mo, As, W, Co, Cd e U).

In a first exploratory multivariate statistical analysis, using the Principal Component Analysis (PCA), applied to contents and indexes of geoaccumulation, held back, in the first case, the first factor (F1) explaining, P, B, Be and U (negative correlation with the axis) as opposed to Cu, Cr, Ni and V (positive correlation with the axis); the second factor (F2) explaining Fe, Zn and As; the third factor (F3) explaining W, Co and Cd; and the Sn element. For the geoaccumulation indexes the first factor (F1) explained P and B (positive correlation with the axis) as opposed to Cu, Cr, Ni and V (negative correlation with the axis); the second factor (F2) explained Fe, Zn and As; the element Cd and the U element.

The variográfica study analysis showed the existence of spatial structure for the new variables synthesis (F1, F2, F3, Sn-levels; F1, F2, Cd, U-index of geoaccumulation) and thus interpolate the values using the ordinary kriging. This estimated mapping has an average spatial setting, the spatial distribution of element contents in this study. The stream sediments analyzed showed to be extremely polluted on Cd element and W element and strongly polluted on Cr, B, Ag, Zn and Pb. The accumulation of these elements in stream sediments analyzed is higher on abandoned mining areas and near their influence.

The population of São Miguel de Acha and Oledo are directly on the influence of some of the old abandoned mines in study, so, for these populations the risk of contact is higher for the elements P, B, Be, Zn, W, Co and Cd ( São Miguel de Acha area) and Cr, Ni, V, W, Co and Cd (Oledo.area). The presence of these elements can be quite harmful to human health because these are toxic elements.

## Índice Geral

Resumo .....	iii
Abstract .....	iv
1. Introdução .....	1
2. Caracterização da área de estudo .....	3
2.1. Enquadramento geográfico .....	3
2.2. Geologia e geomorfologia .....	3
2.3. Hidrografia .....	4
2.4. Climatologia .....	5
2.5. Flora .....	7
2.6. Uso e ocupação do solo .....	7
2.7. Caracterização das áreas mineiras abandonadas .....	8
3. Amostragem e Métodos .....	10
4. Geoquímica dos sedimentos de corrente .....	13
4.1. Análise dos teores totais .....	13
4.1.1. Estatística descritiva univariada .....	13
4.1.2. Estudo variográfico prévio .....	16
4.1.3. Análise multivariada - ACP .....	18
4.2. Análise dos índices de geoacumulação .....	21
4.2.1. Cálculo do índice de geoacumulação .....	21
4.2.2. Estatística descritiva univariada .....	23
4.2.3. Estudo variográfico dos índices de geoacumulação .....	26
4.2.4. Análise multivariada - ACP .....	28
5. Construção de cartografia .....	31
5.1. Distribuição espacial das concentrações totais .....	31
5.2. Distribuição espacial do índice de geoacumulação ( $I_{geo}$ ) .....	37
6. Os metais, a saúde e o ambiente .....	42
Considerações finais .....	46
Bibliografia .....	49

## Índice de Ilustrações

Figura 1- Localização geográfica da área em estudo (Instituto Geográfico do Exército, 1998) .....	3
Figura 2- Carta geológica simplificada (adaptado de LNEG, 2010) .....	4
Figura 3- Bacias que drenam a área em estudo .....	5
Figura 4- Classificação climática de Köppen (Instituto de Meteorologia, 2008).....	6
Figura 5- Representação dos dados relativos à precipitação na estação de monitorização do Ladoeiro (SNIRH, 1995-2012). .....	7
<b>Figura 6-</b> Carta de Ocupação de Solo da área em estudo (Instituto Geográfico Português, 2007) .	8
Figura 7- Localização das áreas mineiras em estudo .....	9
Figura 8- localização dos 333 pontos de amostragem de sedimentos de corrente seleccionados na área de estudo. ....	11
Figura 9- Histogramas e boxplots das concentrações totais dos elementos Fe, Cu e Cr nos sedimentos de corrente da área em estudo. ....	15
Figura 10- Histogramas e boxplots das concentrações totais do elemento Sn nos sedimentos de corrente da área em estudo .....	16
Figura 11- Variogramas representativos das concentrações totais dos elementos Be, Cr, P e Ni respectivamente, dos sedimentos de corrente da área em estudo.....	18
Figura 12- Distribuição dos valores próprios nos eixos factoriais obtidos para as concentrações totais dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo. ....	19
Figura 13- Círculo de correlações para as concentrações totais dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo, correspondente ao primeiro plano factorial. ....	21
Figura 14- Diagrama de barras e boxplots do índice de geoacumulação para os elementos Cr, Ag e B dos sedimentos de corrente da área em estudo .....	25
Figura 15- Diagrama de barras e boxplots do índice de geoacumulação para os elementos W e Cd dos sedimentos de corrente da área em estudo .....	26
Figura 16: Variogramas dos índices de geoacumulação dos elementos U, Cr, B e P respectivamente, dos sedimentos de corrente da área em estudo.....	27
Figura 17- Distribuição dos valores próprios nos eixos factoriais obtidos para os índices de geoacumulação dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo. ....	28
Figura 18- Círculo de correlações para os índices de geoacumulação dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo, correspondente ao primeiro plano factorial. ....	30
Figura 19- Variogramas dos factores F1, F2, F3 e Sn para as concentrações totais dos elementos analisados dos sedimentos de corrente da área em estudo. ....	32
<b>Figura 20-</b> Mapa obtido para o eixo factorial F1 a partir das concentrações totais dos elementos analisados dos sedimentos de corrente da área em estudo.....	33
<b>Figura 21-</b> Mapa obtido para o eixo factorial F2 a partir das concentrações totais dos elementos analisados dos sedimentos de corrente da área em estudo. ....	34
Figura 22- Mapa obtido para o eixo factorial F3 a partir das concentrações totais dos elementos analisados dos sedimentos de corrente da área em estudo. ....	35
Figura 23- Mapa obtido para as concentrações totais do elemento Sn dos sedimentos de corrente da área em estudo.....	36
Figura 24- Variogramas dos factores F1, F2, Cd e U para os índices de geoacumulação dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo. ....	37
Figura 25- Mapa obtido para o eixo factorial F1 a partir do índice de geoacumulação dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo. ....	38
Figura 26- Mapa obtido para o eixo factorial F2 a partir do índice de geoacumulação dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo. ....	39
Figura 27- Mapa obtido para o elemento químico Cd para o índice de geoacumulação dos sedimentos de corrente da área em estudo. ....	40
Figura 28- Mapa obtido para o elemento químico U a partir do índice de geoacumulação dos sedimentos de corrente da área em estudo .....	41

## Índice de tabelas

Tabela I- Características das áreas mineiras abandonadas em estudo .....	9
Tabela II- Estatística descritiva das concentrações totais dos elementos analisados dos sedimentos de corrente da área em estudo (n = 333 amostras).....	14
Tabela III- Parâmetros dos modelos teóricos dos variogramas das concentrações totais dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo. ....	17
Tabela IV- Valores próprios, percentagem de variabilidade e de variabilidade acumulada dos eixos factoriais obtidos para as concentrações totais dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo. ....	19
Tabela V- Matriz de correlação entre as variáveis originais e os novos factores obtidos pela ACP para as concentrações totais dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo.....	20
Tabela VI- Valores de teor de fundo utilizados no cálculo do índice de geoacumulação para os sedimentos de corrente da área em estudo. ....	22
Tabela VII:Classificação do Índice de Geoacumulação em função do grau de poluição.....	22
Tabela VIII- Valores mínimos e máximos apresentados para os índices de geoacumulação com base nas classes de Igeo dos elementos analisados dos sedimentos de corrente da área em estudo.....	23
Tabela IX- Estatística descritiva do Índice de geoacumulação dos elementos analisados para os sedimentos de corrente da área em estudo (n = 333 amostras).....	24
Tabela X- Parâmetros dos modelos teóricos dos variogramas dos índices de geoacumulação dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo. ....	27
Tabela XI: Valores próprios, percentagem de variabilidade e de variabilidade acumulada consumida pelos eixos factoriais obtidos para os índices de geoacumulação dos elementos analisados dos sedimentos de corrente da área em estudo. ....	28
Tabela XII- Matriz de correlação entre as variáveis originais e os novos factores obtidos pela ACP para os índices de geoacumulação dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo. ....	29
Tabela XIII- parâmetros dos modelos teóricos ajustados aos variogramas dos novos factores (ACP) para as concentrações totais dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo.....	31
Tabela XIV- Parâmetros dos modelos teóricos ajustados aos variogramas dos novos factores (ACP) para os índices de geoacumulação dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo. ....	37



## 1. Introdução

Desde a antiguidade que depósitos de minérios têm vindo a ser explorados sem que, na sua maioria, tivessem sido tomadas medidas para minimizar os impactes ambientais provocados durante e após o fim da sua fase de laboração e, conseqüentemente, encerramento. A extracção e processamento de minérios promove a dispersão de diversos elementos químicos no ambiente e a conseqüente contaminação de áreas, por vezes, consideráveis. Em Portugal, são conhecidas cerca de noventa áreas mineiras, actualmente abandonadas, e com provável contaminação associada (Gomes et al., 2011); tendo apenas algumas destas sido submetidas a processos de remediação ou recuperação ambiental. Uma vez que os resíduos produzidos permanecem acumulados em escombreliras, em muitos casos, de elevada volumetria, provocam consideráveis impactes nas águas, sedimentos e solos da área de exploração e sua envolvente (Godinho et al., 2010).

A região de Castelo Branco apresenta diversos recursos minerais com potenciais efeitos no ambiente e saúde humana (Antunes, 2008); de entre os quais se pode destacar a contaminação por metais pesados provenientes das mineralizações exploradas. Estes elementos constituem um dos grupos de poluentes inorgânicos mais tóxicos que podem ocorrer nos solos (Siegel, 2002) e a sua toxicidade aumenta com o processo de acumulação e reduzida atenuação natural (Bradl, 2004). Os impactes ambientais associados a antigas explorações mineiras, actualmente abandonadas, encontram-se directamente relacionados com o tipo e localização dos jazigos minerais explorados, assim como, com as condições climáticas e hidrológicas da área de exploração. Em Portugal, estão identificadas cerca de 40 explorações mineiras do grupo do estanho - volfrâmio (Sn-W) (Neves, 2011). Estes elementos, quando em concentrações elevadas no ambiente podem ser considerados como indicadores de poluição, uma vez que são elementos vestigiais relacionados preferencialmente com rochas graníticas e mineralizações associadas (Silveira, 2008). A presença de estanho no ambiente em quantidades significativas, é indicador de poluição cujas principais fontes identificadas correspondem a: combustão de carvão, incineração de resíduos e lamas de efluentes (Emsley, 1998); (Reimann & Caritat, 1998). Os principais impactes negativos no ambiente associado ao volfrâmio, por sua vez, devem-se à descarga de águas ácidas e contaminantes (metais pesados e compostos orgânicos originados nas reacções químicas resultantes da separação dos metais), resíduos da extracção, processos de erosão, entre outros (Silveira, 2008).

A geoquímica e o conhecimento dos processos geoquímicos são fundamentais para determinar a abundância dos vários elementos na Terra e os processos que condicionam a sua distribuição e migração (Mason & Moore, 1982). Um estudo com base nos elementos geoquímicos presentes em determinados ambientes permite avaliar os impactes da contaminação dos ecossistemas por elementos químicos, principalmente metais pesados, no ambiente e na saúde humana (Siegel, 2002). Os elementos químicos são libertados ao longo do tempo do ambiente

geoquímico primário dispersando-se no ambiente nos solos, sedimentos e águas, tanto através de processos naturais de meteorização, como de processos associados à actividade humana. A sua presença em concentrações residuais pode ser considerada normal ou natural nos solos, sedimentos, águas e organismos vivos. Contudo, em zonas contaminadas e poluídas, estes elementos podem apresentar concentrações muito elevadas, especialmente nos horizontes mais superficiais dos solos, podendo tornar difícil distinguir a sua origem humana e/ou natural nos sedimentos e nos solos (Ribeiro, 2005).

Com este trabalho pretende-se avaliar a mobilidade dos elementos químicos associados a estruturas mineralizadas em Sn-W e Pb-Zn, desde as zonas exploradas e actualmente abandonadas, para os sedimentos de corrente adjacentes e quais as suas possíveis implicações ao nível da saúde humana. Neste sentido, pretende-se avaliar o risco ambiental associado a actividades mineiras actualmente abandonadas, na região centro de Portugal, tendo por base a composição química de sedimentos de corrente, e sua distribuição espacial na área em estudo e envolvente.

## 2. Caracterização da área de estudo

### 2.1. Enquadramento geográfico

O local em estudo localiza-se na região centro de Portugal, na sub-região da Beira Baixa Interior Sul, distrito de Castelo Branco, concelho de Idanha-a-Nova (freguesias de Idanha-a-Nova, São Miguel de Acha, Oledo e Proença-a-Velha); concelho de Fundão (freguesia de Orca) e concelho de Castelo Branco (freguesia de Lousa). Encontra-se limitada pelos concelhos de Penamacor e Fundão, a norte, concelho de Castelo Branco a oeste, e pelos rios Tejo e Erges, a sul e este, respectivamente.

Está representada na Carta Militar de Portugal n.º. 269 de São Miguel de Acha (Idanha-a-Nova) de 1998, do Instituto Geográfico do Exército, à escala de 1/25000. O centro da área tem coordenadas UTM próximas de M=272000 e P=335000 (Figura 1).

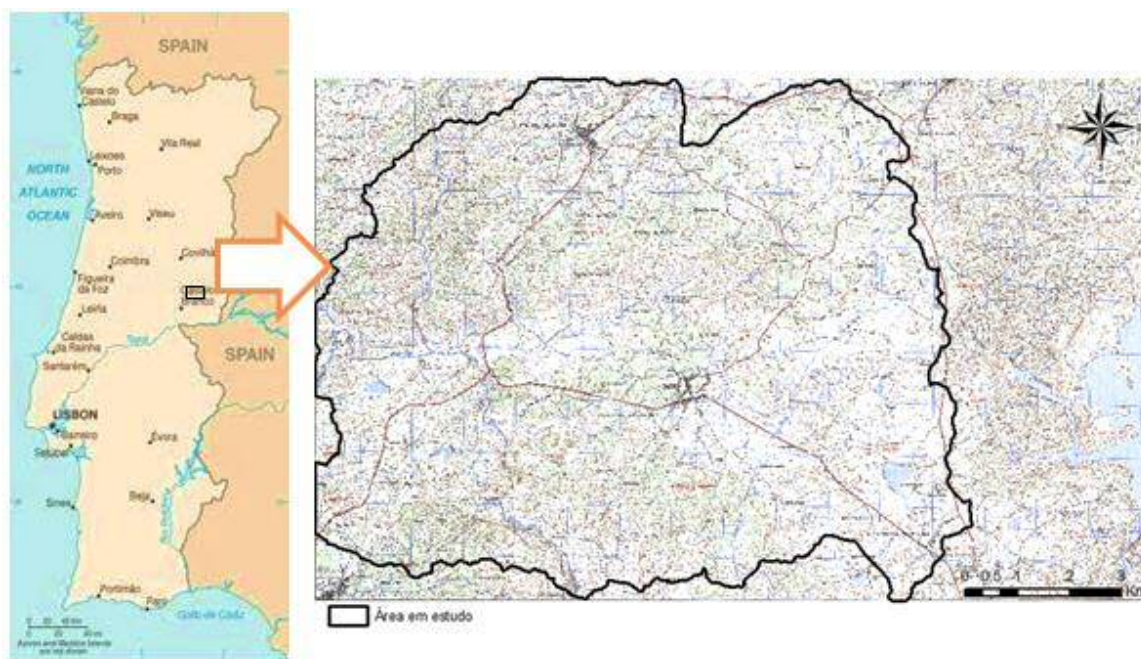


Figura 1- Localização geográfica da área em estudo (Instituto Geográfico do Exército, 1998)

### 2.2. Geologia e geomorfologia

O concelho de Idanha-a-Nova situa-se no rebordo sul da Cordilheira Central Portuguesa, sendo caracterizado por terrenos geralmente aplanados, com excepção das cristas quartzíticas e "inselbergs" graníticos, que são drenados por cursos de água mais ou menos encaixados e controlados, regra geral, pelas estruturas tectónicas.

Neste concelho podem ser identificadas unidades geomorfológicas distintas, como a superfície de Castelo Branco onde afloram metassedimentos do Grupo das Beiras, granitos e granodioritos; os relevos residuais das cristas quartzíticas do sinclinal de Penha Garcia; "restos"

da Superfície da Meseta entre as cristas quartzíticas do Ordovício; e a Superfície do Alto Alentejo (Sequeira & Proença, 2004).

Nesta região, dominam as rochas metassedimentares do Grupo das Beiras, pertencentes ao “Complexo xisto-grauváquico”, ante-ordovicico que datam do câmbrio ao pré-câmbrio, tendo sido depositadas em ambiente marinho. Apresentam dobramentos muito apertados resultantes de duas fases de deformação tectónica; uma primeira fase, de idade ante-ordovicica e uma outra mais recente, correspondente à 1ª fase de deformação varisca (Sequeira & Proença, 2004). O Grupo das Beiras encontra-se intruído por rochas granodioríticas, de idade varisca pré-rogénicas (490-470 Ma), e graníticas tardi a pós-rogénicas (310-290 Ma), associadas ao ciclo varisco, assim como por rochas filonianas com características ácidas, básicas e intermédias, coincidentes com o “ciclo atlântico” (230-70 Ma) (LNEG, 2010). Estas intrusões produziram auréolas de metamorfismo de contacto nos metassedimentos onde ocorrem, com extensões variáveis. Sobre estas formações, encontram-se sedimentos continentais de idade cenozóica/terciária, do período neogénico (miocénico superior a pliocénico superior), constituídos por depósitos aluvionares provenientes da alteração das rochas preexistentes e outros resultantes da fase de deformação correspondente ao soerguimento da Cordilheira Central Portuguesa. Mais recentemente, encontram-se também representados terraços fluviais, coluviões e aluviões de idade quaternária (Plistocénico a Holocénico) (Sequeira & Proença, 2004).

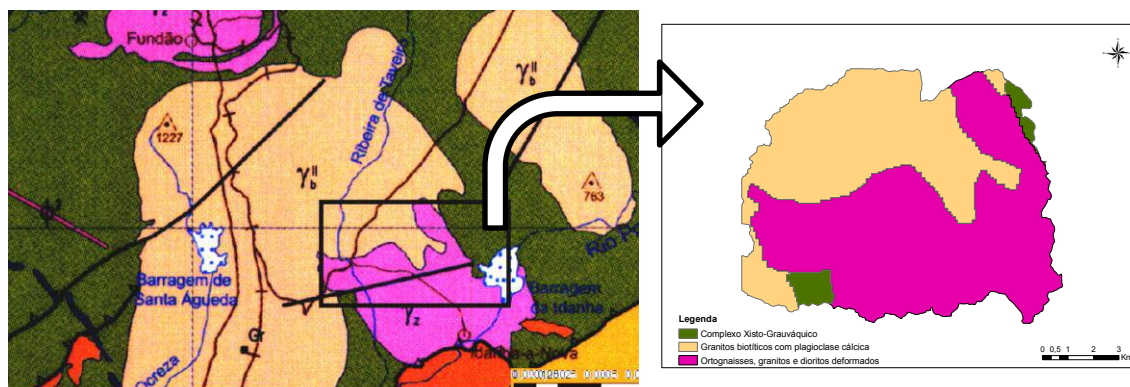


Figura 2- Carta geológica simplificada (adaptado de LNEG, 2010)

Legenda: Área em estudo □

Y<sub>z</sub>: ortognaisses, granitos e dioritos deformados; Y<sub>b</sub>: granitos biotíticos com plagioclase cálcica; NP<sub>c</sub>: filitos, metagrauvaques, metaquartzovaques, metaconglomerados, metacalcários e xistos (flysch); gnaisses e migmatitos.

### 2.3. Hidrografia

A área em estudo encontra-se inserida na bacia hidrográfica do rio Tejo e sub-bacia do Rio Ponsul (Figura 3).

As amostras de sedimentos de corrente, correspondem a materiais heterogéneos provenientes da erosão dos materiais litológicos e envolvente das linhas de água foram colhidas ao longo das linhas de água presentes na área e que compreendem, entre outras, a ribeira do Vale do Freixo, ribeira do Taveiro, ribeira de Alpreade, ribeira da Caniça, ribeira do Oledo, ribeira das Taliscas e Rio Ponsul.

A definição das principais bacias hidrográficas e o respectivo enquadramento da amostragem em estudo, no contexto da dinâmica da rede de drenagem, permitiu uma delimitação morfológica e hidrográfica essencial para a caracterização e compreensão dos processos em estudo. Assim obteve-se como zona de influência, a área representada na Figura 3.

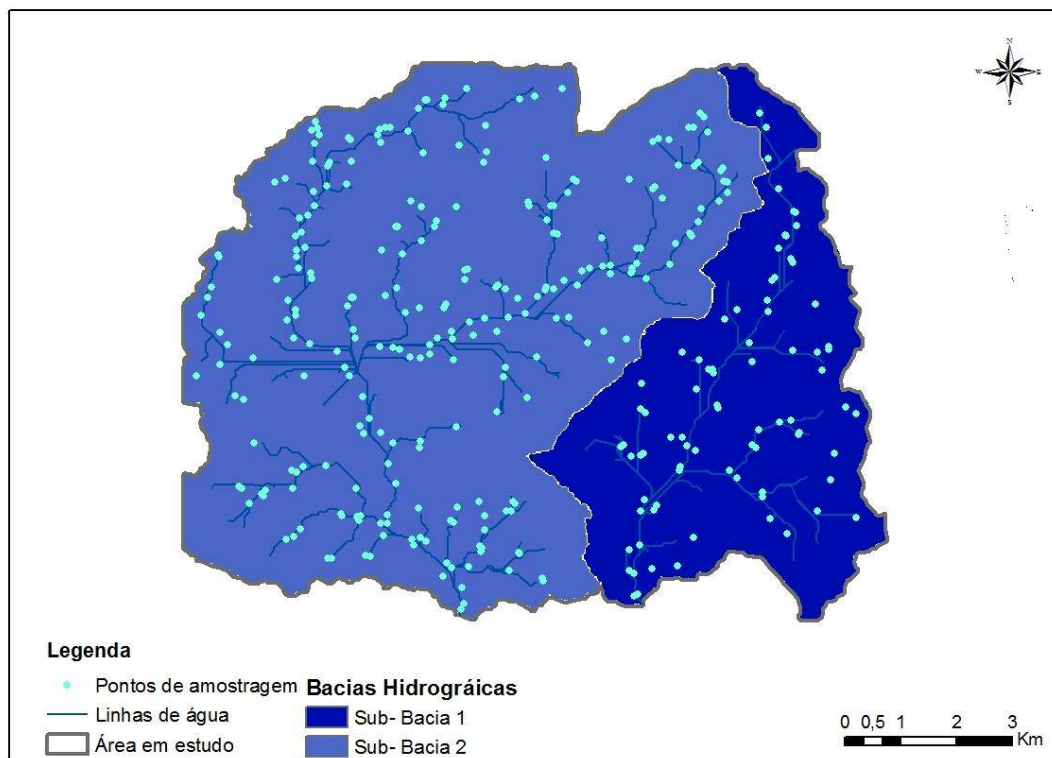


Figura 3- Bacias que drenam a área em estudo

## 2.4. Climatologia

De acordo com a classificação climática proposta por Köppen (Instituto de meteorologia, 2011) (Figura 4), a área em estudo caracteriza-se por um clima temperado, do tipo C e subtipo Csa, caracterizado por verões quentes e secos.

Para uma adequada caracterização do clima é necessária informação sobre os valores médios de vários elementos climáticos, para um período de 30 anos o que, segundo a Organização Meteorológica Mundial, será representativo e permitirá definir normais climatológicas (Instituto de meteorologia, 2008). Na inexistência deste conjunto de dados para o concelho de Idanha-a-Nova, recorreu-se aos dados fornecidos pela estação de medição de monitorização do Ladoeiro, localizada mais próximo da área de estudo (Figura 5).

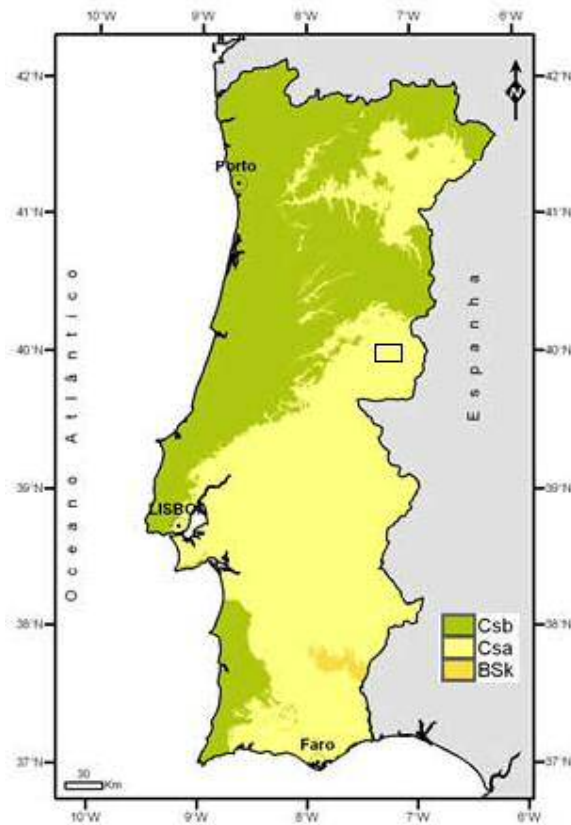


Figura 4- Classificação climática de Köppen (Instituto de Meteorologia, 2008)

Legenda: Área de estudo □

Csb: clima temperado com verão seco e temperado; Csa: clima temperado com verão seco e quente; BSk: clima seco de estepe fria;

Na área em estudo verifica-se a ocorrência de precipitação cerca de 75 e 100 dias por ano, com valores de precipitação total anual entre 700 e 800 mm, podendo ainda verificar-se valores entre 800 e 1000 mm a NW da área (Agência Portuguesa do Ambiente, 2012). Através da análise da figura 5, pode-se constatar que os meses de Dezembro de 2010, Janeiro e Maio de 2011 são os que apresentam maior precipitação, com valores de 158.4, 73.6 e 73.3 mm respectivamente. Em contraste, os meses de Junho, Julho e Agosto foram os menos pluviosos, não se tendo verificado um registo significativo nos dois primeiros (Figura 5).

Quanto ao escoamento superficial, os valores médios anuais, variam entre 200 e 300 mm, podendo a sul, variar entre 150 e 200 mm (Agência Portuguesa do Ambiente, 2012).

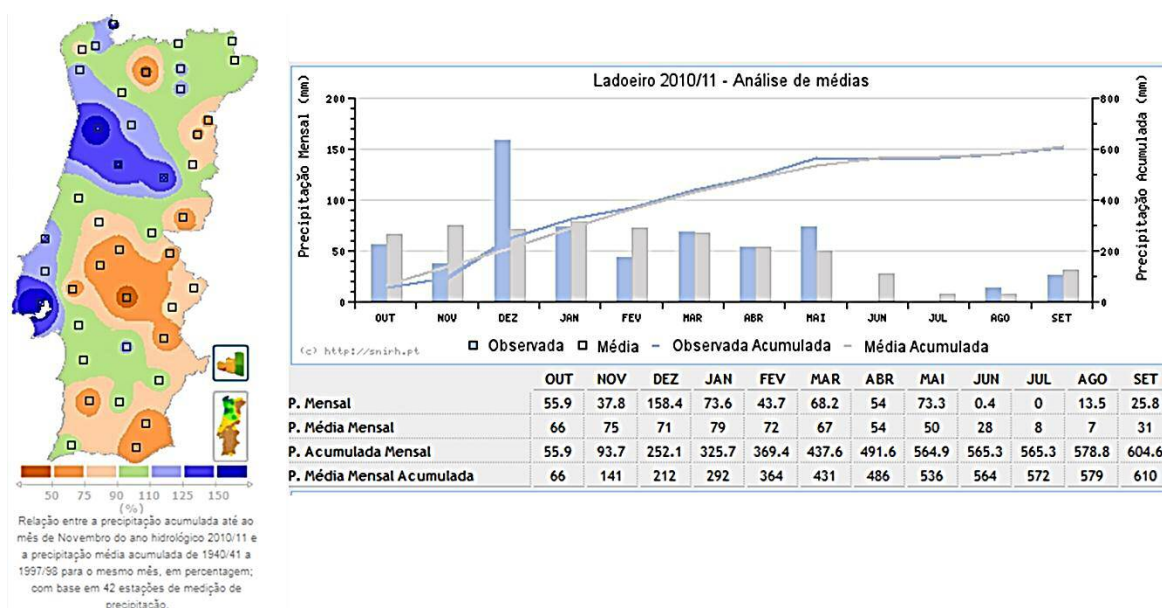


Figura 5- Representação dos dados relativos à precipitação na estação de monitorização do Ladoeiro (SNIRH, 1995-2012).

Em termos de temperatura, ocorrem valores médios anuais de temperatura entre o 12,5° e 15°C na maior parte da área de estudo podendo verificar-se entre 15° e 16°C mais a sul (Agência Portuguesa do Ambiente, 2012).

Relativamente à insolação, os valores médios anuais variam entre as 2600 e 2700 horas e entre as 2700 e 2800 horas (Agência Portuguesa do Ambiente, 2012).

## 2.5. Flora

A área em estudo insere-se na unidade fitogeográfica da Beira Baixa Interior, Campo Albicastrense, estando bioclimaticamente enquadrada no andar mesomediterrânico seco a sub-húmido, em que a vegetação fitoclimática característica é do domínio do azinhal (*Quercus rotundifolia*) (Consórcio Geometal, 2004). Esta formação é mais frequente nas áreas de solos relacionados com xistos ou depósitos do Miocénico inferior, enquanto que, nas áreas de influência granítica, o sobreiro (*Quercus suber*) distribui-se mais intensamente. Como consequência da profunda degradação do bosque natural, resultou a cobertura generalizada de matos de composição florística variada, com elementos arbustivos do primitivo sub-bosque de mistura com outros introduzidos. Assim, diferenciam-se giestais mistos de giesta branca (*Cytisus multiflorus*) e de piorno (*Retama sphaerocarpa*), carrascais (*Quercus coccifera*), matorrais de esteva (*Cistus ladanifer*) e tojo-gadanho (*Genista hirsuta*). Por sua vez, nas áreas graníticas, o rosmaninhal (*Lavandula pedunculata ssp.*) torna-se mais frequente (Consórcio Geometal, 2004).

## 2.6. Uso e ocupação do solo

Com base na Carta de Ocupação de Solo de 2007 (COS07), é possível definir na área em estudo, áreas agrícolas e agro-florestais, representativas de culturas temporárias e permanentes;

florestas e meios naturais e semi-naturais; águas interiores como linhas e corpos de água; e territórios artificializados relativos a tecidos urbanos, industria, extracção de inertes, áreas de deposição de resíduos, entre outras (Figura 6).

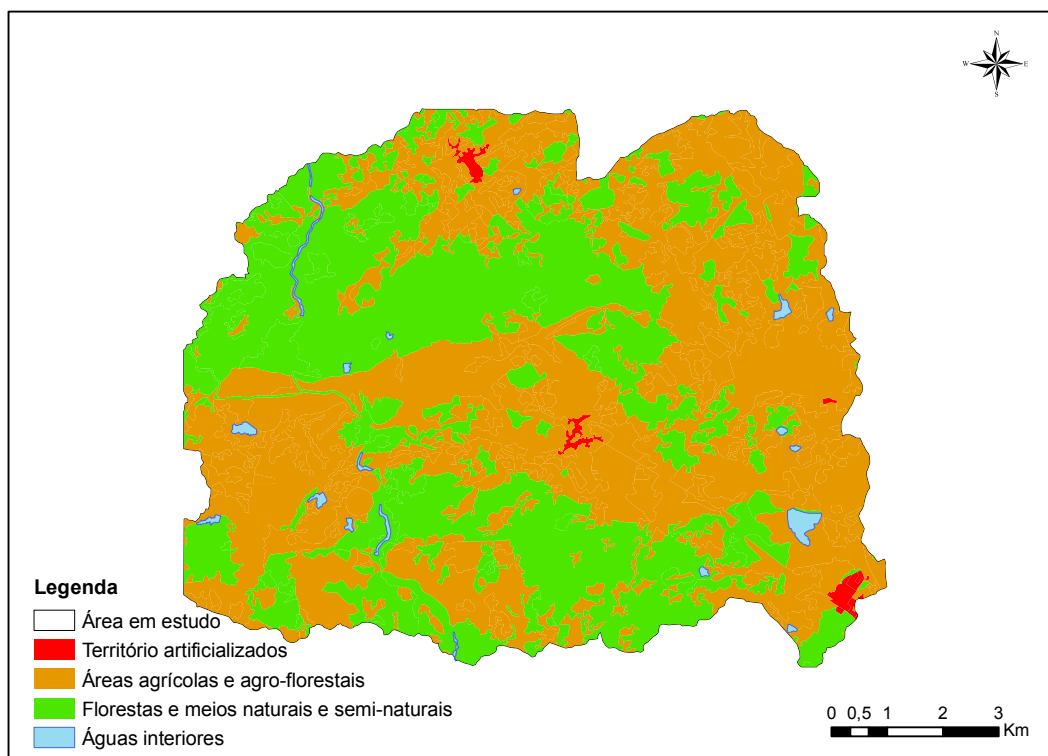


Figura 6- Carta de Ocupação de Solo da área em estudo (Instituto Geográfico Português, 2007)

## 2.7. Caracterização das áreas mineiras abandonadas

As minas em estudo ocorrem na faixa mineralizada em Sn-W de Góis-Segura. Encontram-se distribuídas por onze concessões e podem ser agrupadas de acordo com o tipo de exploração dominante realizada (Figura 7).

A NW da área, na freguesia de São Miguel de Acha, localizam-se as minas de Cabeço Onde Mataram os Homens (Concessão nº 245), Chão do Tirante (Concessão nº 353), Fonte dos Sinos (Concessão nº 1619), nas quais era explorado chumbo e zinco, e na mina Barroca do Marmeleiro (Concessão nº 336) com exploração de zinco, chumbo, estanho e volfrâmio. Assim como, a mina de exploração de estanho e volfrâmio (Concessão nº 165) e a de volfrâmio (Concessão nº 164) (Figura 7).

A SW, na freguesia de Lousa, localiza-se a mina de Fonte Serrana (Concessão nº 372) com exploração de Volfrâmio e estanho e a mina de Ronções (Concessão nº 373), apenas de volfrâmio (Figura 7).

A SE, ocorrem as explorações de Tapada de Carvalhos (Concessão nº 2214) e Carvalhal (Concessão nº 2215), na freguesia de Idanha-a-Nova, e a Concessão nº 324, na freguesia de Oledo, com extracção de estanho e volfrâmio (Figura 7).

Com base no estudo realizado de delimitação das bacias hidrográficas presentes na área em estudo (Figura 3), as minas de Fonte Serrana e Carvalhal encontram-se fora da influência da bacia hidrográfica, pelo que não serão consideradas neste estudo (Figura 7 e Tabela I).

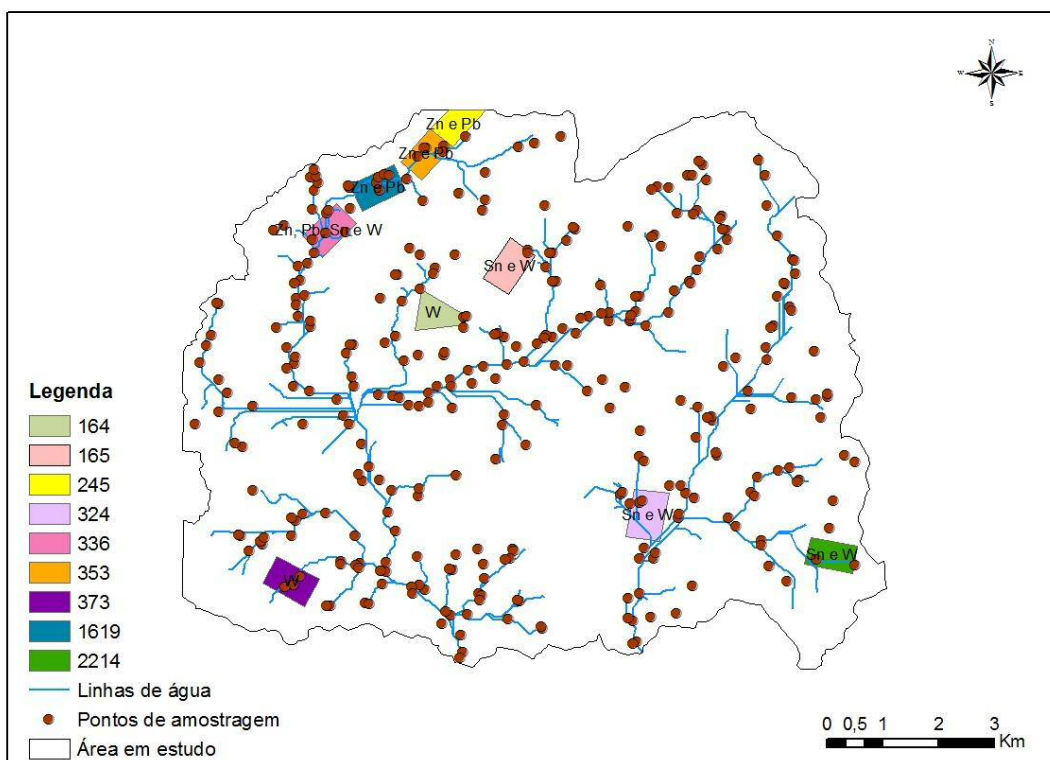


Figura 7- Localização das áreas mineiras em estudo

Tabela I- Características das áreas mineiras abandonadas em estudo

Nome	Identificação	Minério explorado
Barroca do Marmeleiro	336	Zn, Pb, Sn e W
Fonte dos Sinos	1619	Zn e Pb
Chão do Tirante	353	Zn e Pb
Cabeço Onde Mataram os Homens	245	Zn e Pb
Concessão	164	W
Concessão	165	Sn e W
Tapada de Carvalhos	2214	Sn e W
Concessão	324	Sn e W
Roncões	373	W

### 3. Amostragem e Métodos

Nas escombrelas da mina e em seu redor, o conteúdo mineralógico resulta dos minerais explorados, de materiais inertes constituintes da ganga das mineralizações ou dos minerais constituintes das rochas encaixantes (Maroto et al., 1997). Nestas zonas ocorre a produção de concentrações anómalas de elementos químicos relativamente ao fundo geoquímico, que afectam os solos e águas, bem como, todos os que destes dependem directa ou indirectamente.

A lixiviação dos elementos químicos a partir das escombrelas e a sua dispersão química é condicionada pela capacidade de migração durante o processo de dispersão, ou seja, da sua mobilidade. Contudo, os metais nos solos são fortemente adsorvidos pelos minerais de argila, matéria orgânica e óxidos de Fe e Mn (Cardoso Fonseca et al., 1995).

A presença de anomalias de alguns elementos químicos nas zonas envolventes de escombrelas ou de áreas mineralizadas indicam a acção dominante de agentes eólicos, no transporte de finas poeiras a partir das camadas mais superficiais da escombrela (Santos Oliveira et al., 1998).

Os sedimentos de corrente resultam da alteração das rochas por diversos processos físicos e químicos, que são mobilizados, transportados e depositados ao longo das linhas de água. Podem apresentar composição variável, de acordo com o tipo de rochas, mineralizações e solos, existência de focos naturais de contaminação ou devido a actividades humanas na área envolvente.

No estudo da composição geoquímica dos sedimentos de corrente e sua distribuição espacial na área, dos 511 pontos de amostragem existentes foram seleccionadas 333 amostras representativas distribuídas pela área de estudo e, associadas às diferentes litologias presentes (Figura 8). Deste total de 333 amostras de sedimentos de corrente, 184 foram colhidas a montante da área de influência das antigas explorações mineiras. As restantes 149 amostras, foram recolhidas nas áreas mineiras abandonadas ou recebendo directamente a sua influência; sendo os potenciais locais de maior contaminação (Figura 8).

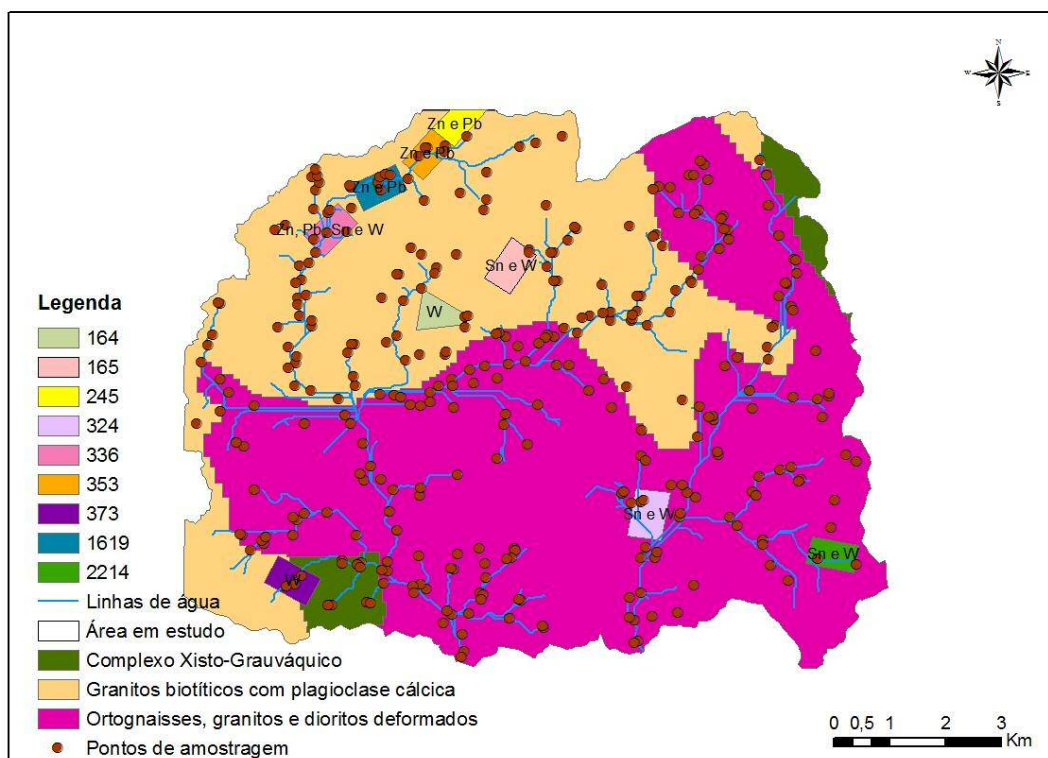


Figura 8- localização dos 333 pontos de amostragem de sedimentos de corrente seleccionados na área de estudo.

Nos diversos pontos de amostragem seleccionados foi colhida a fracção fina superficial dos sedimentos de corrente, ao longo de uma área com cerca de 102 km<sup>2</sup>. Na selecção destes locais da recolha de sedimentos de corrente, foram consideradas as amostras localizadas mais de 50 metros a montante e de 100 metros a jusante do ponto de confluência de linhas de água. Todas as amostras foram sujeitas a um conjunto de processos de preparação que incluem redução, secagem e moagem. Os processos de determinação das concentrações totais dos elementos químicos analisados, por espectrometria de emissão de plasma, teve por limite de precisão 20 ppm para o As e 10 ppm para o B, Cu, Ba, Pb, Zn, Ni, Sb, Mn, Be, Mo, V, Co, Y, Cd, Nb, Fe, P, Cr, Ag e U. O Sn e W foram analisados por fluorescência de raios-x e por espectrometria de emissão de plasma, e tiveram como limite de detecção 4% (IGM, 1988).

De acordo com o enquadramento hidrológico retiveram-se 333 amostras, localizadas em duas bacias hidrológicas contíguas e sob a influência de antigas explorações mineiras de W-Sn. Tendo como objectivo final a construção de mapas de distribuição espacial, exploraram-se duas abordagens metodológicas distintas. A primeira tendo como atributos os teores totais dos elementos químicos analisados (Fe, Ba, P, Cu, Cr, Ag, B, Zn, Sb, Pb, Sn, Ni, V, Mn, Be, Mo, As, W, Co, Y, Cd, Nb e U) e a segunda adoptando como variáveis as classes correspondentes aos índices de geoacumulação (Fe, Ba, P, Cu, Cr, Ag, B, Zn, Sb, Pb, Ni, V, Mn, Mo, As, W, Co, Cd e U) correspondentes.

Para ambos os conjuntos, foi realizada uma análise estatística descritiva univariada com determinação de parâmetros estatísticos de tendência central e dispersão, bem como as

representações gráficas histogramas e boxplots, permitindo a caracterização das distribuições e localização de outliers. Para cada atributo (teores e índices de geoacumulação) procedeu-se ao estudo variográfico experimental de forma a avaliar a estrutura espacial dos atributos em estudo (teores e índices de geoacumulação). Aqueles que apresentaram um comportamento espacial aleatório (variograma efeito de pepita) foram eliminados do passo metodológico seguinte. Depois de retidas as variáveis apresentando estrutura espacial, e de forma a permitir a diminuição do espaço de análise pela construção de variáveis de síntese, realizaram-se Análise em Componentes Principais (ACP -técnica de Spearman de forma a retirar peso aos outliers), aplicadas aos dois tipos de variáveis em estudo (teores e índices de geoacumulação). Foi, para o caso das concentrações totais retido o primeiro factor (que explica 32,28% de inércia) e que permite explicar o Cu, Cr, Ni e V (correlação positiva com F1) em oposição a P, B, Be e U (correlação negativa com F1); o segundo factor (que explica 19,33% de inércia) e que permite explicar o Fe, Zn e As (correlação positiva com F2); o terceiro factor (que explica 12,25% de inércia) e explica o W, Co e Cd (correlação positiva com F3) e o elemento químico Sn que explica 9,10% de inércia. Para os índices de geoacumulação, foi retido o primeiro factor (que explica 32,41% de inércia) e permite explicar o P e B (correlação positiva com F1) em oposição a Cr, Ni, e V (correlação negativa com F1); o segundo factor (que explica 21,35% de inércia) e que permite explicar o Fe, Zn e As (correlação positiva com F2); o elemento químico Cd que explica 10,87% de inércia e o elemento químico U que explica 8,80% de inercia.

O estudo variográfico permitiu verificar a existência de estrutura espacial, para ambos os casos (F1, F2, F3, Sn-teores; F1, F2, Cd, U-índices de geoacumulação) e desta forma, foi possível interpolar os valores recorrendo à Krigagem Ordinária. A resultante cartografia estimada apresenta um cenário da distribuição espacial estimada média, a distribuição espacial dos teores dos elementos em estudo para os atributos considerados.

## 4. Geoquímica dos sedimentos de corrente

Os sedimentos de corrente possuem uma grande capacidade de armazenar elementos químicos, muitas vezes, tóxicos e poluentes. As características dos elementos químicos, nomeadamente a sua mobilidade e dispersão, levam a que se encontrem em maiores quantidades acumulados em sedimentos e nos solos, e em menor quantidade, dissolvidos na água. A capacidade de fixação destes elementos químicos depende, entre outros factores, da natureza mineralógica, características granulométricas e propriedades físicas e químicas dos sedimentos (Boaventura, 1989). Os sedimentos de corrente podem apresentar na sua composição química concentrações elevadas de elementos considerados tóxicos para os seres vivos, que ao entrarem na cadeia alimentar do homem, podem constituir perigo para a saúde pública. A determinação da composição química dos sedimentos de corrente e teores dos seus elementos constituintes é de extrema importância pois podem ser bons indicadores de contaminação ambiental, permitindo avaliar a sua variabilidade espacial e, conseqüente, uma monitorização temporal.

### 4.1. Análise dos teores totais

Como referido anteriormente, as 333 amostras de sedimentos de corrente em estudo foram analisadas de acordo com os teores ou concentrações totais dos elementos químicos analisados e os índices de geoacumulação. Segue-se a análise efectuada tendo por base os teores totais dos elementos químicos.

#### 4.1.1. Estatística descritiva univariada

Para avaliar o comportamento das variáveis em estudo, foram determinados os principais parâmetros estatísticos descritivos: valores mínimos e máximos, média, mediana e desvio padrão (Tabela II). Foram construídos histogramas considerando 10 classes e boxplots, para cada um dos 23 elementos à excepção do Sb que não apresenta variabilidade estatística, uma vez que todos os valores são iguais. Como exemplo, são apresentados nas Figuras 9 e 10, os histogramas e boxplots para os elementos químicos de maior impacte na região, Sn, V, Mn, W, As e U; estando os restantes em anexo (Anexo I)

Tabela II- Estatística descritiva das concentrações totais dos elementos analisados dos sedimentos de corrente da área em estudo (n = 333 amostras)

Elemento (ppm)	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão
Fe (%)	0,9	5,2	2,5	2,5	0,8
Ba	124,0	655,0	341,4	327,0	87,2
P	299,0	1865,0	928,5	885,0	318,8
Cu	5,0	49,0	9,3	5,0	7,9
Cr	61,0	431,0	190,4	181,0	74,4
Ag	0,1	1,6	0,2	0,1	0,1
B	5,0	33,0	11,4	12,0	5,4
Zn	19,0	1465,0	82,4	73,0	83,3
Sb	10,0	10,0	10,0	10,0	0,0
Pb	5,0	299,0	25,4	23,0	21,8
Sn	5,0	138,0	8,7	5,0	12,1
Ni	5,0	58,0	14,5	12,0	10,0
V	12,0	176,0	46,9	38,0	27,1
Mn	147,0	1323,0	489,9	470,0	179,1
Be	1,0	16,0	4,8	3,0	3,3
Mo	1,0	6,0	1,5	1,0	1,0
As	10,0	105,0	19,7	10,0	14,8
W	5,0	80,0	7,2	5,0	6,5
Co	5,0	16,0	5,5	5,0	1,8
Y	5,0	54,0	14,0	13,0	6,0
Cd	0,5	11,0	0,6	0,5	0,6
Nb	5,0	12,0	5,1	5,0	0,8
U	0,5	21,0	3,5	2,9	2,3

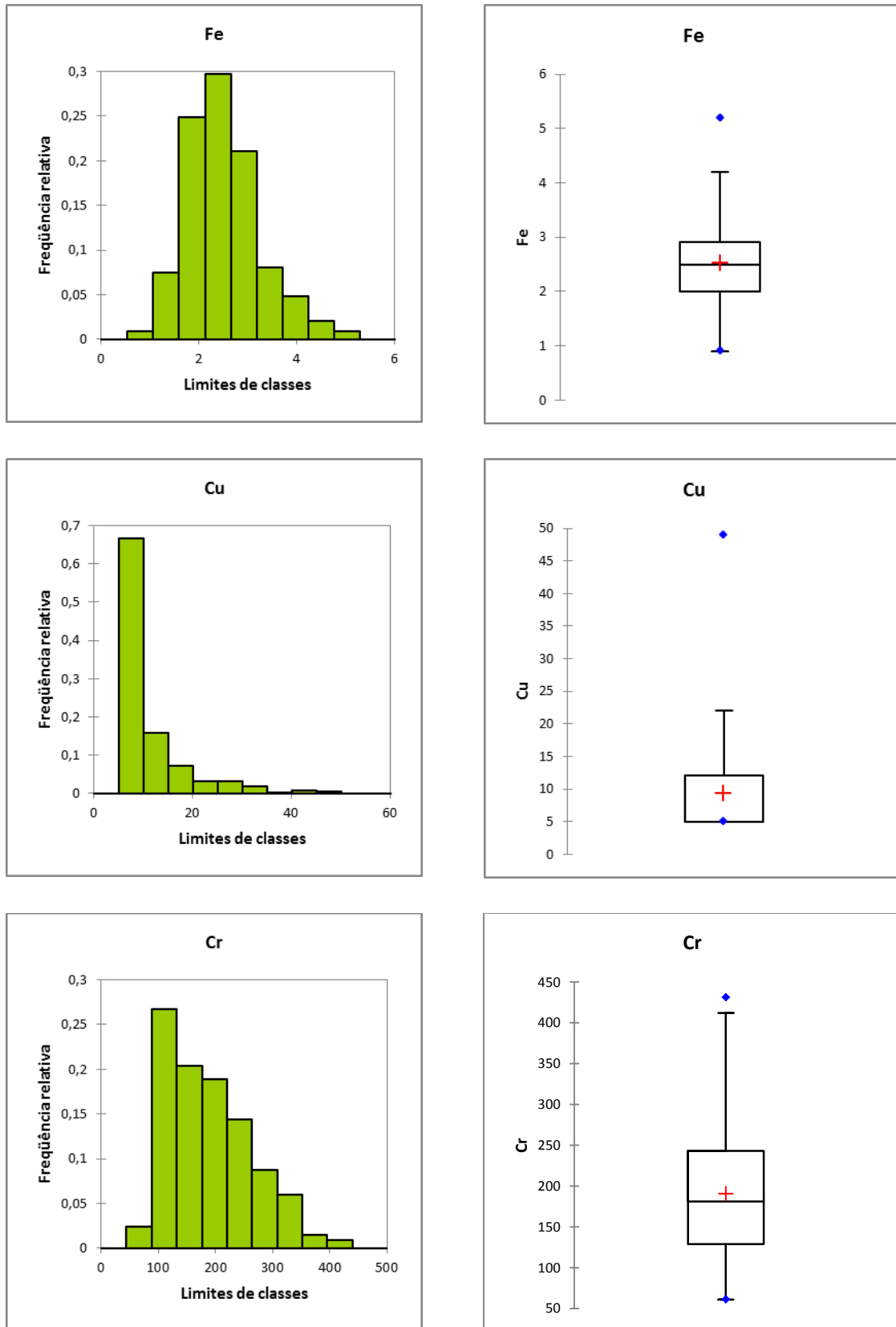


Figura 9- Histogramas e boxplots das concentrações totais dos elementos Fe, Cu e Cr nos sedimentos de corrente da área em estudo.

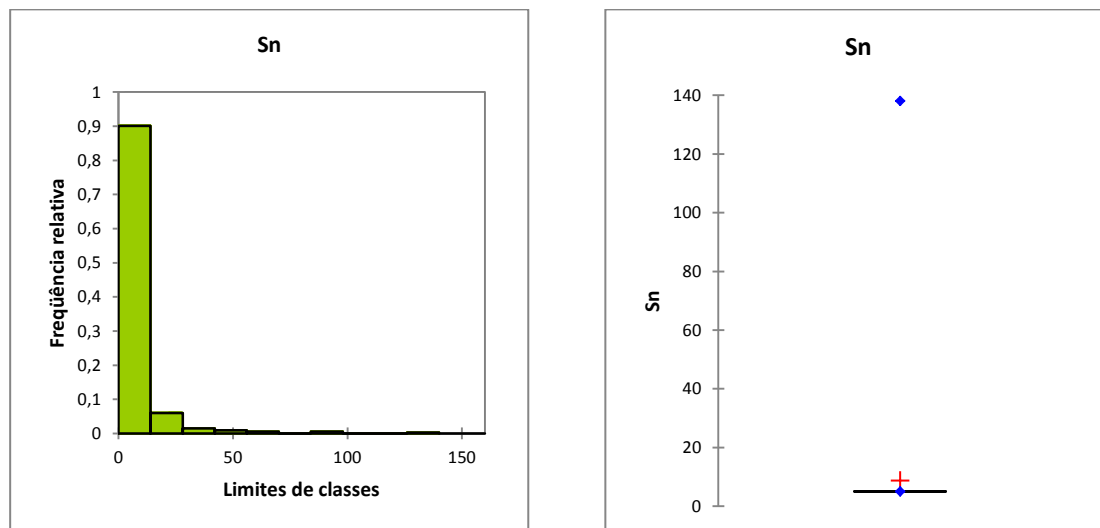


Figura 10- Histogramas e boxplots das concentrações totais do elemento Sn nos sedimentos de corrente da área em estudo

Da análise dos histogramas e boxplots, é possível observar: a) A distribuição para o elemento Fe pode considerar-se normal, logo simétrica em torno da média (Figura 9); b) Os elementos Cu e Sn apresentam valores anómalos severos à direita (Figura 9 e 10) e c) O Cr apresenta uma assimetria à direita, acentuada, sem evidências de valores anómalos severos (Figura 9).

Desta forma, no estudo multivariado seguinte, adoptou-se a técnica de Spearman para a realização da Análise em Componentes Principais, de forma a atenuar o impacto da presença de valores anómalos severos (caso do Cu e Sn) e assimetrias pronunciadas (caso do Cr).

#### 4.1.2. Estudo variográfico prévio

Uma vez que as nossas variáveis apresentam um comportamento comum às variáveis regionalizadas (Matheron, 1971), construíram-se os variogramas experimentais para todas as variáveis em estudo, definindo desta forma a estrutura espacial destas variáveis.

As metodologias geoestatísticas permitem o estudo de fenómenos que variam no tempo e/ou no espaço, pela incorporação, nos diferentes algoritmos, dos parâmetros ajustados aos variogramas dos atributos em estudo (Deutsch & Journel, 1992). A função variograma construída a partir de pontos separados no espaço e/ou tempo permite quantificar a variabilidade observada para diferentes medidas de distancia, permitindo a descrição do comportamento espacial de variáveis regionalizadas (Gooverts, 1997). Os algoritmos de interpolação de krigagem, permitem a construção de mapas de distribuição espacial da propriedade em estudo (Journel, 1978).

Na tabela III encontram-se representados os parâmetros teóricos ajustados aos variogramas experimentais para as concentrações totais dos elementos em estudo.

Tabela III- Parâmetros dos modelos teóricos dos variogramas das concentrações totais dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo.

Características do variograma					
Elementos	Amplitude (A)	Nugget (Co)	Sill (C1)	Efeito de pepita (%)	Observações
Fe	11680	0,35658	0,41219	46	Aceite
Ba	2337	4249,2	3476,1	59	Excluído
P	8013	36247	88312	29	Aceite
Cu	11680	37,446	43,904	46	Aceite
Cr	8284	1247,5	5862,3	18	Aceite
Ag	2133	0,014057	0,0016318	89	Excluído
B	8998	11,05	25,314	30	Aceite
Zn	11680	716,96	760,06	49	Aceite
Pb	2555	416,95	60,031	87	Excluído
Sn	7097	56,383	115,72	33	Aceite
Ni	9030	37,029	91,175	29	Aceite
V	9480	368,89	544,72	40	Aceite
Mn	11680	27616	7638,5	78	Excluído
Be	11680	0,96715	16,544	6	Aceite
Mo	7608	0,8067	0,2406	77	excluído
As	6750	121,52	120,51	50	Aceite
W	2318	23,447	23,682	50	Aceite
Co	11680	1,9378	2,4649	44	Aceite
Y	11680	12,388	40,588	23	Aceite
Cd	11680	0,23927	0,30688	44	Aceite
Nb	11680	0,47028	0,25463	65	Excluído
U	3687	2,9883	2,3449	56	Aceite

Na Figura 11, são apresentados os variogramas para os elementos químicos Be, Cr, P e Ni, a título exemplificativo, estando os restantes em anexo (Anexo II).

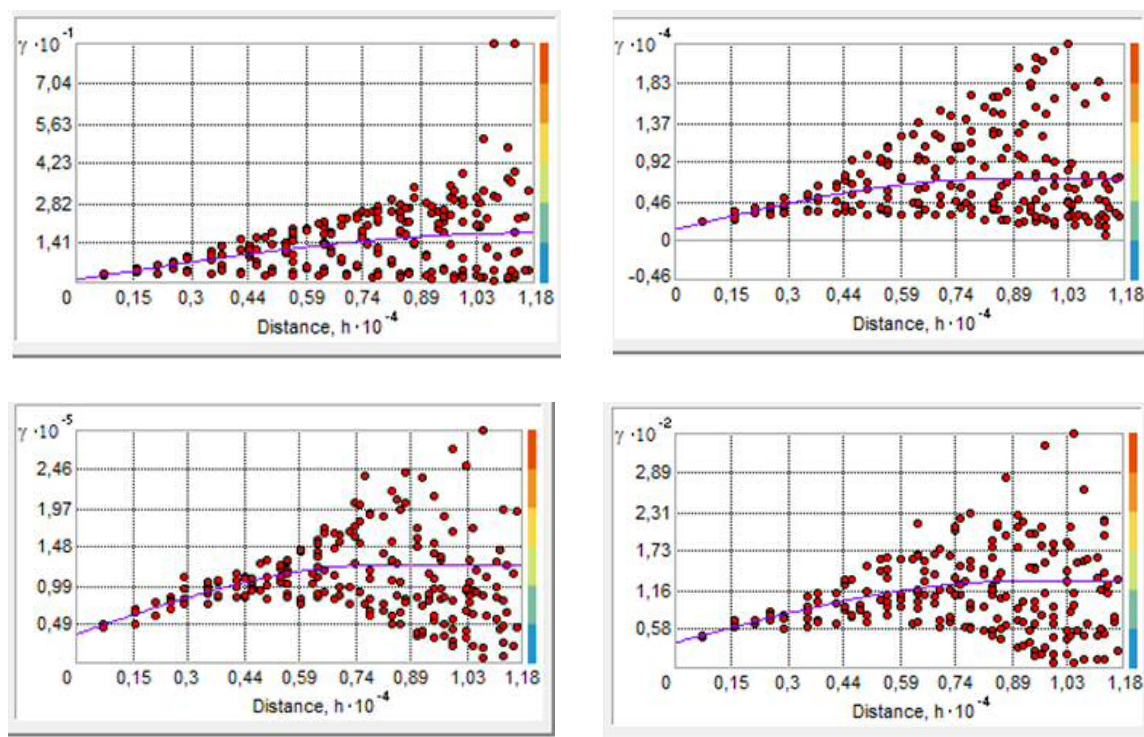


Figura 11- Variogramas representativos das concentrações totais dos elementos Be, Cr, P e Ni respectivamente, dos sedimentos de corrente da área em estudo.

De acordo com os variogramas experimentais obtidos representativos para as concentrações totais, observa-se que os elementos Ag, Ba, Mo, Mn, Pb e Nb (Anexo II), possuem um elevado efeito de pepita, praticamente puro, sendo que por isso não apresentam uma variabilidade estrutural suficiente, e não serão tidos em conta no decorrer do trabalho. Para os elementos químicos Fe, P, Cu, Cr, B, Zn, Sn, Ni, V, Be, As, W, Co, Y, Cd e U (Figura 11 e Anexo II) os variogramas obtidos são bons, revelando que a maior percentagem da variabilidade do atributo é consumida no processo de interpolação (Tabela III).

#### 4.1.3. Análise multivariada - ACP

A análise estatística multivariada compreende um conjunto de técnicas dedicado à análise de dados sempre que o conjunto de indivíduos seja caracterizado por um vector de atributos. De entre estas, pode ser destacada a Análise em Componentes Principais (ACP), que consiste num método factorial que permite transformar um conjunto original de variáveis quantitativas correlacionadas, num outro conjunto, de síntese, as componentes principais que permitem reduzir o espaço de observação e, desta forma, uma avaliação mais objectiva das relações existentes na matriz de partida, permitindo eliminar algumas das variáveis originais com pouca informação (Vicini, 2005).

A Análise em Componentes Principais (ACP) foi utilizada para interpretar as relações existentes entre as concentrações totais de 16 elementos (Fe, P, Cu, Cr, B, Zn, Sn, Ni, V, Be, As, W, Co, Y, Cd e U) obtidos nas 333 amostras de sedimentos de corrente. Esta análise foi realizada aplicando a técnica de Spearman para a construção da matriz de correlações, permitindo a

atenuação da presença de valores anómalos severos, em alguns dos atributos em estudo, pela utilização de números de ordem.

Como resultado da ACP, retiveram-se os quatro primeiros eixos para explicar a relação entre os elementos químicos (Figura 12), pois apresentam valor próprio superior a 1, e permitem explicar 72,97% da variabilidade total (Tabela IV), sendo que os elementos se encontram melhor representados nestes eixos (Tabela V).

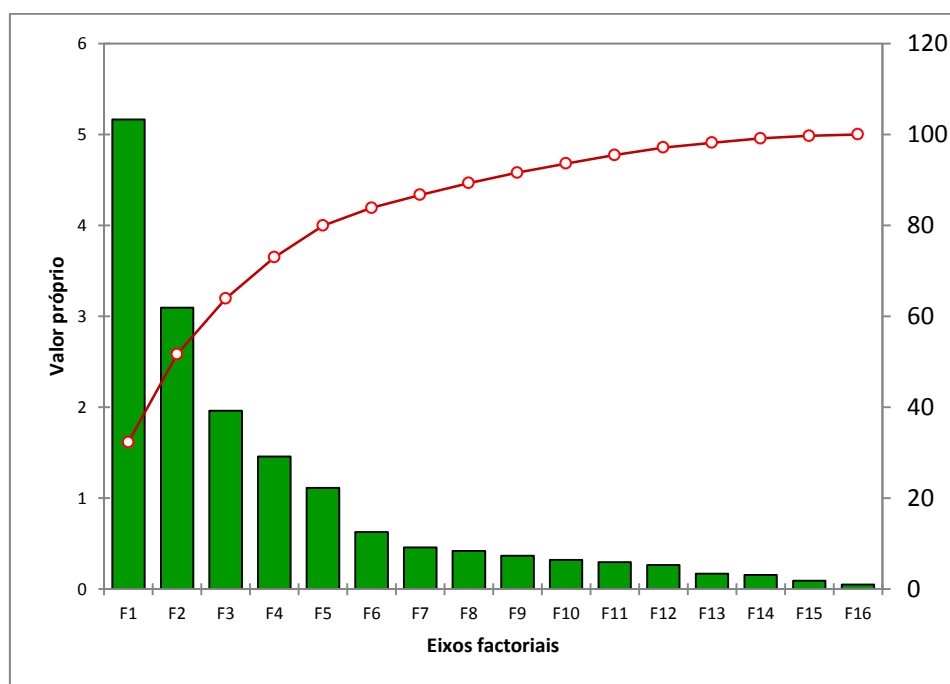


Figura 12- Distribuição dos valores próprios nos eixos factoriais obtidos para as concentrações totais dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo.

Tabela IV- Valores próprios, percentagem de variabilidade e de variabilidade acumulada dos eixos factoriais obtidos para as concentrações totais dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Valor próprio	5,17	3,09	1,96	1,46	1,11	0,63	0,46	0,42
Variabilidade (%)	32,28	19,33	12,25	9,10	6,95	3,91	2,86	2,62
% Acumulada	32,28	51,61	63,876	72,97	79,92	83,82	86,68	89,30

A tabela V apresenta as correlações entre os elementos químicos nos eixos factoriais que melhor os representam, bem como, a forma como estes elementos se associam e explicam cada eixo factorial.

Tabela V- Matriz de correlação entre as variáveis originais e os novos factores obtidos pela ACP para as concentrações totais dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo.

Elementos	Eixos factoriais							
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Fe	0,376	<b>0,853</b>	-0,229	-0,013	0,077	0,032	-0,079	0,054
P	<b>-0,780</b>	0,124	-0,013	0,347	-0,071	-0,182	-0,108	0,205
Cu	<b>0,601</b>	0,490	0,065	0,384	-0,311	-0,108	0,091	-0,150
Cr	<b>0,695</b>	-0,315	0,109	0,270	0,207	-0,253	-0,159	0,257
B	<b>-0,780</b>	0,212	0,006	0,168	-0,167	-0,276	-0,192	0,062
Zn	0,016	<b>0,857</b>	0,085	0,127	-0,286	-0,152	0,090	-0,171
Sn	-0,205	-0,015	0,265	<b>0,728</b>	0,365	0,275	-0,258	-0,282
Ni	<b>0,855</b>	0,263	-0,045	0,153	0,035	-0,031	-0,132	0,189
V	<b>0,715</b>	0,618	-0,135	-0,090	0,090	0,051	-0,035	0,033
Be	<b>-0,752</b>	0,374	-0,022	-0,330	0,175	-0,067	-0,007	-0,131
As	-0,546	<b>0,507</b>	-0,032	0,204	-0,010	0,448	0,163	0,316
W	-0,079	0,153	<b>0,701</b>	0,204	0,451	-0,170	0,406	0,069
Co	0,182	0,137	<b>0,748</b>	-0,338	-0,211	0,277	-0,200	0,076
Y	-0,292	0,555	-0,118	-0,370	0,597	-0,105	-0,164	-0,005
Cd	0,033	0,119	<b>0,852</b>	-0,235	-0,142	-0,117	-0,123	-0,003
U	<b>-0,829</b>	0,139	0,029	0,108	-0,232	-0,030	-0,053	0,092

Os valores a negrito representam o maior valor de cada variável em cada eixo.

Com efeito, o eixo factorial 1 permite explicar 32,28 % da variância total e é representado pelos elementos Cu, Cr, Ni e V em oposição ao P, B, Be e U (Tabela V). Esta associação terá um carácter predominantemente litológico, isto é, estará relacionado com as litologias que são atravessadas pelos sedimentos de corrente em mobilidade na rede de drenagem e, pontualmente, com algumas das mineralizações presentes (Tabela IV e Figura 13).

O eixo factorial 2 explica 19,33 % (Tabela IV) da variância total e é representado pelos elementos Fe, Zn e As (Tabela V e Figura 13); estando relacionado com as actividades mineiras abandonadas e paragéneses associada às mineralizações (e.g., Fe e As).

O eixo factorial 3, por sua vez, é representado pelos elementos W, Co e Cd (Tabela V e Figura 13) e permite explicar 12,25 % (Tabela IV) da variabilidade total, o que sugere tratar-se de um factor de mineralização da área, estando relacionado com a presença de filões de quartzo mineralizados; à semelhança do indicado anteriormente.

O eixo factorial 4 explica o elemento Sn (Tabela V e Figura 13), com uma variância total de 9,10% (Tabela IV), proveniente de exploração de Sn realizada na maioria das explorações actualmente abandonadas existentes na área em estudo.

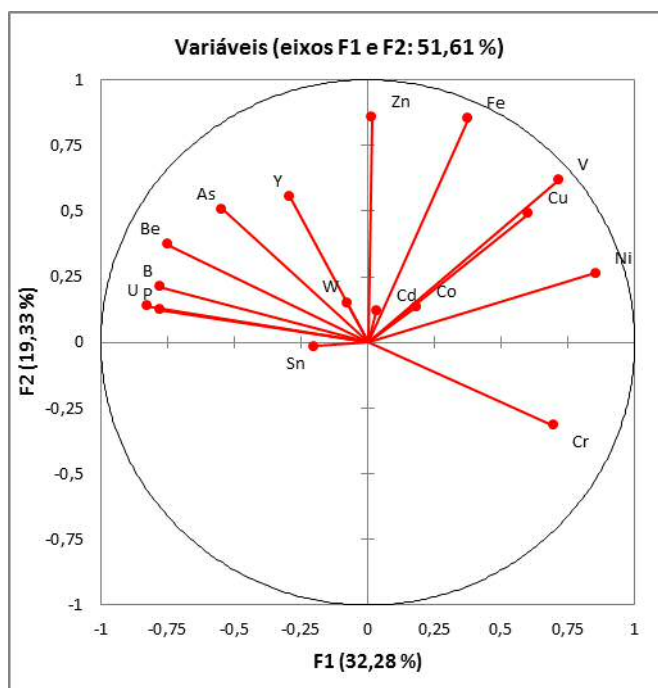


Figura 13- Círculo de correlações para as concentrações totais dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo, correspondente ao primeiro plano factorial.

## 4.2. Análise dos índices de geoacumulação

À semelhança do efectuado para as concentrações totais dos elementos químicos analisados, segue-se a análise efectuada tendo por base os índices de geoacumulação, para posterior comparação dos resultados obtidos.

### 4.2.1. Cálculo do índice de geoacumulação

Sendo os sedimentos de corrente uma fonte de acumulação de possíveis contaminantes, os metais pesados neles presentes tendem a ficar retidos nos materiais orgânicos e inorgânicos; o que vai promover a contaminação de vastas áreas, uma vez que ficam disponíveis, sendo facilmente transportados ao longo de vastas distâncias e para outros ecossistemas.

Como não existe legislação nacional relativa aos valores paramétricos recomendados para os elementos químicos e parâmetros físico-químicos presentes nos sedimentos de corrente, a intensidade da poluição por metais pesados pode ser determinada através de uma medida quantitativa da contaminação progressiva dos sedimentos, designada por Índice de Geoacumulação ( $I_{geo}$ ) definido por Müller (1979), em que:

$$I_{geo} = \log_2 [C_n / (1.5 \times B_n)], \text{ onde}$$

\_  $C_n$  é a concentração determinada para um determinado elemento;

\_  $B_n$  é o valor de fundo geoquímico, tendo sido utilizada a mediana de teores químicos obtidos em 635 amostras de sedimentos de corrente de Portugal Continental (Ferreira, 2000) (Tabela VI);

\_ 1.5 é o factor de multiplicação devido a possíveis variações de valores do fundo geoquímico atribuídas a efeitos geológicos.

Tabela VI- Valores de teor de fundo utilizados no cálculo do índice de geoacumulação para os sedimentos de corrente da área em estudo.

Elementos	Fe	Ba	P	Cu	Cr	Ag	B	Zn	Sb	Pb	Ni	V	Mn	Mo	As	W	Co	Cd	U
Teores de Fundo	2,45	68	460	22	23	0,1	2	74	2	19	19	26	411	1	9	1	9	0,2	5

Teores de fundo em ppm e em % para o Fe.

O valor do índice de geoacumulação obtido será classificado em sete classes de grau de poluição (Tabela VII), correspondendo a classe 6 ao grau de poluição mais elevado, reflectindo concentrações de aproximadamente 100 vezes superiores ao valor de fundo do elemento. A classe 1, por sua vez, corresponde ao grau de poluição mais baixo, reflectindo teores que são cerca de 3 vezes superiores aos teores de fundo do elemento (Müller, 1979).

Tabela VII: Classificação do Índice de Geoacumulação em função do grau de poluição

Classe de $I_{geo}$	$I_{geo}$	Grau de Poluição
6	>5	Extremamente poluído
5	>4-5	Forte a extramente poluído
4	>3-4	Fortemente poluído
3	>2-3	Moderado a fortemente poluído
2	>1-2	Moderadamente poluído
1	>0-1	Não poluído a moderadamente poluído
0	<0	Praticamente não poluído

Nos sedimentos de corrente da área em estudo, os elementos que atingem classes superiores de índice de geoacumulação são o W e o Cd (classe 6), enquanto que o Cr, B, Ag, Zn e Pb também apresentam valores elevados, mas classificados na classe 4 (Tabela VIII).

O elemento químico W apresenta valores de índice de geoacumulação acima da classe 2, atingindo até classes de 5 e 6; o que pode ser explicado por possuir teores cerca de 80x superiores ao teor de fundo, assim como o Cd que apresenta concentrações cerca de 55x superiores aos teores de fundo para este elemento. Estes teores classificam os sedimentos de corrente como, moderadamente poluídos a fortemente poluídos; atingindo também a classe 6. O grau de poluição obtido pode ser justificado pelas mineralizações existentes na área de estudo e paragénese associadas. Os sedimentos de corrente da área em estudo classificam-se desde moderadamente poluídos até fortemente poluídos em Cr, B, Pb e Ag; o que pode ser atribuído às características litológicas das diversas formações que originaram os sedimentos de corrente e a valores pontuais associados às mineralizações existentes na área, como é o caso do Zn.

Tabela VIII- Valores mínimos e máximos apresentados para os índices de geoacumulação com base nas classes de Igeo dos elementos analisados dos sedimentos de corrente da área em estudo.

Elemento	Classes de Igeo	
	Mínimo	Máximo
Fe	0	1
Ba	1	3
P	0	2
Cu	0	1
Cr	1	4
Ag	0	4
B	1	4
Zn	0	4
Sb	2	2
Pb	0	4
Ni	0	1
V	0	3
Mn	0	2
Mo	0	2
As	0	3
W	2	6
Co	0	1
Cd	1	6
U	0	2

#### 4.2.2. Estatística descritiva univariada

Para os índices de geoacumulação obtidos nos sedimentos de corrente da área em estudo, foram determinados os principais parâmetros estatísticos descritivos: valores mínimos e máximos, média, mediana e desvio padrão (Tabela IX); de modo a avaliar o comportamento dos 19 elementos em estudo. Foram construídos diagramas de barras considerando 10 classes e boxplots, para cada variável, com exceção do Sb que não apresenta significado estatístico, pois o seu índice de geoacumulação é constante em todas as amostras (Tabela IX). Nas figuras 14 e 15, estão representados os diagramas de barras e boxplots para os índices de geoacumulação dos elementos Cr, Ag, B, W e Cd, por serem os mais representativos, estando os restantes em anexo (Anexo III)

Tabela IX- Estatística descritiva do Índice de geoacumulação dos elementos analisados para os sedimentos de corrente da área em estudo (n = 333 amostras).

Elemento	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão
Fe	0	1	0,1	0,0	0,2
Ba	1	3	2,1	2,0	0,4
P	0	2	0,8	1,0	0,6
Cu	0	1	0,0	0,0	0,1
Cr	1	4	2,8	3,0	0,6
Ag	0	4	0,4	0,0	0,6
B	1	4	2,1	2,0	0,9
Zn	0	4	0,1	0,0	0,4
Sb	2	2	2,0	2,0	0,0
Pb	0	4	0,2	0,0	0,5
Ni	0	1	0,1	0,0	0,3
V	0	3	0,6	0,0	0,7
Mn	0	2	0,2	0,0	0,4
Mo	0	2	0,3	0,0	0,6
As	0	3	0,7	0,0	0,9
W	2	6	2,3	2,0	0,7
Co	0	1	0,0	0,0	0,1
Cd	1	6	1,1	1,0	0,5
U	0	2	0,0	0,0	0,2

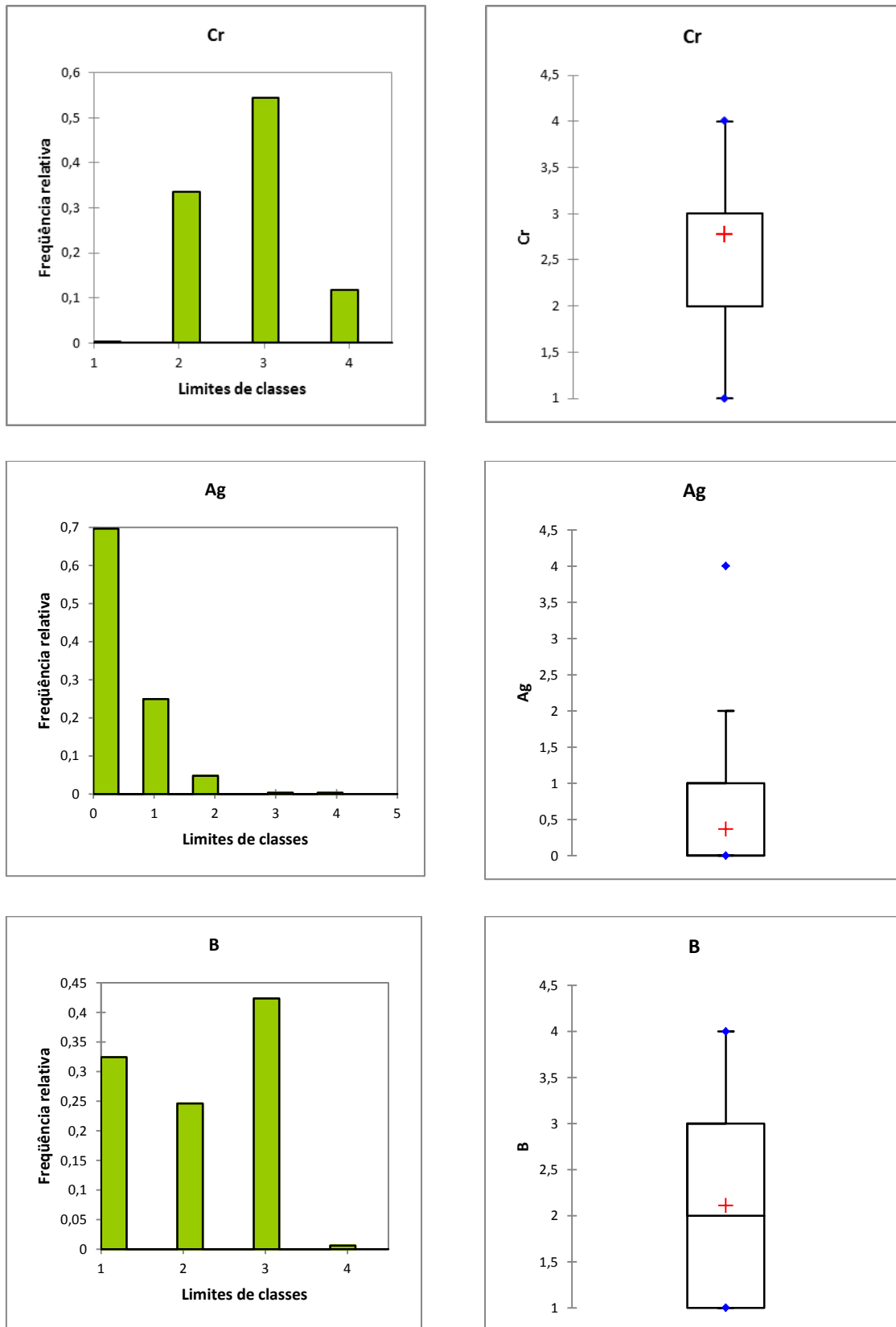


Figura 14- Diagrama de barras e boxplots do índice de geoacumulação para os elementos Cr, Ag e B dos sedimentos de corrente da área em estudo

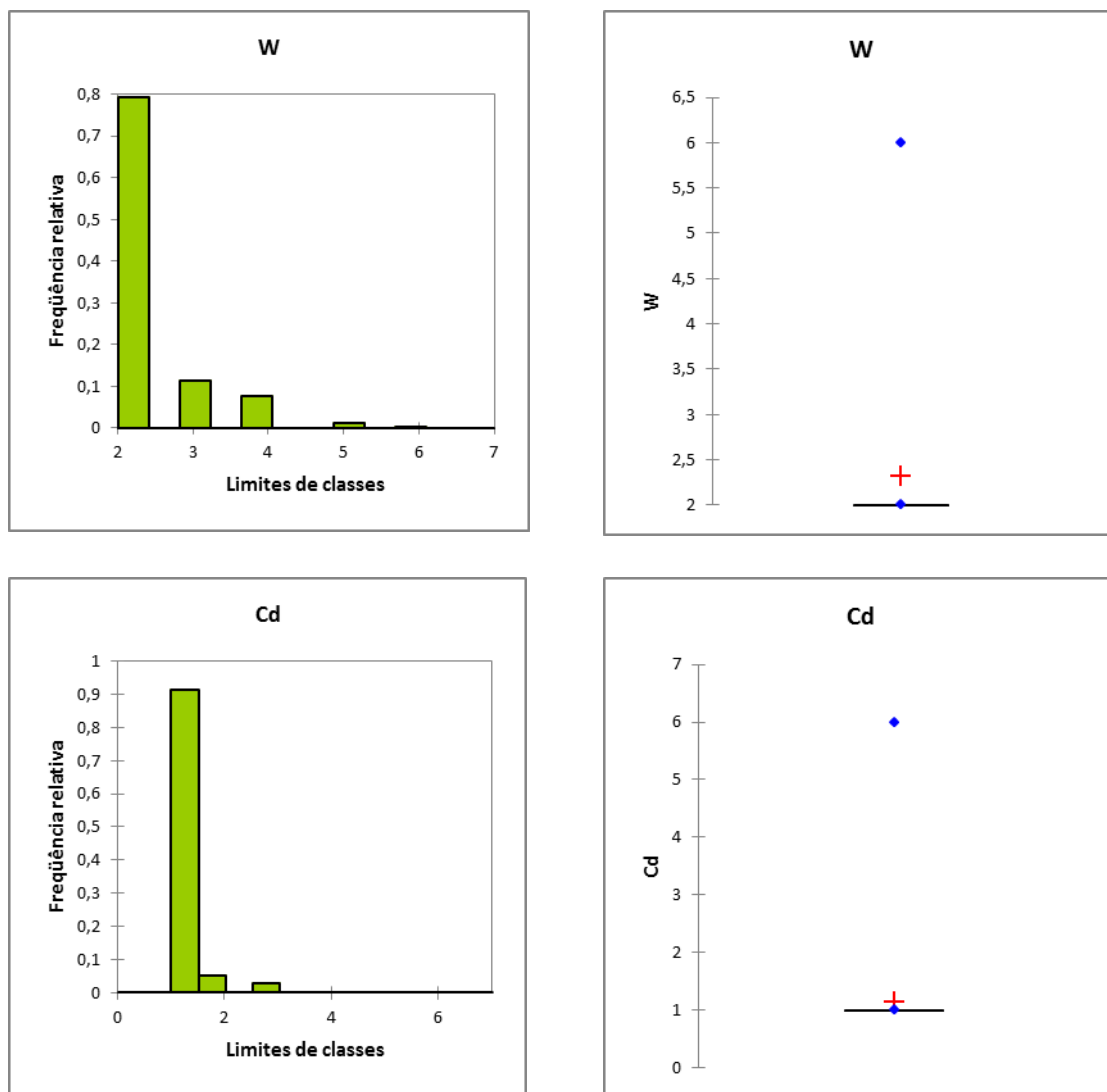


Figura 15- Diagrama de barras e boxplots do índice de geoacumulação para os elementos W e Cd dos sedimentos de corrente da área em estudo

Os valores apresentados pelos índices de geoacumulação permitem determinar a existência de classes correspondentes à presença de valores anómalos (W e Cd) (Figura 15).

#### 4.2.3. Estudo variográfico dos índices de geoacumulação

Para os índices de geoacumulação, foram construídos os variogramas experimentais e ajustados os respectivos modelos teóricos para os 19 elementos. A figura 16 mostra alguns dos variogramas dos índices de geoacumulação dos elementos que, com base na análise estrutural apresentam continuidade espacial, como o U, Cr, B e P. Os restantes encontram-se representados em anexo (Anexo IV).

Na tabela X encontram-se representados os parâmetros dos modelos teóricos dos variogramas obtidos para os índices de geoacumulação.

Tabela X- Parâmetros dos modelos teóricos dos variogramas dos índices de geoacumulação dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo.

Características do variograma					
Elementos	Amplitude (A)	Nugget (Co)	Sill (C1)	Efeito de pepita (%)	Observações
Fe	11680	0,038324	0,035537	52	Aceite
Ba	4608	0,16267	0,033606	83	Excluído
P	9552	0,16982	0,28316	37	Aceite
Cu	11680	0,011649	0,0099871	54	Excluído
Cr	7890	0,13484	0,37519	26	Aceite
Ag	11680	0,34177	0,071063	83	Excluído
B	7809	0,30676	0,6053	34	Aceite
Zn	11680	0,095402	0,098527	49	Aceite
Pb	5689	0,20691	0,072954	74	Excluído
Ni	11680	0,04609	0,056797	45	Aceite
V	7303	0,27568	0,29138	49	Aceite
Mn	11680	0,14326	0,029364	83	Excluído
Mo	6231	0,28903	0,067468	81	Excluído
As	7732	0,41277	0,58096	42	Aceite
W	6217	0,41831	0,078343	84	Excluído
Co	11680	0,010226	0,0078302	57	Excluído
Cd	11680	0,15363	0,17444	47	Aceite
U	601	0,025882	0,30566	8	aceite

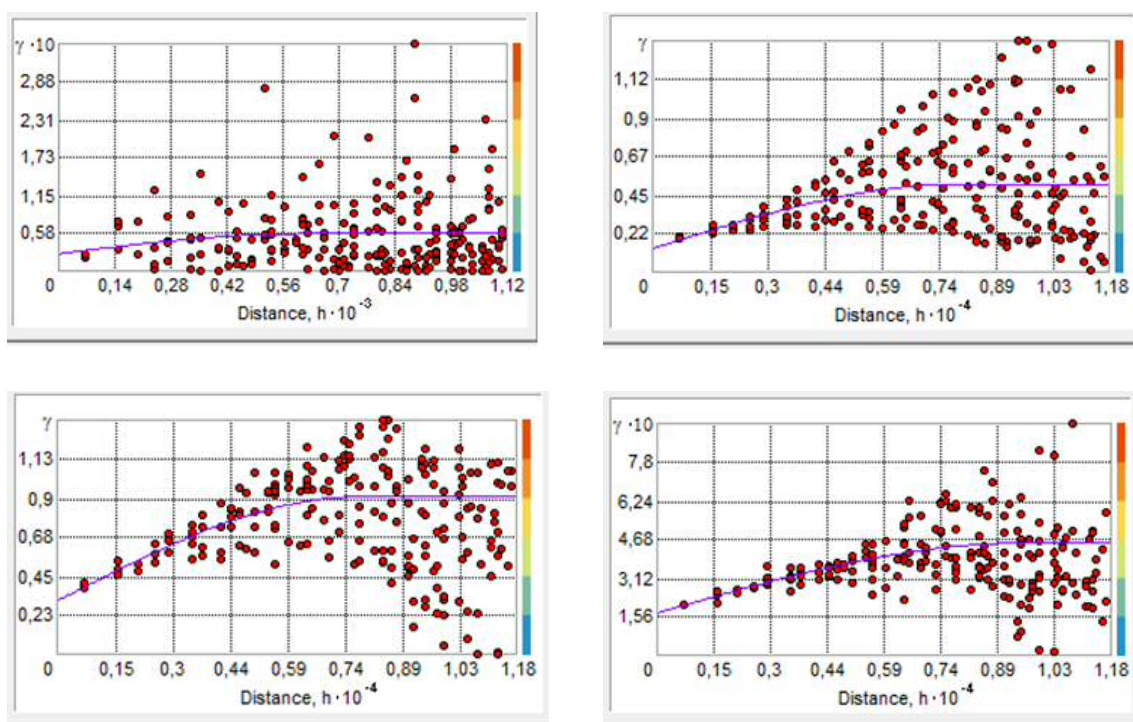


Figura 16: Variogramas dos índices de geoacumulação dos elementos U, Cr, B e P respectivamente, dos sedimentos de corrente da área em estudo.

De acordo com os variogramas experimentais obtidos representativos para os índices de geoacumulação, os elementos Ba, Cu, Ag, Pb, Mn, Mo, W e Co (Anexo IV), apresentam um

elevado efeito de pepita, pelo que não serão tidos em conta no decurso do trabalho. Os elementos Fe, P, Cr, B, Zn, Ni, V, As, Cd e U (Figura 16 e Anexo IV) apresentam bons variogramas, em que a maior percentagem de variabilidade espacial do atributo será utilizada no processo de interpolação subsequente. (Tabela X).

#### 4.2.4. Análise multivariada - ACP

A Análise em Componentes Principais (ACP) foi utilizada para interpretar as relações existentes entre os índices de geoacumulação para 10 elementos (Fe, P, Cr, B, Zn, Ni, V, As, Cd e U) para as 333 amostras de sedimentos de corrente. Para esta análise partiu-se de uma matriz de Spearman por forma a atenuar os valores anómalos identificados.

Com base nos resultados obtidos pela ACP dos índices de geoacumulação foram retidos os quatro primeiros eixos. (Figura 17). Retiveram-se os factores que melhor explicam as relações entre os índices de geoacumulação dos diferentes elementos químicos em estudo, obtidos para os sedimentos de corrente (Tabela XII).

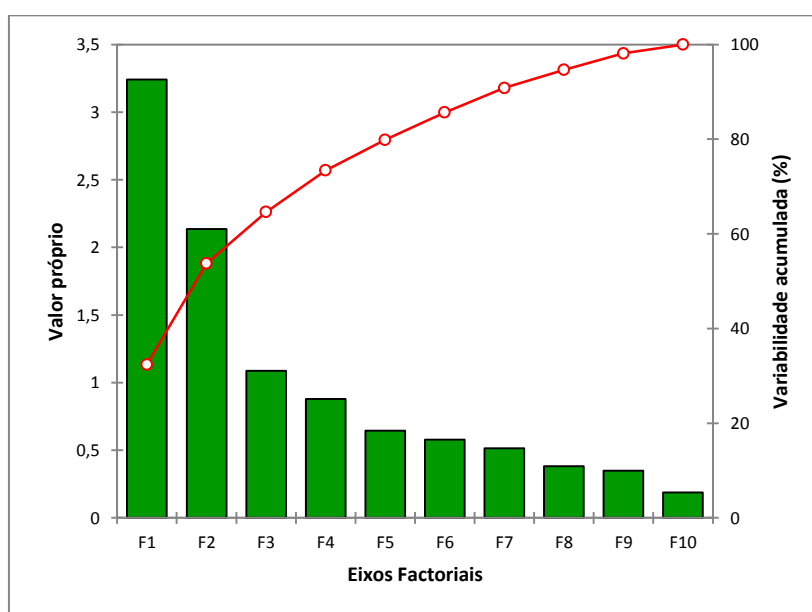


Figura 17- Distribuição dos valores próprios nos eixos factoriais obtidos para os índices de geoacumulação dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo.

Tabela XI: Valores próprios, percentagem de variabilidade e de variabilidade acumulada consumida pelos eixos factoriais obtidos para os índices de geoacumulação dos elementos analisados dos sedimentos de corrente da área em estudo.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Valor próprio	3,24	2,14	1,09	0,88	0,64	0,58	0,52	0,38
Variabilidade (%)	32,41	21,35	10,87	8,80	6,45	5,79	5,15	3,82
% Acumulada	32,41	53,76	64,63	73,43	79,88	85,66	90,82	94,64

A Tabela XII apresenta as correlações entre as variáveis originais e os novos factores obtidos para os elementos químicos, assim como os eixos factoriais que melhor os explicam.

Tabela XII- Matriz de correlação entre as variáveis originais e os novos factores obtidos pela ACP para os índices de geoacumulação dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo.

Elementos	Eixos factoriais							
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Fe	-0,621	<b>0,629</b>	-0,077	-0,082	0,025	-0,324	-0,049	0,069
P	<b>0,702</b>	0,315	0,080	-0,143	0,437	-0,047	0,265	-0,092
Cr	<b>-0,639</b>	-0,392	0,099	0,062	0,542	0,005	0,162	0,251
B	<b>0,780</b>	0,278	0,080	-0,145	0,046	-0,210	0,147	-0,187
Zn	-0,251	<b>0,692</b>	0,328	0,047	0,272	0,302	-0,390	-0,160
Ni	<b>-0,654</b>	0,595	-0,044	-0,053	-0,077	-0,322	0,110	0,018
V	<b>-0,756</b>	0,152	-0,097	0,069	-0,102	0,334	0,429	-0,282
As	0,431	<b>0,698</b>	-0,018	-0,064	-0,161	0,320	0,164	0,405
Cd	-0,018	-0,059	<b>0,915</b>	0,295	-0,184	-0,113	0,139	0,036
U	0,311	0,250	-0,318	<b>0,852</b>	0,085	-0,076	0,010	-0,008

Os valores a negrito representam o maior valor de cada variável em cada eixo.

Assim sendo, o eixo factorial 1 permite explicar 32,41 % da variância total (Tabela XI) e é representado pelos elementos Cr, Ni e V em oposição ao P e B (Tabela XII e Figura 18). Esta associação estará relacionada mais uma vez com o factor litológico.

O eixo factorial 2 explica 21,35 % da variância total (Tabela XI) e é representado pelos elementos Fe, Zn e As (Tabela XII e Figura 18), e pode ser explicado através da exploração de zinco em algumas das minas abandonadas, estando o Fe e As associado a este tipo de mineralizações.

O eixo factorial 3 é representado pelo elemento Cd (Tabela XII e Figura 18) e permite explicar 10,87 % da variabilidade total (Tabela XI), estando relacionado com as mineralizações existentes na área.

O eixo factorial 4 explica o elemento U (Tabela XII), com uma variância total de 8,80 % (Tabela XI) proveniente das litologias existentes na área, particularmente das rochas graníticas.

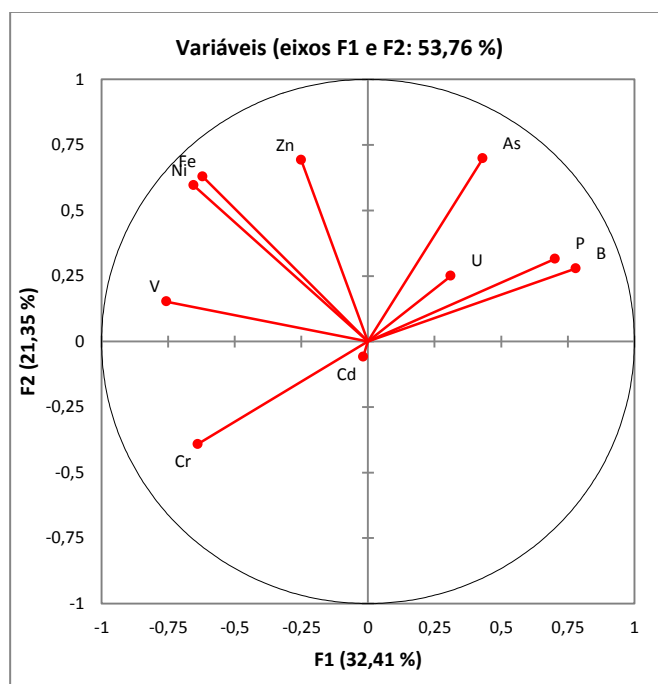


Figura 18- Circulo de correlações para os índices de geoacumulação dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo, correspondente ao primeiro plano factorial.

## 5. Construção de cartografia

A elaboração de mapas estimados, com base em análises químicas de sedimentos de corrente, permite definir áreas de elevadas concentrações que são uteis na identificação de potenciais problemas ambientais e para a saúde humana.

O uso da geoestatística tem sido aplicado em diversos trabalhos com vista ao estudo da variabilidade espacial de características de solos desde que se comprove a existência de correlação espacial ou dependência espacial entre elementos ou atributos seleccionados.

No trabalho desenvolvido recorreu-se ao algoritmo de krigagem Ordinária pois, desta forma é possível realizar a interpolação dos valores, para locais desconhecidos, incorporando a estrutura espacial das variáveis sintetizada no modelo teórico do variograma. O modelo de variograma ajustado terá, necessariamente, que traduzir as principais características estruturais e de homogeneidade espacial do atributo na área na qual se vai processar a estimação (Soares, 2000). O variograma é assim uma medida da continuidade e homogeneidade estrutural do processo espacial, do qual se conhece apenas um conjunto de amostras. O processo de estimação está condicionado às características estruturais locais da dispersão. Um processo de estimação requer uma verificação sistemática dos valores observados com a interactiva validação dos modelos de variograma inicialmente ajustados. Desta forma, a prática da krigagem não pode ser um processo “cego” mas englobador das características estruturais das variáveis e seus atributos. (Gooverts, 1997).

### 5.1. Distribuição espacial das concentrações totais

Dando seguimento ao trabalho realizado, procedeu-se à construção dos variogramas representativos dos elementos químicos que permitem explicar os eixos factoriais F1 (Cu, Cr, Ni, V, P, B, Be e U), F2 (Fe, Zn e As), F3 (W, Co e Cd) e Sn (Tabela V e Figura 13).

Na Tabela XIII sintetizam-se os parâmetros dos variogramas teóricos ajustados às concentrações totais dos elementos químicos para os sedimentos de corrente em estudo.

Tabela XIII- parâmetros dos modelos teóricos ajustados aos variogramas dos novos factores (ACP) para as concentrações totais dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo.

Características do variograma	Eixos factoriais			
	F1	F2	F3	Sn
Amplitude (A)	8688	11680	8000	6000
Nugget (Co)	1,0302	1,0992	0,9	49,983
Sill (c1)	5,4199	2,5415	0,98818	116,28
Efeito de pepita (%)	16	30	48	30
Variabilidade (%)	84	70	52	70
Coef. Determinação standartizado ( $\bar{R}^2$ )	0,8978	0,9965	1,102	1,086

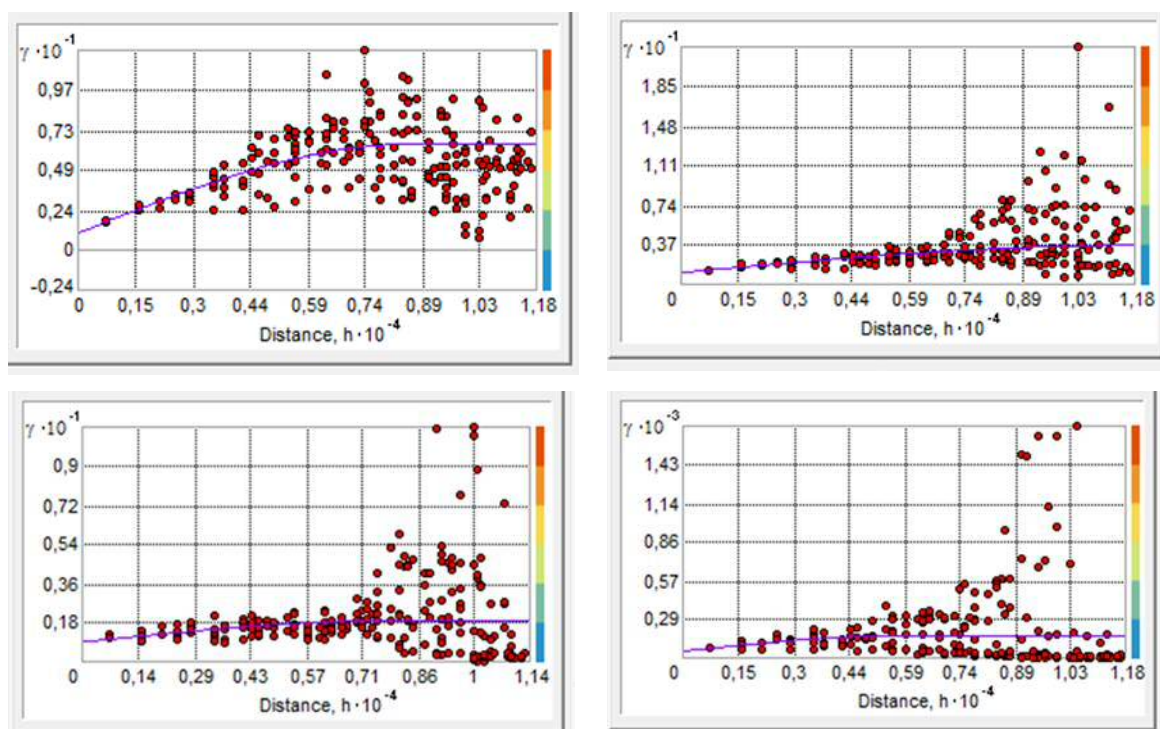


Figura 19- Variogramas dos factores F1, F2, F3 e Sn para as concentrações totais dos elementos analisados dos sedimentos de corrente da área em estudo.

Na Figura 20, é apresentado o mapa obtido a partir das concentrações totais dos elementos químicos dos sedimentos de corrente explicados pelo eixo Factorial 1 (F1).

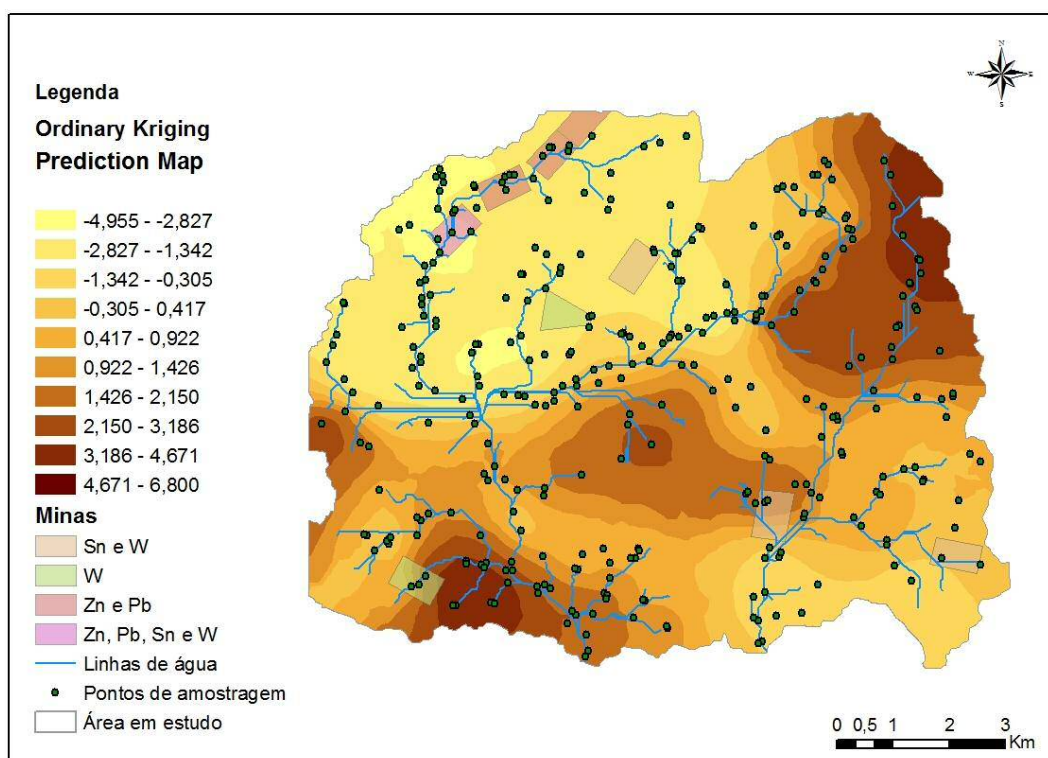


Figura 20- Mapa obtido para o eixo factorial F1 a partir das concentrações totais dos elementos analisados dos sedimentos de corrente da área em estudo.

Da análise do mapa, verifica-se que nos locais em que os teores iniciais de Cr, Ni e V dos sedimentos de corrente são mais elevados, os teores totais de P, B, Be e U são menores e vice-versa (Figura 20). Os teores totais de Cr, Ni e V são mais elevados e concentrados ao longo da direcção NE-SW e fora da área de influência mineira, com excepção da zona a SW, em que ocorre na influência da mina de Rancões (Figura 20). Os teores de P, B, Be e U apresentam valores superiores e mais dispersos na zona a N e NW, sendo coincidentes com as explorações mineiras existentes nesta área (Figura 20).

Para os elementos químicos Fe, Zn e As, os teores totais atingem valores mais elevados nos extremos NE e NW, na influência das explorações mineiras, principalmente das minas de Chão do Tirante e Cabeço onde Mataram os Homens e na zona SW, na área de influência da mina de Rancões (Figura 21). Na parte SE da área, e dentro da influência das minas de Tapada dos Carvalhos e Concessão nº 324, verificando-se, ainda também, teores totais intermédios nas áreas mineiras das Concessões nº 164 e nº 165 (Figura 21).

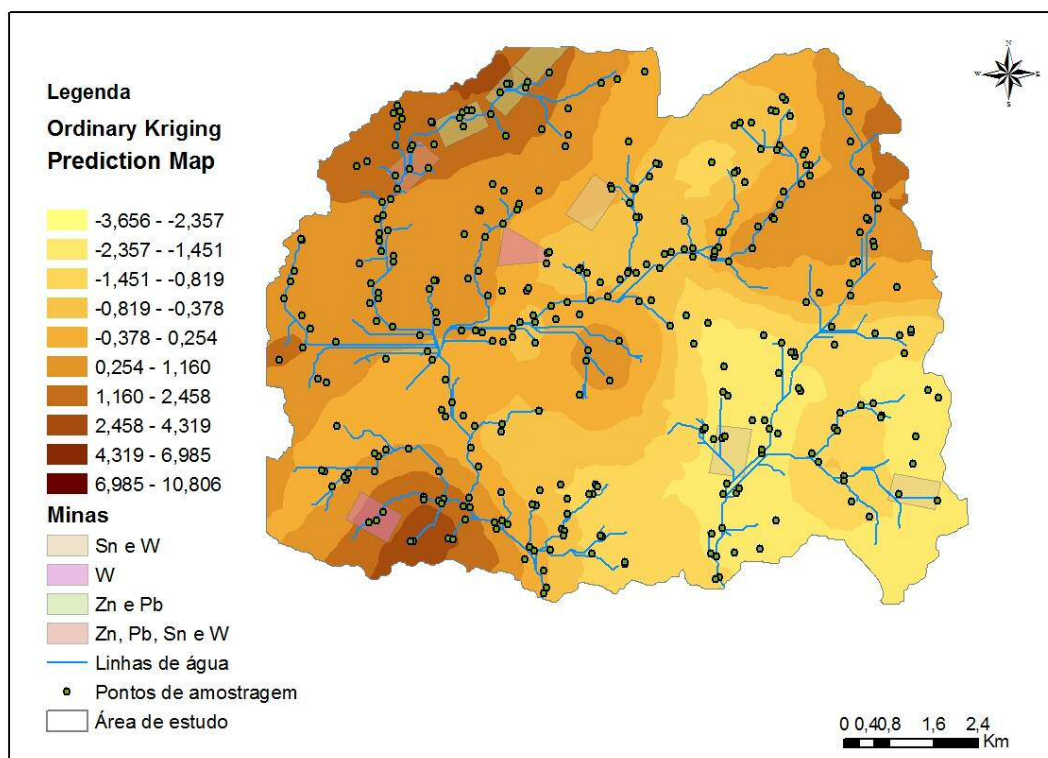


Figura 21- Mapa obtido para o eixo factorial F2 a partir das concentrações totais dos elementos analisados dos sedimentos de corrente da área em estudo.

Os teores totais dos elementos químicos W, Co e Cd ocorrem um pouco por toda a área de estudo, com excepção da parte W, a qual apresenta teores baixos (Figura 22). Neste mapa pode salientar-se a individualização de duas áreas nas quais a concentração total destes elementos químicos é superior a NNE, fora da influência mineira e SSE na influência da mina Concessão nº 324 (Figura 22).

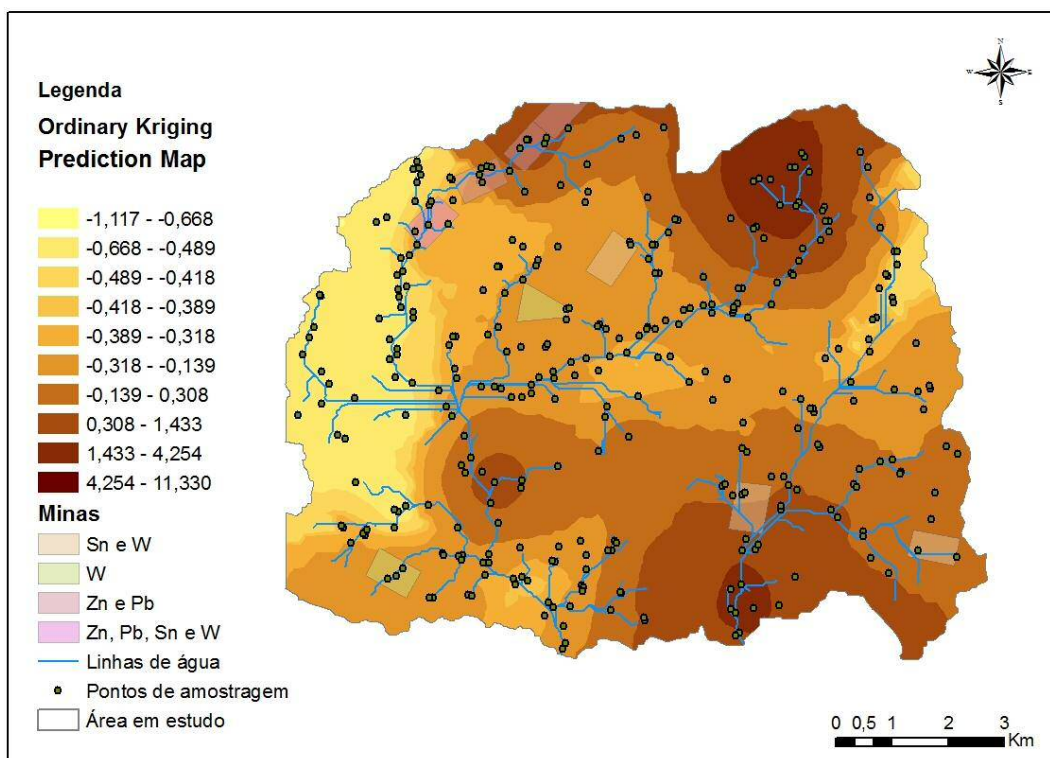


Figura 22- Mapa obtido para o eixo factorial F3 a partir das concentrações totais dos elementos analisados dos sedimentos de corrente da área em estudo.

O estanho encontra-se concentrado na influência das minas de Concessão nº 324 com exploração de Sn-W, e Concessões nº 164 e nº 165 que exploravam predominantemente W e Sn-W, respectivamente (Figura 23). A restante área de estudo apresenta concentrações totais de Sn baixas (Figura 23).

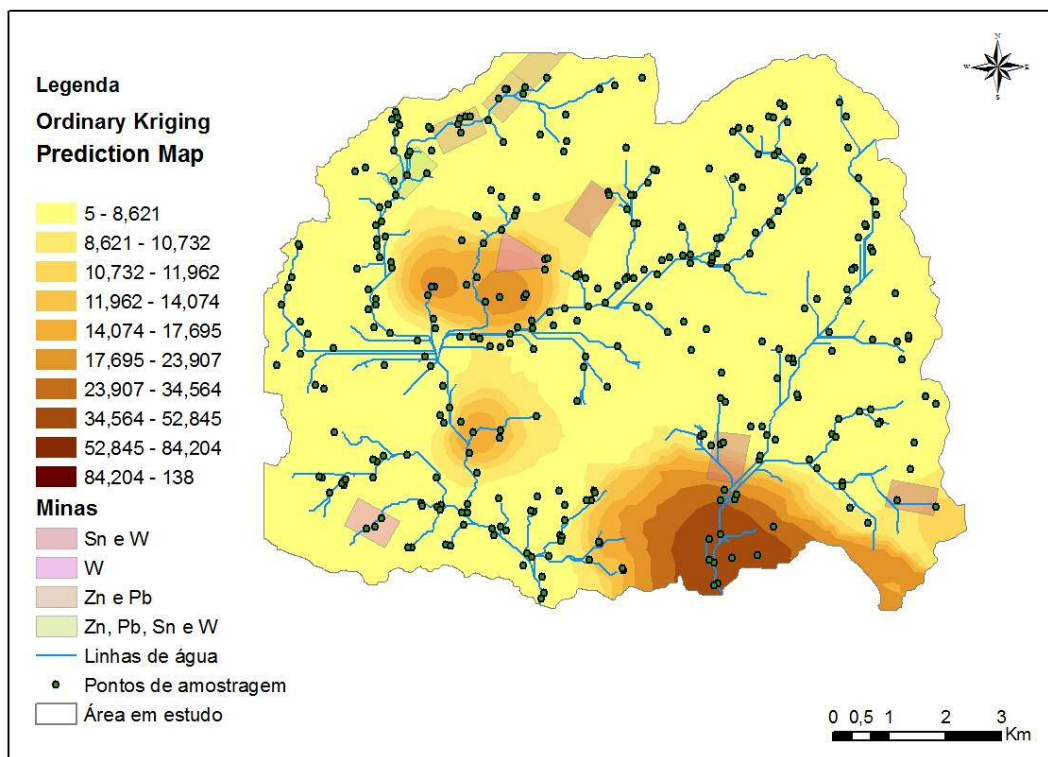


Figura 23- Mapa obtido para as concentrações totais do elemento Sn dos sedimentos de corrente da área em estudo.

Através da comparação dos mapas obtidos pode concluir-se que entre os eixos factoriais F1 e F2, as concentrações totais mais elevadas obtidas nos sedimentos de corrente se alinham ao longo de uma direcção aproximada de NE-SW (Figuras 20 a 23). Contudo, quando comparado com o mapa obtido para o eixo F3, esta situação não se verifica (Figura 22). Os locais onde ocorrem sedimentos de corrente com concentrações totais mais elevadas de Fe, Zn e As, coincidem com as concentrações totais mais elevadas de Cr, Ni e V mas menos elevadas de P, B, Be e U (Figura 20); com excepção da zona a NE, correspondente a antigas minas de exploração de Zn-Pb na qual se observam concentrações totais mais elevadas de P, B, Be e U (Figura 20). Comparando os eixos F2 e F3 observa-se que nos locais onde as concentrações totais de W, Co e Cd dos sedimentos de corrente são inferiores, as concentrações totais de Fe, Zn e As são superiores; com excepção da zona central da área em estudo cuja acumulação é aproximadamente igual (Figuras 20 e 21). Na análise dos mapas obtidos para os eixos F1 e F3 e F4, os sedimentos de corrente com as concentrações totais de Cr, Ni e V mais elevadas são coincidentes com concentrações totais elevadas de W, Co e Cd; não se observando uma distribuição semelhante entre elas (Figuras 20, 21 e 22). O mapa obtido para as concentrações totais de Sn nos sedimentos de corrente não permite obter significativas comparações, sendo observável que existe alguma relação entre a distribuição do Sn e a das concentrações totais de W, Co e Cd, na zona de influência das minas com Concessões nº 336 e nº 164.

## 5.2. Distribuição espacial do índice de geoacumulação ( $I_{geo}$ )

A análise multivariada compreende um conjunto de técnicas dedicado à análise de conjuntos de dados com mais de uma variável, sendo aplicada aos índices de geoacumulação dos sedimentos de corrente da área em estudo. As características dos variogramas ajustados para os índices de geoacumulação que permitem explicar os eixos factoriais F1 (Cr, Ni, V, P e B), F2 (Fe, Zn e As), Cd e U, apresentam-se na Tabela XIV e a variabilidade é explicada na Figura 24.

Tabela XIV- Parâmetros dos modelos teóricos ajustados aos variogramas dos novos factores (ACP) para os índices de geoacumulação dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo.

Características do variograma	Eixos factoriais			
	F1	F2	Cd	U
Amplitude (A)	8751	11680	11680	500
Nugget (Co)	1,0665	1,067	0,15363	0,022697
Sill (c1)	3,0355	1,6755	0,17444	0,033303
Efeito de pepita (%)	26	39	47	40
Variabilidade (%)	74	61	53	60
Coef. Determinação standatr. ( $\bar{R}^2$ )	0,93053	0,978	1,097	0,9557

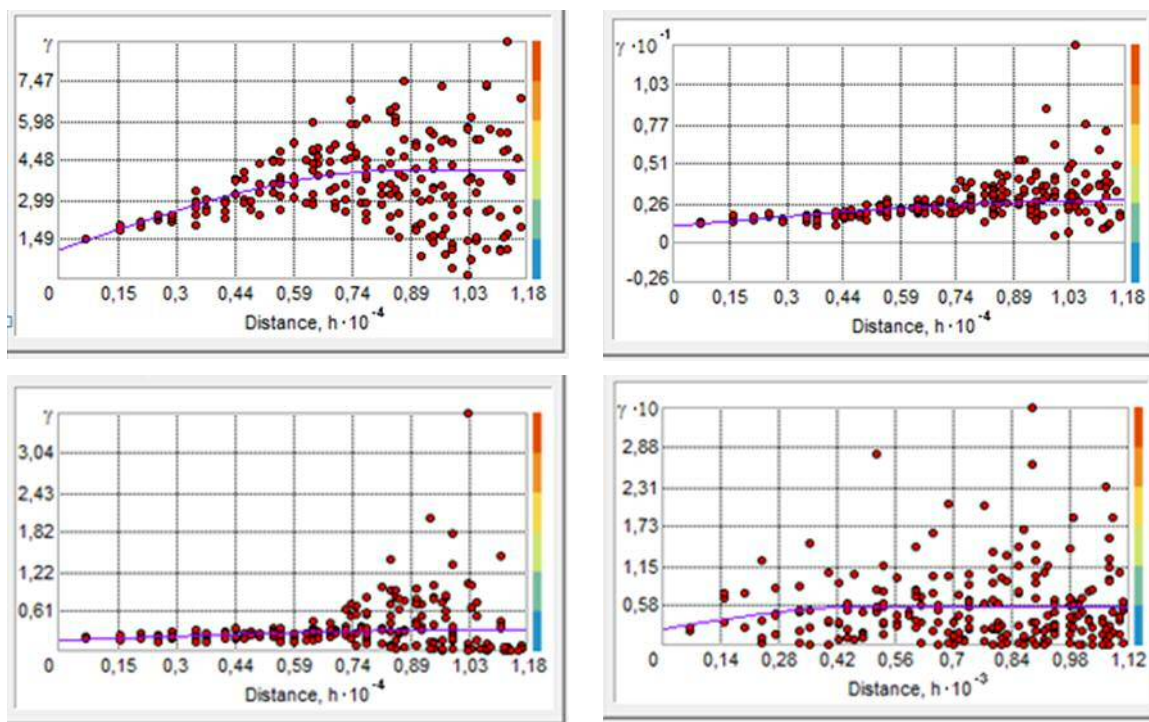


Figura 24- Variogramas dos factores F1, F2, Cd e U para os índices de geoacumulação dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo.

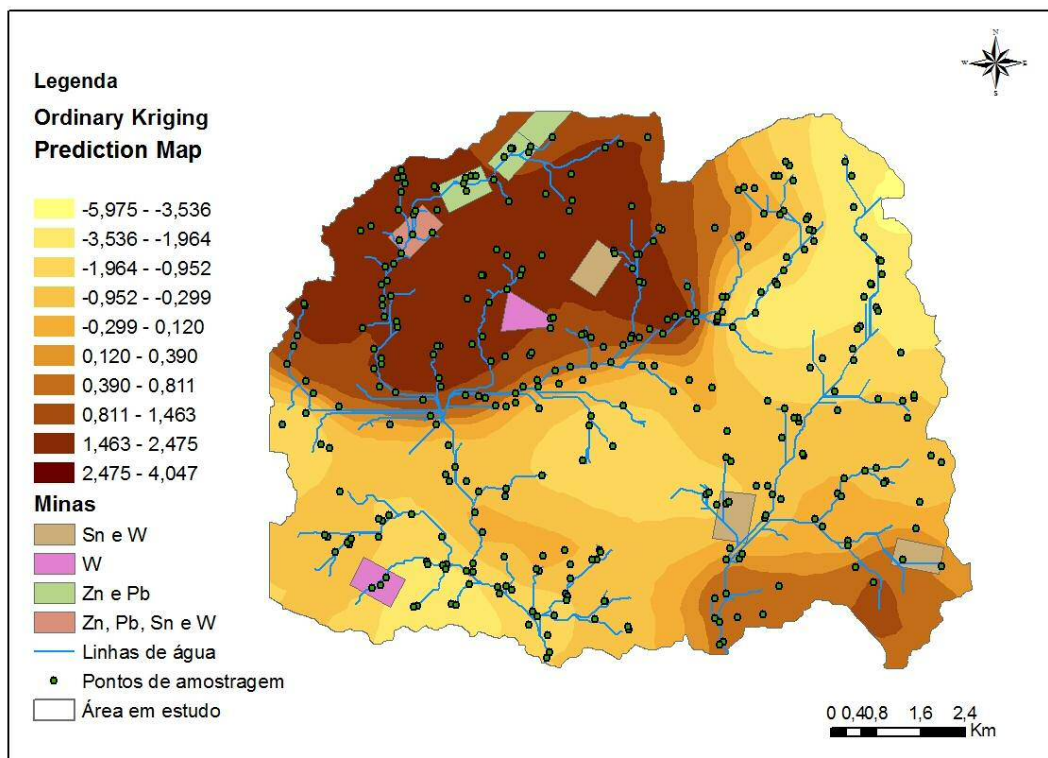


Figura 25- Mapa obtido para o eixo factorial F1 a partir do índice de geocumulação dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo.

Da observação do mapa obtido para o eixo factorial F1 dos índices de geocumulação dos sedimentos de corrente, é possível verificar a existência de um alinhamento notório ao longo de uma direcção NE-SW, na qual ocorrem aos índices de geocumulação mais elevados de Cr, Ni e V e os mais baixos de P e B; pois a distribuição entre estes dois subconjuntos é inversamente proporcional (Figura 25). Os índices de geocumulação no primeiro subconjunto são máximos na zona SW, coincidindo com a exploração mineira de Ronções e a NE (Figura 25). Os índices de geocumulação para o P e B, por sua vez, apresentam valores superiores junto das áreas mineiras na zona norte da área, coincidindo com as explorações mineiras abandonadas existentes (Figura 25).

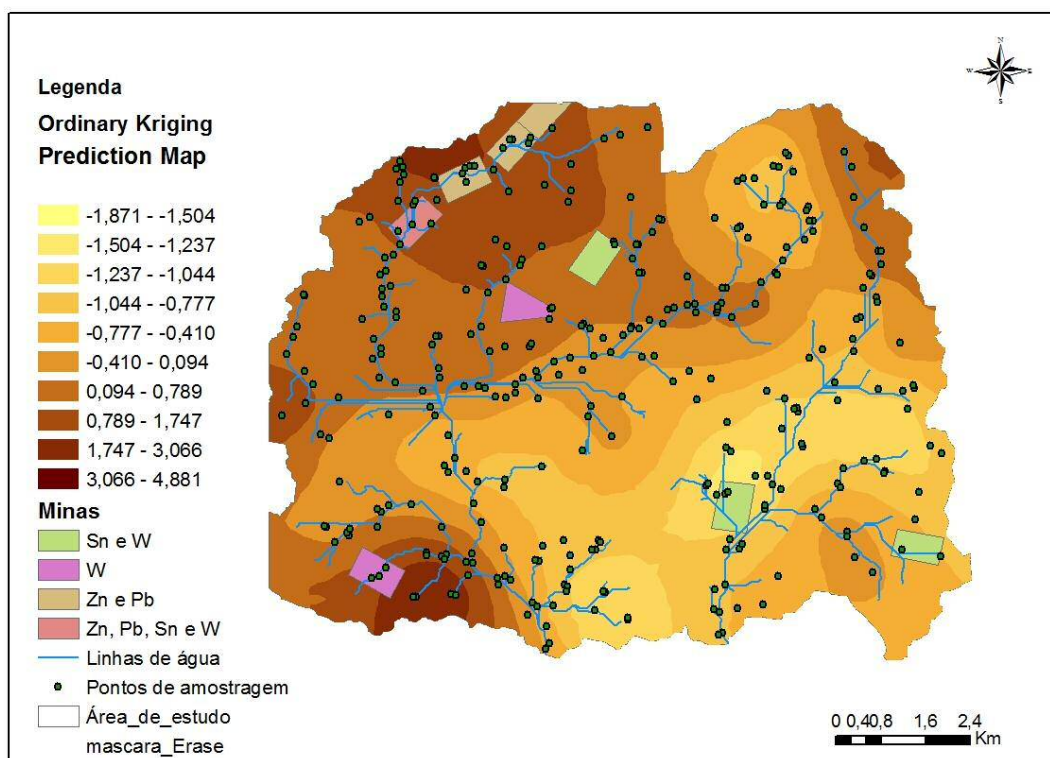


Figura 26- Mapa obtido para o eixo factorial F2 a partir do índice de geocumulação dos elementos analisados nos sedimentos de corrente da área em estudo.

Na distribuição dos índices de geocumulação dos sedimentos de corrente para o Fe, Zn e As, verificam-se valores mais elevados na zona NW e SW coincidindo com as antigas explorações mineiras de Zn-Pb, e Sn-W, mas também na área de influência das minas das Concessões nº 164 e nº 165 (Figura 26). Na zona de influência da mina de Concessão nº 324, os índices de geocumulação são inferiores (Figura 26).

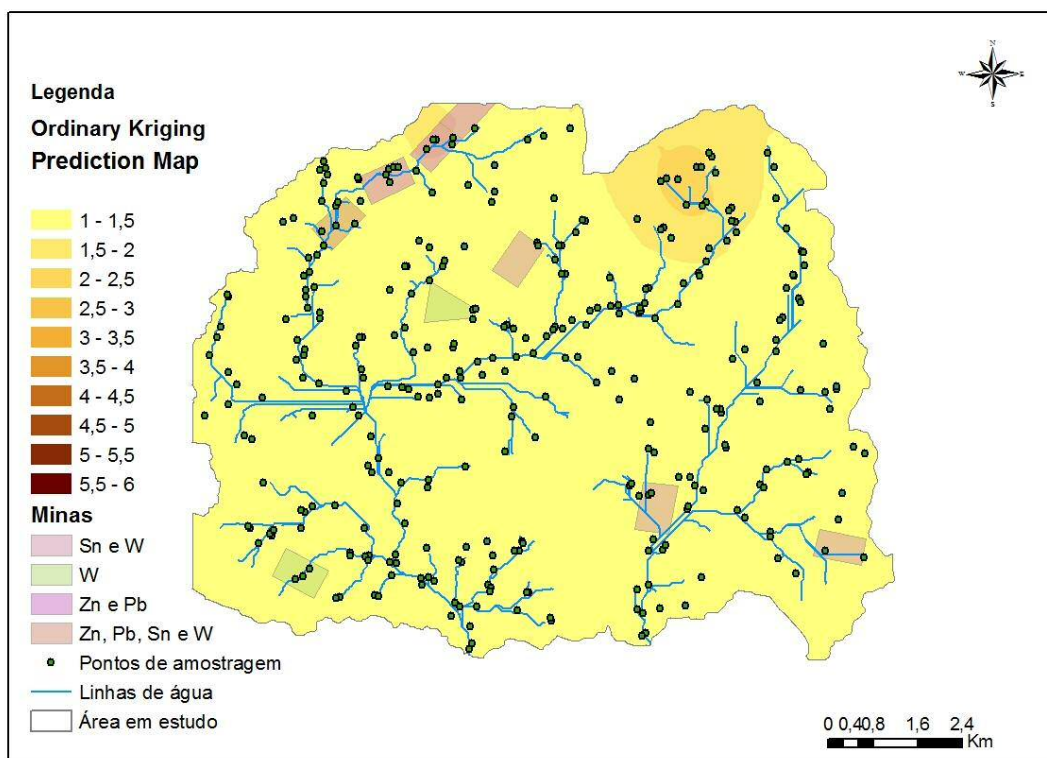


Figura 27- Mapa obtido para o elemento químico Cd para o índice de geocumulação dos sedimentos de corrente da área em estudo.

Na distribuição dos índices de geocumulação dos sedimentos de corrente para o Cd verificam-se maiores acumulações na zona NW fora da influência mineira e junto às antigas explorações mineiras de Chão do Tirante e Cabeço onde Mataram os Homens (Figura 27).

É possível identificar pequenas zonas em que os índices de geocumulação são mais elevados (Figura 28). Contudo, para o urânio, não são visíveis grandes concentrações que estejam directamente relacionadas com as áreas mineiras abandonadas (Figura 28). A sua existência poderá dever-se à composição litológica ou alguma mineralização não identificada na área em estudo (Figura 7).

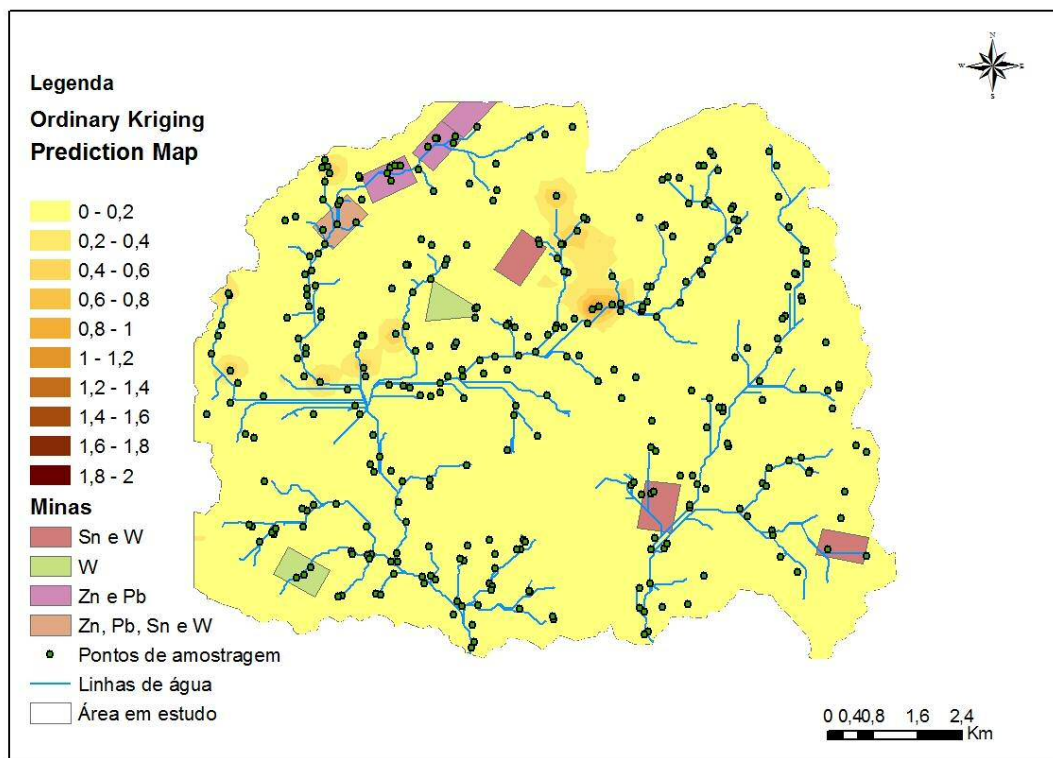


Figura 28- Mapa obtido para o elemento químico U a partir do índice de geocumulação dos sedimentos de corrente da área em estudo

Através da comparação dos mapas entre os eixos factoriais F1 e F2, para valores superiores de índices de geocumulação de Fe, Zn e As, verificam-se valores inferiores para os índices de geocumulação de Cr, Ni e V e superiores de P e B (Figuras 25 e 26). De salientar que na parte SW, valores superiores de Fe, Zn e As correspondem também a valores superiores de Cr, Ni e V enquanto que na parte SE para valores intermédios de Fe, Zn e As correspondem valores superiores de P e B (Figuras 25 e 26). Ao comparar os eixos factoriais F1 e F2, com o mapa obtido para o urânio, observa-se que nos locais onde ocorrem índices de geocumulação com concentrações mais elevadas deste elemento, correspondem a concentrações mais elevadas de Fe, Zn e As, assim como de P e B.

## 6. Os metais, a saúde e o ambiente

As contaminações ambientais, que podem afectar a saúde humana, devem-se essencialmente à poluição por metais pesados, devido à sua elevada toxicidade e persistência, podendo ocorrer nos solos tanto por processos naturais como através de actividades humanas (Siegel, 2002).

Ao considerar o risco que um determinado elemento apresenta para a saúde humana, é de extrema importância analisar, em que dose e nível de exposição, este pode provocar efeitos nocivos, uma vez que alguns desses efeitos estão directamente relacionados com a biodisponibilidade e indirectamente influenciados por factores químicos, geoquímicos e biológicos (Maia, 2004). A biodisponibilidade é função das características de solubilidade do mineral ou da substância que o contém (Cortecci, 2003), sendo também condicionada pela composição química da água, solos e sedimentos, assim como, pelas propriedades específicas dos elementos. Através da comparação de análises realizadas, é possível determinar que a assimilação e a acumulação, por plantas e animais, podem variar consideravelmente de um ambiente para outro (Cortecci, 2003), indicando quais os riscos para a saúde humana que num determinado local podem ser consequência de modificações ambientais.

As formas naturais de exposição do Homem aos metais compreendem a inalação, ingestão e absorção através da pele. A inalação de metais pode aumentar a predisposição às infecções das vias respiratórias, reduzir a defesa imunológica e favorecer o aparecimento de carcinomas pulmonares. A ingestão de metais tóxicos e outros ocorre normalmente com os alimentos e a água. O tempo de permanência no corpo humano varia conforme as características dos elementos embora sejam persistentes (Cortecci, 2003).

Nem todos os elementos químicos são essenciais para a vida. Considerando as necessidades vitais, os elementos podem ser divididos em macronutrientes essenciais (e.g., Ca, Cl, Mg, P, K, Na e S) e micronutrientes essenciais (e.g., Cr, Co, Cu, F, I, Fe, Mn, Mo, Se, Zn, e possivelmente Ni, Si, Sn e V) (Cortecci, 2003). No entanto, e apesar de serem fundamentais para uma vida saudável, há a ter em conta que também podem produzir efeitos adversos quando ingeridos em elevadas concentrações. Contudo, existem outros elementos químicos como o As, Cd, Pb, Hg e Al cuja função biológica é ou pode ser limitada, e são geralmente tóxicos para o Homem (Silva et al, 2006).

Apresenta-se seguidamente, informação relativa aos elementos químicos mais significativos, associados às actividades mineiras em estudo, e seus principais efeitos na saúde humana.

O **ferro** é dos elementos mais abundantes e essenciais à vida, encontrando-se em óxidos de ferro e minerais como hematite e magnetite. Ocorre em associações de Fe-Mg-Mn-V-Ti-Se-S e apresenta baixa mobilidade no ambiente (Ferreira, 2000). É tóxico, quando usado em doses elevadas (Ribeiro, 2005). Pode provocar alterações na visão humana, através do contacto e

permanência nos tecidos humanos. O défice de ferro no organismo pode levar ao aparecimento de anemia. A presença de ferro no ambiente é bastante nociva pois trata-se de um elemento muito pouco móvel, que se acumulará e ficará retido nos solos (Lenntech, 2011).

O **fósforo** é um elemento essencial que se encontra presente na natureza, apresentando baixa mobilidade, ocorre essencialmente sob a forma de fosfatos, sendo o mais comum a apatite (Ferreira, 2000). Ele é tóxico em doses elevadas, podendo causar mau funcionamento ao nível dos rins, e, em concentrações superiores a 100 mg ser letal para os humanos (Ribeiro, 2005).

O **cobre** é uma substância muito comum que ocorre naturalmente e se encontra disperso no ambiente. Os seus minerais mais típicos são a calcopirite, malaquite e covelite. Ocorre em associações naturais Ni-Cu-Pt-Cr, Cu-Pb-Zn-Cd-Ag-Fe-As-Sb entre outras e apresenta média a elevada mobilidade, consoante o pH do meio (Ferreira, 2000); sendo tóxico em concentrações elevadas podendo provocar irritações e problemas ao nível do fígado e rins. É possível que o cobre possa ser um elemento carcinogénico, mas tal ainda não foi comprovado (Lenntech, 2011).

O **crómio** apresenta-se principalmente sob a forma mineral de cromite. Ocorre em associações de Cr-Cu-Ni-Co e tem muito baixa mobilidade no ambiente. Os seus efeitos nocivos dependem do estado de oxidação em que o elemento se encontra (baixa toxicidade na forma metálica e elevada toxicidade na forma hexavalente) (Ferreira 2000). Os seus efeitos vão desde poder provocar erupções cutâneas e problemas respiratórios, alterações ao nível genético, cancro e até mesmo morte. A agência internacional para a pesquisa sobre cancro (IARC) listou o crómio e os compostos em que aparece no estado de oxidação (III) no grupo 3 (agentes não classificáveis quanto ao seu grau cancerígeno para seres humanos) (Lenntech, 2011).

A **prata** encontra-se na sua forma nativa e nos minerais argentite e stefanite, entre outros, estando naturalmente associada a Pb-Zn-Cd-Ag-Hg-As-Sb-Se, U-Cu-Ag-Co-Ni-As-V-Se-Au-Mo, estando a sua mobilidade dependente das condições de oxidação e redução. Apresenta baixa toxicidade para os seres humanos, podendo no entanto ser mortal se sob a forma de sais solúveis (Ferreira, 2000).

O **boro** na natureza não se encontra presente na sua forma elementar mas nos minerais borax e turmalina. A sua ocorrência no ambiente deve-se essencialmente a processos naturais, sendo um elemento muito móvel em condições de oxidação (Ferreira, 2000). Ocorre em associações B-Be-Cu-Zn-Pb-Mo-W, podendo ser considerado como não tóxico mas, quando acumulado no organismo, pode causar doenças em vários órgãos essenciais. A exposição a pequenas quantidades provoca irritações (Lenntech, 2011).

O **zinco** é uma substância que ocorre naturalmente, estando presente nos minerais, blenda, smithsonite e zincite. Os solos mais contaminados encontram-se nas imediações de áreas de exploração de minérios de zinco e de zonas intensamente fertilizadas. Ocorre em diversas associações naturais como Cu-Pb-Zn-Ag-Au-Sb-As-Se, Zn-Pb-Mn-Ba-Fe (Ribeiro, 2005). O zinco é considerado um elemento essencial para todos os organismos e apresenta baixa toxicidade, no

entanto, em doses elevadas pode originar mal-estar e irritações cutâneas, podendo condicionar o metabolismo.

O **níquel** ocorre em pequenas quantidades no ambiente estando presente nos minerais niquelite e garnierite. A sua mobilidade é variável de acordo com o ambiente químico, ocorrendo em associações de Ni-Co-Fe-Cu- Ag-Se-Te-As-S e Ni-Co-Fe-Mn-Cr, entre outras (Ferreira, 2000). Em pequenas quantidades é essencial para um bom desenvolvimento mas, em quantidades excessivas, pode causar alergias e conduzir ao desenvolvimento de cancro. A agência internacional para a pesquisa sobre cancro (IARC) classificou o níquel no grupo 2B (agentes que são possivelmente carcinogénicos para humanos) e os compostos de níquel no grupo 1 (não há provas suficientes de ser cancerígeno em humanos) (Lenntech, 2011).

O **vanádio** ocorre em vários minerais como a bauxite, carnotite e vanadite e é explorado como subproduto de outros minérios. É abundante em vários solos mas em quantidades variáveis (Ribeiro, 2005). Não apresenta elevada perigosidade, no entanto, se ingerido em altas dosagens pode causar irritação das vias respiratórias, inflamações podendo causar alterações de ADN, mas não é gerador de cancro (Lenntech, 2011).

O **arsénio** encontra-se na natureza em pequenas concentrações, ocorrendo nos solos e minerais como arsenopirite e enargite. Não é comum encontrarem-se elevadas concentrações de arsénio, pois trata-se de um elemento bastante móvel que se dispersa com muita facilidade. As actividades mineiras permitem uma mobilização do arsénio, tornando-o mais abundante e em maiores quantidades nos ecossistemas. Trata-se de um dos elementos mais tóxicos existentes na natureza. A exposição ao arsénio inorgânico pode originar várias irritações e em elevadas concentrações pode aumentar a probabilidade de aparecimento de cancro (Lenntech, 2011).

De entre os minerais de **volfrâmio**, a volframite, scheelite e ferberite são os mais comuns. Ocorre associado a Mo-W-Sn-F-S-Cu-Be-Bi e Sn-W-Cu-Mo-Bi-Li-Rb-Si-Cs-Re-F-B; de baixa mobilidade (Ferreira, 2000) Pode gerar irritação da pele e olhos através de contacto directo. Não apresenta efeitos crónicos conhecidos.

O **cobalto** é um elemento de fraca abundância que se encontra amplamente disperso no ambiente e pouco disponível para ser absorvido directamente, fazendo parte da composição da cobaltite. É um elemento essencial aos seres humanos, pois está presente na vitamina B12. Quando em concentrações elevadas causa mal-estar. A agência internacional para a pesquisa sobre cancro (IARC) listou os compostos de cobalto e cobalto no grupo 2B (agentes que são possivelmente carcinogénicos para humanos) (Lenntech, 2011).

O **cádmio** ocorre normalmente combinado com o zinco, como sub-produto de explorações de zinco, chumbo e cobre. A exposição humana ao cádmio pode ocorrer através de áreas de acumulação ou indústria extractiva mas principalmente através da alimentação. A inalação de cádmio danifica os pulmões e pode mesmo levar á morte (Lenntech, 2011).

O **urânio** é um elemento que se encontra disperso pelo ambiente em pequenas quantidades. O contacto com o Homem ocorre através de actividades mineiras e industriais,

libertando-se no ambiente. Dado que se trata de um elemento radioactivo, a exposição a níveis baixos tende a não apresentar elevado perigo para a saúde humana mas quando em elevadas concentrações, durante um longo período de tempo, pode gerar problemas, principalmente ao nível dos rins. Corresponde a um elemento radioactivo muito reactivo pelo que não se encontra no ambiente na sua forma nativa. Um dos seus maiores perigos está associado a alguns dos produtos de decaimento, caso do radão, que se acumula em espaços confinados e de fraco arejamento (Lenntech, 2011).

O **chumbo** está presente nos minerais como a galena, anglesite e cerussite. As associações naturais do chumbo são Ag-Zn-Cd-Cu-Pb, entre outros. A sua mobilidade é baixa sob condições de oxidação (Ribeiro, 2005). É um elemento tóxico com elevados efeitos nocivos ao nível da saúde humana, podendo afectar vários órgãos (Lenntech, 2011).

O **estanho** encontra-se em pequena quantidade nos solos e ocorre maioritariamente na natureza sob a forma de óxidos de estanho que são insolúveis e bastante resistentes aos agentes da meteorização. Dos poucos minerais contendo estanho, a cassiterite é o mais abundante (Ribeiro, 2005). Os seus efeitos no organismo variam consoante a exposição e tipo de composto. Podem ocorrer desde irritações cutâneas ao mau funcionamento do sistema imunitário, alterações cromossómicas e lesões cerebrais. Na sua forma simples não apresenta toxicidade nem perigo mas, na sua forma orgânica, pode permanecer no ambiente por longos períodos de tempo, pois não é facilmente biodegradado. A mobilidade do estanho é muito baixa sob condições de oxidação e de redução (Lenntech, 2011).

O **ítrio** ocorre em quantidades muito pequenas na natureza e pode ser encontrado em quase todos os minerais pertencentes ao grupo das terras raras e em minérios de uranio, não ocorrendo na natureza como elemento livre. Pode ser encontrado na monazite, barnasite e fergusonite (Lenntech, 2011). A sua maior perigosidade está em ser inalado juntamente com o ar atmosférico, podendo provocar embolias pulmonares e aumentar a possibilidade de cancro do pulmão. Gradualmente acumula-se nos solos e sedimentos conduzindo a um aumento da concentração em humanos, animais e partículas dos solos (Lenntech, 2011).

O **berílio** ocorre naturalmente no meio ambiente em pequenas quantidades, podendo encontrar-se no berilo, crisoberilo e phenacite (Lenntech, 2011). A sua presença nos solos deve-se a processos naturais e a actividade antropogénica. Não se tratando de um elemento essencial ao homem é um dos mais tóxicos que se conhece. Pode originar beriliosis, doença pulmonar, que pode também afectar outros órgãos e levar à morte. Outros efeitos associados ao contacto com o berílio, são as reacções alérgicas em pessoas hipersensíveis a este e que podem degenerar em Doença Crónica Berílio (CBD) aumentando a possibilidade de cancro e alterações no ADN. Este elemento acumula-se nos sedimentos e não é susceptível de mobilizar nos solos nem dissolver nas águas subterrâneas (Lenntech, 2011).

## Considerações finais

No que respeita aos resultados obtidos para as concentrações, totais dos elementos químicos analisados, é observável que os teores mais elevados de Zn, As e Fe coincidem com as concentrações mais elevadas de Cr, Ni e V, e também de W, Co e Cd. Nos locais com sedimentos de corrente apresentando concentrações totais elevadas de P, B, Be e U, ocorrem baixas de Zn, As e Fe; de Cr, Ni e V e, também, de W, Co e Cd. Deste modo, é possível concluir que os elementos Zn, As e Fe; Cr, Ni e V e W, Co e Cd se encontram associados ocorrendo com semelhante distribuição espacial. As concentrações totais elevadas Sn dos sedimentos de corrente, estão associadas a elevadas concentrações totais de P, B, Be e U. As concentrações totais mais elevadas de Cr, Ni e V encontradas nos sedimentos de corrente são coincidentes com reduzidas concentrações totais de Sn e baixas quando associadas a elevadas concentrações totais de Zn, As e Fe. Com estas relações encontradas para o Sn, nos sedimentos de corrente, pode concluir-se que não é possível associar este elemento de forma directa com os restantes elementos químicos analisados. A ocorrência de Sn estará directamente relacionada com a existência de explorações mineiras actualmente abandonadas de Sn-W na área em estudo. Verifica-se, ainda a existência de elevadas concentrações totais de elementos químicos na parte NE da área de estudo, coincidente litologicamente com o Complexo Xisto-Grauváquico, mas que se encontram fora da área de influência mineira. Uma possível justificação para esta ocorrência poderá ser a existência de enriquecimento local em mineralizações não exploradas, uma vez que se tratam essencialmente de elementos químicos como o P, Be, U, Zn, As e Fe; com alguma contribuição de W, Co e Cd.

No caso dos índices de geoacumulação para os elementos químicos analisados nos sedimentos de corrente, a correspondente distribuição espacial dos eixos factoriais ocorre de forma concordante com as litologias existentes na área de estudo. Assim, pode dizer-se que os índices de geoacumulação dos elementos Cr, Ni e V têm maior expressão ao longo da ocorrência dos ortognaisses, granitos e dioritos deformados; enquanto que os índices de geoacumulação dos elementos P e B e Fe, Zn e As, é marcada pela ocorrência de granitos biotíticos, com plagioclase cálcica. De salientar, a existência de valores bastante elevados nos índices de geoacumulação de Cr, Ni, V e Zn e As em zonas onde aflora o Complexo Xisto-Grauváquico. Na distribuição do urânio é possível observar que a sua concentração é superior nos granitos biotíticos com plagioclase cálcica.

Os valores obtidos para o índice de geoacumulação permitiram determinar que a área se encontra extremamente poluída particularmente para os elementos W e Cd devido tratar-se de uma zona densamente mineralizada em Sn-W e Zn-Pb com várias explorações mineiras actualmente abandonadas. A presença dos elementos químicos Cr, B, Ag, Zn e Pb, cujo índice de geoacumulação atingiu a classe 4 (fortemente poluídos), está também associada a explorações mineiras abandonadas existentes na área em estudo.

Comparando os resultados obtidos pelos dois conjuntos de dados em estudo, concentrações totais e índice de geoacumulação, verificou-se uma distribuição muito semelhante dos elementos químicos pelos eixos factoriais. Algumas modificações ocorreram, tendo o uranio

passado do eixo factorial F1 para o F4, possivelmente devido à sua elevada reactividade quando em contacto com outros elementos químicos. As restantes poderão ter resultado da inexistência de dados para o fundo geoquímico de alguns elementos químicos, mas também associado aos tratamentos estatísticos e geoestatísticos realizados.

De um modo geral, nos mapas resultantes para as concentrações totais e para os índices de geoacumulação a distribuição dos elementos químicos é bastante semelhante podendo ocorrer pequenas variações, uma vez que nos Eixos Factoriais não se encontram representados os mesmos elementos para as concentrações totais e para as classes de Igeo, respectivamente.

A forma como os elementos químicos se agrupam pode considerar-se como resultante predominantemente das litologias presentes na área, em que as rochas, através dos processos de meteorização física, química e biológica, vão dando origem a solos e sedimentos de corrente que contêm na sua composição, uma mistura de elementos químicos e minerais provenientes da rocha original. As interacções desses elementos químicos com as condições ambientais vão ser decisivas para as associações que se irão formar, dependendo das suas propriedades físico-químicas. Contudo, um outro factor determinante será o tipo de mineralizações e paragénese associadas às várias litologias presentes na área. Com base na distribuição dos elementos químicos pode concluir-se que está directamente relacionada com as mineralizações que foram exploradas na fase em que as minas estiveram activas, tanto através da acumulação de materiais não explorados directamente, mas relacionados com estes, acumulados em escomboreiras e bacias de acumulação, como pela existência de vários processos que promovem a lixiviação dos elementos químicos e posterior transporte dispersão por toda a área em estudo. Como seria de esperar, de um modo geral, os elementos químicos explorados directamente nas explorações mineiras abandonadas concentram-se sobretudo nessa área de influência, embora possam ser mobilizados e dispersos ao longo de vastas áreas, mesmo após cessada a exploração.

Quanto à influência dos elementos químicos ao nível da saúde humana, verifica-se para o caso da contaminação, segundo o índice de geoacumulação, que os sedimentos de corrente analisados se encontram extremamente poluídos em Cd e W em que, o primeiro é tóxico e possivelmente cancerígeno e o segundo moderadamente tóxico podendo causar irritações. Os sedimentos de corrente também se encontram fortemente poluídos em Cr, podendo ser considerado como inofensivo sob a forma  $Cr^{3+}$  mas altamente tóxico quando na forma  $Cr^{6+}$  sendo conhecidos alguns compostos cancerígenos; o B não é considerado tóxico para o ser humano, mas quando em concentrações elevadas pode afectar alguns órgãos vitais e levar à morte; assim como o Ag e o Zn que apresentam baixa toxicidade podendo originar mal-estar; e o Pb, que devido à sua toxicidade pode originar elevados efeitos nocivos

Em relação às populações mais próximas das explorações mineiras, como São Miguel de Acha e Oledo, encontram-se directamente na influência das antigas explorações mineiras em estudo. Para estas populações pode indicar-se um elevado risco de contacto com os elementos P, B, Be, Zn, As, W, Co e Cd, no caso de São Miguel de Acha, e de Cr, Ni, V, W, Co e Cd, em Oledo. A presença destes elementos pode ser bastante danosa à saúde humana pois trata-se de elementos tóxicos, que em concentrações bastante elevadas podem originar desde mal-estar e

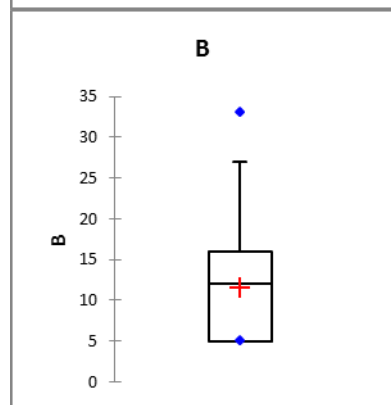
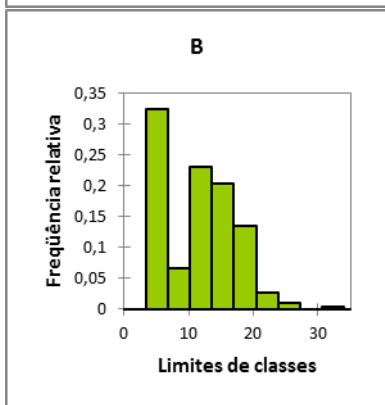
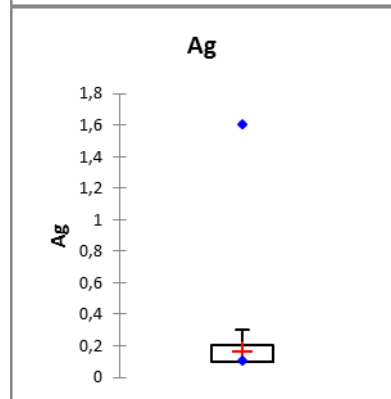
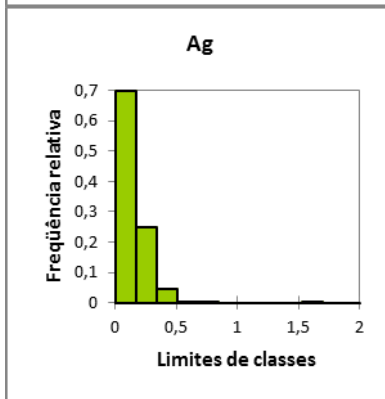
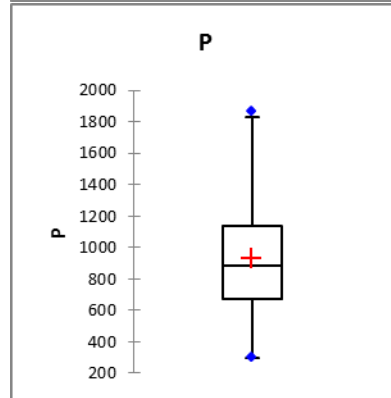
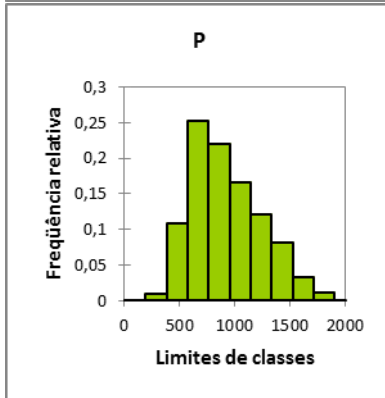
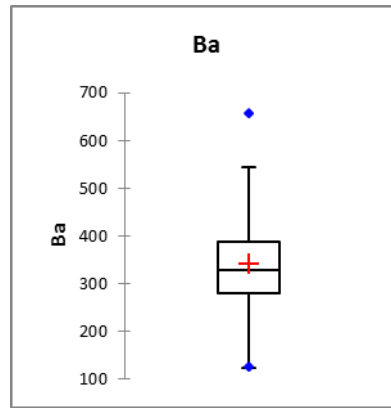
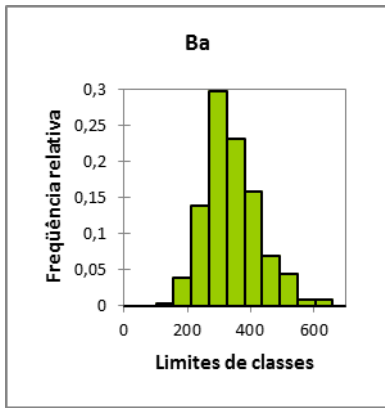
irritações, a danos em vários órgãos e malformações, podendo desencadear cancro de vários tipos e mesmo, em alguns casos, levar à morte.

## Bibliografia

- Agência Portuguesa do Ambiente. I.P. 2012. Atlas do Ambiente digital consultável em: <http://sniamb.apambiente.pt/atlas/>, consultado em 7 de Fevereiro de 2012
- Antunes, I.M.H.R. 2008. Os recursos minerais na região de Castelo Branco: efeitos no ambiente e na saúde humana. In Jornadas Ambientais da Beira Interior, 7. Castelo Branco.
- Boaventura, R.A.R. 1989. A determinação de micropoluentes em águas superficiais através dos sedimentos ou de plantas aquáticas. Boletim da Sociedade Portuguesa de Química, 38: 21-24.
- Bradl, H.B. (2004). Adsorption of heavy metals ions on soils and soils constituents. Journal of Colloid Interface Science 277: 1-18.
- Cardoso Fonseca, E.C., Barradas, J.M., Ferreira da Silva, E.A.P., Reis, A.P. 1995. Distribuição do As em solos e sedimentos de vala no envolvente do complexo químico de Estarreja. Implicações de ordem ambiental. Geociências 9 (1/2):123-131.
- Consórcio Geometal. 2004. Elaboração da Carta de Solos e de Aptidão das Terras da Zona Interior-Centro-Memória. Lisboa: MAPF e IDRHa. 287pp
- Cortecci, G. 2003. Geologia da saúde. Tradução de Wilson de Scarpelli. Consultado em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/geosaude.pdf> consultado em 28 de Março de 2012
- Deutsch, C., & Journel, A. G. 1992. Geostatistical Software Library and User's Guide. Oxford University Press.
- Emsley, J. 1998. The elements. Oxford University Press Inc., New York. 292pp.
- Ferreira, A.M.P.J. 2000. Dados Geoquímicos de base de sedimentos fluviais de amostragem de baixa densidade de Portugal Continental: Estudo de factores de variação regional. Tese para a obtenção do grau de Doutor em Geociências na Universidade de Aveiro. 460 pp.
- Godinho, B., Abreu, M.M., Magalhães, M.C. 2010. Avaliação biogeoquímica dos solos e do medronheiro na área mineira da Panasqueira. Revista de Ciências Agrárias vol.33, nº.1: 226-235.
- Gomes, M.E.P., Antunes, I.M.H.R., Neiva, A.M.R., & Teixeira, R.J.S. Santos, A. 2011. Geoquímica dos minerais dos filões W>Sn e das águas das antigas minas de Murçós (NE de Portugal). VIII Congresso Ibérico de Geoquímica -XVII Semana de Geoquímica, vol. I: 111-116.
- Goovaerts, P. 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press, Inc, New York, USA.
- IGM-Instituto Geológico e Mineiro. 1998. Relatórios internos do Projecto de Prospecção de volfrâmio, estanho e minerais associados na faixa de Góis-Segura. Divisão de Prospecção de Minérios Metálicos. Serviços de Fomento Mineiro. Porto.
- Instituto Geográfico do Exército. 1998. Carta Militar de Portugal nº 269, na escala 1/25000, coordenadas militares do ponto central.
- Instituto Geográfico Português. 2007. Carta de Ocupação do solo de 2007 disponível para download em: <http://www.igeo.pt/produtos/CEGIG/Cos2007.htm> consultado em 19 de Março de 2012.
- Instituto de meteorología, IP.; Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2011. Atlas Climático Ibérico-temperatura do ar e precipitação (1971-2000). 79pp.
- Instituto de meteorologia. I.P. 2008. Normais Climatológicas de 1971-200. Consultável em: <http://www.meteo.pt/pt/oclima/normais.clima/> consultado em 7 de Fevereiro de 2012.
- Journel, A.G., Huijbregts, Ch.J. 1978. Mining Geostatistics. London, Academic Press. 600 pp.
- Lenntech. 2011. Tabela periódica- propriedades químicas e efeitos na saúde dos elementos químicos, consultada através de: <http://www.lenntech.com/periodic/periodic-chart.htm> consultado em 3 de Abril de 2012.
- LNEG- Carta Geológica de Portugal à escala 1:100 000. Edição LNEG-LGM 2010. Lisboa.
- Maia, Y.L.M. 2004. Análise Multielementar em Água e Sedimentos de Corrente da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte na Região Metropolitana de Goiânia e sua relação com a saúde. Tese para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais e Saúde na Universidade Católica de Goiás, Brasil. 86pp.
- Maroto, A.G., Navarrete, J., Jimenez, R.A. 1997. Concentraciones de metales pesados en la vegetación autoctona desarrollada sobre los suelos del entorno de una mina abandonada. Boletim Geológico y Minero 108-1: 67-74
- Mason, B. & Moore, C.B. (1982). Principles of geochemistry. John Wiley & Sons, Hong Kongs. 344pp.

- Matheron, G. 1971. The theory of regionalized variables and its applications, Published by the École Nationale Supérieure des Mines de Paris.
- Muller, G. 1979. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins- Veränderungen seit 1971. Umschau 79: 778-783.
- Neves, A.L.C. 2011. Risco ambiental associado às explorações mineiras abandonadas da Mata da Rainha (Penamacor). Tese para a obtenção do grau de Mestre em Monitorização de Riscos e Impactos Ambientais no Instituto Superior de Castelo Branco. 51pp.
- Reimann, C. & Caritat, P. 1998. Chemical elements in the environment. New York, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 398pp.
- Ribeiro, C. M. 2005. Estabelecimento de uma rotina laboratorial para análise química de sedimentos e sua aplicação a sedimentos continentais do Minho (NW Portugal): contribuição para a reconstituição paleoambiental da região. Tese para a obtenção do grau de Mestre em Ciências do Ambiente na Universidade do Minho. 167pp.
- Santos Oliveira, J. M., Pedrosa, M.Y, Canto Machado, M.J, Rochas Silva, J. 1998. Impacte ambiental provocado pela actividade mineira. Caracterização da situação junto da Mina de Jales, avaliação dos riscos e medidas de reabilitação. Actas do V Congresso Nacional de geologia. Tomo 84, fasc.2:E74-E77.
- Sequeira, A.J.D. & Proença, J.M.S. 2004. O Património Geológico e Geomorfológico do concelho de Idanha-a-Nova - contributo para a sua classificação como Geoparque. Associação Portuguesa de Geólogos. In Geonovas nº 18: 77-92.
- Siegel, F.R. 2002. Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Heavy Metals. Springer-Verlag, Heidelberg. 218pp.
- Silva, C.R., Figueiredo, B.R., Capitani, E.M., Cunha, F.G. 2006. Geologia médica no Brasil: efeitos dos materiais e factores geológicos na saúde humana e meio ambiente. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro. 220 pp. consultável em: <http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=941&sid=41> consultado em 28 de Março de 2012.
- Silveira, C.S.L. 2008. O interesse do Tungsténio (W) e Estanho (Sn) da Mina da Panasqueira, contributo para o ensino das Ciências da Natureza. Vila Real: Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro. Tese para a obtenção do grau de Mestre em Matemática e Ciências da Natureza para o Ensino na Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro. 111pp.
- SNIRH. Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos 1995-2012. Boletim de Precipitação do Sistema Nacional dos Recursos Hídricos, para o ano hidrológico de 2010/2011 na área de influencia da estação de monitorização do Ladoeiro, consultável em: [www.snirh.pt](http://www.snirh.pt) consultado em 8 de Fevereiro de 2012.
- Soares A. 2000. Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente. Instituto Superior de Técnico, IST Press. Lisboa, Portugal. 199pp-
- Vicini, L. 2005. Análise multivariada da teoria à prática. Monografia de especialização na Universidade Federal de Santa Maria, Brasil. 215pp.

# Anexo I



**Figura I** Histogramas e boxplots das concentrações totais dos elementos Ba, P, Ag e B nos sedimentos de corrente da área em estudo.

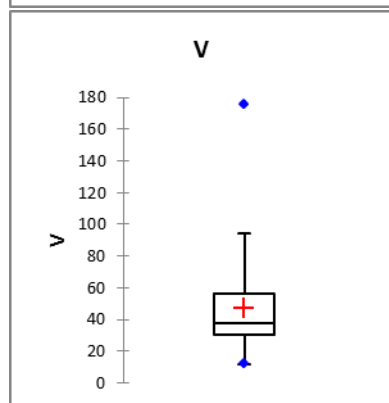
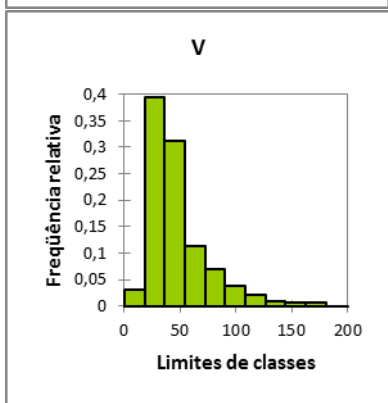
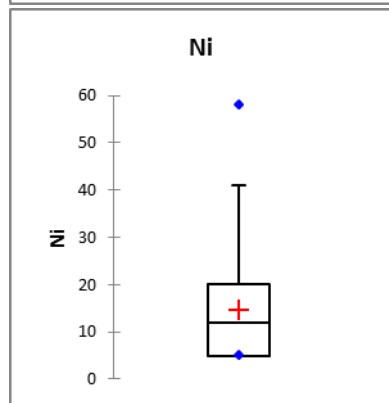
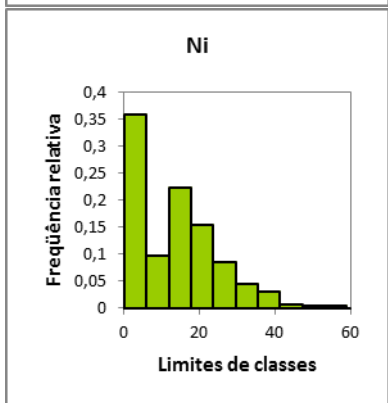
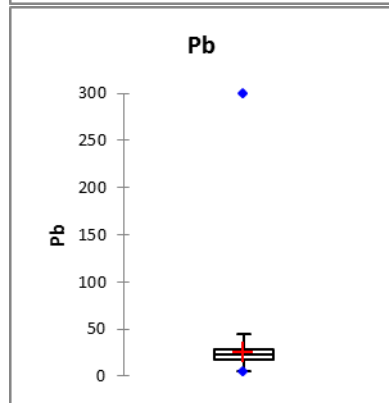
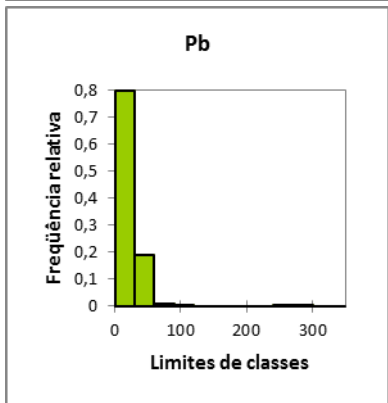
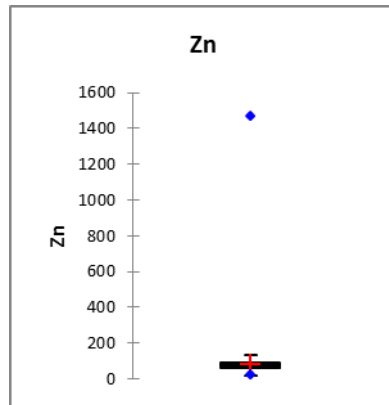
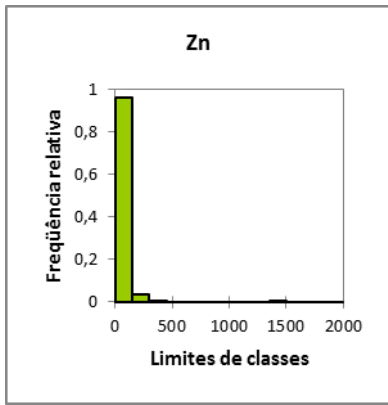


Figura II Histogramas e boxplots das concentrações totais dos elementos Zn, Pb, Ni, e V nos sedimentos de corrente da área em estudo.

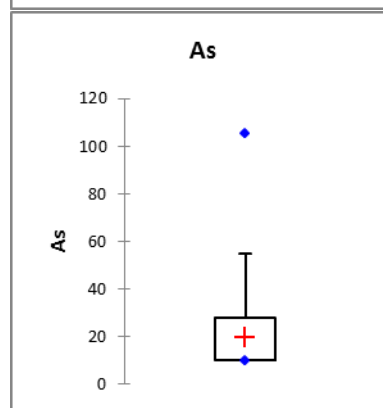
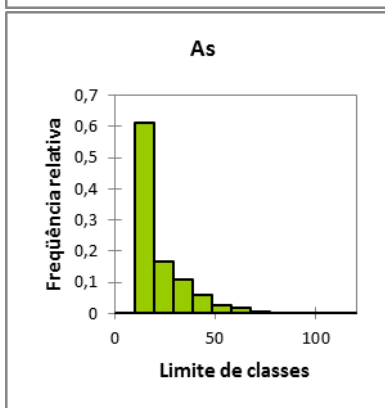
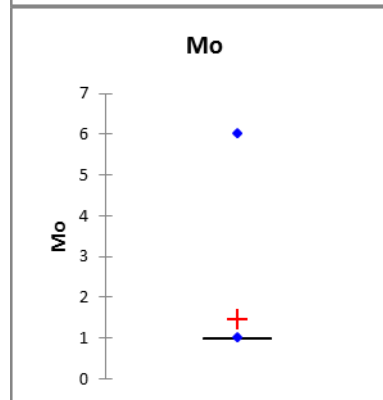
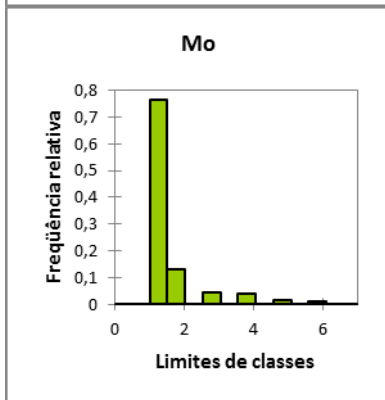
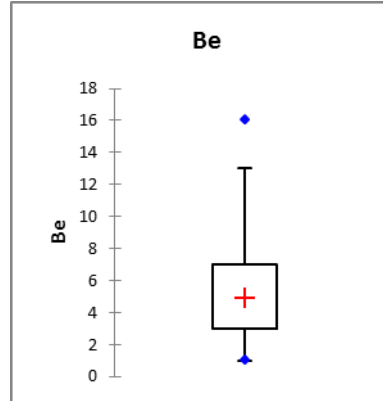
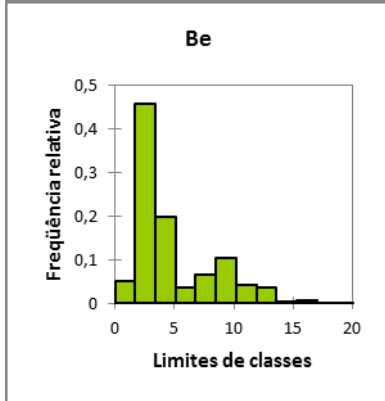
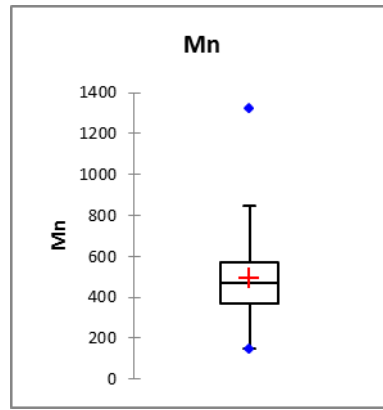
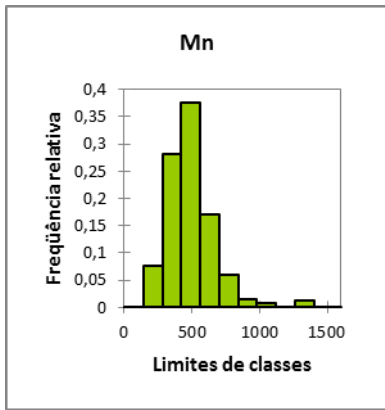


Figura III Histogramas e boxplots das concentrações totais dos elementos Mn, Be, Mo e As nos sedimentos de corrente da área em estudo.

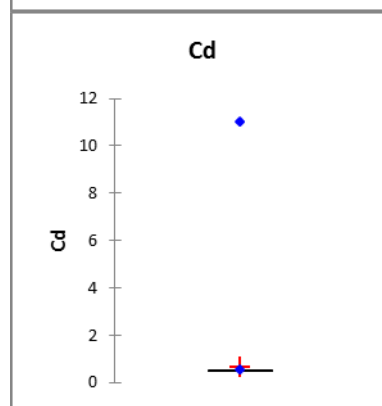
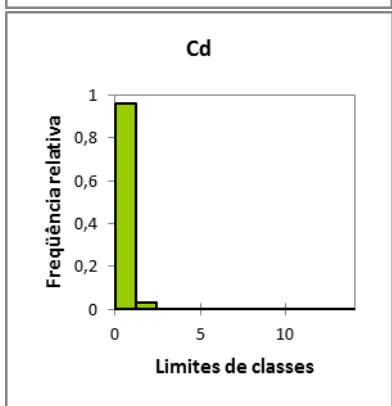
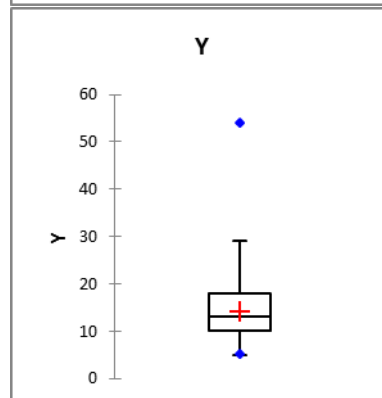
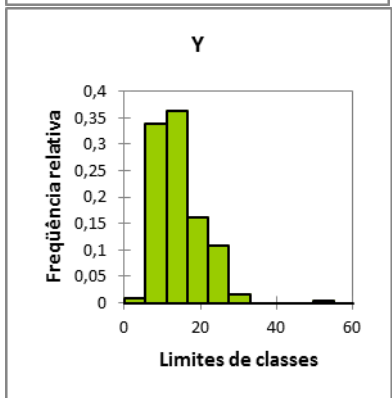
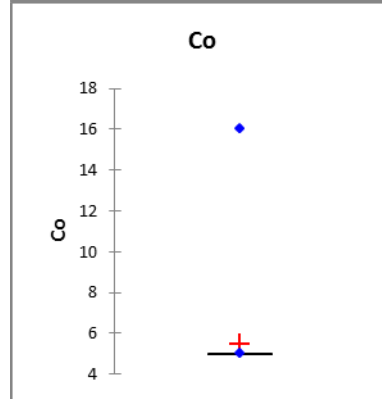
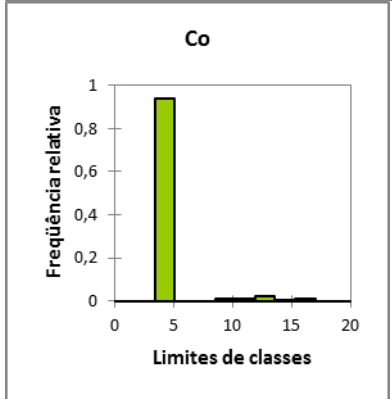
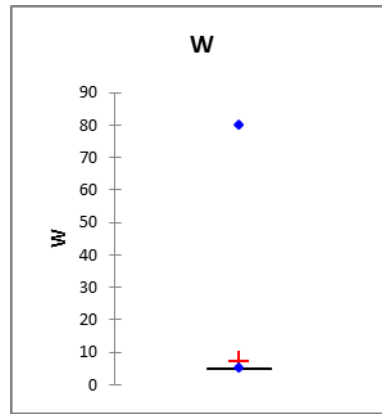
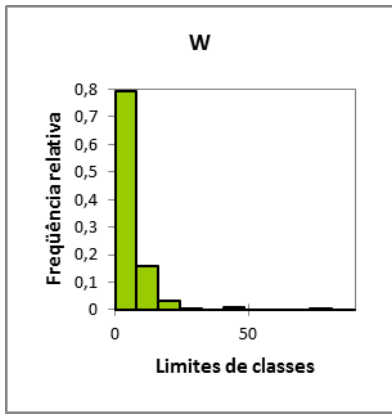


Figura IV Histogramas e boxplots das concentrações totais dos elementos W, Co, Y e Cd nos sedimentos de corrente da área em estudo.

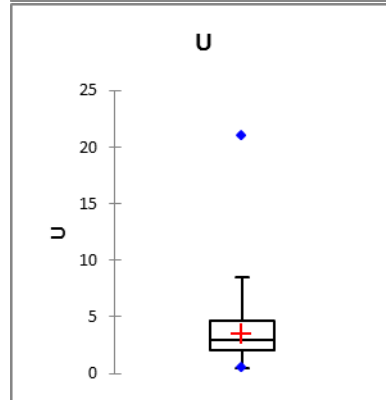
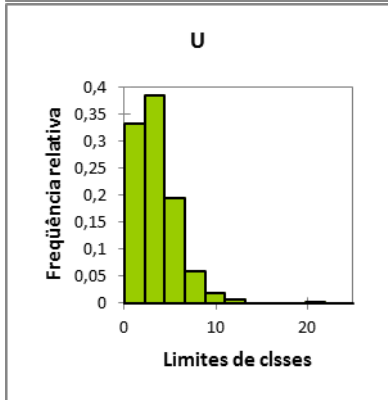
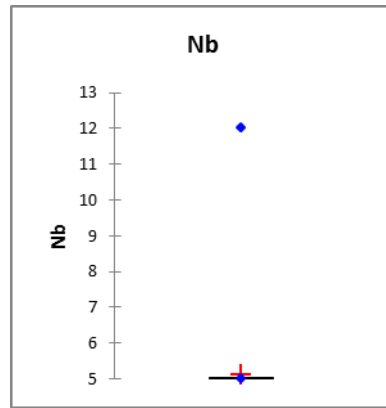
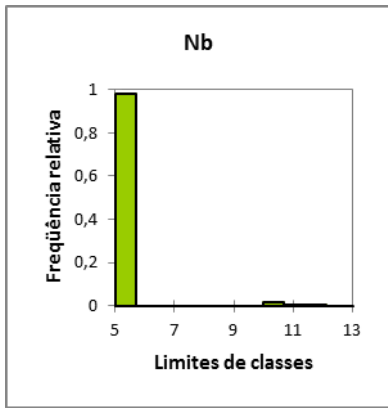


Figura V Histogramas e boxplots das concentrações totais dos elementos Nb e U nos sedimentos de corrente da área em estudo.

## Anexo II

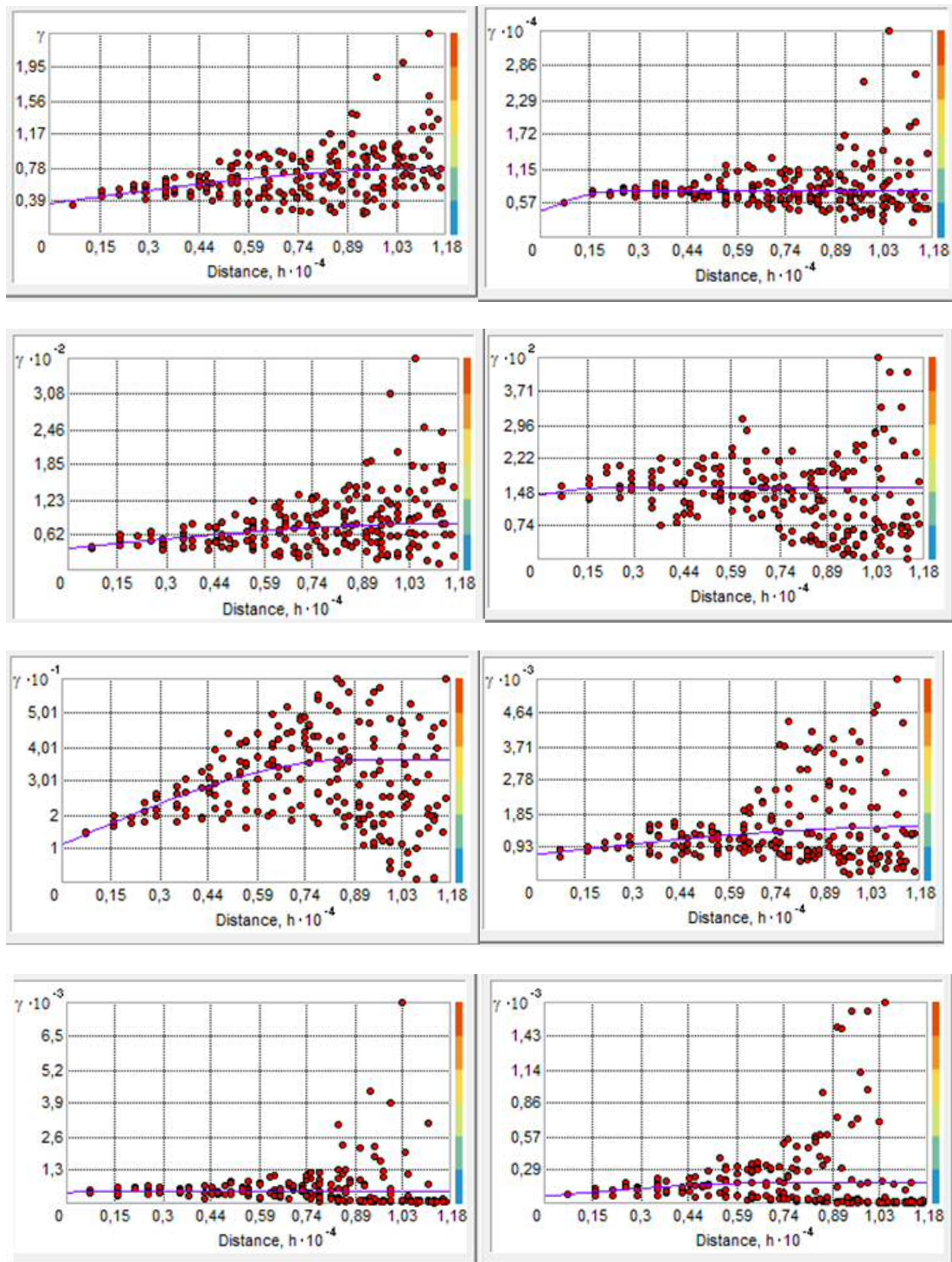


Figura I- Variogramas representativos das concentrações totais dos elementos Fe Ba, Cu, Ag, B, Zn, Pb e Sn respectivamente, dos sedimentos de corrente da área em estudo.

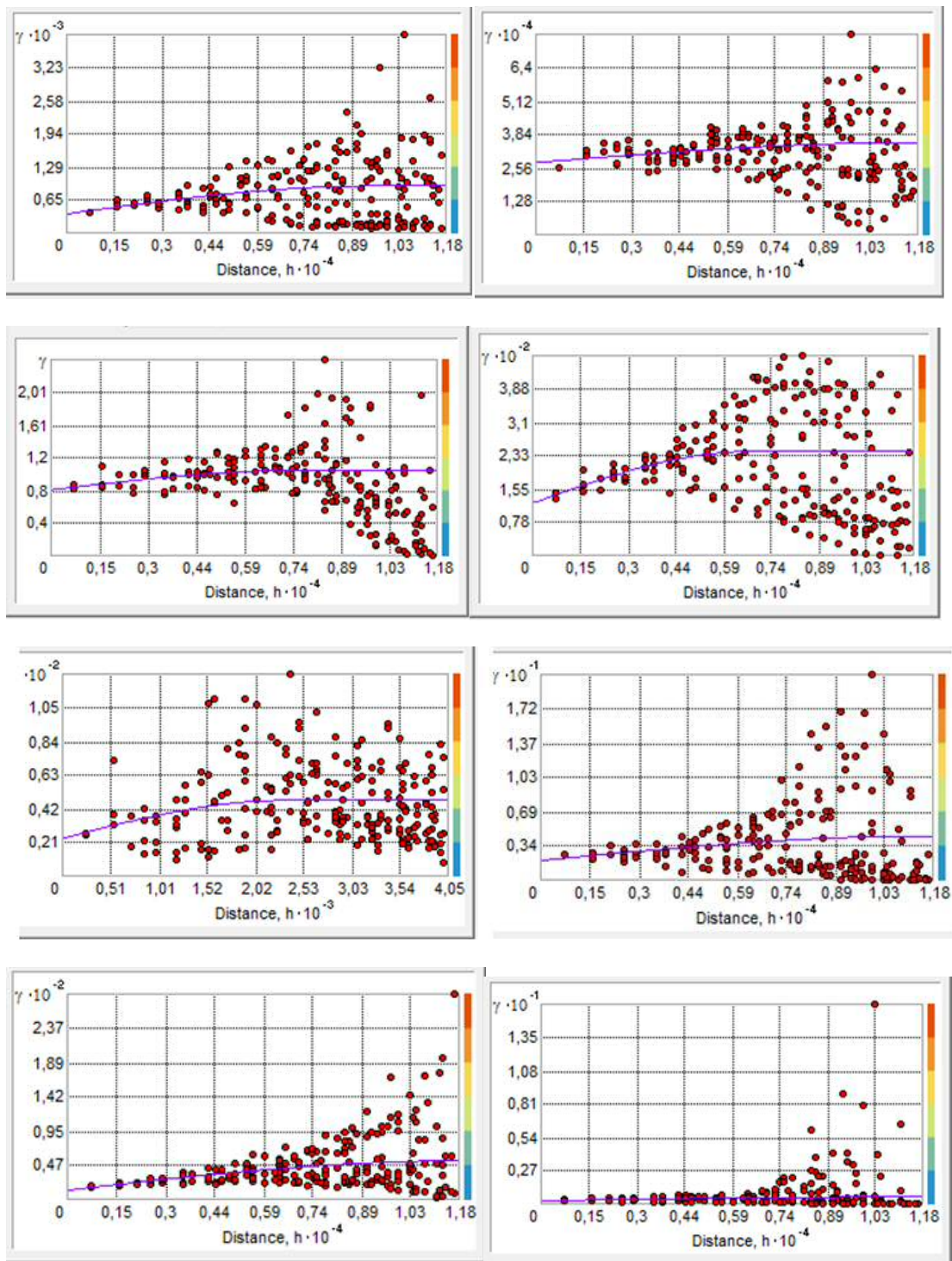


Figura II-Variogramas representativos das concentrações totais dos elementos V, Mn, Mo, As, W, Co, Y e Cd respectivamente, dos sedimentos de corrente da área em estudo.

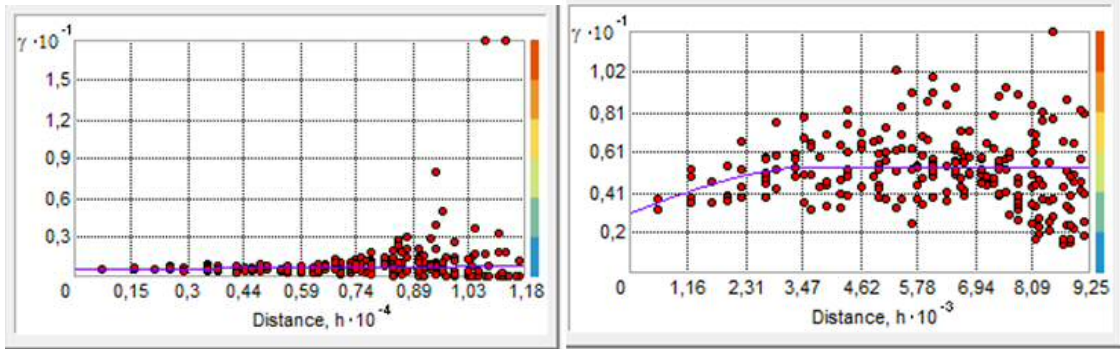


Figura III- Variogramas representativos das concentrações totais dos elementos Nb e U respectivamente, dos sedimentos de corrente da área em estudo.

## Anexo III

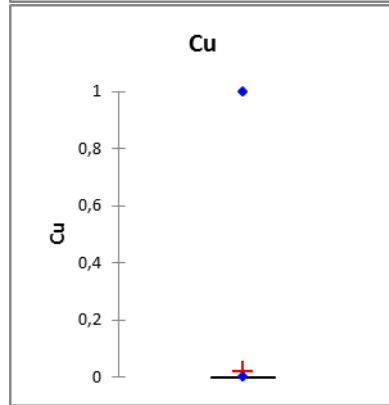
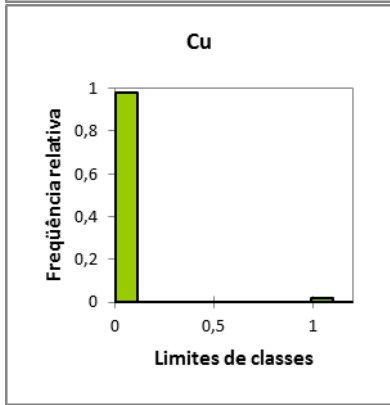
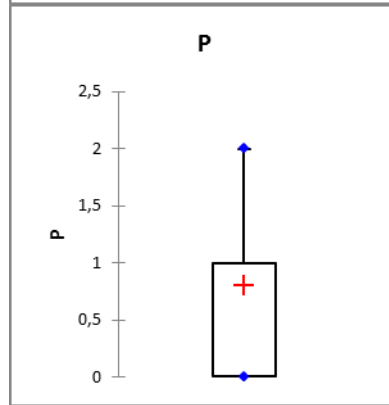
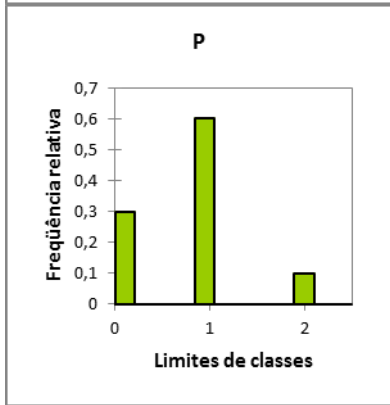
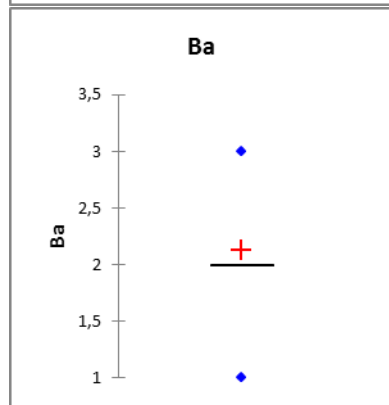
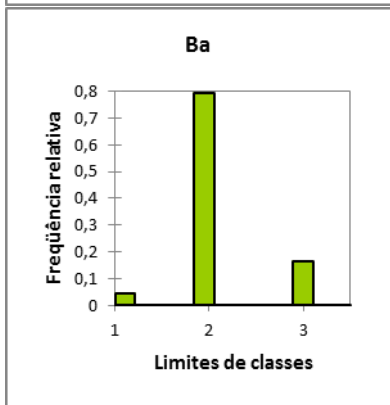
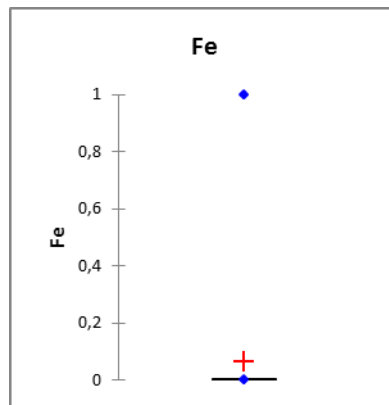
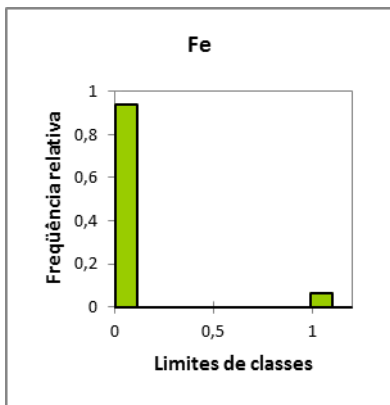


Figura I Diagrama de barras e boxplots do índice de geoacumulação para os elementos Fe, Ba, P, e Cu dos sedimentos de corrente da área em estudo

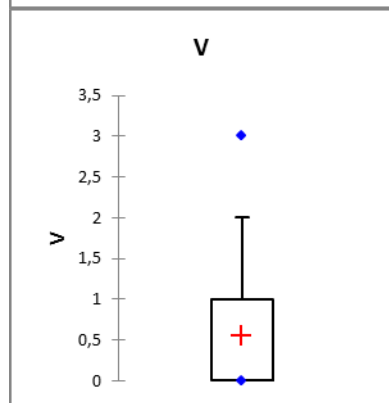
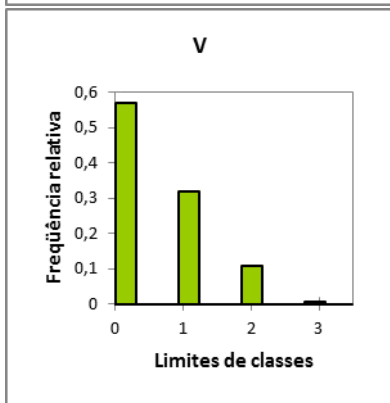
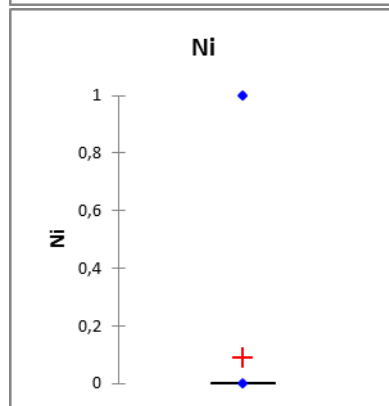
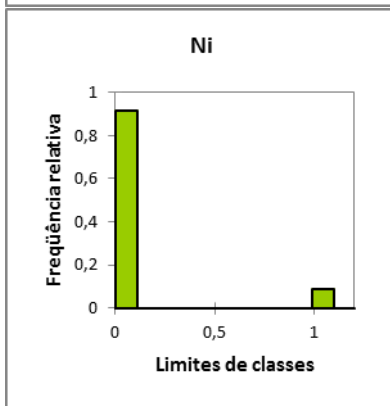
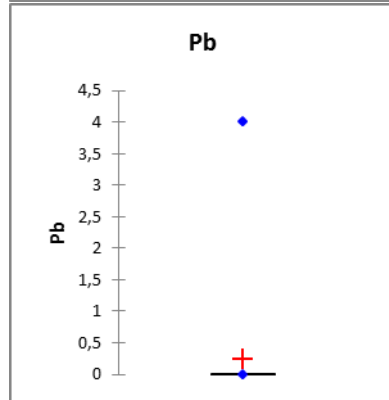
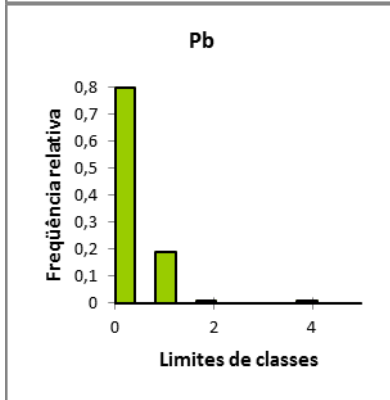
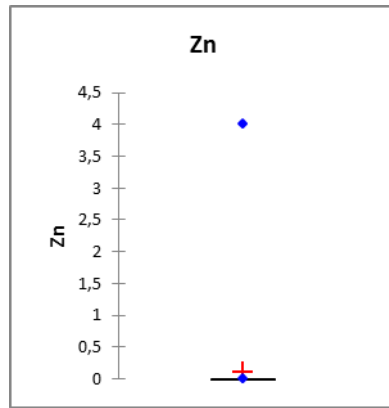
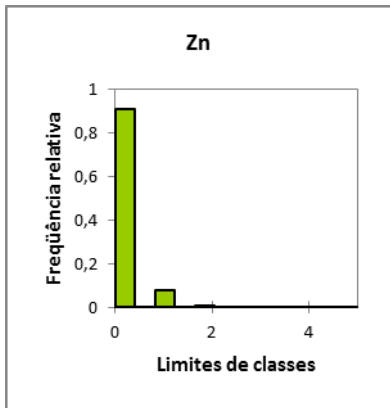


Figura II Diagrama de barras e boxplots do índice de geoacumulação para os elementos Zn, Pb, Ni e V dos sedimentos de corrente da área em estudo

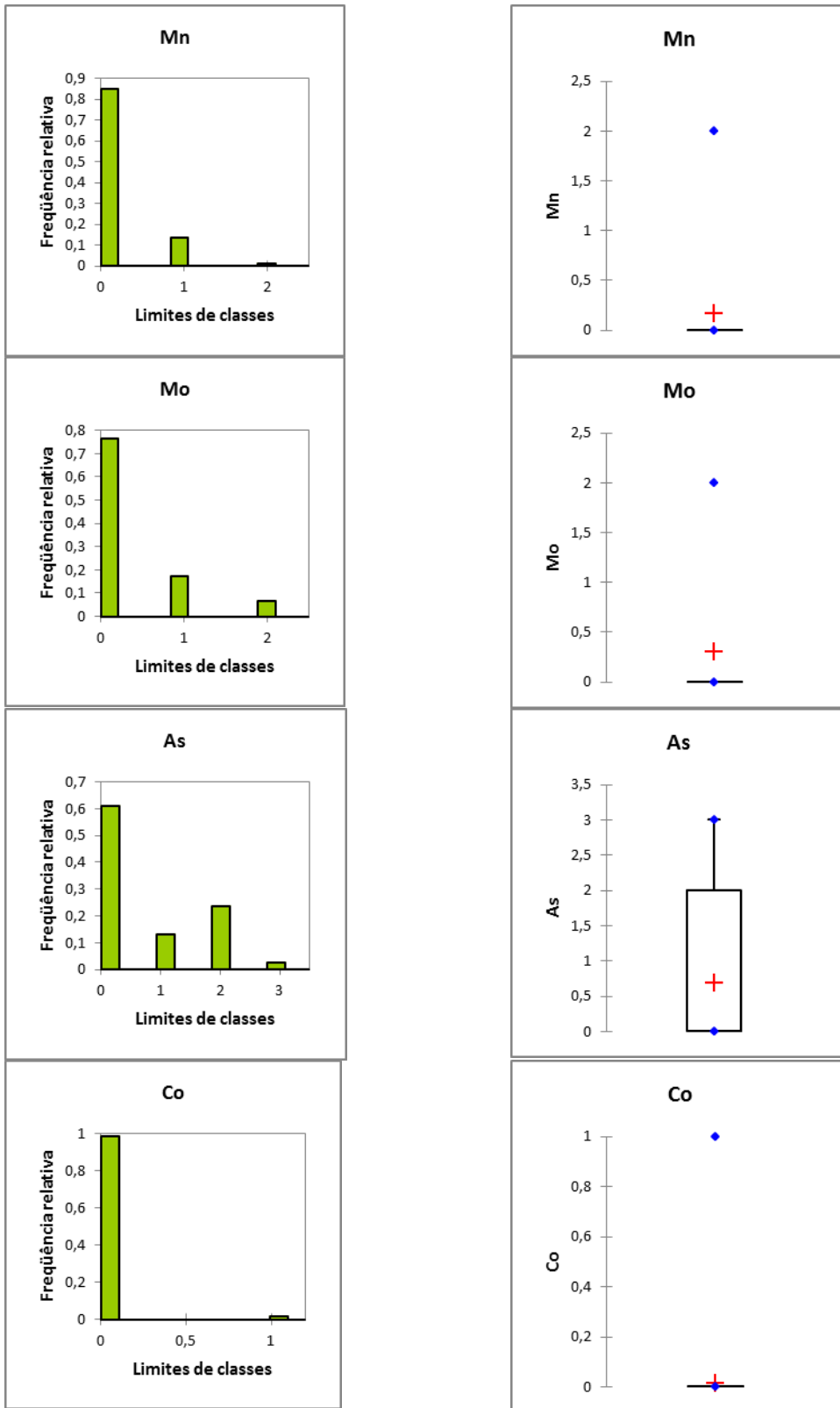


Figura III Diagrama de barras e boxplots do índice de geoacumulação para os elementos Mn, Mo, As e Co dos sedimentos de corrente da área em estudo.

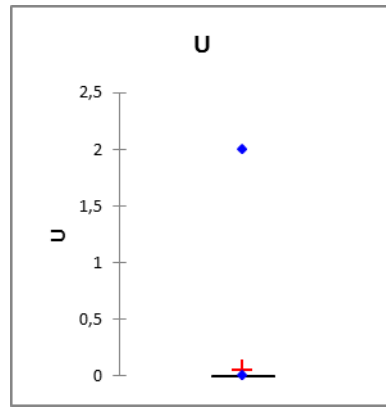
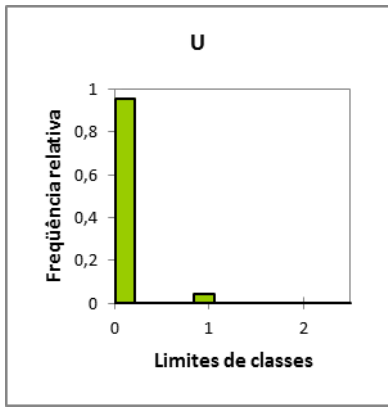
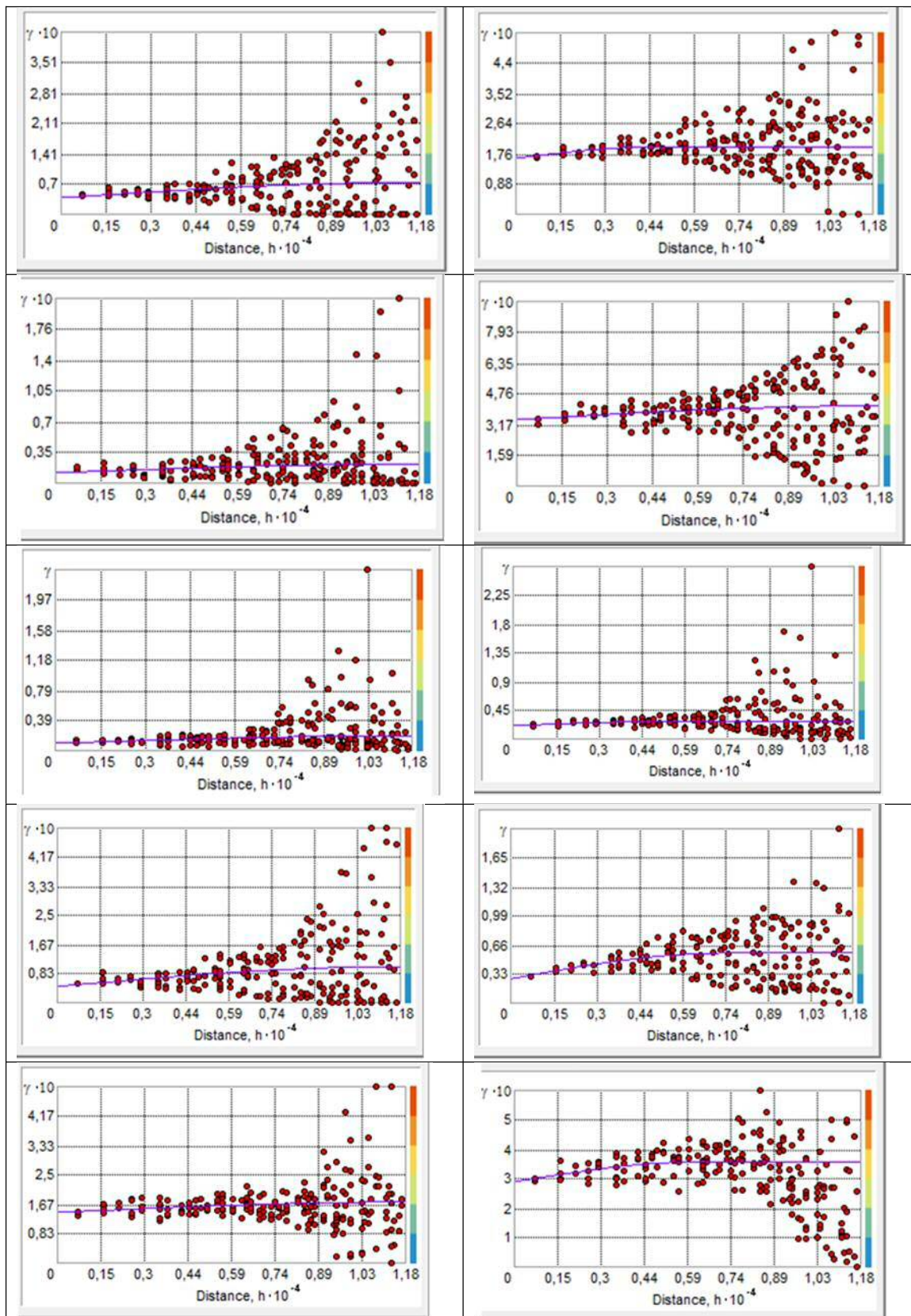


Figura IV Diagrama de barras e boxplot do índice de geoacumulação para o elemento U dos sedimentos de corrente da área em estudo

## Anexo IV



**Figura 1** Variogramas dos índices de geoacumulação dos elementos Fe, Ba, Cu, Ag, Zn, Pb, Ni, V, Mn e Mo respectivamente dos sedimentos de corrente da área em estudo

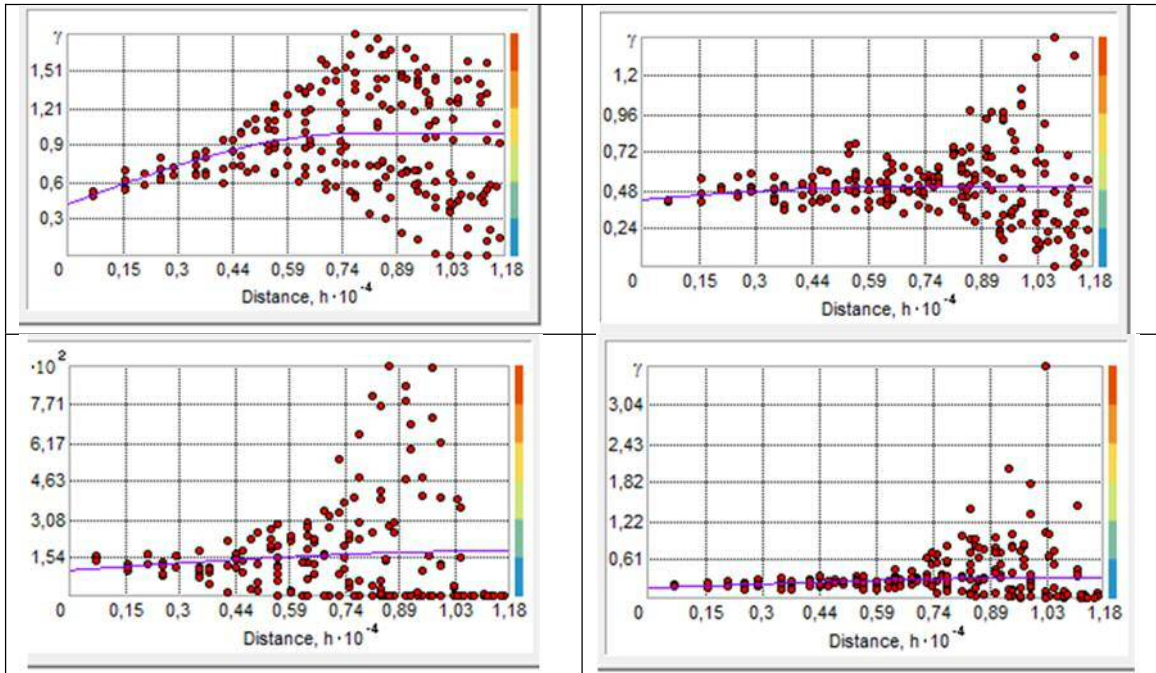


Figura II Variogramas dos índices de geoacumulação dos elementos As, W, Co e Cd respectivamente dos sedimentos de corrente da área em estudo