



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUISTA FILHO”

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

**DEFINIÇÃO DA ASSINATURA GEOQUÍMICA MULTIELEMENTO SECUNDÁRIA DOS DEPÓSITOS DE
CANOAS E PERAU – VALE DO RIBEIRA – PR E SUA APLICAÇÃO COMO FERRAMENTA NA
SELEÇÃO DE NOVAS ÁREAS POTENCIAIS PARA PESQUISA MINERAL.**

Juliano Alex Ferreira

Rio Claro - SP
2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

Juliano Alex Ferreira

**DEFINIÇÃO DA ASSINATURA GEOQUÍMICA MULTIELEMENTO SECUNDÁRIA DOS DEPÓSITOS
CANOAS E PERAU – VALE DO RIBEIRA – PR E SUA APLICAÇÃO COMO FERRAMENTA NA
SELEÇÃO DE NOVAS ÁREAS POTENCIAIS PARA PESQUISA MINERAL.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geologia Regional.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Milton Barbosa Landim

Rio Claro - SP
2012

JULIANO ALEX FERREIRA

**DEFINIÇÃO DA ASSINATURA GEOQUÍMICA MULTIELEMENTO SECUNDÁRIA DOS DEPÓSITOS
CANOAS E PERAU – VALE DO RIBEIRA – PR E SUA APLICAÇÃO COMO FERRAMENTA NA
SELEÇÃO DE NOVAS ÁREAS POTENCIAIS PARA PESQUISA MINERAL.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geologia Regional.

Comissão Examinadora

Rio Claro, _____ de _____ de 2012

*"Há homens que lutam um dia e são bons.
Há outros que lutam um ano e são melhores.
Há os que lutam muitos anos e são muito bons.
Porém, há os que lutam toda a vida.
Esses são os imprescindíveis."*

(Bertolt Brecht)

Por uma vida toda dedicada ao trabalho até os últimos instantes, dedico este trabalho ao amigo e professor, Dr. Elias Carneiro Daitx (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Paulo Milton Barbosa Landim pela orientação e disposição em tocar em frente este projeto após o falecimento do professor Dr. Elias Carneiro Daitx.

A minha noiva Caroline pela disposição em corrigir e revisar este trabalho inúmeras vezes, mesmo super atarefada com o seu mestrado e aulas.

A empresa Votorantim Metais, representada pelo Diretor de exploração Jones Belther e o Gerente geral de exploração Lucio Molinari, por disponibilizar os dados para a execução deste projeto e também pelo apoio na sua realização.

Um especial agradecimento ao geólogo Francisco Abreu (Btv) pelas contribuições, discussões, incentivo e apoio enquanto estive sob sua coordenação na equipe do regional zinco Brasil.

Ao amigo e colega de trabalho João Henrique Boniatti por me ajudar com a geologia regional do Vale do Ribeira.

Ao meu irmão Gustavo pela ajuda sempre que necessária na entrega de documentos, protocolos e demais burocracias junto a Pós-Graduação durante minhas constantes viagens de trabalho.

Aos professores Dr. Antenor Zanardo e Dr. José Ricardo Sturaro pelas dicas e discussões na minha qualificação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional e seu quadro de funcionários com especial agradecimento à secretária Rosângela Vacello pela atenção e auxílio sempre que necessário.

"A imaginação é mais importante que o conhecimento."
(Albert Einstein)

RESUMO

A região do Vale do Ribeira onde está inserido o Complexo Perau, contempla dois depósitos importantes de Pb-Zn-Ag, (Depósitos Canoas e Perau) além de diversas ocorrências de metais básicos (Água Clara, Pretinhos, Betara, Lavras, Salvador) e inúmeros *showings* de minerais oxidados de cobre. O presente estudo teve como objetivo a definição da assinatura geoquímica multielementos secundária das mineralizações de chumbo e zinco dos depósitos Canoas, Perau e sua aplicação como uma ferramenta na descoberta de novos depósitos subaflorantes. Para isso, foram utilizados os resultados analíticos adquiridos durante uma extensa campanha geoquímica de sedimento de corrente (2007 a 2008) impetrada durante a execução de um projeto de exploração mineral no Vale do Ribeira. Dentre as ferramentas ou procedimentos estatísticos uni e multivariados disponíveis, são destacados neste trabalho: Estatística Descritiva, Agrupamentos Hierárquico e Análise dos Componentes Principais além da Regressão Polinomial. Os resultados obtidos acerca da assinatura geoquímica secundária das jazidas Canoas e Perau mostram agrupamentos de elementos bem destacados em torno das microbacias contemplando zonas com mineralização aflorantes ou subaflorantes. Dentre os agrupamentos químicos que melhor representam a mineralização secundária dos depósitos Canoas e Perau, destacam-se os elementos Zn, Pb, Ba, Ag e Cu, no caso da jazida Canoas e Pb, Ba, Ag, Zn, Na e S para a jazida Perau. Para a mineralização primária foram obtidos os agrupamentos dado pelos elementos Cd, Zn, Pb, Ag, S e Sb. Os resultados obtidos, compostos pelos elementos com afinidade direta à mineralização Pb-Zn e seus acessórios, foram empregados por meio de uma razão aditiva cujo objetivo foi enfatizar o sinal geoquímico produzido pela mineralização nos sedimentos ativos de drenagem, coletados ao longo de toda a extensão da área estudada. Os resultados desta função aplicados a base de dados de sedimento de corrente resultou na seleção de novas áreas potenciais, cuja análise pura e simples dos resultados de sedimento de corrente, feitas anteriormente não haviam sido capazes de fazer.

Palavras-chaves: Análise multivariada, análise de tendência, assinatura geoquímica, áreas potenciais, sedimento de corrente, Vale do Ribeira.

ABSTRACT

Vale do Ribeira region, where is located the Perau Complex, comprises two important deposits of Pb-Zn-Ag (Água Clara, Pretinhos, Betara, Lavras, Salvador) and countless showings of oxidized copper minerals. This paper had as objective the definition of secondary multi-element geochemical signature of the mineralizations of lead and zinc in the deposits of Canoas, Perau, and its implementation as an instrument in the discovery of new sub-surface deposits. Therefore, were used the analytical results acquired during an extensive geochemical campaign of stream sediment (2007 to 2008) impetrated during the realization of a mineral exploration project in Vale do Ribeira. Among the instruments or univariate and multivariate statistical procedures available, are highlighted in this paper: Descriptive Statistics, Hierarchical Groupings and Principal Component Analysis beyond the Polynomial Regression. Results gathered on secondary geochemical signature of Canoas and Perau deposits show prominent groups of elements around micro-basins covering zones with outcropping or sub-surface mineralization. Among the chemical groups that best represent the secondary mineralization of Canoas and Perau deposits, the most important are the elements Zn, Pb, Ba, Ag e Cu in the case of Canoas deposit, and Pb, Ba, Ag, Zn, Na e S, for Perau deposit. For the primary mineralization, were obtained the groups represented by the elements Cd, Zn, Pb, Ag, S e Sb. The results obtained, composed by the elements with direct affinity to Pb-Zn mineralization and its accessories, were employed by an additive ratio whose goal was to emphasize the geochemical signal produced by the mineralization in active drainage sediments, collected over the whole extension of the studied area. The results of this function applied to the stream sediment database resulted in the selection of new potential areas, for which the pure and simple analysis of stream sediment made before was not capable to do.

Keywords: Multivariate analysis, trend analysis, geochemical signature, potential areas, stream sediment, Vale do Ribeira.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Dendograma de correlação entre os elementos analisados	86
Gráfico 2: Associação de elementos por meio da análise dos componentes principais	87
Gráfico 3: Análise dos componentes principais utilizando apenas os elementos discriminados na primeira análise (ACP)	88
Gráfico 4: Dendograma hierárquico de correlação entre os elementos analisados.....	97
Gráfico 5: Associação de elementos por meio da análise de componentes principais.....	99
Gráfico 6: Análise dos componentes principais utilizando apenas os elementos discriminados na primeira análise (ACP)	100
Gráfico 7: Gráfico em escala logarítmica base 10, (furo PED0039) com destaque para quebra positiva em vermelho ilustrando o horizonte mineralizado	107
Gráfico 8: Gráfico em escala logarítmica base 10, (furo PED0039) com destaque para quebra positiva em vermelho ilustrando o horizonte mineralizado	108
Gráfico 9: Gráfico em escala logarítmica base 10, (furo PED0039) com destaque para quebra positiva em vermelho ilustrando o horizonte mineralizado	108
Gráfico 10: Dendograma hierárquico de correlação entre os elementos analisados	109
Gráfico 11: Associação de elementos por meio da análise dos componentes principais	110
Gráfico 12: Análise dos componentes principais utilizando apenas os elementos discriminados na primeira análise (ACP)	111

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Características principais das mineralizações do tipo Panelas e Perau	42
Quadro 2: Quadro comparativo entre as Jazidas Perau e Canoas	44
Quadro 3: Método de análise e preparação das amostras de sedimento de corrente	42
Quadro 4: Elementos químicos analisados para as amostras de sedimento de corrente	42
Quadro 5: Elementos químicos analisados para as amostras de testemunho de sondagem	44
Quadro 6: Elementos indicadores e farejadores em hidrogeoquímica para diferentes tipos de depósitos minerais	54
Quadro 7: Mobilidades de alguns elementos químicos em relação às condições ambientais de Eh/pH	56
Quadro 8: Planilha ilustrando os dados disponibilizados no banco de dados	71
Quadro 9: Resultados analíticos abaixo ou igual ao limite de detecção	72
Quadro 10: Elementos padronizados para unidade de medida ppm	72
Quadro 11: Estatísticas descritivas do banco de dados completo de sedimento de corrente	72
Quadro 12: Banco de dados (BD) individualizado por furos com número de amostras analisadas e elementos excluídos com destaque para o furo PED0039	74
Quadro 13: Sumário estatístico para amostras de sedimento de corrente do grupo-1	75
Quadro 14: Definição das classes de anomalias	79
Quadro 15: Relação de elementos excluídos por apresentarem todos os resultados analíticos abaixo do limite de detecção	84
Quadro 16: Resultados analíticos (ppm) para as amostras analisadas pela (ACP)	89
Quadro 17: Agrupamentos e/ou associações formadas pelos diferentes métodos utilizados (Análise de Agrupamentos Hierárquicos e Análise dos componentes principais)	91
Quadro 18: Relação de elementos excluídos por apresentarem todos os resultados analíticos abaixo do limite de detecção ou nulos (zero)	95
Quadro 19: Quadro com as assinaturas geoquímicas secundárias dos depósitos Canoas e Perau	98
Quadro 20: Resultados analíticos (ppm) para as amostras analisadas pela (ACP)	100
Quadro 21: Matriz de correlação utilizando o coeficiente de Pearson	110
Quadro 22: Resultados analíticos sumarizados (ppm) para as amostras analisadas pela (ACP)	111
Quadro 23: Elementos farejadores definidos com base na assinatura geoquímica secundária e primária dos depósitos Canoas e Perau	113

Quadro 24: Funções aditivas testadas para melhor ajustes frente às mineralizações conhecidas com destaque para a tomada como referência neste trabalho	114
Quadro 25: Divisão de classes ou faixas de teores para elaboração do mapa geológico-geoquímico	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fases e principais granitóides relacionados	33
Tabela 2: Cuidados que se deve levar em consideração no uso da regressão polinomial (AST)	68
Tabela 3: Principais etapas e/ou procedimento para o cálculo da superfície de tendência	69
Tabela 4: Percentis com os teores para os principais elementos de interesse	79
Tabela 5: Estatísticas descritivas	115
Tabela 6: Sumário estatístico do resultado da função aditiva	119

LISTA DE FOTOS E FLUXOGRAMA

Foto 01: Relevo acidentado da área de estudo. (visada de SE para NE, região Perau, Vale do Ribeira)	23
Quadro de fotos: Fotos ilustrando as principais etapas da amostragem de sedimento de corrente	47
Fluxograma: Fluxograma de trabalho ilustrando as principais etapas de análise e manipulação dos dados	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização e vias de acesso da área de estudo	22
Figura 2: Áreas cratônicas com destaque para área do projeto; Paranapanema (P); Congo (C); Kalahari (K)	25
Figura 3: Mapa geológico simplificado do Escudo Paranaense, demonstrando o empilhamento estratigráfico sugerido pela Mineropar	27
Figura 4: Coluna litoestratigráfica simplificada da área de estudo.....	34
Figura 5: Coluna Estratigráfica do Complexo Perau.....	36
Figura 6: Mapa geológico do projeto Perau	38
Figura 7: Tipologia de depósitos tipo Panelas.....	38
Figura 8: Reservas de zinco (A), Recursos (B) e produção (C) em 2004.....	39
Figura 9: Arquitetura de bacias sedimentares associadas a depósitos do tipo Sedex (Sedimentary basin architecture for SEDEX deposits.....	40
Figura 10: Mapa geológico de detalhe contemplando os principais depósitos dentro da área de estudo	41
Figura 11: Amostras de sedimento coletadas no projeto.....	46
Figura 12: Amostras coletadas durante o projeto, separadas em dois grupos conforme método de preparação e análise química.....	48
Figura 13: Figura ilustrando duas possibilidades para formação de halos geoquímicos primários em depósito de ouro filoniano	55
Figura 14: Figura ilustrando a destruição supergênica de um depósito mineral	55
Figura 15: Posição dos quartis, decis e percentis na curva normal.....	60
Figura 16: Posição dos quartis, decis e percentis na curva normal.....	61
Figura 17: Curvas de distribuição unimodal, bimodal e polimodal	61
Figura 18: Dendograma.....	65
Figura 19: Exemplo de gráficos bidimensionais obtidos através da análise de agrupamentos de similaridade	66
Figura 20: Mapa geológico da área com teores de sedimento separados por classes de anomalias (Zn ppm)	80
Figura 21: Mapa geológico da área com teores de sedimento separados por classes de anomalias (Pb ppm)	80

Figura 22: Mapa geológico da área com teores de sedimento separados por classes de anomalias (Ba ppm)	81
Figura 23: Mapa geológico da área com teores de sedimento separados por classes de anomalias (Cu ppm)	81
Figura 24: Mapa geológico da área com teores de sedimento separados por classes de anomalias (Ag ppm)	82
Figura 25: Mapa geológico da região de entorno dos depósitos Canoas I, II e III com área de influência da rede de drenagens e amostras de sedimento de corrente	83
Figura 26: Mapa geológico da região de entorno da Mina Perau com área de influência do depósito e amostras de sedimento de corrente	84
Figura 27: Mapa geológico da região de entorno dos depósitos Canoas 1, 2 e 3 com área de influência do depósito e amostras de sedimento de corrente	90
Figura 28: Mapa de tendência linear para os elementos Zn e Pb (C1, C2 e C3 = Corpo Canoas 1, Canoas 2 e Canoas 3)	92
Figura 29: Mapa de tendência linear para os elementos Cu e Ba (C1, C2 e C3 = Corpo Canoas 1, Canoas 2 e Canoas 3)	92
Figura 30: Mapa de tendência linear para o elemento Ag (C1, C2 e C3 = Corpo Canoas 1, Canoas 2 e Canoas 3)	93
Figura 31: Mapa de resíduos para os elementos Zn e Pb (C1, C2 e C3 = Corpo Canoas 1, Canoas 2 e Canoas 3)	94
Figura 32: Mapa de resíduos para os elementos Cu e Ba (C1, C2 e C3 = Corpo Canoas 1, Canoas 2 e Canoas 3)	94
Figura 33: Mapa de resíduo para o elemento Ag (C1, C2 e C3 = Corpo Canoas 1, Canoas 2 e Canoas 3)	95
Figura 34: Mapa de tendência linear para os elementos Zn e Pb (+Perau => Depósito Perau)	101
Figura 35: Mapa de tendência linear para os elementos Na e Ba (+Perau => Depósito Perau)	102
Figura 36: Mapa de tendência linear para os elementos Ag e Cd (+ Perau => Depósito Perau)	103
Figura 37: Mapa de tendência linear para os elementos S (+Perau => Depósito Perau)	104
Figura 38: Mapa de resíduos para os elementos Zn e Pb (+Perau => Depósito Perau)	104
Figura 39: Mapa de resíduos para os elementos Zn e Pb (+Perau => Depósito Perau)	104
Figura 40: Mapa de resíduos para os elementos Na e Ba (+Perau => Depósito Perau)	104
Figura 41: Mapa de resíduos para os elementos Ag e Cd (+Perau => Depósito Perau)	105
Figura 42: Mapa de resíduos para o elemento S (+Perau => Depósito Perau)	105

Figura 43: Mapa geológico da área Canoas com destaque em vermelho para linhas de contorno de corpo mineralizado, e furo utilizado para a definição da assinatura geoquímica	106
Figura 44: Perfil geológico esquemático perpendicular ao prolongamento do corpo Canoas-3, e furo utilizado para definição da assinatura geoquímica (PED0039)	107
Figura 45: Mapa geológico com resultados de sedimento de corrente (grupo-1) discriminando em classes (Zn ppm)	116
Figura 46: Mapa geológico com resultados de sedimento de corrente (grupo-1) discriminando em classes (Pb ppm)	117
Figura 47: Mapa geológico com resultados de sedimento de corrente (grupo-1) discriminando em classes (Ba ppm)	117
Figura 48: Mapa geológico com resultados de sedimento de corrente (grupo-1) discriminando em classes (Ag ppm)	118
Figura 49: Mapa geológico-geoquímico com destaque para as principais anomalias geradas pela função aditiva	120
Figura 50: Mapa geológico regional com amostragem de sedimento de corrente, rede de drenagem e principais ocorrências e depósitos conhecidos	121
Figura 51: Mapa geológico regional com resultados da geoquímica de sedimento de corrente (Zn – ppm)	122
Figura 52: Mapa geológico regional com resultados da geoquímica de sedimento de corrente (Pb – ppm)	123
Figura 53: Mapa geológico regional com resultados da geoquímica de sedimento de corrente (Ba – ppm)	124
Figura 54: Mapa geológico regional com resultados da geoquímica de sedimento de corrente (Ag – ppm)	125
Figura 55: Mapa geológico regional com resultados da geoquímica de sedimento de corrente (Função Aditiva)	126
Figura 56: Mapa geológico regional com resultados da geoquímica de sedimento de corrente com destaque para resultados da função aditiva com anomalias pré-selecionadas	127
Figura 57: Mapa geológico regional com resultados da geoquímica de sedimento de corrente com destaque para resultados da função aditiva com anomalias priorizadas para check de campo	128
Figura 58: Disposição de todas as amostras de sedimento de corrente (grupo-1) utilizadas para a geração das superfícies de tendência e mapas de resíduos	129
Figura 59: Mapa de tendência linear (TL) e mapa de resíduo pela mínima curvatura (MR) – Zn	130

Figura 60: Mapa de tendência linear (TL) e mapa de resíduo pela mínima curvatura (MR) - Pb	130
Figura 61: Mapa de tendência linear (TL) e mapa de resíduo pela mínima curvatura (MR) – Ba	130
Figura 62: Mapa de tendência linear (TL) e mapa de resíduo pela mínima curvatura (MR) – Ag	131
Figura 63: Mapa de tendência linear (TL) e mapa de resíduo pela mínima curvatura (MR) –	
Função Aditiva	131

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

1.1 Aspectos Gerais	20
1.2 Objetivo	20
1.3 Localização e Acessos	21
1.3.1 Geomorfologia	22
1.3.2 Hidrografia	23
1.3.3 Vegetação	24
1.3.4 Clima	24
1.3.5 Solo	24

CAPÍTULO 2. QUADRO GEOLÓGICO REGIONAL E LOCAL

2.1 Geologia Regional do Vale do Ribeira	25
2.2 Estratigrafia	27
2.2.1 Complexo Costeiro ou Cristalino	27
2.2.2 Grupo Setuva	28
2.2.2.1 Formação Perau	28
2.2.2.2 Formação Água Clara	28
2.2.3 Grupo Açungui	29
2.2.3.1 Formação Votuverava	29
2.2.3.2 Metabásicas	30
2.2.3.3 Formação Capiçu	30
2.2.3.4 Formação Itaioca	31
2.2.3.5 Formação Antinha	31
2.2.3.6 Formação Camarinha	32
2.2.3.7 Intrusivas Básicas	32
2.2.3.8 Intrusivas Ácidas	32
2.3 Geologia Local	33

CAPÍTULO 3. MINERALIZAÇÕES

3.1 Gênese e Características dos Depósitos tipo Perau	39
---	----

CAPÍTULO 4. COLETA DE DADOS, PREPARAÇÃO E ANÁLISES

QUÍMICAS	
4.1 Coleta de Sedimento ativos de drenagem	46
4.1.1 Preparação e análise	47
4.2 Amostragem de rocha em testemunhos de sondagem	50
4.2.1 Preparação e análise	51
CAPÍTULO 5. PRINCÍPIOS GEOQUÍMICOS EXPLORATÓRIOS	
5.1 Introdução	53
5.2 Associações de elementos	53
5.3 Elementos indicadores e farejadores	53
5.4 Halos geoquímicos	54
5.5 Dispersão geoquímica	55
5.6 Anomalias Geoquímicas	57
CAPÍTULO 6. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	
6.1 Introdução	58
6.2 Estatística Descritiva	59
6.2.1 Medidas de tendência central	59
6.2.1.1 Média Aritmética	60
6.2.1.2 Mediana, Quartis, Decis e Percentis	60
6.2.1.3 Moda	61
6.2.1.4 Medidas de dispersão	62
6.2.1.4.1 Amplitude	62
6.2.1.4.2 Variância	62
6.2.1.4.3 Desvio Padrão	62
6.2.1.4.4 Coeficiente de Variação	63
6.2.2 Correlação e regressão linear	63
6.3 Estatística Multivariada	64
6.3.1 Análise de Agrupamentos Hierárquicos (AAH)	64
6.3.2 Análise de Componentes Principais (ACP)	65
6.3.3 Regressão Multipla do Tipo Polinomial	66
CAPÍTULO 7. ADEQUAÇÃO DA BASE DE DADOS	
7.1 Base de dados (Sedimento de Corrente)	70

7.1.1 Adequação do Banco de Dados de Sedimento de Corrente	71
7.1.2 Adequação do Banco de Dados de Sondagem	73
CAPÍTULO 8. RESULTADOS	75
8.1 Análise estatística descritiva dos principais elementos químicos de interesse	79
8.2 Teor de fundo (<i>background</i>) e limiar	83
8.3 Assinatura geoquímica secundária das mineralizações conhecidas – áreas Canoas e Mina Perau	84
8.3.1 Assinatura Geoquímica Secundária do Depósito Canoas	85
8.3.1.1 Análise de Agrupamentos Hierárquicos (AAH)	86
8.3.1.2 Análise de Componentes Principais (ACP)	91
8.3.1.3 Regressão Polinomial	93
8.3.1.4 Mapa de resíduos	93
8.3.2 Assinatura Geoquímica Secundária do Depósito Perau	95
8.3.2.1 Análise de Agrupamentos Hierárquicos (AAH) para o Depósito Perau	97
8.3.2.2 Análise de componentes principais (ACP) para o Depósito Perau	98
8.3.2.3 Regressão Polinomial	102
8.3.2.4 Mapa de resíduos	104
8.4 Assinatura Geoquímica da Mineralização Primária	105
8.4.1 Análise de Agrupamentos (AG)	108
8.4.2 Análise de componentes principais (ACP)	109
CAPÍTULO 9. FUNÇÃO ADITIVA E SELEÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS	113
9.1 Testes de validação da função aditiva selecionada	114
9.1.1 Área Perau – Canoas	114
9.1.2 Regional	120
9.2 Testes com regressão polinomial	128
10. CONCLUSÃO	132
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	134
APÊNDICE 1	142
APÊNDICE 2	144

APÊNDICE 3	147
APÊNDICE 4	153
APÊNDICE 5	153

1. INTRODUÇÃO

1.1 - Aspectos Gerais

O Vale do Ribeira já foi considerado uma província mineira promissora, mas ainda hoje seu potencial é pouco compreendido. Trabalhos de prospecção e levantamentos geológicos feitos por órgãos governamentais na região, alguns destes feitos em escala de semi-detalle (1:25.000; JICA/MMAJ, 1984), e principalmente os trabalhos de pesquisas para metais-base feitos pela empresa Plumbum na década de oitenta e início dos anos noventa (em parte sintetizados em DAITX, 1996), revelaram a presença de fortes indícios de mineralizações de zinco e chumbo, caracterizadas indiretamente por anomalias geoquímicas em solos e diretamente pela presença de gossans com teores elevados de zinco e chumbo.

Apesar de a empresa Plumbum ter abandonado as pesquisas na região, devido principalmente a mudanças econômicas na sua controladora (Grupo Trevo) (DAITX, informação verbal), ainda apresenta potencial para a descoberta de novos corpos de minério de zinco-chumbo-prata por sua ambiência geológica similar a dos outros depósitos conhecidos como a mina Perau e Canoas corroborados pelas ocorrências de materiais ferruginosos semelhantes a gossans distribuídos ao longo da sua extensão, cuja presença de anomalias de sedimento de corrente com valores similares àqueles detectados na área da jazida Canoas e que levaram à sua descoberta (VENUSSO, 1990; DAITX, 1992).

1.2 – Objetivo

Com frequência geólogos de exploração se vêem forçados a diferenciar anomalias geradas por levantamentos geoquímicos (sedimento de corrente, solo ou mesmo rocha) diretas ou indiretamente associadas à mineralizações, do *background* regional (CHENG, 1999), com o único objetivo de direcionar recursos e tempo na descoberta de novos depósitos minerais.

Embora em um primeiro momento esta pareça ser uma tarefa aparentemente simples e rotineira, na prática, muitos são os problemas e dificuldades associados à avaliação de dados espaciais (ZHANG *et al.*, 1998) culminando por vezes em produtos e interpretações equivocadas,

que por sua vez podem facilmente induzir a erros e com isso despender tempo e recursos financeiros das companhias na seleção e avaliação de áreas com potencial exploratório duvidoso.

O presente estudo tem como objetivo definir a assinatura geoquímica multielemento secundária das mineralizações de chumbo e zinco dos depósitos Canoas e Perau e sua aplicação como uma ferramenta na descoberta de novos depósitos subaflorantes.

Para isso, foram utilizados os resultados analíticos adquiridos durante uma extensa campanha geoquímica de sedimento de corrente (2007 a 2008) impetrada durante a execução de um projeto de exploração mineral no Vale do Ribeira pela empresa VOTORANTIM METAIS cujo objetivo era a descoberta de depósitos de metais básicos como Zn, Pb e Ag. Foram ainda desenvolvidos durante este período, concomitantemente, a coleta de sedimento de corrente, atividades como mapeamento regional (escala 1:50.000) e de semi-detelhe (escala 1:10.000), geoquímica de solo, amostragem de rocha e sondagem exploratória.

1.3 – Localização e Acessos

A área a ser investigada (Figura 1) situa-se na porção SW dos Estados do Paraná e São Paulo, envolvendo as cidades de Ribeira - SP, Adrianópolis – PR e Tunas do Paraná – PR, cobrindo uma extensão de aproximadamente 820 km². A área engloba, em parte, as Folhas Topográficas (DSG, 1981) SG22XBIV4 (Tunas), (IBGE, 1987); SG22XBVI (Apiaí), (IBGE, 1987); SG22XBV3 (Marquês de Abrantes), na escala 1:50.000 que serviram como base cartográfica para o presente trabalho. A área de estudo é servida por estradas pavimentadas ou não.

A partir de Curitiba o acesso pode ser feito pela BR-476 até a altura do chamado "Quilômetro 40", distante 95 km da capital do estado, ponto central a partir do qual se tem acesso aos extremos NE e SW da área.

Essa mesma área pode também ser acessada a partir da cidade de Adrianópolis, distante 135 km de Curitiba, percorrendo-se aproximadamente 20 km pelas estradas "do Perau", Canoas e adjacência. As estradas de modo geral apresentam condições normais de tráfego ao longo de todo o ano, exceto em épocas de grande pluviosidade de dezembro a março, quando é comum sua interrupção por curtos períodos.

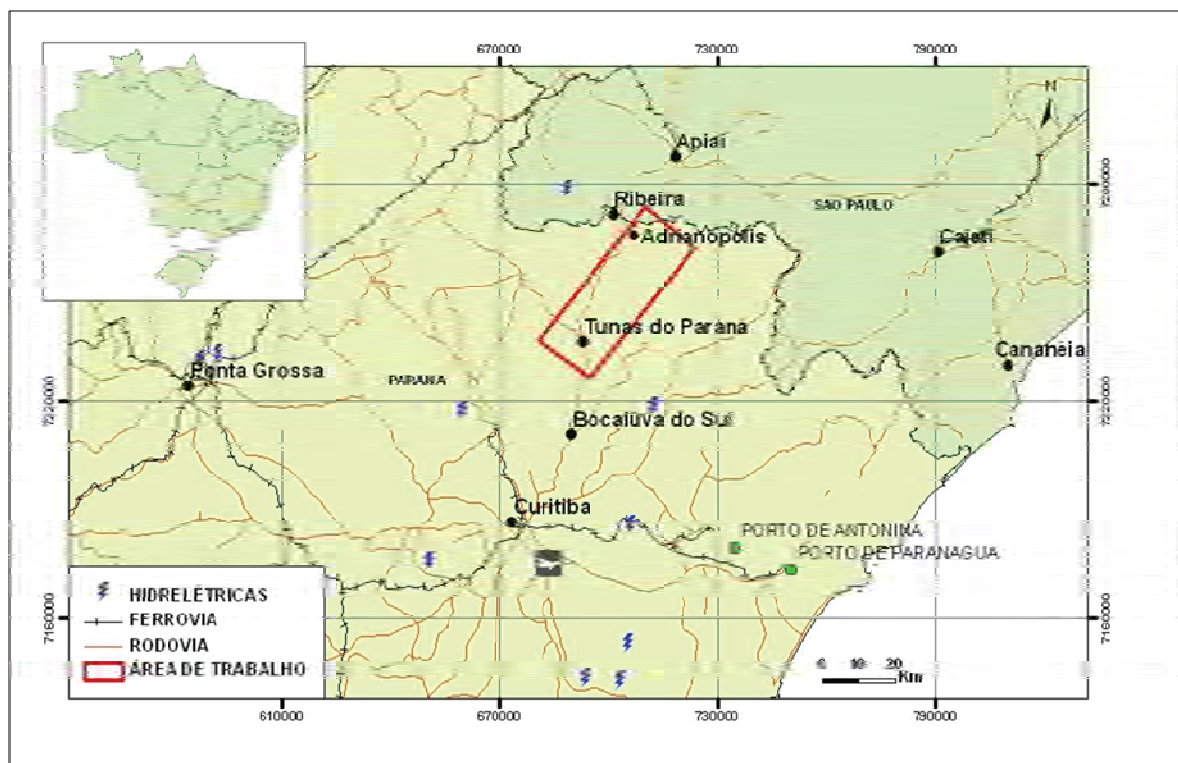


Figura 1: Mapa de localização e vias de acesso da área de estudo

1.3.1 – Geomorfologia

A região do Vale do Ribeira, com uma história complexa de 2.6 bilhões de anos, esteve envolvida ao longo do seu tempo em uma série de superposições de vários eventos tectônicos envolvendo rochas de origens diversas e por sua vez com características químico-mineral diferenciadas.

Esta diversidade de rochas e eventos tectônicos se traduz em uma diversidade geomorfológica, pedológica e hidrológicas diferenciadas com relevos variando de plano-ondulados a bastante acidentados com desníveis de até 300 m (Foto 1).



Foto 01: Relevo acidentado da área de estudo. (visada de SE para NE, região Perau, Vale do Ribeira)

Os vales são entalhados em forma de “v”, o que dificulta o desenvolvimento de atividades agropecuárias e favorece problemas com escorregamento de encostas muito frequentes durante os períodos chuvosos.

A presença de rochas calcárias e a alta pluviosidade favorecem a presença de dolinas, sumidouros e cavernas, típicas de terrenos cársticos.

1.3.2 – Hidrografia

Devido ao clima úmido e a alta precipitação pluviométrica, a rede de drenagem do vale do Ribeira é extremamente densa, sendo o rio Ribeira o coletor mais importante da bacia tendo como principais afluentes dentro do estado de São Paulo os rios Pardo e Juquiá.

Normalmente os maiores volumes de água ou cheias são gerados de janeiro a março. Em contrapartida, a menor vazão ocorre em meados de julho.

Na região da área de estudo, a rede de drenagem local é representada por uma diversidade de pequenos afluentes do ribeirão Grande, em sua vertente ocidental, e do ribeirão das Canoas em sua vertente leste onde estão alojados os depósitos de Canoas.

1.3.3 – Vegetação

A alta pluviosidade aliada à forte umidade relativamente constante permite a existência de uma densa cobertura vegetal tropical do tipo mata atlântica que ocorre principalmente ao longo dos vales dos Rios Ribeira. Acima de altitudes de 600m a vegetação apresenta uma formação florestal de transição com predomínio de bracatinga chegando às formações típicas das florestas de Araucárias (RAMALHO; HAUSEN, 1975).

Devido aos fortes declives da topografia, ainda encontram-se preservados remanescentes da fauna típica da região que vem perdendo espaço para o reflorestamento de pinus.

1.3.4 – Clima

A região do Vale do Ribeira apresenta um clima tropical semi-úmido, mesotérmico (tipo Cfa, de Köppen), com estação seca de abril a outubro e estação chuvosa de novembro a março, período com média superior a 1.600 mm, podendo superar a 2.000 mm, e alcançando frequentemente valores diários superiores a 100 mm. A temperatura média anual da região situa-se entre 14° e 18°C, com média térmica do mês mais frio entre 10 e 15 °C e do mês mais quente entre 20 e 22 °C.

1.3.5 – Solo

São três os tipos de solo presentes na bacia do Ribeira: solos eluviais, solos sobre aluviões fluviais e solos sobre depósitos marinhos (RAMALHO; HAUSEN, 1975).

Nessa região em particular, onde afloram as rochas do Grupo Açungui desenvolveram-se principalmente os solos podzolizados e os latossolos. Os primeiros são ácidos, ricos em húmus; os segundos são também ácidos, argilosos, profundos e típicos de áreas de morros, adaptando-se bem às culturas tropicais.

Nas áreas de estudo é dominante a presença de um solo argiloso, residual, com pouco quartzo, decorrentes da alteração dos grandes pacotes xistosos que recobrem a maior parte da área.

2. QUADRO GEOLÓGICO REGIONAL E LOCAL

2.1 - Geologia Regional do Vale do Ribeira

A região do Vale do Ribeira se insere na porção centro sul da província Mantiqueira, sendo esta particularmente relacionada a duas grandes unidades geotectônicas denominadas de Faixa de Dobramentos Apiaí e Maciço de Joinville. Estas unidades representam um sistema orogênico Neoproterozóico que resultou na amalgamação do continente Gondwana (Figura 2).

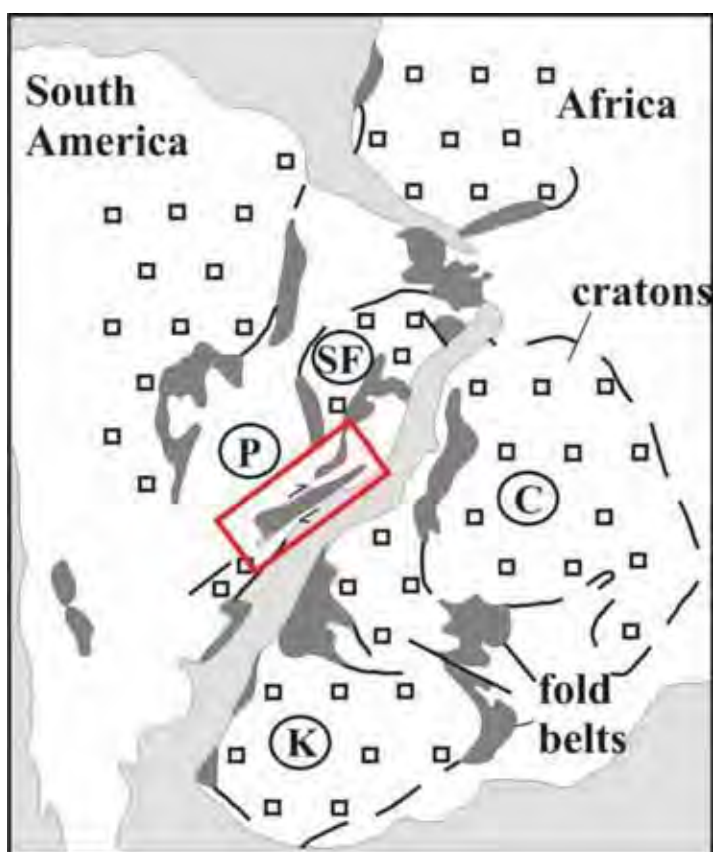


Figura 2: Áreas cratônicas com destaque para área do projeto; Paranapanema (P); Congo (C); Kalahari (K) (Modificado de Campanha & Sadowski, 1999)

A geologia da região é caracterizada pela predominância de rochas supracrustais estruturadas principalmente na direção NE-SW de grau metamórfico variando de baixo a médio, reunidas em rochas do Grupo Setuva e Açungui (CAMPANHA et al., 1996).

Existe na literatura uma grande variedade de dados e vertentes quanto ao quadro estratigráfico das rochas do Grupo Açungui (CARVALHO E PINTO, 1937; OLIVEIRA E LEONARDOS, 1943; MAACK, 1947; BIGARELLA E SALAMUNI, 1956; MARINI et al. 1967; MARINI, 1970; EBERT, 1971; FUCK et al. 1971; POPP et al. 1979; SCHÖLL et al. 1980; PONTES, 1980; 1982; SCHÖLL, 1981; LOPES, 1983; FIORI et al. 1984; SOARES, 1987; REIS NETO E SOARES, 1987; FIORI, 1991; CAMPANHA, 1991; e FIORI E SALAMUNI, 1995; FASSBINDER, 1996; FASSBINDER et al. 1999) e FILHO (2005); que devido a pequena quantidade de dados geocronológicos ainda carece de estudos que melhor definam o posicionamento destes pacotes litológicos.

Nesse contexto e para este trabalho, será adotada a seguinte estratigrafia baseada em Daitx (1996) e Mineropar (2001) compreendendo da base para o topo: Complexo Costeiro ou Cristalino, sequência vulcanossedimentar representada pelos Grupo Setuva (unidade basal) contemplando as formações Perau e Água Clara (Complexo Perau), Grupo Açungui abarcando a Formação Votuverava, Rochas básicas metamorfisadas, Formação Capiçu, Formação Itaiacoca, Formação Antinha, Intrusivas Básicas, Intrusivas Ácidas (granito Três Córregos, Cerne, Piedade, Rio Abaixo, Morro Grande e Varginha), (Figura 3).

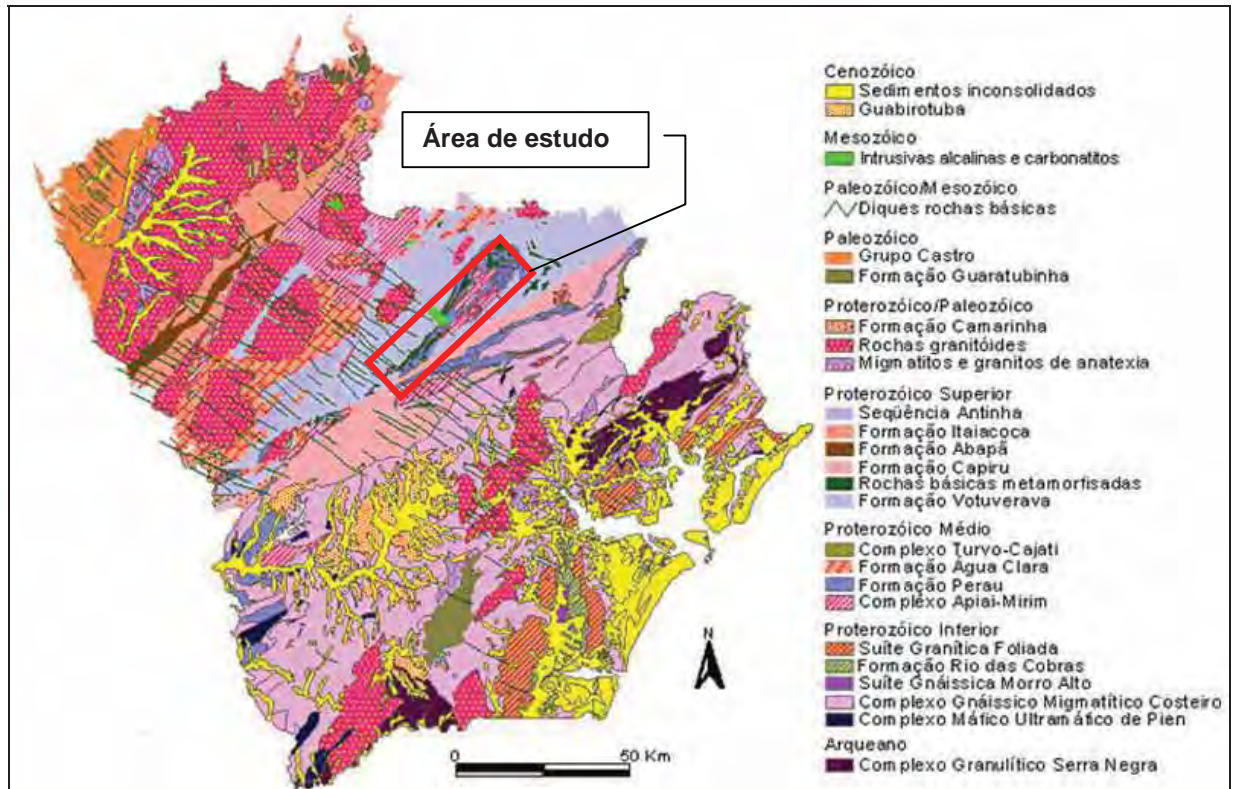


Figura 3: Mapa geológico simplificado do Escudo Paranaense, demonstrando o empilhamento estratigráfico sugerido pela Mineropar. Modificado de Mineropar (2001).

2.2 – ESTRATIGRAFIA

2.2.1 – Complexo Costeiro ou Cristalino

Segundo Marini *et al.* (1967), o Complexo Costeiro ou Cristalino representa o embasamento das rochas supracrustais reunindo rochas metamórficas da fácies granulito, de idade arqueana constituído por gnaisses, anfibolitos, rochas básicas e xistos magnesianos.

Na região de estudo estas rochas se encontram aflorantes no interior das Antiformas Anta Gorda, Água Clara e Perau. Predominam no topo desta unidade rochas gnáissicas, gnáissico-xistosas e anfibolíticas, sendo prováveis paragnaisses intensamente deformados e imbricados com quartzitos inferiores do Complexo Perau (DAITX, 1996).

2.2.2 - Grupo Setuva

Bigarella e Salamuni (1956) definiram originalmente o Grupo Setuva englobando a porção basal da Série Açungui composta por gnaisses, xistos e quartzitos que segundo Marini (1970) corresponderia a um ciclo orogênico anterior ao Açungui cuja idade foi atribuída ao Proterozóico inferior por Batolla *et al.* (1981).

Campanha *et al.*, (1996) identificou nesta mesma sequência a presença de mármore, quartzo xistos e quartzitos com raras intercalações de metabasitos, muscovita-biotita gnaiss e anfibólio-biotita gnaiss.

Pierkarz (1981) e Takahashi *et al.* (1981), seguidos posteriormente por Fritzsos Jr. *et al.* (1982), dividiram o Grupo Setuva em duas formações: Perau (base) logo acima dos xistos e gnaisses do embasamento e a formação Água Clara (topo).

2.2.2.1 – Formação Perau

Definida preliminarmente por Pierkarz (1981) e Takahashi *et al.* (1981), seguidos posteriormente por Fritzsos Jr. *et al.* (1982), a Formação Perau é considerada por estes autores como a base do Grupo Setuva composta por quartzitos, carbonatos, xistos clásticos, metabasitos e formações ferríferas.

Daitx (1996) por meio de colunas estratigráficas elaboradas a partir de furos de sondagens presentes nas regiões dos jazimentos Betara, Água Clara, Perau e Canoas, agrupou parte das rochas do Grupo Setuva, no que chamou de Complexo Perau, contemplando dentro deste pacote níveis quartzíticos seguidos por rochas carbonáticas e pelitocarbonática representadas por mármore calcítico e rochas calciossilicáticas seguido por níveis anfibolíticos.

2.2.2.2 – Formação Água Clara

A Formação Água Clara foi originalmente proposta por Marini *et al.* (1967) e corresponde a uma sequência de rochas calciossilicáticas, calcos xistos, carbonato xistos, mármore e intercalações de quartzitos, mica xistos, metabasitos e anfibolito xistos que por sua vez repousam, segundo este autor, discordantemente sobre a Formação Votuverava.

2.2.3 - Grupo Açungui

O Grupo Açungui é caracterizado segundo Fuck *et al.* (1971), por um conjunto de rochas predominantemente metamórficas de baixo grau representados por metassedimentos de origem clástica fino (filitos e metassiltitos) e metacalcários a metadolomitos de origem química que por sua vez se encontram associadas a quartzitos, calcário xistos, metaconglomerados e metabasitos.

Segundo Fiori (1991), o Grupo Açungui pode ser subdividido em diversas sequências litológicas separadas por falhas de cavalgamento e/ou transcorrências. Em termos geotectônicos a bacia Açungui é do tipo retro-arco e sua evolução marcada pelos seguintes eventos:

- ❖ Atividade glacial no início da sua evolução passando para sequências turbidíticas depositadas em águas mais profundas.
- ❖ A medida que a bacia ficava mais rasa, condições de deposição em mar relativamente raso e quente passaram a existir com intensa atividade biológica (extensas colônias de algas) testemunhadas pela abundância de estromatólitos nos mármores da Formação Capiru.
- ❖ Na sequência adveio um forte tectonismo por meio de falhas de cavalgamento, frutos da colisão continente-arco-continente, levando ao seu total fechamento.
- ❖ Em decorrência do tectonismo, a coluna estratigráfica original foi fragmentada e seus segmentos ou faixas são transportados para sul-sudeste por meio de falhas de cavalgamento e reempilhadas aleatoriamente.
- ❖ No final da sua evolução, a bacia ainda foi submetida pelo sistema de dobramentos de Apiaí que por sua vez afetaram as estruturas e o empilhamento anteriormente formado, originando novas estruturas e conformações atuais do quadro geológico do Grupo Açungui.

2.2.3.1 – Formação Votuverava

Inicialmente descrita e nomeada por Bigarella e Salamuni (1958), é composta por filitos, quartzitos, metaconglomerados e calcários presentes na parte central do Grupo Açungui que por sua vez afloram a noroeste da falha da Lancinha. As rochas calcárias podem ser diferenciadas da

Formação Capiçu por apresentarem teores menores de MgO, ou seja, são mais calcícos, Bigarella e Salamuni (*op. cit.*).

Sua elevação a Grupo foi sugerida por Campanha (1991) que por sua vez o subdividiu em dois subgrupos: Ribeira (basal) e Lajeado.

O Subgrupo Ribeira (basal) é composto por metassiltitos finos, ardósias e filitos, com intercalação de quartzos filitos, carbonato filitos, metassiltitos, meta-argilitos maciços, clorita filitos, xistos verdes, formações ferríferas, com expressivas intercalações de rochas metabásicas enquanto que o Subgrupo Lajeado é formado por uma sequência plataformal de águas rasas, porém não litorâneas, constituído pela alternância de pacotes relativamente espessos de composição carbonática e psamo-pelítica.

Fiori (1993) subdivide a Formação Votuverava em três conjuntos litológicos distintos, denominados de Bromado, formado por filitos, quartzitos e metaconglomerados polimíticos; Coloninha representado por metarenitos, metassiltitos, metarritimitos e metaconglomerados; e Saivá formado por filitos, metarritimitos, mármore e metamargas.

2.2.3.2 – Metabásicas

De acordo com Frascá *et al.* (1990) as rochas metabásicas presentes no Açungui, ocorrem com frequência na Formação Votuverava e apresentam granulação fina a média, estrutura maciça podendo apresentar orientação mineral, geralmente concordante com a foliação regional. Têm coloração cinza escuro a cinza escuro esverdeado, sendo compostos por hornblenda e/ou actinolita, plagioclásio (andesina, oligoclásio, labradorita), por vezes com quantidades subordinadas de diopsídio, epidoto, titanita, opacos, granada, biotita e apatita ocorrem como traços. A textura predominante é nematoblástica.

2.2.3.3 – Formação Capiçu

Definida por Bigarella & Salamuni (1956), é constituída por mármore dolomíticos, por vezes estromatolíticos, metassiltitos, metarritimitos, ardósias, quartzitos, metarenitos, xistos e filitos grafitosos com finas intercalações de metachert, metarenitos e metarcóseos

correspondendo segundo Campanha *etal.* (1996), a uma seqüência plataformal de águas rasas e litorâneas, com alternância de pacotes carbonáticos, psamíticos e pelíticos.

Fiori (1991, 1993), fragmenta a Formação Capiru em três conjuntos litológicos diferenciados denominados de Juruqui, Rio Branco e Morro Grande.

2.2.3.4 – Formação Itaiacoca

Desenvolvido em ambiente plataformal de águas rasas e litorâneas numa bacia rifte de margem continental, a Formação Itaiacoca é caracterizada como uma seqüência de rochas alongadas principalmente segundo a direção NE-SW composta predominantemente por filitos, metassiltitos, quartzitos, metarcóseos, metabasitos e metacarbonatos, com corpos quartzíticos subarcosianos considerados do Grupo Açungui, de idade Proterozóica Superior (Soares, 1987).

Este conjunto de rochas ocorre segundo Mineropar (2001) juntamente com a seqüência Abapã, entre os complexos Cunhaporanga e Três Córregos, sendo composta por mármore dolomíticos, metapelitos e metadoleritos intercalados.

2.2.3.5 – Formação Antinha

Segundo Fiore (1991), a Formação Antinha pode ser subdividida em três conjuntos litológicos denominados de Tacaniça, Capivara e Vuturu que por sua vez podem ser correlacionadas com as unidades estipuladas por Salazar Jr. (1987), A, B, C ou D.

O conjunto Tacaniça (A) é representado por metarritimitos sílticos de coloração acinzentada com intercalações de níveis areno conglomeráticos enquanto que Capivara é composta por metarritimitos síltico-arenosos de coloração avermelhada com intercalações de níveis areno-conglomeráticos e conglomerados oligomíticos. Já a unidade Vuturu (C) é constituída por metacalcários rítmicos de coloração cinza claro a escuro, com intercalações de camadas síltico argilosas e de carbonatos impuros e a unidade D pode ser caracterizada por ritmitos arenosos de coloração esbranquiçada com intercalações de níveis sílticos e conglomeráticos.

2.2.3.6 – Formação Camarinha

Definida por Muratori et al. (1967), a Formação Camarinha é formada por rochas sedimentares clásticas, siltitos, lamitos, ritmitos imaturos e intercalações de conglomerados polimíticos mal selecionados.

Esta sequência se encontra dobrada, porém sem metamorfismo, ocorrendo entre o Grupo Açungui e Formação Furnas.

2.2.3.7 – Intrusivas Básicas

Dispostas principalmente na forma de diques de composição básica a intermediária com direção N40-60W, ocorrem discordantes das rochas do escudo Paranaense.

Segundo Marini *et al* (1967), estes diques estão relacionados com os derrames basálticos toleíticos datados do Jurássico-Cretáceo que por sua vez estão relacionados aos basaltos de composição predominantemente toleítica da Formação Serra Geral assim como dioritos, dioritos-pórfiros e quartzo-dioritos.

2.2.3.8 – Intrusivas Ácidas

Ocorrem na porção noroeste do Grupo Açungui stocks e batólitos graníticos intrusivos sendo as principais ocorrências denominadas de Três Córregos, Cerne, Piedade, Rio Abaixo, Morro Grande e Varginha (Tabela 1).

Segundo Marini et al (1967), associado a esses corpos se encontram auréolas de contato cujas rochas encaixantes apresentam um caráter polimetálico.

O granito Três Córregos é considerado, segundo Fuck *et al.* (1967), o maior batólito granítico intrusivo no Grupo Açungui se estendendo-se desde Itaiacoca até o Rio Itapirapuã. Macroscopicamente pode ser definido como um granito holocristalino, de granulação média à grossa, de cor cinza claro, apresentando uma textura porfiróide com cristais centimétricos de feldspatos potássicos (Salamuni e Bigarella, 1967).

IDADE	FASE	GRANITÓIDES (TIPO)
800-700	Pré-colisional	Complexo Cunhaporanga e Três Córregos, migmatitos e granitos de anatexia brasileiros em ambiente de arco magmático.
700-600	Sin a tardicolisional	Granitos gerados por fusão da crosta continental: Serra da Prata, Costeiro, Batólito Paranaguá, na região litorânea e Morro Grande e Banhado no Primeiro Planalto.
600-500	Tardia pós-colisional	Intrusões dos corpos concordantes e alongados, monzograníticos a álcali-sienogranitos no domínio de retroarco, compreendendo os granitos Cerne, Passa Três e Piedade
550-500	Pós-colisional	Corpos discordantes e arredondados, álcali-graníticos, representados pelos granitos Graciosa, Marumbi, Morro Redondo e Anhangava na Serra do Mar, e os alaskitos, na faixa noroeste do compartimento, denominados granitos Francisco Simas, Joaquim Murtinho e Carambeí.

Tabela 1: Fases e principais granitóides relacionados.

Fonte: Adaptado de (Mineropar) <http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=23> acesso em 10 mai 2011

2.3 - GEOLOGIA LOCAL

A área de interesse possui **136 km²** contemplando predominantemente uma sequência de rochas metavulcanossedimentares do Complexo Perau e rochas metassedimentares da Formação Votuverava (Figura 4) compartimentadas por duas grandes zonas de cisalhamento intituladas de Ribeirão Grande e Lancinha.

O mapa apresentado neste tópico é fruto da integração de vários mapas geológicos em diferentes escalas incluindo Daitx (1996), JICA/MMAJ (1981, 1982), bem como diversos mapeamentos na escala de detalhe (1:10.000) realizado nos vários prospectos da companhia VOTORANTIM METAIS ao longo da região, culminando em um mapa integrado na escala 1:50.000, inédito até então, detalhando a geologia entre os depósitos Perau e Canoas.

O embasamento ocorre restrito a zona de charneira das mega antiformes Anta Gorda, Ribeirão da Barra e Perau posicionado na parte centro-norte da área de estudo.

É constituído por biotita feldspato quartzo muscovita-xisto, de coloração acinzentada com presença de pequenos porfiroblastos de quartzo e feldspatos.

As rochas do embasamento fazem contato de topo com níveis quartzíticos pertencentes ao Complexo Perau (DAITX, 1996), de idade mesoproterozóica no qual assume importância destacada por contemplar logo acima as mineralizações conhecidas da mina Perau e Canoas entre outras ocorrências de menor notoriedade.

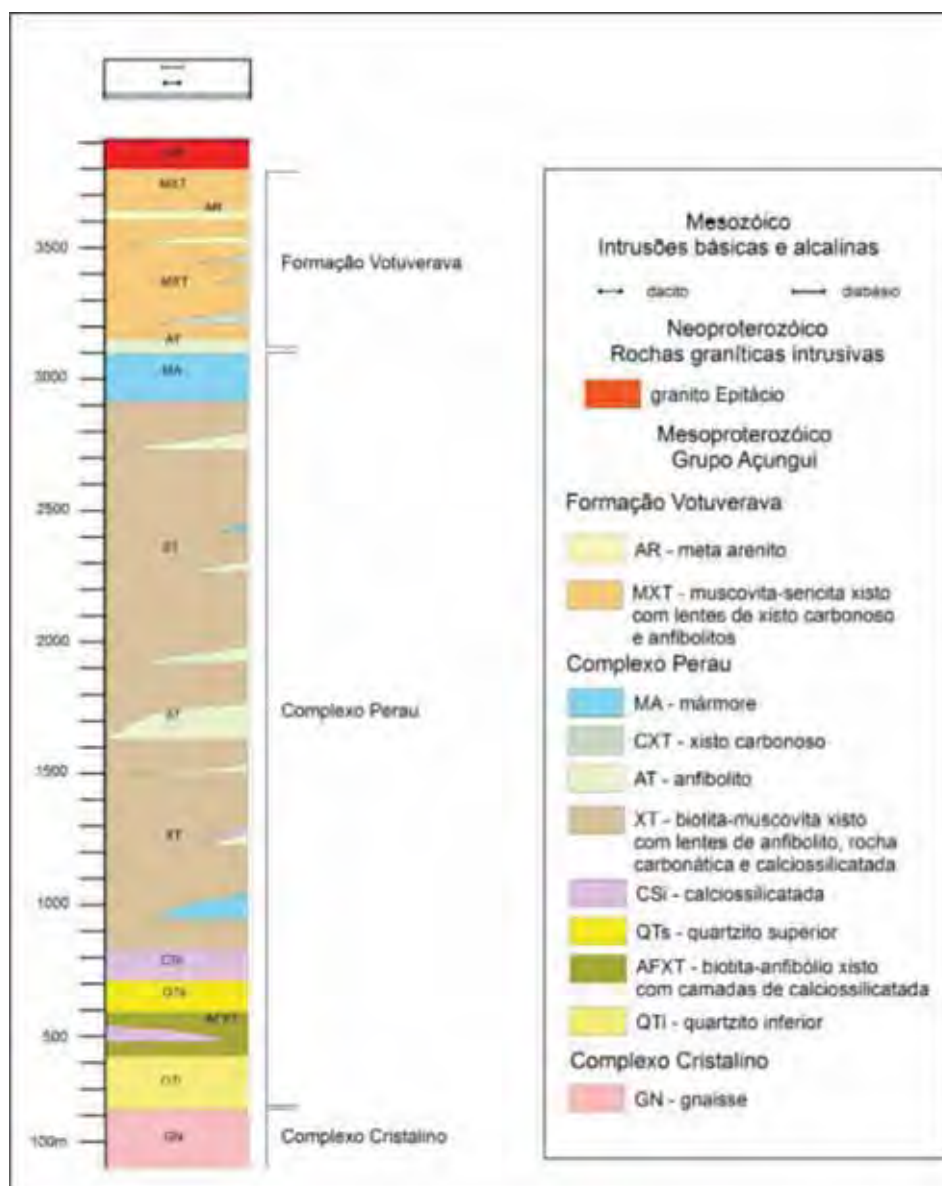


Figura 4: Coluna litoestratigráfica simplificada da área de estudo. Fonte: (Silva, 2008)

O Complexo Perau representando uma associação sedimentar correlacionado a ambiente de margens continentais submetidas a regime extensional, pode ser subdividido na região em três conjuntos litológicos principais:

a) Conjunto 1 (base):

Composto por dois níveis de quartzito considerados a principal camada-guia do Complexo Perau, são intercalados por um nível de anfibólio xistos e anfibólio biotita xistos. É possível distinguir dentro deste pacote a presença de paleo-estratificações e minerais detríticos arredondados, indicando região costeira com eventuais intercalações geradas por correntes de turbidez.

b) Conjunto 2 (intermediário):

Compreendem níveis carbonático/pelítico-carbonática com destacada importância, pois abrange os jazimentos Perau e Canoas bem como as áreas das ocorrências Água Clara e Betara (Figura 5 e 6). É formada por mármore dolomíticos e calcíticos, predominando o primeiro, com níveis de material silicático próximos à base do pacote, e aluminossilicatos próximos ao topo.

Relacionado a esta sequência ainda é possível individualizar outros pacotes rochosos sobrepostos como níveis de sericita-xistos carbonosos, encontrados apenas nas áreas da mina Perau e Betara, rochas vulcanogênicas félsicas, formadas por meta-tufos e meta-brechas vulcânicas na área Perau (DAITX *et al.* 1992) e metavulcanitos na área Betara (PIEKARZ, 1984). Os níveis mineralizados (Pb-Zn-Ag-Ba), formados por leitos de sulfeto maciço, semi-maciço encontram-se disseminados em rochas cálcio-silicáticas e micáceo-carbonáticas, com intercalação de metacherts.

Geralmente, encontram-se níveis enriquecidos em magnetita disseminada ou tipo formação ferrífera bandada logo acima dos corpos sulfetados (jazidas Perau e Canoas) seguido por pacote pelito-aluminosa/anfibolítica superior, subdividida em dois litotipos principais representados por uma sequência metassedimentar composta por quartzo-mica xistos e grafita mica-xistos, e por uma sequência anfibolítica ortoderivada, localmente bandada, com presença de pequenos corpos de anfibolitos para-derivados restritos.

c) Conjunto 3 (topo):

Contempla as rochas com maior exposição na região. Representado por uma sequência de rochas pelítico-aluminosas/anfibolítica que podem ser divididas em dois subconjuntos: metassedimentos síltico-argilosos e anfibolitos-anfibolito xistos.

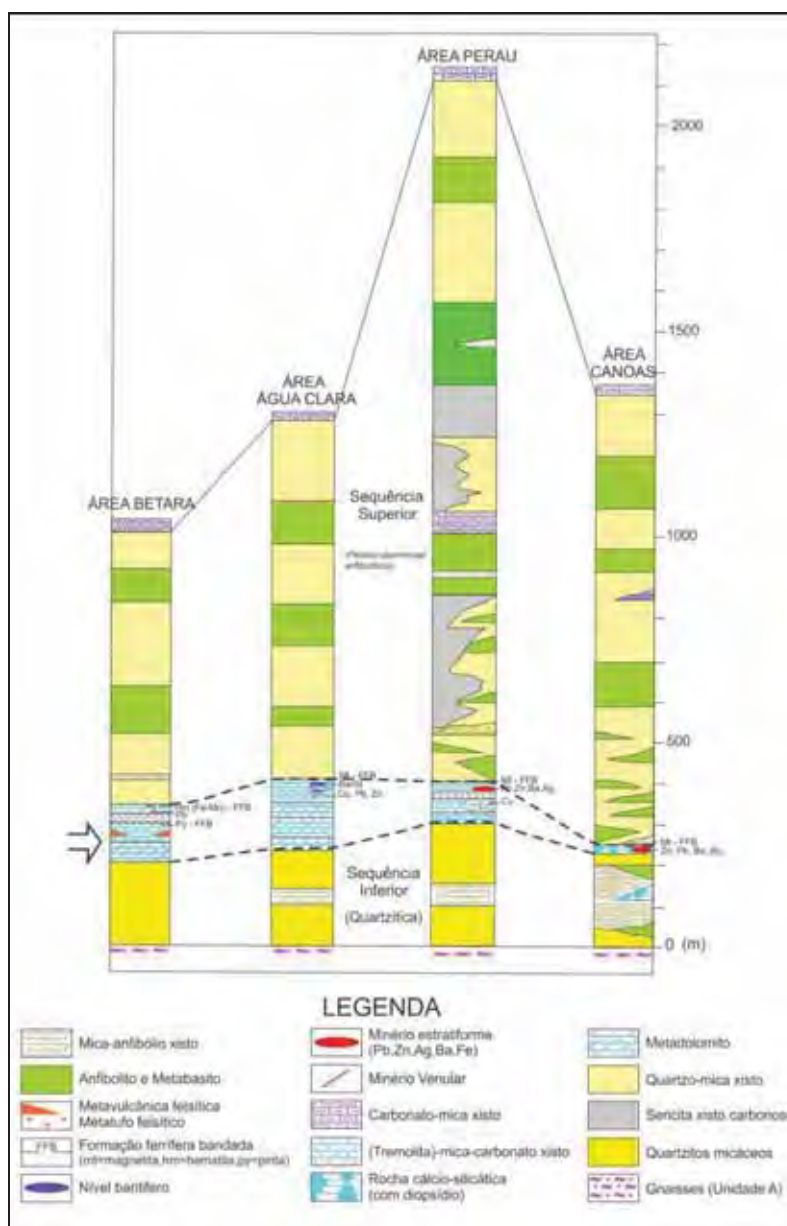


Figura 5: Coluna Estratigráfica do Complexo Perau. Fonte: (Adaptado de Daitx, 1996).

Separado do complexo Perau pela zona de falha do Ribeirão Grande, o grupo Votuverava é representado na região de estudo por um grande pacote de rochas metassedimentares tais como metapelitos, grafita-sericita xisto bem como níveis de carbonato xisto. Estruturalmente estas rochas estão orientadas segundo as direções NE/SW com mergulho para sudeste influenciado pela falha do Ribeirão grande.

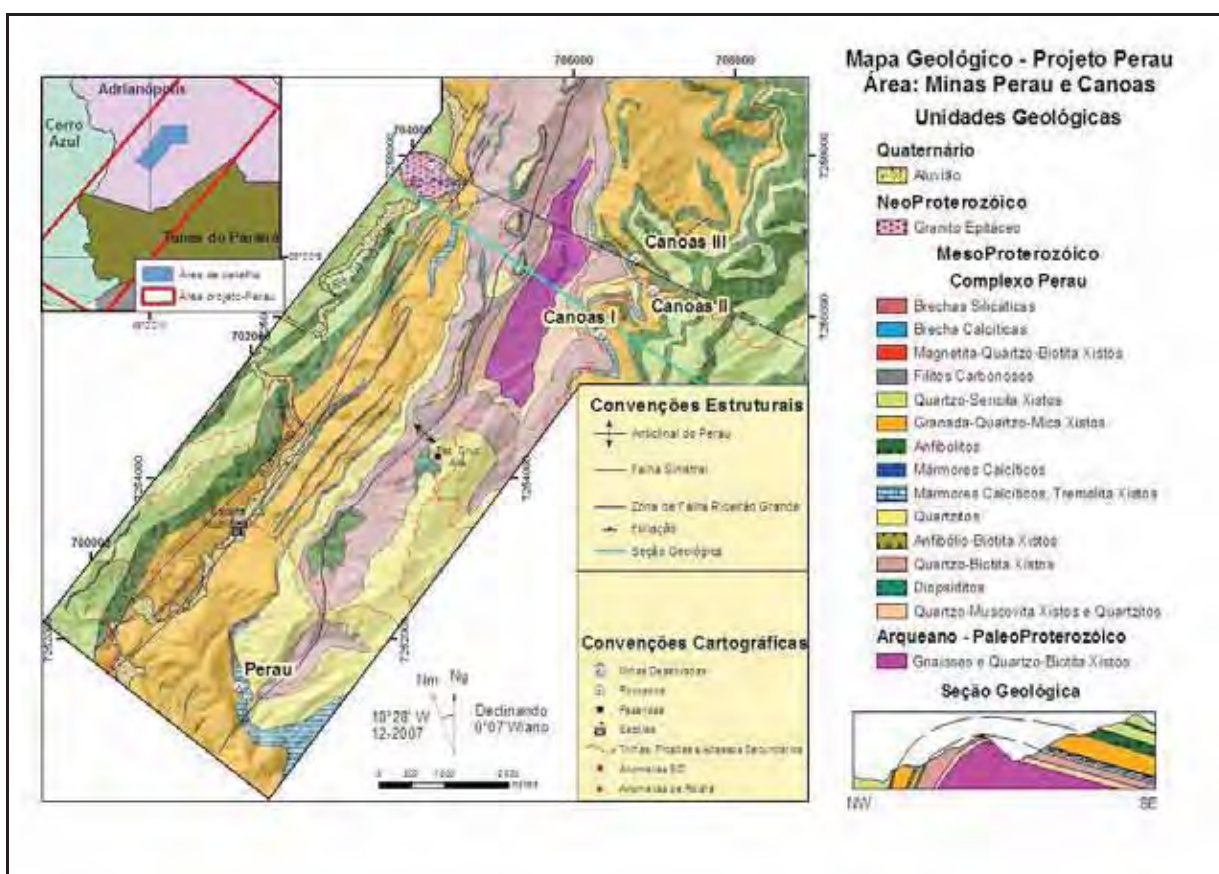


Figura 6: Mapa geológico do projeto Perau (Inédito/Relatório interno Votorantim)

3. MINERALIZAÇÕES

Segundo a equipe MMAJ/JICA (1982), as mineralizações de sulfetos de metais básicos (Chumbo e Zinco) na área de estudo podem ser agrupadas em duas tipologias principais de depósitos: **tipo Painelas** (*Skarn*) e **Perau** (*SEDEX*).

Os depósitos tipo Painelas apresentam mineralizações do tipo filonares hospedadas em rochas carbonáticas marinhas associadas ao subgrupo Lageado redefinidos por Campanha, (1991).

A origem da mineralização, constituída por galena, pirita, esfalerita, arsenopirita, pirrotita e sulfossais argentíferos, apresenta opiniões controversas relacionadas a estágios finais do episódio metamórfico regional ou origem hidrotermal relacionadas a intrusões graníticas (Figura 7).

Independente de sua origem o fato é que as mineralizações do tipo Painelas foram responsáveis por mais de 90% da produção de chumbo do Vale do Ribeira, destacando-se a mina Painelas com 55%, Rocha 25% e Barrinhas e Furnas com 5% respectivamente (DAITX, 1996).

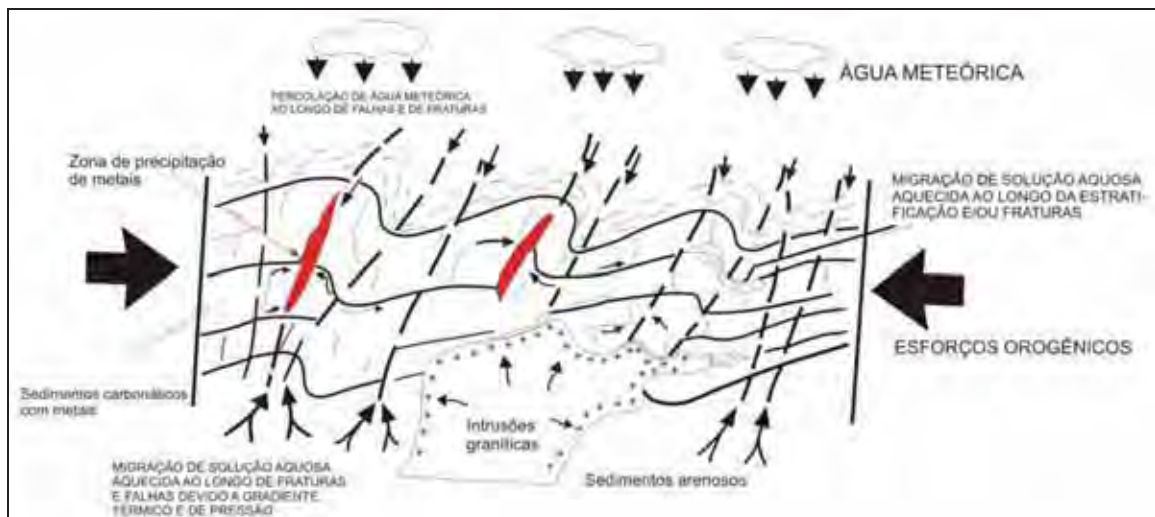


Figura 7: Tipologia de depósitos tipo Painelas. (Compilado de Araújo, 1999)

Em termos exploratórios, a erraticidade e o baixo volume deste tipo de depósito corroborado pelas então descobertas da Mina Perau e Canoas com volume e morfologia mais

atraentes, desmotivaram as companhias a investirem em pesquisa para descobertas de novos depósitos do tipo Panelas.

3.1 – Gênese e Características dos Depósitos tipo Perau

Os depósitos tipo SEDEX (Depósito Sedimentar Exalativo) no qual podem ser incluídos os depósitos tipo Perau (Depósitos Perau, Canoas e Araçazeiro) (DAITX 1996), contemplam os principais e maiores depósitos de metais base do mundo, a exemplo de Broken Hill, Mount Isa e McArthur na Austrália, Sullivan (British Columbia), bem como Red Dog (Alaska) cuja gênese hoje pode também ser enquadrada dentro dos depósitos tipo CD ou *Clástico Dominated* respondendo estes depósitos, respectivamente, por praticamente mais de 50 % das reservas mundiais (Figura 8).

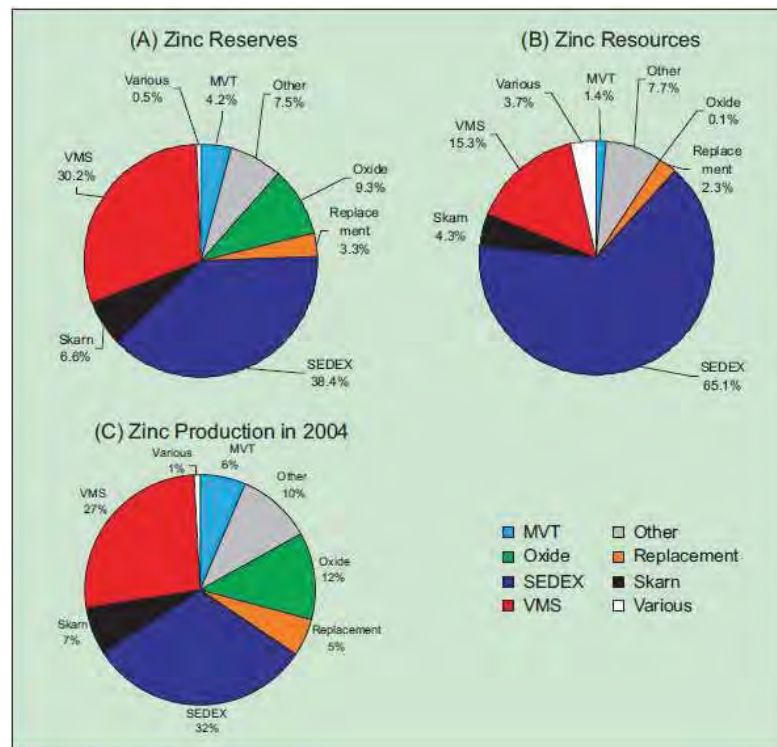


Figura 8: Reservas de zinco (A), Recursos (B) e produção (C) em 2004. (Compilado de Hunt, 2006)

Os depósitos tipo SEDEX ou sedimentar exalativo ocorrem a partir de soluções hidrotermais submarinas associadas a bacias tipo rifte com provável atividade magmática associada, conferindo um contexto de elevado fluxo térmico que culmina com o carreamento de

metais em solução ao longo de estruturas de alívio como falhamentos regionais até encontrar ambiente com temperatura e ph adequado para precipitação e formação dos depósitos (Figura 9).

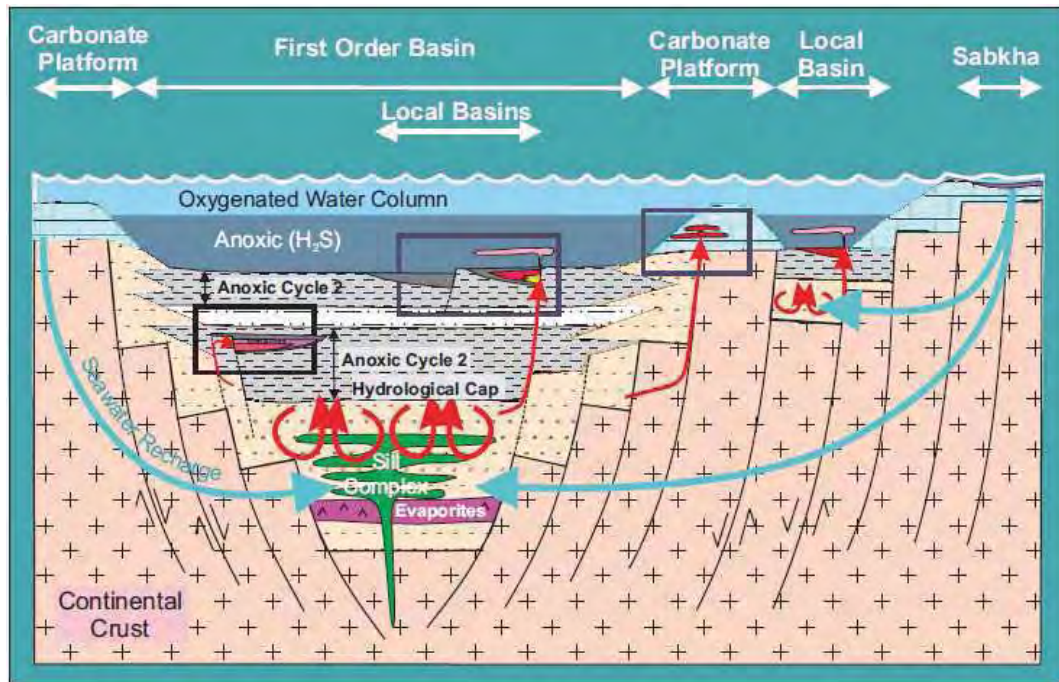


Figura 9: Arquitetura de bacias sedimentares associadas a depósitos do tipo Sedex (Sedimentary basin architecture for SEDEX deposits. (Compilado de Goodfellow, 2007)

Os depósitos tipo Perau enquadrados dentro da área de pesquisa (Minas Perau e Canoas) se encontram hospedados na sequência Perau ou Complexo Perau (DAITX, 1996) (Figura 10), de grau metamórfico baixo a médio constituído como pode ser observado no capítulo 2.3 geologia local em três unidades principais:

- ❖ **Basal:** Formada por quartzitos com delgados níveis de biotita xistos e anfibolitos;
- ❖ **Intermediária:** Formada por sequencia pelito-carbonática, composta por rochas calcossilicáticas, mármore calcíticos, dolomitos e mica-carbonato xistos;
- ❖ **Superior:** Predominantemente pelítica composta por mica xistos intercalado com anfibolitos e níveis grafitosos e carbonáticos;

Daitx, (1996) efetuou estudos de detalhe tendo elaborado um quadro com as principais características das duas principais tipologias de depósitos na região conforme quadro-1.

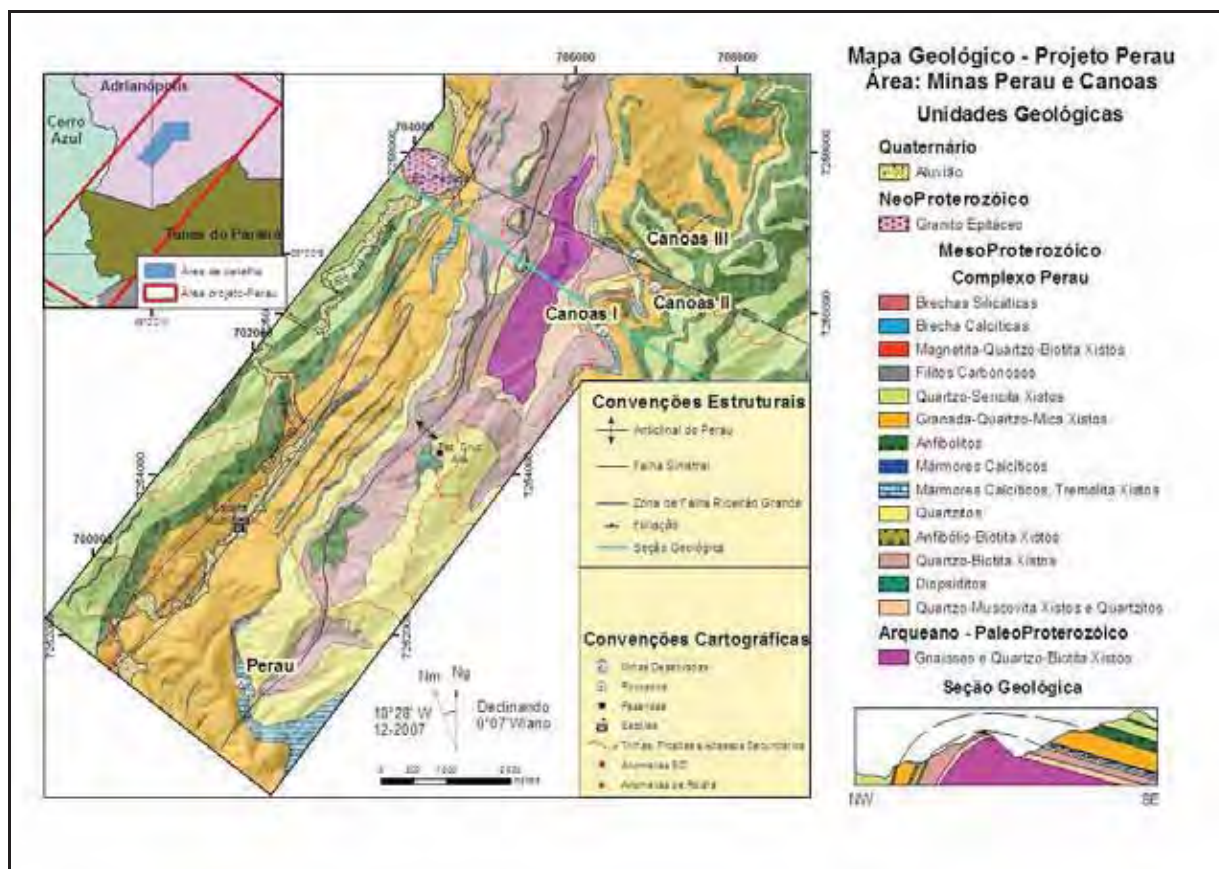


Figura 10: Mapa geológico de detalhe contemplando os principais depósitos dentro da área de estudo (Inédito/Relatório interno Votorantim Metais).

Quadro 1 - Características principais das mineralizações do tipo Panelas e Perau (Compilado de Daitx, 1996)

Principais Características	DEPÓSITOS TIPO-PANELAS	DEPÓSITOS TIPO-PERAU
Unidade litoestratigráfica encaixante	Subgrupo Lageado	Complexo Perau
Idade modelo Pb/Pb	1.200 Ma - 1.100 Ma.	1.650 Ma. - 1.400 M.a.
Litotipos encaixantes	Metadolomitos e metacalcários	Rochas cálcio-silicatadas, mica-carbonato xistos, quartzo-sericita xistos, rochas baritífero-carbonáticas e meta-cherts
Relação estrutural	Nitidamente discordantes na maioria dos casos	Geralmente concordantes; raros mobilizados discordantes
Relação cronológica dos níveis sulfetados com as encaixantes	Posteriores, pouco ou não deformados	Sincrônicos; apresentam-se deformados junto com as encaixantes
Forma geométrica dos corpos de minério	Veios, charutos, lentes, estiletos, geralmente subverticalizados	Lenticulares, tabulares; fracamente mergulhantes a sub-horizontalizados
Controle estrutural	Forte e característico para cada jazida: intersecções de fraturas x acamamento; fraturas em zonas axiais de dobras, fraturas distensionais em sistemas cizalhantes	Possível associação com falhamentos sin-sedimentares; espessamento de corpos em zonas apicais de dobras intrafoliais; espessuras maiores em zonas repetidas por dobramentos intrafoliais
Controle litológico/litoestratigráfico	Distribuição <i>stratabound</i> dos corpos em três pacotes de rochas carbonáticas; associação com passagens de facies carbonáticas para facies pelíticas e/ou pelítico-carbonáticas	Forte controle litoestratigráfico; todos os depósitos e indícios conhecidos posicionam-se na porção superior da unidade carbonática do Complexo Perau, próximo à passagem para a sequência pelítico-aluminosa
Associação litológica particular	Alternância de rochas carbonáticas e dolomíticas (hidrotermalitos) com aspecto bandado, na mina Furnas; associação com rochas dolomíticas na mina Rocha	Rochas enriquecidas em magnetita, na capa; associação com lentes de barita e camadas de metachert e/ou de rochas ricas em turmalina; níveis enriquecidos em fragmentos de rochas vulcânicas felsíticas na lapa da jazida Perau
Zoneamento mineralógico dos corpos de minério	Lateral: py nas bordas; sph na faixa mediana; gn na porção central; vertical: py e sph aumentam em profundidade?	Lateral: gn + py → sph + po → bar, py → mt → hm (distal); vertical: cpy, py → sph, po → gn, py → bar, py → mt (topo)

Halo de dispersão de metais e outros elementos associados à mineralização	Halo restrito às bordas dos filões, com dimensões centimétricas; marcado por Pb-Ag-Fe-F-Rb-K	Halos enriquecidos em Pb-Zn-Cu-Fe-Ba-S-B-Mn, com dimensões métricas (vertical) a hectométricas (lateral)
Estrutura e textura do minério	Maciço, grã grossa, pouco ou nada deformados	Principalmente disseminado; também semi-maciço e maciço. Deformado; grã fina, texturas cataclásticas/miloníticas e/ou recristalizadas
Mineralogia característica	gn-py-sph (cpy, sulfossais de Sb/As)	gn-py-sph-po (cpy, sulfoantimonietos)
Mineralogia peculiar	Arsenopirita, estanita, esfalerita rica em índio, bournonita, antimônio nativo, sulfoteluretos de prata, tennantita, electrum; rara pirrotita (exceto na jazida Panelas)	Ullmanita, millerita, violarita, sulfetos de prata, marcassita, bismuto, pirrotita frequente nas encaixantes da lapa do minério; rara arsenopirita;
Características geoquímicas	Alto teor em prata: entre 1 e 3 kg de Ag/t Pb metálico; As > >Sb	Menor teor em prata: geralmente < 1 kg Ag/t Pb metálico; As ≤ Sb
Elementos raros presentes	Sn, In, Au, Te	Ni, Co
Mineralogia da ganga	Quantidade reduzida de ganga: carbonatos (calcita, dolomita, Fe-Mn-dolomita), quartzo, sericita	Grande quantidade de ganga: carbonatos (calcita, dolomita), barita, silicatos (quartzo, flogopita, tremolita, clorita, muscovita, granada, diopsídio, turmalina)
Minerais peculiares na ganga	Rara fluorita	Ba-feldspatos, Ba-muscovita, gahnita

OBS: gn = galena; py = pirita; sph = esfalerita; cpy = calcopirita; po = pirrotita; mt = magnetita; hm = hematita; bar = barita

A mina Perau, atualmente com lavra paralisada, foi operada pela empresa Mineração Barra do Perau Ltda entre 1974 e 1986, período no qual foram lavrados aproximadamente 200.000 toneladas de minério com teor médio de 6,13% Pb e 67 g/t Ag em um dos dois níveis de minério do tipo “sulfeto maciço” identificados no local.

A mina Canoas, igualmente paralisada, foi operada pela empresa Plumbum entre 1988 e 1995 período no qual foram lavradas aproximadamente 343.000 toneladas de minério, com teor médio de 5,4% Pb+Zn e 61 g/t Ag, de dois dos três corpos de minério identificados no local. O corpo 3 descoberto na fase final das atividades na Mina Canoas continua intacto e aberto nas suas extensões.

No quadro - 2 é apresentado um quadro comparativo entre as duas principais jazidas e seus corpos mineralizados.

Quadro - 2: Quadro comparativo entre as Jazidas Perau e Canoas (fonte: DAITX, 1996)

Características dos corpos de minério	Mina Canoas	Mina Perau
Morfologia	Geometria Lentiforme extremamente alongada dividida em 3 corpos principais (>2000m x 250 x 5 m)	Geometria relativamente curta (1300m x 900m x 4m)
Disposição dos corpos	Ocorrem em um único nível com espessura máxima de 7,6m interrompido ao longo da sua extensão por erosão e falhamento subdividido em 3 corpos (Canoas I, Canoas II e Canoas III)	Ocorrem em cinco níveis mineralizados da base para o topo (cuprífero inferior, dois níveis de sulfeto maciço Pb-Zn (inferior), nível baritífero-sulfetado (Zn/Pb) e um horizonte Cuprífero superior.
Rocha encaixante	Principalmente rochas carbonáticas, cálcio-silicáticas com participações de flogopita, tremolita e diopsídio.	Principalmente rochas carbonáticas, cálcio-silicáticas com participações de flogopita e tremolita.
Mineralogia	Galena, esfalerita, pirita, pirrotita e calcopirita com participação secundária de sulfossais de prata (freibergita, pirargirita, polibasita, stephanita e argentita)	Galena, esfalerita, pirita, pirrotita e calcopirita com participação secundária de sulfossais de prata (freibergita, pirargirita, polibasita, stephanita e argentita)
Zoneamento metálico	Progressivo decréscimo no valor da razão Pb/Pb+Zn no sentido Canoas I para Canoas III (menor participação do minério Baritífero neste mesmo sentido). Maior enriquecimento em Zn nos níveis superiores. Distribuição de Prata relacionada diretamente com Pb.	Distinto entre os níveis mineralizados mas com tendência geral para enriquecimento em Pb no sentido vertical nos níveis superiores sulfetados. Distribuição de Prata relacionada diretamente com Pb.
Deformação	Ao menos 5 fases deformacionais marcadas por dobras intrafoliais recumbentes, zonas de cisalhamento de baixo ângulo, frequente presença de diques de diabásio recortando horiz. Mineralizado	Ao menos 5 fases deformacionais marcadas por dobras intrafoliais recumbentes, zonas de cisalhamento de baixo ângulo, rara presença de diques de diabásio recortando horiz. Mineralizado

Estrutura	Predomina o tipo bandado nos minérios baritíferos e cálcio-silicáticos (sulfetado maciço), e disseminado nos minérios silicáticos.	Predomina o tipo bandado nos minérios baritíferos e cálcio-silicáticos, e as do tipo "brecha" nos minérios silicáticos e sulfetado maciço.
Idade *	1626-1843	1482-1799
Formação Ferrífera Bandada	Discreto horizonte de BIF rico em magnetita intercalado com biotita carbonato xisto.	Horizonte de BIF rico em magnetita, com espessura variável de 3 a 10 m.

4. COLETA DE DADOS, PREPARAÇÃO E ANÁLISES QUÍMICAS

4.1 Coleta de Sedimento ativos de drenagem

Durante o projeto foram coletadas um total de **1846 amostras** de sedimento de corrente fruto de um amplo recobrindo ao longo de toda a extensão do Complexo Perau (horizonte prospectivo de maior potencial) (Figura 11).

Com base em estudo orientativo prévio, a amostragem foi realizada em pontos previamente selecionados tomando como referência uma amostra a cada 500m nas drenagens principais e uma amostra a cada 250m nas drenagens secundárias (Quadro de fotos 01).

Para cada amostra foi realizado em campo um peneiramento preliminar na fração 2 mm e coletado um total de aproximadamente 3kg de material em pontos de baixa energia, previamente demarcados ao longo dos cursos d'água e nos limites de uma faixa de, no máximo, 30 metros acima ou abaixo do local demarcado.

As amostras coletadas em campo tiveram ainda um número sequencial além de a cada grupo de 20 amostras a inserção de uma duplicata para controle de laboratório e amostragem.

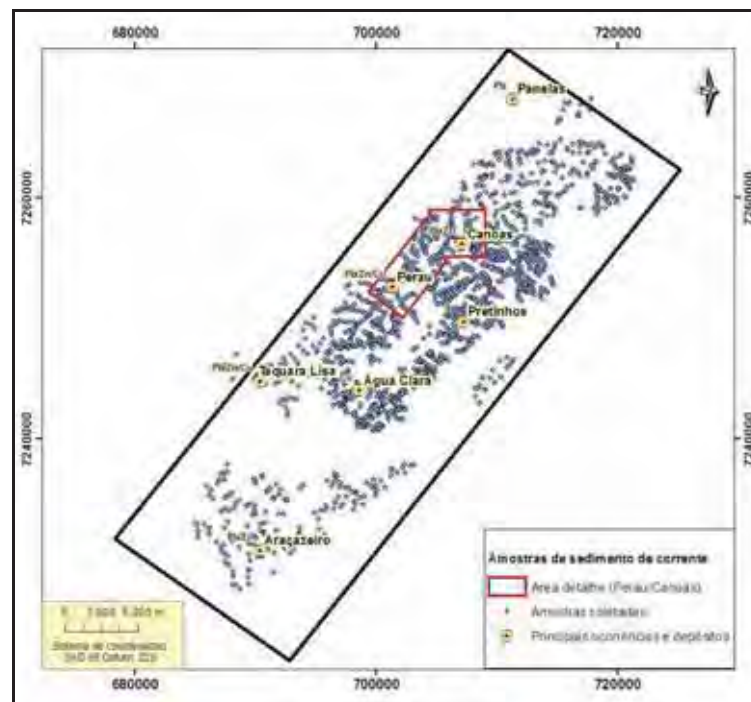


Figura 11: Amostras de sedimento coletadas no projeto.

Quadro de Fotos 1: Fotos ilustrando as principais etapas da amostragem de sedimento de corrente.



4.1.1 Preparação e análise

Todas as amostras coletadas foram remetidas ao laboratório ALS CHEMEX onde passaram por peneiramentos secundários e análises multielementos realizadas por meio de Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado ICP-AES (Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectroscopy) e ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry).

Quadro - 3: Método de análise e preparação das amostras de sedimento de corrente

Método de análise e preparação	Grupo 1	Grupo 2
Peneiramento	< 80 # [180 µm]	< 150 # [100 µm]
Método analítico	ICP - AES	ICP - MS
Ataque químico	Água Regia	Tetra Ácido (HF + HNO ₃ + HClO ₄ + HCl)
Nº de elementos analisados	35	48
Total de amostras	1240	606

OBS: # = mesh

Quadro 4: Elementos químicos analisados para as amostras de sedimento de corrente.

Grupo 1					Grupo 2				
Elemento	Símbolo	Limite de detecção		Unidade	Elemento	Símbolo	Limite de detecção		Unidade
		Inferior	Superior				Inferior	Superior	
Prata	Ag	0.2	100	ppm	Prata	Ag	0.01	100	ppm
Alumínio	Al	0.01	25	%	Alumínio	Al	0.01	25	%
Arsênio	As	2	10000	ppm	Arsênio	As	0.1	10000	ppm
Boro	B	10	10000	ppm	Bário	Ba	10	10000	ppm
Bário	Ba	10	10000	ppm	Berílio	Be	0.05	1000	ppm
Berílio	Be	0.5	1000	ppm	Bismuto	Bi	0.01	10000	ppm
Bismuto	Bi	2	10000	ppm	Cálcio	Ca	0.01	25	%
Cálcio	Ca	0.01	25	%	Cádmio	Cd	0.01	1000	ppm
Cádmio	Cd	0.5	1000	ppm	Cério	Ce	0.02	500	ppm
Cobalto	Co	1	10000	ppm	Cobalto	Co	0.1	10000	ppm
Cromo	Cr	1	10000	ppm	Cromo	Cr	1	10000	ppm
Cobre	Cu	1	10000	ppm	Cobre	Cu	0.2	10000	ppm
Ferro	Fe	0.01	50	%	Césio	Cs	0.05	500	ppm
Gálio	Ga	10	10000	ppm	Ferro	Fe	0.01	50	%
Merúrio	Hg	1	10000	ppm	Gálio	Ga	0.05	10000	ppm
Potássio	K	0.01	10	%	Germânio	Ge	0.05	500	ppm
Lantânio	La	10	10000	ppm	Háfnio	Hf	0.02	500	ppm
Magnésio	Mg	0.01	25	%	Índio	In	0.005	500	ppm
Manganês	Mn	5	50000	ppm	Potássio	K	0.01	10	%
Molibdênio	Mo	1	10000	ppm	Lantânio	La	0.2	10000	ppm
Sódio	Na	0.01	10	%	Lítio	Li	0.1	10000	ppm
Níquel	Ni	1	10000	ppm	Magnésio	Mg	0.01	25	%
Fósforo	P	10	10000	ppm	Manganês	Mn	5	50000	ppm
Chumbo	Pb	2	10000	ppm	Molibdênio	Mo	0.05	10000	ppm
Enxofre	S	0.01	10	%	Sódio	Na	0.01	10	%
Antimônio	Sb	2	10000	ppm	Nióbio	Nb	0.05	500	ppm
Escândio	Sc	1	10000	ppm	Níquel	Ni	0.2	10000	ppm
Estrôncio	Sr	1	10000	ppm	Fósforo	P	10	10000	ppm
Tório	Th	20	10000	ppm	Chumbo	Pb	0.2	10000	ppm
Titânio	Ti	0.01	10	%	Rubídio	Rb	0.1	10000	ppm

4.2.1 Preparação e análise

Todas as amostras foram analisadas pelo laboratório ALS CHEMEX, como dito, no qual passaram primeiramente por um processo de secagem com posterior britagem primária, seguida de peneiramento em fração 2mm (9 mesh). Deste processo foram coletadas 250g de material que foi reduzido a 75 *microns* constituindo o que se chama de polpa.

O ataque químico amostral foi feito com tetra ácido ($\text{HF} + \text{HNO}_3 + \text{HClO}_4 + \text{HCl}$) e analisado por meio de ICP – AES (Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectroscopy) para 42 elementos conforme quadro - 5 abaixo.

Quadro - 5: Elementos químicos analisados para as amostras de testemunho de sondagem.

Elementos	Símbolo	Limite de detecção		Unidade
		Inferior	Superior	
Prata	Ag	0.5	100	ppm
Alumínio	Al	0.01	50	%
Arsênio	As	5	10000	ppm
Bário	Ba	10	10000	ppm
Berílio	Be	0.5	1000	ppm
Bismuto	Bi	2	10000	ppm
Cálcio	Ca	0.01	50	%
Cádmio	Cd	0.5	500	ppm
Cobalto	Co	1	10000	ppm
Cromo	Cr	1	10000	ppm
Cobre	Cu	1	10000	ppm
Ferro	Fe	0.01	50	%
Gálio	Ga	10	10000	ppm
Potássio	K	0.01	10	%
Lantânio	La	10	10000	ppm
Magnésio	Mg	0.01	50	%
Manganês	Mn	5	100000	ppm
Molibdênio	Mo	1	10000	ppm
Sódio	Na	0.01	10	%
Níquel	Ni	1	10000	ppm
Fósforo	P	10	10000	ppm
Chumbo	Pb	2	10000	ppm
Enxofre	S	0.01	10	%

Antimônio	Sb	5	10000	ppm
Escândio	Sc	1	10000	ppm
Estrôncio	Sr	1	10000	ppm
Tório	Th	20	10000	ppm
Titânio	Ti	0.01	10	%
Tálio	Tl	10	10000	ppm
Urânio	U	10	10000	ppm
Vanádio	V	1	10000	ppm
Tungstênio	W	10	10000	ppm
Zinco	Zn	2	10000	ppm
Lítio	Li	10	10000	ppm
Nióbio	Nb	5	2000	ppm
Rubídio	Rb	10	10000	ppm
Selênio	Se	10	1000	ppm
Estanho	Sn	10	10000	ppm
Tântalo	Ta	10	10000	ppm
Telúrio	Te	10	10000	ppm
Ítrio	Y	10	10000	ppm
Zircônio	Zr	5	500	ppm

5. PRINCÍPIOS GEOQUÍMICOS EXPLORATÓRIOS

5.1 Introdução

Neste capítulo são abordados, sucintamente, alguns conceitos básicos utilizados em geoquímica exploratória de forma a permitir uma melhor compreensão da análise quantitativa dos dados nos próximos capítulos deste trabalho.

A geoquímica exploratória surgiu como uma aplicação da ciência geoquímica voltada à exploração mineral baseada na premissa de que os depósitos minerais podem ser classificados como concentrações anômalas de determinados elementos na crosta terrestre, que por sua vez irão contrastar com teores normais das rochas encaixantes (LICHT, 1998).

5.2 Associações de elementos

Conceito importante da geoquímica exploratória, também utilizado em outras áreas como a petrologia, a associação de elementos diz respeito a elementos com afinidades geoquímicas entre si de forma que seja possível prever a presença de um elemento quando detectada a presença de outro elemento com afinidade geoquímica ao primeiro.

5.3 Elementos indicadores e farejadores

Em um levantamento geoquímico, um elemento analisado com o objetivo de detectar um corpo de minério é chamado de elemento indicador. Na maioria das situações, o elemento indicador é um componente economicamente importante (elemento maior) no minério procurado, por exemplo, Cu para mineralizações cupríferas, ou U para mineralizações uraníferas.

No quadro-6, a seguir, encontram-se alguns exemplos de elementos indicadores e farejadores utilizados para a pesquisa de diferentes tipos de depósitos minerais.

Abordado preliminarmente por Warren e Delavaut (1958), elementos farejadores (elementos menores ou traços) são elementos com afinidade ou propriedades intrínsecas aos elementos indicadores e que na ausência deste (indicadores), seja por apresentar dificuldades

analíticas, mobilidade reduzida ou então produzir dados de interpretação difícil, podem ser utilizados na procura de mineralizações de interesse.

Quadro – 6: Elementos indicadores e farejadores em hidrogeoquímica para diferentes tipos de depósitos minerais.

Tipo de Depósitos	Elementos Indicadores de Depósitos Minerais	
	Fortemente Oxidantes	Francamente Oxidantes
Cobre-pirita	Cu, Zn, Pb, As, Ni, Co, F, Cd, Se, Ge, Au, Ag, Sb	Zn, Pb, Mo, As, Ge, Se, F
Molibdênio	Mo, W, Pb, Cu, Zn, As, F, Li, Be, Rb	Mo, Pb, Zn, F, As, Li
Polimetálico	Pb, Zn, Cu, As, Mo, Ni, Ag, Cd, Sb, Se, Ge	Pb, Zn, As, Mo, Ni
Tungstênio-berílio	W, Mo, Zn, Cu, As, F, Li, Be, Rb	W, Mo, F, Li
Minério de ouro	Au, Ag, Sb, As, Mo, Se, Pb, Cu, Zn, Ni, Co	Ag, Sb, As, Mo, Zn
Mercúrio-antimônio	Hg, Sb, As, Zn, F, B, Se, Cu	Ag, As, Zn, F, Li
Minério de estanho	Sn, Nb, Pb, Cu, Zn, Li, F, Be	Sn, Li, F, Be, Zn
Magnetita titanífera	Ti, Fe, Ni, Co, Cr	Ni, Fe
Espodumênio	Li, Rb, Cs, Mn, Pb, Nb, Sr, F, Ga	Li, Rb, Cs, F
Barítico polimetálico	Ba, Sr, Cu, Zn, Pb, As, Mo	Be, Sr, As, Mo
Berílio-Fluorita	B, F, Li, Rb, W	Be, F, Li
Cobre-níquel	Ni, Cu, Zn, Co, Ag, Ba, Sn, Pb, U	Ni, Zn, Ag, Sn, Ba

Fonte: Beus, A. A. & Grigorian, S.V. – Geochemical exploration methods for mineral deposits, 1975. Table 45, p. 207.

5.4 Halos geoquímicos

Halo geoquímico é definido segundo LICHT (2001), como a área que apresenta teores anormalmente elevados ou baixos de determinados elementos presentes nas rochas encaixantes, solos, vegetação, águas superficiais e subterrâneas de forma a destacar a presença de um alvo geoquímico.

Os Halos geoquímicos podem ser divididos em dois tipos, halos geoquímicos primários ou relacionados com os processos de formação da mineralização ou secundários relacionados à destruição supergênica da fonte primária (Figura 13 e 14).

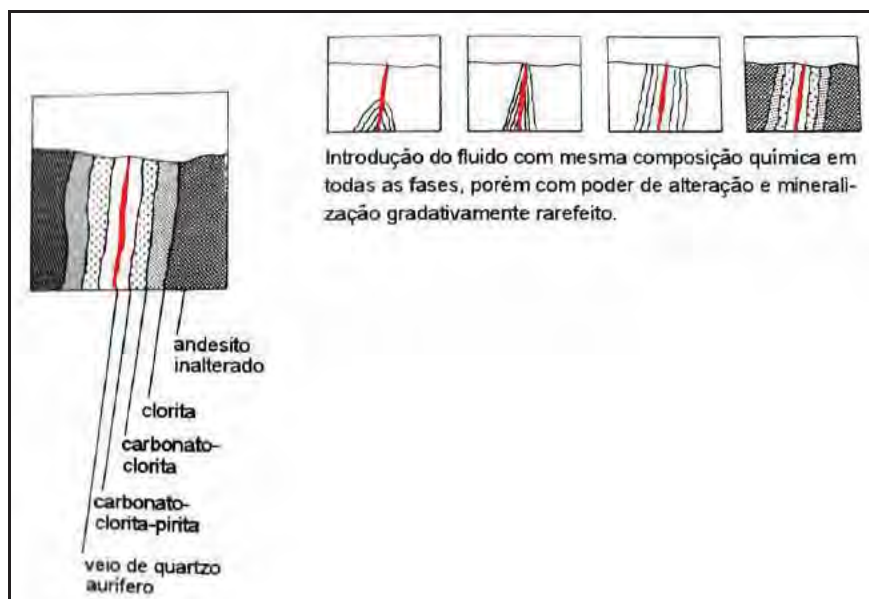


Figura 13: Figura ilustrando duas possibilidades para formação de halos geoquímicos primários em depósito de ouro filoniano, (Boyle, 1982).



Figura 14: Figura ilustrando a destruição supergênica de um depósito mineral formando zonas de alteração (em vermelho) enriquecidas ou empobrecidas em vários elementos químicos relacionados a mineralização (Adaptado de Licht, 1998).

5.5 Dispersão geoquímica

As rochas da crosta terrestre estão em constante processo de transformação por meio de ações físicas e químicas, que pode ser enquadrado dentro de ciclos geoquímicos.

Dentre os vários processos geoquímicos atuantes em uma rocha após sua formação o processo intempérico é um dos mais importantes da geoquímica exploratória. Este estabelece novas relações de equilíbrio tendo em vista que as rochas se encontram sob condições ambientais diferentes daquelas onde foram geradas como baixas pressões e temperaturas, presença de oxigênio e água, configurando ações destrutivas e/ou erosivas.

Dependendo do clima, as ações destrutivas ou erosivas terão o predomínio dos fenômenos químicos ou físicos e através da geoquímica é possível acompanhar e entender a migração dos elementos associado às rochas e aos depósitos minerais (geoquímica exploratória) no que se pode classificar de dispersão secundária (ROSE et al, 1979).

A mobilidade química dos elementos em solução, particularmente os metais, está relacionada a vários fatores, mas um dos mais importantes é pH e Eh (Quadro-7).

O conceito e o entendimento da dispersão dos metais são essenciais na geoquímica exploratória na medida em que um halo de dispersão de um determinado depósito mineral poderá variar em intensidade e composição na medida que se afasta da fonte primária (depósito).

Quadro – 7: Mobilidades de alguns elementos químicos em relação às condições ambientais de Eh/pH (Fonte: Rose et al (1979))

Mobilidade relativa	Condições ambientais		
	pH 5 - 8	pH < 4	Redutoras
Altamente móveis	Cl, Br, I, S, Rn, He, C, N, Mo, B	Cl, Br, I, S, Rn, He, C, N, B	Cl, Br, I, Rn, He
Moderadamente móveis	Ca, Na, Mg, Li, F, Zn, Ag, U, As, (Sr, Hg, Sb?)	Ca, Na, Mg, Sr, Hg, Cu, Ag, Co, Li, F, Zn, Cd, Ni, U, V, As, Mn, P	Ca, Na, Mg, Li, Sr, Ba, Ra, F, Mn
Pouco móveis	K, Rb, Ba, Mn, Si, Ge, P, Pb, Cu, Ni, Co, (Cd, Be, Ra, In, W)	K, Rb, Ba, Si, Ge, Ra	K, Rb, P, Si, Fe
Muito pouco móveis	Fe, Al, Ga, Sc, Ti, Zr, Hf, Th, Sn, ETR, Platinóides, Au, (Cr, Nb, Ta, Bi, Cs?)	Fe, Al, Ga, Sc, Ti, Zr, Hf, Th, Sn, ETR, Platinóides, Au, As, Mo, Se	Fe, Al, Ga, Ti, Hf, Th, Sn, ETR, Platinóides, Au, Cu, Ag, Pb, Zn, Cd, Hg, Ni, Co, As, Sb, Bi, U, V, Se, Te, Mo, In, Cr, Nb, Ta

5.6 Anomalias Geoquímicas

Por definição uma anomalia é um desvio da normalidade e, portanto, uma anomalia geoquímica pode ser entendida como a diferenciação da concentração de elementos de uma determinada área em relação ao *background* da região adjacente a mesma (HAWKES & WEBB, 1962).

O termo *background* foi introduzido pela primeira vez em trabalhos na área da geoquímica exploratória e segundo Hawkes & Webb (1962) é utilizado para diferenciar concentrações normais ou naturais na crosta terrestre de anomalias geoquímicas, que por sua vez, podem ser indicativas de ocorrências de mineralizações.

Outro termo muito utilizado no contexto de anomalias geoquímicas é o limiar ou *Threshold*. O limiar pode ser definido como um valor acima do qual o teor de uma amostra pode ser considerado como anômalo.

Existem, na literatura, diferentes formas de se determinar ou diferenciar o *background*, limiar e anomalias (REIMANN & GARRETT 2005). Na era pré-digital o mais comum em áreas com algum tipo de informação como, por exemplo, ocorrências conhecidas, era realizar um levantamento orientativo nas áreas conhecidas e ao redor das mesmas.

Posteriormente eram gerados mapas de ocorrências, histogramas e/ou frequência acumulada selecionando visualmente o melhor valor que diferenciasse a ocorrência relacionada com o restante dos dados. Já na era digital o método mais comum caso não se tenha informações prévias da área e os dados resultantes do levantamento amostral não apresentem uma distribuição gaussiana, reside em efetuar uma transformação logarítmica, sendo o limiar determinado pela média mais duas vezes o desvio padrão. Em termos de visualização estatística de uma população e/ou distribuição de dados e *outliers*, o *box plot* é uma ferramenta muito utilizada e eficiente.

Neste trabalho é aplicada a regressão polinomial para a obtenção de superfícies de tendência de 1º grau, que indicarão o *background*, e os respectivos mapas de resíduos que apontarão zonas positivas e negativas, ou seja, regiões anômalas.

6. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

6.1 Introdução

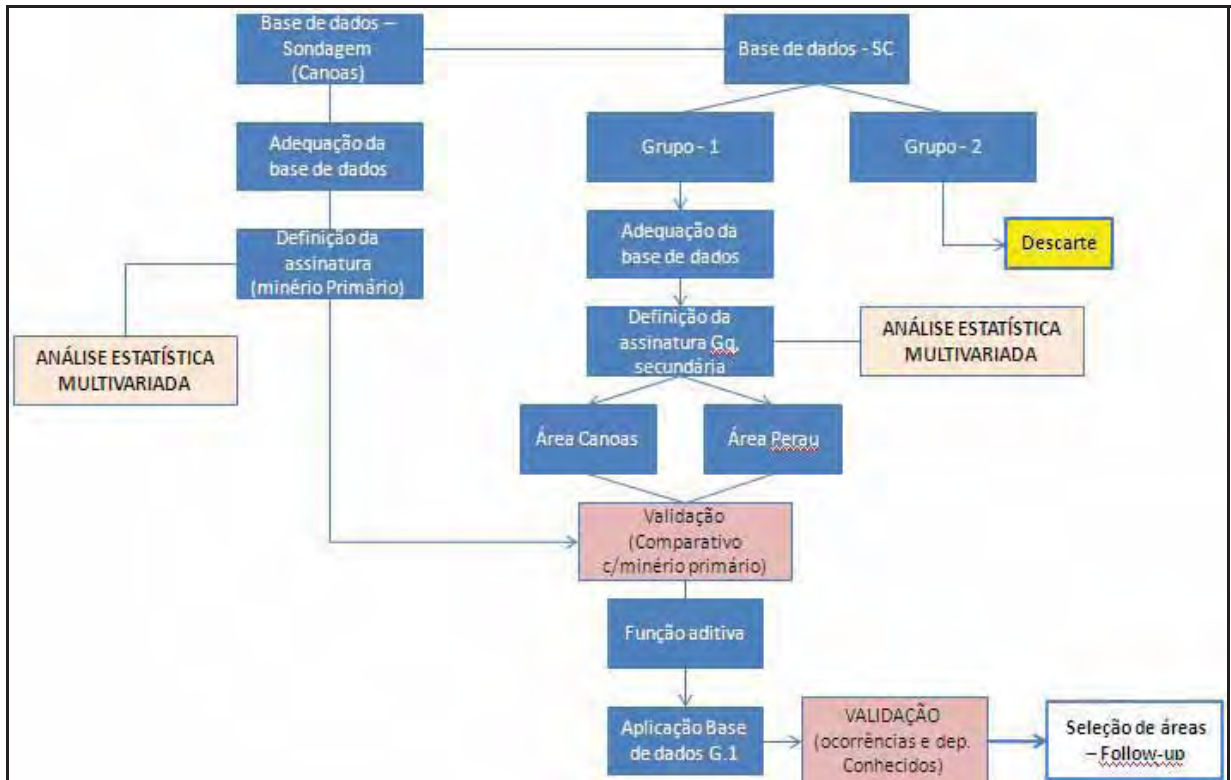
No caso da geoquímica prospectiva, os métodos da análise estatística multivariada são uma ferramenta indispensável, pois são raros os casos em que uma simples análise visual dos resultados químicos seja capaz de fornecer todas as respostas para as questões levantadas em um trabalho prospectivo (FRIZZO; LICHT, 2007). Assim, na tentativa de localizar o recurso mineral em potencial são utilizados diversos métodos para simplificar as informações, realçar feições de interesse e entender o comportamento dos elementos analisados (LICHT, 1998).

Dentre estas ferramentas ou procedimentos disponíveis, são destacados neste trabalho, além da Estatística Descritiva a Análise de Agrupamentos Hierárquicos, Análise de Componentes Principais e Análise de Regressão Polinomial.

O objetivo do emprego destas ferramentas é conseguir, por meio de uma análise multivariada dos dados geoquímicos de sedimento de corrente e rocha (testemunhos de sondagem), procurar chegar a uma definição de agrupamentos químicos que melhor representem a assinatura geoquímica do minério primário e secundário das mineralizações conhecidas (Jazidas Canoas e Perau) e por submeter estes resultados a uma análise espacial.

Os resultados obtidos, compostos, sobretudo pelos elementos com afinidade direta, ou seja, a mineralização Pb-Zn e seus acessórios, serão empregados por meio de uma razão aditiva cujo objetivo é enfatizar o sinal geoquímico produzido pela mineralização nos sedimentos ativos de drenagem, coletados ao longo de toda a extensão da área estudada, culminando na seleção de novas áreas potenciais cuja análise pura e simples dos resultados de sedimento de corrente, feitas anteriormente não havia sido capaz de ser obtida.

Para facilitar a visualização dos passos e metodologia utilizada na análise dos dados foi elaborado um fluxograma simplificado das principais etapas necessárias para a conclusão do trabalho (Fluxograma 1).



Fluxograma 01: Fluxograma de trabalho ilustrando as principais etapas de análise e manipulação dos dados.

6.2 Estatística Descritiva

Por meio da estatística descritiva é possível descrever, organizar e sumarizar conjuntos de dados facilitando seu entendimento e discernimento. Esta análise preliminar dos dados constitui uma etapa muito importante principalmente quando se trabalha com um volume muito grande de informações. Assim, serão sumariados neste capítulo algumas técnicas utilizadas neste trabalho para descrição univariada dos dados.

6.2.1 Medidas de tendência central

Existem várias medidas de tendência central cujo emprego vai depender do objetivo e finalidade que se deseja alcançar. A mais comum é a média aritmética, existindo também média ponderada, média harmônica, média geométrica, mediana, moda, quartis, decis e percentis e por fim a moda.

6.2.1.1 Média Aritmética

A média aritmética é representada pelo símbolo \bar{X} e calculada segundo:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Esta média é de fácil compreensão, mas apresenta uma limitação por ser afetada por valores extremos (outliers) e por isso é usada com restrição em análise de dados geoquímicos.

6.2.1.2 Mediana, Quartis, Decis e Percentis

A mediana ocupa a posição central de um conjunto de dados ordenados, em outras palavras, a mediana divide um conjunto de dados ordenado em duas partes iguais (Figura -15) de forma que metade dos dados terá valores inferiores e metade superiores à mediana. É muito utilizada quando se deseja reduzir a influência de valores extremos (*outliers*).

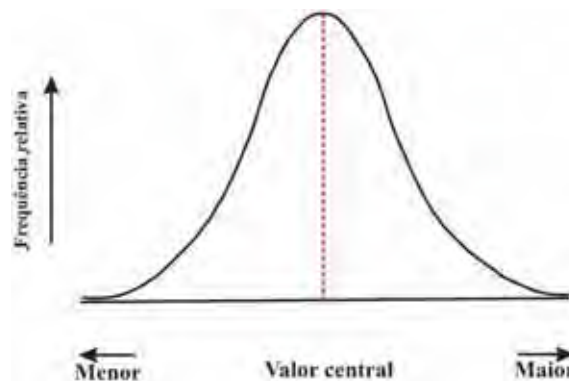


Figura-15: Posição da mediana na curva normal

Quartis, decis e percentis são medidas de posição similares à mediana onde os quartis dividem a distribuição em quatro partes iguais, os decis em dez e os percentis em cem partes iguais (Figura -16).

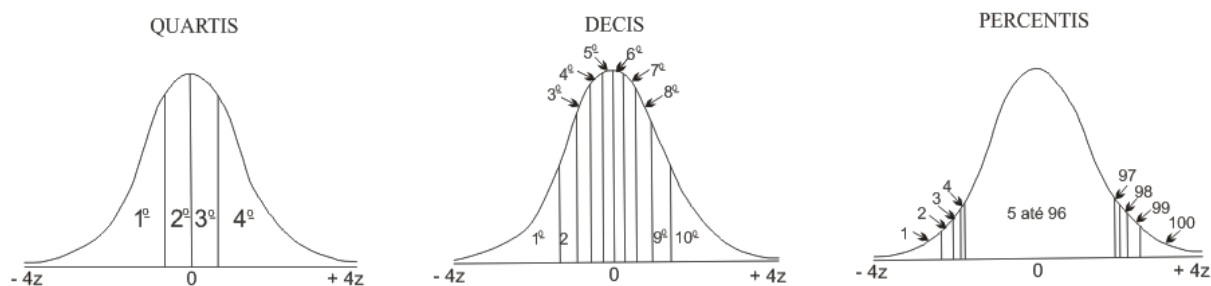


Figura -16: Posição dos quartis, decis e percentis na curva normal

6.2.1.3 Moda

A moda é o valor, ou classes de valores que ocorrem com mais frequência em um conjunto de dados. É comum dados gerados por levantamentos exploratórios geoquímicos apresentarem mais de uma moda (unimodal), duas modas (distribuição bimodal), ou mais modas (distribuição polimodal) em decorrência da heterogeneidade da composição dos materiais amostrados (Figura -17).

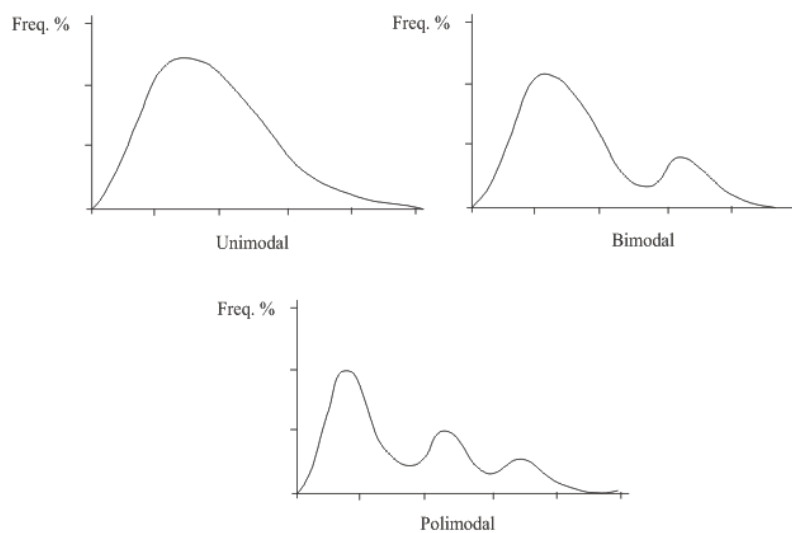


Figura - 17: Curvas de distribuição unimodal, bimodal e polimodal.

6.2.1.4 Medidas de dispersão

Medidas de dispersão são aquelas que mostram a distribuição dos dados em torno de uma tendência central e podem ser obtidas pela amplitude, variância, desvio padrão e coeficiente de variação.

6.2.1.4.1 Amplitude

É a diferença entre o maior e o menor valor de um conjunto de dados:

$$A = (X_{\max} - X_{\min})$$

6.2.1.4.2 Variância

É a dispersão de valores em torno da média e é obtida segundo:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}$$

6.2.1.4.3 Desvio Padrão

É a medida mais utilizada para quantificar a dispersão de um conjunto de dados cuja representação se dá pela letra (S) e é obtido pela raiz quadrada positiva da variância.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

6.2.1.4.4 Coeficiente de Variação

É utilizado quando se deseja fazer uma comparação de diferentes distribuições, pois apresenta uma ideia da regularidade ou homogeneidade dos dados que estão sendo estudados. Valores elevados ou superiores a 1 ou 100%, representam dados com grande heterogeneidade; em contrapartida, valores abaixo de 0,4 ou 40% refletem homogeneidade dos dados (Andriotti, 2003).

Dentre as medidas de dispersão relativa, o coeficiente de variação de Pearson (CV_p) é o mais utilizado:

$$CV_p = \left(\frac{S}{\bar{X}} \right) 100\%$$

6.2.2 Correlação e regressão linear

O coeficiente de correlação linear é uma medida de intensidade da relação linear entre duas variáveis e é representado por r , no qual os valores variam entre -1 (correlação inversa) e +1 (correlação direta). Quando ele for igual ou próximo de 0, significa a inexistência de um relacionamento linear entre as duas variáveis.

O coeficiente de correlação mais utilizado é o de Pearson:

$$r = \frac{\text{cov}(x, y)}{[\text{var}(x) \cdot \text{var}(y)]^{1/2}} = \frac{\frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1}}{\left[\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \cdot \frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1} \right]^{1/2}}$$

Segundo Andriotti (2003), como o coeficiente de correlação linear é uma interpretação puramente matemática é preciso tomar alguns cuidados, pois o mesmo não implica a existência de causa e efeito, portanto, toda avaliação deve ser corroborada por um conhecimento da situação estudada.

Estes dados, quando colocados em um diagrama de dispersão (X,Y), e sendo observado que, pontos nesse diagrama se localizam próximos a uma reta, a relação é dita linear e uma

equação linear torna-se apropriada para os fins de análise de regressão. Caso isso não ocorra, as variáveis podem ser independentes entre si ou existe entre as variáveis uma relação não-linear.

6.3 Estatística Multivariada

6.3.1 Análise de Agrupamentos Hierárquicos (AAH)

A análise de agrupamentos hierárquicos ou *cluster analysis* é utilizado em diferentes áreas da ciência como geologia, medicina, biologia, arqueologia, entre outras e segundo Davis (1986), é o nome dado a uma técnica que visa analisar amostras e variáveis agrupando os valores em grupos de pares com maior similaridade entre indivíduos (modo Q) ou entre variáveis (modo R).

Existem na literatura várias técnicas disponíveis, (DAVIS, 1986; JOHNSON & WICHERN, 1992). Em um estudo feito por Albuquerque (2005) com dados de vegetação fazendo uso das diferentes técnicas de análise de agrupamentos disponíveis, o autor concluiu que todos os métodos empregados demonstraram certa correlação entre si.

Dentre os principais tipos de algoritmos de agrupamentos disponíveis, podem ser citados o agrupamento por k-médias, e a análise de agrupamentos hierárquica que consiste em uma série de sucessivos agrupamentos representados em um diagrama bi-dimensional, chamado dendograma, como mostrado na figura - 18.

O agrupamento por k-médias foi descartado, pois este método parte do pressuposto de que já existe um conhecimento prévio a respeito do número de conjuntos em seus casos ou variáveis, o que não é o caso deste trabalho.

Para a elaboração do dendograma são utilizados coeficientes de similaridade dispostos em uma matriz simétrica que medem a distância entre as classes ou grupos (*single linkage*) com base em três tipos de conexões: simples, (considerando a distância entre os vizinhos mais próximos como a distância entre agrupamentos); completa (considerando a distância entre os vizinhos mais distantes) e a média ou centróide (considerando a distância média entre agrupamentos).

As principais etapas para a construção do diagrama acima pode ser sumariado abaixo:

1. Correlação feita através de um coeficiente de correlação com medida de similaridade e/ou dissimilaridade pré-estabelecida.
2. Grupos ou amostras com maior semelhanças são agrupadas num primeiro momento.

3. Depois de o primeiro par de amostras ou variáveis ter sido agrupada, o processo continua até que todas as amostras tenham sido incluídas em um grupo.

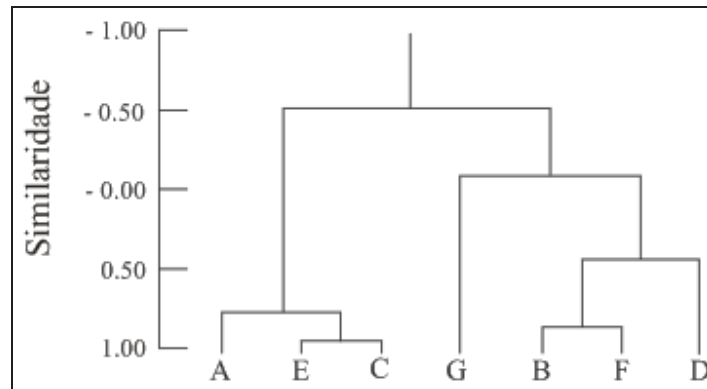


Figura - 18: Dendograma.

6.3.2 Análise de Componentes Principais (ACP)

Assim como a análise de agrupamentos, a ACP é uma técnica estatística multivariada complementar de grande aceitação na análise de dados químicos. É o mais antigo método de ordenação e com mais exemplos na área da Geologia. Esta técnica utiliza todas as variáveis disponíveis na base de dados e constrói agrupamentos de similaridade na forma de gráficos bidimensionais (figura - 19) e tabelas na forma de matriz de coeficientes de correlação entre variáveis.

Em Landim (2011), encontra-se muito bem sumariado as principais etapas e cálculos desta técnica cujos pontos principais encontram-se descritos abaixo:

- A primeira análise se baseia em uma transformação linear de “n” variáveis originais em “n” novas variáveis de forma que a nova variável encontrada seja responsável pela maior variação possível remanescente e assim sucessivamente até que todo o conjunto tenha sido explicado.
- Na sequência iniciam-se os cálculos dos autovalores e correspondentes autovetores de uma matriz de variância-covariância ou de correlações entre variáveis cujo procedimento é conhecido como modo “R”. Assim, o primeiro autovalor a ser detectado corresponde à maior porcentagem da variabilidade total presente e assim

sucessivamente. No geral, a maior parte da variabilidade presente é explicada através dos primeiros dois ou três autovetores encontrados. Deve-se ter cuidado quando o primeiro vetor encontrado consegue explicar 90 a 95% da variabilidade, pois pode ser indicativo da presença de valores tipo “outliers”.

- Por fim, uma vez multiplicada a matriz de carregamentos de cada variável nas componentes principais pela matriz original de dados, será possível obter a matriz de contagens (*score*) de cada caso em relação às componentes principais cujos valores serão dispostos num diagrama de dispersão em que os eixos são as duas componentes principais mais importantes, e sua análise mostrará o relacionamento entre os casos condicionados pelas variáveis medidas.

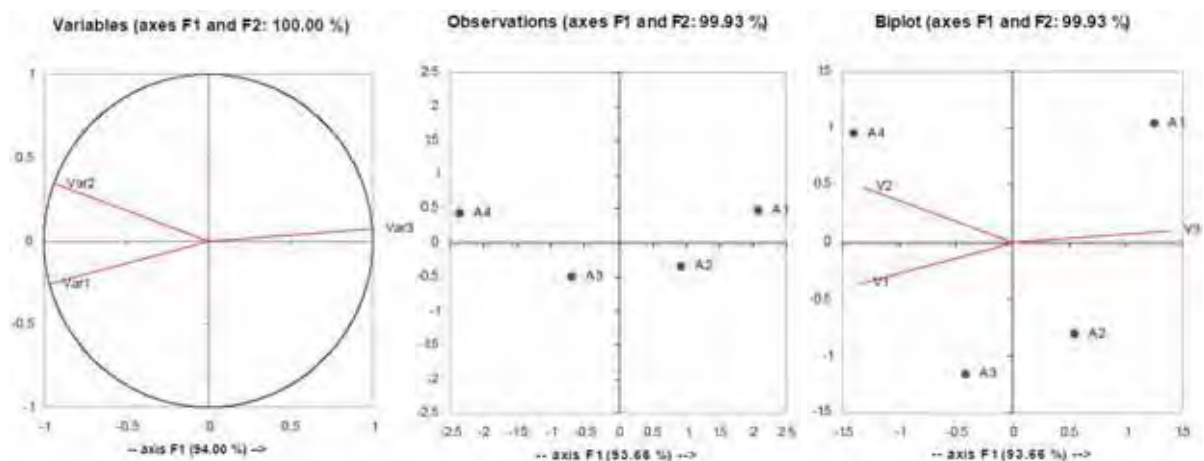


Figura - 19: Exemplo de gráficos bidimensionais obtidos através da análise de agrupamentos de similaridade.

6.3.3 Regressão Múltipla do Tipo Polinomial

Embora a regressão múltipla seja multivariada no sentido de que mais de uma variável é medida simultaneamente em cada observação, trata-se na realidade de uma técnica univariada, pois o enfoque é apenas em relação à variação da variável dependente Y , sem que o comportamento das variáveis independentes X 's seja objeto de análise. Pode, assim, ser aplicada em situações em que se quer verificar o comportamento espacial dessa variável dependente. Neste caso é utilizada a análise de superfícies de tendência, que é simplesmente um tipo de

análise de regressão múltipla em que as variáveis independentes são as coordenadas geográficas E-W e N-S.

A análise de superfície de tendência (AST), por regressão polinomial, é um método utilizado para suprir algumas deficiências quando se deseja interpolar dados distribuídos espacialmente como cotas topográficas ou resultados geoquímicos de solo, sedimento de corrente entre outros através de curvas de isovalor ou isoplefas.

Contudo, em algumas situações com a presença de valores anômalos locais ou pequenas variações pode não ficar claro o comportamento e/ou distribuição de uma anomalia geoquímica, podendo assim, mascarar uma análise mais geral quando se deseja, por exemplo, avaliar tendências regionais (LANDIM, 2011).

Assim, por meio do método da (AST) é possível suprimir esta dificuldade, pois é possível definir, além das grandes e sistemáticas mudanças existentes na área, aquelas variações pequenas que aparentemente não seriam detectadas pela simples interpolação de valores. Esta aplicação abordada parcialmente em trabalhos como os de Nackowski *et al* (1967) e Sinclair (1967) é muito útil também quando se trabalha na área da geoquímica com elementos traços, com número de observações ou amostras limitadas e variações pequenas, mas que podem auxiliar na detecção de áreas mineralizadas.

Contudo, como toda ferramenta a regressão polinomial (AST) possui algumas limitações e por isso se faz necessário tomar alguns cuidados no momento da aplicação conforme explicitado na tabela - 1.

Nº	Pontos de atenção
01	Deve-se procurar tecer considerações apenas em relação à área coberta pelos pontos evitando as extremidades dos mapas em função de possíveis extrapolação de dados com distorções.
02	Deve haver maior número de pontos do que o número de coeficientes do polinômio a ser calculado.
03	O arranjo dos pontos, ainda que irregular, deve ser casual e razoavelmente bem distribuído, evitando agrupamentos.
04	No uso de programas para inversão de matrizes, pode ocorrer problemas com os resultados obtidos para superfície de mais alto grau, isso porque em sistemas com valores de diversos dígitos como UTM por exemplo, a precisão computacional se deteriora exigindo formato de dupla precisão. Mesmo assim podem ocorrer limitações e, então a solução é transformar as coordenadas X_i e Y_i , conforme as equações que fornecem valores par as coordenadas entre 0 e 1 e não modifica a forma das superfícies:

$$X^* = \frac{X_i - X_{\min}}{X_i - X_{\min}} \quad Y^* = \frac{y_i - y_{\min}}{y_i - y_{\min}}$$

Tabela - 1: Cuidados que se deve levar em consideração no uso da regressão polinomial (AST).
Fonte: (Adaptado de Landim & Corsi 2001)

Cálculos:

A depender da homogeneidade ou não dos dados, poderá ser utilizado diferentes modelos para o cálculo das superfícies de tendência (séries de Fourier, polinômios ortogonais e polinômios não ortogonais). No que se refere a dados geológicos e geoquímicos, cuja irregularidade é predominante, deve ser utilizado o método dos polinômios não ortogonais (LANDIM, 2011) cuja representação é dada por:

$$Z_i(X, Y) = [a_0 + a_1x_i + a_2y_i + a_3x_i^2 + a_4x_iy_i^2 + \dots] + e_i(x_i, y_i),$$

onde $Z_i(X, Y)$ é a variável mapeada em função das coordenadas x_i e y_i e $e_i(x_i, y_i)$ representa os resíduos, ou seja, a fonte não sistemática de variação.

Equações polinomiais:

- Superfície de primeira ordem: $Z^* = a + bX + cY$
- Superfície de segunda ordem: $Z^* = a + bX + cY + dX^2 + eXY + fY^2$
- Superfície de terceira ordem: $Z^* = a + bX + cY + dX^2 + eXY + fY^2 + gX^3 + hX^2Y + iXY^2 + jY^3 + kX^4 + lX^3 + mX^2Y^2 + nXY^3 + oY^4$

onde:

Z^* = valor estimado de Z^*_i para o nó da célula (variável dependente)

X e Y = coordenadas X_i e Y_i (variáveis independentes)

a...o = coeficientes que proporcionam o melhor ajuste aos dados amostrados.

Abaixo na tabela – 2 são apresentadas as principais etapas e/ou procedimentos para o cálculo da regressão polinomial (AST) utilizando o software *SURFER*:

Etapa	Procedimento
01	A equação utilizada para ajuste da superfície é feita com base nos polinômios não ortogonais.
02	O ajuste é feito pela adição de termos adicionais (ordens) à equação polinomial.
03	Após o ajuste da superfície aos dados amostrados, com base no grau desejado, os valores de Z^*i para os nós da grade são calculados.
04	Resolvida as equações, com a determinação dos coeficientes, as mesmas são utilizadas para o cálculo de Z^* para qualquer valor de $X - Y$, no caso a localização dos nós das células da grade.
05	Se necessário, é possível calcular os resíduos entre a superfície gerada e os valores originais.
06	Podem ser obtidos contornos suaves em superfícies de alto grau e as isolinhas podem não ser fiéis aos dados originais.
07	Essa técnica é adequada para a “remoção” de tendências e destaque de resíduos.
08	Algumas anomalias residuais podem ser geradas nas bordas e no interior do mapa quando houver áreas sem dados amostrados e com a utilização de ordens polinomiais elevadas.

Tabela - 2: Principais etapas e/ou procedimento para o cálculo da superfície de tendência.
Fonte: (Adaptado de Landim & Corsi 2001)

7. ADEQUAÇÃO DA BASE DE DADOS

Para facilitar a manipulação e o entendimento do grande volume de dados disponíveis foi necessário ordená-los de forma lógica utilizando o software Microsoft Office Excel 2007, subdividindo as bases de dados de acordo com sua tipologia, análise e preparação, e apresentadas na forma de tabelas.

Após esta primeira fase, o banco de dados, já previamente organizado, foi crivo de uma segunda adequação e validação na qual foram retirados todos os resultados amostrais abaixo do limite de detecção e homogeneização das unidades de todos os elementos para parte por milhão (ppm) . Este procedimento é necessário não só para uma ordenação lógica, mas também para tornar os dados acessíveis à linguagem do software *XLSTAT*.

7.1 Base de dados (Sedimento de Corrente)

Conforme já exemplificado no capítulo 4, tópico 4.1.1 Preparação e análise, foram utilizadas durante a campanha de sedimento de corrente duas metodologias de preparação e análise diferenciadas, e em decorrência desta diferenciação, as amostras foram agrupadas em dois grandes conjuntos convencionados em dois grupos: grupo-1 e grupo-2.

Em razão da metodologia de preparação e análise diferenciada, foram utilizadas para efeito deste estudo apenas as amostras pertencentes ao grupo-1 por contemplar dentro do seu universo amostral os jazimentos já conhecidos de Canoas (Canoas 1, 2 e 3) e Perau além de outras ocorrências conhecidas como Pretinhos e Água Clara.

Após a definição das assinaturas geoquímicas e sua validação para um conjunto mais restrito de amostras pertencentes ao grupo-1, foi feita uma tentativa de extrapolação dos resultados obtidos para todas as amostras deste conjunto (grupo-1) com o objetivo de detectar novas áreas com assinaturas geoquímicas parecidas ao dos depósitos previamente analisados.

7.1.1 Adequação do Banco de Dados de Sedimento de Corrente

O banco de dados com 1240 amostras, enquadrado na forma de planilha contempla um total 1241 linhas divididas em 53 colunas. As colunas apresentam, além dos elementos químicos e suas respectivas unidades de medida (ppm, ppb ou %), diversas informações acerca das amostras em questão como a identificação da amostra ((número da amostra (ID), número do lote, coordenadas UTM (X e Y) e data da coleta)), dados complementares ((volume de material amostrado, leito (seco, corrente ou estagnado), pH, presença ou não de óxido de ferro/manganês no material amostrado, presença de matéria orgânica)), status da amostra (se foi coletado dentro da programação previamente estipulada), observações do amostrados do local da coleta e por fim os resultados analíticos (Quadro - 8).

Quadro - 8: Planilha ilustrando os dados disponibilizados no banco de dados.

Identificação da amostra					Dados complementares					progr./exec		Result. analíticos	
ID	Lote	X	Y	data da coleta	Volume	leito	pH	Fe_Mn	Materia org.	Coletado	OBS	Ag_ppm	...etc

Em razão do banco de dados estar enquadrado em um formato padrão interno da empresa, fez-se necessária algumas adequações em relação a vários aspectos:

- Foram excluídas colunas com todos os resultados analíticos abaixo do limite de detecção ou nulos. Esta medida é necessária uma vez que o sistema do laboratório retorna para estes casos o resultado limite e o software utilizado entende isso como uma constante, não permitindo uma análise de correlação integrada. Portanto, foram excluídos da relação à coluna com todos os resultados analíticos do elemento U (urânio) conforme ilustra o quadro - 9;

Quadro - 9: Resultados analíticos abaixo ou igual ao limite de detecção.

Amostra	U_(ppm)
1	5.00
2	5.00
3	5.00
4	5.00
⋮	⋮
1238	5.00
1239	5.00
1240	5.00

- Com o intuito de homogeneizar as diferentes unidades de medida (% , ppm e ppb), foi tomado como padrão a unidade ppm, por contemplar a maior parte dos resultados analíticos. Assim, todas as demais medidas foram convertidas para ppm (Quadro 10).

Quadro 10: Elementos padronizados para unidade de medida ppm (parte por milhão).

ID	Unidade de medida original									Padronização das unidades para (ppm)								
	ppb	Pct. (Porcentagem)								Au	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	S	Ti
	Au	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	S	Ti	Au	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	S	Ti
1	0	1.96	0.23	3.26	0.41	0.95	0.01	0.02	0.14	0	19600	2300	32600	4100	9500	100	200	1400
2	0	1.61	0.22	2.76	0.35	0.74	0.01	0.02	0.11	0	16100	2200	27600	3500	7400	100	200	1100
3	0	1.73	0.16	4.54	0.2	0.46	0.01	0.01	0.09	0	17300	1600	45400	2000	4600	100	100	900
4	0	1.9	0.13	3.61	0.42	0.64	0.01	0.01	0.11	0	19000	1300	36100	4200	6400	100	100	1100
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1238	2.5	2.69	0.36	3.94	1.09	1.49	0.01	0.03	0.24	0.0025	26900	3600	39400	10900	14900	100	300	2400
1239	2.5	2.48	0.3	3.62	0.96	1.35	0.01	0.03	0.21	0.0025	24800	3000	36200	9600	13500	100	300	2100
1240	5	2.57	0.19	3.32	0.57	1.1	0.01	0.05	0.14	0.005	25700	1900	33200	5700	11000	100	500	1400

Abaixo no quadro - 11 e no apêndice - 1 é possível visualizar alguns indicadores estatísticos obtidos a partir da base de dados ajustada.

Quadro - 11: Estatísticas descritivas do banco de dados completo de sedimento de corrente.

Variável	Observações	Dados faltantes	Sem dados faltantes	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Au	1240	0	1240	0.00	0.03	0.00	0.00
Al	1240	0	1240	1300.00	40800.00	16583.63	6379.23
Ca	1240	0	1240	50.00	44500.00	1983.27	1824.47

Fe	1240	0	1240	700.00	97200.00	34162.26	12926.08
K	1240	0	1240	100.00	12900.00	2608.79	2322.80
Mg	1240	0	1240	50.00	32400.00	4816.69	3900.23
Na	1240	0	1240	50.00	300.00	91.53	45.73
S	1240	0	1240	50.00	1700.00	273.51	208.09
Ti	1240	0	1240	50.00	3100.00	815.16	523.23
Ag	1240	0	1240	0.10	48.40	0.16	1.37
As	1240	0	1240	1.00	211.00	6.93	15.37
B	1240	0	1240	5.00	20.00	5.37	1.36
Ba	1240	0	1240	10.00	1560.00	141.86	131.33
Be	1240	0	1240	0.25	3.50	0.68	0.40
Bi	1240	0	1240	1.00	7.00	1.25	0.57
Cd	1240	0	1240	0.25	1.20	0.26	0.07
Co	1240	0	1240	0.50	72.00	16.66	9.07
Cr	1240	0	1240	2.00	306.00	44.22	27.77
Cu	1240	0	1240	1.00	318.00	42.85	29.71
Ga	1240	0	1240	5.00	10.00	8.39	2.34
Hg	1240	0	1240	0.50	2.00	0.64	0.25
La	1240	0	1240	5.00	90.00	16.44	8.72
Mn	1240	0	1240	5.00	16750.00	1045.79	1088.97
Mo	1240	0	1240	0.50	2.00	0.61	0.22
Ni	1240	0	1240	0.50	126.00	25.00	14.28
P	1240	0	1240	10.00	2720.00	426.77	294.21
Pb	1240	0	1240	1.00	1060.00	19.39	57.41
Sb	1240	0	1240	1.00	10.00	1.11	0.43
Sc	1240	0	1240	0.50	27.00	7.47	4.16
Sr	1240	0	1240	1.00	70.00	12.16	7.73
Th	1240	0	1240	10.00	40.00	10.15	1.79
Tl	1240	0	1240	5.00	10.00	5.03	0.37
V	1240	0	1240	2.00	484.00	73.12	43.10
W	1240	0	1240	5.00	10.00	5.01	0.25
Zn	1240	0	1240	2.00	585.00	48.71	42.76

7.1.2 Adequação do Banco de Dados de Sondagem

Em razão da amostragem dos testemunhos terem contemplado todo o universo amostral, o método de preparação e análise e o banco de dados de sondagem não precisaram sofrer

subdivisões inicialmente, contudo, foram feitos os mesmos procedimentos de adequação utilizados para a base de dados de Sedimento e outros complementares, na qual incluem:

- Foram excluídas colunas com todos os resultados analíticos abaixo do limite de detecção ou nulos.
- Subdivisão do banco de dados com base nos furos executados: o banco de dados inicialmente integrado contemplava amostras de todos os furos realizados ao longo da região de estudo e que não fazem parte da zona mineralizada dos depósitos Canoas. Assim, para o estudo em questão serão utilizados os resultados analíticos de apenas 1 furo de 3 que interceptaram o corpo mineralizado do depósitos canoas 3 (quadro - 12) em função do furo de interesse (PED 0039) ter sido integralmente amostrado.

Quadro - 12: Banco de dados (BD) individualizado por furos com número de amostras analisadas e elementos excluídos com destaque para o furo PED0039.

Furo/BD	Nº de amostras analisadas	Elementos excluídos
PED0039	195	0
PED0023	32	1 (W)
PED0024	35	1 (W)

- Padronização das diferentes unidades de medida para ppm.

8. RESULTADOS

8.1 Análise estatística descritiva dos principais elementos químicos de interesse

No quadro - 13 abaixo se encontra um sumário estatístico acerca do conjunto de dados de sedimento de corrente atribuídos ao Grupo-1 que foi utilizado como base para a definição das assinaturas geoquímicas dos depósitos Canoas e Perau. Foram também confeccionados histogramas e box plot relativos a cada elemento aqui sumariados para os principais elementos de interesse como Pb, Zn, Ag, Ba e Cu, mas a relação completa desses gráficos encontra-se disponível no apêndices – 01,02 e 03.

Quadro - 13: Sumário estatístico para amostras de sedimento de corrente do grupo-1

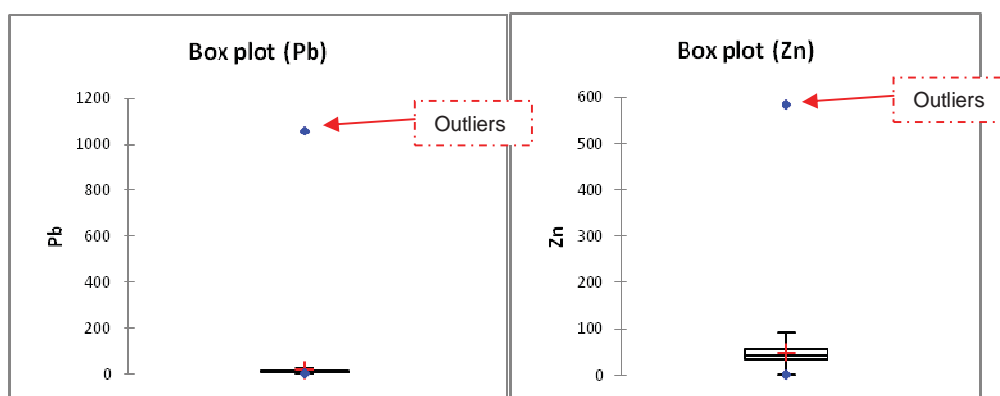
Variável	Observ	Dados faltantes	Sem dados faltantes	Mínimo	Máximo	Amplitude	1° Quartil	Mediana	3° Quartil	Média	Variância (n-1)	Desvio padrão (n-1)	Coefficiente de variação
Al	1240	0	1240	1300,00	40800,00	39500	12000,0	16600,0	20800,0	16583,63	40694590,53	6379,23	0,385
Ca	1240	0	1240	50,00	44500,00	44450	1100,0	1800,0	2500,0	1983,27	3328692,71	1824,47	0,920
Fe	1240	0	1240	700,00	97200,00	96500	27300,0	33900,0	40700,0	34162,26	167083578,43	12926,08	0,378
K	1240	0	1240	100,00	12900,00	12800	600,0	2300,0	3800,0	2608,79	5395410,96	2322,80	0,890
Mg	1240	0	1240	50,00	32400,00	32350	1800,0	4200,0	6800,0	4816,69	15211831,67	3900,23	0,809
Na	1240	0	1240	50,00	300,00	250	50,0	100,0	100,0	91,53	2091,27	45,73	0,499
S	1240	0	1240	50,00	1700,00	1650	100,0	200,0	400,0	273,51	43302,86	208,09	0,761
Ti	1240	0	1240	50,00	3100,00	3050	400,0	800,0	1100,0	815,16	273773,18	523,23	0,642
Ag	1240	0	1240	0,10	48,40	48	0,1	0,1	0,1	0,16	1,89	1,37	8,566
As	1240	0	1240	1,00	211,00	210	1,0	3,0	6,0	6,93	236,35	15,37	2,219
B	1240	0	1240	5,00	20,00	15	5,0	5,0	5,0	5,37	1,84	1,36	0,252
Ba	1240	0	1240	10,00	1560,00	1550	70,0	115,0	180,0	141,86	17247,13	131,33	0,925
Be	1240	0	1240	0,25	3,50	3	0,3	0,6	0,9	0,68	0,16	0,40	0,591
Bi	1240	0	1240	1,00	7,00	6	1,0	1,0	1,0	1,25	0,33	0,57	0,458
Cd	1240	0	1240	0,25	1,20	1	0,3	0,3	0,3	0,26	0,00	0,07	0,269
Co	1240	0	1240	0,50	72,00	72	11,0	16,0	22,0	16,66	82,19	9,07	0,544
Cr	1240	0	1240	2,00	306,00	304	28,0	40,0	53,0	44,22	770,90	27,77	0,628
Cu	1240	0	1240	1,00	318,00	317	23,8	37,0	55,0	42,85	882,92	29,71	0,693
Ga	1240	0	1240	5,00	10,00	5	5,0	10,0	10,0	8,39	5,46	2,34	0,278
Hg	1240	0	1240	0,50	2,00	2	0,5	0,5	1,0	0,64	0,06	0,25	0,387
La	1240	0	1240	5,00	90,00	85	10,0	20,0	20,0	16,44	75,99	8,72	0,530

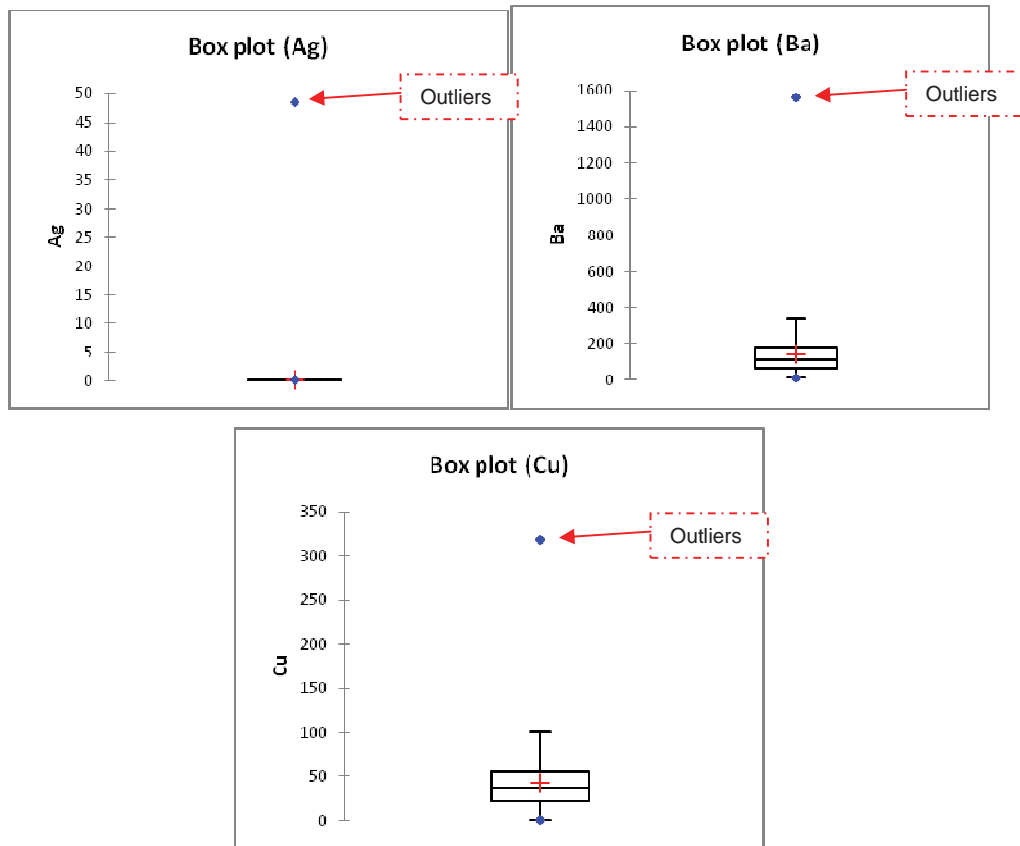
Mn	1240	0	1240	5,00	16750,00	16745	498,5	802,0	1300,0	1045,79	1185862,23	1088,97	1,041
Mo	1240	0	1240	0,50	2,00	2	0,5	0,5	0,5	0,61	0,05	0,22	0,359
Ni	1240	0	1240	0,50	126,00	126	16,0	24,0	32,0	25,00	203,99	14,28	0,571
P	1240	0	1240	10,00	2720,00	2710	250,0	360,0	520,0	426,77	86560,72	294,21	0,689
Pb	1240	0	1240	1,00	1060,00	1059	7,0	11,0	16,0	19,39	3295,50	57,41	2,960
Sb	1240	0	1240	1,00	10,00	9	1,0	1,0	1,0	1,11	0,19	0,43	0,391
Se	1240	0	1240	0,50	27,00	27	5,0	7,0	10,0	7,47	17,30	4,16	0,556
Sr	1240	0	1240	1,00	70,00	69	7,0	10,0	15,0	12,16	59,82	7,73	0,636
Th	1240	0	1240	10,00	40,00	30	10,0	10,0	10,0	10,15	3,21	1,79	0,176
Tl	1240	0	1240	5,00	10,00	5	5,0	5,0	5,0	5,03	0,14	0,37	0,075
V	1240	0	1240	2,00	484,00	482	45,0	66,0	92,0	73,12	1857,62	43,10	0,589
W	1240	0	1240	5,00	10,00	5	5,0	5,0	5,0	5,01	0,06	0,25	0,049
Zn	1240	0	1240	2,00	585,00	583	32,0	44,0	56,0	48,71	1828,81	42,76	0,878

Verifica-se de modo geral com relação aos elementos analisados, com destaque para os principais metais de interesse (Pb, Zn, Ag, Ba e Cu), uma distribuição unimodal assimétrica com *outliers* associados, conforme mostram os respectivos gráficos box plot e histogramas abaixo com distribuição de probabilidade acumulada associada.

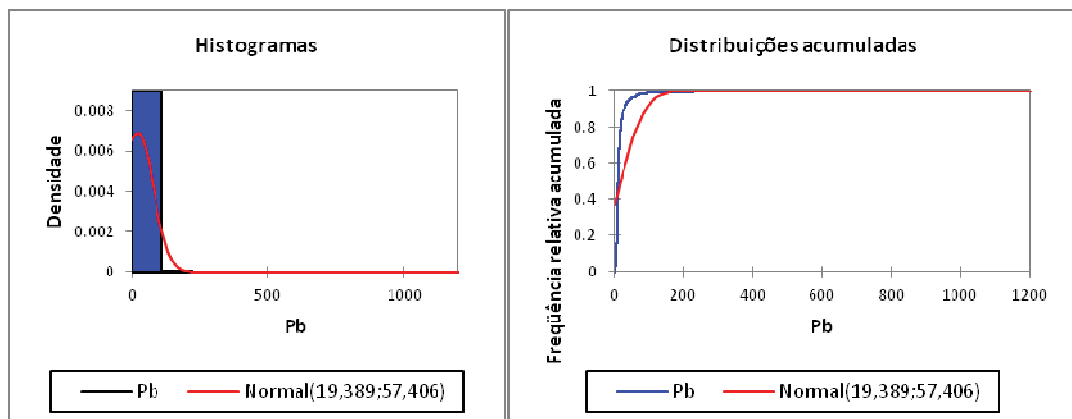
Esta alta variabilidade, no que se refere a amostras de sedimento de corrente é consequência de sua grande diversidade amostral, pois contempla e ao mesmo tempo representa contextos geológicos por vezes completamente distintos entre si e uma vez analisado de forma conjunta, reflete comportamentos estatísticos também variados.

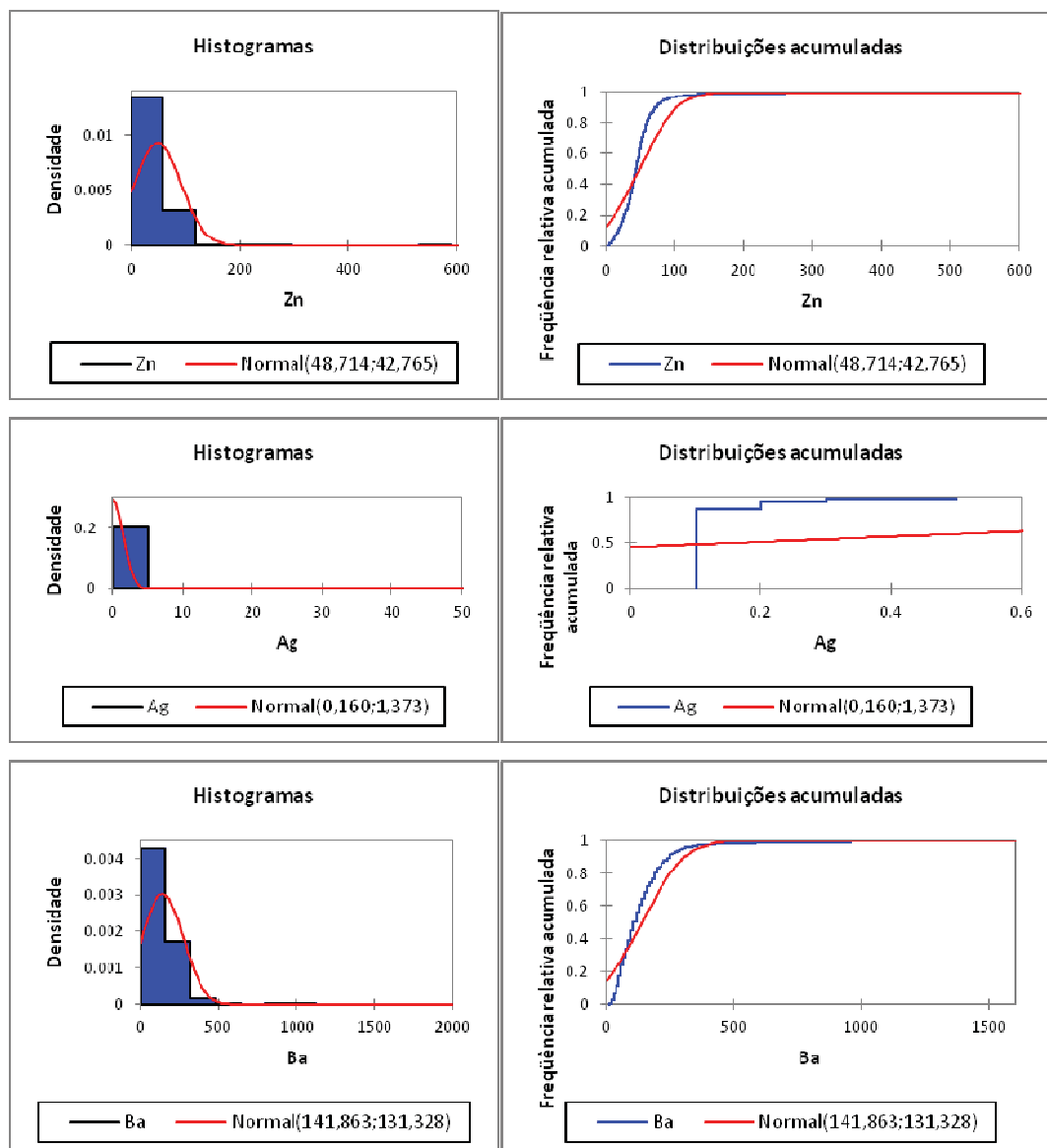
Gráficos box plot





Histogramas com distribuição de probabilidade acumulada





Com relação aos *outliers* é muito comum a exclusão ou diluição dos mesmos através de transformações logarítmicas com o objetivo de suavizar a diferença entre as populações de amostras. Isso irá refletir em uma distribuição normal produzindo variância e desvio-padrão menores que por sua vez propicia análises de correlações mais confiáveis (DAVIS, 1986).

Contudo, para este trabalho os *outliers* não foram removidos, pois estes fazem parte do conjunto de dados de áreas anômalas, como os depósitos Perau e Canoas, que foram selecionadas e analisadas separadamente do conjunto total de amostras para a definição da assinatura geoquímica, segundo Alba & Filho (2010).

8.2 Teor de fundo (*background*) e limiar

Com base em Hawkes e Web (1992) foi adotado a mediana como teores de fundo e a média mais duas vezes o desvio padrão como limiar ou anomalia de primeira ordem, média mais três vezes o desvio padrão como anomalia de segunda ordem e por fim a média mais quatro vezes o desvio padrão como anomalia de terceira ordem.

No quadro - 14 e tabela - 3 é possível notar que todas as anomalias encontram-se acima do percentil de 95%.

Quadro 14: Definição das classes de anomalias

Anomalias	Cu (ppm)	Ag (ppm)	Ba (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Anomalias de 1° ordem	102,27	2,90	404,51	134,20	134,24
Anomalias de 2° ordem	131,99	4,27	535,84	191,60	177,00
Anomalias de 3° ordem	161,70	5,65	667,17	249,01	219,77

A fim de validar o critério de seleção das classes apresentadas no quadro acima e se estas seriam capazes de destacar os principais depósitos conhecidos da área de estudo, foram elaborados mapas geoquímicos discriminando as classes frente ao conjunto de amostras de sedimento de corrente (figuras 20, 21, 22, 23 e 24).

Tabela - 3: Percentis com os teores para os principais elementos de interesse

Percentil	Valor_Ag (ppm)	Valor_Ba (ppm)	Valor_Cu (ppm)	Valor_Pb (ppm)	Valor_Zn (ppm)
Máximo 100%	48,400	1560,000	318,000	1060,000	585,000
99%	0,500	792,000	138,800	125,800	209,400
95%	0,200	300,000	96,000	45,000	89,000
90%	0,200	250,000	80,000	29,000	72,000
3° Quartil 75%	0,100	180,000	55,000	16,000	56,000
Mediana 50%	0,100	110,000	37,000	11,000	44,000
1° Quartil 25%	0,100	70,000	23,000	7,000	32,000
10%	0,100	40,000	12,000	6,000	19,000
5%	0,100	30,000	8,000	4,000	12,000
1%	0,100	20,000	3,000	2,000	5,000
Mínimo 0%	0,100	10,000	1,000	1,000	2,000

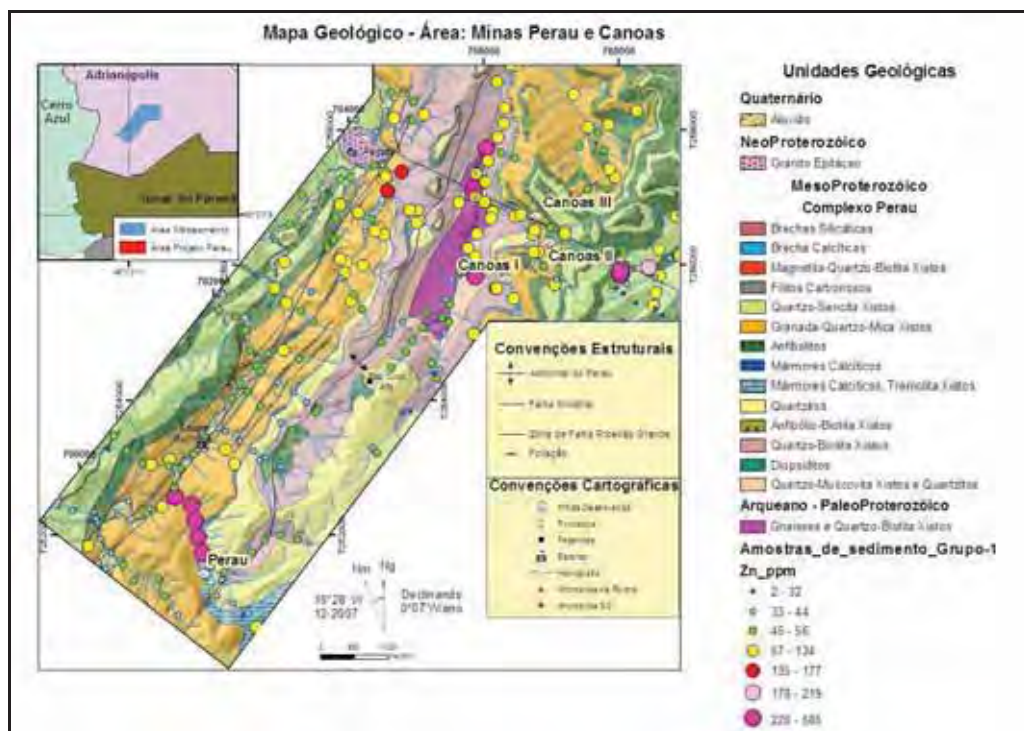


Figura - 20: Mapa geológico da área com teores de sedimento separados por classes de anomalias (Zn ppm).

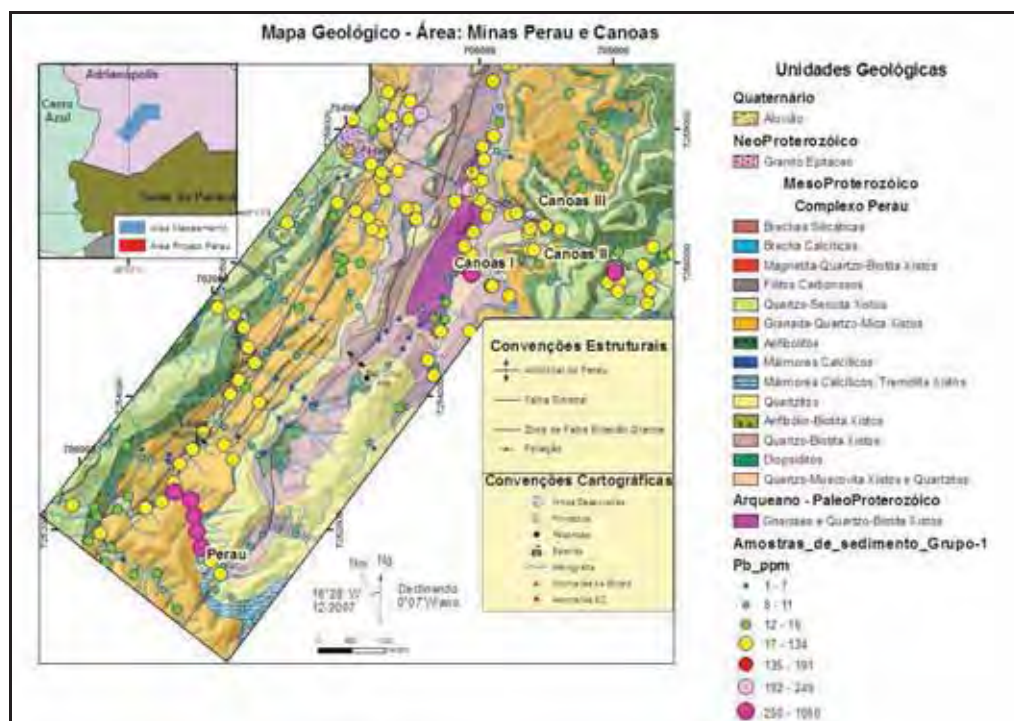


Figura - 21: Mapa geológico da área com teores de sedimento separados por classes de anomalias (Pb ppm).

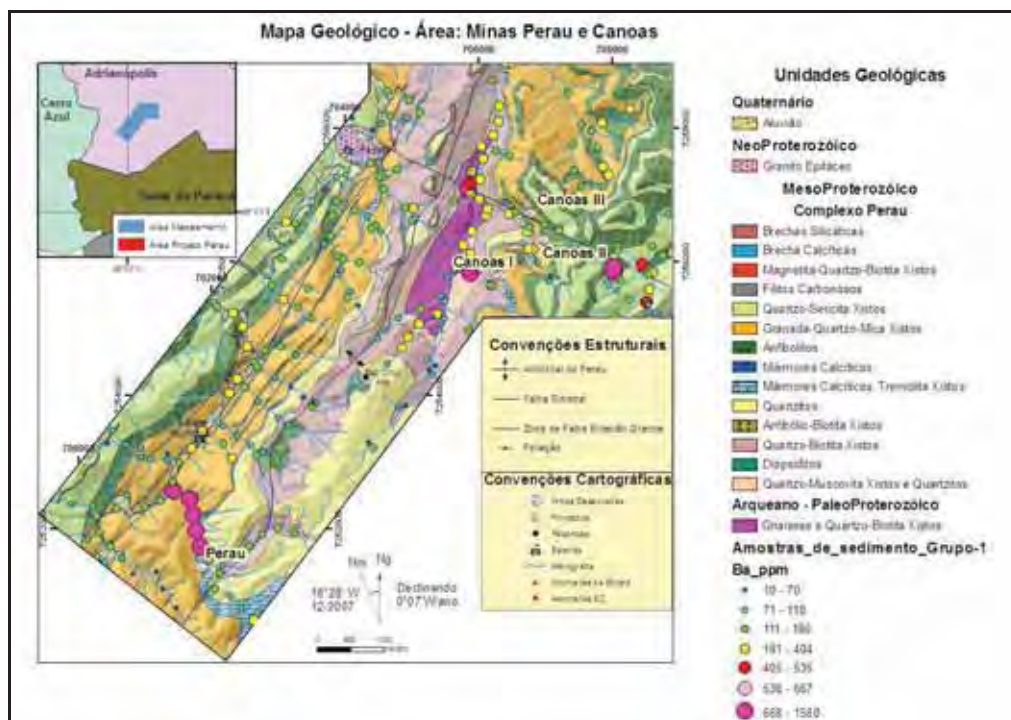


Figura - 22: Mapa geológico da área com teores de sedimento separados por classes de anomalias (Ba ppm)

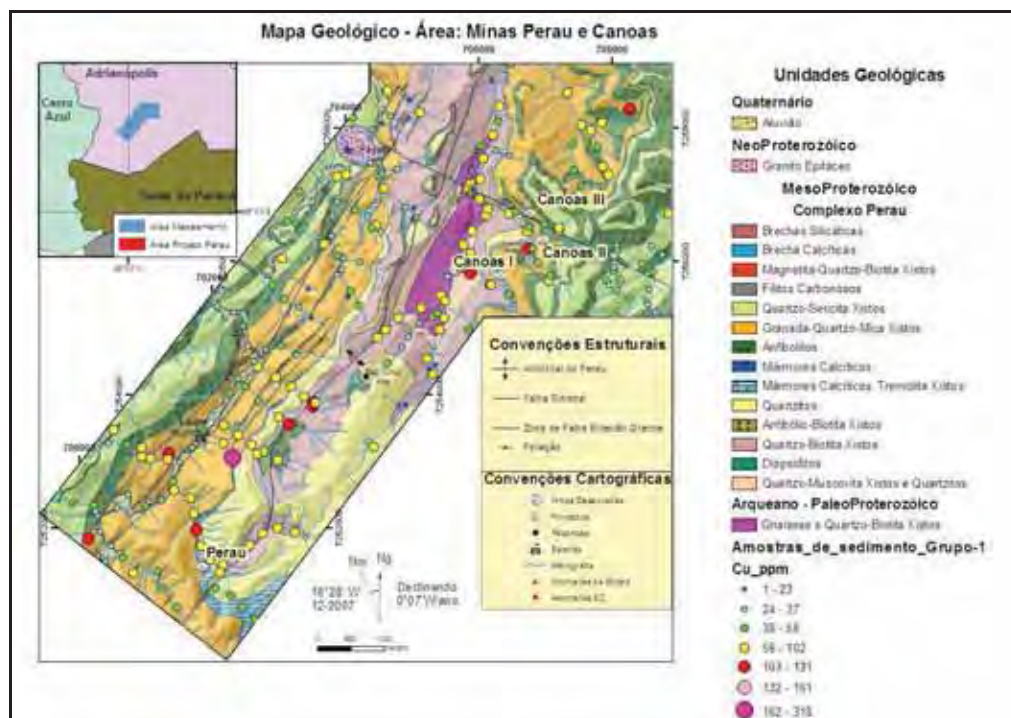


Figura - 23: Mapa geológico da área com teores de sedimento separados por classes de anomalias (Cu ppm)

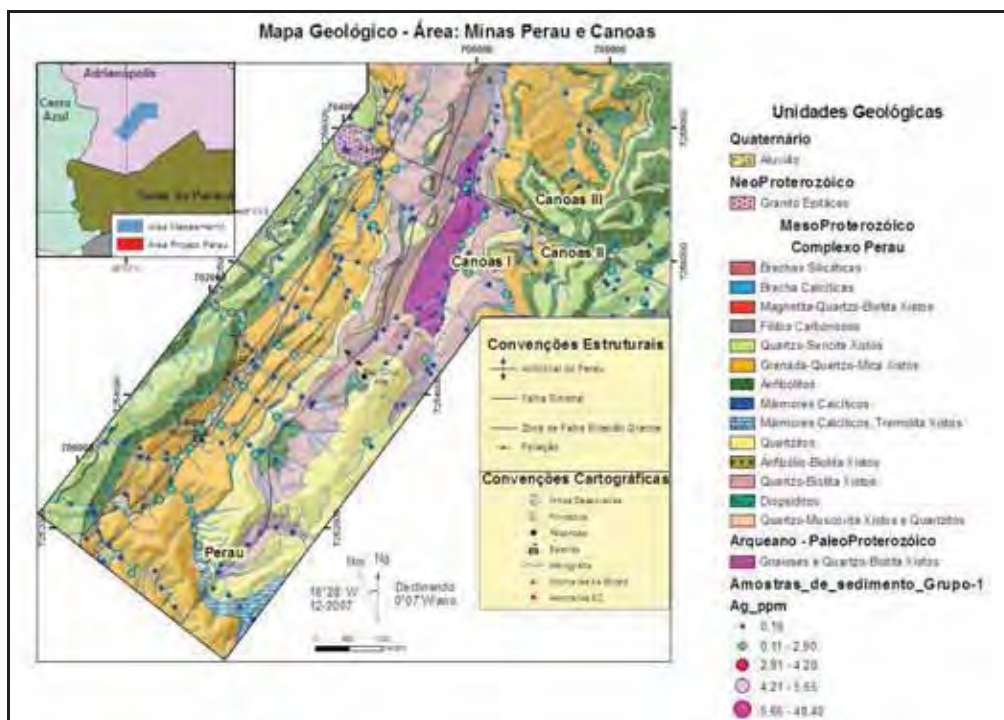


Figura - 24: Mapa geológico da área com teores de sedimento separados por classes de anomalias (Ag ppm)

Como é possível notar nos mapas geoquímicos apresentados, as classificações utilizadas principalmente em relação ao Zn e Pb destacam os depósitos Canoas e Perau além de salientar algumas outras anomalias muito próximas a estes depósitos.

Outro aspecto que também pode ser verificado com base nos mapas é que, mediante a uma simples análise dos elementos de interesse, poucas são as anomalias significativas destacadas fora das áreas já conhecidas, o que reforça a necessidade do uso de ferramentas estatísticas mais específicas para complementar uma análise mais segura acerca do potencial da área para fins prospectivos.

8.3 Assinatura geoquímica secundária das mineralizações conhecidas – áreas Canoas e Mina Perau

Para a determinação das assinaturas geoquímicas secundárias das jazidas Canoas e Perau, foram delimitadas nos entornos das respectivas áreas um conjunto de amostras de sedimento de corrente dentro da área de influência (microbacia) de cada depósito conforme ilustram as figuras 25 e 26.

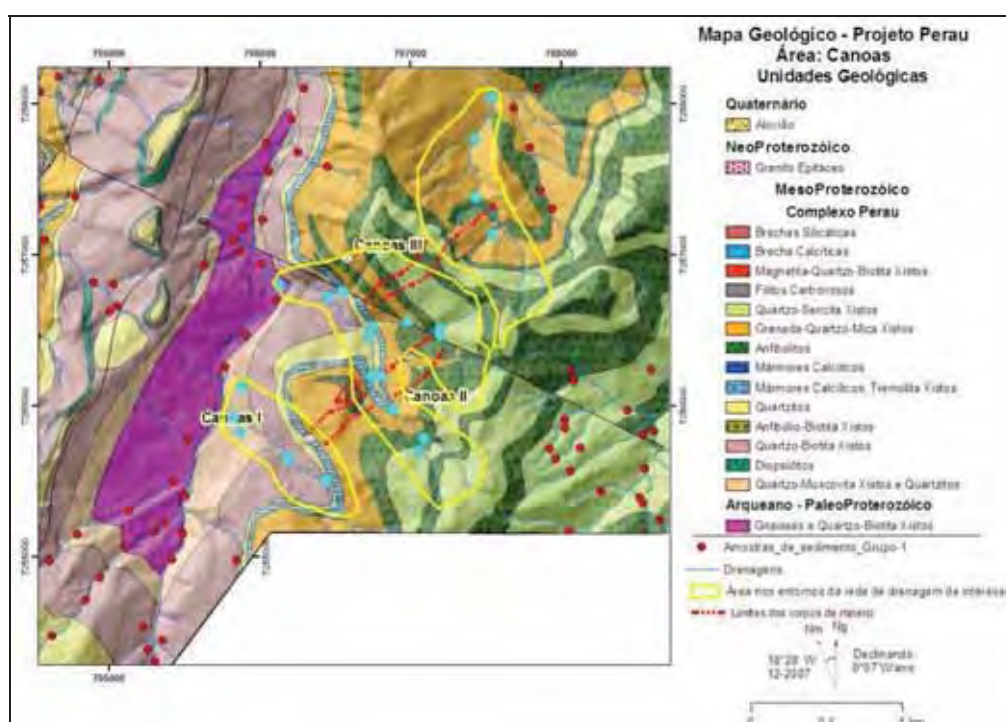


Figura 25: Mapa geológico da região de entorno dos depósitos Canoas I, II e III com área de influência da rede de drenagens e amostras de sedimento de corrente selecionadas (em azul) utilizadas para compor a assinatura geoquímica secundária do depósito.

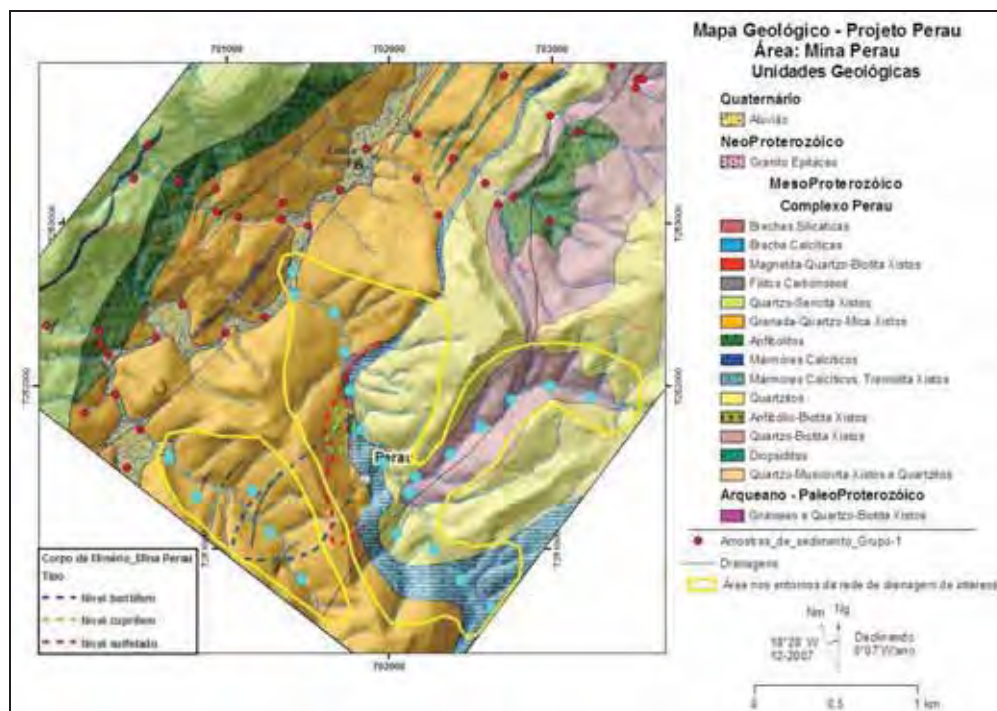


Figura 26: Mapa geológico da região de entorno da Mina Perau com área de influência do depósito e amostras de sedimento de corrente selecionadas (em azul) utilizadas para compor a assinatura geoquímica secundária do depósito.

8.3.1 Assinatura Geoquímica Secundária do Depósito Canoas

Foram agrupadas 23 amostras de sedimento de corrente (figura 25) associadas às microbacias ligadas ao depósito Canoas.

Por se tratar de uma análise de um número reduzido de amostras dentro do banco de dados de sedimento de corrente, alguns elementos precisaram ser excluídos por apresentarem todos os resultados abaixo do limite de detecção conforme ilustra o quadro - 15 abaixo:

Quadro - 15: Relação de elementos excluídos por apresentarem todos os resultados analíticos abaixo do limite de detecção.

Nº	Amostra ID	Elementos excluídos				
		Cd	Th	Tl	U	W
1	PA-PA-SC-007	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00
2	PA-PA-SC-013	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00
3	PA-PA-SC-014	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00
4	PA-PA-SC-017	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00

5	PA-PA-SC-020	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00
6	PA-PA-SC-009	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00
7	PA-PA-SC-012	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00
8	PA-PA-SC-019	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00
9	PA-PA-SC-008	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00
10	PA-PA-SC-010	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00
11	PA-PA-SC-011	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00
12	PA-PA-SC-015	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00
13	PA-PA-SC-006	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00
14	PA-PA-SC-016	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00
15	PA-PA-SC-018	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00
16	PE_PE-MAR-SC-0077	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00
17	PE_PE-MAR-SC-0272	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00
18	PE_PE-MDO-SC-0053	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00
19	PE_PE-MDO-SC-0054	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00
20	PE_PE-MDO-SC-0050	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00
21	PE_PE-MDO-SC-0051	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00
22	PE_PE-VGS-SC-0001	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00
23	PE_PE-VGS-SC-0002	0.25	10.00	5.00	5.00	5.00

Foram então utilizados nas análises estatísticas 30 elementos dentre os quais se encontram; Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, S, Ti, Ag, As, B, Ba, Be, Bi, Co, Cr, Cu, Ga, Hg, La, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sb, Sc, Sr, V e Zn.

8.3.1.1 Análise de Agrupamentos Hierárquicos (AAH)

Utilizando o coeficiente de correlação de Pearson, foi feita uma análise de similaridade entre os elementos cujos resultados encontram-se no dendograma abaixo (gráfico - 1):

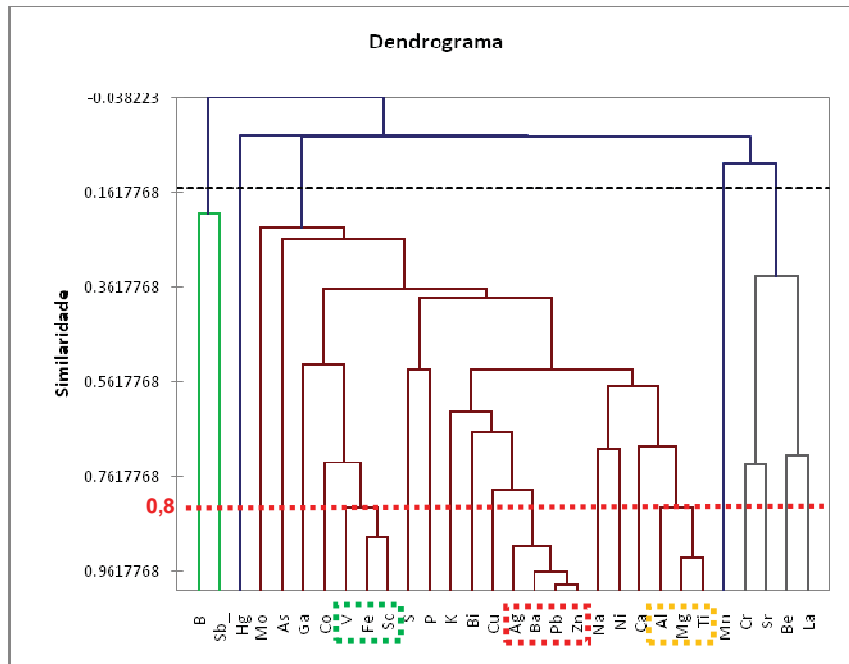


Gráfico - 1: Dendrograma hierárquico de correlação entre os elementos analisados.

Utilizando um índice de similaridade, arbitrário, de **0,8** é possível notar por meio do gráfico uma separação entre 3 agrupamentos principais. O primeiro constituído por Zn, Pb, Ba e Ag, estão diretamente associados à zona mineralizada do depósito. O segundo conjunto constituído por Ti, Mg e Al e o terceiro agrupamento formado por Sc, Fe e V devem estar relacionados as rochas encaixantes da mineralização e de cobertura constituídas por rochas cálcio-silicáticas (diopísídio-tremolita-carbonato xisto) assim como níveis anfibolíticos com background naturalmente mais elevado em Ni e pacotes de muscovita-quartzo-sericita xisto.

Daitx (1996), reconheceu duas associações de elementos nas rochas encaixantes das mineralizações da jazida Canoas decorrente da análise química de 11 amostras de rocha discriminando SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , P_2O_5 além de lítio, rubídio e FeO as rochas da lapa e CaO, MgO, MnO e com menor correlação cobre e cobalto associados a rochas da capa.

8.3.1.2 Análise de Componentes Principais (ACP)

A análise de Componentes Principais aplicada aos diversos elementos considerados mostrou o seguinte resultado, conforme o gráfico - 2.

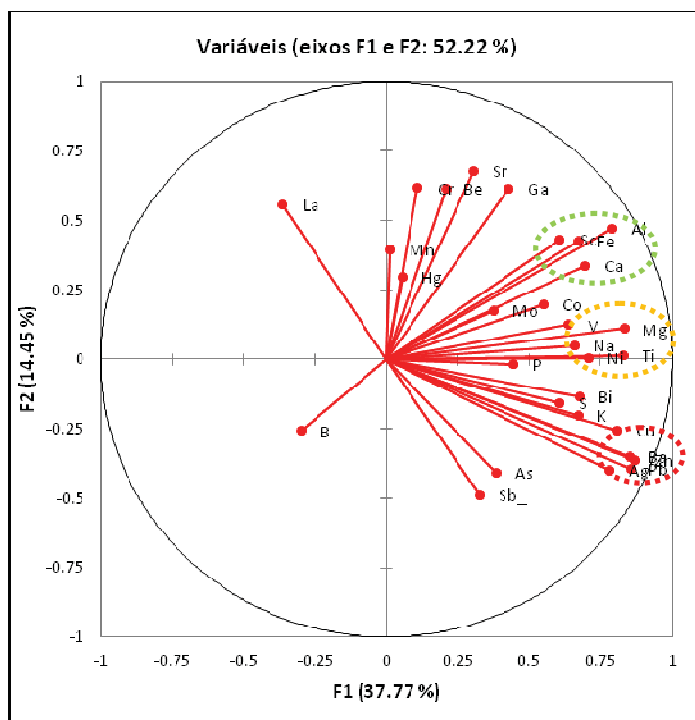


Gráfico - 2: Associação de elementos por meio da análise dos componentes principais.

Para esta análise também foi utilizado o coeficiente de Pearson e a totalidade dos resultados se encontra disponível no apêndice - 04.

O grande volume de variáveis e a forma de apresentação do gráfico dificultam uma visão clara dos conjuntos de associação. No entanto é possível verificar para os elementos diretamente associados à mineralização um conjunto de elementos formados por Pb, Zn, Ba e Ag no canto inferior direito do gráfico, seguidos por mais dois conjuntos de agrupamentos formados por V, Na, Ni, Ti, destacados no gráfico em laranja, e Mg e Al, Sc, Fe e Ca, destacados em verde e localizados no canto direito ligeiramente acima da linha central e superior respectivamente.

Na tentativa de refinar a análise visual feita no gráfico acima, foi efetuada uma nova análise de componentes principais utilizando apenas as 10 variáveis acima citadas, ou seja, Pb, Zn, Ag, Ba e Cu, Al, Mg, Ti, Fe, Sc e V cujos resultados foram plotados em um gráfico denominado “biplot” (gráfico - 3).

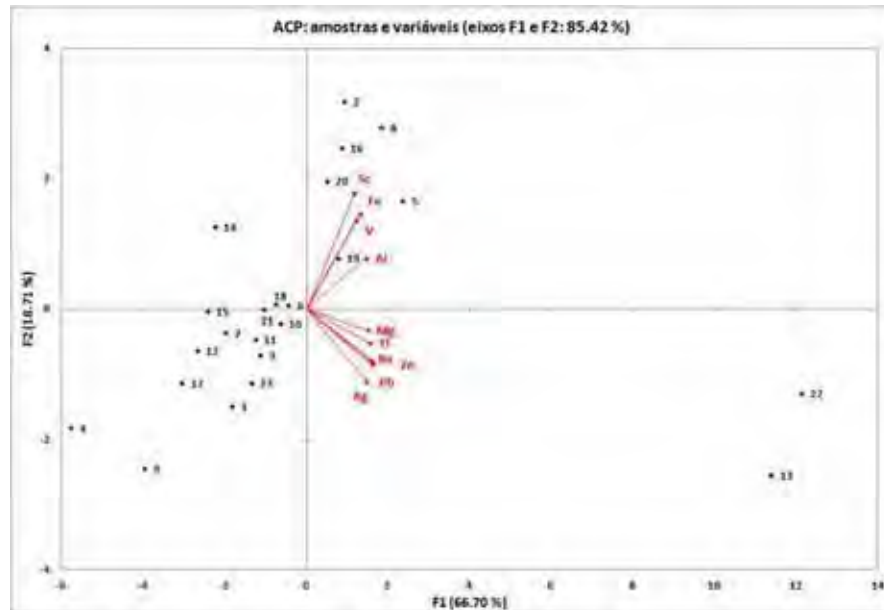


Gráfico - 3: Análise dos componentes principais utilizando apenas os elementos discriminados na primeira análise (ACP).

No “biplot”, constam tanto a disposição espacial das amostras como das variáveis que condicionam tal distribuição (XLStat, v. 2010). A representação gráfica simultânea de amostras e variáveis não pode, porém, ser feita diretamente tomando as respectivas coordenadas resultantes no espaço 2D. Torna-se necessária uma transformação para que o resultado respeite o fato de que a projeção das observações sobre os vetores de variáveis sejam representativas da relação original.

Um dos métodos usados para a representação gráfica é o da “correlação”. Esse tipo de “biplot” interpreta os ângulos entre os vetores de variáveis como sendo diretamente relacionados com as correspondentes correlações. A posição de observações projetadas no vetor-variável representa a sua importância para a constituição desse vetor. A distância entre duas observações é uma aproximação da distância de Mahalanobis existente no espaço multidimensional entre essas mesmas observações e o tamanho do vetor-variável equivale ao desvio padrão dessa variável.

Um outro método é o da “distância”. Interpreta as distâncias entre observações como sendo uma aproximação da distância euclidiana no espaço n-dimensional. A posição de duas observações projetadas em um vetor-variável pode ser usada para determinar o seu nível de

importância em relação a essa variável e o comprimento de um vetor-variável no espaço de representação é indicativo do nível de contribuição da variável para a construção desse espaço.

Um terceiro tipo de representação gráfica é conhecido como “simétrico” e é uma proposta intermediária entre os dois anteriormente apresentados. Este foi o método utilizado neste estudo (Landim, 2011).

No gráfico - 3 acima, estão dispostos como resultado da análise de componentes principais, tanto as amostras como as variáveis consideradas. Esse relacionamento mostra que as amostras situadas nos quadrantes a direita tem maiores teores desses elementos do que aqueles situados nos quadrantes a esquerda. Além disso as amostras 2, 5, 8, 16, 19 e 20 apresentam maiores teores de Sc, V, Fe e Al e as amostras 13 e 22 são as que apresentam os maiores teores em Pb, Zn, Ag, Mg, Ti e Ba (quadro – 16).

Quadro – 16: Resultados analíticos (ppm) para as amostras analisadas pela (ACP).

ID	Amostra	Al	Fe	Mg	Ag	Ba	Pb	Sc	V	Zn	Ti
1	PA-PA-SC-007	16100	27600	7400	0	200	44	7	66	81	1100
2	PA-PA-SC-013	17300	45400	4600	0	190	67	14	142	70	900
3	PA-PA-SC-014	19000	36100	6400	0	220	48	7	60	71	1100
4	PA-PA-SC-017	10700	26200	1900	0	70	10	5	50	37	600
5	PA-PA-SC-020	27600	44800	11300	0	180	17	11	80	74	1200
6	PA-PA-SC-009	17300	35900	6400	0	240	82	9	90	108	1000
7	PA-PA-SC-012	16200	34600	5900	0	160	29	8	68	74	900
8	PA-PA-SC-019	23500	46500	6900	0	130	69	13	113	73	1100
9	PA-PA-SC-008	12300	27300	3800	0	90	25	5	47	57	800
10	PA-PA-SC-010	17200	35200	5800	0	250	89	9	80	126	1000
11	PA-PA-SC-011	15200	35100	5000	0	270	132	8	84	94	900
12	PA-PA-SC-015	17100	32900	5200	0	110	16	7	61	49	900
13	PA-PA-SC-006	25800	42100	12900	1	1020	510	11	121	514	1800
14	PA-PA-SC-016	16700	37700	3300	0	90	11	11	81	57	700
15	PA-PA-SC-018	15900	35700	4600	0	160	21	8	73	54	800
16	PE_PE-MAR-SC-0077	19700	40100	4300	0	250	124	12	156	132	700
17	PE_PE-MAR-SC-0272	13200	25200	5100	0	120	61	8	77	109	800
18	PE_PE-MDO-SC-0053	19400	33500	6900	0	150	12	9	81	50	1200
19	PE_PE-MDO-SC-0054	24200	36800	8200	0	170	14	10	85	54	1300
20	PE_PE-MDO-SC-0050	21100	40400	7000	0	160	16	12	107	57	1000
21	PE_PE-MDO-SC-0051	18400	33100	6300	0	140	13	9	86	48	1000
22	PE_PE-VGS-SC-0001	26500	48500	12000	1	800	556	13	136	585	1600
23	PE_PE-VGS-SC-0002	17700	31300	8100	0	180	60	7	65	102	1000

Vizualizando o mapa geológico da área com a distribuição espacial das amostras analisadas, verifica-se que as amostras destacadas com teores elevados em Pb, Zn, Ag, Mg, Ti e Ba se encontram a jusante da principal drenagem, onde aflora o corpo Canoas 1, contribuindo para teores mais anômalos quando comparado com as demais amostras (figura - 27).

Contudo, chama a atenção o fato das amostras coletadas na drenagem que secciona o corpo Canoas 2 não terem sido destacadas neste refinamento.

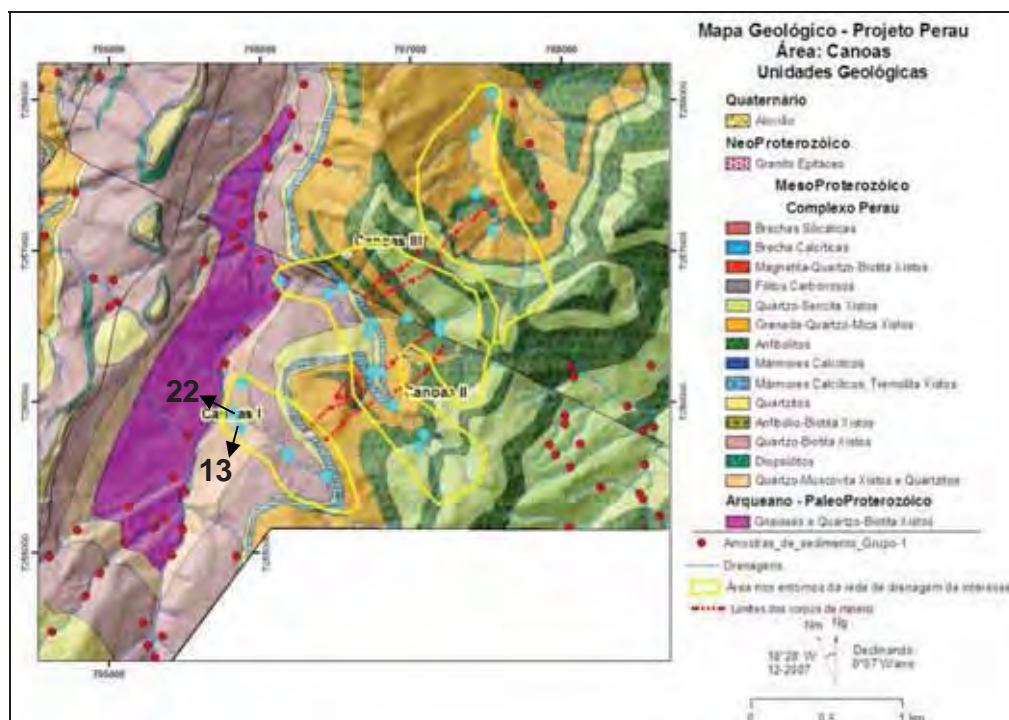


Figura – 27: Mapa geológico da região de entorno dos depósitos Canoas 1, 2 e 3 com área de influência do depósito e amostras de sedimentação de corrente selecionadas (em azul) utilizadas para compor a assinatura geoquímica secundária do depósito e amostras destacadas no refinamento da ACP.

Em uma análise comparativa (quadro - 17) fica fácil notar os grupos de associações comuns encontrados pelos dois métodos utilizados (AAH) e (ACP), no qual se verifica que a assinatura geoquímica secundária do depósito Canoas pode ser definida pelos elementos Pb, Zn, Ag e Ba e possivelmente relacionado às rochas encaixantes, os agrupamentos formados por Ti, Mg e Al e por fim Sc, Fe e V.

Quadro - 17: Agrupamentos e/ou associações formadas pelos diferentes métodos utilizados (Análise de Agrupamentos Hierárquicos e Análise dos componentes principais).

Análise	Associação - 1	Associação - 2	Associação - 3
AAH	Zn, Pb, Ba e Ag	Ti, Mg e Al	Sc, Fe e V
ACP	Pb, Zn, Ag, Ba e Cu	Al, Mg e Ti	Fe, Sc e V

8.3.1.3 Regressão Polinomial

Para as mesmas amostras selecionadas para a determinação da assinatura geoquímica foram elaboradas, por meio da regressão polinomial¹, superfícies de tendência de 1º grau com o objetivo de identificar e diferenciar as zonas anômalas (zonas positivas) do background (zonas negativas) e mapas de resíduos elaborados segundo Landim & Corsi (2001).

Embora esta seja uma análise feita com um grupo limitado de amostras, os resultados serviram também de comparação, numa tentativa posterior de extrapolar os resultados obtidos aqui para todo o conjunto amostral, numa analogia ao sistema de fractais.

O resultado da regressão polinomial de 1º ordem para os principais elementos associados à mineralização (Zn, Pb, Cu, Ag e Ba) demonstram existir uma tendência de crescimento de teor de sudeste para noroeste (figuras - 28, 29 e 30). Tal fato deve levar em consideração a disposição da rede de drenagem que cortam o corpo Canoas 1 com direção NW/SE contribuindo para a orientação do *trend* dos elementos analisados.

¹ Para o cálculo da regressão polinomial, foi utilizado o software SURFER

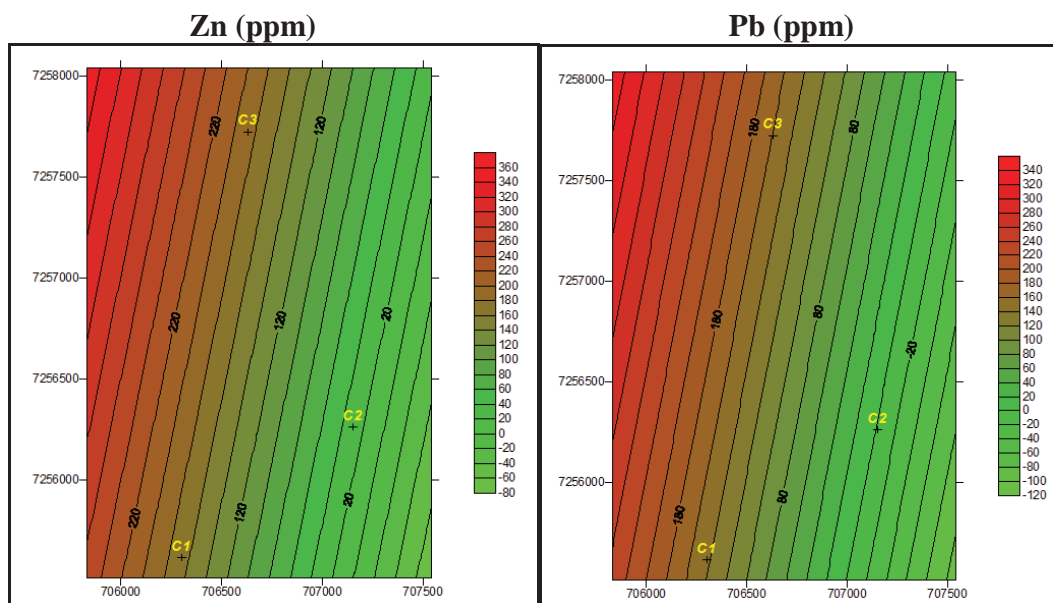


Figura - 28: Mapa de tendência linear para os elementos Zn e Pb (C1, C2 e C3 = Corpo Canoas 1, Canoas 2 e Canoas 3)

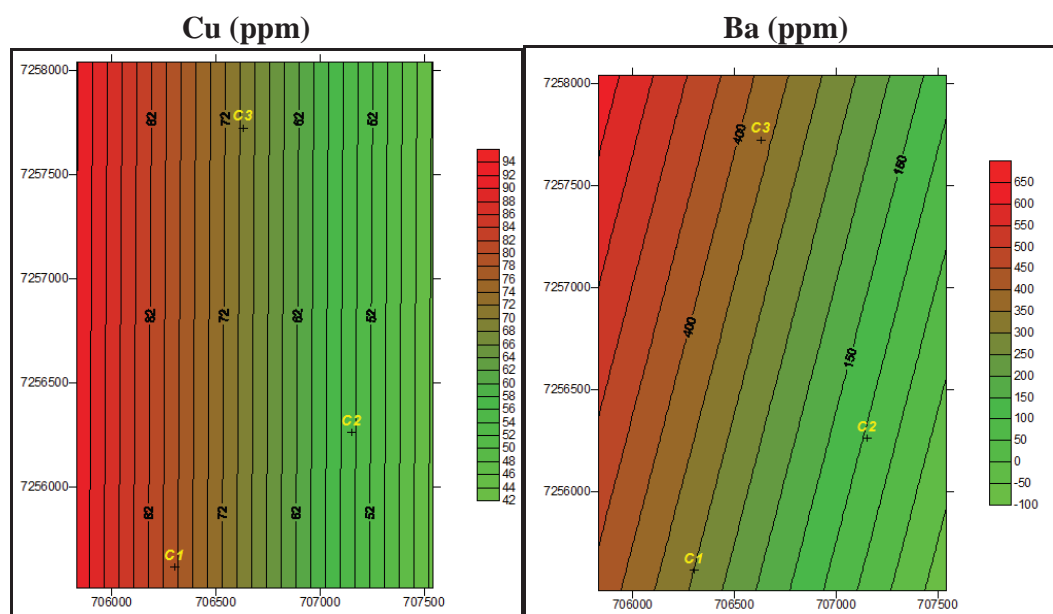


Figura - 29: Mapa de tendência linear para os elementos Cu e Ba (C1, C2 e C3 = Corpo Canoas 1, Canoas 2 e Canoas 3)

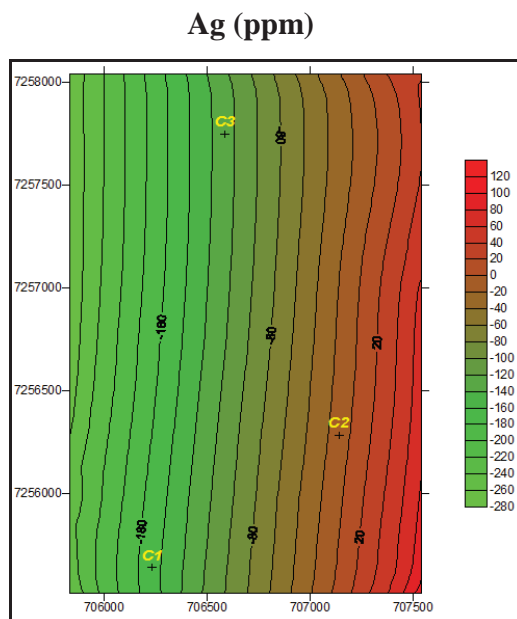


Figura - 30: Mapa de tendência linear para o elemento Ag (C1, C2 e C3 = Corpo Canoas 1, Canoas 2 e Canoas 3)

8.3.1.4 Mapa de resíduos

Entendendo os mapas de tendência linear como o *background* regional, os mapas de resíduos facilitam a diferenciação entre o *background* das anomalias diretamente relacionadas à mineralização (figuras - 31, 32 e 33). Mesmo em se tratando de um número reduzido de amostras ainda é possível notar pequenas variações, principalmente com relação ao elemento Ag ao longo da área mineralizada.

As áreas de maior teor (anômalas) representadas nos mapas por cores quentes (vermelho), indicam uma forte zona anômala em Zn, Pb e Ba na parte inferior esquerda do mapa, possivelmente relacionada a melhor exposição do corpo Canoas 1 nesta região, seguidos de áreas positivamente anômalas para estes elementos, porém em menor intensidade no canto direito seguidos pelos elementos Ag e Cu.

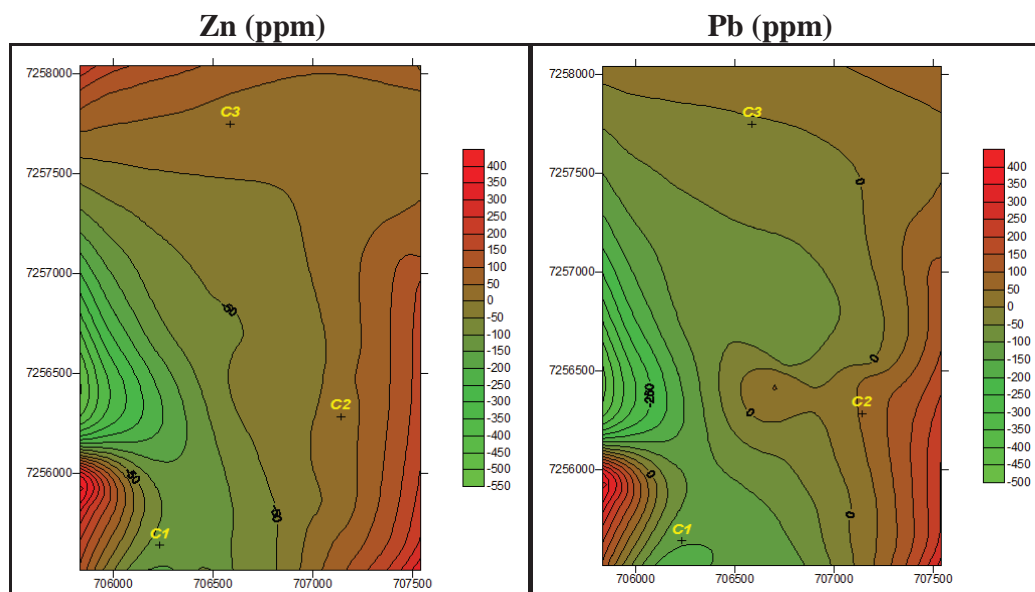


Figura - 31: Mapa de resíduos para os elementos Zn e Pb (C1, C2 e C3 = Corpo Canoas 1, Canoas 2 e Canoas 3)

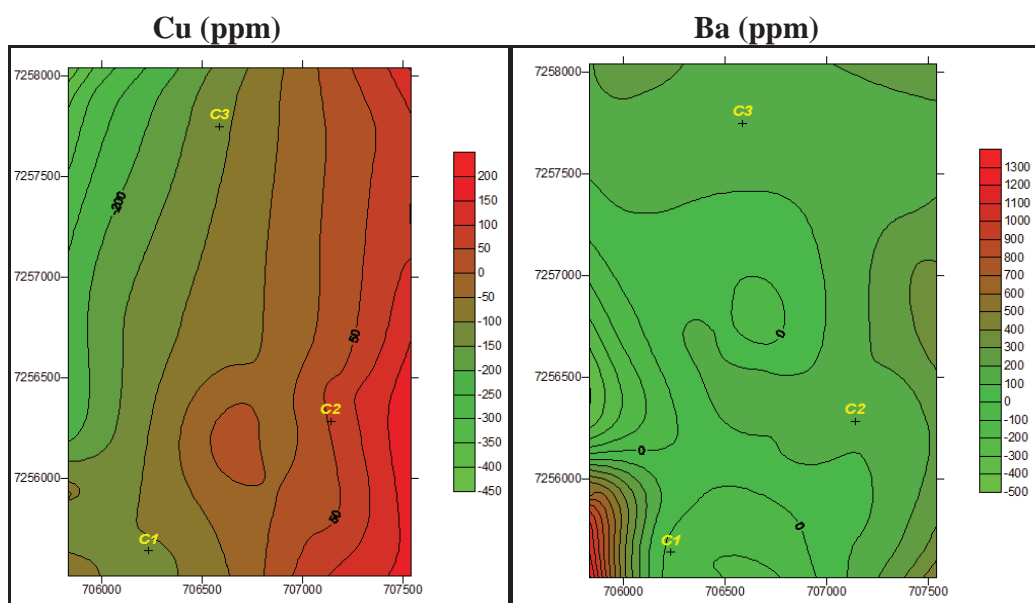


Figura - 32: Mapa de resíduos para os elementos Cu e Ba (C1, C2 e C3 = Corpo Canoas 1, Canoas 2 e Canoas 3)

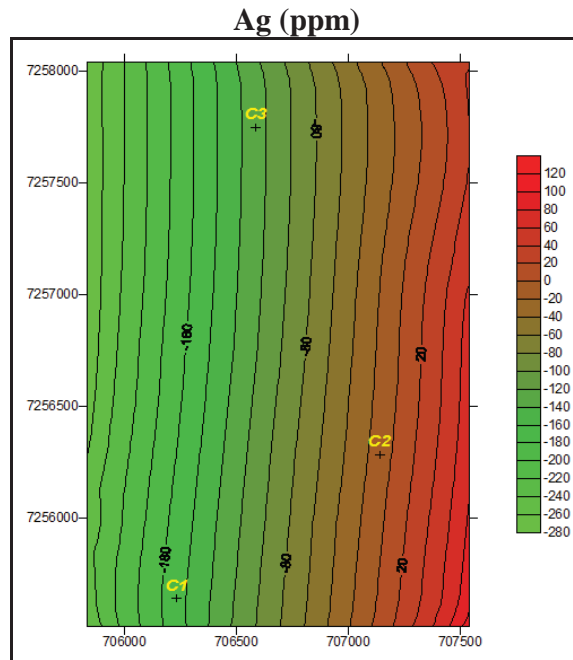


Figura - 33: Mapa de resíduos para o elemento Ag (C1, C2 e C3 = Corpo Canoas 1, Canoas 2 e Canoas 3)

8.3.2 Assinatura Geoquímica Secundária do Depósito Perau

Para a determinação da assinatura geoquímica secundária do depósito Perau, foram utilizadas 23 amostras de sedimento de corrente associadas às microbacias ligadas ao depósito (figura - 26, tópico 8.3).

Para adequação do banco de dados ao software, foi necessária a realização do mesmo procedimento realizado para o grupo de amostras na região do depósito Canoas, ou seja, alguns elementos precisaram ser excluídos por apresentarem todos os resultados abaixo do limite de detecção ou com resultados nulos conforme ilustra o quadro - 18 abaixo:

Quadro - 18: Relação de elementos excluídos por apresentarem todos os resultados analíticos abaixo do limite de detecção ou nulos (zero).

Nº	Amostra ID	Elementos excluídos					
		Au	B	Th	Tl	U	W
1	PE_PE-EDM-SC-0002	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00
2	PE_PE-EDM-SC-0011	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00

3	PE_PE-EDM-SC-0008	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00
4	PE_PE-EDM-SC-0009	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00
5	PE_PE-EDM-SC-0016	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00
6	PE_PE-EDM-SC-0017	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00
7	PE_PE-EDM-SC-0018	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00
8	PE_PE-EDM-SC-0020	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00
9	PE_PE-EDM-SC-0021	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00
10	PE_PE-EDM-SC-0001	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00
11	PE_PE-EDM-SC-0007	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00
12	PE_PE-EDM-SC-0010	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00
13	PE_PE-EDM-SC-0003	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00
14	PE_PE-EDM-SC-0004	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00
15	PE_PE-EDM-SC-0019	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00
16	PE_PE-EDM-SC-0005	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00
17	PE_PE-EDM-SC-0006	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00
18	PE_PE-MAR-SC-0185	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00
19	PE_PE-MAR-SC-0187	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00
20	PE_PE-MAR-SC-0186	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00
21	PE_PE-MAR-SC-0184	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00
22	PE_PE-TWC-SC-0048	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00
23	PE_PE-TWC-SC-0037	0.00	5.00	10.00	5.00	5.00	5.00

Para as análises estatísticas foram utilizados um total de 30 elementos químicos diferentes dentre os quais se encontram; Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, S, Ti, Ag, As, B, Ba, Be, Bi, Co, Cr, Cu, Ga, Hg, La, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sb, Sc, Sr, V e Zn.

8.3.2.1 Análise de Agrupamentos Hierárquicos (AAH) para o Depósito Perau

Utilizando o coeficiente de correlação de Pearson, foi feita também uma análise de similaridade entre os elementos, cujos resultados estão sintetizados no dendrograma abaixo (gráfico - 4):

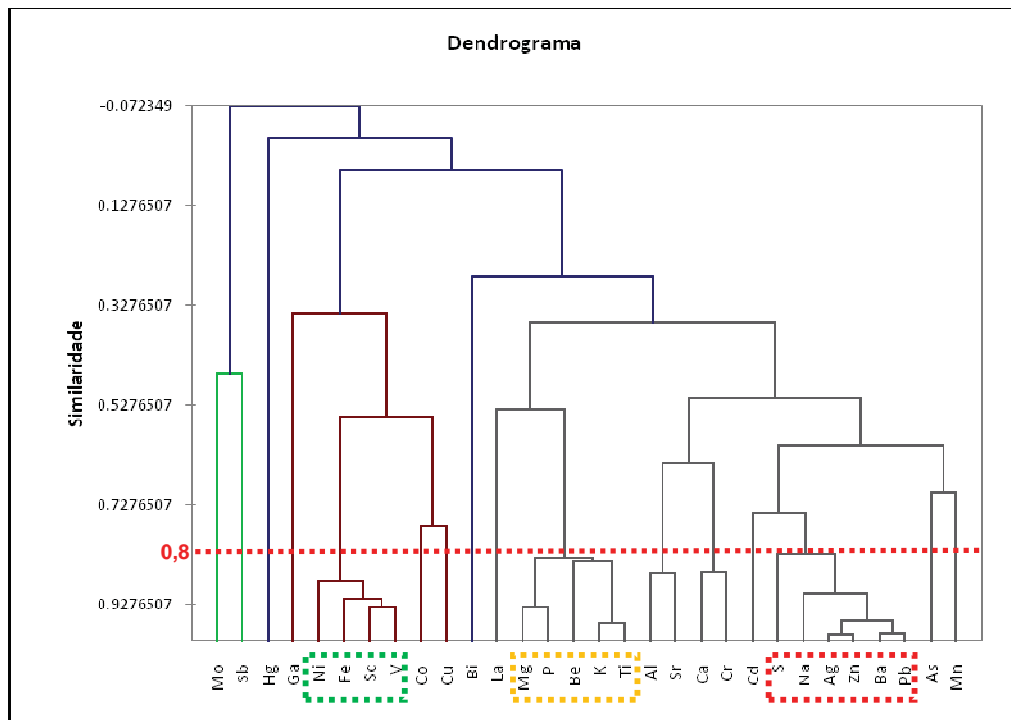


Gráfico - 4: Dendrograma hierárquico de correlação entre os elementos analisados.

Com base no mesmo índice de similaridade $\geq 0,8$, foi possível delimitar 3 agrupamentos. O primeiro relacionado diretamente à mineralização constituído por Pb e Ba, Zn, Ag, Na e S, e dois outros provavelmente relacionados às rochas encaixantes do depósito constituídos por Ti, K, Be, P e Mg e por fim V, Sc, Fe e Ni.

No quadro - 19 abaixo verifica-se numa análise comparativa entre as assinaturas do depósito Perau e Canoas, a presença do Ba diretamente associado ao Pb, e o Na associado aos elementos Ag, Zn, Ba e Pb além do S.

Quadro - 19: Quadro com as assinaturas geoquímicas secundárias dos depósitos Canoas e Perau.

Assinatura geoquímica			
Depósito	Secundária (SC)	Elementos indicadores em comum	Elementos indicadores incomum
Canoas	Zn,Pb>Ba>Ag>Cu	Pb, Zn, Ba, Ag	Na e S
Perau	Pb,Ba>Ag,Zn>Na>S		

A presença do Ba diretamente associado com o Pb pode ser explicada pelo espesso corpo baritífero no depósito Perau com até 6 metros de espessura associado com galena e esfalerita cuja drenagem amostrada faz parte do sistema de drenagem onde este corpo está melhor exposto.

Já a associação com o enxofre (S) pode ser atribuída às lentes piritosas maciças na base do depósito, entretanto, para a associação S – Na (enxofre-sódio) não foi encontrada uma explicação plausível. Uma hipótese a ser considerada é a influência da rocha encaixante. Daitx (1996) faz menção a um enriquecimento em cobre, ferro e enxofre nas rochas da lapa ocasionada pela presença de pirita, pirrotita e calcopirita e argumenta que o sódio pode estar relacionado a um enriquecimento ocasionado a partir de fluidos hidrotermais de baixa temperatura ou também por possível reação do fluido com a água salina do mar.

Com relação às rochas diretamente associadas à mineralização e as rochas encaixantes, citam-se as rochas de composição cálcio-silicáticas e micáceo-carbonáticas, com intercalação de metacherts como diretamente associadas à mineralização e rochas de composição pelito-aluminosa/anfibolítica (quartzo-mica xistos e grafita mica-xistos, e níveis anfibolíticos) como as rochas encaixantes da mineralização.

8.3.2.2 Análise de componentes principais (ACP) para o Depósito Perau

Para análise dos componentes principais também foi utilizado coeficiente de Pearson e a matriz de dados obtida se encontra disponível na íntegra no apêndice - 05.

Foram, num primeiro momento, individualizados 4 conjuntos ou grupo de associações (gráfico - 5) dentre os quais apenas o conjunto ou agrupamentos de elementos associados diretamente com a mineralização foram compatíveis com a Análise de Agrupamento apresentada no tópico anterior.

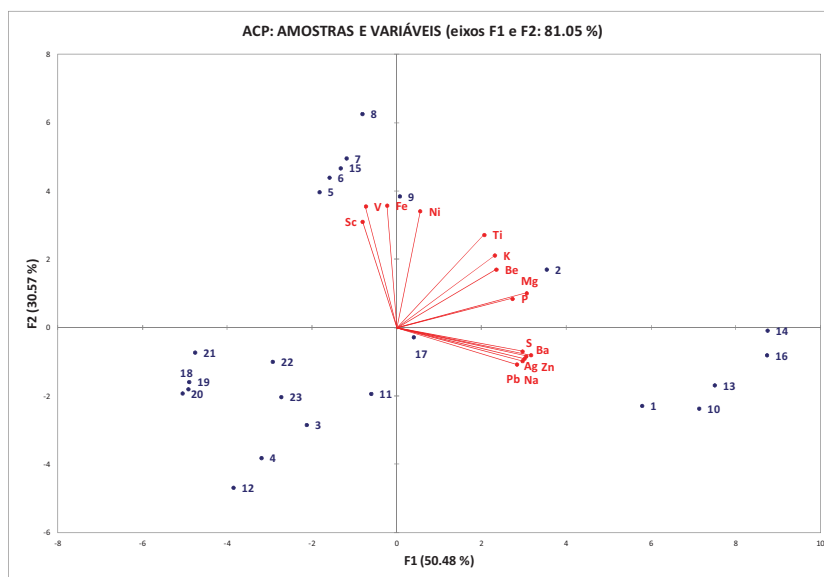


Gráfico - 6: Análise dos componentes principais utilizando apenas os elementos discriminados na primeira análise (ACP).

No gráfico - 6 acima, se verifica que as amostras situadas nos quadrantes a direita tem maiores teores dos elementos citados anteriormente do que aqueles situados nos quadrantes a esquerda. Destaca-se neste contexto, as amostras 1, 10, 13, 16 e 14 por apresentarem os maiores teores de Ag, Pb e Zn (Quadro - 20).

Quadro - 20: Resultados analíticos (ppm) para as amostras analisadas pela (ACP).

ID	Amostra	Ag	Fe	K	Mg	Na	S	Ti	Ba	Be	Ni	P	Pb	Sc	V	Zn
1	PE_PE-EDM-SC-0002	5000	30300	5300	9600	200	600	1300	960	1	28	590	630	6	66	225
2	PE_PE-EDM-SC-0011	1000	32400	8600	11800	100	400	1700	210	1	32	890	11	6	72	62
3	PE_PE-EDM-SC-0008	1000	26600	3900	7400	50	50	1000	120	1	21	460	11	5	62	39
4	PE_PE-EDM-SC-0009	1000	25600	3000	6000	50	50	800	100	1	19	350	11	5	58	35
5	PE_PE-EDM-SC-0016	1000	40400	5800	7600	50	50	1500	110	1	36	450	8	11	140	45
6	PE_PE-EDM-SC-0017	1000	41600	5800	7800	50	50	1500	110	1	37	450	9	11	143	46
7	PE_PE-EDM-SC-0018	1000	42800	5500	7600	50	100	1500	120	1	40	520	9	11	147	48
8	PE_PE-EDM-SC-0020	1000	44800	6300	8500	50	100	1600	120	1	44	500	9	12	155	49
9	PE_PE-EDM-SC-0021	1000	40700	4900	7800	100	400	1400	120	1	39	530	9	10	129	45
10	PE_PE-EDM-SC-0001	7000	29300	5200	9800	200	800	1300	950	1	29	620	654	7	68	292
11	PE_PE-EDM-SC-0007	1000	29400	4200	7600	100	300	1000	150	1	23	620	18	6	67	42
12	PE_PE-EDM-SC-0010	1000	23500	2400	5500	50	50	700	80	1	17	320	10	5	56	31
13	PE_PE-EDM-SC-0003	7000	31700	5500	10000	200	700	1300	1030	1	30	650	835	7	74	260
14	PE_PE-EDM-SC-0004	6000	33700	6100	11600	300	700	1500	1130	1	36	650	677	8	81	272
15	PE_PE-EDM-SC-0019	1000	42300	5500	7800	50	50	1500	120	1	39	480	8	11	139	47

16	PE_PE-EDM-SC-0005	6000	34700	5700	10100	300	700	1300	1250	1	33	710	1060	8	80	227
17	PE_PE-EDM-SC-0006	1000	32800	4900	8500	100	400	1200	170	1	27	730	21	7	77	43
18	PE_PE-MAR-SC-0185	1000	32000	1200	4600	100	50	600	60	0	32	240	12	9	88	48
19	PE_PE-MAR-SC-0187	1000	33400	1200	4700	100	50	700	70	0	30	230	12	9	93	43
20	PE_PE-MAR-SC-0186	1000	32000	1100	4400	100	50	600	60	0	30	240	9	9	92	45
21	PE_PE-MAR-SC-0184	2000	36400	1300	4700	100	50	600	60	0	33	240	12	10	104	52
22	PE_PE-TWC-SC-0048	1000	35300	1300	5900	100	600	600	80	1	30	320	7	10	93	55
23	PE_PE-TWC-SC-0037	1000	35700	2700	5400	100	100	800	160	1	23	350	32	7	58	50

Vizualizando o mapa geológico da área com a distribuição espacial das amostras analisadas, verifica-se que as amostras acima destacadas com teores elevados em Ag, Pb e Zn se encontram logo a jusante da principal drenagem, onde aflora o depósito Perau, resultando como consequência em teores mais anômalos quando comparado com as demais amostras (figura - 34).

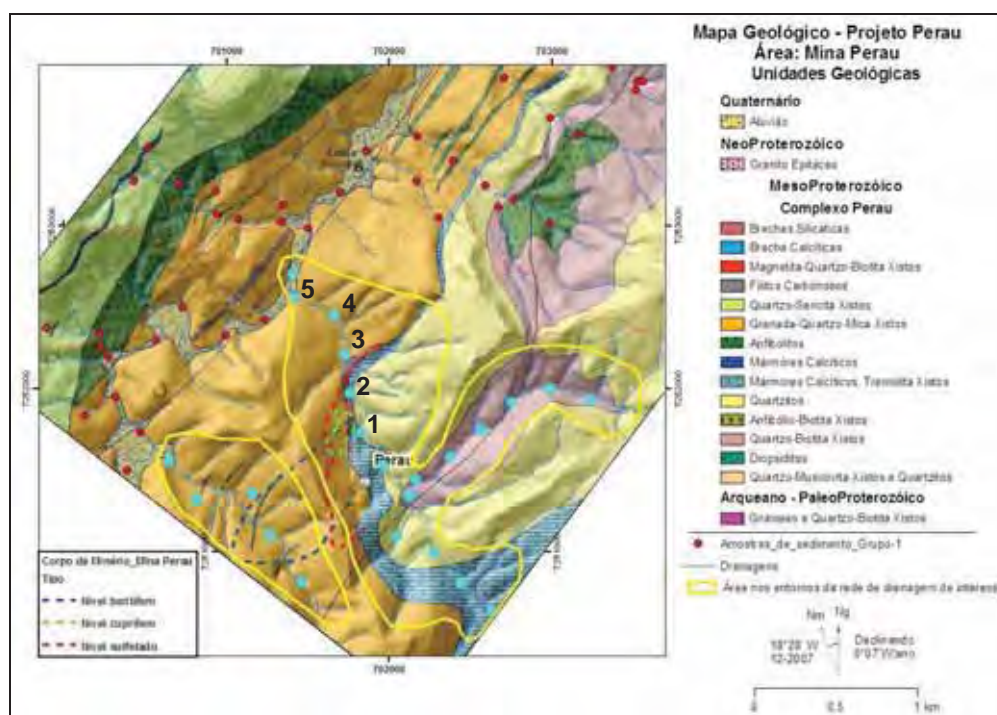


Figura – 34: Mapa geológico da região de entorno da Mina Perau com área de influência do depósito e amostras de sedimento de corrente selecionadas (em azul) utilizadas para compor a assinatura geoquímica secundária do depósito e amostras destacadas no refinamento da ACP.

Os resultados deste refinamento levando-se em conta um índice de correlação $\geq 0,8$ foram a definição de agrupamentos melhor embasados nos quais:

- Assinatura geoquímica secundária da mineralização é formada pelos agrupamentos Zn, Pb, Ba, Na, Ag, Na e Cd.
- As demais associações citadas anteriormente tiveram a exclusão de alguns elementos abaixo do índice de correlação estipulado e novos agrupamentos foram formados, entre eles (Mg, P e K) e (Be, Mg, Ti e P) que por sua vez não apresentaram índices de correlação vinculados a nenhum elemento associado a assinatura geoquímica do minério Perau, portanto, foram tomados como associações de elementos relacionados com as rochas encaixantes do depósito já citadas anteriormente (rochas pelito-aluminosa/anfibolítica (quartzo-mica xistos e grafita mica-xistos, e níveis anfibolíticos)).

8.3.2.3 Regressão Polinomial

Para os principais elementos atribuídos à assinatura geoquímica secundária do depósito Perau (Pb e Ba, Zn, Ag, Na e S) foram elaborados mapas de superfícies de tendência (figuras 35, 36, 37 e 38) por meio da regressão polinomial de 1ª. ordem cuja análise sugere uma tendência geral de incremento de teor (*background*) de sudeste para noroeste da área para todos os elementos analisados.

Pelo universo de amostras ter sido muito restrito, esta orientação pode ser atribuída a direção similar da drenagem dos pontos amostrados.

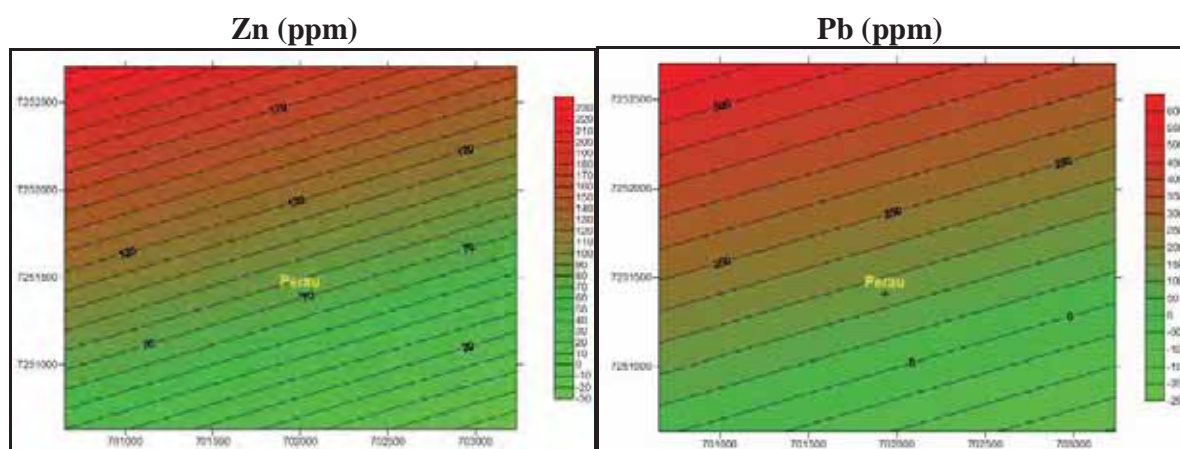


Figura - 35: Mapa de tendência linear para os elementos Zn e Pb (+Perau => Depósito Perau)

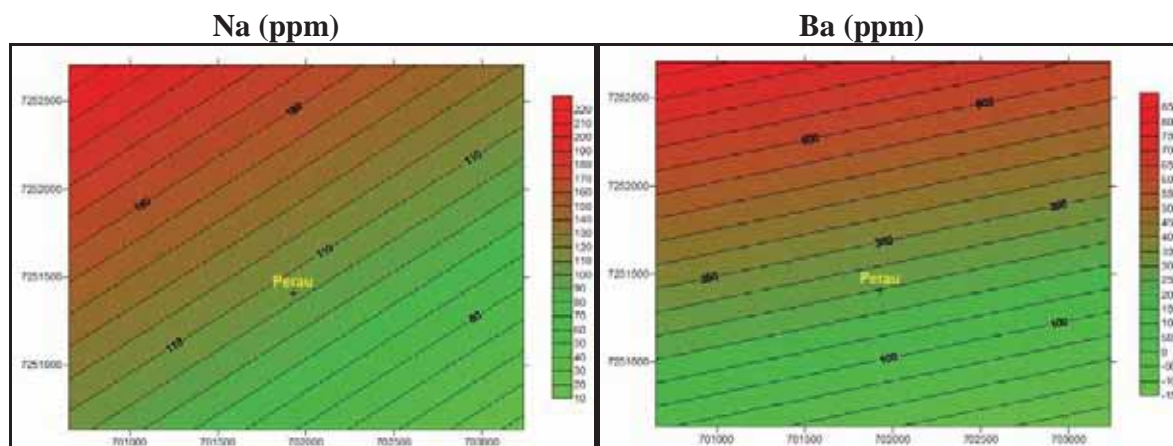


Figura - 36: Mapa de tendência linear para os elementos Na e Ba (+Perau => Depósito Perau)

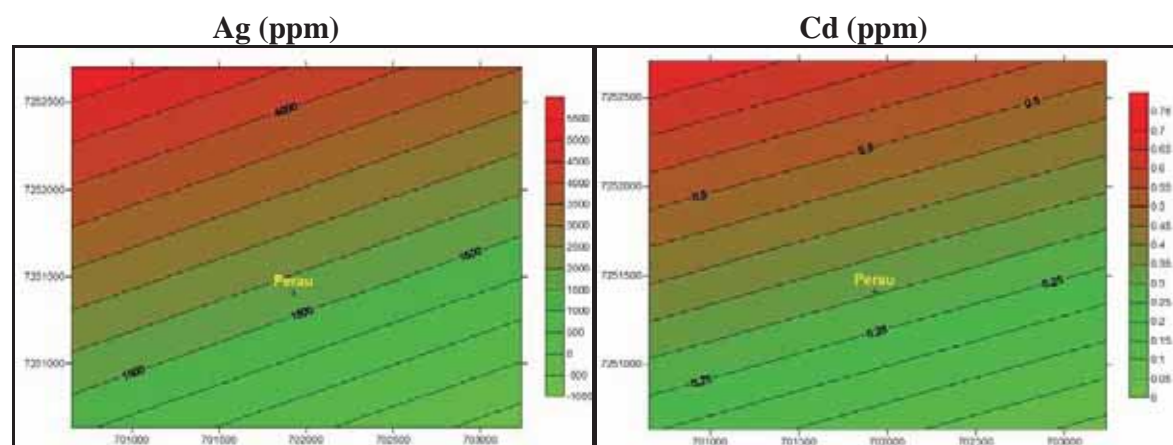


Figura - 37: Mapa de tendência linear para os elementos Ag e Cd (+ Perau => Depósito Perau)

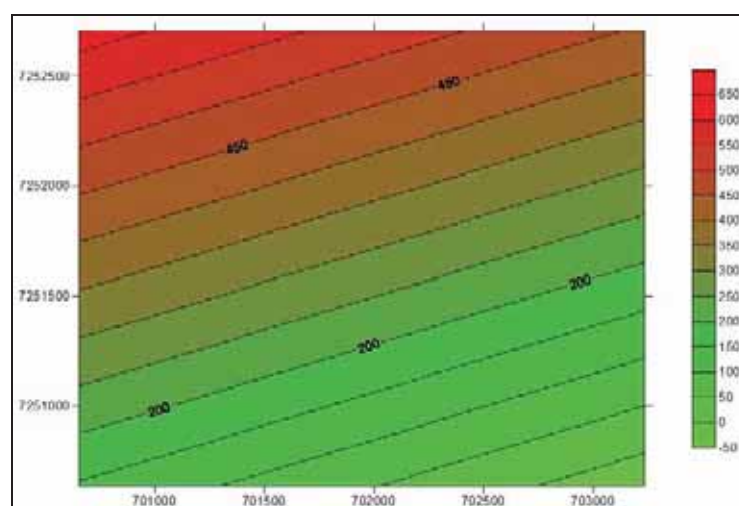


Figura - 38: Mapa de tendência linear para os elementos S (+Perau => Depósito Perau)

8.3.2.4 Mapa de resíduos

Uma vez gerados os mapas de superfícies de tendência, foram também elaborados mapas de resíduos para os mesmos elementos (figuras - 39, 40, 41 e 42).

Os mapas de resíduos mostram zonas bem destacadas ou anômalas (cores em vermelho) em relação ao background (cores verdes) para os elementos Zn, Pb, Na e Ba localizadas no extremo noroeste da área muito embora as principais áreas de exposição do corpo se encontrem a sudeste destas anomalias.

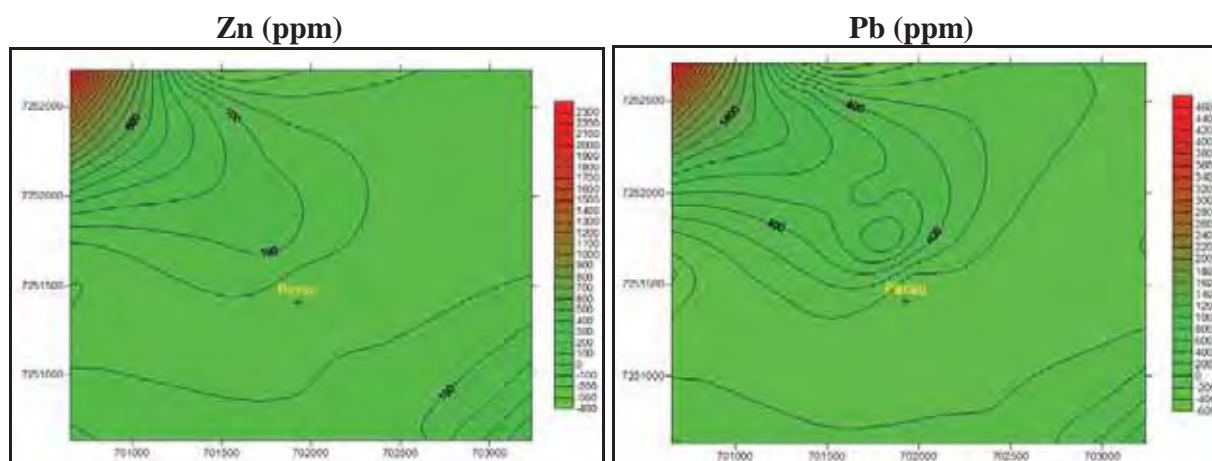


Figura - 39: Mapa de resíduos para os elementos Zn e Pb (+Perau => Depósito Perau).

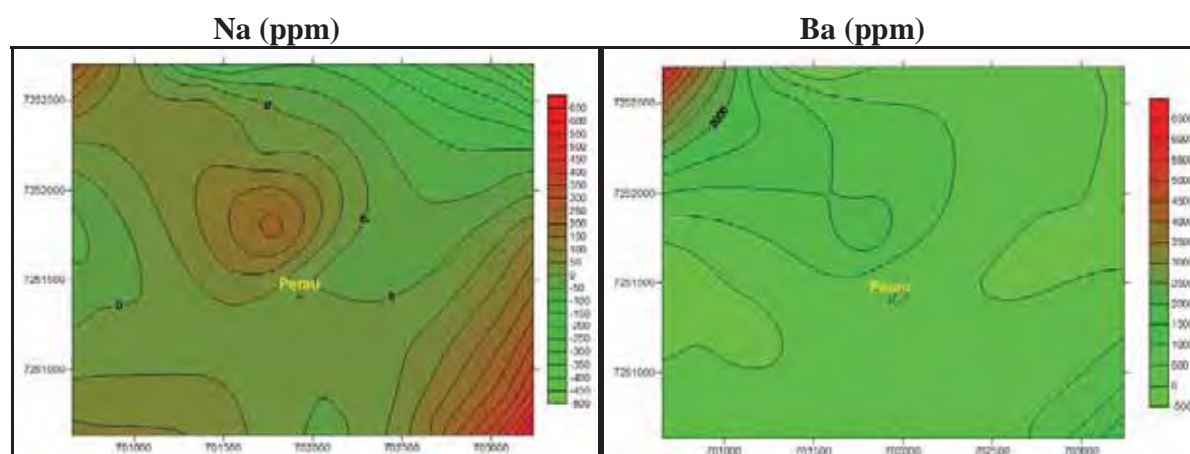


Figura - 40: Mapa de resíduos para os elementos Na e Ba (+Perau => Depósito Perau).

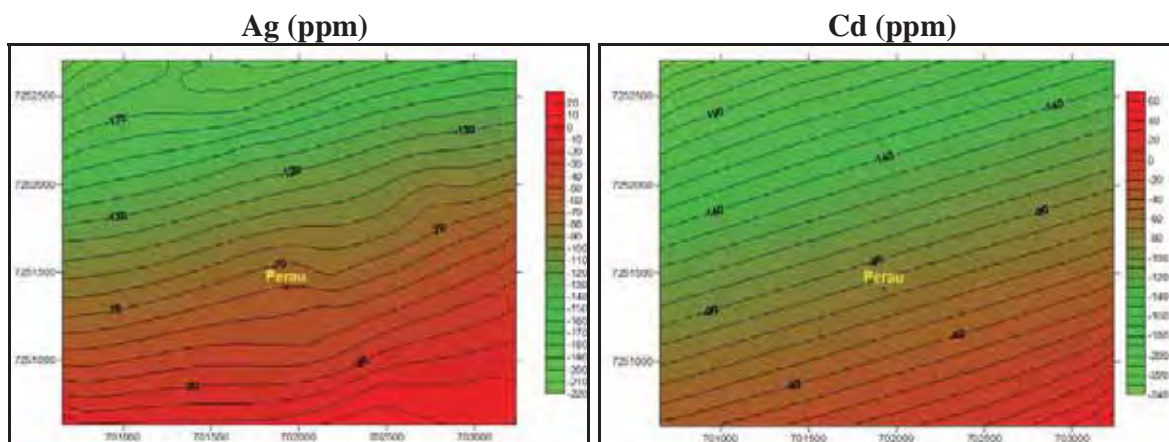


Figura - 41: Mapa de resíduos para os elementos Ag e Cd (+Perau => Depósito Perau).

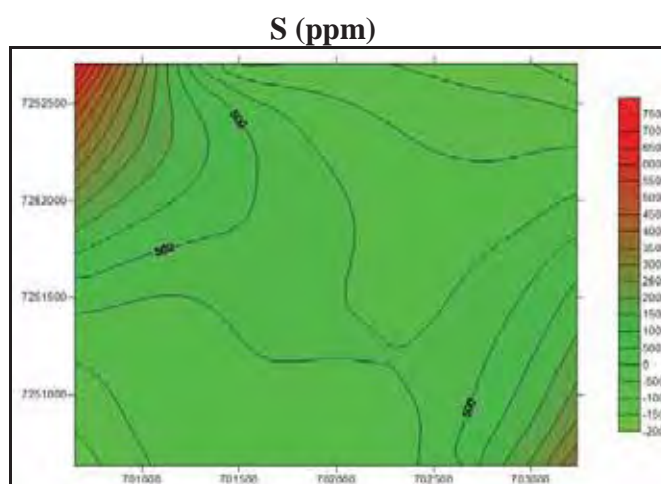


Figura - 42: Mapa de resíduos para o elemento S (+Perau => Depósito Perau).

8.4 Assinatura Geoquímica da Mineralização Primária

A definição da assinatura da mineralização primária é importante para posterior comparação com as assinaturas obtidas por meio de sedimento de corrente.

Assim, foi selecionado para esta análise o furo PED039 por ter sido analisado metro a metro integralmente do início ao fim e por deter ainda a melhor interseção mineralizada sobre o corpo Canoas 3 (figura - 43 e 44).

O furo apresenta 201,2 metros de comprimento tendo interceptado 1,6 m de mineralização a teores médios de 2,541 % Zn, 1,37 %Pb e 39 ppm Ag.

No total foram coletadas 195 amostras de testemunho feitas metro a metro com intervalos de 0,5 cm na zona mineralizada.

Todas estas amostras foram utilizadas para o cálculo da assinatura geoquímica

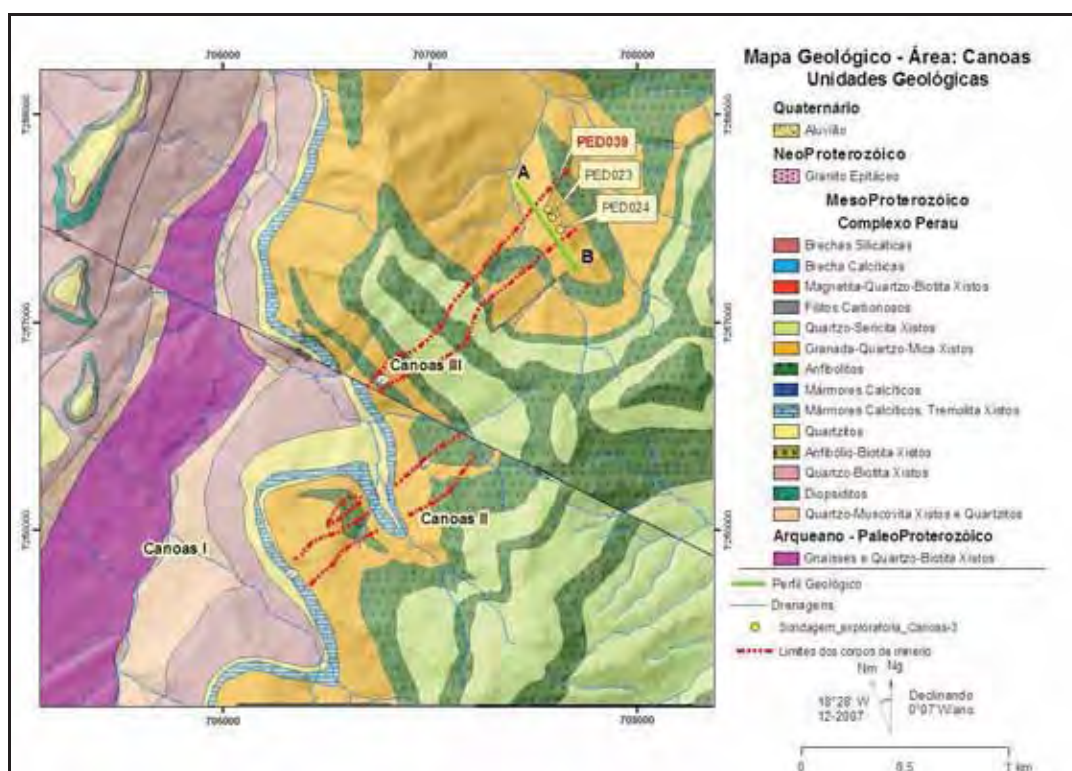


Figura - 43: Mapa geológico da área Canoas com destaque em vermelho para linhas de contorno de corpo mineralizado, e furo utilizado para a definição da assinatura geoquímica.

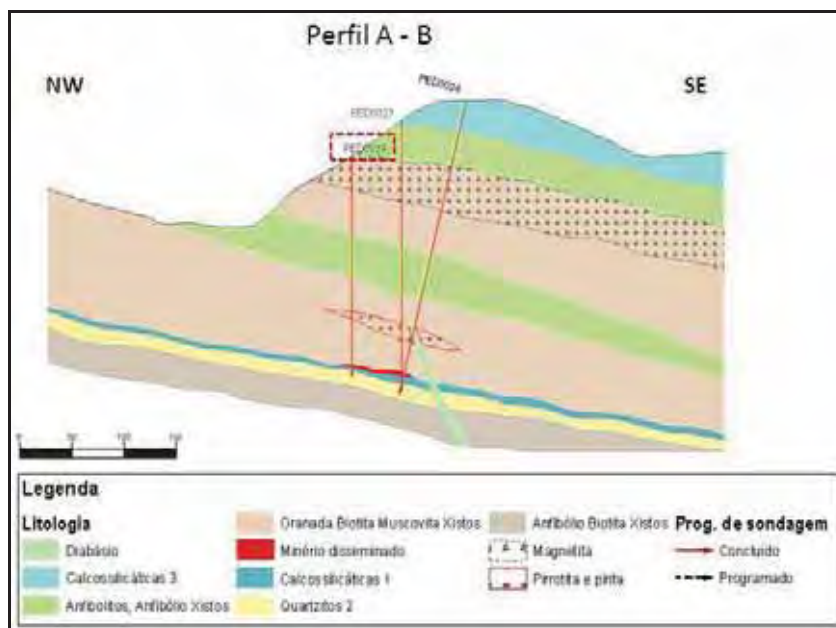


Figura - 44: Perfil geológico esquemático perpendicular ao prolongamento do corpo Canoas-3, e furo utilizado para definição da assinatura geoquímica (PED0039).

A fim de entender e comparar o comportamento e distribuição destes metais ao longo do furo foram elaborados gráficos de teor x profundidade em escala logarítmica na base 10 para os principais metais de interesse (gráficos 7, 8 e 9).

Os gráficos mostram um comportamento muito parecido para os metais Zn, Pb e Ag com destaque para o final do furo onde é possível visualizar uma quebra positiva acentuada representando o horizonte mineralizado.

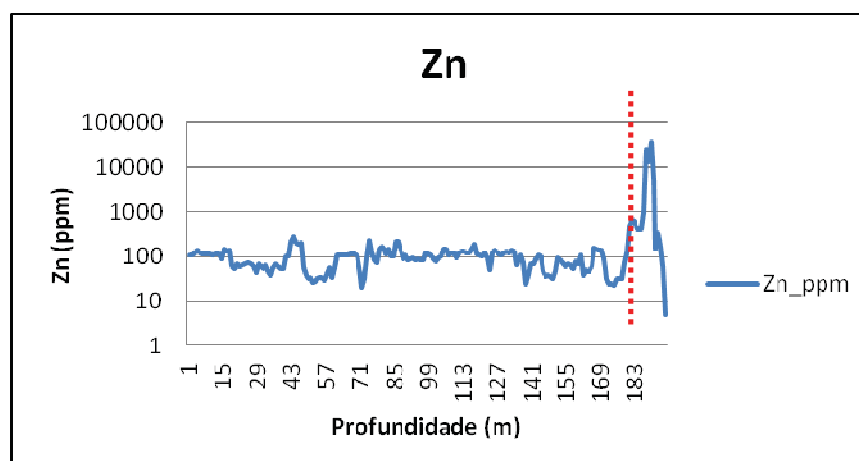


Gráfico - 7: Gráfico em escala logarítmica base 10, (furo PED0039) com destaque para quebra positiva em vermelho ilustrando o horizonte mineralizado.

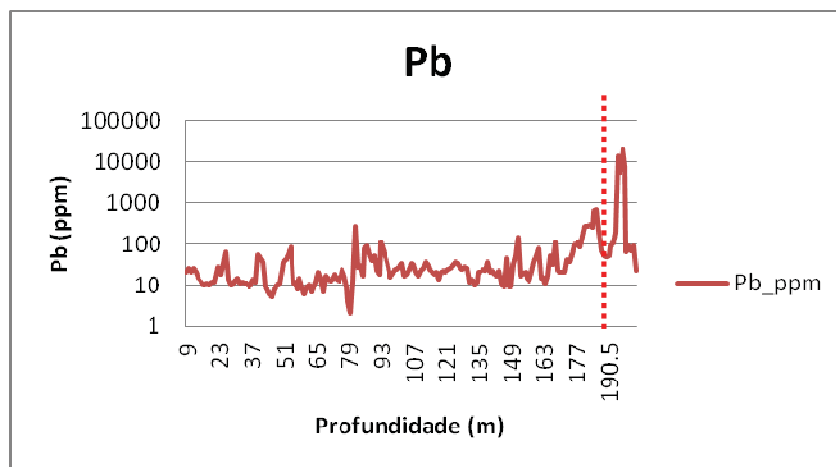


Gráfico - 8: Gráfico em escala logarítmica base 10, (furo PED0039) com destaque para quebra positiva em vermelho ilustrando o horizonte mineralizado.

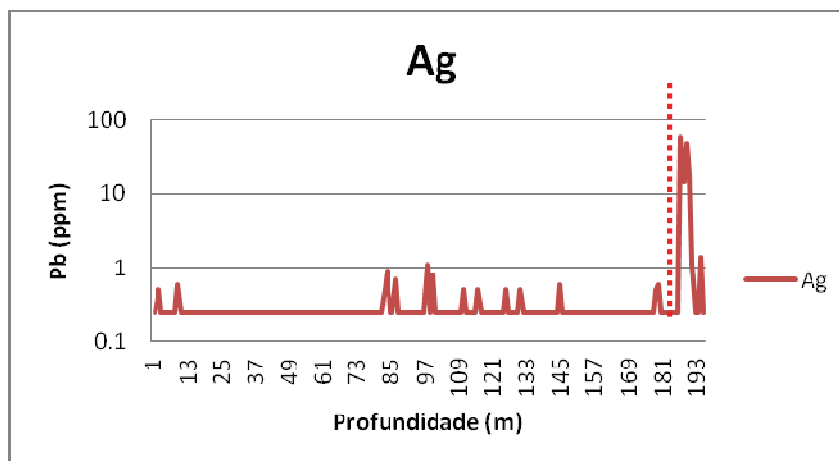


Gráfico - 9: Gráfico em escala logarítmica base 10, (furo PED0039) com destaque para quebra positiva em vermelho ilustrando o horizonte mineralizado.

8.4.1 Análise de Agrupamentos (AG)

Para a Análise de Agrupamento foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson, cuja análise de similaridade entre os elementos encontram-se no dendograma abaixo (gráfico - 10):

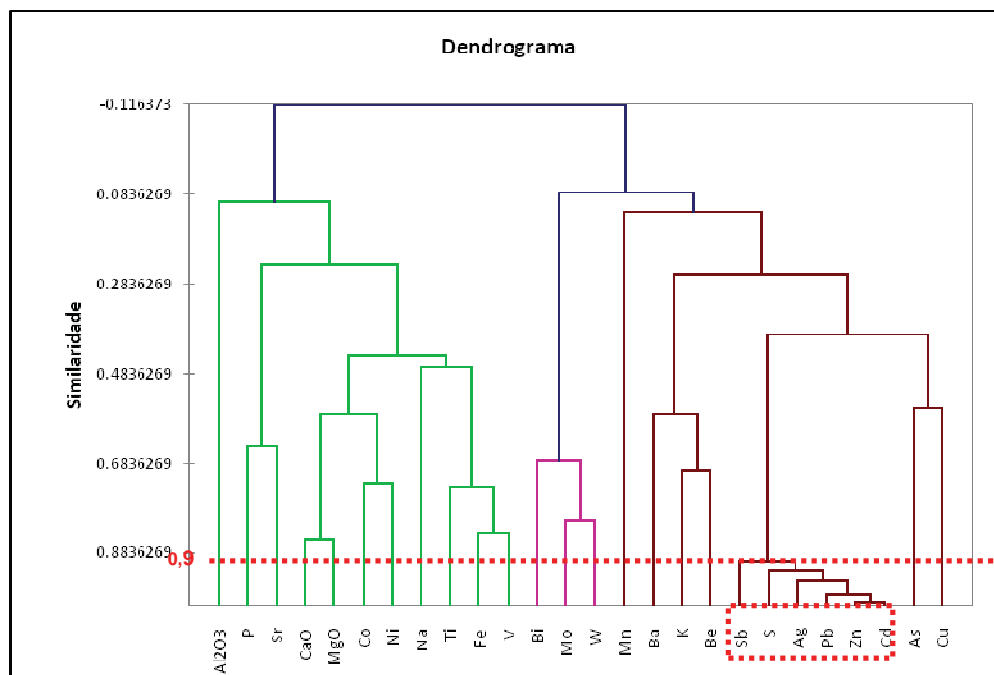


Gráfico 10: Dendrograma hierárquico de correlação entre os elementos analisados.

Por se tratar da assinatura geoquímica da mineralização primária, foi utilizado um índice de $\geq 0,9$ que corresponde a quase 100% de correlação. Com isso, foi possível delimitar com muita segurança um único agrupamento de elementos associado à mineralização do depósito Canoas (Cd > Zn > Pb > Ag > S > Sb).

Notar que o Ba elemento comum na assinatura geoquímica secundária delimitada para os depósitos Canoas e Perau não aparece nesta relação.

8.4.2 Análise de componentes principais (ACP)

A análise dos componentes principais indicou o mesmo agrupamento de elementos (Cd, Zn, Pb, Ag, S e Sb) definidos pela Análise de Agrupamentos conforme ilustra o gráfico – 11. Nota-se que no canto superior direito do gráfico é possível observar um conjunto de elementos muito próximos entre si que podem ser melhor constatados na matriz de correlação conforme quadro - 21 abaixo.

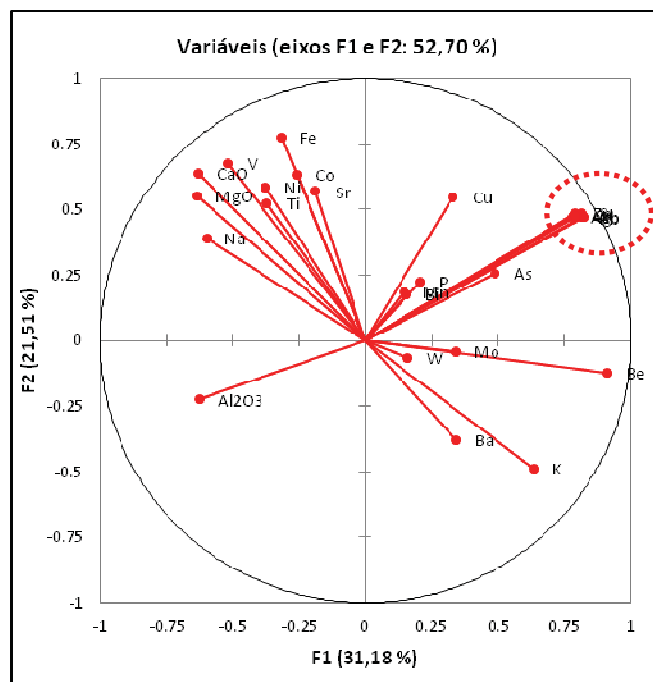


Gráfico - 11: Associação de elementos por meio da análise dos componentes principais.

Quadro - 21: Matriz de correlação utilizando o coeficiente de Pearson

Variáveis	Zn	Pb	S	Ag	Cd	Sb
Zn	1	0,978	0,932	0,955	0,994	0,888
Pb	0,978	1	0,936	0,957	0,977	0,940
S	0,932	0,936	1	0,888	0,940	0,904
Ag	0,955	0,957	0,888	1	0,926	0,899
Cd	0,994	0,977	0,940	0,926	1	0,888
Sb	0,888	0,940	0,904	0,899	0,888	1

Nota-se que os índices de correlação do agrupamento de elementos indicativos da assinatura geoquímica primária do corpo Canoas 3 são muito elevados chegando a quase 100% de correlação.

O resultado da reanálise dos componentes principais utilizando apenas as 6 variáveis delimitadas, ou seja, Cd, Zn, Pb, Ag, S e Sb e plotados em um gráfico tipo “biplot” (gráfico - 12), destacou 04 amostras do conjunto total de amostras como pode ser visto no quadrante a direita do gráfico.

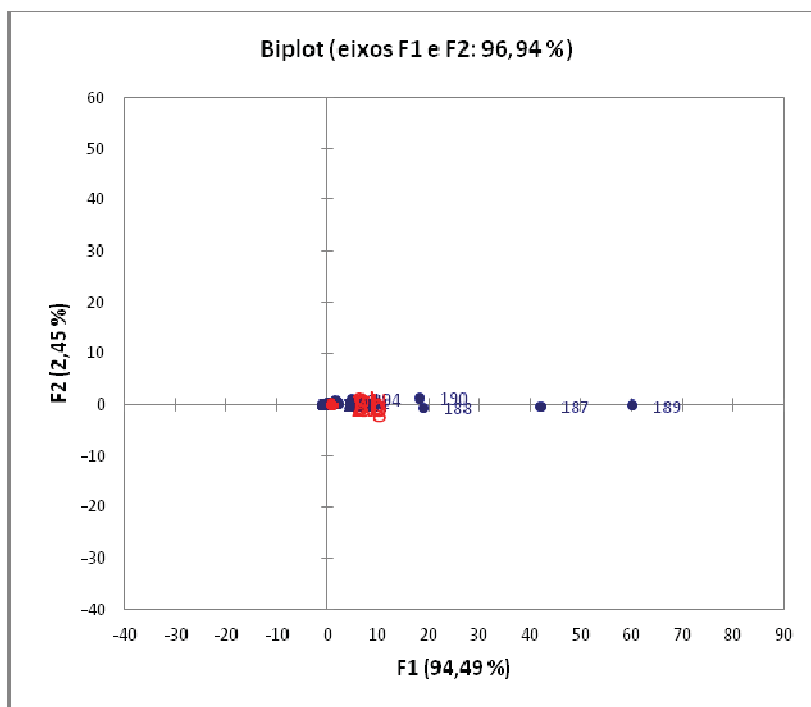


Gráfico - 12: Análise dos componentes principais utilizando apenas os elementos discriminados na primeira análise (ACP).

Dentre as amostras melhor posicionadas no gráfico, destacam-se, as amostras 190, 188, 187 e 189; cujos teores de Cd, Zn, Pb, Ag, S e Sb, são significativamente mais elevados constituindo a zona mineralizada (Quadro - 22).

Quadro - 22: Resultados analíticos sumarizados (ppm) para as amostras analisadas pela (ACP).

ID	Depth_from	depth_to	Sample	Sb	S	Ag	Pb	Cd	Zn
1	9	10	330794	2,5	50	0,25	20	0,25	107
2	10	11	330795	2,5	100	0,5	26	0,25	109
3	11	12	330796	2,5	100	0,25	21	0,25	120
4	12	13	330797	2,5	50	0,25	25	0,25	139
5	13	14	330798	2,5	100	0,25	20	0,25	125
6	14	15	330799	2,5	50	0,25	15	0,25	115
7	15	16	330800	2,5	50	0,25	14	0,25	116
8	16	17	330801	2,5	100	0,25	11	0,25	112
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
177	185	186	330970	5	100	0,25	658	0,25	33
178	186	187	330971	2,5	200	0,5	674	0,25	76
179	187	188	330972	2,5	100	0,6	196	0,25	122

180	188	189	330973	2,5	100	0,25	68	0,25	460
181	189	190	330974	2,5	300	0,25	53	0,25	642
182	190	190,5	330975	2,5	1500	0,25	48	0,25	618
183	190,5	191,4	330976	2,5	1500	0,25	52	0,25	427
184	191,4	192,4	299092	2,5	1700	0,25	88	0,25	417
185	192,4	193,4	299093	2,5	900	0,25	102	0,25	422
186	193,4	194,4	299095	2,5	400	0,25	198	0,25	953
187	194,4	195	299096	18	30900	56,8	13900	51,4	25400
188	195	195,5	299098	7	22100	14,3	5720	34,7	13700
189	195,5	196	299099	26	52900	48	21500	92,6	36200
190	196	196,5	299101	16	16800	17,7	8010	13,8	5240
191	196,5	197,5	299102	8	500	1,1	65	0,25	152
192	197,5	198,5	299104	2,5	200	0,25	87	1,4	349
193	198,5	199,7	299105	2,5	100	0,25	67	0,25	168
194	199,7	200,7	299107	10	12300	1,4	91	0,25	61
195	200,7	201,2	330977	2,5	2200	0,25	22	0,25	5

9. FUNÇÃO ADITIVA E SELEÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS

Uma vez determinada a assinatura geoquímica da mineralização secundária e primária dos depósitos conhecidos, fez-se necessário o desenvolvimento de uma função que pudesse ser aplicada e utilizada no banco de dados completo de sedimento de corrente (GRUPO -1) de forma a realçar áreas antes não detectadas pela simples análise dos elementos de interesse (Zn e Pb) e ao mesmo tempo selecionar os depósitos já conhecidos.

Com base nesta premissa, foram adotadas duas etapas como critério para a elaboração da função:

1ª. Etapa:

Nesta etapa foram compatibilizadas as assinaturas geoquímicas secundárias e primárias dos depósitos Canoas e Perau, ou seja, foram selecionados 5 elementos comuns a ambas as assinaturas e confrontadas com a assinatura da mineralização primária (quadro - 23).

Quadro - 23: Elementos farejadores definidos com base na assinatura geoquímica secundária e primária dos depósitos Canoas e Perau.

Depósito	Assinatura geoquímica		Elementos farejadores em comum
	Secundária (SC)	Primária (rocha)	
Canoas	Zn,Pb>Ba>Ag>Cu	Zn,Cd>Pb>Ag>S>Sb	Ag,Ba,Cd,S,Sb
Perau	Pb,Ba>Ag,Zn>Na>S>Cd	-----	

2ª. Etapa:

Atribuição de pesos diferenciados aos elementos diretamente relacionados à mineralização.

Alguns elementos entre eles Ag, Cd, S e Sb foram multiplicados por 2 devido a sua forte associação com os metais base de interesse e para que estes pudessem ter destaque nos mapas de seleção de novas áreas potenciais.

9.1 Testes de validação da função aditiva selecionada

9.1.1 Área Perau - Canoas

Foram feitos diversos testes para aferir qual função melhor se ajustava às mineralizações conhecidas e, entre as diversas tentativas conforme quadro – 24 abaixo, a que melhor se ajustou foi a opção 06. Na tabela – 4 é possível encontrar um sumário estatístico dos elementos utilizados na função selecionada.

Deve-se notar que na função selecionada o Ba foi excluído. Esta opção foi feita para excluir a influência de diversas ocorrências de barita presentes na região que poderiam influenciar erroneamente na seleção de áreas para *follow-up* tendo em vista que algumas já foram pesquisadas e nenhuma relação foi encontrada com metais base. Ao mesmo tempo, foi uma forma de testar a função escolhida, pois tendo os elementos indicadores relação com o bário, seria possível discriminar simples anomalias de bário daquelas associadas com os elementos farejadores e como consequência, os metais base de interesse (Pb e Zn).

Quadro - 24: Funções aditivas testadas para melhor ajustes frente as mineralizações conhecidas com destaque para a tomada como referência neste trabalho.

Testes	Função aditiva
1	Cd + Ag + S + Sb
2	(Ag x 4) + (Cd x 3) + (S x 2) + (Sb x 1) + (Ba/10)
3	(Ag x 2) + (Cd x 2) + (S x 2) + (Sb x 2) + (Cu x 2) + (Ba/10)
4	Zn + Pb + Ag + Cd + S + Sb + Ba
5	Zn + Pb + (Ag x 2) + (Cd x 2) + (S x 2) + (Sb x 2) + Ba
6	Zn + Pb + (Ag x 2) + (Cd x 2) + (S x 2) + (Sb x 2)

Tabela - 4: Estatísticas descritivas

Estatística	Na	S	Cd	Ag	Ba	Sb	Cu	Pb	Zn
No. de observações	1240	1240	1240	1240	1240	1240	1240	1240	1240
No. de valores faltantes	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mínimo	50,000	50,000	0,250	0,100	10,000	1,000	1,000	1,000	2,000
Máximo	300,000	1700,000	1,200	48,400	1560,000	10,000	318,000	1060,000	585,000
Freq. do mínimo	484	137	1202	1088	6	1134	3	6	3
Freq. do máximo	5	1	1	1	1	1	1	1	1
Amplitude	250,000	1650,000	0,950	48,300	1550,000	9,000	317,000	1059,000	583,000
1° Quartil	50,000	100,000	0,250	0,100	70,000	1,000	23,750	7,000	32,000
Mediana	100,000	200,000	0,250	0,100	115,000	1,000	37,000	11,000	44,000
3° Quartil	100,000	400,000	0,250	0,100	180,000	1,000	55,000	16,000	56,000
Média	91,532	273,508	0,261	0,160	141,863	1,106	42,851	19,389	48,714
Variância (n-1)	2091,274	43302,857	0,005	1,885	17247,132	0,187	882,918	3295,500	1828,815
Desvio-padrão (n-1)	45,730	208,093	0,070	1,373	131,328	0,433	29,714	57,406	42,765
Coeficiente de variação	0,499	0,761	0,269	8,566	0,925	0,391	0,693	2,960	0,878
Assimetria (Pearson)	1,461	1,614	7,660	35,011	4,565	9,175	2,171	12,094	7,547
Limite inferior da média (95%)	88,984	261,914	0,257	0,084	134,546	1,082	41,195	16,190	46,331
Limite superior da média (95%)	94,080	285,102	0,265	0,237	149,180	1,131	44,506	22,587	51,096

Para a confecção de mapas geoquímicos de sedimento de corrente e classes de anomalias geoquímicas de Zn e Pb, Ba e Ag que pudessem ser utilizados como critério de comparação com os resultados da função aditiva, foram utilizados a partir da base de dados do grupo-1, 7 classes de separação de teores incluindo 3 classes diferenciadas de anomalias: primeira ordem, segunda ordem e terceira ordem, discriminadas no quadro – 25 abaixo:

Quadro - 25: Divisão de classes ou faixas de teores para elaboração do mapa geológico-geoquímico.

Classes	Zn	Pb	Ba	Ag
1° Quartil	32,000	7,000	70,000	0,100
Mediana	44,000	11,000	115,000	0,100
3° Quartil	56,000	16,000	180,000	0,100
Anomalia 1° ordem	134,243	134,2016	404,5196	2,906474
Anomalia 2° ordem	177,0076	191,608	535,8479	4,27959
Anomalia 3° ordem	219,7723	249,0145	667,1763	5,652706
Valor máximo	585,000	1060,000	1560,000	48,400

As anomalias de primeira, segunda e terceira ordem foram produzidas tomando como base a média + 2 desvio padrão, média + 3 desvio padrão e média + 4 desvio padrão, respectivamente.

Nos mapas geoquímicos abaixo (figuras – 45, 46, 47 e 48), com exceção da prata (Ag) é possível verificar que as separações de classes utilizadas para os elementos Pb, Zn e Ba foram capazes de selecionar os depósitos já conhecidos Canoas e Perau. No caso da área Canoas, porém, nota-se que apenas o corpo Canoas - 1 foi destacado em relação ao background regional.

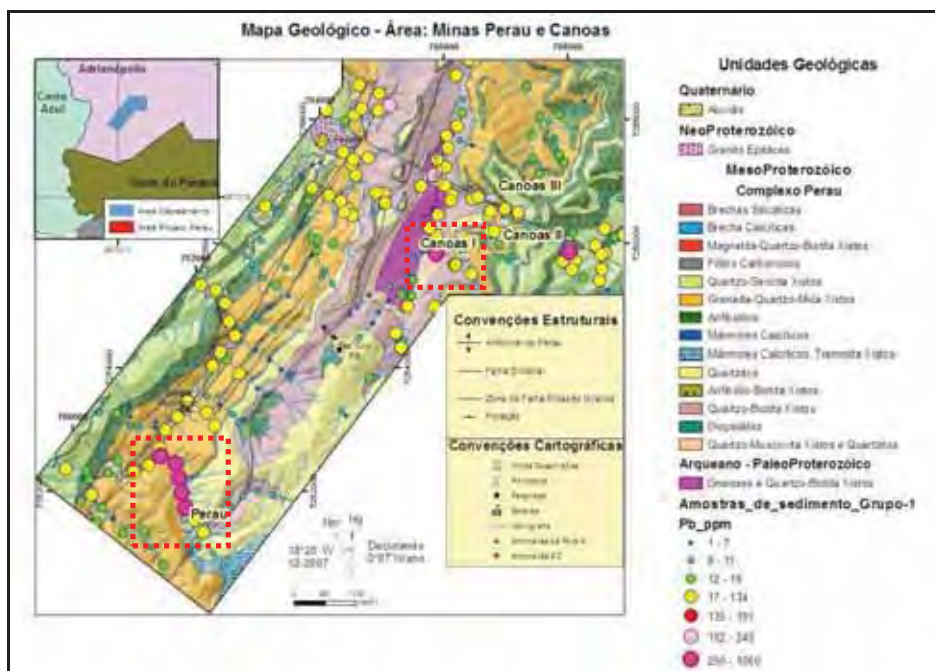


Figura - 46: Mapa geológico com resultados de sedimentação de corrente (grupo-1) discriminando em classes (Pb ppm). - Áreas mineralizadas conhecidas destacadas pela separação de classes.

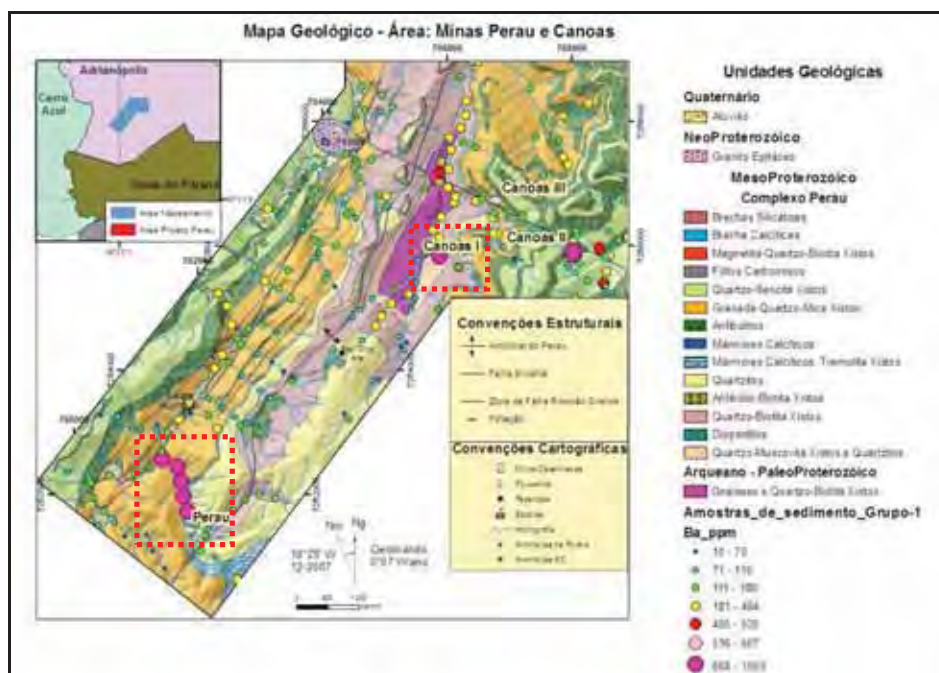


Figura - 47: Mapa geológico com resultados de sedimentação de corrente (grupo-1) discriminando em classes (Ba ppm). - Áreas mineralizadas conhecidas destacadas pela separação de classes.

Sumário estatístico	Função Aditiva 06
No. de observações	1240
Mínimo	111,700
Máximo	3522,300
Amplitude	3393,600
1° Quartil	267,450
Mediana	471,700
3° Quartil	838,950
Média	618,175
Variância (n-1)	191892,893
Desvio-padrão (n-1)	430,056
Coefficiente de variação	0,708
Assimetria (Pearson)	1,705
Curtose (Pearson)	4,286
Limite inferior da média (95%)	593,769
Limite superior da média (95%)	642,580

Tabela - 5: Sumário estatístico do resultado da função aditiva

Ao todo foram delimitadas 08 áreas anômalas contemplando os já conhecidos depósitos Canoas e Perau. As principais anomalias quando analisadas sob o ponto de vista geológico/estrutural bem como do prévio conhecimento prospectivo da área, fazem sentido e precisam ser verificadas em campo. Cita-se como exemplo a anomalia 06 que se encontra a frente (NE), na possível extensão do corpo Canoas 3 cuja projeção do corpo (em aberto) sugere que este passe pela área selecionada mais próximo da superfície, mas não o suficiente para gerar anomalias significativas diretas de Zn e Pb que chamassem a atenção antes do tratamento. Isto indica que esta metodologia também pode ser útil para detecção de depósitos “cegos” ou não aflorantes.

Outras anomalias potenciais pelo contexto geológico/estrutural no qual se encontram são as 02 e 03. Por estarem associadas ao mesmo guia prospectivo dos depósitos Canoas e Perau, além de ter grandes estruturas tectônicas associadas como a falha do Ribeirão Grande e falhas de segunda ordem de direção NW/SE, tem seu potencial acentuado e merece um *check* de campo.

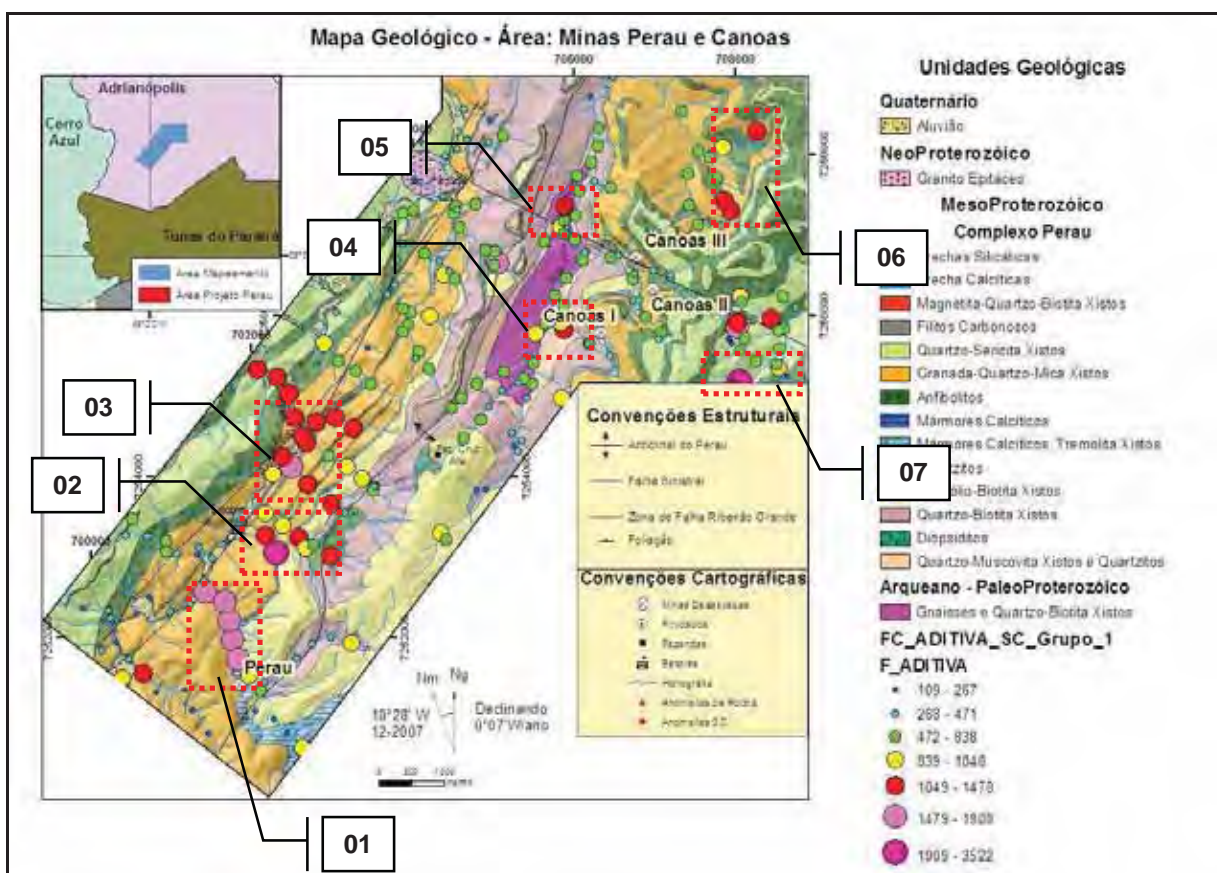


Figura - 49: Mapa geológico-geoquímico com destaque para as principais anomalias geradas pela função aditiva.

9.1.2 Regional

Uma vez aplicada a função e aferido seus resultados para a área de detalhe (Perau – Canoas), foram gerados mapas de Zn, Pb, Ba e Ag nos quais é possível visualizar todas as amostras de sedimento de corrente do grupo-1 (figuras – 50, 51, 52, 53, 54 e 55). Para a confecção destes mapas foram utilizados os mesmos critérios de classificação de teores e anomalias discriminados no tópico anterior (11.1.1).

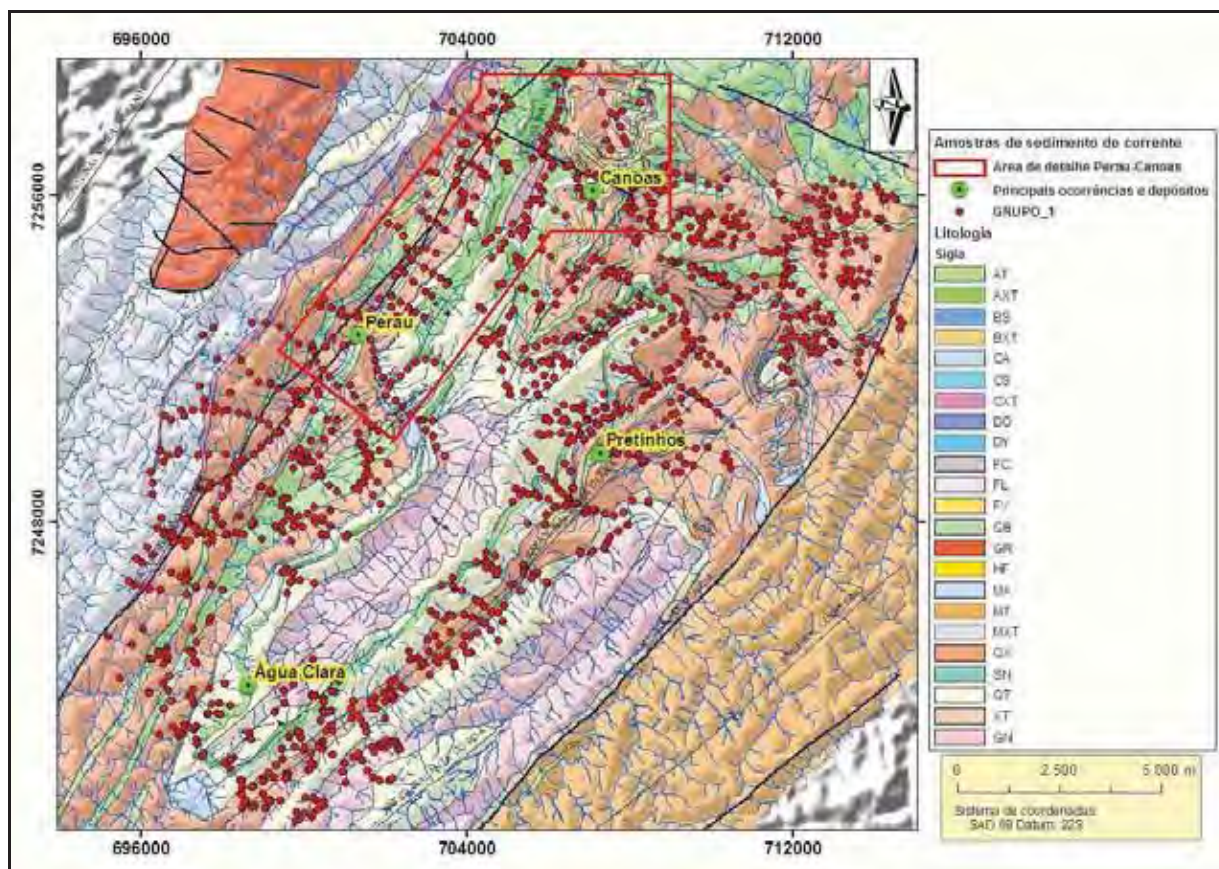


Figura - 50: Mapa geológico regional com amostragem de sedimento de corrente, rede de drenagem e principais ocorrências e depósitos conhecidos. **Litologia:** AT- Anfibolito e anfibolito xisto; AXT - Biotita-Anfibolito xisto, Anfibolito; BS - Brecha Silicática; BXT - Biotita-sericita xisto, calco xisto; CA - Calcário; CS - Calco silicatada; CXT - Muscovita carbonato xisto; DO - Calcário, dolomito e calco xisto; DY - Diopsidito; FC - Filito Carbonoso; FL - Meta sedimentos, meta ritmitos, filito; FV - Dacito; GB - Gabro; GN - Biotita xisto/ gnaiss; GR - Suite monzogranítica; HF - Hornblenda hornfels; MA - Mármore dolomítico e/ou calcítico; MT - Metassedimentos silico-argilosos; MXT - Magnetita quartzo biotita xisto; QT - Quartzito; QX - Quartzito muscovita biotita xisto; SN - Sienito; XT - Mica xisto e filito (Relatório interno Votorantim Metais).

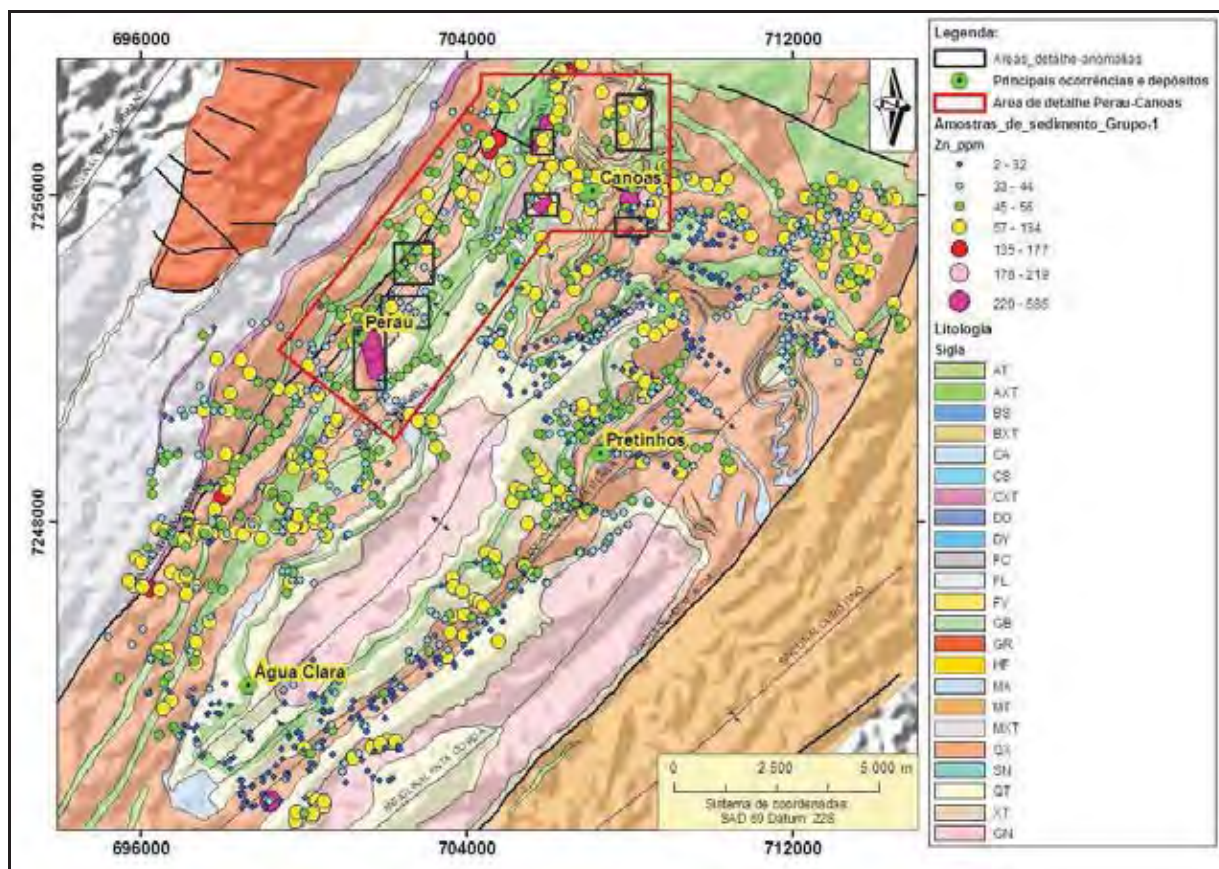


Figura - 51: Mapa geológico regional com resultados da geoquímica de sedimento de corrente (Zn – ppm). **Litologia:** AT- Anfibolito e anfibolito xisto; AXT - Biotita-Anfibolito xisto, Anfibolito; BS - Brecha Silicática; BXT - Biotita-sericita xisto, calco xisto; CA – Calcário; CS - Calco silicatada; CXT - Muscovita carbonato xisto; DO - Calcário, dolomito e calco xisto; DY – Diopsidito; FC - Filito Carbonoso; FL - Meta sedimentos, meta ritmitos, filito; FV – Dacito; GB – Gabro; GN - Biotita xisto/ gnaiss; GR - Suite monzogranítica; HF - Hornblenda hornfels; MA - Mármore dolomítico e/ou calcítico; MT - Metassedimentos silico-argilosos; MXT - Magnetita quartzo biotita xisto; QT – Quartzito; QX - Quartzo muscovita biotita xisto; SN – Sienito; XT - Mica xisto e filito (Relatório interno Votorantim Metais).

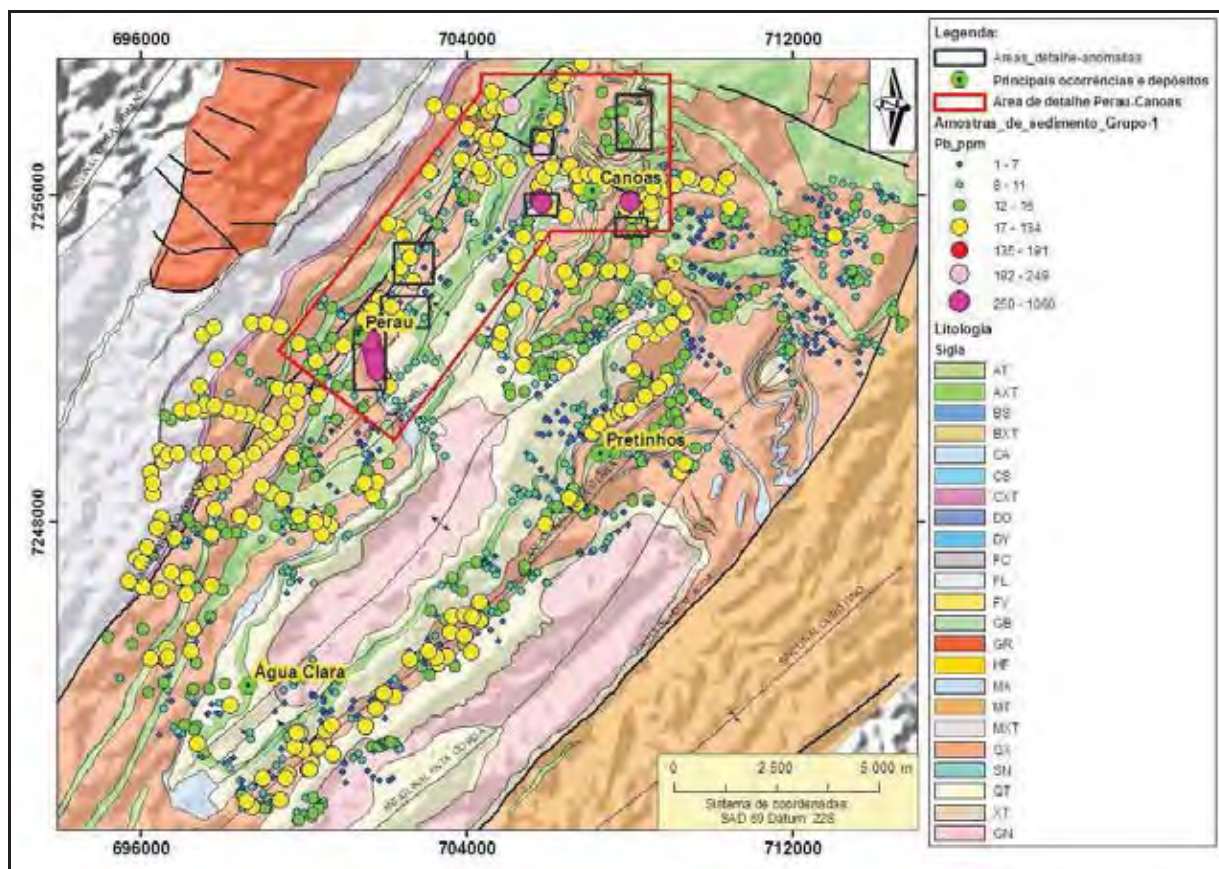


Figura - 52: Mapa geológico regional com resultados da geoquímica de sedimento de corrente (Pb – ppm). **Litologia:** AT- Anfibolito e anfibolito xisto; AXT - Biotita-Anfibolito xisto, Anfibolito; BS - Brecha Silicática; BXT - Biotita-sericita xisto, calco xisto; CA – Calcário; CS - Calco silicatada; CXT - Muscovita carbonato xisto; DO - Calcário, dolomito e calco xisto; DY – Diopsidito; FC - Filito Carbonoso; FL - Meta sedimentos, meta ritmitos, filito; FV – Dacito; GB – Gabro; GN - Biotita xisto/ gnaiss; GR - Suite monzogranítica; HF - Hornblenda hornfels; MA - Mármore dolomítico e/ou calcítico; MT - Metassedimentos silico-argilosos; MXT - Magnetita quartzo biotita xisto; QT – Quartzito; QX - Quartzo muscovita biotita xisto; SN – Sienito; XT - Mica xisto e filito (Relatório interno Votorantim Metais).

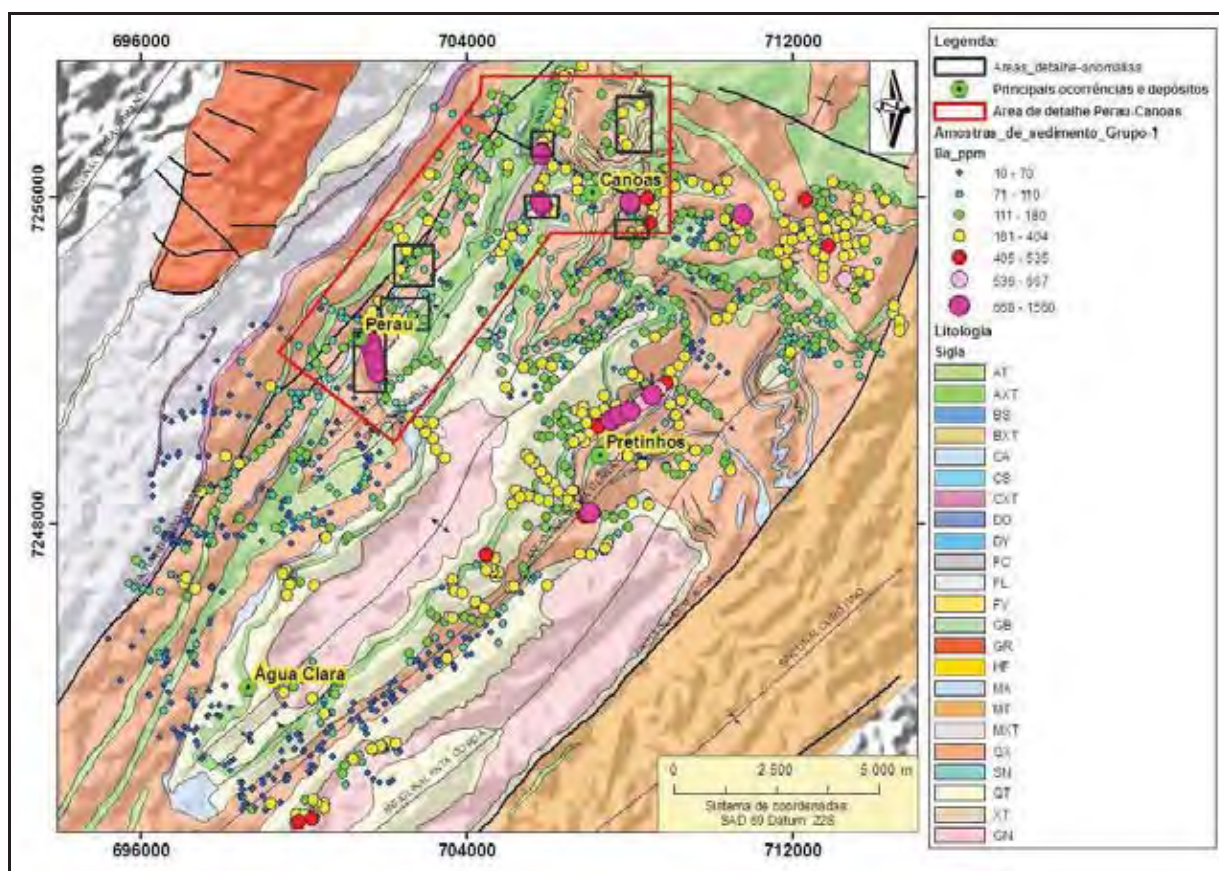


Figura - 53: Mapa geológico regional com resultados da geoquímica de sedimento de corrente (Ba – ppm). **Litologia:** AT- Anfibolito e anfibolito xisto; AXT - Biotita-Anfibolito xisto, Anfibolito; BS - Brecha Silicática; BXT - Biotita-sericita xisto, calco xisto; CA – Calcário; CS - Calco silicatada; CXT - Muscovita carbonato xisto; DO - Calcário, dolomito e calco xisto; DY – Diopsidito; FC - Filito Carbonoso; FL - Meta sedimentos, meta ritmitos, filito; FV – Dacito; GB – Gabro; GN - Biotita xisto/ gnaiss; GR - Suite monzogranítica; HF - Hornblenda hornfels; MA - Mármore dolomítico e/ou calcítico; MT - Metassedimentos silico-argilosos; MXT - Magnetita quartzo biotita xisto; QT – Quartzito; QX - Quartzo muscovita biotita xisto; SN – Sienito; XT - Mica xisto e filito (Relatório interno Votorantim Metais).

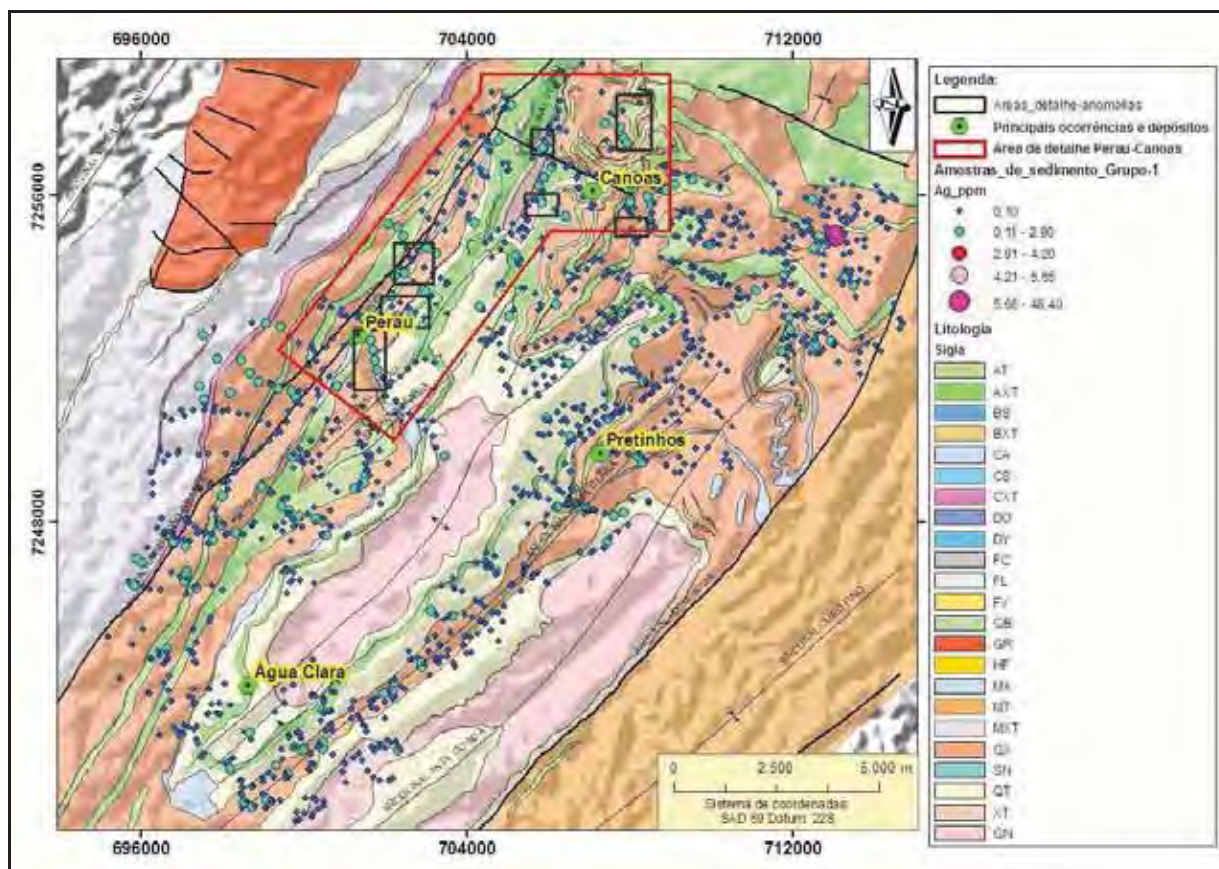


Figura - 54: Mapa geológico regional com resultados da geoquímica de sedimento de corrente (Ag - ppm). **Litologia:** AT- Anfibolito e anfibolito xisto; AXT - Biotita-Anfibolito xisto, Anfibolito; BS - Brecha Silicática; BXT - Biotita-sericita xisto, calco xisto; CA - Calcário; CS - Calco silicatada; CXT - Muscovita carbonato xisto; DO - Calcário, dolomito e calco xisto; DY - Diopsidito; FC - Filito Carbonoso; FL - Meta sedimentos, meta ritmitos, filito; FV - Dacito; GB - Gabro; GN - Biotita xisto/ gnaiss; GR - Suite monzogranítica; HF - Hornblenda hornfels; MA - Mármore dolomítico e/ou calcítico; MT - Metassedimentos silico-argilosos; MXT - Magnetita quartzo biotita xisto; QT - Quartzito; QX - Quartzo muscovita biotita xisto; SN - Sienito; XT - Mica xisto e filito (Relatório interno Votorantim Metais).

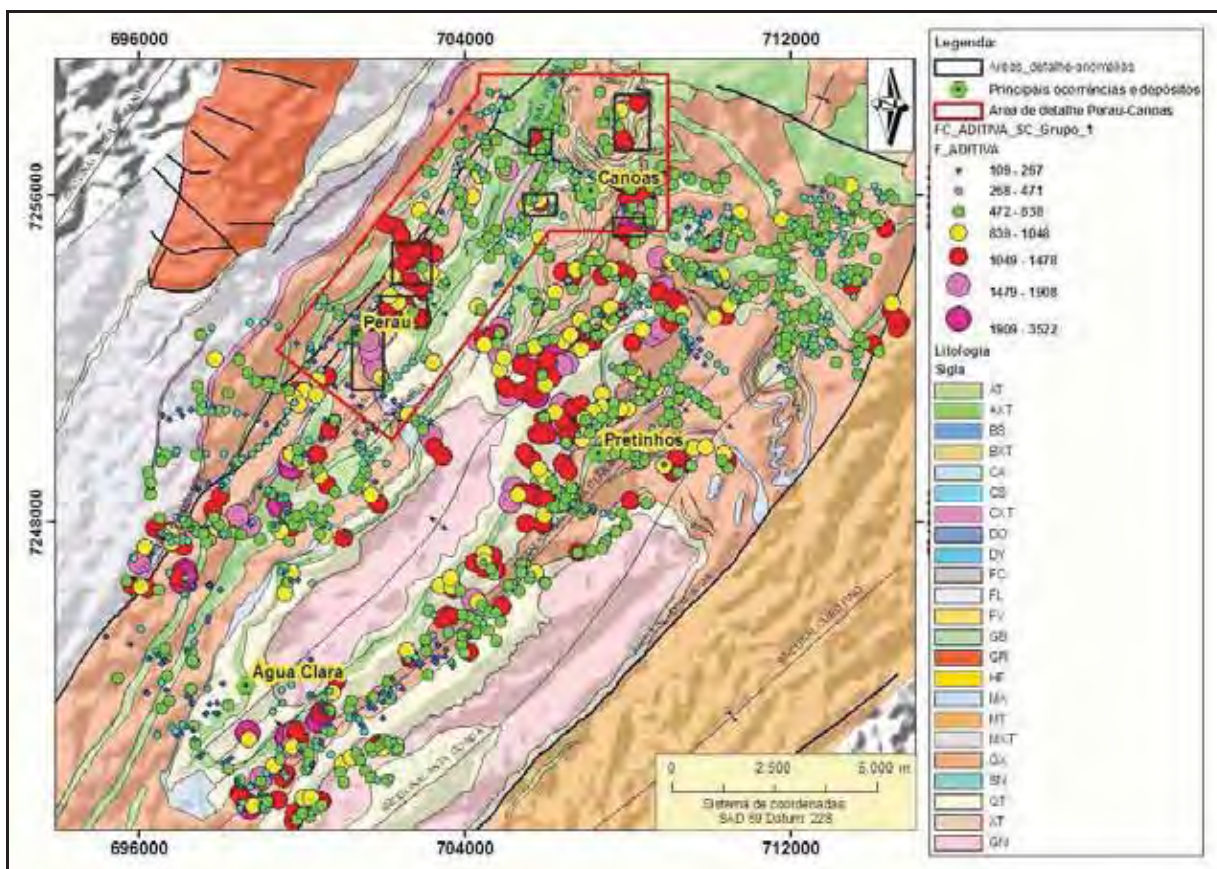


Figura - 55: Mapa geológico regional com resultados da geoquímica de sedimento de corrente (Função Aditiva). **Litologia:** AT- Anfibolito e anfibolito xisto; AXT - Biotita-Anfibolito xisto, Anfibolito; BS - Brecha Silicática; BXT - Biotita-sericita xisto, calco xisto; CA - Calcário; CS - Calco silicatada; CXT - Muscovita carbonato xisto; DO - Calcário, dolomito e calco xisto; DY - Diopsidito; FC - Filito Carbonoso; FL - Meta sedimentos, meta ritmitos, filito; FV - Dacito; GB - Gabro; GN - Biotita xisto/ gnaiss; GR - Suíte monzogranítica; HF - Hornblenda hornfels; MA - Mármore dolomítico e/ou calcítico; MT - Metassedimentos silico-argilosos; MXT - Magnetita quartzo biotita xisto; QT - Quartzito; QX - Quartzo muscovita biotita xisto; SN - Sienito; XT - Mica xisto e filito (Relatório interno Votorantim Metais).

Uma análise comparativa entre os mapas geoquímicos de zinco, chumbo, bário e prata em nível regional mostra que a função aditiva utilizada foi capaz de selecionar áreas antes despercebidas. Contudo, é necessário filtrar estas anomalias e priorizá-las.

Para isso foi gerado um mapa geoquímico no qual apenas as anomalias de primeira e segunda ordem aparecem destacadas (figura - 56). Neste mapa geoquímico as anomalias selecionadas aparecem contornadas em amarelo e sugerem um nível ou camada de rocha significativamente anômala em relação ao restante da área.

Esta camada ou horizonte anômalo se encontra logo acima de uma sequência quartzítica sustentada por embasamento gnáissico e entre um espesso pacote de muscovita xisto, contexto muito similar aos depósitos estudados em detalhe anteriormente.

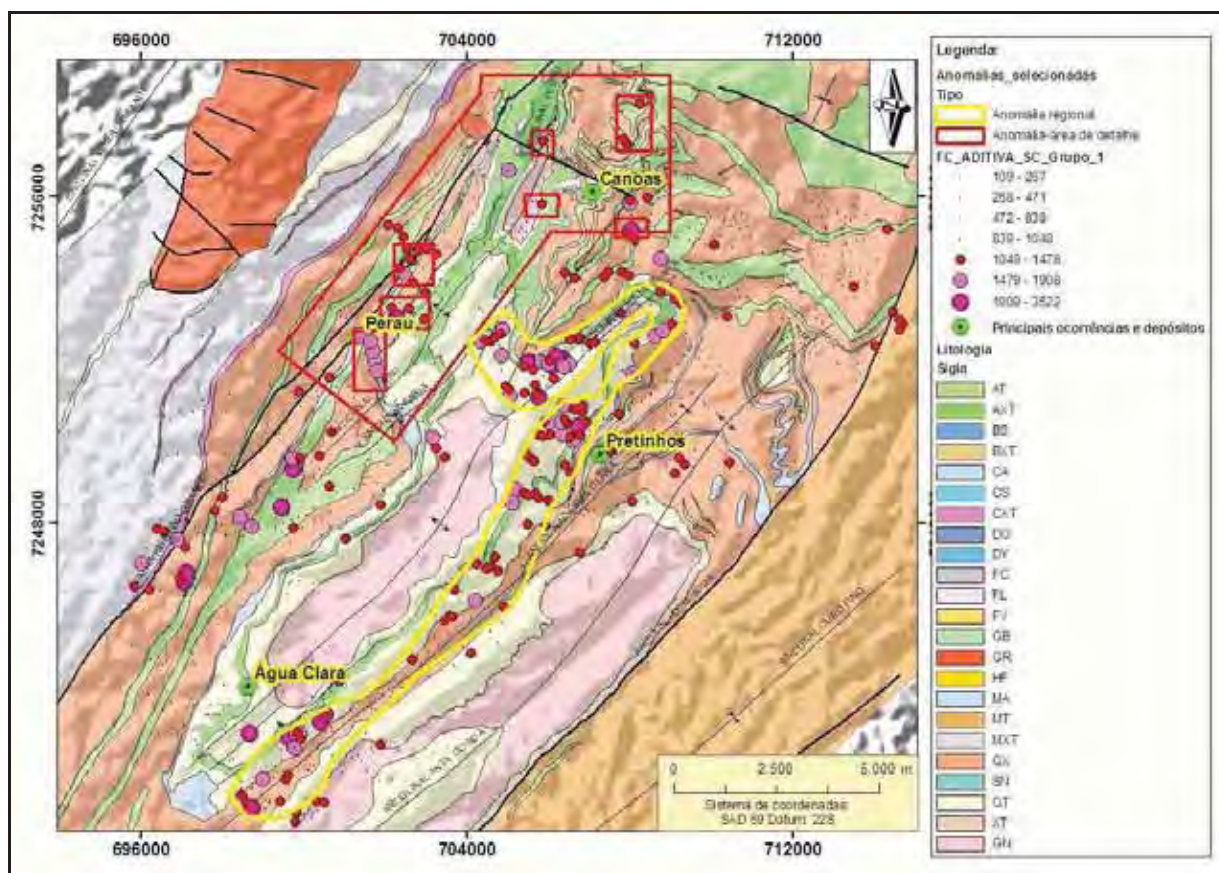


Figura - 56: Mapa geológico regional com resultados da geoquímica de sedimento de corrente com destaque para resultados da função aditiva com anomalias pré-selecionadas. **Litologia:** AT- Anfíbolito e anfíbolito xisto; AXT - Biotita-Anfíbolio xisto, Anfíbolito; BS - Brecha Silicática; BXT - Biotita-sericita xisto, calco xisto; CA - Calcário; CS - Calco silicatada; CXT - Muscovita carbonato xisto; DO - Calcário, dolomito e calco xisto; DY - Diopsidito; FC - Filito Carbonoso; FL - Meta sedimentos, meta ritmitos, filito; FV - Dacito; GB - Gabro; GN - Biotita xisto/ gnaiss; GR - Suite monzogranítica; HF - Hornblenda hornfels; MA - Mármore dolomítico e/ou calcítico; MT - Metassedimentos silico-argilosos; MXT - Magnetita quartzo biotita xisto; QT - Quartzito; QX - Quartzo muscovita biotita xisto; SN - Sienito; XT - Mica xisto e filito (Relatório interno Votorantim Metais).

Neste horizonte é possível notar ainda duas grandes concentrações de anomalias de terceira e quarta ordem destacadas em verde na figura - 57 abaixo. Estas duas áreas significativamente anômalas podem ser classificadas com prioridade para *check* de campo.

Deve-se destacar também que este horizonte anômalo pode ser a continuidade do guia prospectivo (rochas calcosilicáticas - diopsídio-muscovita xisto) mapeado na parte oeste da mega antiforma Anta Gorda, onde se encontram alojados os depósitos Perau e Canoas. A

confirmação da continuidade mapeável deste guia prospectivo nesta área abre novos horizontes para a pesquisa mineral para metais base e merece ser mais bem estudado além das outras anomalias já destacadas nas áreas entre as jazidas Perau e Canoas.

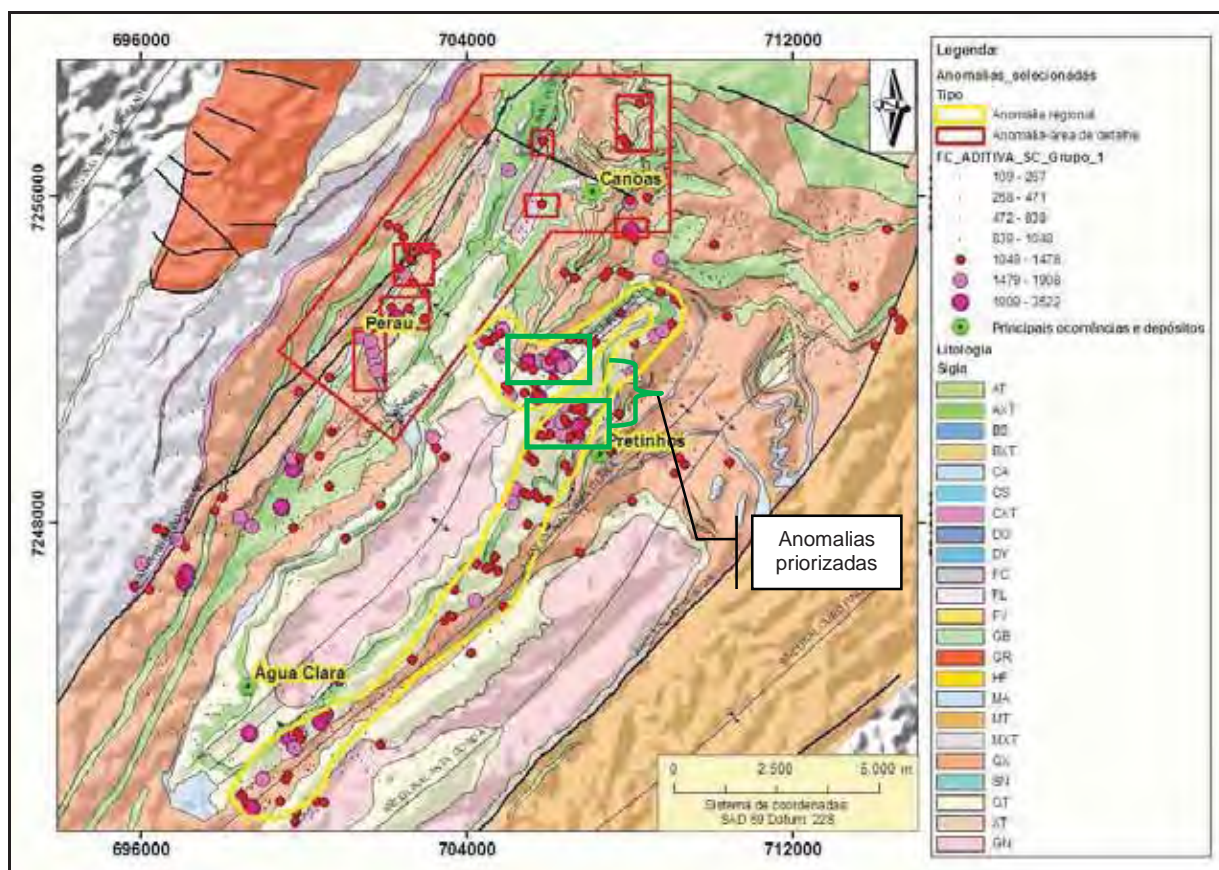


Figura - 57: Mapa geológico regional com resultados da geoquímica de sedimento de corrente com destaque para resultados da função aditiva com anomalias priorizadas para check de campo. **Litologia:** AT - Anfibolito e anfibolito xisto; AXT - Biotita-Anfibolito xisto, Anfibolito; BS - Brecha Silicática; BXT - Biotita-sericita xisto, calco xisto; CA - Calcário; CS - Calco silicatada; CXT - Muscovita carbonato xisto; DO - Calcário, dolomito e calco xisto; DY - Diopsidito; FC - Filito Carbonoso; FL - Meta sedimentos, meta ritmitos, filito; FV - Dacito; GB - Gabro; GN - Biotita xisto/ gnaiss; GR - Suite monzogranítica; HF - Hornblenda hornfels; MA - Mármore dolomítico e/ou calcítico; MT - Metassedimentos silico-argilosos; MXT - Magnetita quartzo biotita xisto; QT - Quartzito; QX - Quartzo muscovita biotita xisto; SN - Sienito; XT - Mica xisto e filito (Relatório interno Votorantim Metais).

9.2 Testes com regressão polinomial

Para entender o comportamento dos *trends* geoquímicos regionais foram elaborados mapas de regressão polinomial de primeira ordem e mapas de resíduos obtidos pelo método da mínima curvatura.

Analisados caso a caso, as superfícies de tendência geradas (Figuras – 58, 59, 60, 61, 62 e 63) mostram *trends* regionais (*background*) com incremento de teor para os elementos chumbo (Pb) e zinco (Zn) de sudeste para noroeste, enquanto que o bário e a prata mostram uma tendência de sudoeste para nordeste. Já a superfície de tendência da função aditiva é contrária a todos mostrando uma tendência de noroeste para sudeste possivelmente relacionado ao horizonte ou camada anômala destacada anteriormente enquanto os demais elementos estão sensivelmente influenciados pelos altos valores (teor) nos arredores dos depósitos estudados.

Entre os mapas de resíduos (Figuras – 58, 59, 60, 61, 62 e 63), os que melhor destacam os depósitos Perau e Canoas são os mapas de chumbo e bário. Se analisados separadamente, nota-se que o mapas de resíduos de chumbo, zinco e prata conseguiram destacar apenas duas anomalias relacionadas aos depósitos Perau-Canoas enquanto que o da função aditiva gerou várias áreas destacadas do background além de ter indicado claramente o depósito Perau.

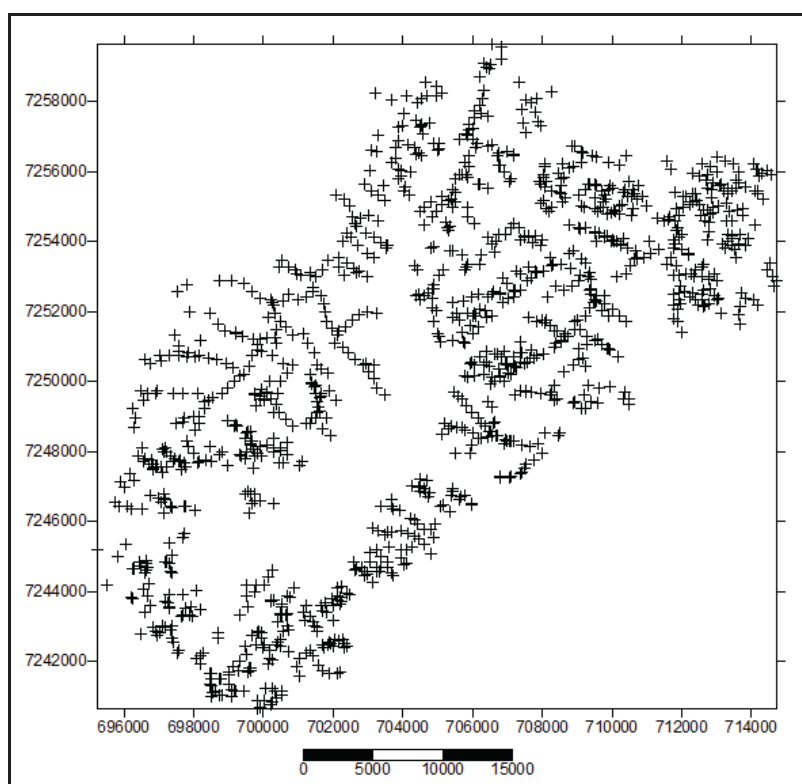


Figura - 58: Disposição de todas as amostras de sedimento de corrente (grupo-1) utilizadas para a geração das superfícies de tendência e mapas de resíduos. (legenda: + Amostras de sedimento de corrente).

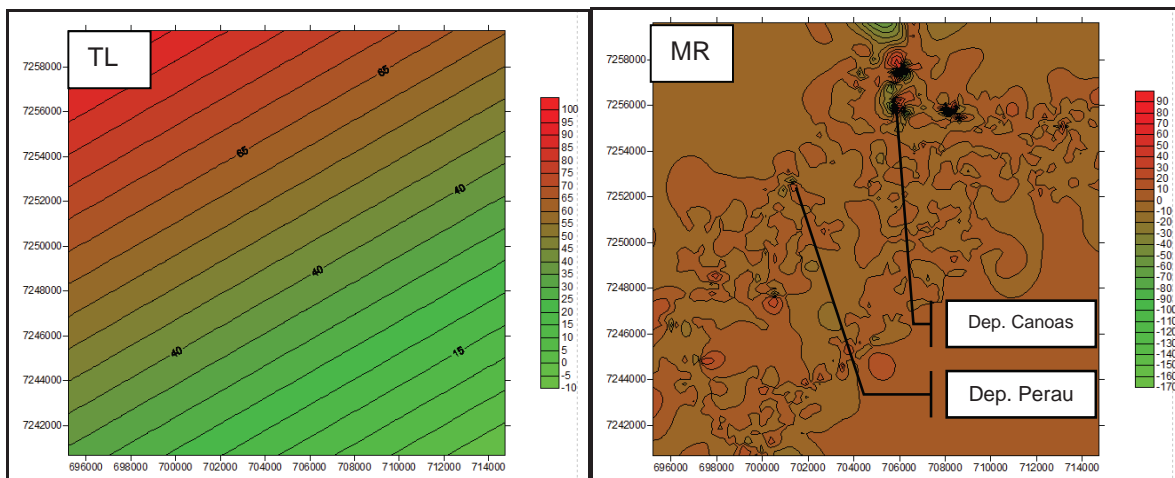


Figura - 59: Mapa de tendência linear (TL) e mapa de resíduo pela mínima curvatura (MR) - Zn

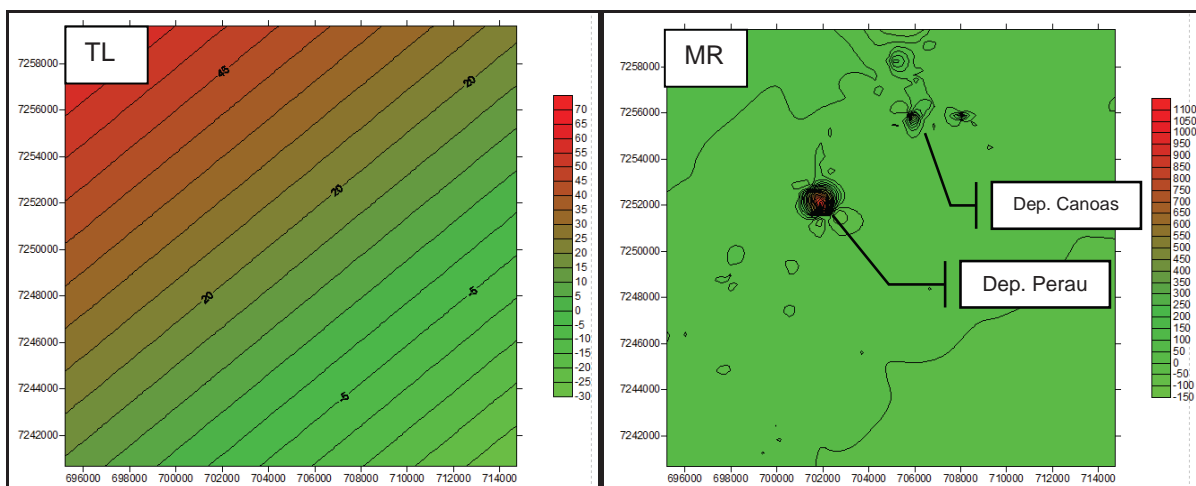


Figura - 60: Mapa de tendência linear (TL) e mapa de resíduo pela mínima curvatura (MR) - Pb

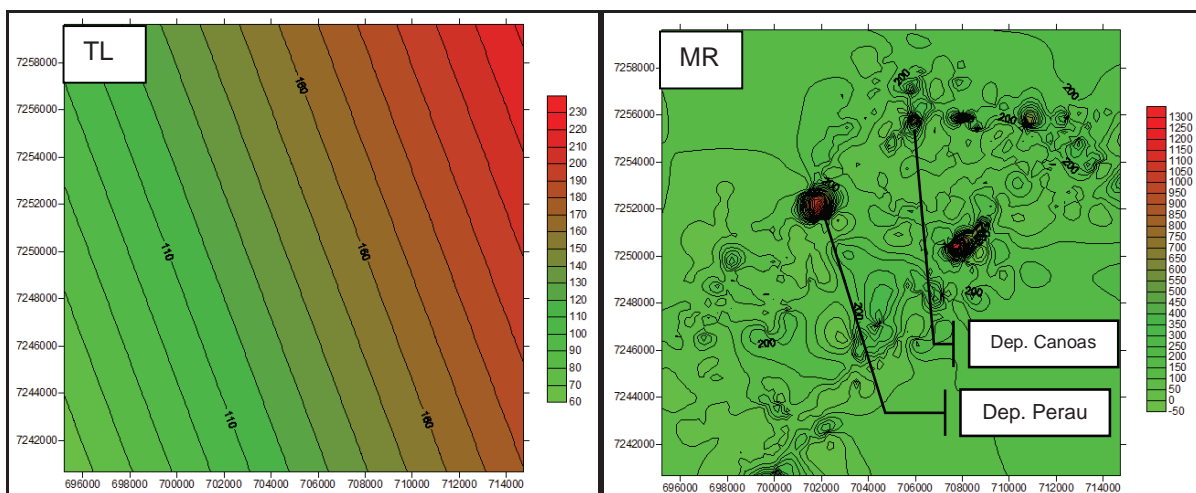


Figura - 61: Mapa de tendência linear (TL) e mapa de resíduo pela mínima curvatura (MR) - Ba

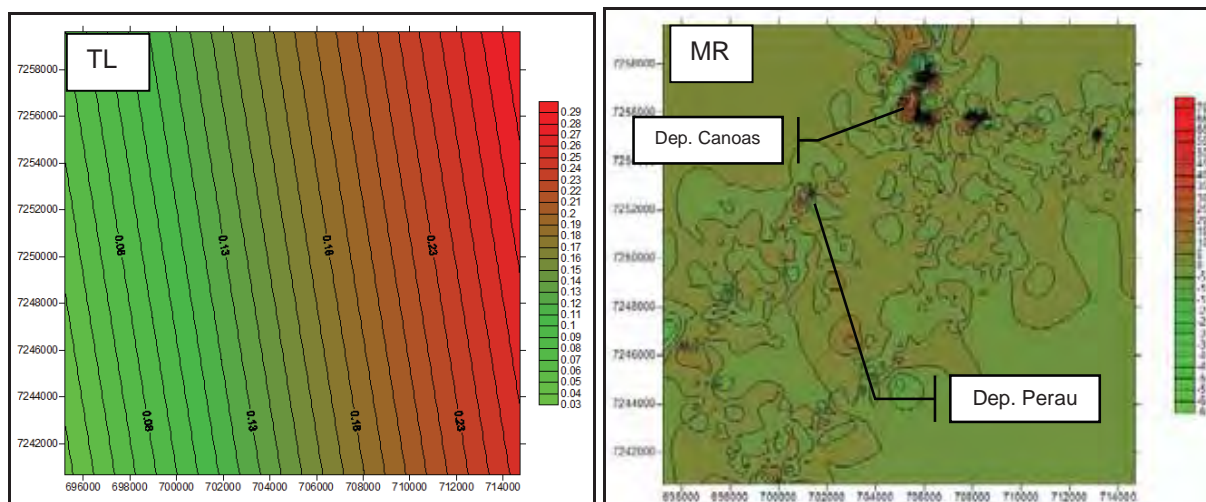


Figura - 62: Mapa de tendência linear (TL) e mapa de resíduo pela mínima curvatura (MR) - Ag

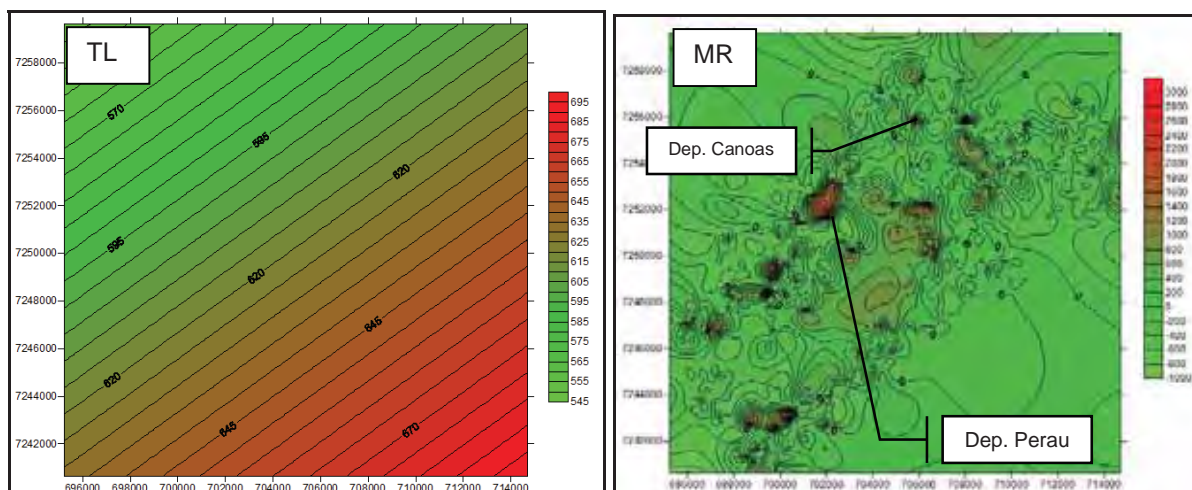


Figura - 63: Mapa de tendência linear (TL) e mapa de resíduo pela mínima curvatura (MR) – Função Aditiva

A diferença entre os mapas de tendência de chumbo, zinco, prata e bário com os da função aditiva podem estar relacionados aos diferentes elementos indicadores associados a estes com mobilidade e dispersão diferentes dos metais de interesse bem como o próprio enriquecimento natural das rochas nestes elementos.

10. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos acerca da assinatura geoquímica secundária das jazidas Canoas e Perau mostram agrupamentos de elementos bem destacados em torno das microbacias contemplando zonas com mineralização aflorantes ou subaflorantes com destaque, no caso da jazida Canoas, para Zn, Pb, Ba, Ag e Cu enquanto para a jazida Perau foi obtido um agrupamento com Pb, Ba, Ag, Zn, Na, S e Cd. A assinatura da mineralização primária destacou elementos similares a ambos os depósitos (Zn, Cd, Pb, Ag, S e Sb) com algumas exceções que podem ser atribuídas a rochas encaixantes de composição diferenciada, ou mesmo composição do fluido hidrotermal diferenciado mineralizante.

As análises de tendência e seus respectivos mapas de resíduos para a áreas de detalhe (Perau – Canoas) foram fortemente influenciadas pela presença dos corpos de minério e a orientação das drenagens amostradas. Entretanto, boa parte dos *trends* apresentados foram compatíveis com os mapas regionais gerados posteriormente indicando que ao menos para os metais base Pb e Zn a região detém os maiores teores a nível regional.

O método utilizado para a definição das assinaturas geoquímicas e sua aplicação como ferramenta na seleção de áreas com potencial prospectivo antes não detectadas pelos métodos de análise convencionais foi capaz de gerar novas áreas potenciais, porém, sua real eficácia só poderá ser atestada por meio de validações de campo. Independente disso, a metodologia estatística empregada como toda ferramenta deve ser utilizada com muito critério avaliando os aspectos positivos e negativos de seu uso caso a caso em função da geologia e tipologia das mineralizações em pesquisa.

Com relação aos aspectos positivos, a metodologia empregada se mostrou prática para estudos ou pesquisas complementares em que a primeira análise pura e simples dos elementos de interesse não tenham atingido as expectativas desejadas ou quando tiverem se esgotados as possibilidades geradas por esta via de análise.

A eficácia deste tipo de análise depende não só do modo como os dados geoquímicos são tratados, mas também do background do profissional com relação à geologia da área em questão.

Portanto, é fundamental para o sucesso desta ferramenta, parâmetros ou áreas piloto para comparações e validações. Para áreas nunca antes exploradas ou com baixo nível de conhecimento, essa técnica pode não funcionar.

Isto não exclui sua aplicação nestes casos, mas seu uso deve ser feito com ainda mais critério, tendo em vista a baixa confiabilidade desta ferramenta nestas condições.

Por fim, tomando alguns cuidados, as análises estatísticas/geoestatísticas empregadas neste trabalho podem ser úteis e reforçar o leque de possibilidades que o geólogo pode recorrer no que concerne as metodologias de análise de dados geoquímicos na área da exploração mineral, assim como nas demais áreas que façam uso de medições expeditas em solo, sedimento de corrente para outras finalidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBA, J. M. F.; FILHO, C. R. S. Discriminação de assinaturas geoquímicas por meio de modelos de regressão e sistema de informações geográficas: estudo de caso no vale do Ribeira (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, v.40 (3), 2010, pp. 426-437.

ALBUQUERQUE, M. A. D. **Estabilidade em Análise de Agrupamento (Cluster Analysis)**. 2005. 50fls. Dissertação (Mestrado em Modelagem e Planejamento de Experimentação) Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife – PE, 2005.

ANDRIOTTI, J. L. S; **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. Editora da Universidade Unisinos, São Leopoldo-RS, 2003.

ARAÚJO, C. C. D., **Aplicação de geoprocessamento na Análise de Favorabilidade para Mineralizações de Chumbo, Zinco e Cobre nas Folhas Cerro Azul e Apiaí, Vale do Ribeira, (SP e PR)**. 151fls. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Universidade de São Paulo – USP, 1999.

BEUS, A. A. & GRIGORIAN, S. V. Geochemical exploration methods for mineral deposits. Translated by Rita Teteruk-Schneider. **Applied Publishing**, Wilmette, III. USA, 1977.

BATOLLA JR., F.; SILVA, A. T. S. F.; ALGARTE, J. P. O pré-cambriano da região sul-sudeste do Estado de São Paulo e este-nordeste do Estado do Paraná. In: Simpósio Sul Brasileiro de Geologia, 3., Curitiba. **Atas**. Curitiba: SBG, 1981, pp. 94-109.

BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R. Estudos Preliminares Série Açungui. Estruturas Organógenas nos dolomitos da Formação Capiirú (Estado do Paraná). **Dusenya**, Curitiba, v.6-7, 1956, pp.317-323.

_____. Contribuição à Geologia da Região Sul da Série Açungui (PR). **Boletim Paulista de Geografia**. São Paulo, v.29, 1958, pp.03-19.

CAMPANHA, G. A. C. **Tectônica Proterozóica no Alto e Médio Vale do Ribeira, Estados de São Paulo e Paraná**. 296f. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências – USP, São Paulo, 1991.

_____. GIMENEZ FILHO, A.; BISTRICHI, C.A. Geologia da Folha Itararé. São Paulo, IPT, 31p., 1996.

_____ & SADOWSKI, G.R. Tectonics of the southern portion of the Ribeira Belt (Apiaí) Domain. **Precambrian Research**, n. 98, 1999, pp. 31-51.

BOYLE, R. W. **Geochemical methods for the discovery of blind deposits**. Part 1. CIM Bull. v. 65, n. 844, 1982, pp. 123-142.

_____ **Geochemical methods for the discovery of blind deposits**. Part 2. CIM Bull. v. 75, n. 845, 1982, pp. 113-132.

CARVALHO, P. F. de; PINTO, E. A. Reconhecimento Geológico na Série Assunguy. **Boletim Serviço Geológico e Mineralógico**. Rio de Janeiro, n.71, 1937, pp.1-29.

CHENG, Q. Spatial and scaling modelling for geochemical anomaly separation. **Jornal of Geochemical Exploration**. n. 65, 1999, pp. 175-194.

DAITX, E. C. **Origem e Evolução dos Depósitos Sulfetados Tipo_perau (Pb-Zn-Ag), com base nas Jazidas Canoas e Perau (Vale do Ribeira, PR)**. 1996. 227f. Tese de Doutorado. (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”- Unesp, Rio Claro, 1996.

_____ & VENUSSO, G. C. Geologia Preliminar da jazida Canoas (Pb-Zn-Ag-Ba), Vale do Ribeira, PR. In: Congr. Bras. Geol., 37°, São Paulo, Soc. Bras. Geol., Bol. Res. Expandidos, v 1, 1992, pp. 253-255.

_____ **Origem e evolução dos depósitos sulfetados tipo-Perau (Pb-Zn-Ag), com base nas jazidas Canoas e Perau (Vale do Ribeira, PR)**. Tese Doutorado, IGCE/Unesp, Rio Claro (SP), 451 p. (inédito), 1996.

DAVIS, J.C.; **Statistics and Data Analysis in Geology**. Second Edition. Canadá, 1973, 1986.

EBERT, H. Observações sobre a litologia e sub-divisão do “Grupo Setuva” no Estado do Paraná, com sugestões à tectônica geral do “Geossinclínio Açungui”. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 25., São Paulo. **Anais**. São Paulo: SBG. v.1, 1971, pp.131-146.

FASSBINDER, E. **A Unidade Água Clara no Contexto do Grupo Açungui: Um Modelo Transpressivo de Colisão Oblíqua no Neoproterozóico Paranaense.** 207f. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências – USP, São Paulo, 1996.

_____; MACHADO, R.; FIORI, A. P. Contribuição à Estratigrafia do Grupo Açungui com Base em Isótopos de Oxigênio e Carbono. **Boletim Paranaense de Geociências.** Curitiba, n.47, 1999, pp.143-154.

FIORI, A. P. 1993. O Sistema de Cavalgamento Açungui (PR). **Boletim Paranaense de Geociências.** Curitiba, n.12, 1971, pp.187-208.

_____; CAMARGO, E. C.; MONASTIER, M. S.; LIMA, R. E. **Lineamentos Tectônicos e Possíveis Mineralizações Associadas no Pré-Cambriano Paranaense.** Curitiba: Convênio UFPR/MINEROPAR, v.1, 1984.

_____. **Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui a norte de Curitiba.** 261f. Tese (Livre Docência). Instituto de Geociências – USP, São Paulo, 1991.

_____; SALAMUNI, E. Mapa lito-estrutural da porção sul do Grupo Açungui – PR. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 5., Gramado. **Atas.** Gramado. SBG, 1995, pp.33-35.

FRASCÁ, M. H. B. O; FIGUEIREDO, M. C. H.; ALMEIDA, M. A.; COUTINHO, J. M. V. Petrologia e Geoquímica da Formação Água Clara – Região de Araçáiba, SP. **Boletim do Instituto de Geociências – USP, Série Científica.** São Paulo, n.21, 1990, pp.73-92.

FRITZSONS JR, O.; PIERKARZ, G. F.; FALCADE, D. Geologia e potencial econômico do Grupo Açungui (PR). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32., Salvador. **Anais.** Salvador: SBG. v.3, 1982, pp.987-1001.

FRIZZO, S. J.; LICHT, O. A. B. Estatística Uni e Bivariadas aplicadas à prospecção geoquímica. In: LICHT, O. A. B.; MELLO, C. S. B.; SILVA, C. R. (Orgs.) **Prospecção Geoquímica: Depósitos minerais metálicos, não-metálicos, óleo e gás.** Editora Planeta Terra, Sociedade Brasileira de Geoquímica. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, 2007.

FUCK, R. A.; MARINI, O. J.; TREIN, E.; MURATORI, A. Geologia do Leste Paranaense. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 25., São Paulo. **Anais.** São Paulo: SBG. v.1, 1971, pp.121-130.

GOODFELLOW, W.D.; LYDON, W. Sedimentary Exhalative (SEDEX) Deposits. Geological Survey of Canada, Ottawa, Ontario, Mineral Deposits Division, Special Publication No. 5, 2007, pp. 163-183.

HUNT, B. Lead and zinc costs: Mines and projects, 2006 Edition: Surrey, England, Brook Hunt and Associates Ltd, 2006.

FILHO, H. J. P.; **Caracterização Geológica e Petrogenética do Batólito Granítico Três Córregos (PR-SP): Geoquímica Isotópica (Nd-Sr-Pb), Idades (ID-TIMS / SHRIMP) e $\delta^{18}\text{O}$ em zircão.** 2005. 245 fls. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica. Universidade de São Paulo – USP, SP, 2005.

FUCK, R. A.; MARINI, O. J.; TREIN, E. Contribuição aos estudos das rochas graníticas do estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências.** Curitiba, n.23/25, 1967, pp.183-219.

HAWKES, H.E; WEBB, J.S. **Geochemistry in Mineral Exploration.** New York 7 Harper; 1962.

JICA/MMAJ **Report on Geological Survey of Anta Gorda, Brazil: Phase IV.** Acordo Coop. Tecn. Brasil-Japão, DNPM/MMAJ, Tokyo, (inédito), 1984.

_____ **Report on Geological Survey of Anta Gorda, Brazil: Phase II.** Acordo Coop. Tecn. Brasil-Japão, DNPM/MMAJ, Tokyo, 1981.

_____ **Report on Geological Survey of Anta Gorda, Brazil: Phase II.** Acordo Coop. Tecn. Brasil-Japão, DNPM/MMAJ, Tokyo, 1982.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis.** 3 ed. New Jersey: Prantice Hall, 1992.

LANDIM, P.M B. Análise estatística de dados geológicos multivariados: Oficina de textos, São Paulo, 2011.

_____ & CORSI, A. C. **Cálculo de Superfícies de Tendência, por Regressão Polinomial**, pelo SURFER 6. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Laboratório. Geomatemática, Texto Didático 05, 2001. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 08 dez 11

LITCH, O. A. B. **Prospecção Geoquímica, princípios, técnicas e métodos**. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM (Serviço Geológico do Brasil), Rio de Janeiro, 1998.

_____ **A geoquímica multielementar na gestão ambiental. Identificação e caracterização de províncias geoquímicas naturais, alterações antrópicas da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no estado do Paraná, Brasil**. 2001. 209 fls. Tese de doutorado (Doutorado em Geologia Ambiental, setor de Ciências da Terra) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

LOPES, O. F. Faixa do Perau: uma unidade faciológica e tectono-metamórfica do Grupo Açungui. **Revista Brasileira de Geociências**. v.13, n.3, 1983, pp.190-203.

MAACK, R. Breves notícias sobre a Geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**. Curitiba, v.2, 1947, pp.63-154.

MAGALHÃES, M. N. & LIMA, A. C. P. Noções de Probabilidade e Estatística. 3ª. ed. Instituto de Matemática e Estatística (IME-USP)– Universidade de São Paulo, 2001.

MARINI, O. J.; TREIN, E.; FUCK, R. A. O Grupo Açungui no Estado do Paraná. In: Geologia do Pré-Devoniano e Intrusivas Subseqüentes da Porção Oriental do Estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**. Curitiba, n.23/25, 1967, pp.221-235.

MARINI, O. J. **Geologia da Folha de Rio Branco do Sul – PR**. Rio Claro. 190f. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro – UNESP, Rio Claro, 1970.

MINEROPAR. Minerais do Paraná S/A. **Atlas Geológico do Estado do Paraná**. CD-ROM, 116p. Curitiba - PR, 2001.

MURATORI, A; FUCK, R. A.; BIGARELLA, J. J. Contribuição ao estudo da Formação Camarinha. **Boletim Paranaense de Geociências**. Curitiba, n.23/25, 1967, pp.221-255.

NACKOWSKI, M. P.; MARDIROSIAN, C. A.; BOTBOL, J. Trend surface analysis of trace chemical data, Park City District, Utah. **Economic Geology**, vol. 62, 1967, pp. 1072 – 1087.

OLIVEIRA, A. I.; LEONARDOS, O. H. **Geologia do Brasil**. Serviço de Informação Agrícola, Ministério da Agricultura, 1^a ed. Rio de Janeiro, v.2, 1943.

PONTES, J. B. Geologia da área de Palmeirinha – Sengés (PR). **Relatório interno da MINEROPAR**. Curitiba, Paraná, 1980.

_____. Geologia e Potencialidades Econômicas da Formação Água Clara (PR). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32., Salvador. **Anais**. Salvador: SBG. v.3, 1982, pp.1002-1016.

POPP, J. H.; ANGULO, R. J.; BIGARELLA, J. J. Geologia. In: BIGARELLA, J.J.; PASSOS, E.; POPP, J. H.; ANGULO, R. J. **Recursos Naturais, Folha Ouro Fino**. Curitiba: COMEC, 1979, pp. 22-26.

PIERKARZ, G.F. Reconhecimento de Unidades Correlacionáveis à Sequência Mineralizada do Perau, Estado do Paraná. In: **Simpósio Regional de Geologia**, 3, Curitiba, SBG, p. 350, 1981.

_____. Geologia e resultados preliminares da pesquisa mineral no núcleo Betara da Formação Perau (PR). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Geologia, **Anais**, v. VIII, 1984, pp. 3683-3696.

RAMALHO, R.; HAUSEN, J. E. P. **Projeto Sudelpa**: relatório final – geomorfologia. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Diretoria da área de pesquisa. v. XII, São Paulo, 1975.

REIMANN, C.; GARRETT, R. Geochemical background, concept and reality. **Elsevier Journal**, 2005. Disponível em: www.elsevier.com/locate/scitotenv. Acesso em: 10 ago 2011.

REIS NETO, J. M.; SOARES, P. C. Um Estudo de Caracterização Termo-dinâmico de Microestruturas dos Grupos Açungui e Setuva (PR). In: Simpósio Sul Brasileiro de Geologia, 3., Curitiba. **Atas...** Curitiba: SBG. v.1, 1987, pp.147-165.

REYMENT, R. A.; SAVAZZI, E. **Aspects of Multivariate Statical Analysis in Geology**. Editora Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 1999.

ROSE, A. W.; HAWKES, H.E.; WEBB, J.S. **Geochemistry in mineral exploration**. 2 ed. New York: Academic Press, 1979.

SCHÖLL, W. U.; LOPES, O. F. ANDRADE E SILVA, A. C. G. PROZZI, C. R. Geologia do Pré-Cambriano da região do Anticlinal do Setuva (municípios de Bocaiúva do Sul e Rio Branco do Sul, PR). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 31., Balneário Camboriú. **Anais**. Balneário Camboriú: SBG. v.5, 1980, pp.3003-3012.

SCHÖLL, W. U. Geologia do Grupo Açungui na região a Nordeste de Rio Branco do Sul – PR. In: Simpósio Regional de Geologia, 3., Curitiba. **Atas**. Curitiba: SBG. v.1, 1981, pp.155-169.

SILVA, L. G. F. C. Geologia e Potencial Metalogenético do Flanco oeste da antiforma Perau – (Adrianópolis, PR). Trabalho de conclusão de curso, Universidade Estadual Paulista, 2008, pp.115.

SINCLAIR, A. J.; Trend Surface Analysis of Minor Elements in Sulfides of the Slocan Mining Camp, British Columbia, Canadá. **Economic Geology**, vol. 62, 1967, pp. 1095 – 1101.

SOARES, P. C. Sequências tecto-sedimentares e tectônica deformadora no centro-oeste do escudo paranaense. In: Simpósio Brasileiro de Geologia, 3., Curitiba. **Atas**. Curitiba: SBG. v.2. 1987, pp.743-771.

SUSLICK, S. B., **Estudo metodológico de técnicas estatísticas para análise de dados geoquímicos**. 116fls. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - USP, SP, 1978.

SURFER. **Sistema de mapeamento de superfície**. For Windows. Versão 8.0. Golden Software, Inc. Colorado, USA, 2002.

TAKAHASHI, et al. Projeto integração e detalhe no Vale do Ribeira, área Ribeirão do Perau. São Paulo, Convênio DNPM/CPRM, p. 137, 1981.

VENUSSO, G. **Mapas geológicos das áreas Canoas, Salvador e Epitáceo**. Plumbum S.A. Miner. Metal., Adrianópolis, escala 1:5.000 (inédito), 1990.

WACKERNAGEL, H. Multivariate Geostatistics: An introduction with applications. Editora: Springer, Berlin, 1995.

WARREN, H. V., DELAVault, R.E. Pathfind elements in geochemical prospecting. In: Congreso Geológico Internacional, 20, 1958. Ciudad de Mexico. **Anais Simpósio de Exploración Geoquímica**. Ciudad de Mexico, pp. 255-260, 1958., pg 255-260.

ZHANG, C.S., Selinus, O. Statistics and GIS in environmental geochemistry – some problems and solutions. **Journal of Geochemical Exploration**. N. 64, 1998, pp. 339-354.

APÊNDICE - 01

Estatísticas descritivas do banco de dados completo de sedimento de corrente.

Estatística	Au	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	S
No. de observações	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00
Mínimo	0.00	1300.00	50.00	700.00	100.00	50.00	50.00	50.00
Máximo	0.03	40800.00	44500.00	97200.00	12900.00	32400.00	300.00	1700.00
1° Quartil	0.00	12000.00	1100.00	27300.00	600.00	1800.00	50.00	100.00
Mediana	0.00	16600.00	1800.00	33900.00	2300.00	4200.00	100.00	200.00
3° Quartil	0.00	20800.00	2500.00	40700.00	3800.00	6800.00	100.00	400.00
Média	0.00	16583.63	1983.27	34162.26	2608.79	4816.69	91.53	273.51
Variância (n-1)	0.00	40694590.53	3328692.71	167083578.43	5395410.96	15211831.67	2091.27	43302.86
Desvio-padrão (n-1)	0.00	6379.23	1824.47	12926.08	2322.80	3900.23	45.73	208.09

Estatística	Ti	Ag	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Co
No. de observações	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00
Mínimo	50.00	0.10	1.00	5.00	10.00	0.25	1.00	0.25	0.50
Máximo	3100.00	48.40	211.00	20.00	1560.00	3.50	7.00	1.20	72.00
1° Quartil	400.00	0.10	1.00	5.00	70.00	0.25	1.00	0.25	11.00
Mediana	800.00	0.10	3.00	5.00	115.00	0.60	1.00	0.25	16.00
3° Quartil	1100.00	0.10	6.00	5.00	180.00	0.90	1.00	0.25	22.00
Média	815.16	0.16	6.92	5.37	141.86	0.68	1.25	0.26	16.66
Variância (n-1)	273773.18	1.89	236.35	1.84	17247.13	0.16	0.33	0.00	82.19
Desvio-padrão (n-1)	523.23	1.37	15.37	1.36	131.33	0.40	0.57	0.07	9.07

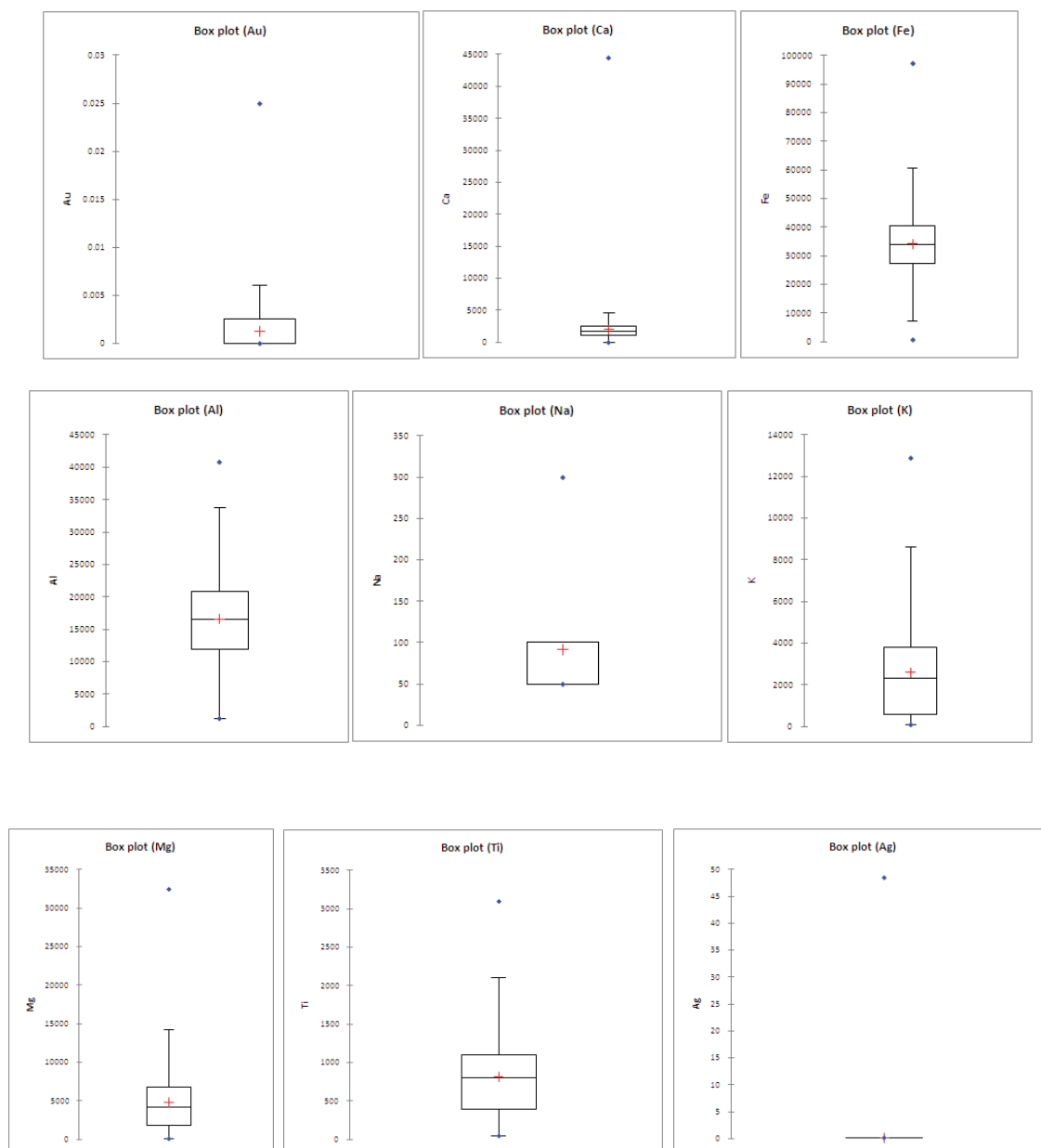
Estatística	Cr	Cu	Ga	Hg	La	Mn	Mo	Ni	P	Pb
No. de observações	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00
Mínimo	2.00	1.00	5.00	0.50	5.00	5.00	0.50	0.50	10.00	1.00
Máximo	306.00	318.00	10.00	2.00	90.00	16750.00	2.00	126.00	2720.00	1060.00
1° Quartil	28.00	23.75	5.00	0.50	10.00	498.50	0.50	16.00	250.00	7.00
Mediana	40.00	37.00	10.00	0.50	20.00	802.00	0.50	24.00	360.00	11.00
3° Quartil	53.00	55.00	10.00	1.00	20.00	1300.00	0.50	32.00	520.00	16.00
Média	44.22	42.85	8.39	0.64	16.44	1045.79	0.61	25.00	426.77	19.39
Variância (n-1)	770.90	882.92	5.46	0.06	75.99	1185862.23	0.05	203.99	86560.72	3295.50
Desvio-padrão (n-1)	27.77	29.71	2.34	0.25	8.72	1088.97	0.22	14.28	294.21	57.41

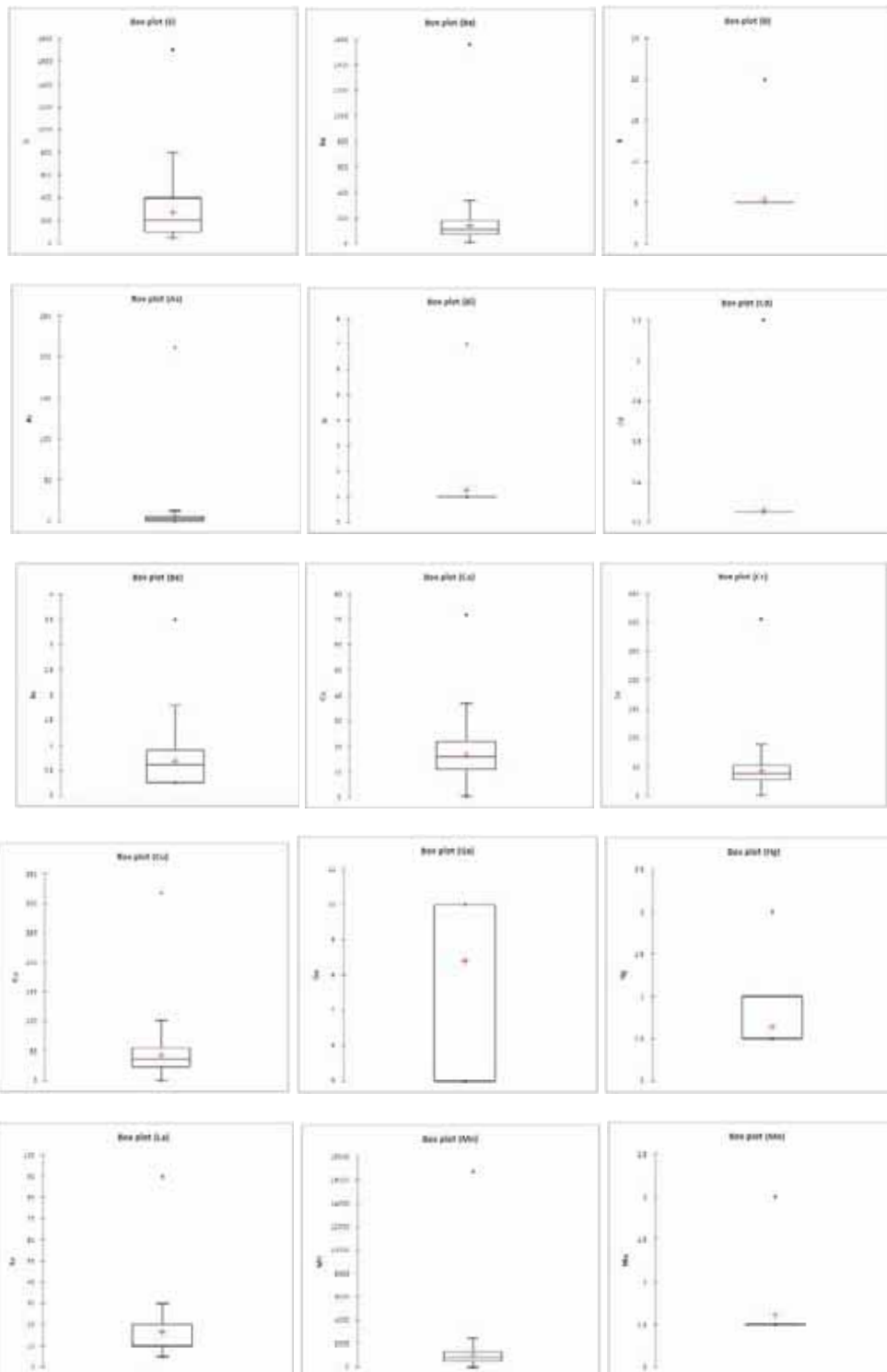
Estatística	Sb	Sc	Sr	Th	Tl	V	W	Zn
No. de observações	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00	1240.00
Mínimo	1.00	0.50	1.00	10.00	5.00	2.00	5.00	2.00
Máximo	10.00	27.00	70.00	40.00	10.00	484.00	10.00	585.00
1° Quartil	1.00	5.00	7.00	10.00	5.00	45.00	5.00	32.00
Mediana	1.00	7.00	10.00	10.00	5.00	66.00	5.00	44.00
3° Quartil	1.00	10.00	15.00	10.00	5.00	92.00	5.00	56.00
Média	1.11	7.47	12.16	10.15	5.03	73.12	5.01	48.71
Variância (n-1)	0.19	17.30	59.82	3.21	0.14	1857.62	0.06	1828.81
Desvio-padrão (n-1)	0.43	4.16	7.73	1.79	0.37	43.10	0.25	42.76

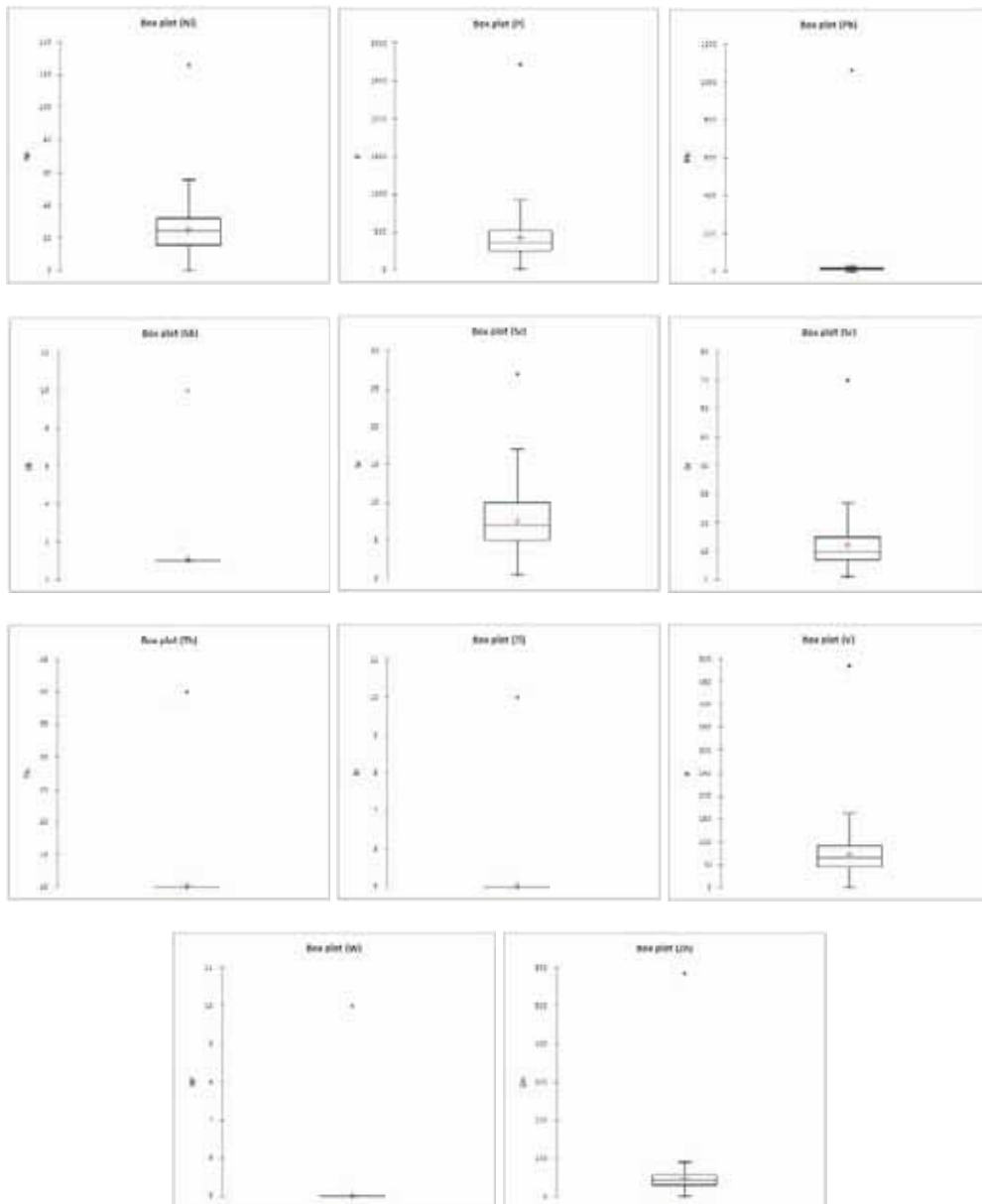
APÊNDICE - 02

Histogramas e Box Plot das amostras de sedimento de corrente do Grupo-1

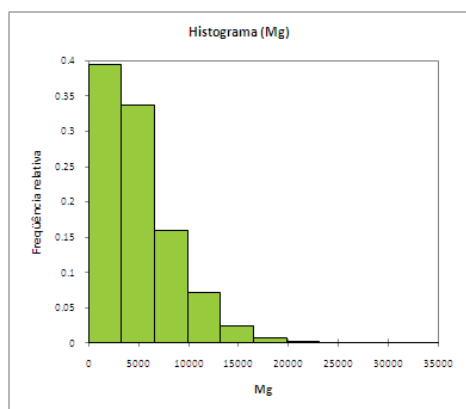
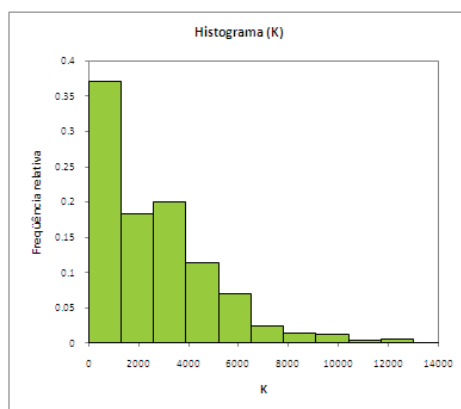
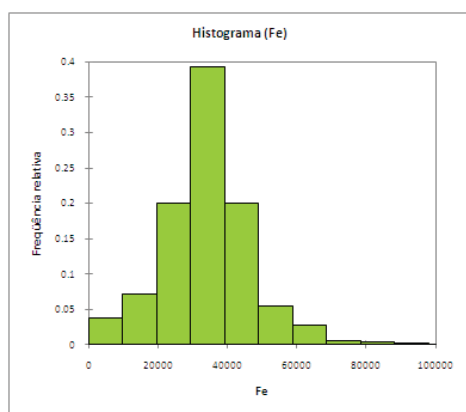
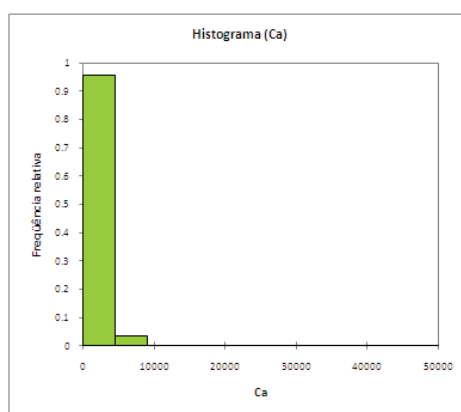
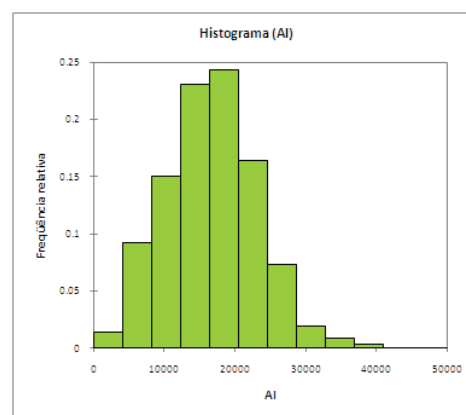
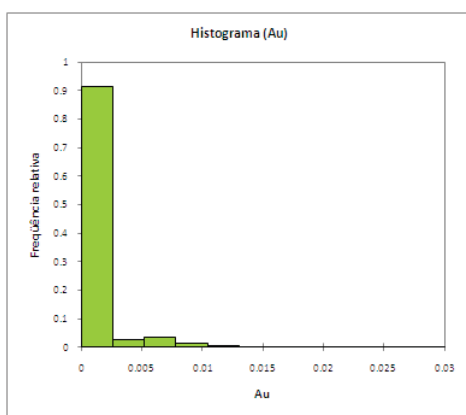
Gráficos Box Plot

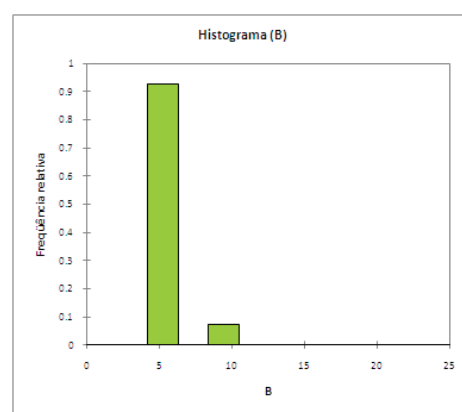
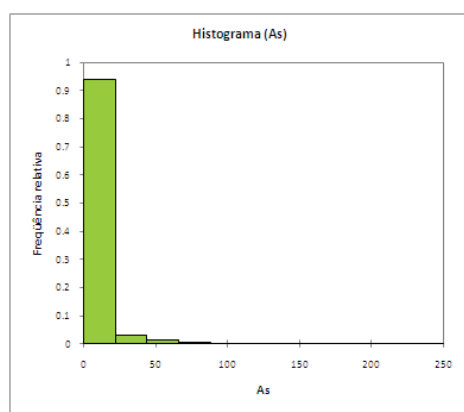
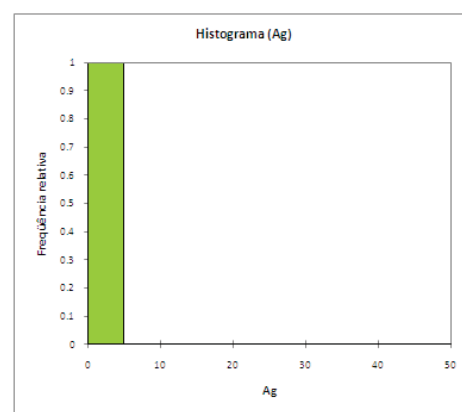
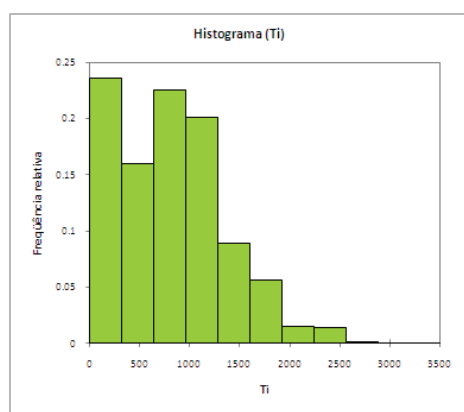
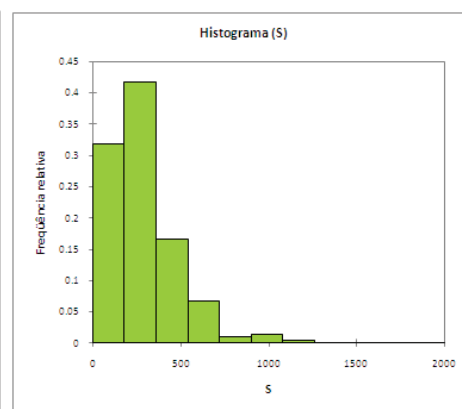
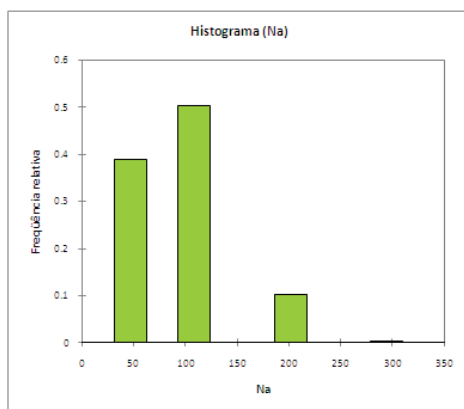


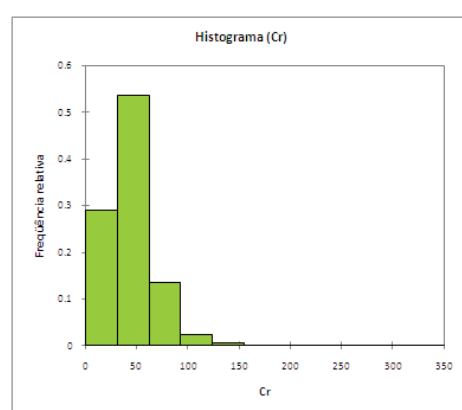
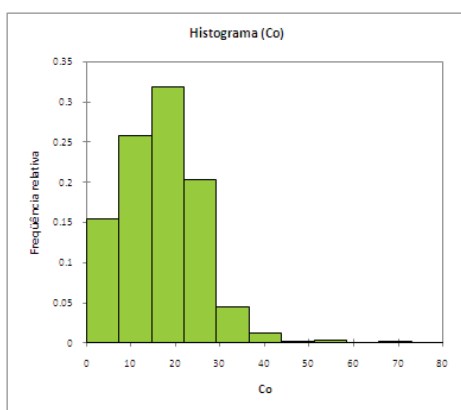
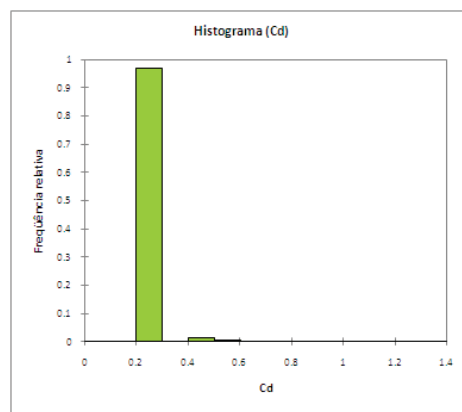
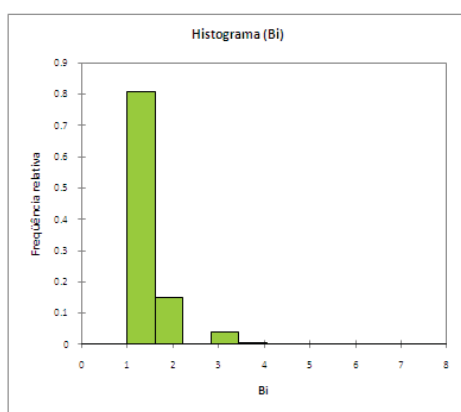
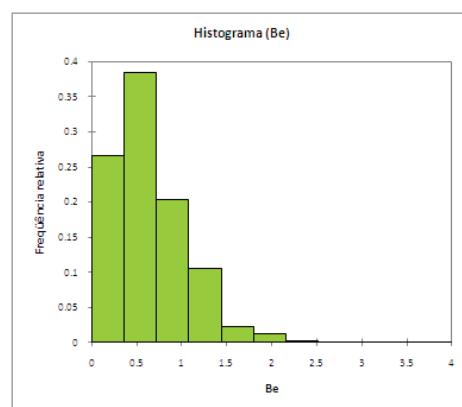
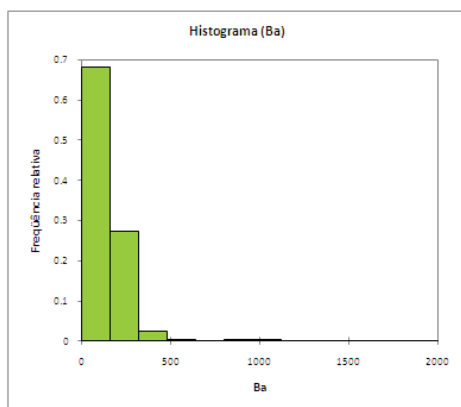


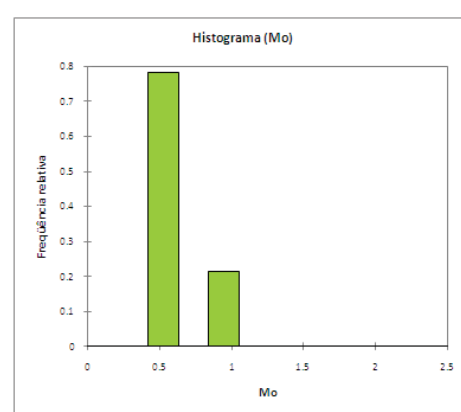
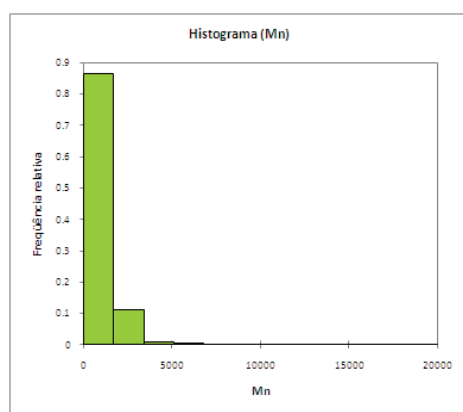
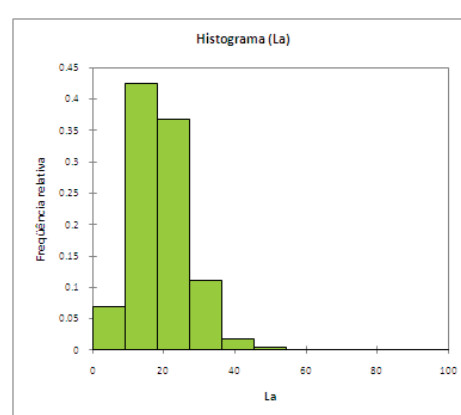
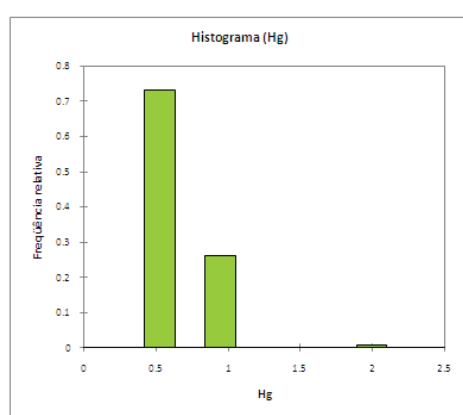
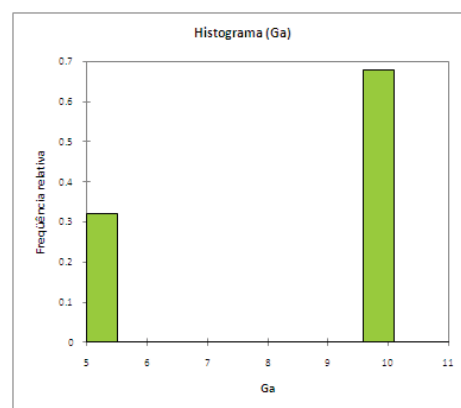
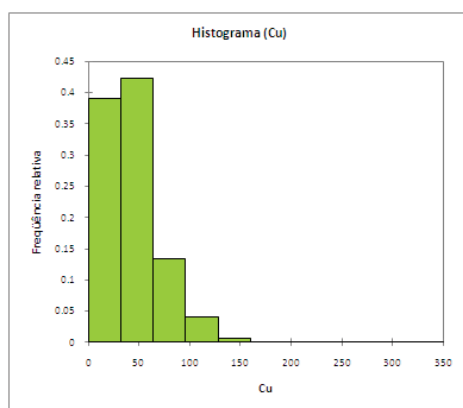


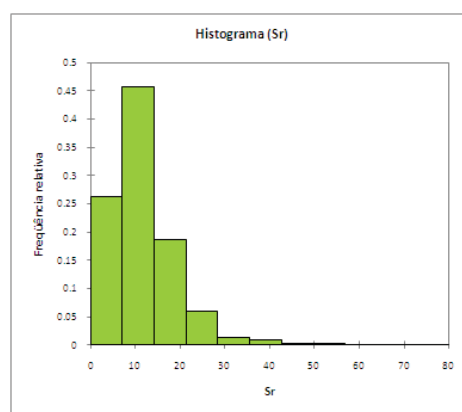
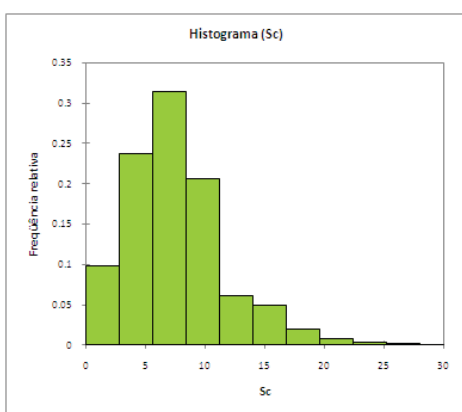
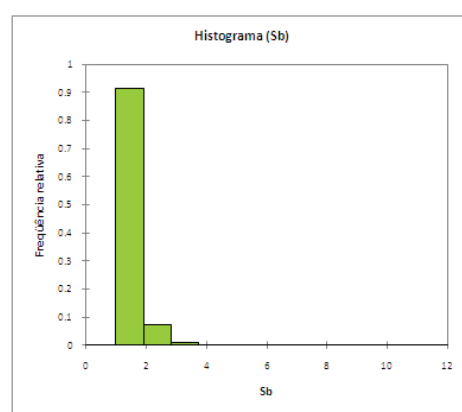
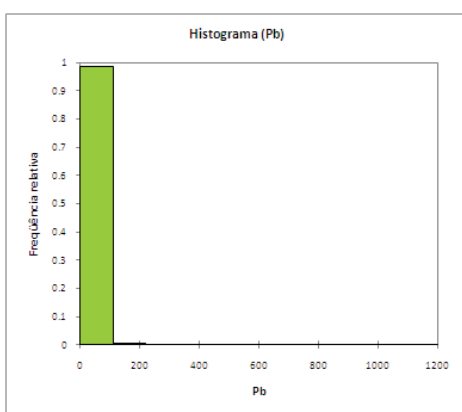
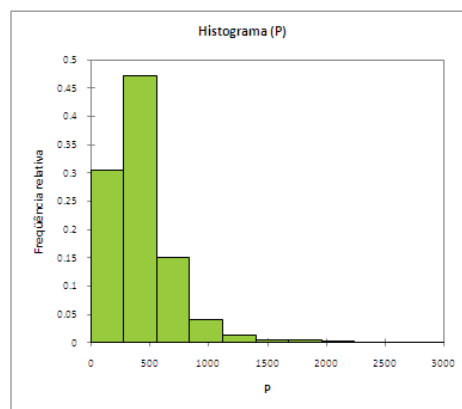
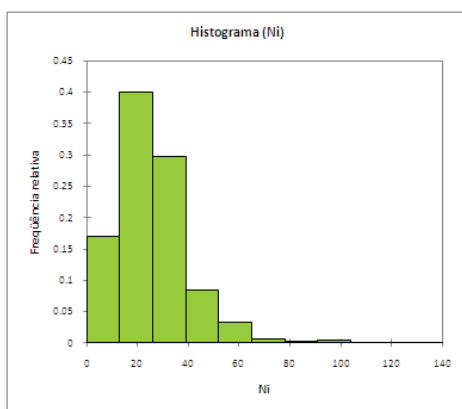
APÊNDICE - 03 - HISTOGRAMAS

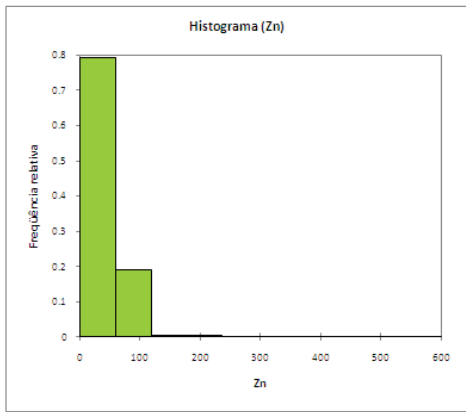
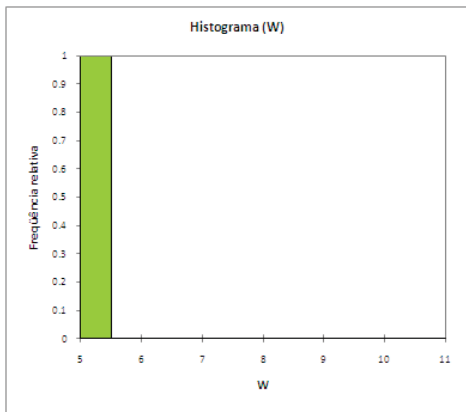
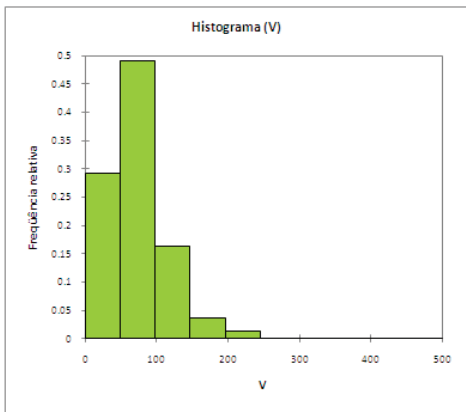
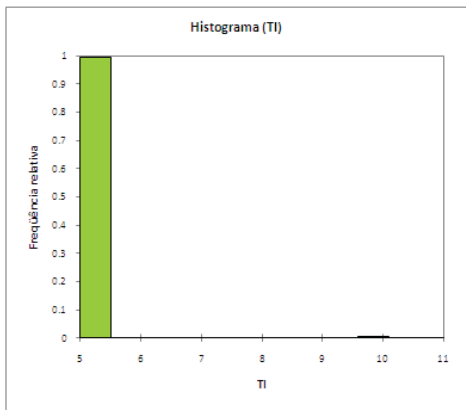
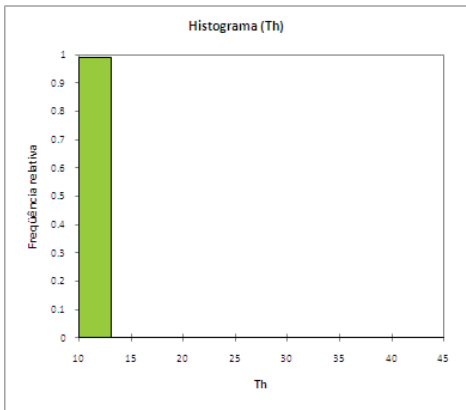












Análise dos Componentes Principais (ACP) - Área depósito Canoas:

Variáveis	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	S	Ti	Ag	As	B	Ba	Be	Bi	Co	Cr	Cu	Ga	Hg	La	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Sb ₋	Sc	Sr	V	Zn
Al	1	0,710	0,802	0,536	0,854	0,486	0,402	0,796	0,446	0,098	-0,222	0,563	0,611	0,388	0,497	0,343	0,505	0,621	0,110	0,059	0,259	0,356	0,532	0,299	0,505	0,166	0,692	0,559	0,545	0,528
Ca	0,710	1	0,370	0,251	0,717	0,621	0,533	0,664	0,363	-0,059	-0,731	0,437	0,077	0,358	0,464	0,411	0,358	0,381	0,343	-0,343	0,112	0,318	0,638	0,404	0,400	0,187	0,513	0,542	0,469	0,448
Fe	0,802	0,370	1	0,370	0,527	0,309	0,242	0,502	0,360	0,230	0,066	0,471	0,556	0,416	0,656	0,125	0,654	0,659	0,042	0,179	0,284	0,198	0,330	0,206	0,478	-0,065	0,890	0,342	0,761	0,458
K	0,536	0,251	0,370	1	0,785	0,539	0,248	0,751	0,630	0,483	0,016	0,703	0,347	0,486	0,115	-0,024	0,564	0,238	-0,177	-0,162	0,055	0,200	0,566	0,184	0,672	0,404	0,094	0,057	0,059	0,689
Mg	0,854	0,717	0,527	0,785	1	0,615	0,424	0,933	0,623	0,282	-0,294	0,733	0,394	0,447	0,355	0,185	0,554	0,372	0,080	-0,175	0,225	0,291	0,632	0,273	0,658	0,430	0,399	0,314	0,322	0,697
Na	0,486	0,621	0,309	0,539	0,615	1	0,164	0,503	0,398	0,438	-0,562	0,385	0,007	0,574	0,283	0,087	0,540	0,349	0,347	-0,473	-0,004	0,376	0,703	0,408	0,443	0,035	0,286	0,255	0,319	0,486
S	0,402	0,533	0,242	0,248	0,424	0,164	1	0,513	0,574	-0,147	-0,204	0,681	-0,081	0,318	0,362	0,014	0,424	0,087	-0,130	-0,360	-0,296	0,272	0,360	0,534	0,656	0,460	0,284	0,363	0,487	0,622
Ti	0,796	0,664	0,502	0,751	0,933	0,503	0,513	1	0,705	0,288	-0,271	0,807	0,342	0,458	0,247	0,103	0,590	0,345	0,140	-0,199	0,062	0,356	0,549	0,159	0,726	0,492	0,379	0,298	0,333	0,746
Ag	0,446	0,363	0,360	0,630	0,623	0,398	0,574	0,705	1	0,564	-0,164	0,879	0,053	0,727	0,247	-0,088	0,719	0,070	-0,177	-0,389	-0,178	0,341	0,481	0,315	0,915	0,369	0,251	0,029	0,366	0,930
As	0,098	-0,059	0,230	0,483	0,282	0,438	-0,147	0,288	0,564	1	0,030	0,426	0,020	0,413	0,043	-0,315	0,619	-0,020	0,135	-0,207	-0,117	-0,004	0,317	0,031	0,502	0,034	0,064	-0,313	0,125	0,494
B	-0,222	-0,731	0,066	0,016	-0,294	-0,562	-0,204	-0,271	-0,164	0,030	1	-0,040	0,171	-0,322	-0,116	-0,394	-0,037	-0,120	-0,444	0,323	-0,023	-0,305	-0,395	-0,154	-0,077	0,204	-0,122	-0,427	-0,085	-0,132
Ba	0,563	0,437	0,471	0,703	0,733	0,385	0,681	0,807	0,879	0,426	-0,040	1	0,046	0,555	0,414	-0,124	0,779	0,200	-0,127	-0,417	-0,073	0,226	0,506	0,343	0,966	0,534	0,365	0,036	0,503	0,959
Be	0,611	0,077	0,556	0,347	0,394	0,007	-0,081	0,342	0,053	0,020	0,171	0,046	1	0,105	0,009	0,393	-0,001	0,470	-0,028	0,716	0,274	0,263	0,078	-0,020	-0,015	-0,190	0,244	0,497	-0,062	0,003
Bi	0,388	0,358	0,416	0,486	0,447	0,574	0,318	0,458	0,727	0,413	-0,322	0,555	0,105	1	0,285	0,047	0,628	0,112	-0,098	-0,271	-0,046	0,550	0,467	0,336	0,704	-0,066	0,325	0,106	0,365	0,732
Co	0,497	0,464	0,656	0,115	0,355	0,283	0,362	0,247	0,247	0,043	-0,116	0,414	0,009	0,285	1	-0,040	0,491	0,445	-0,024	-0,208	-0,462	-0,071	0,303	0,512	0,420	0,015	0,735	0,011	0,803	0,405
Cr	0,343	0,411	0,125	-0,024	0,185	0,087	0,014	0,103	-0,088	-0,315	-0,394	-0,124	0,393	0,047	-0,040	1	-0,169	0,336	0,001	0,212	-0,042	0,219	0,425	-0,070	-0,156	-0,177	0,197	0,736	-0,108	-0,081
Cu	0,505	0,358	0,654	0,564	0,554	0,540	0,424	0,590	0,719	0,619	-0,037	0,779	-0,001	0,628	0,491	-0,169	1	0,202	0,090	-0,371	-0,178	0,203	0,596	0,229	0,844	0,310	0,625	0,003	0,711	0,814
Ga	0,621	0,381	0,659	0,238	0,372	0,349	0,087	0,345	0,070	-0,020	-0,120	0,200	0,470	0,112	0,445	0,336	0,202	1	0,242	0,092	0,304	0,204	0,276	0,305	0,125	-0,211	0,572	0,468	0,418	0,157
Hg	0,110	0,343	0,042	-0,177	0,080	0,347	-0,130	0,140	-0,177	0,135	-0,444	-0,127	-0,028	-0,098	-0,024	0,001	0,090	0,242	1	0,046	-0,054	0,163	0,096	-0,061	-0,161	-0,142	0,138	0,188	0,095	-0,159
La	0,059	-0,343	0,179	-0,162	-0,175	-0,473	-0,360	-0,199	-0,389	-0,207	0,323	-0,417	0,716	-0,271	-0,208	0,212	-0,371	0,092	0,046	1	0,325	-0,021	-0,439	-0,334	-0,458	-0,393	-0,006	0,247	-0,296	-0,461
Mn	0,259	0,112	0,284	0,055	0,225	-0,004	-0,296	0,062	-0,178	-0,117	-0,023	-0,073	0,274	-0,046	0,462	-0,042	-0,178	0,304	-0,054	0,325	1	-0,174	-0,274	0,017	-0,115	-0,290	0,239	-0,162	0,094	-0,085
Mo	0,356	0,318	0,198	0,200	0,291	0,376	0,272	0,356	0,341	-0,004	-0,305	0,226	0,263	0,550	-0,071	0,219	0,203	0,204	0,163	-0,021	-0,174	1	0,224	0,081	0,293	-0,120	0,117	0,371	0,091	0,321
Ni	0,532	0,638	0,330	0,566	0,632	0,703	0,360	0,549	0,481	0,317	-0,395	0,506	0,078	0,467	0,303	0,425	0,596	0,276	0,096	-0,439	-0,274	0,224	1	0,371	0,519	0,385	0,356	0,350	0,290	0,565
P	0,299	0,404	0,206	0,184	0,273	0,408	0,534	0,159	0,315	0,031	-0,154	0,343	-0,020	0,336	0,512	-0,070	0,229	0,305	-0,061	-0,334	-0,334	0,017	0,081	1	0,368	0,038	0,159	0,167	0,366	0,391
Pb	0,505	0,400	0,478	0,672	0,658	0,443	0,636	0,726	0,915	0,502	-0,077	0,966	-0,015	0,704	0,420	-0,156	0,844	0,125	-0,161	-0,458	-0,115	0,293	0,519	0,368	1	0,411	0,387	-0,006	0,544	0,990
Sb ₋	0,166	0,187	-0,065	0,404	0,430	0,035	0,460	0,492	0,369	0,034	0,204	0,534	-0,190	-0,066	0,015	-0,177	0,310	-0,211	-0,142	-0,393	-0,290	-0,120	0,385	0,038	0,411	1	-0,033	-0,167	0,067	0,410
Sc	0,692	0,513	0,890	0,094	0,399	0,286	0,284	0,379	0,251	0,064	-0,122	0,365	0,244	0,325	0,735	0,197	0,625	0,572	0,138	-0,006	0,239	0,117	0,356	0,159	0,387	-0,033	1	0,341	0,889	0,374
Sr	0,559	0,542	0,342	0,057	0,314	0,255	0,363	0,298	0,029	-0,313	-0,427	0,036	0,497	0,106	0,011	0,736	0,003	0,468	0,188	0,247	-0,162	0,371	0,350	0,167	-0,006	-0,167	0,341	1	0,160	0,030
V	0,545	0,469	0,761	0,059	0,322	0,319	0,487	0,333	0,366	0,125	-0,085	0,503	-0,062	0,365	0,803	-0,108	0,711	0,418	0,095	-0,296	0,094	0,091	0,290	0,366	0,544	0,067	0,889	0,160	1	0,505
Zn	0,528	0,448	0,458	0,689	0,697	0,486	0,622	0,746	0,930	0,494	-0,132	0,959	0,003	0,732	0,405	-0,081	0,814	0,157	-0,159	-0,461	-0,085	0,321	0,565	0,391	0,990	0,410	0,374	0,030	0,505	1

Análise dos Componentes Principais (ACP) - Área depósito Peraur:

Variáveis	Ag	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	S	Ti	As	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Ga	Hg	La	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Sb	Sc	Sr	V	Zn	
Ag	1	0.616	0.482	-0.210	0.312	0.609	0.883	0.816	0.265	0.582	0.965	0.326	0.476	0.854	0.411	0.391	0.675	0.116	-0.007	0.436	0.644	-0.249	0.038	0.449	0.961	-0.116	-0.232	0.604	-0.310	0.989	
Al	0.616	1	0.555	0.148	0.578	0.779	0.720	0.700	0.514	0.393	0.673	0.487	0.130	0.426	0.477	0.632	0.534	0.454	0.091	0.416	0.505	-0.097	0.365	0.718	0.616	-0.181	-0.001	0.865	-0.079	0.658	
Ca	0.482	0.555	1	-0.563	-0.047	0.314	0.600	0.637	-0.196	0.303	0.472	-0.088	0.192	0.365	0.019	0.862	-0.400	0.056	0.233	0.323	0.613	-0.404	-0.296	0.358	0.474	0.054	-0.493	0.683	-0.629	0.477	
Fe	-0.210	0.148	-0.563	1	0.323	0.079	-0.192	-0.173	0.506	-0.283	-0.184	0.296	-0.187	-0.260	0.615	-0.418	0.401	0.407	-0.069	-0.149	-0.452	0.399	0.898	0.024	-0.185	-0.290	0.914	0.078	0.917	-0.188	
K	0.312	0.578	-0.047	0.323	1	0.901	0.226	0.378	0.966	0.077	0.412	0.855	0.102	0.256	0.326	-0.102	0.618	0.193	-0.149	0.462	0.214	0.241	0.424	0.871	0.338	-0.035	0.036	0.362	0.251	0.359	
Mg	0.609	0.779	0.314	0.079	0.901	1	0.569	0.703	0.829	0.289	0.699	0.816	0.218	0.498	0.367	0.212	0.687	0.207	-0.083	0.588	0.494	0.049	0.283	0.932	0.620	-0.019	-0.158	0.592	-0.033	0.659	
Na	0.883	0.720	0.600	-0.192	0.226	0.569	1	0.830	0.167	0.568	0.931	0.310	0.250	0.594	0.414	0.577	0.545	0.182	0.066	0.451	0.698	-0.391	0.053	0.452	0.916	-0.182	-0.224	0.704	-0.369	0.894	
S	0.816	0.700	0.637	-0.173	0.378	0.703	0.830	1	0.304	0.528	0.834	0.495	0.412	0.701	0.353	0.493	0.541	0.180	0.019	0.547	0.738	-0.346	0.042	0.643	0.803	-0.180	-0.246	0.688	-0.333	0.843	
Ti	0.265	0.514	-0.196	0.506	0.966	0.829	0.167	0.304	1	-0.027	0.352	0.828	0.097	0.232	0.462	-0.248	0.707	0.247	-0.147	0.332	0.082	0.333	0.599	0.764	0.279	-0.075	0.249	0.313	0.456	0.317	
As	0.582	0.393	0.303	-0.283	0.077	0.289	0.568	0.528	-0.027	1	0.582	0.245	0.312	0.513	-0.087	0.406	0.150	0.105	-0.200	0.200	0.570	0.703	-0.226	-0.348	0.333	0.571	0.062	-0.443	0.158	-0.558	0.568
Ba	0.965	0.673	0.472	-0.184	0.412	0.699	0.931	0.834	0.352	0.582	1	0.448	0.338	0.739	0.399	0.387	0.693	0.128	0.022	0.512	0.694	-0.230	0.051	0.553	0.985	-0.107	-0.262	0.626	-0.317	0.970	
Be	0.326	0.487	-0.088	0.296	0.855	0.816	0.310	0.495	0.828	0.245	0.448	1	0.051	0.218	0.243	-0.164	0.570	0.144	-0.201	0.631	0.287	0.214	0.316	0.811	0.384	-0.046	-0.031	0.247	0.144	0.367	
Bi	0.476	0.130	0.192	-0.187	0.102	0.218	0.250	0.412	0.097	0.312	0.338	0.051	1	0.689	0.136	0.130	0.229	0.045	-0.169	0.187	0.364	-0.098	-0.056	0.164	0.316	-0.045	-0.124	0.182	-0.169	0.489	
Cd	0.854	0.426	0.365	-0.260	0.256	0.498	0.594	0.701	0.232	0.513	0.739	0.218	0.689	1	0.231	0.277	0.565	0.092	-0.053	0.378	0.512	-0.198	-0.040	0.348	0.705	-0.092	-0.259	0.415	-0.296	0.864	
Co	0.411	0.477	0.019	0.615	0.326	0.367	0.414	0.353	0.462	-0.087	0.399	0.243	0.136	0.231	1	-0.050	0.771	0.384	0.108	-0.130	0.119	0.136	0.804	0.240	0.408	-0.327	0.657	0.474	0.605	0.408	
Cr	0.391	0.632	0.862	-0.418	-0.102	0.212	0.577	0.493	-0.248	0.406	0.387	-0.164	0.130	0.277	-0.050	1	-0.167	0.240	0.206	0.270	0.538	-0.462	-0.228	0.238	0.371	-0.035	-0.400	0.702	-0.606	0.405	
Cu	0.675	0.534	-0.040	0.401	0.618	0.687	0.545	0.541	0.707	0.150	0.693	0.570	0.229	0.565	0.771	-0.167	1	0.260	-0.101	0.214	0.236	0.213	0.604	0.492	0.655	-0.177	0.330	0.411	0.387	0.700	
Ga	0.116	0.454	0.056	0.407	0.193	0.207	0.182	0.180	0.247	0.105	0.128	0.144	0.045	0.092	0.384	0.240	0.260	1	0.169	0.243	0.142	0.098	0.430	0.198	0.111	0.045	0.320	0.349	0.249	0.147	
Hg	-0.007	0.091	0.233	-0.069	-0.149	-0.083	0.066	0.019	-0.147	-0.200	0.022	-0.201	-0.169	-0.053	0.108	0.206	-0.101	0.169	1	-0.166	0.162	-0.042	-0.019	-0.089	0.063	-0.169	-0.011	0.205	-0.069	-0.008	
La	0.436	0.416	0.323	-0.302	0.452	0.588	0.451	0.547	0.332	0.570	0.512	0.631	0.187	0.378	-0.130	0.270	0.214	0.243	-0.166	1	0.639	-0.060	-0.259	0.681	0.456	0.187	-0.581	0.246	-0.474	0.454	
Mn	0.644	0.505	0.613	-0.418	0.214	0.494	0.698	0.738	0.082	0.703	0.694	0.287	0.364	0.512	0.119	0.538	0.236	0.142	0.162	0.639	1	-0.284	-0.309	0.571	0.677	0.011	-0.543	0.427	-0.593	0.645	
Mo	-0.249	-0.097	-0.404	0.399	0.241	0.049	-0.391	-0.346	0.333	-0.226	-0.230	0.214	-0.098	-0.198	0.136	-0.462	0.213	0.098	-0.042	-0.060	-0.284	1	0.350	0.015	-0.239	0.465	0.315	-0.211	0.471	-0.239	
Ni	0.038	0.365	-0.296	0.898	0.424	0.283	0.053	0.042	0.599	-0.348	0.051	0.316	-0.056	-0.040	0.804	-0.228	0.604	0.430	-0.019	-0.259	-0.309	0.350	1	0.162	0.038	-0.305	0.871	0.369	0.870	0.071	
P	0.449	0.718	0.358	0.024	0.871	0.932	0.452	0.643	0.764	0.333	0.553	0.811	0.164	0.348	0.240	0.238	0.492	0.198	-0.089	0.681	0.571	0.015	0.162	1	0.487	-0.029	-0.255	0.523	-0.110	0.485	
Pb	0.961	0.616	0.474	-0.185	0.338	0.620	0.916	0.803	0.279	0.571	0.985	0.384	0.316	0.705	0.408	0.371	0.655	0.111	0.063	0.456	0.677	-0.239	0.038	0.487	1	-0.110	-0.236	0.611	-0.307	0.946	
Sb	-0.116	-0.181	0.054	-0.290	-0.035	-0.019	-0.182	-0.180	-0.075	0.062	-0.107	-0.046	-0.045	-0.092	-0.327	-0.035	-0.177	0.045	-0.169	0.187	0.011	0.465	-0.305	-0.029	-0.110	1	-0.320	-0.290	-0.209	-0.128	
Sc	-0.232	-0.001	-0.493	0.914	0.036	-0.158	-0.224	-0.246	0.249	-0.443	-0.262	-0.031	-0.124	-0.259	0.657	-0.400	0.330	0.320	-0.011	-0.581	-0.543	0.315	0.871	-0.255	-0.236	-0.320	1	0.053	0.932	-0.223	
Sr	0.604	0.865	0.683	0.078	0.362	0.592	0.704	0.688	0.313	0.158	0.626	0.247	0.182	0.415	0.474	0.702	0.411	0.349	0.205	0.246	0.427	-0.211	0.369	0.523	0.611	-0.290	0.053	1	-0.075	0.633	
V	-0.310	-0.079	-0.629	0.917	0.251	-0.033	-0.369	-0.333	0.456	-0.558	-0.317	0.144	-0.169	-0.296	0.605	-0.606	0.387	0.249	-0.069	-0.474	-0.593	0.471	0.870	-0.110	-0.307	-0.209	0.932	-0.075	1	-0.299	
Zn	0.989	0.658	0.477	-0.188	0.359	0.659	0.894	0.843	0.317	0.568	0.970	0.367	0.489	0.864	0.408	0.405	0.700	0.147	-0.008	0.454	0.645	-0.239	0.071	0.485	0.946	-0.128	-0.223	0.633	-0.299	1	