



Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**“DISTRIBUIÇÃO DE METAIS BASE E PRECIOSOS EM SOLOS, DA
ÁREA DE SAN JAVIER-SAN RAMON, SANTA CRUZ DE LA SIERRA,
BOLÍVIA”**

TESE APRESENTADA POR

FRANCICO GERMAN UZQUIANO ESPINOZA

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOQUÍMICA.

Data de Aprovação 22 / 10 / 96

Comitê de Tese:

.....
JOSÉ FRANCISCO DA FONSECA RAMOS (Orientador)

.....
JOSÉ DUARTE ALECRIM

.....
BASILE KOTSCHOUBEY

BELÉM

A meus queridos pais,
German Uzquiano e Julia Espinoza
pelo profundo carinho e incentivo,
grato pôr sempre.

A meus irmãos,
Eddy, Mary, Carlos,
Fernando (em memória),
Gustavo, Cuqui, Vali
e a Mayco meu sobrinho,
obrigado pelo apoio.

A minha esposa,
Francimeire (meire)
meu filho Alan (papito)
todo meu amor e gratidão
pôr sempre.

AGRADECIMENTOS

Agradeço as seguintes instituições e pessoas que permitiram a realização deste trabalho.

Ao Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico (DAAD), em nome do Dr. Frederic Swahnborn, Dr. Wolker Geller e a Sra. Marília de La Cal, pela bolsa de estudos e auxílio financeiro para a execução da presente pesquisa.

Ao Servicio Geológico de Bolivia (GEOBOL), a nome do Ing. Franz Tavera Diretor Executivo Nacional, Ing. Edgar Ruíz chefe de Geologia Econômica, Dr. Nicolas Salvador chefe de Laboratórios e Serviços e Msc. Ramiro Matos geólogo do Projeto 6 Recursos Minerales del Precámbrico, pela oportunidade de trabalhar na instituição o apoio nas atividades de campo e laboratório, o acesso a seus relatórios internos e utilização dos seus resultados analíticos.

A SGAB International (AB) de Suécia, através do Dr. Gothard Walser e ao Dr. Fred Witschard chefe do Projeto 6 Recursos Minerales del Precámbrico.

À Associação de Universidades Amazônicas (UNAMAZ) e a Teresa Aura Barba Secretária Executiva da UNAMAZ Bolívia.

A Universidade Federal do Pará (UFPA), particularmente ao Centro de Geociências pela oportunidade de realizar o Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica.

Ao Prof. Dr. José Francisco da Fonseca Ramos, pela orientação e auxílio nas atividades de campo, assim como por aceitar o desafio, acreditando na realização e na conclusão deste trabalho.

Aos Profs. Drs. José D. Alecrim e Basile Kotschoubey integrantes da banca examinadora, pelas suas críticas e sugestões ao trabalho e ao Prof. Dr. Roberto Dall'Agnol pelo seu incentivo a esta pesquisa.

Ao Prof. Msc. Antonio Vaquera Vargas, por incentivar e apoiar este trabalho, e sua grande amizade.

Aos mestrandos do Brasil, Edielma Farias, Cintya M. Gaia, Walter Avelar, Claudomiro Soares e Renato Júnior e o colega e amigo Antonio S. Trindade.

Aos mestrandos do Equador, Eduardo Loyola e Antonio Galarza.

Aos mestrandos e amigos da Bolívia, Héctor Palenque Rivera e Óscar Choque Fernández.

Ao Prof. Dr. Thomas Sheller pelas constantes consultas feitas e apoio em programas de computação.

Finalmente, aos funcionários do Centro de Geociências da UFPA (secretaria, biblioteca, fotocópias) que, através de suas atividades profissionais, também foram importantes para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Pag
DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vi
LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SÍMBOLOS	x
RESUMO	1
ABSTRACT	3
1. INTRODUÇÃO	5
1.1. LOCALIZAÇÃO, ACESSO E ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	8
1.2. OBJETIVOS	10
2. GEOLOGIA	12
2.1 GEOLOGIA REGIONAL	12
2.1.1. Embasamento de Granito-Gnaisses	12
2.1.2. Supergrupo San Ignacio	14
2.1.3. Grupo Sunsás	15
2.1.4. Granitos Pós-Tectônicos	16
2.2. GEOLOGIA LOCAL	16
2.2.1. Vulcânicas de Composição Básica	16
2.2.2. Vulcânicas de Composição Intermediária	18
2.2.3. Vulcânicas de Composição Ácida	18
2.2.4. Rochas Subvulcânicas Ácidas	19
2.2.5. Rochas Sedimentares	19
2.2.6. Rochas Graníticas	21
2.3. GEOLOGIA ESTRUTURAL	22
2.4. MINERALIZAÇÃO	26
3. GEOQUÍMICA	33
3.1. INTRODUÇÃO	33
3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS	33
3.3. OBTENÇÃO DOS DADOS GEOQUÍMICOS	35
3.3.1. Metodologia de Campo	35
3.3.2. Metodologia de Laboratório	36
3.3.3. Resultados Analíticos	38
3.4. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS GEOQUÍMICOS	38
3.4.1. Considerações a cerca da Distribuição Estatística	40
3.5. ANÁLISES ESTATÍSTICA UNIVARIADA	41
3.5.1. Histogramas de Frequência Relativa	41
3.5.2. Curvas de Frequência Acumulada	46
3.5.3. Determinação dos Valores de Fundo e de Limiar	53

3.5.4. Grupos Geoquímicos	59
3.5.5. Coeficientes de Correlação de Pearson e Diagramas de Dispersão	67
3.6. AVALIAÇÃO DOS ELEMENTOS DE UMA ZONA ANÔMALA	77
3.6.1. Ouro	77
3.6.2. Chumbo	81
3.6.3. Zinco	84
3.6.4. Cobre	86
3.6.5. Antimônio	88
3.6.6. Bismuto	90
3.6.7. Arsênio	96
3.7. ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA	97
3.7.1. Análises Fatorial (Modo R)	97
3.7.1.1. Método de Componentes Principais	98
4. CONCLUSÕES	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
ANEXOS	115
ANEXO A: Resultados Analíticos	116
ANEXO B: Resultados Analíticos e estatísticos por Linhas e Alvos de Amostragem ...	123
ANEXO C: Mapa Geológico	134

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

	Pag.
FIGURA 1.1. Mapa de localização da área de San Javier-San Ramón	6
FIGURA 1.2. Localização da área do projeto 6 primeira fase, em relação as folhas e mapas geológicos (GEOBOL-BGS) e as imagens de satélite SPOT e LANDSAT	7
FIGURA 1.3. Vista panorâmica do lado oriental da área San Javier-San Ramón. e a zona Las Taperas-Cerro Largo	9
FIGURA 1.4. Imagem de satélite SPOT da zona Las Taperas-Cerro Largo. Identifica-se o granitoide Taperas a Serra Largo e a zona de cisalhamento nas rochas vulcânico-sedimentares	10
FIGURA 2.1. Mapa geológico simplificado da área San Ramón-Concepción-Ascención de Guarayos. (WITSCHARD et al.,1993)	13
FIGURA 2.2. Subdivisão estrutural da área San Ramón-San Javier. (WITSCHARD et al., 1993)	23
FIGURA 3.1. Perfil do solo generalizado para a área investigada, em base a FLETCHER (1979), LITHERLAND (1982) e ROSE et al. (1979)	35
FIGURA 3.2. Localização dos alvos de exploração 1, 2, 4, 5, 10 (amostrados na fase 1). Perfils a-a', b-b', c-c' (amostrados na fase 2). Modificado de WITSCHARD et al. (1993)	37
FIGURA 3.3. Histogramas logarítmicos de freqüência relativa, mostrando as distribuições regionais unimodais de Cu e Ni, bimodais de Zn, As, Pb e multimodais de Au	43
FIGURA 3.4. Diagrama ilustrando a direta relação entre os valores (Y) conteúdo do elemento de uma distribuição normal padronizada e (X) porcentagem acumulativo a escala de probabilidade (SINCLAIR, 1976) .	47
FIGURA 3.5. Diagramas de probabilidade de freqüência acumulada para dados residuais regionais de Cu e Ni	49

FIGURA 3.6.	Diagramas de probabilidade de frequência acumulada para dados residuais regionais de Zn e Pb	50
FIGURA 3.7.	Diagramas de probabilidade de frequência acumulada para dados residuais regionais de As e Au	51
FIGURA 3.8.	Mapa dos grupos litológicos divididos para a interpretação geoquímica	60
FIGURA 3.9.	Diagramas de dispersão dos pares geoquímicos de distribuição regional da área San Javier-San Ramón	70
FIGURA 3.10.	Histograma logarítmico de frequência relativa de distribuição bimodal para ouro	78
FIGURA 3.11.	Diagrama de probabilidade de frequência acumulada para dados residuais de ouro	78
FIGURA 3.12.	Histograma logarítmico da frequência relativa de distribuição bimodal para chumbo, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo	82
FIGURA 3.13.	Diagrama de probabilidade de frequência acumulada para dados residuais de chumbo, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo	82
FIGURA 3.14.	Histograma logarítmico da frequência relativa de distribuição bimodal para zinco, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo	85
FIGURA 3.15.	Diagrama de probabilidade de frequência acumulada para dados residuais de zinco, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo	85
FIGURA 3.16.	Histograma logarítmico da frequência relativa de distribuição unimodal para cobre, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo	87
FIGURA 3.17.	Diagrama de probabilidade de frequência acumulada para dados residuais de cobre, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo	87
FIGURA 3.18.	Histograma logarítmico da frequência relativa de distribuição bimodal para antimônio, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo	89
FIGURA 3.19.	Diagrama de probabilidade de frequência acumulada para dados residuais de antimônio, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo	89
FIGURA 3.20.	Histograma logarítmico da frequência relativa de distribuição bimodal para bismuto, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo	91

FIGURA 3.21.	Diagrama de probabilidade de frequência acumulada para dados residuais de bismuto, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo	91
FIGURA 3.22.	Mapa geoquímico de anomalias residuais de Au-As da área anômala III Las Taperas-Cerro Largo	92
FIGURA 3.23.	Mapa geoquímico de anomalias residuais de Zn-Pb da área anômala III Las Taperas-Cerro Largo	93
FIGURA 3.24.	Mapa geoquímico de anomalias residuais de Sb-Bi da zona anômala III Las Taperas-Cerro Largo	94
FIGURA 3.25.	Mapa estrutural interpretado a partir de imagem de satélite SPOT	95
FIGURA 3.26	Diagrama fator variância acumuladas para 28 variáveis explicada por 6 ou 7 fatores	99

TABELAS

TABELA 3.1.	Tipos de distribuição regional, das variáveis geoquímicas da área San Javier-San Ramón	44
TABELA 3.2.	Parâmetros estatísticos e geoquímicos regionais de distribuição lognormal da área San Javier-San Ramón	45
TABELA 3.3.	Distribuição das populações lognormais regionais, para os elementos geoquímicos em 423 amostras de solo	52
TABELA 3.4.	Estimadores estatísticos de valores de fundo e de limiar para populações unimodais lognormais regionais	54
TABELA 3.5.	Padrões geoquímicos para conteúdos em geral de rochas, solos, solos tropicais, e em zonas de cisalhamento	55
TABELA 3.6.	Parâmetros das populações lognormais particionadas para Zn de distribuição regional	56
TABELA 3.7.	Parâmetros das populações lognormais particionadas para Pb de distribuição regional	57

TABELA 3.8.	Parâmetros das populações lognormais particionadas para As e V de distribuição regional	57
TABELA 3.9.	Parâmetros das populações lognormais particionadas para Au de distribuição regional	58
TABELA 3.10.	Estimativa dos valores de Limiar regionais para Au da Área de San Javier-San Ramón	58
TABELA 3.11.	Estimadores estatísticos para o grupo geoquímico da litología 1, em 204 amostras de solo da área San Javier-San Ramón	62
TABELA 3.12.	Estimadores estatísticos para o grupo geoquímico da litología 2, em 179 amostras de solo da área San Javier-San Ramón	63
TABELA 3.13.	Estimadores estatísticos para o grupo geoquímico da litología 3, em 46 amostras de solo da área San Javier-San Ramón	64
TABELA 3.14.	Mobilidade de alguns dos elementos traças mais comuns em ambiente superficial	66
TABELA 3.15.	Matriz de coeficientes de correlação em 423 amostras de solos regionais...	68
TABELA 3.16.	Matriz de coeficientes de correlação em 204 amostras de solo do grupo da litología 1	71
TABELA 3.17.	Matriz de coeficientes de correlação em 179 amostras de solo do grupo da litología 2	73
TABELA 3.18.	Matriz de coeficientes de correlação em 46 amostras de solo do grupo da litología 3	75
TABELA 3.19.	Parâmetros e estimadores estatísticos das populações lognormais e normais de distribuição local	80
TABELA 3.20.	Parâmetros estatísticos de distribuição local dos elementos anômalos em solo da zona Las Taperas-Cerro Largo	83
TABELA 3.21.	Matriz de correlação, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo	83
TABELA 3.22.	Matriz da análise Fatorial Modo R com Rotação Varimax, para seis fatores, em amostras do solo das zona anômala Las Taperas-Cerro Largo.....	100

LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SÍMBOLOS

CV	Coefficiente de variação
Km	Quilômetros
m	Metros
ppb	Partes por bilhão
ppm	Partes por milhão
log	Logaritmo na base 10
n	Número de observações
ci	Intervalos de classe
b	Média geométrica
S_L	Desvio padrão
x	Média aritmética
g/t	Gramas por tonelada
%	Porcentagem
r	Coefficiente de correlação de Pearson

RESUMO

Este trabalho, foi realizado com dados do Serviço Geológico da Bolívia (GEOBOL) e com o apoio do Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico (DAAD), no Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará (CPGG-UFGPA).

Os elementos **Ag, Al, Au, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, La, Li, Mg, Mn, Mo, Nb, Ni, P, Pb, S, Sc, Sn, Sr, Ti, V, W, Y, Zn, Zr, As, Bi, Sb e Te**, de uma primeira fase de amostragem piloto, que cortou as estruturas da área com perfis e uma rede irregular, e os elementos **Au, As, Te, Cu, Pb, Zn, Ba, Sb, Ni, Co, Cr, Fe, Mn** de uma segunda fase, obtidos de amostras próximas a estradas e caminhos, foram tratados e interpretados.

A geologia complexa desta área pré-cambriana, onde ocorrem estruturas N-S de tipo graben, zonas de cisalhamento NW-SE e falhas NNW-SSE, foi o palco da investigação, concentradas numa faixa de rochas verdes, localizada a leste da região de San Javier-San Ramón, devido a seu potencial para ouro e mineralizações de sulfetos com metais base. Se faz a aplicação de métodos atuais de amostragem, com base na premissa de que a maioria das mineralizações neste ambiente, está controlada por estruturas profundas (deep-going), como zonas de cisalhamento,

falhas e fraturas, que podem ser evidenciadas por um indicativo geoquímico superficial.

O tratamento estatístico realizado incluiu métodos uni e multivariados, como histogramas, diagramas de probabilidade, matrizes e diagramas de correlação, a análise fatorial modo R (componentes principais e rotação varimax). A interpretação das análises estatísticas permitiu identificar a correlação entre elementos e unidades geológicas. A identificação de tendências geoquímicas regionais, associações metálicas, assim como zonas anômalas para metais base e preciosos.

Em fim identifica-se as zonas dos alvos 10,5 e 1, como anômalos em As-Sb-Bi e Au com Zn-Pb-Cu, que pela sua localização, são favoráveis metalogênicamente.

As anomalias na área identificadas segundo o análise fatorial, estão relacionadas a três tipos de ocorrências principalmente, tais como sulfetos maciços vulcanogênicos, veios de quartzo em zonas de cisalhamento e formações ferríferas bandadas, possivelmente mineralizadas.

ABSTRACT

The present investigation was done with geological and geochemical data provided by the Geological Survey of Bolivia (GEOBOL) and supported by the German Service of Academic Interchange (DAAD) in the Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica (CPGG) of the Universidade Federal do Pará (UFPA).

The elements Ag, Al, Au, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, La, Li, Mg, Mn, Mo, Nb, Ni, P, Pb, S, Sc, Sn, Sr, Ti, V, W, Y, Zn, Zr, As, Bi, Sb e Te were determined in soil samples collected in profiles and in a irregular sampling grid during the first reconnaissance campaign. The second soil sampling campaign were carried out along roads and trails for the analysis of Au, As, Te, Cu, Pb, Zn, Ba, Sb, Ni, Co, Cr, Fe and Mn has been tratated and interpretated.

The geologically complex study area consist in a greenstone-belt with N-S grabens, NW-SE, shear zones and NNW-SSE faults and show a high potential for gold and base metals sulfide mineralizations. It is located eastern from San Javier-San Ramón. Up dated sampling methodology were applied, with consideration of the conception that most mineralizations of this geological environment are controlled by deep structures (deep-going) as shear zones and faults and that they can be found through superficial geochemical surveys.

The statistical treatment includes uni- and multivariate methods. Standard interpretation with histrograms, cumulative

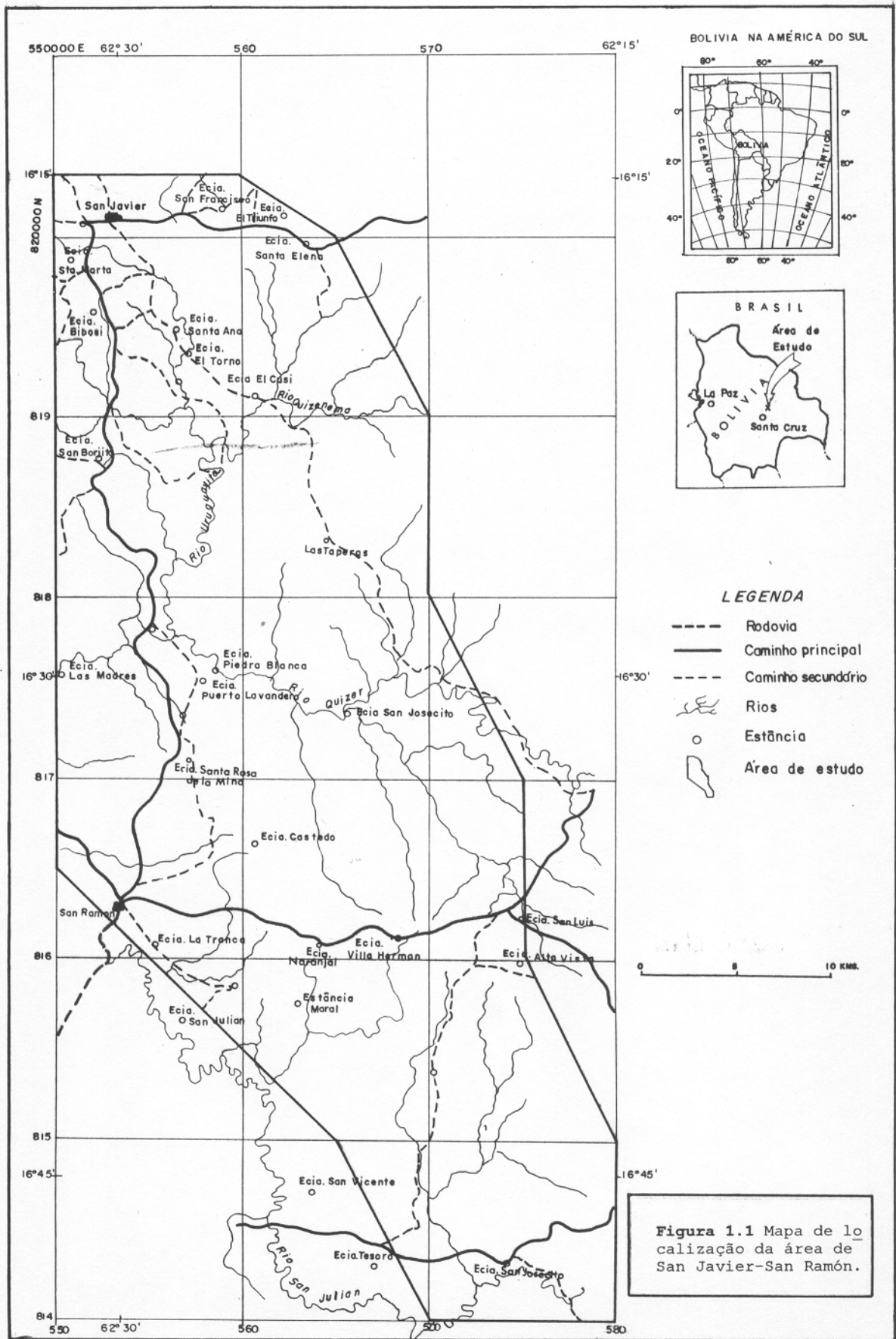
frequency in probability diagrams, correlation matrix and scattergrams besides R-mode factor analysis (principal components and varimax rotation) were done. It was possible to identify correlations between elements and these with geological units or rock types, regional geochemical trends, metallic associations as well as anomalous zones for base and precious metals.

1- INTRODUÇÃO

A área de San Javier-San Ramón (Figura 1.1) é uma potencial produtora de metais preciosos, localizada numa parte do cratón pré-cambriano brasileiro (Cratón Amazônico), que cobre grande parte do território nordeste da Bolívia.

Embora o desenvolvimento dos conhecimentos sobre a geologia da região, principalmente nos últimos anos (1976-1983), através do Projeto Pré-cambriano do Serviço Geológico da Bolívia (GEOBOL) e o Serviço Geológico Britânico (BGS), há muito ainda o que se investigar. Mesmo com as recentes atividades de exploração, os depósitos minerais economicamente significativos que foram descobertos é muito limitada. Ressalta-se que enquanto no Brasil, que é um país vizinho, a riqueza mineral de seu subsolo é relativamente bem conhecida e explorada, enquanto que na Bolívia a qual incorpora formações geológicas similares não apresenta esse estado de conhecimento, isso sugere a necessidade de esforços nesse sentido.

Por isso, o planejamento a partir do ano de 1990 de projetos com maior detalhe, aplicando-se métodos modernos de exploração. Assim se formou o Projeto 6 Recursos Minerais do Pré-cambriano, executado pelo GEOBOL e a SGAB International AB da Suécia. O mesmo concluiu o estudo da área San Javier-San Ramón, que compreende parte das folhas topográficas Asención de Guarayos, Monte Verde e Concepción (Figura 1.2). Este projeto finalizou com



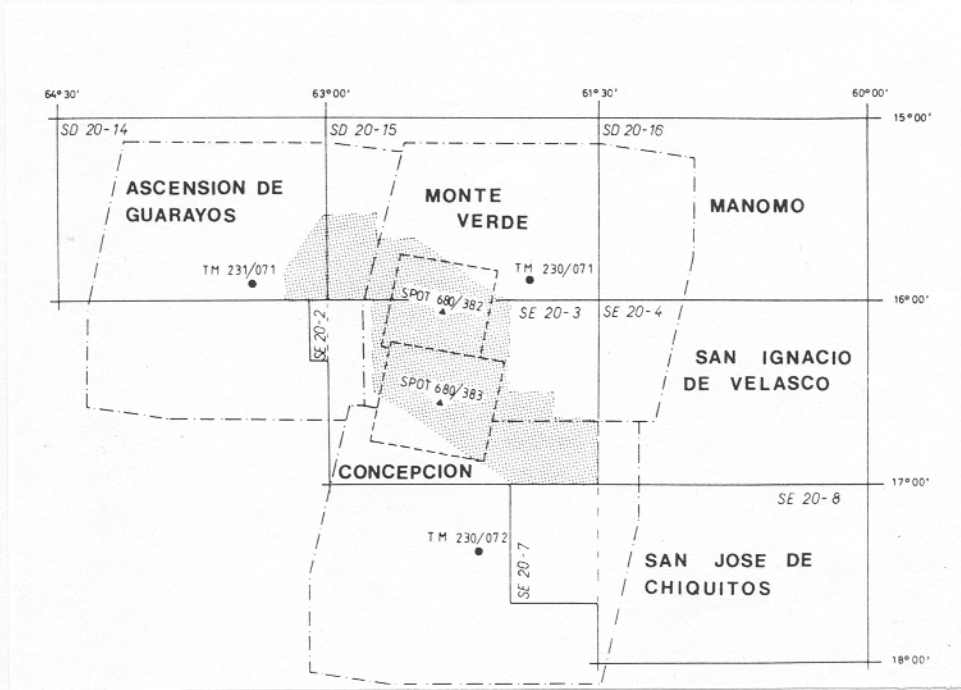


Figura 1.2. Localização da área do projeto 6 primeira fase (sombreado), em relação as folhas e mapas geológicos (GEOBOL-BGS) e as imagens de satélite SPOT e LANDSAT (WITSCHARD et al., 1993).

a apresentação da geologia, interpretação estrutural, petrologia e prospecção mineira da região, em base a interpretação de imagens de satélites LANDSAT e SPOT, geofísica aérea, e ainda com as observações de campo e amostragem geoquímica. Foram reveladas anomalias de ouro, chumbo, zinco, e outros metais, bem como possíveis mineralizações de níquel, cromo e metais do grupo da platina.

No presente trabalho é agrupada grande parte dos dados geoquímicos obtidos pelo último projeto e outros, adquiridos no âmbito desta dissertação de mestrado. Mais de 32 elementos foram analisados, foram tratados e interpretados relacionados a seu ambiente geológico. São definidas muitas associações

geoquímicas regionais e locais. Estas fornecem correlações com a litologia e possível associação metálica, objetivando-se alvos geoquímicos.

1.1- LOCALIZAÇÃO, ACESSO E ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

A área em estudo está **localizada** a leste dos povoados de San Javier e San Ramón (Figura 1.1), na região Pré-cambriana da Bolívia Oriental. Politicamente, encontra-se inserida na Provincia Ñuflo de Chávez do Departamento de Santa Cruz de la Sierra. A área tem uma extensão aproximada de 140 Km², com as seguintes coordenadas (Figura 1.1):

Latitude sul	Longitude oeste
16° 15'	62° 32'
16° 15'	62° 27'
16° 44'	62° 32'
16° 49'	62° 21'
16° 49'	62° 15'
16° 22'	62° 21'

O **acesso** principal à área, se dá pela estrada que liga as cidades de Santa Cruz a Trinidad, nordeste da Bolívia, até o povoado de San Ramón (180 km), transitável durante todo o ano, asfaltada em dois trechos, até Pailón (45 km) e de San Ramón para Santa Cruz (60 km).

A **topografia** da área é relativamente acidentada, com altitudes entre 280 e 700 m (Figura 1.3). Se caracteriza por



Figura 1.3. Vista panorâmica do lado oriental da área San Javier-San Ramón.

muitas serras alongadas com direção preferencial N-S, destacando-se as serras Largo del Canaludo e Serra Largo ao norte (Figura 1.4) e Pejichi mais ao sul, condicionadas geomorfologicamente pelas rochas mais resistentes à erosão, com superfícies pobremente drenadas. Também se destacam serras ligeiramente elípticas, como a de San Francisco, ao norte, (Figura 1.4) e San Luis, ao sul.

O **clima** é tropical, com duas estações anuais definidas de relativas temperaturas altas; uma época seca (abril-outubro) e outra chuvosa (novembro-março), de moderada a altas chuvas (>60 cm/ano) (BERRANGE & LITHERLAND, 1982), sendo de abril a

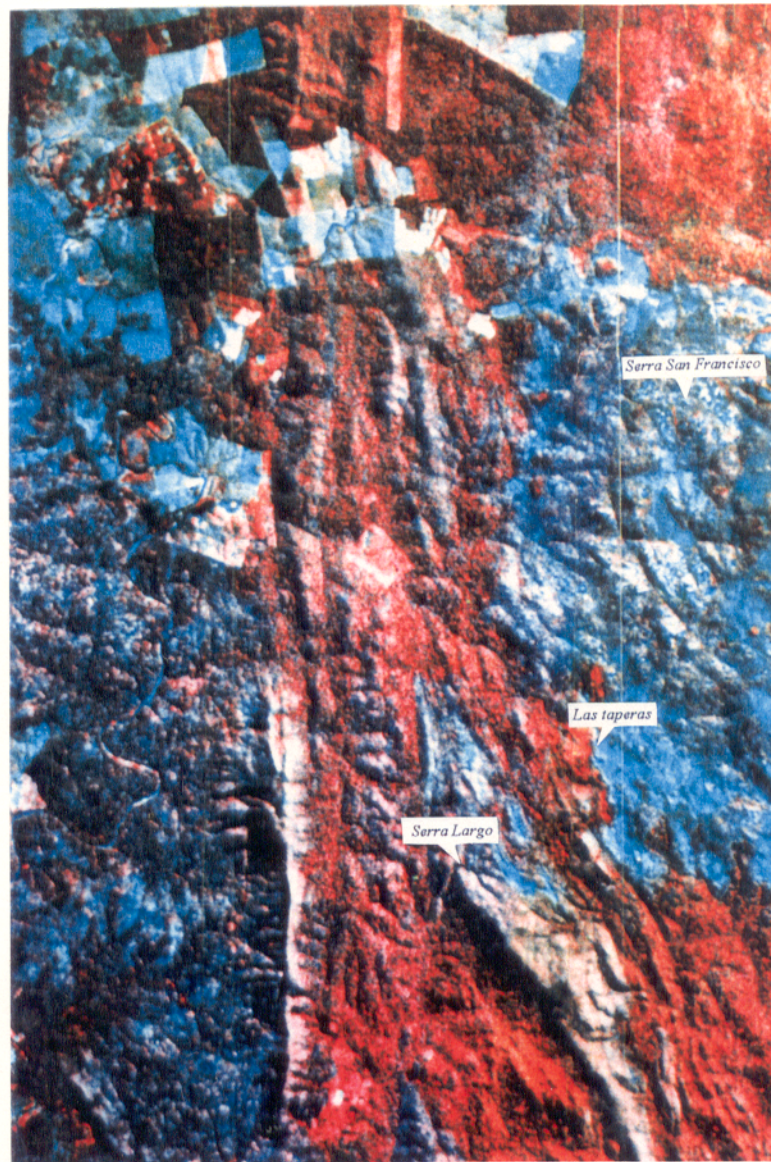


Figura 1.4. Imagem de satélite SPOT da zona Las Taperas-Cerro Largo. Identifica-se o granitoide Taperas e a zona de cisalhamento na faixa vulcânico-sedimentar.

setembro a época mais propícia para a exploração, por ter abundância de água e temperatura moderada.

1.2- OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é fazer uma avaliação de grande parte dos dados geoquímicos de solos existentes e de

outros obtidos por esta investigação.

Os objetivos específicos são:

- a) determinação dos parâmetros estatísticos geoquímicos e dos valores de base (background) e limiar (threshold) regionais e locais;
- b) apresentar o mapa geológico da área em estudo e alguns mapas geoquímicos dos elementos anômalos definidos pelos métodos estatísticos, considerando-se, as principais tendências regionais e sua caracterização geoquímica em unidades litológicas;
- c) avaliação das zonas anômalas (alvos), reconhecendo o comportamento geoquímico e distribuição superficial dos elementos anômalos e
- d) identificar as associações geoquímicas nestes solos e sua possível fonte.

2- GEOLOGÍA

2.1- GEOLOGÍA REGIONAL

WITSCHARD et al. (1993) dividem a área San Ramón-Concepción-Ascención de Guarayos (Figura 1.2), em seis unidades geológicas e estruturais principais (Figura 2.1):

- a) antigo embasamento de idade desconhecida, que consiste em parte de gnaisses e xistos rejuvenecidos (G_{1-7});
- b) sequência vulcano-sedimentar, pertencente ao Supergrupo San Ignacio (LITHERLAND et al., 1986) geralmente exposta ao longo de bacias com direcção N-S a NNW-SSE (S_{1-4});
- c) sedimentos do Grupo Sunsás, que consistem numa sequência do tipo molassa, produzida pela erosão das rochas do embasamento (S_5);
- d) granitos intrusivos, elípticos, maciços (G_8);
- e) intrusões básicas a ultrabásicas (B_1) e
- f) cobertura Terciária (principalmente laterítica) e Quaternária (aluviões) (T-Q).

2.1.1- Embasamento de granito-gnaisses (G_{1-7})

O embasamento compreende gnaisses e granitóides, que cobre a maior parte do pré-cambriano da Bolívia. Contém as duas séries supracrustais correspondentes ao Supergrupo San Ignacio e os sedimentos Pre-Sunsas, encontrando-se ambas em bacias falhadas e dobradas.

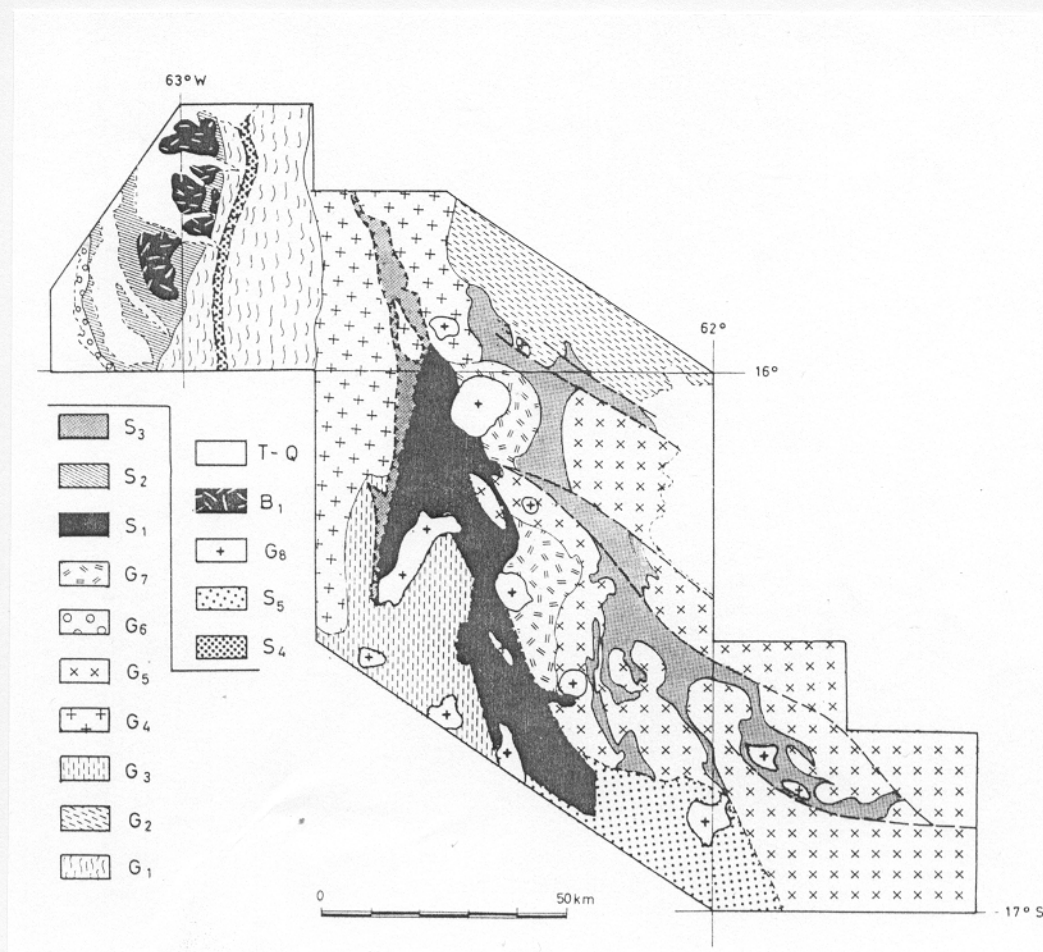


Figura 2.1. Mapa geológico simplificado. G₁-7: Granito/gnaisses. S₁-4: Séries vulcão sedimentares San Ignacio. S₅: Séries sedimentares Sunsás. G₈: Granitos pós-tectônicos não diferenciados. B₁: Intrusivos básico-ultrabásicos maciços (inferidos). T-Q: Cobertura Terciário-Quaternário (WITSCHARD et al., 1993).

De acordo com LITHERLAND et al. (1985), pelo menos uma parte do protólito deste embasamento tem idade mínima de 2000 Ma. Entretanto, o padrão de distribuição das rochas metamórficas e granitóides, em geral, é resultado da Orogenia San Ignacio, com uma idade aproximada de 1300 Ma (BERRANGÉ, 1982), (WITSCHARD et al., 1993).

G₁ corresponde a uma série migmatóide fortemente dobrada. G₂ é uma área de granito-gnaisses foliados de direção NW-SE. G₃

corresponde a granitos porfíricos passando a augengnaisses ou a migmatitos, que correspondem a unidade P_r no mapa geológico (Anexo C). Ao norte, próximo do povoado de San Javier, esta unidade (G_3) se diferencia do granitoide San Javier (MATOS, no prelo). G_4 é constituído por granitoides e alguns granito-gnaisses bandados. G_5 também é composto por granito-gnaisses. G_6 corresponde a séries de augengnaisses, gnaisses, granitóides e migmatitos. G_7 (P_b no mapa geológico, Anexo C), corresponde a gnaisses e intrusões máficas ao redor de outros corpos intrusivos pos-cinemáticos granitóides, como o Cerro San Francisco (Figura 1.3) e o Cerro Talcoso, ao norte da área. MATOS (no prelo) descreve gnaisses de cor cinza arroxeadada clara, com foliação marcada por bandas de biotita e/ou moscovita.

2.1.2- Supergrupo San Ignacio (S_{1-4})

LITHERLAND et al. (1986) denominam este grupo pela primeira vez, sendo que WITSCHARD et al. (1993) fazem algumas modificações, devido a recentes descobrimentos de extensas séries vulcânicas. Neste trabalho se dá mais ênfase a estas unidades de rochas, pela maior amostragem geoquímica.

Estes autores dividem o supergrupo San Ignacio em quatro sequências. Das quais, duas sequências são descritas aqui por seu amostragem geoquímico; sequências dominadas por vulcânicas (S_1 e S_2) e por sedimentos (S_3 e S_4) (Figura 2.1). São descritos vulcânicas félsicas e máficas. Com base nas interpretações

ampliadas e verificações de campo, mencionam-se que, aparentemente, o Supergrupo San Ignacio está exposto dentro de cinco bacias S_1 , S_2 , S_{3-este} , $S_{3-oeste}$, e S_4 (Figura 2.1). Exceto para a bacia S_{3-este} , que jaz em uma zona de intensa deformação, as rochas, estão relativamente bem preservadas em bacias de tipo rift, desenvolvendo fácies metamórficas desde xistos verdes até anfibolito de grau médio. As rochas vulcânicas predominam na bacia à leste de San Javier-San Ramon (S_1 na Figura 2.1, P_{n1-8} no mapa geológico Anexo C, item 2.2 para explicação). Alguns vulcanitos ácidos também são descritos na bacia S_{3-este} . As zonas S_2 e S_4 não foram exploradas, sendo apenas submetidas a interpretação de imagens de satélites (WITSCHARD et al., 1993).

2.1.3- Grupo Sunsás (S_5)

A área de San Ramón-San Javier é incluída totalmente no que LITHERLAND et al. (1986) denominou "A faixa Orogênica Sunsás". Esta faixa móvel de sequências sedimentares aflora a sul e sudeste da área, como um grupo litoestratigráfico distinto (S_5) (Figura 2.1). Uma litologia do tipo psamitas domina estas formações, sendo sua origem resultante, principalmente, da erosão de antigos terrenos granito-gnaissicos. Também encontram-se metavulcânicas, metatufos félsicos, metatufos máficos e aglomerados vulcânicos. Este grupo de rochas está totalmente limitado por falhas e foi preservado dentro de blocos falhados tipo rift. A deformação posterior destas rochas, assim como de

formações mais antigas, se limita a esta faixa (LITHERLAND et al., 1985-1986).

2.1.4- Granitos pós-tectônicos (G₂)

Os granitos pós-tectônicos, quase circulares, de natureza possivelmente diapírica, como os que formam Cerro Talcoso e o Cerro San Francisco (Pgl no mapa geológico, Anexo C), encontram-se entre as duas principais bacias vulcano-sedimentares do Supergrupo San Ignacio, numa faixa quase linear de orientação NNW-SSE (Figuras 1.4 e 2.2). A norte da área, se diferenciam também o granito Naranjal, próximo ao povoado de San Javier e ao centro-leste, o granito porfirítico Chafroso (MATOS, no prelo).

2.2- GEOLOGIA LOCAL

Como a maior parte da amostragem geoquímica se efetuou na série de rochas vulcano-sedimentares (S₁ em Figura 2.1), do Grupo Naranjal, pertencente ao Supergrupo San Ignacio (LITHERLAND et al., 1986), nos referiremos a esta série de rochas com maior detalhe.

2.2.1- Vulcânicas de composição básica

A maioria destas rochas, foi transformada por metamorfismo até as facies de anfibolitos, sendo destruído sua textura original. Só podem ser observadas algumas estruturas vulcânicas em alguns afloramentos, tais como: "flow-banding",

"lithopheses", etc. Os estudos petrológicos indicam que sua composição química permaneceu relativamente estável durante o metamorfismo. WITSCHARD et al. (1993) interpretam que estas rochas são sub-alcálinas dentro o campo tholeítico. O ambiente geotectônico é transicional entre oceânico e continental. Isto concorda com o ambiente continental dos escassos vulcanitos de composição intermediária aflorantes na área. Estes autores demonstram que a provável fonte dos basaltos indica um nível alto tholeítico (100 km) a um nível mais profundo (180 km), em presença de extrusões progressivas ou alternantes. Há indicações de outras gerações de rochas muito profundas. Em outros diagramas, demonstram a tendência MORB-WPB para a maioria destes basaltos. Isto concorda com o estilo tectônico anteriormente mencionado de rift continental, com a abertura de uma pequena bacia oceânica, onde os basaltos alcalinos aflorantes corresponderiam a extrusões ao longo de fraturas muito profundas deste rift (WITSCHARD et al., 1993). A unidade P_{n3} de filitos, esporádicos metatufos máficos e chert pirítizados (Anexo C), está neste grupo de rochas máficas, bem como a unidade P_{n5} com filitos dominantes, e a unidade P_{n7} , de metalavas tholeíticas preponderantes e cherts auríferos. Em todas as unidades as metalavas máficas são subordinadas. A unidade P_{n2} pode estar neste grupo, por conter metatufos máficos maciços, assim como parte das unidades P_{n1} e P_{n4} .

2.2.2- Vulcânicas de composição intermediária

Estas rochas variam em composição desde andesitos basálticos, traqui-andesitos, andesitos e poucos vulcanitos dacíticos. Este conjunto de rochas é típica de uma série bimodal. Os andesitos são toleíticos ou cálcico-alcalinos, indicando um ambiente tectônico continental a orogênico (WITSCHARD et al., 1993), que esta de acordo ao meio geotectônico inferido anteriormente. A unidade P_{n7} é representativa deste grupo (Anexo C), por apresentar metalavas andesíticas toleíticas de textura porfirítica amigdaloidal. Esta unidade é caracterizada por filitos interestratificados com metatufos máficos e félsicos e metacherts. A unidade P_{n4} pertence a este grupo de rochas, por conter filitos grafitosos derivados de basaltos e tufos máficos.

2.2.3- Vulcânicas de composição ácida

As rochas vulcânicas siálicas são exclusivamente riolíticas, ainda que, as vezes, estejam fortemente recristalizadas ou tectonizadas. Estas rochas quase sempre mostram relictos de texturas porfiríticas. São subalcalinas no campo cálcico-alcalino, o que é comum para rochas vulcânicas ácidas pré-cambrianas (WITSCHARD et al., 1993). Há algumas rochas de grão fino, como tufos ácidos, possivelmente também ignimbritos, intercalados com a maioria das unidades vulcânicas e sedimentares. A unidade P_{n8} é bem característica deste grupo,

por conter metariolitos foliados, riolitos vulcano-clásticos e metatufos félsicos estratificados (Anexo C).

ADAMECK (no prelo) menciona que a unidade P_{n4} , sendo o membro aurífero hospedeiro, em formações ferríferas bandadas e metacherts, está alternado com metavulcânicas riolíticas a dacíticas e intercalação de metatufos, lavas laminadas e chert com sulfetos.

2.2.4- Rochas Subvulcânicas Ácidas

Na área de pesquisa, aparecem dois pórfiros subvulcânicos de maneira peculiar (Anexo C). O primeiro (P_{n10}) é um metapórfiro riolítico de cor cinza roxa maciço e relitos de ignimbritos (metatufos soldados) e metariolitos com textura de fluxo. O segundo, (P_{n11}) corresponde a um metapórfiro granítico, de cor marron clara a roxa, em parte seritizado. A deformação metamórfica e tectônica destes corpos nas zonas de cisalhamento, causou sua aparente diferenciação em duas unidades litoestratigráficas, havendo uma migração e maior concentração de minerais e metais nas suas bordas. Na unidade granítica (P_{n11}) a parte central está menos deformada, sendo que na unidade riolítica (P_{n10}) a parte lateral têm maior deformação.

2.2.5- Rochas Sedimentares

Este grupo contém uma sucessão de rochas sedimentares que variam desde rochas detríticas de grão grosso,

metaconglomerados arcóscianos e quartzitos, a tipos piritíferos de grão fino transformados a xistos e filitos.

Alguns quartzitos possuem alto conteúdo de ferro, concentrado em bandas distintas (formações ferríferas bandadas, BIF), contendo principalmente hematita como mineral opaco e magnetita e pirita como acessórios. Formações ferríferas bandadas auríferas afloram a poucos quilômetros a NE de San Ramón, estas rochas são parte da unidade (P_{n4}) (Anexo C). O ouro encontra-se principalmente em delgados veios de carbonatos, que cortam obliquamente ao bandamento destas formações ferríferas (WITSCHARD et al., 1993).

As unidades P_{n1} , P_{n4} e P_{n6} agrupam-se neste grupo de rochas (Anexo C). A primeira consiste basicamente em metaquartzitos, filitos e metatufos máficos subordinadas; sendo maciças, em parte cisalhadas, e definidas por falhas (Anexo C). A segunda unidade (P_{n4}) é caracterizada pela presença de metachert bandado ferrífero (BIF), às vezes maciço, ou jaspelito bandado com lentes de óxidos de ferro e vênulas de pirita. Segundo LÓPEZ & BERNASCONI (1988), o filito desta unidade pode ter como origem um sedimento tufáceo basáltico, envolvendo o metachert, em dois períodos de vulcanismo diferente. A terceira unidade (P_{n6}) é formada por quartzito, metaarenito feldspático e micáceo. Mais ao sul da zona de estudo, segundo LÓPEZ MONTAÑO (1992), esta unidade se alterna com níveis de metariolito e brechas intraformacionais quartzíticas ou diamictíticas. A unidade (P_{n2}) pertence também a este grupo,

com a associação de metatufos máficos, quartzitos estratificados bandados e/ou laminados, às vezes piritizados, apresentando estruturas do tipo "slump". Assim também está neste grupo de rochas parte da unidade (P_{n3}) com metacherts, filitos e metatufos máficos de grão fino interestratificados.

A interestratificação na unidade (P_{n7}), com filitos, metatufos máficos e félsicos, metatalavas e metacherts, apresentando estruturas almofadadas e a sequência de metatufos máficos e filitos de grão fino, podem ter sido um processo sedimentar (ADAMECK, no prelo).

2.2.6- Rochas Graníticas

É importante destacar na área em estudo a presença de corpos e complexos graníticos.

No sul da área afloram os granitos pós-tectônicos La Cruz e Palmarito (são equigranulares médio a fino, bastante deformados), bem como o corpo intrusivo Sujalito menos deformado (Anexo C). No extremo sudoeste localiza-se o pórfiro granítico Ambaybo (MATOS, no prelo), que estaria relacionado aos valores altos detectados de Cu, Zn e Bi, mencionados por LÓPEZ MONTAÑO (1992) nesta zona.

Ao norte da área, que é a mais afetada por estes granitóides, encontram-se o granitóide pós-cinemático Cupesí e os pórfiros graníticos Cerro Largo. Estes últimos, são importantes pela relação com as zonas de cisalhamento. Na parte central da área aflora o granitóide El Cusi, alojando numa grande faixa

de cisalhamento, cuja composição varia de granítica a quartzodiorítica de norte a sul. Aflora também na mesma zona o granito pos-cinemático Taperas, que se ressalta no mapa geológico (Anexo C) e imagens de satélite (Figura 1.4) por sua forma elíptica.

2.3- GEOLOGÍA ESTRUTURAL

A área se caracteriza pelos seguintes padrões estruturais:

- a) antigo sistema de estruturas do tipo rift de orientação N-S a NNW-SSE;
- b) sistema de cisalhamento mais jovem com orientação predominante NW-SE e
- c) sistema de falhas distensivas ainda mais jovens com orientação preferencial NNW-SSE.

A interpretação da geologia estrutural da área está baseada principalmente em imagens de satélite (Figura 1.4), mapas aeroradiométricos (radiação total, potássio), aeromagnéticos (magnético reduzido ao polo) (WITSCHARD et al., 1993) e observações de campo.

A Figura 2.2 mostra a subdivisão estrutural simplificada da área.

A zona 5 consiste principalmente de granitos porfiróides e gnaisses indiferenciados, sendo que muitos destes mostram sinais de forte cisalhamento.

A zona 6 é aparentemente uma zona de rift, mais larga e

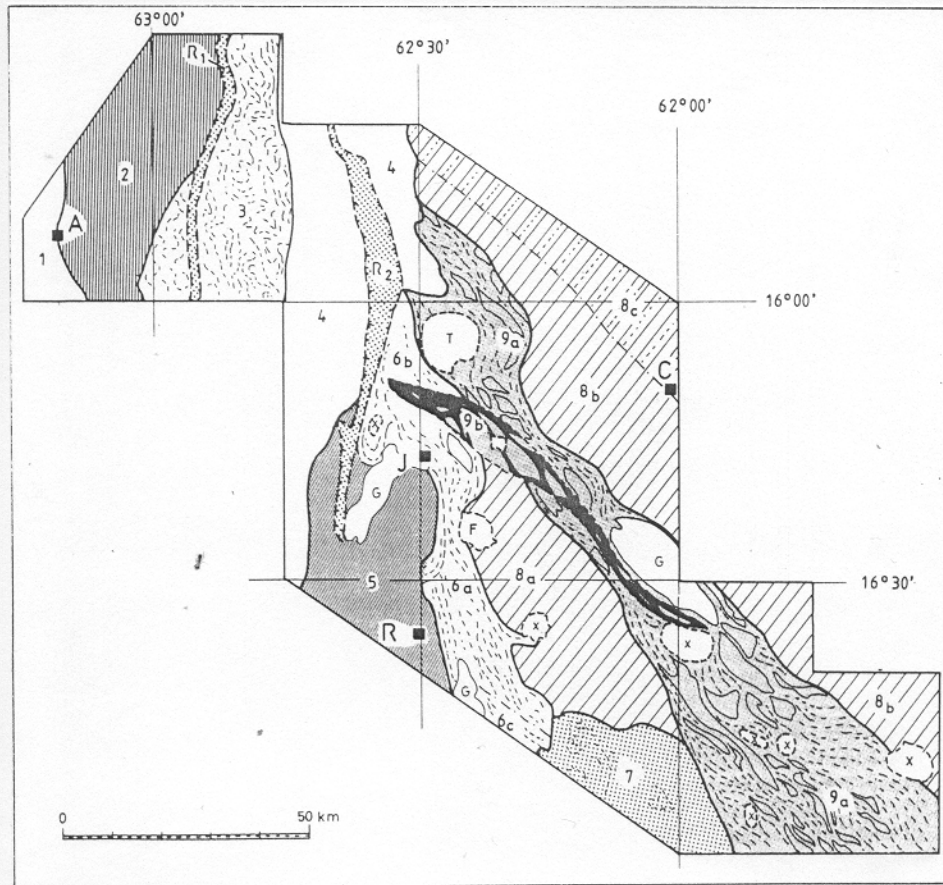


Figura 2.2. Subdivisão estrutural da área San Javier-San Ramón. Ver texto para descrição de zonas 5-8a. R: San Ramón, J: San Javier, A: Ascención de Guarayos, C: Concepción, T: Cerro Talcoso e F: Cerro San Francisco (WITSCHARD et al., 1993).

comprida que R_1 e R_2 e ainda mais madura, com a ocorrência de sequências vulcânicas e vulcão-sedimentares preservadas em bacias limitadas por falhas (Figura 2.2). Encontra-se nesta uma zona de cisalhamento que desenvolvem rochas cataclásticas até milonitos, diferencia-se muito bem na imagem de satélite (Figura 1.4), com altos e baixos estruturais e vários tipos de rochas. De maneira esquemática, nesta zona 6, ao longo de suas bordas, foram depositados sedimentos clásticos de grão grosso a médio. O

interior deste, foi preenchido com uma série vulcano-sedimentar félsica a máfica e acessoriamente com meta-sedimentos de grão fino. Todas estas rochas, pertencentes ao Supergrupo San Ignacio, se encontram numa grande bacia controlada e delimitada por falhas (Anexo C). Segundo WITSCHARD et al. (1993), muitas destas falhas podem ser fraturas profundas nas bordas do rift, dando lugar a um vulcanismo alcalino. Onde ocorreu a tectônica extensional, havendo um vulcanismo basáltico normal toleítico. O vulcanismo calcico-alcalino tardio, também presente, provavelmente se relaciona a alguma forma de subducção.

Faz-se uma subdivisão da área 6, referindo-se que na subzona 6a foram realizados mais trabalhos de exploração, enquanto que a subzona 6b não foi explorada ainda. A zona mineralizada com formações ferríferas bandadas (P_{n4} , Anexo C; item 2.2.4), é interpretada como uma estrutura "graben", posterior, sobre os lados do rift principal (WITSCHARD et al., 1993).

A zona 8 apresenta principalmente terrenos de granito-gnaisses e intrusões máficas ao redor dos intrusivos pós-tectônicos. A subzona 8a contém muitos remanecentes supracrustais granitizados do Supergrupo San Ignacio.

FLETCHER et al. (1979), LITHERLAND & BLOOMFIELD (1981) e LITHERLAND et al. (1986, 1989) concluem que esta região foi fortemente tectonizada e metamorfisada, por duas orogêneses principais, San Ignacio e Sunsás. Identificam cinco fases de deformação, as duas primeiras na orogênia San Ignacio (~1300

Ma) e as três últimas na orogenia Sunsás (~1300-950 Ma).

WITSCHARD et al. (1993) afirmam que estas orogenias afetaram tanto estas rochas quanto as mineralizações primárias sofrendo remobilização, como é discutido em BOYLE (1979). Estes autores demonstram em base a mapas magnéticos de diferentes tipos, domínios magnéticos ao longo de linhas oblíquas ESE-WNW (padrão magnético recente), com respeito à direção estrutural principal N-S a NNW-SSE da orogenia San Ignacio (padrão magnético antigo). Isto é interpretado como um evento geológico tectonotermal sobreposto, relacionado à última orogenia Sunsás. Entretanto os mapas radiométricos (que dão outros resultados), demonstram que o potássio, tório, urânio e outros elementos não foram afetados por este último evento tectonotermal, possivelmente devido à mobilidade média destes elementos durante eventos de metamorfismo, alteração e meteorização em geral.

Se reconhece na área um amplo metamorfismo dinâmico, que afetou grande parte destas rochas, as deformações vão desde rúpteis-dúcteis até dúcteis com fortes recristalizações (WITSCHARD et al., 1993).

Em geral, a cataclase está mais desenvolvida do que se tem discutido em outros trabalhos (FLETCHER et al., 1979; BERRANGÉ & LITHERLAND, 1982; LÓPEZ & BERNASCONI, 1988), com desenvolvimento de estruturas muito complexas, deslocamentos dextrais e sinistrais, zona de milonitos (milonitos, ultramilonitos), afetando até os granitos, ocorrendo laminação, lineação, onde

é comum a foliação cataclástica (WITSCHARD et al., 1993).

Foram geradas zonas de cisalhamento de direção preferencial NW-SE nas fases tardias da orogenia Sunsás, com planos de foliação recorrentes ou renovados. Como em particular é observado na área Las Taperas-Cerro Largo (Figura 1.4), aonde um controle estrutural das mineralizações nesta zona altamente deformada é evidente, com uma zona de cisalhamento e lateralmente com falhas e fraturas, que foram impostos nesta última orogenia (ítem 3.7).

2.4- MINERALIZAÇÃO

Desde 1850 a área de investigação e seus arredores são consideradas como região de significativo potencial para minerais preciosos (FLETCHER et al., 1979). A principal atividade mineira foi bem desenvolvida nos anos de 1913 a 1918, com a maior extracção de ouro aluvionar. Desde então é considerada como zona mineira, com o aumento nestes anos na exploração de ouro detrítico em garimpos.

PEISER (1944) detalhou um primeiro estudo do potencial aurífero da área e sua atividade mineira, reconheceu várias áreas auríferas, das quais, a área de Santa Rosa de la Mina é a mais interessante, com teores de As > 5 ppm, detectados em sedimentos do rio Quizer, sobre rochas do Grupo Naranjal (Anexo C).

FLETCHER et al. (1979) localizou a posição das áreas auríferas indicadas por PEISER (1944) nos mapas geológico e geoquímico, concluindo que a maioria do ouro foi derivado dos

filitos do Grupo Naranjal (Pn₂₋₈ no mapa geológico, Anexo C).

BERRANGE & LITHERLAND (1982) concluíram que o ouro detrítico explorado na área é derivado de veios de quartzo, concordantes e discordantes com às rochas do Grupo Naranjal. Estes autores, consideram que o ouro foi principalmente originado da água do mar e concentrado nos pelitos carbonosos que protólitos dos constituem os filitos mais grafitosos (Pn₄, Anexo C). Entenderam que o ouro gerado na área estava originalmente presente em sulfetos dos anfibolitos e metavulcanitos, ou que foi aprisionado junto com silicatos em veios de quartzo, e ainda nos óxidos minerais dos sedimentos de idade contemporânea à orogenia San Ignacio. Durante este ciclo orogênico, o metamorfismo regional e o alojamento dos granitos, segundo LÓPEZ & BERNASCONI (1988) causaram a liberação do ouro, sílica e outros metais que se concentraram posteriormente em veios de quartzo, sendo subsequentemente metamorfisados e tectonizados. Parte do ouro e dos outros metais, pode ter migrado e se concentrado em vênulas de quartzo nas zonas de cisalhamento (ítem 3.6). Posteriormente, ainda não se conhece como foi a contribuição e extensão, a uma possível concentração e redistribuição adicional do ouro e outros metais durante o último ciclo orogênico Sunsás (BERRANGÉ, 1982).

BERRANGE & LITHERLAND (1982), descrevem mineralizações de sulfetos em forma de lentes delgadas, compostas por calcopirita e pirita, o que foi confirmado no decorrer do presente trabalho. Estas estão irregularmente disseminadas nas rochas da área. Em

amostras de sedimentos de corrente, estes autores evidenciaram concentrações altamente anômalas de Cu, Mo e As, além de assinalarem que o ambiente é favorável para a existência de veios de quartzo aurífero, sulfetos disseminados ou maciços de Cu, Pb, Zn com Ag e Au em rochas vulcânicas siálicas. Chegaram a confirmar que o horizonte aurífero mais favorável, assinalado por PEISER (1944), é a Formação de Filitos Negros Santa Rosa do Grupo Naranjal, correspondendo às unidades Pn₃, Pn₄, Pn₅ e Pn₇ no mapa geológico (Anexo C). A litologia destas unidades são predominantemente filitos grafitosos, contendo numerosas vênulas irregulares de quartzo. Portanto, estas formações seriam a fonte principal do ouro e outros metais disseminados na área, o que foi verificado no decorrer da presente dissertação.

Destas mineralizações, que sofreram remobilização, também confirmadas por LÓPEZ & BERNASCONI (1988), são associados a mineralização primária epigenética em lentes e bolsões de quartzo encaixados nas zonas de cisalhamento, que estão subparalelas à xistosidade regional NNW. Este tipo de mineralização é encontrado principalmente à leste de San Ramón, no prospecto aurífero Los Clavos-San Clemente que estão alojados nas formações do Grupo Naranjal anteriormente mencionadas. O ouro nestas estruturas ocorre em lentes e bolsões de quartzo leitoso e cristalino, de forma irregular e largura variável dentro os xistos quartzo micáceos a micáceos. Não se conhece o teor de ouro nestes corpos, mas, pela produção de metal nativo, se infere que é alto e

poderia alcançar até 20 g/t. Uma cooperativa nesta área, extraiu em maio de 1994 até 2 g/t (Villas A., informação verbal). Mais ao sul desta zona, no setor Los Clavos, à 10 km de San Ramón, a mineralização está associada a anfibolitos e/ou xistos anfibolíticos, a meta-arcósios e xistos quartzo-micáceos, ocorrendo arsenopirita-pirita auríferas. Nestas duas zonas a alteração hidrotermal é intensa, com desenvolvimento de epídoto e clorita. Na interpretação de imagens de satélite, WITSCHARD et al. (1993) revelam que estes corpos auríferos são ainda mais longos que 5 a 10, km interpretados por outros autores. Uma destas zonas de cisalhamento, a leste dos projectos Los Clavos e San Clemente, estende-se desde o norte da Serra San Francisco até o sul, perto de San Luis (Anexo C). É uma parte desta estrutura que se estudou aqui em detalhe. (ítem 3.6).

Segundo BISTE (1990), o ouro está ligado também a lentes de formações ferríferas bandadas (BIF) fortemente cisalhadas, com segregações de quartzo formando corpos lenticulares, silicificados, as vezes turmalinizados, com limonita/hematita preenchendo as numerosas fissuras, em presença de rochas vulcânicas carbonatadas.

O preenchimento em geral das fraturas das zonas de falhas e de cisalhamento nas diferentes rochas da área, assim como das lentes de metachert com xistos carbonosos, quase sempre é limonita/hematita, similarmente como em outras rochas precambrianas no mundo. Muitas das rochas na área, como os

metabasaltos e metacherts, têm um teor de Fe_2O_3 (como ferro total) de mais de 17% em peso, contido principalmente em hematita, magnetita e pirita (WITSCHARD et al., 1993).

A silicificação, carbonatação e piritização, descritas por LÓPEZ & BERNASCONI (1988), podem estar relacionadas as mineralizações auríferas. A silicificação é bem marcada, com desenvolvimento de veios e vênulas de quartzo e de quartzo microcristalino semi-concordantes e discordantes. A carbonatação e piritização nas metavulcânicas é notável, tanto à SE de San Javier como à leste de San Ramón, com desenvolvimento local de disseminações de pirita, calcopirita e arsenopirita. A alteração varia de acordo com a composição de cada rocha, sendo mais intensa nos metabasaltos e menos nos metariolitos, principalmente a calcita e a pirita. Segundo LÓPEZ & BERNASCONI (1988), a extensão e distribuição da alteração têm provavelmente um controle estrutural, pois em algumas zonas só parte do metabasalto está carbonatado.

Em resumo, como em cinturões de rochas verdes de outras partes do mundo, as mineralizações segundo LOPEZ & BERNASCONI (1988) são as seguintes:

a) singenéticas, associadas a formações ferríferas bandadas; sendo aquelas de maior importância econômica ligadas às fácies oxidadas, sulfetadas e carbonática, que está de acordo com o que é observado em outras partes do mundo, onde as mais importantes fácies, é a oxidada (EVANS, 1994). Segundo WITSCHARD et al.

(1993), a mineralização de ouro nestas rochas pode ser também epigenética, pois as fraturas mineralizadas a ouro e carbonatos são discordantes. Isso é discutido também por PHILLIPS et al. (1984) e GROVES & PHILLIPS (1987) para outros exemplos no mundo. O estudo das formações ferríferas como potencial de minerais econômicos é tratado ademais: FRIPP (1976), MASTER et al. (1988) e SAAGER & OBERTHUR (1988);

b) singenéticas, associadas a sulfetos maciços vulcanogênicos de metais base com Au e Ag; estes corpos são geralmente estratiformes, lenticulares ou formando mantos, desenvolvidos nas interfaces entre unidades vulcânicas ou vulcano-sedimentares. Para estes autores, as associações metálicas são: Zn-Pb-Cu, Cu e principalmente de Zn-Cu com Au e Ag como subprodutos. Desta forma, estes apresentariam o maior potencial de mineralizações de sulfetos de metais base de Au na área (WITSCHARD et al., 1993). LITHERLAND et al. (1986) reconheceram sulfetos maciços de Cu e Ag com pirita, de ocorrência muito local.

Destes depósitos associados a rochas vulcano-sedimentares, observa-se que menos de 26% são hospedados em rochas basálticas e mais que 56% em rochas riolíticas (RONA, 1988). BROWNING et al. (1987) demonstram que o ouro, pode ser derivado dos sulfetos de Ni e Cu, em faixas de rochas verdes, onde a mineralização de ouro é tardia, portanto epigenética. SOLOMON & WALSHE (1979), KUYUMJIAN (1981), DANNI (1988) e FORTES et al. (1992), discutem também, a relação dos depósitos vulcanogênicos e suas mineralizações.

O grupo de rochas vulcano-sedimentares na área de estudo, tem muita relação com este tipo de depósitos, onde uma litologia predominantemente basáltica encontra-se nas formações Pn₃, Pn₄, Pn₅, Pn₇ (Anexo C) e uma litologia dominante riolítica nas formações Pn₂, Pn₆, Pn₈. É possível ter uma associação de sulfetos maciços de Cu-Zn-Pb e Zn-Cu com Au e Ag, discutido no item 3.6 e

c) epigenéticas, de tipo venular ou filoniano; particularmente abundantes nas unidades máficas, que podem ser concordantes ou discordantes. A mineralização está geralmente ligada às zonas de cisalhamento ou de fraturamento apresentando-se na forma de veios e/ou filões de quartzo, nas quais o ouro ocorre em estado nativo, com pouca quantidade de sulfetos. Diversos trabalhos sobre mineralizações associadas às zonas de cisalhamento são: EION (1981), BOULTER et al. (1987), BONNEMAISON (1986), MUELLER et al. (1988), BURROWS & SPOONER (1989), HODGSON (1989), CAMERON (1989b), DOSSIN et al. (1990), RHEINHART & DAVIDSON (1990), OLIVEIRA & LEONARDOS (1990), MAGALHÃES & NILSON (1993).

3. GEOQUIMICA

3.1- INTRODUÇÃO

A área de San Javier-San Ramón, por sua tradição mineira na exploração principalmente de ouro, até, de forma rudimentar na atualidade, tem uma grande importância nesta pesquisa pela prospeção geoquímica aplicada e as associações metálicas reveladas em algumas das zonas anômalas.

3.2- CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

De uma forma geral, a área tem sido estudado através dos solos de ambiente floresta-tropical a tipo savana (Figura 1.3), com desenvolvimento *in situ*, muito pouco transportados. Estes solos são pouco desenvolvidos em terrenos graníticos, formando latossolos associados as rochas vulcano-sedimentares.

O solo residual, constitui o material de investigação mais importante na localização de algumas mineralizações econômicas, pois representa a área imediata de sua amostragem, onde o conteúdo dos metais neste solo pode dar uma indicação das concentrações em profundidade (SIEGEL, 1992).

Uma descrição geral do perfil do solo da área se faz, tomando como referência a ROSE et al. (1979):

a) solos ferruginosos ocorrem nas áreas com vegetação tipo savana com uma razoável distribuição de chuvas. O material original é geralmente félsico das rochas ígneas a vulcânicas intermediárias

ou sua equivalente metamórfica, onde o horizonte superficial A1 (Figura 3.1) é normalmente cinza esbranquiçado arenoso com matéria orgânica; um horizonte A2 marrom claro limita o horizonte superficial. O horizonte marrom a amarelado B exibe distintas camadas argilosas ou "skins" principalmente caulínica e

b) um outro solo se desenvolve nas rochas intermediárias a máficas com vegetação tipo floresta-tropical e transicional savana floresta-tropical (Figura 1.3), com alta precipitação nas zonas de floresta-tropical, tendendo a formar um perfil rico-argiloso. Os latossolos de cor marrom alaranjada têm um espesso horizonte C rico em argila, contendo relictos da rocha alterada, sendo subjacentes a um horizonte A escuro areno-argiloso com matéria orgânica (Figura 3.1). A formação argilosa é principalmente caulínica, com óxidos de Fe. Os solos nas rochas máficas têm em geral uma cor marrom, com vários níveis de argilas no horizonte B e algumas vezes formação de concreções.

Muitos constituintes dos minerais primários são lixiviados por intemperismo e incorporados aos solos, resultando a formação de halos de dispersão (SIEGEL, 1992). Estes alcançam uma área maior que a mineralização primária, daí que podem ser detectados mais facilmente até alcançar sua fonte. Assim se determina que a prospeção nestes solos é suficiente a uma profundidade de 15 a 40 cm, para detectar os elementos no horizonte B (KRISTIANSSON & MALMQVIST, 1987). Estes autores e MALMQVIST et al. (1989) detectam metais por suspensão em gases, no primeiro horizonte

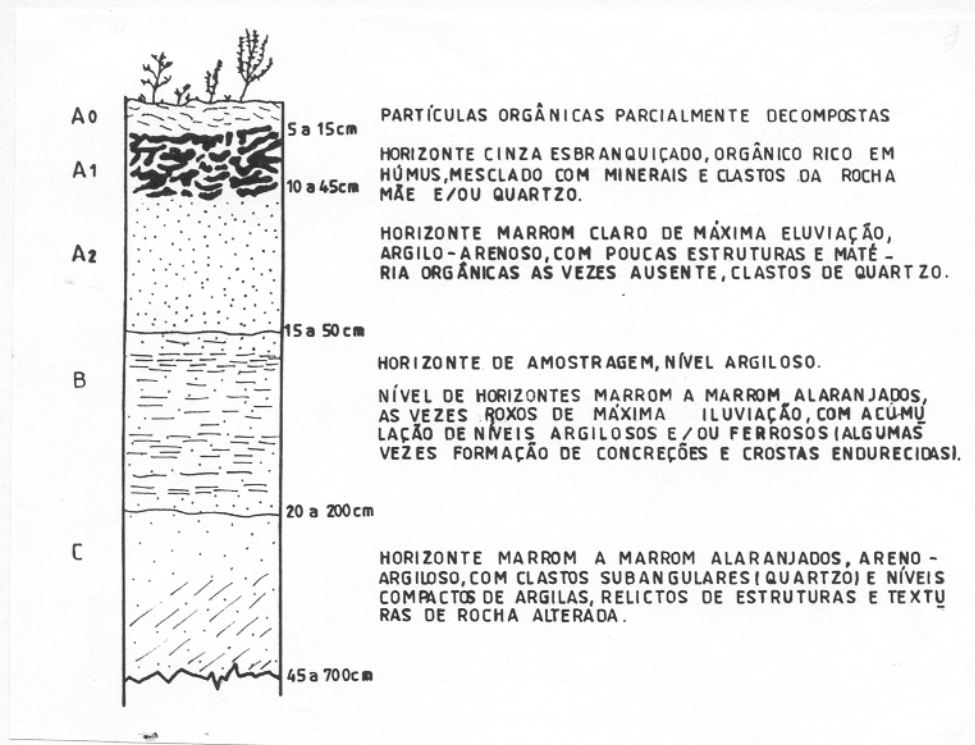


Figura 3.1. Perfil do solo generalizado para a área investigada, com base em Fletcher et al., (1979), Litherland (1986) e Rose et al. (1979).

argiloso do solo em zonas de compressão-distensão, refletindo provavelmente mineralizações de zonas muito profundas.

3.3- OBTENÇÃO DOS DADOS GEOQUÍMICOS

3.3.1- Metodologia de Campo

O levantamento geoquímico foi dividido em duas campanhas. A primeira ocorreu nos anos de 92 e 93, principalmente em alvos selecionados ao longo de perfis transversais à direção das estruturas geológicas (Figura 3.2). O **intervalo** de amostragem foi de 50 m nas séries vulcano-sedimentares e até 200 m em terrenos graníticos. Meio quilo de solo foi amostrado à **profundidade** de 0,15-0,70 m, sendo este rico em argila e sem matéria orgânica

(Figura 3.1). 343 amostras foram coletadas com o auxílio de um trado mecânico motorizado, com um amostrador helicoidal tipo "auger" e acondicionadas em sacos de papel "kraft" previamente numerados.

Na segunda campanha, no ano de 1994, a amostragem foi realizada em caminhos e picadas (Figura 3.2), escolhidos de acordo com os resultados obtidos na primeira experiência e o conhecimento de ocorrências minerais. Foi sempre perpendicular às estruturas e, preferencialmente, nas áreas com seqüência vulcânico-sedimentar. A **profundidade** da amostragem foi de 0,15 a 0,43 m (Figura 3.1). Um total de 80 amostras foi coletado com a ajuda de uma cavadeira manual. O **intervalo** de amostragem foi de 50 m nas picadas, e quando paralelamente aos caminhos foi de 600 a 1000 m, distante 10 m destes para evitar amostras contaminadas ou alóctones.

3.3.2- Metodologia de Laboratório

A preparação das amostras de solo da primeira campanha para análises nos laboratórios da Swedish Geological AB começou com a secagem a 60°C, logo a desagregação e peneiramento na malha de 80 mesh, e por fim a análise química nas frações mais finas < 200 mesh. A abertura foi feita por fusão de LiBO_2 e logo dissolução em ácido nítrico. A determinação do conteúdo total de elementos menores e traços se realizou por espectrometria de emissão de plasma (ICP-AES). Au e Te foram determinados por espectrometria

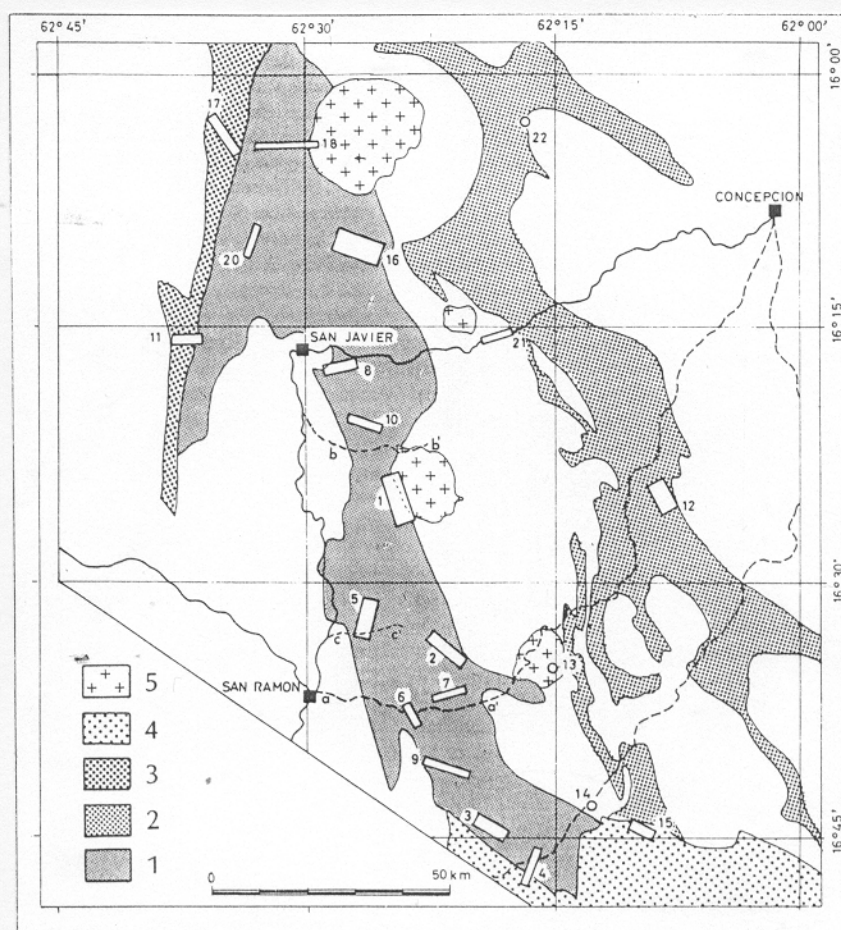


Figura 3.2. Localização dos alvos de exploração 1, 2, 4, 5, 10 (amostrados na fase 1). Perfils a-a', b-b', c-c' (amostrados na fase 2). 1:Series vulcânico-sedimentares. 2: Series sedimentares do Cerro Pelado. 3: Series sedimentares San Javier-oeste. 4: Sedimentos Sunsás. 5: Granitos pós-tectônicos. Modificado de WITSCHARD (1991).

de absorção atômica em forno de grafite (GFAAS) e As, Sb e Bi por geração de hidretos (SGAB ANALYS, 1991), (WITSCHARD et al., 1991).

As amostras da segunda campanha foram preparadas e peneiradas na malha de 80 mesh e analisadas nos laboratórios do Serviço Geológico da Bolívia. Nelas foi dada preferência às determinações de Au, As, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Ni, Sb e Zn.

Após ataque com água régia e sua evaporação em duas horas, se determinou a concentração desses elementos por absorção atômica. Depois de fusão de uma quantidade de amostra atacada com HBr, o Au sofreu extração com solvente orgânico metil-isobutil-cetona (MIBK) e determinado por absorção atômica.

3.3.3- Resultados Analíticos

Os elementos analisados foram: Au, Bi, Sb, Cu, Pb, Zn, As, La, Y, Ag, Al, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Nb, Ni, P, S, Sc, Sn, Sr, Te, Ti, V, W, e Zr (Anexo A).

O tratamento e interpretação dos dados está baseado prioritariamente nos seis primeiros elementos da lista acima. Devido aos altos limites de detecção, não foi conhecida a distribuição dos elementos Ag, Cd, Mo, Nb, Sn e W.

No Anexo (B) são listados os dados analíticos segundo os alvos e linhas de amostragem (Figura 3.2).

3.4- TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS GEOQUÍMICOS

Com o total dos dados analíticos foram construídos histogramas e logo eliminados os valores extremamente altos ou baixos (outliers), que dificultam o tratamento estatístico já que podem ser devido a contaminação e/ou mineralização. Esses valores isoladamente, foram utilizados na verificação das possíveis áreas mineralizadas e/ou anômalas. A seguir, com as populações então mais homogêneas, foram obtidos os parâmetros estatísticos que

serviram para determinar quais elementos deviam ser tratados com prioridade. Depois foram analisados os dados nos perfis de amostragem para cada elemento, observando-se com isso as zonas com valores mais elevados para certos elementos. Foram feitas ainda tabelas que mostram melhor e comparativamente a informação de cada área de amostragem (Anexo B), considerando-se o tipo de amostragem irregular, acompanhando traços estruturais concentrados na seqüência vulcão-sedimentar (Figura 3.2).

Depois desta análise inicial, se fez um tratamento do total de dados geoquímicos regionais dos elementos mais importantes para a pesquisa mineral. Os parâmetros estatísticos obtidos permitiram a divisão dos dados em três grupos principais, tendo em conta também as relações rocha-solo e afinidades litológicas, o que por fim levou à determinação de parâmetros areais, discutidos no item 3.5.4. O tratamento estatístico dos dados por área produz parâmetros que caracterizam três zonas importantes, sobretudo pela ocorrência de valores anômalos; duas zonas com presença de garimpos (zona anômala I e II), de menor prioridade, e uma outra antes não conhecida e de área menor (zona anômala III), alvo desta pesquisa. Esta zona anômala III foi melhor estudada para os elementos alvos de metais base e preciosos, aplicando-se ainda, métodos multivariados (item 3.7).

3.4.1- Considerações a cerca da Distribuição Estatística

Os métodos estatísticos são uma ferramenta útil à prospeção geoquímica para reconhecer padrões de dispersão dos elementos formadores de minérios e seus farejadores. O estudo das leis de distribuição destes elementos químicos e os parâmetros que a regem fazem parte dos objetivos desta pesquisa.

Para ROSE et al. (1979) e SINCLAIR (1976, 1991) o estudo da distribuição da frequência dos elementos geoquímicos em rochas e outros materiais naturais sugere que, em muitos casos, os logaritmos das concentrações formam distribuições aproximadamente normais. Há casos, entretanto, em que as distribuições empíricas, de dados geológicos, não se adaptam nem à distribuição normal nem à log-normal, em virtude da influência de múltiplos fatores geoquímicos e geológicos que afetam as concentrações dos elementos químicos em materiais naturais.

Talvez o mais sério problema em reconhecer um modelo lognormal com muitos dados reais seja encontrado com as distribuições polimodais (SINCLAIR, 1976). A frequência de ocorrência de tais distribuições polimodais lognormais indica que isto é lógico por existirem populações sobrepostas, e estas aproximarem-se a modelos lognormais (SINCLAIR, 1991).

3.5- ANÁLISE ESTATÍSTICA UNIVARIADA

A estatística univariada está baseada na medida de uma só variável aplicada a um meio amostrado (exemplo: os conteúdos de Sn e Bi em rochas graníticas). O conjunto hipotético de todas as observações possíveis do tipo que é investigado se conhece por universo ou população de dados. Qualquer conjunto parcial, limitado, destas observações, pode considerar-se como uma amostra extraída desta população. Se a amostra é representativa desta população, podem ser obtidas conclusões sobre a última a partir de análises estatísticas da primeira. A parte da estatística que trata de inferências é a chamada estatística indutiva ou inferencial (MERODIO, 1985).

A estatística univariada permite ao geoquímico conhecer um grande volume de dados. Histogramas e diagramas de probabilidade fornecem um meio para se alcançar e revelar alguma complexidade interna. É importante saber na análise de um volume de dados, por exemplo: suas particularidades, em especial o grau de dispersão e a forma da distribuição dos dados (MERODIO, 1985).

3.5.1- Histogramas de Frequência Relativa

A base para os estudos estatísticos geoquímicos é a preparação de um histograma de frequência relativa, isto é, a investigação do tipo de distribuição (SIEGEL, 1992). Assim, um dos principais objetivos dos levantamentos em geoquímica regional

é estabelecer o background de um elemento considerado importante na detecção de acumulações minerais econômicos (LEVINSON, 1980). De tal forma que as concentrações formadas ao redor de uma acumulação, serão reveladas por seus valores anômalos, que podem corresponder a alguma acumulação oculta.

Os dados foram divididos em 9 a 19 classes, segundo LEPELTIER (1969), mediante a equação:

$$\log \text{ int.} = \frac{\log R}{n} \quad \text{onde;}$$

$\log \text{ int}$ = intervalo de classe em logaritmos, geralmente entre 0,03 e 0,20, tomando como padrão 0,11

R = a razão máximo/mínimo

n = número de classes

Com a finalidade de se ter melhores distribuições empíricas, se fez uso das transformações logarítmicas, aproximando-se mais de uma distribuição gaussiana, requerida para se obter melhores parâmetros descritivos.

Nos histogramas da Figura 3.3, para o Cu e Ni a distribuição é lognormal, simétrica. Para os elementos Pb e As a tendência assimétrica positiva está presente, mostrando duas populações lognormais melhor definidas, podendo-se diferenciar uma população de valores de background e outra de valores anômalos, ocorrendo uma maior sobreposição das populações de Pb que As, onde é maior a tendência de valores de fundo (Figura 3.3).

No caso do zinco, a tendência é simétrica de distribuição

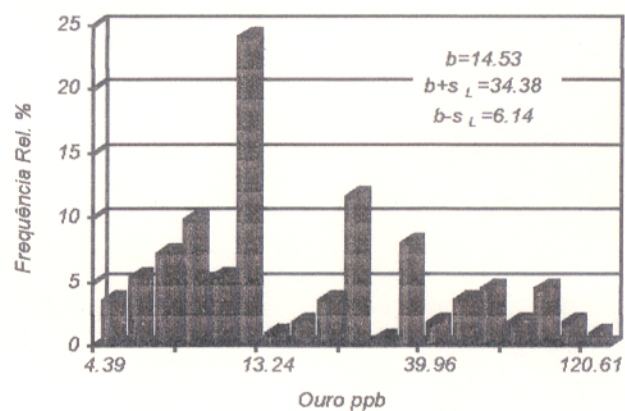
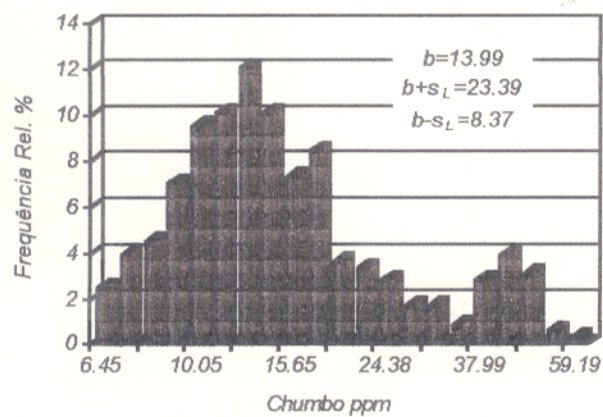
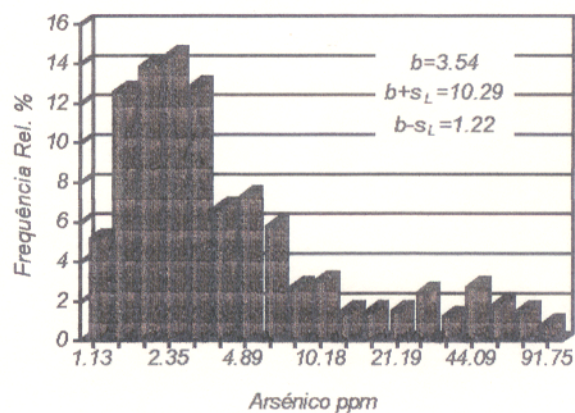
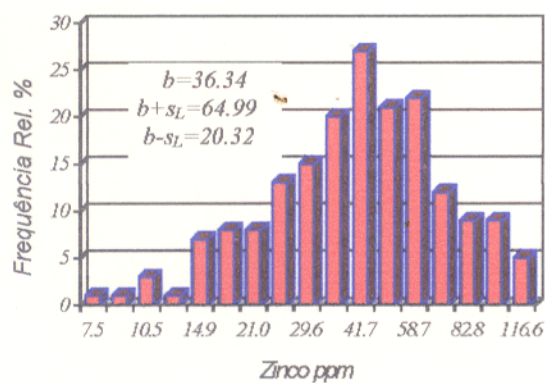
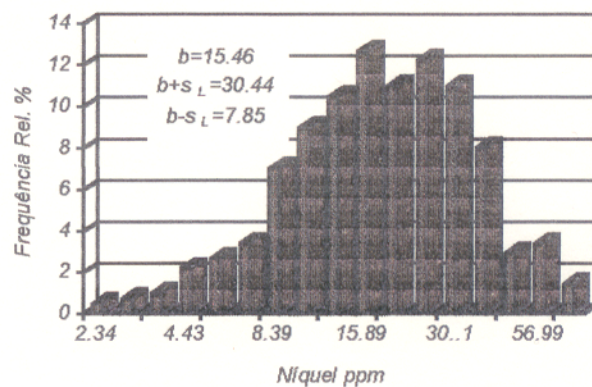
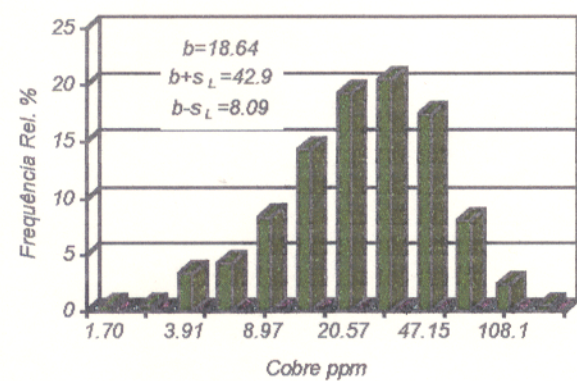


Figura 3.3. Histogramas logarítmicos de frequência relativa, mostrando as distribuições unimodais regionais de Cu e Ni, bimodais de Zn, As, Pb e multimodais de Au.

lognormal bimodal. Para Au, a distribuição sugere ser multimodal com três populações. Te, não mostrado, tem distribuição regional errática, não definida.

Na Tabela 3.1 se faz um resumo das distribuições lognormais regionais apresentadas para a maioria dos elementos que serão discutidos no item 3.5.2, e a Tabela 3.2 lista os parâmetros estatísticos e geoquímicos para estas populações de distribuição lognormal regional.

Tabela 3.1. Tipos de distribuição regional das variáveis geoquímicas da área San Javier-San Ramón.

<i>Distribuição</i>	<i>Variável</i>
<i>Unimodal</i>	Cu, Bi, Sb, Ni, Cr, Co, Ba, La, Li, Y, Sc, Sr, Fe, Be, Mn, Mg, Al, P, Ti, Zr.
<i>Bimodal</i>	As, Pb, V, Zn, S, Ca.
<i>Multimodal</i>	Au.

Segundo SHAW (1961), a lei de distribuição lognormal é muito comum para a maioria das distribuições geoquímicas. Para verificar isto é usado o coeficiente de variação (CV), que é a razão do desvio padrão pela média (S_L/b). Este prevê um critério para a alternância entre uma lei normal ou uma lei log-normal para subseqüentes testes estatísticas. Quando $CV < 20\%$, ambas as leis estimariam similares possibilidades, mas quando $CV > 20\%$, a lei lognormal é mais real. É o caso da maioria dos elementos neste trabalho (Tabela 3.2). Para Be, que apresenta tanto uma distribuição normal como lognormal, pode referir-se ao

Tabela 3.2. Parâmetros estatísticos e geoquímicos regionais de distribuição lognormal das variáveis geoquímicas, em 423 amostras de solo da área San Javier-San Ramón.

Elemento (unidade)	Número n	Media Geom. b	Desv. Pad. s _L	Máximo	Mínimo	Mediana	Coef. de Var. C. V. (%)
Au (ppb)	112	14,53	2,36	110,00	4,00	10,00	32,16
Cu (ppm)	415	19,19**	2,18	133,01	1,90	20,24	26,48
Zn (ppm)	410	36,34**	1,78	107,10	4,90	39,20	*16,17
Bi (ppm)	249	0,22	1,48	0,62	0,12	0,21	26,47
As (ppm)	326	3,53**	2,91	81,20	0,00	2,60	84,58
Ba (ppm)	406	116,90**	1,64	350,02	21,10	123,99	*10,49
Pb (ppm)	358	13,95**	1,67	56,00	6,00	10,00	*19,53
La (ppm)	316	34,91**	1,60	90,69	10,09	37,29	*13,39
Sb (ppm)	384	0,35**	0,25	1,39	0,11	0,35	57,14
Ni (ppm)	410	15,46**	1,96	63,40	1,69	15,90	24,73
Cr (ppm)	407	31,70	2,20	122,99	3,29	31,95	22,81
Co (ppm)	370	12,52**	2,14	62,10	1,20	13,80	30,18
Sc (ppm)	316	5,64**	2,10	29,10	1,10	5,79	42,99
Sr (ppm)	311	17,32**	1,78	59,19	4,00	18,94	20,29
V (ppm)	325	54,40**	2,19	335,27	8,10	55,39	*19,65
Fe (%)	374	3,37	1,82	11,89	0,76	3,39	49,38
Be (ppm)	333	1,40**	1,45	2,90	0,29	1,39	111,37
Li (ppm)	328	6,18**	1,74	23,59	1,00	6,49	30,57
Y (ppm)	327	18,52**	1,70	88,00	4,10	19,39	*18,23
P (%)	301	0,03	1,66	0,09	0,01	0,02	*14,62
Ti (%)	203	0,03	1,66	0,09	0,01	0,02	*14,59
Mn (%)	341	0,04**	1,80	0,16	0,01	0,04	*19,09
S (ppm)	330	68,56**	1,72	273,02	6,20	70,00	*12,94
Mg (%)	323	0,21**	2,23	1,53	0,02	0,22	51,85
Ca (%)	315	0,12	2,14	0,41	0,01	0,13	35,96
Al (%)	331	1,71	1,63	4,75	0,45	1,65	90,56
Zr (ppm)	331	3,67**	1,91	18,30	0,47	3,74	49,95

(*) Lei normal e lognormal com similares possibilidades.

(**) Tendência à simetria.

coeficiente de variação maior que 100%, indicando uma falta de homogeneidade em sua distribuição, sendo menor do que 80% para a maioria dos demais elementos, indicando boa distribuição.

3.5.2- Curvas de Frequência Acumulada.

Foram construídas curvas de frequência acumulada em papel de probabilidade. A representação de uma densidade de distribuição em um diagrama de probabilidade acumulativa padrão é comum (SINCLAIR, 1976), onde a escala *aritmética* ou *logarítmica* está nas ordenadas e a escala de *probabilidade* nas abcissas. A escala de probabilidade faz com que uma distribuição de densidade *normal* seja diagramada como uma *linha reta*, ou tenderá a uma reta (Figura 3.4).

O intervalo dos percentis entre 16 e 84 representa aproximadamente 68,26% dos dados; entre 2,5 e 97,5 estão 95,44% dos mesmos. Estes percentis ou frequências são acumulados de altos para baixos valores, como é comum para os dados de exploração mineral, de maneira que o 100% da frequência acumulada correspondem ao valor mais alto (Figura 3.4).

Nos diagramas de probabilidade é mais fácil aproximar-se da normalidade das populações e também o reconhecimento de uma ou mais populações. A determinação das populações discriminadas na análises de probabilidade produz um importante agrupamento de dados, que permite reconhecer populações específicas, refletindo as influências geológicas e geoquímicas.

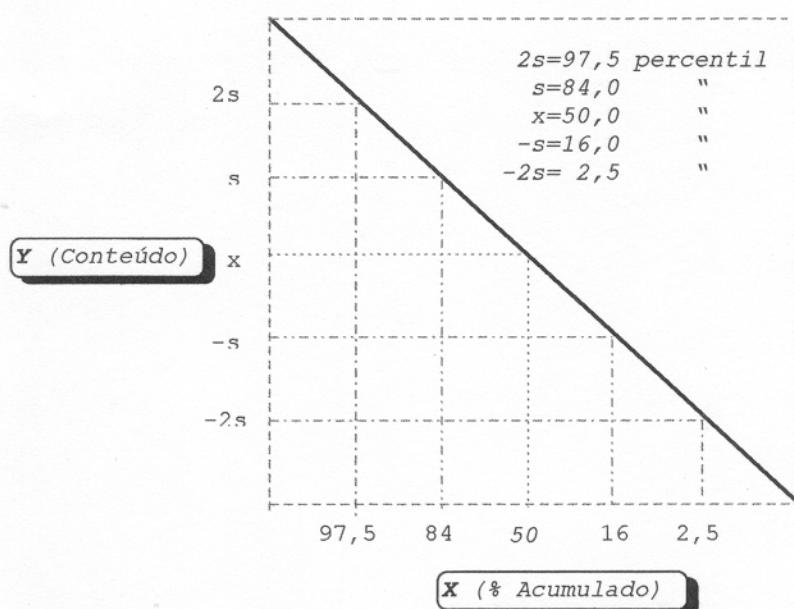


Figura 3.4. Diagrama ilustrando a direta relação entre os valores (Y) conteúdo do elemento de uma distribuição normal padronizada e (X) porcentagem acumulativa a escala de probabilidade; (x) é a média, (s) o desvio padrão (SINCLAIR, 1976).

Quando se forma uma reta, temos uma população. Quando duas, havendo então um ponto limite de inflexão, há duas populações; em casos mais raros observam-se três populações. Exemplos são encontrados em SINCLAIR, (1974, 1976, 1986 e 1991), STANLEY & SINCLAIR, (1987 e 1989).

As Figuras 3.5, 3.6 e 3.7 mostram as curvas de distribuição para às populações lognormais em diagramas de probabilidade de frequência acumulada. Analisando estas curvas de probabilidade podemos identificar os seguintes tipos de populações:

- populações com distribuição lognormal unimodal (Figura 3.3), representada por uma reta definindo uma população A para Cu e Ni (Figura 3.5) e para os elementos Bi, Sb, Cr, Co, Ba, La, Li, Y, Sc, Sr, Fe, Be, Mn, Mg, Al, P, Ti e Zr (Tabela 3.3). Na análise

do histograma aritmético para Ni, este apresenta uma tendência bimodal assimétrica positiva, enquanto que sua transformada logarítmica (Figura 3.3) mostra uma distribuição unimodal assimétrica negativa, caracterizada por uma reta em seu diagrama de probabilidade (Figura 3.5). O mesmo acontece com o Fe;

- populações com distribuições lognormais bimodais (Figura 3.3), representadas por uma curva em forma de **Z**, definindo duas populações A e B para Zn, Pb e As (Figuras 3.6 e 3.7) e para as variáveis V, S, Ca (Tabela 3.3). Na análise da distribuição aritmética para Zn, este apresenta uma tendência unimodal assimétrica positiva, verificando-se em seu histograma logarítmico e diagrama de probabilidade (Figura 3.6) duas populações; a de uma população menor B de valores baixos e outra população maior A de valores altos e

- populações com distribuições multimodais com ou sem superposição (Figura 3.3), caracterizadas por uma curva sinuosa definindo três populações A, B e C, que pode representar uma mistura de populações, como no caso do ouro (Tabela 3.3), (Figura 3.7). Este elemento apresenta até três populações, onde a densa superposição de dados na parte central define uma outra população B de valores mesclados, uma população maior C de valores baixos e uma população menor A de valores altos. Esta distribuição está definida pelo tratamento conjunto de dados dos grupos litológicos presentes na área, representando provavelmente anomalias regionais e locais de populações background e anômalas.

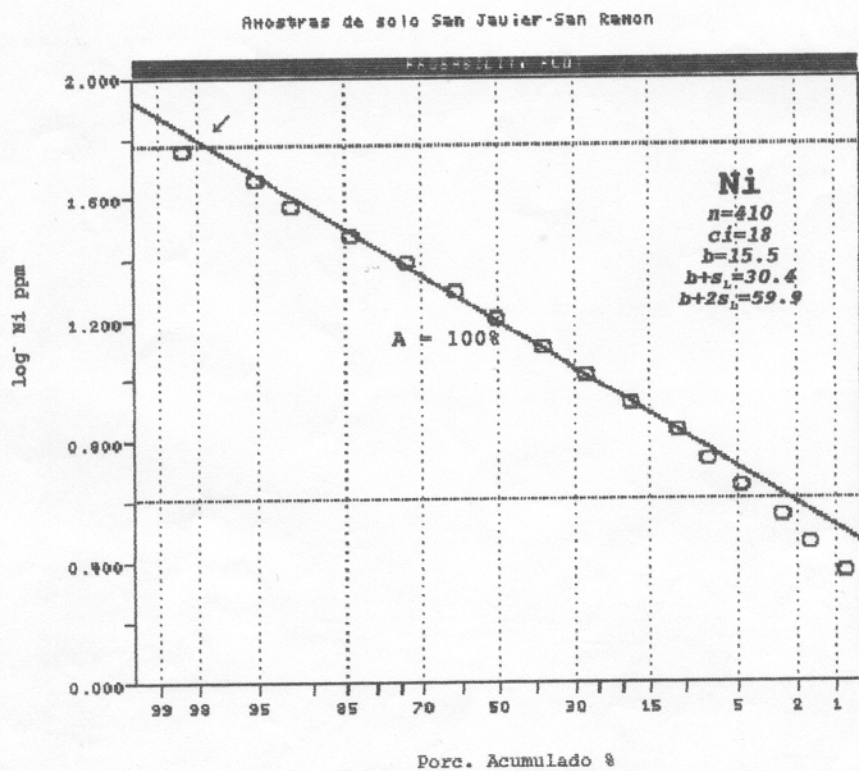
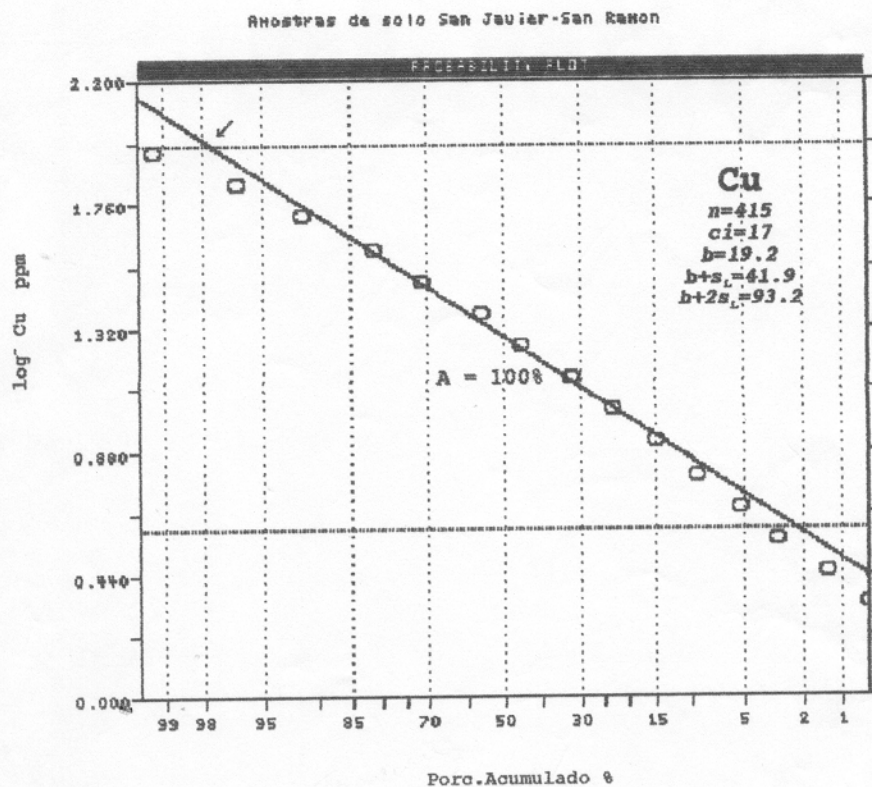


Figura 3.5. Diagramas de probabilidade de frequência acumulada para dados residuais regionais de Cu e Ni.

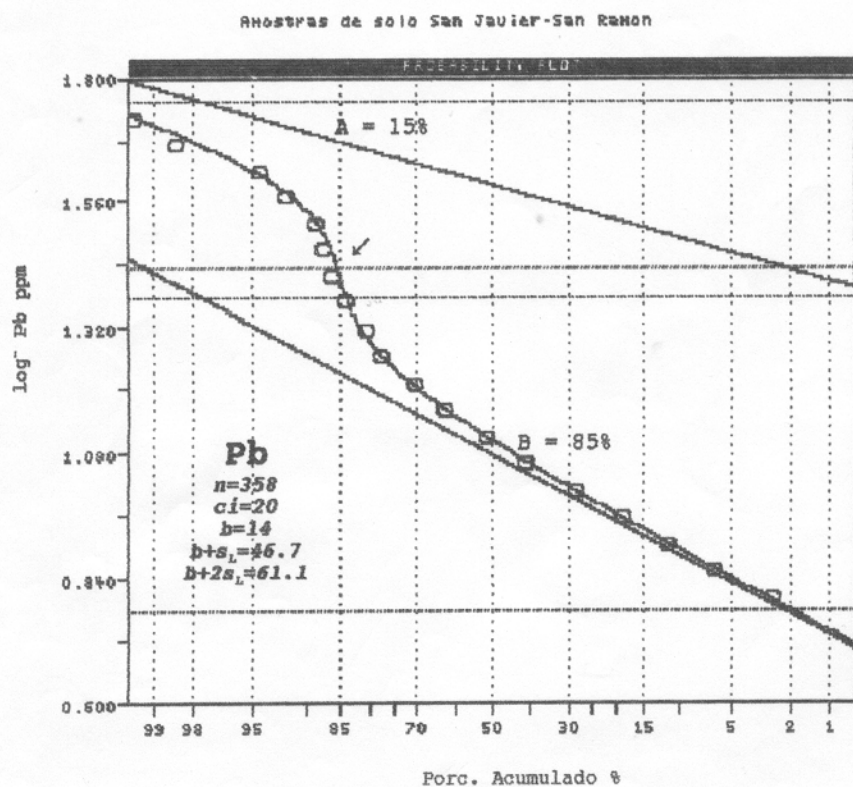
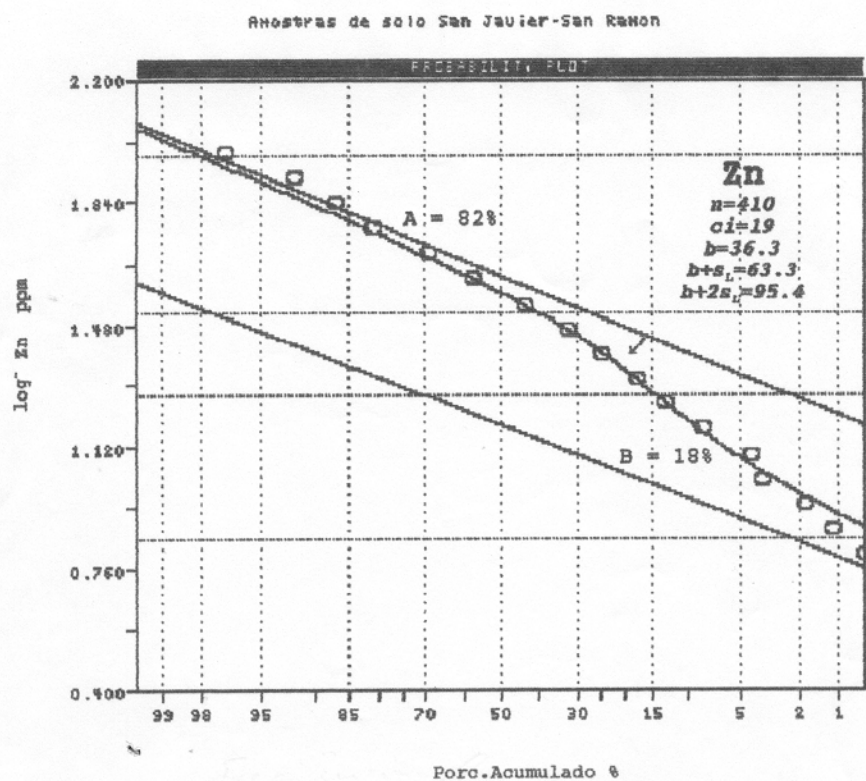


Figura 3.6. Diagramas de probabilidade de frequência acumulada para dados residuais regionais de Zn e Pb.

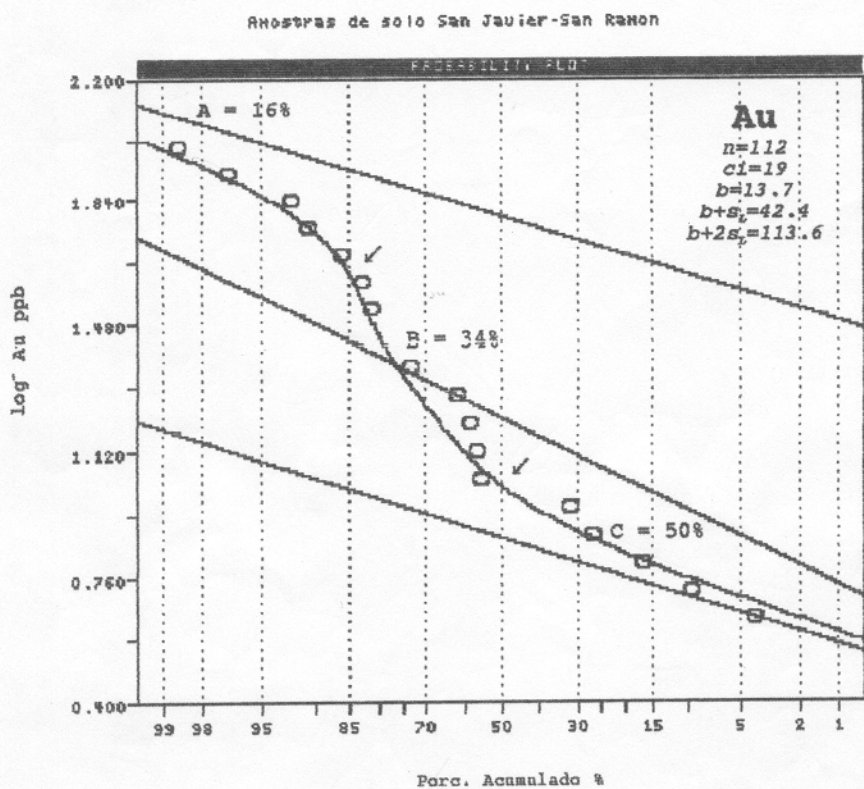
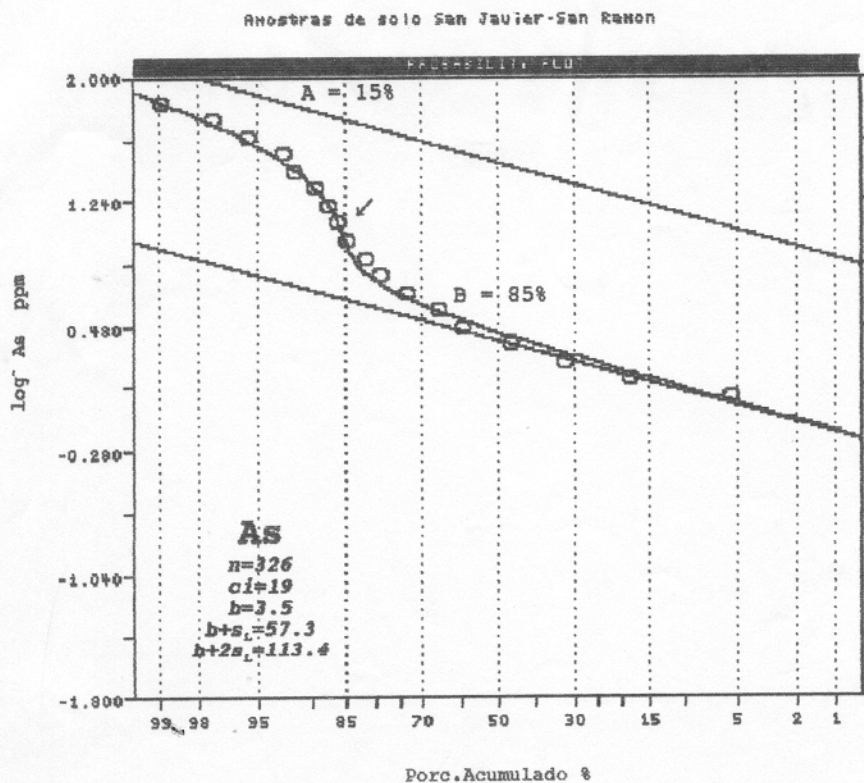


Figura 3.7. Diagramas de probabilidade de frequência acumulada para dados residuais regionais de As e Au.

Tabela 3.3. Distribuição das populações lognormais regionais para os elementos geoquímicos, em 423 amostras de solo. Baseado em SINCLAIR (1976) e STANLEY (1987).

<i>Distribuição</i>	<i>Variável</i>
<i>1 população</i>	Cu, Ni, Bi, Sb, Cr, Co, Ba, La, Li, E, Sc, Sr, Fe, Be, Mn, Mg, Al, P, Ti, Zr.
<i>2 populações</i>	As, Pb, Zn, V, S, Ca.
<i>3 populações</i>	Au.

As curvas de frequência acumulada do Cu e Ni são aproximadamente lineares representando uma população simples lognormal, com alguma inflexão em suas extremidades. A aproximação destas distribuições foi verificada pelo teste de otimização de Chi-quadrado e Máxima Verossimilhança dos dados acumulados, segundo STANLEY (1987). Estes testes foram realizadas para cada variável.

A curva de frequência acumulada para Au sugere a possibilidade de encontrar duas populações, com uma população intermediária A e B de superposição representada pelo agrupamento central. Esta possibilidade não se ajusta às provas de otimização de STANLEY (1987) e limites de confiança de LEPELTIER (1969). Pelo qual estima-se na curva três populações (Figura 3.7); A=16% de valores altos (anomalias locais), B=34% de valores intermediários (anomalias regionais) e C=50% de valores baixos (background).

Os efeitos da posição do ponto de inflexão na curva de frequência acumulada em papel de probabilidade, forma da

curvatura (sigmoidal), polimodalidade, precisão analítica, precisão gráfica e a otimização do método considerados de muita importância, são discutidos em detalhe por PARSLOW (1974).

3.5.3- Determinação dos Valores de Fundo e de Limiar

No tratamento de dados univariados, a determinação de valores de background e do limiar são importantes, pois daí resulta o reconhecimento de valores anômalos.

Os *Valores de background* são, em geral, aceitos como aqueles no intervalo da média ± 1 ou 2 desvio padrão. O *limiar* é o limite entre o background e os valores anômalos (LEPELTIER, 1969, SINCLAIR, 1974, 1976, ROSE et al. 1979, LEVINSON, 1980, GOVETT, 1985) e outros.

A determinação dos pontos limiares nos gráficos de frequência acumulada em escala de probabilidade, realça mais as zonas de prováveis anomalias, além de fazer com que os dados tenham menos peso para populações de background e mais para o grupo de valores anômalos, principalmente nas populações bimodais e polimodais.

Nos diagramas de probabilidade para Cu e Ni (Figura 3.5). As distribuições unimodais definem os valores de background de 19,2 e 15,5 ppm, respectivamente, assim como os valores limiares de 41,9 e 30,4 ppm. Nas ordenadas estão os logaritmos das concentrações. Estes parâmetros estimativos e dos demais elementos unimodais são resumidos na Tabela 3.4. Fazendo uma

comparação destes valores com os valores background em superfície para rochas e solos resumidos na Tabela 3.5, verificamos que a maioria destes elementos na área, estão abaixo a média.

Tabela 3.4. Parâmetros discriminados das populações unimodais lognormais regionais, em 423 amostras de solo da área San Javier-San Ramón.

Variável (ppm)	Número n	Media Geométrica b	Valores Limiar	
			b - s _L	b + s _L
Cu	415	19,2	8,7	41,9
Ni	410	15,5	7,8	30,4
Bi	249	0,21	0,13	0,32
Sb	356	0,35	0,19	0,64
Cr	419	32,62	14,8	75,58
Co	372	12,51	5,71	27,37
Ba	406	116,90	70,94	192,64
La	329	33,66	19,41	58,36
Fe	374	3,37	1,85	6,14
Y	327	18,52	10,87	31,53
Li	328	6,18	3,54	10,78
Be	333	1,40	0,96	2,04
Sc	316	5,64	2,68	11,88
Sr	332	15,56	7,54	32,12

Os diagramas de probabilidade das Figuras 3.6 e 3.7 mostram as distribuições bimodais para Zn, Pb e As. No diagrama para Zn, a população B, de valores baixos, com 18% dos casos, representa 74 observações, enquanto que a população A de valores altos, com 82% dos casos, representa 336 observações. Os parâmetros individuais para cada população discriminada são listados na Tabela 3.6.

Para este elemento, os valores superiores a 63,33 ppm (Tabela 3.6) são considerados anômalos e os valores inferiores a este limite, são valores de background. Poucos valores para Zn estão sobre a media, não havendo por tanto valores anômalos (Tabela 3.5).

Segundo a curva de frequência acumulada para Zn (Figura 3.6) 82% dos dados representam a população A de valores altos (Tabela 3.6), o qual indica, uma variação do fundo geoquímico regional deste elemento, verificando o mencionado por LÓPEZ MONTAÑO (1992). Este autor, interpreta que os valores elevados de zinco na área são de origem litológico, relacionados principalmente à formação Taporó nos arredores do alvo 4, no sul da área investigada (Figura 3.2) e (Anexo C).

Tabela 3.6. Parâmetros das populações lognormais discriminadas para Zn (ppm) de distribuição regional, em 423 amostras de solo da área San Javier-San Ramón.

População	Proporção	número n	Media Geomet. b	Valores Limiar b-s _L	b+s _L
A:Valores Altos	82 %	336	42,05	27,91	63,33
B:Valores Baixos	18 %	74	15,05	10,30	22,43
A + B	100 %	410			

Para o Pb (Figura 3.6), uma população B com 85% dos dados está presente contendo os valores baixos, que representam 304 observações com uma média de 11,76 ppm, e uma população A, de 15%, contendo os valores altos, com 54 observações e uma média de 53,75 ppm. Os valores limiares nas interseções da ordenada em $b \pm s_L$, definem os dados como se mostram na Tabela 3.7.

Os valores superiores a 47 ppm são considerados anômalos (2% ou 6 observações) e menores (98% ou 352 observações) são de fundo. Muitos dos quais, são anômalos para a área se comparados com valores de background em solos (Tabela 3.15).

Na mesma análise se determinam os valores de background e de limiar para As e V, e suas populações discriminadas são listadas

na Tabela 3.8. Segundo esta Tabela, os valores de As na área, são mais elevados que sua media geral em solos (Tabela 3.5).

Tabela 3.7. Parâmetros das populações lognormais discriminadas de Pb (ppm) de distribuição regional, em 423 amostras de solo da área San Javier-San Ramón.

População	Proporção	Número n	Media Geomet. b	Valores b-s ₁	Limiar b+s ₁
A:Valores Altos	15%	54	35,75	27,33	46,75
B:Valores Baixos	85%	304	11,77	8,49	16,29
A + B	100%	358			

A análise para ouro é peculiar, com uma variação do background que se relaciona, aparentemente, a suas mineralizações nas diferentes unidades formacionais.

Tabela 3.8. Parâmetros das populações lognormais discriminadas para As e V (ppm) de distribuição regional, em 423 amostras de solo da área San Javier-San Ramón.

Populações	Proporções	Número n	Media Geomet. b	Valores b-s ₁	Limiar b+s ₁
A:Valores Altos	15%	49	28,90	14,59	57,27
B:Valores Baixos	85%	277	2,15	1,12	4,16
A + B	100%	326 de As			
A:Valores Altos	8%	26	260,21	209,19	323,68
B:Valores Baixos	92%	299	47,42	24,60	91,40
A + B	100%	325 de V			

A estimativa da curva de probabilidade (Figura 3.7), define três populações principais. As populações A, B e C são combinações na proporção 16%, 34% e 50%, respectivamente. Os parâmetros estimativos para cada população discriminada são listados na Tabela 3.9.

Os valores limiar para Au são vistos na Figura 3.7 e na Tabela 3.9. Foi escolhido o valor limiar regional (t_1) em 42,42 ppb e o valor de background em 13,70 ppb. Feito a comparação com

a Tabela 3.5 dos valores background de Au em solos e rochas, quase a maioria dos valores de ouro na área são superiores a estes, muitos dos quais são anômalos.

Tabela 3.9. Parâmetros das populações lognormais discriminadas para Au (ppb) de distribuição regional, em 423 amostras de solo da área San Javier-San Ramón.

População	Proporção	Número n	Media Geom. b	Valores Limiar			
				b-2s _L	b-s _L	b+s _L	b+2s _L
A:Valores Anômalos	16%	17	61,60	33,97	45,35	83,66	113,63
B:Valores Background	34%	38	16,32	6,27	10,12	26,31	42,42
C:Valores Background	50%	57	7,43	4,02	5,47	10,09	13,70
A + B + C	100%	112					

O valor de 113,63 ppb é eleito como limiar (t_2) para os valores anômalos locais. Estes valores limiar e de fundo reproduzidos na Tabela 3.10 dividem os dados em quatro grupos, dos quais um só consiste de populações simples.

Tabela 3.10. Estimativa dos valores de Limiar regionais para Au (ppb) da área San Javier-San Ramón.

Valor Limiar (Au ppb)	Conteúdo principal do Grupo
(local) 113	exclusivamente da população A
(regional) 42	quase exclusivamente da população A (30% de B)
(background) 13	combinações de populações A+B+C (50% de B)
	quase exclusivamente da população C (20% de B)

Segundo a tabela 3.9, os valores de Au na área, sim comparados com a tabela 3.5, são anômalos, sendo o valor limiar local de 113 ppb muito anômalo, que foram considerados outliers.

Não foi possível aplicar a este tratamento geral de dados regionais, a análise multivariada, pela rede irregular de

amostragem, pouco número de amostras e caráter semiregional da investigação.

De acordo com esta análise e o conhecimento geral da geologia da área, se dividem os dados em três grupos geoquímicas de maior importância, de acordo com suas características litoestratigráficas, representados no mapa geológico (Anexo C). Não havendo justificativa para efetuar-se esta divisão por grupos, principalmente devido a densidade de amostragem (Figura 3.2). Em tal caso só se faz uma apresentação e avaliação dos parâmetros das populações separadas, com a finalidade de objetivar áreas anômalas identificando alvos geoquímicos. Algumas destas importantes relações apresentam-se a continuação.

3.5.4- Grupos Geoquímicos

A geologia da área representada no mapa geológico (Anexo C), pode ser agrupada em três conjuntos de rochas principais (Figura 3.8):

- | | |
|---------------------------------|---|
| (rochas do embasamento) | Litología 1. Granitos, metapórfiros, mica-xistos, gnaisses. |
| (series vulcânico-sedimentares) | Litología 2. Filitos, metatufos e metalavas máficas, metacherts auríferos piritizados, quartzitos magnetíferos bandados (BIF), filitos grafitosos, intrusivos máficos. |
| | Litología 3. Metariolitos, metatufos félsicos, quartzitos e quartzitos micáceos. |

Cada conjunto destes inclui grupos menores de rochas, que dão um sinal geoquímico diferente. Como é de se esperar, no grupo da **litología 2**, por exemplo, existem metariolitos, ou no grupo da

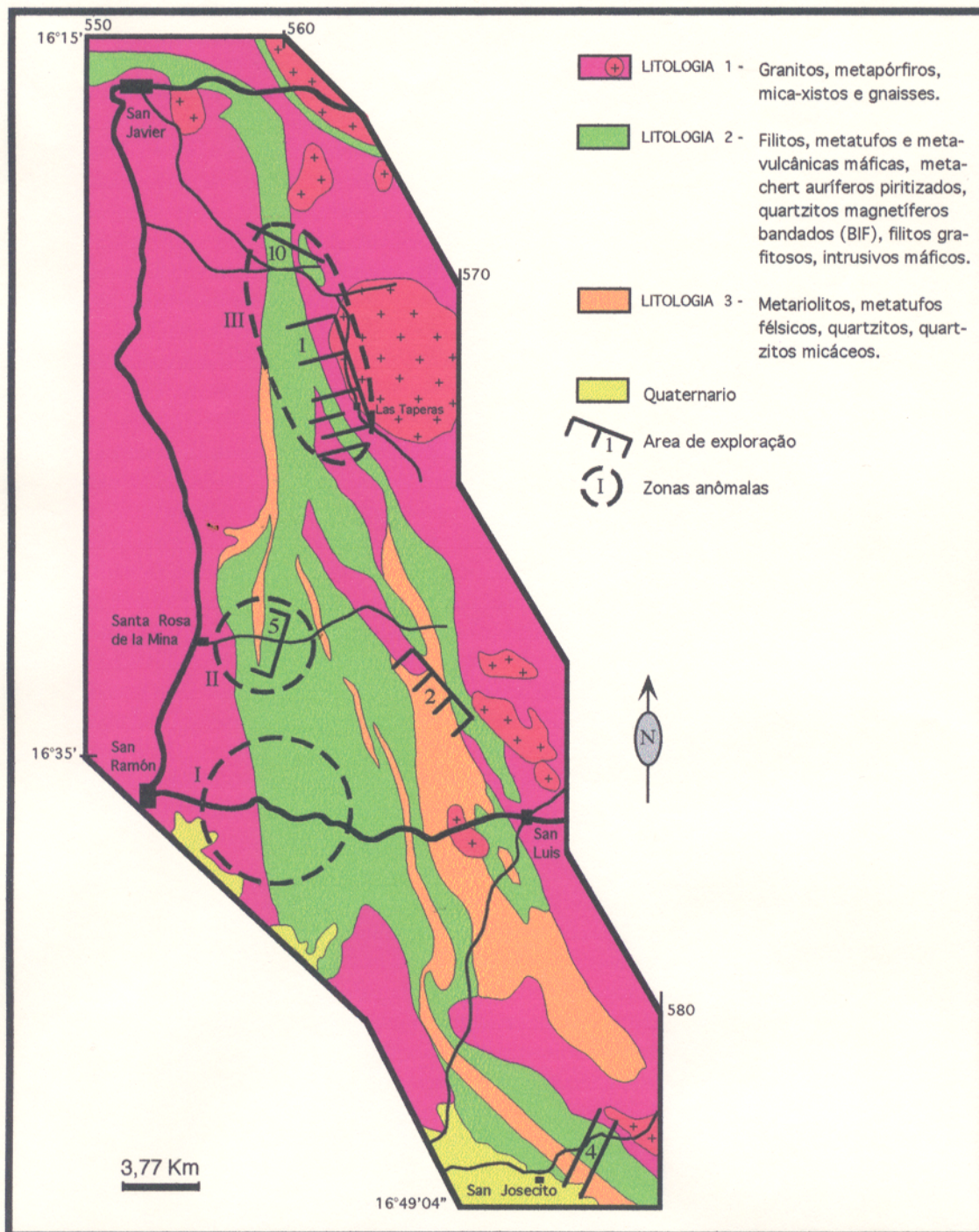


Figura 3.8. Mapa dos grupos litológicos divididos para a interpretação geoquímica.

litologia 1 se encontram metadiabásios, que por razão de escala não é possível representá-los no mapa geológico (Anexo C). É possível utilizar estes agrupamentos geoquímicos no auxílio do mapeamento geológico, como é demonstrado em MOURA (1985), particularmente nestes ambientes.

As Tabelas 3.11, 3.12 e 3.13 mostram a relação dos três grupos geoquímicos e seus parâmetros estatísticos.

Obtivemos na análise destes resultados o seguinte:

- correlação dos padrões geoquímicos em solos (Tabela 3.5) e os valores de background em cada grupo geoquímico, revelando a afinidade geoquímica;
- os três grupos litológicos contem valores de background elevados de Bi>0,23 ppm, Sb>0,52 ppm e Au>12,52 ppb. Nos grupos litológicos 1 e 3 valores de La>48,35 ppm. Nos grupos litológicos 2 e 3 valores elevados de As>14,00 ppm e As>3,41 ppm respectivamente. E no grupo litológico 1, Y>25,64 ppm;
- em geral, os valores nos três grupos litológicos lançados em histogramas mostram uma tendência a valores baixos (assimetria negativa). Já os elementos As, Au, Zn, Pb e V apresentam assimetria positiva. O Zn e o V apresentam distribuição simétrica;
- os coeficientes de variação, predominantemente inferiores a 100%, revelam distribuições homogêneas. Mais os elementos Sb, Au, Zn, As, Mn, Mg no grupo do solos da litologia 1; As, Au, Mg, Pb, S no grupo do solos da litologia 2 e As, Au e V no grupo de solos

Tabela 3.11. Estimadores estatísticos para o grupo geoquímico da litologia (1), em 204 amostras de solo da área San Javier-San Ramón.

Elemento (unidade)	Máximo	Mínimo	Media Aritmética x	Desvio Padrão s	Mediana	Coefficiente de Variação C.V. (%)
La (ppm)	127	14,6	48,35	20,37	7,2	42,13
Bi "	1,2	0,1	0,21	0,14	0,18	66,66
Sb "	34,5	0,0	0,52	2,42	0,29	465,38
Au (ppb)	380	0,0	12,52	36,50	1,6	291,53
Y (ppm)	88	1,8	25,64	12,68	23,7	49,45
Pb "	94	4,0	19,13	14,73	13,5	79,99
Zn "	2038	0,0	54,15	148,06	38,3	273,42
As "	29,9	0,0	2,58	3,66	1,5	141,86
Al (%)	4,94	0,56	2,23	0,94	2,05	42,15
Te (ppb)	48	5,0	11,17	7,11	9,0	63,65
Mn (%)	0,6	0,01	0,04	0,05	0,04	125,0
P "	0,18	0,01	0,02	0,02	0,02	100,0
Be (ppm)	2,9	0,14	1,58	0,48	1,6	30,37
Mg (%)	2,73	0,01	0,34	0,38	0,22	111,76
Ca "	0,72	0,01	0,16	0,10	0,16	62,5
Sr (ppm)	97,4	2,9	23,14	13,42	21,9	57,99
Li "	19,7	0,73	7,34	3,17	7,2	43,18
S "	212	3,2	71,55	33,72	68,1	47,12
Cu "	93	1,0	21,44	14,96	17,5	69,77
Sc "	24,6	0,47	6,89	4,36	5,9	63,28
Ti (%)	0,19	0,01	0,03	0,02	0,02	66,66
Ni (ppm)	91,1	1,7	19,24	14,99	14,6	77,91
Co "	126	1,3	15,29	12,10	13,8	79,13
Cr "	193	2,6	49,68	34,72	42,03	69,88
V "	195	7,9	64,43	37,62	59,3	58,38
Fe (%)	11	0,81	3,74	1,98	3,42	52,94
Ba (ppm)	619	21,1	134,46	75,33	126	56,02
Zr "	13,7	0,47	4,84	2,57	4,4	53,09

Sn e Cd revelam valores altos

Tabela 3.12. Estimadores estatísticos para o grupo geoquímico da litologia (2), em 179 amostras de solo da área San Javier-San Ramón.

Elemento (unidade)	Máximo	Mínimo	Media Aritmética x	Desvio Padrão s	Mediana	Coefficiente de Variação C.V. (%)
Sb (ppm)	2,8	0,0	0,52	0,46	0,40	88,46
Bi "	1,4	0,02	0,22	0,15	0,18	68,18
As "	193	0,0	14,00	25,33	3,0	180,92
La "	67,3	5,0	30,41	13,93	29,95	45,80
Au (ppb)	123	0,0	5,67	15,34	1,3	270,54
Te "	64	5,0	11,80	9,41	8,0	79,74
Mg (%)	8,23	0,01	0,36	0,69	0,23	191,66
Mn "	0,16	0,01	0,06	0,03	0,05	50,0
P "	0,14	0,01	0,04	0,02	0,03	50,0
Pb "	199,0	0,0	11,95	15,15	10,0	126,77
Zn "	551,0	3,92	51,66	51,01	40,4	98,74
Cu "	133,0	0,4	31,73	21,46	26,0	67,63
Fe (%)	11,9	0,13	4,67	2,78	3,89	59,52
Co (ppm)	62,1	0,4	19,34	13,05	15,39	67,47
Cr "	302,0	2,4	44,92	39,35	31,4	87,60
Ni "	125,0	0,78	23,85	16,79	21,7	70,39
V "	410	1,2	99,16	98,04	57,9	98,87
S "	1495	11,5	95,50	126,6	72,8	132,56
Al (%)	4,75	0,10	1,83	0,95	1,55	51,91
Ca "	0,41	0,01	0,14	0,09	0,12	64,28
Sc (ppm)	33,2	0,55	8,75	7,86	6,0	89,82
Ti (%)	0,10	0,01	0,02	0,01	0,01	50,0
Ba (ppm)	750,0	40,4	154,80	96,99	129,5	62,65
Be "	2,9	0,2	1,47	0,56	1,4	38,09
Li "	27,7	0,4	7,41	4,25	6,3	57,35
Y "	38,4	3,1	16,98	8,10	15,4	47,70
Sr "	77,8	1,59	18,20	11,30	16,2	62,08
Zr "	18,3	0,1	4,0	2,92	3,5	73,0

Ag revela valores altos

Tabela 3.13. Estimadores estatísticos para o grupo geoquímico da litologia (3), em 46 amostras de solo da área San Javier-San Ramón.

Elemento (unidade)	Máximo	Mínimo	Media Aritmética x	Desvio Padrão s	Mediana	Coefficiente de Variação C.V. (%)
Bi (ppm)	0,59	0,1	0,23	0,11	0,22	47,82
La "	153,0	8,0	41,53	28,77	36,7	69,27
Sb "	1,6	0,0	0,40	0,27	0,33	67,50
As "	23,0	0,0	3,41	3,72	2,3	109,0
Au (ppb)	18,0	0,0	2,70	3,72	1,0	137,77
Te "	33,0	5,0	7,72	5,36	6,0	69,43
Y "	46,1	3,0	17,24	11,34	14,3	65,77
Mn (%)	0,10	0,01	0,03	0,02	0,02	66,66
P "	0,12	0,01	0,12	0,02	0,02	100,0
Pb (ppm)	30,1	6,3	12,42	4,67	11,6	37,60
Zn "	76,6	9,0	38,49	18,39	37,9	47,77
Cu "	58,6	1,3	14,0	11,73	10,4	83,78
Li "	23,6	0,61	5,64	5,03	3,6	89,18
Be "	2,4	0,3	1,16	0,46	1,1	39,65
Al (%)	2,44	0,45	1,21	0,43	1,13	35,53
S (ppm)	228,0	23,7	87,01	43,82	80,2	50,36
Sc "	14,8	0,56	3,75	3,42	2,5	91,2
Sr "	36,3	1,3	10,97	9,64	7,4	87,87
Fe (%)	6,59	0,76	2,38	1,38	1,81	57,98
Mg "	0,34	0,01	0,14	0,08	0,12	57,14
V (ppm)	157,0	7,6	35,81	37,09	21,2	103,57
Ca (%)	0,24	0,01	0,07	0,06	0,05	85,71
Ti "	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	100,0
Co (ppm)	27,1	0,4	7,62	6,71	5,1	88,05
Cr "	42,5	3,9	17,0	10,14	16,6	59,64
Ni "	26,1	2,8	10,75	6,46	8,3	60,09
Ba "	16,3	0,71	4,71	4,13	2,9	87,68
Zr "	384,0	30,8	127,32	75,05	109,0	58,94

da litologia 3 mostram coeficientes de variação maiores do que 100%, sugerindo pouca homogeneidade. O Au e O As apresentam distribuições pouco homogêneas nos três grupos litológicos;

- em geral o conteúdo de Au é baixo nestes solos, nos três grupos litológicos. Mostrando moderadas anomalias no grupo litológico 1 (associação de rochas graníticas, gnaisses e veios de quartzo), em zonas de deformação de falhas e cisalhamentos;

- o As, de concentrações anômalas na área particularmente no grupo litológico 2 (Tabela 3.12) e relativa mobilidade em solos (Tabela 3.14) e como elemento farejador, pode indicar a presença de mineralizações com Au;

- os valores altos de La, Y e Bi (Tabela 3.11), apresentam-se associados a zonas principalmente de terrenos graníticos e corpos porfíricos cisalhados;

- os valores anômalos de As estão mais relacionados às rochas metavulcânicas máficas (Tabela 3.12) associadas a filitos, filitos grafitosos, metachert e tufos máficos (Pn₃ e Pn₄ no mapa geológico, Anexo C). Estes valores, são considerados muito altos e requerem mais investigação, por sua possível associação com Au e metais base já mencionada;

- baixo algum processo, estão relacionados os elementos As, Sb, Au e Te, nos mesmos grupos litológicos e alvos de exploração;

- os valores altos de Pb, Zn e Cu em solos, estão mais relacionados às rochas metavulcânicas da série máfica;

Tabela 3.14. Mobilidade de alguns dos elementos traços mais comuns em ambiente superficial (FLETCHER et al. 1986), baseado em LEVINSON, (1980).

Elemento	Mobilidade	Fatores de imobilização		
		Oxidos Fe/Mn	Matéria orgânica	Outros
Antimônio	baixa	Si		Sulfeto; condições de redução
Arsênio	média	Si		Sulfeto; condições de argilas
Bário	baixa			Sulfato; condições de redução; carbonatos; argilas
Berílio	baixa	Si	Si	Argila
Bismuto	baixa	Alto		Condições de redução
Cádmio	média			Condições de redução
Cromo	muito baixa			
Cobalto	alta			Sulfeto; adsorção
Cobre	alta	Si	Si	Sulfeto; adsorção
Ouro	imóvel			
Ferro	alta	Si		Condições de oxidação
Chumbo	baixa			Insolúvel em carbonato; sulfato; fosfato; condições de redução
Itrio	imóvel			
Lantânio	imóvel			
Lítio	baixa	Si		Argilas
Manganês	Alta	Si		Argilas
Molibdênio	baixa	Si		Adsorção; em presença de Pb; Fe; Ca; carbonato; sulfeto; condições de redução
Níquel	alta			Sulfeto; adsorção, minerais de silicato
Nióbio	insolúvel			
Prata	alta	Si	Si	Condições de redução; sulfeto; precipitado por Pb, Cl, cromato, arseniato
Titânico	Baixa			
Teluro	muito baixa			
Estanho	insolúvel			
Tungstênio	insolúvel	Si		
Vanádio	alta			Minerais de silicato; condições de redução, adsorção
Zinco	alta	Si	Si	Sulfeto; precipitação alta por carbonato; fosfato.

- o grupo Ni-Co-Cr-Fe apresentam valores de background nestes solos de rochas vulcão-sedimentares "greenstone", com alguns valores ligeiramente altos e

- Ba, V, Ti, Ca, S, Al, Sc, Be, Li, Sr e Zr ocorrem em concentrações de background nestes solos, com um valor médio ligeiramente alto para Ba.

3.5.5- Coeficientes de Correlação de Pearson e Diagramas de Dispersão

O coeficientes de correlação r nos dá a medida do grau de dependência de duas variáveis, no caso elementos químicos de populações (LEPELTIER, 1969), (GUILLEM, 1985). O coeficiente de correlação r varia entre -1 a +1. Os valores iguais a zero indicam independência entre as variáveis, enquanto os valores extremos ± 1 indicam a máxima relação.

A Tabela 3.15 mostra a matriz dos coeficientes de correlação para dados regionais, observando-se a baixa correlação entre os pares de variáveis, o que era de se esperar em um tratamento de dados regionais englobados em um só grupo, tendo em conta a variabilidade dos solos e litologias subjacentes. Mesmo assim, a matriz de correlação indica dependência entre algumas, discutidos a seguir:

- o Au apresenta uma baixa correlação com Te;
- a razoável correlação As-Sb, pode indicar uma associação com ouro e alguns elementos calcófilos como Zn, Cu, Ni, Co, e Ba talvez relacionados às rochas metavulcánicas nas zonas de cisalhamento o que é discutido também em EVANS (1994).
- a alta correlação Fe-Mn-Al-Sc-V e Co-Fe-Mn é resposta da presença de latossolos na área;
- As altas correlações entre Co-Mn e Cu-Fe são sinal de mineralizações contendo metais base e

Tabela 3.15. Matriz de coeficientes de correlação em 423 amostras de solos regionais.

	Au	As	Sb	Zn	Pb	Cr	Cu	Ni	Ba	Co	Fe	Mn	Mg	Ca	Te	Bi	V	La	Y	P	Ti	S	Al	Li	Be	Sr	Sc	Zr
Au	1																											
As	0,17	1																										
Sb	0,18	0,63	1																									
Zn	0,00			1																								
Pb	0,25		0,13		1																							
Cr					0,13	1																						
Cu		0,33	0,21			0,61	1																					
Ni		0,19			0,00	0,78	0,64	1																				
Ba					0,19	0,20	0,18	0,38	1																			
Co	0,00	0,23	0,29			0,47	0,66	0,59	0,37	1																		
Fe		0,27	0,30			0,47	0,72	0,39		0,64	1																	
Mn		0,17	0,27			0,24	0,47	0,44	0,42	0,89	0,50	1																
Mg		0,00				0,29	0,26	0,40	0,23	0,27	0,23	0,21	1															
Ca						0,36	0,40	0,41	0,43	0,40	0,27	0,27	0,28	1														
Te	0,30						0,00								1													
Bi			0,14	0,00			0,00							0,13		1												
V		0,26	0,19			0,38	0,73	0,35	0,00	0,65	0,69	0,51	0,25	0,25			1											
La		-0,15					-0,23			-0,19	-0,25		0,00			0,00	-0,33	1										
Y		-0,18	-0,19						0,22					0,26				0,68	1									
P		0,24	0,30			0,15	0,43	0,27	0,16	0,45	0,49	0,48		0,37			0,48	-0,23	1									
Ti		-0,13			0,00	0,43	0,24	0,34	0,40	0,26	0,29	0,17	0,28	0,33			0,19	0,17	0,34	1								
S							0,13		0,00	0,14	0,14	0,14		0,16			0,17		0,16		1							
Al					0,00	0,54	0,58	0,51	0,32	0,52	0,67	0,35	0,36	0,48			0,61		0,33	0,27	0,50	1						
Li		0,20	0,19			0,27	0,44	0,38	0,23	0,40	0,49	0,33	0,31	0,34			0,45			0,40	0,20	0,14	0,59	1				
Be			0,15			0,37	0,52	0,40	0,28	0,61	0,68	0,51	0,22	0,40			0,65		0,42	0,39	0,30	0,15	0,68	0,55	1			
Sr						0,34	0,32	0,42	0,53	0,32	0,21	0,22	0,30	0,79			0,15		0,25	0,33	0,32	0,18	0,48	0,32	0,36	1		
Sc		0,23	0,15			0,46	0,75	0,38		0,63	0,85	0,47	0,23	0,35			0,93	-0,28	0,18	0,42	0,26	0,19	0,68	0,48	0,67	0,23	1	
Zr			0,13	0,00	0,23						0,15				0,26		0,00	0,19	0,13	-0,17	0,13		0,23		0,13		0,00	1

- a correlação Cu-Ni-Cr-Co-V-Mn indicam a presença das rochas metavulcânicas máficas da série vulcão-sedimentar de maior amostragem nesta pesquisa.

Os valores mais destacados dos coeficientes de correlação se apresentam nos diagramas de dispersão da figura 3.9.

Também se efetuou a análise dos coeficientes de correlação para cada grupo litológico (item 3.5.4), discutidos a continuação.

A Tabela 3.16 lista os coeficientes de correlação para os solos do grupo litológico 1. Se verificou o seguinte:

- os solos associados às rochas granitoídes realçam as correlações entre Al-Sc-Be-Li, como ocorre nos alvos 1 e 10 (Figura 3.25). Podem ser sinal de pórfiros de Cu e Fe;
- a correlação Au-As relaciona estes elementos com as extensas zonas de cisalhamento. Pode ser resposta, também, às remobilizações e concentrações tectôno-metamorfogênicas proposta por LÓPEZ & BERNASCONI (1988);
- identifica-se, a correlação Fe-Sc-V-Cu-Cr-Al e Ba-Mn-Mg-Ti, provavelmente sinal de solos laterizados e
- a correlação Co-Mn-Ba, como sinal de mineralização, pode estar associada a sulfetos vulcanogênicos de metais base, refletindo a presença das rochas metavulcânicas de menor ocorrência neste grupo litológico.

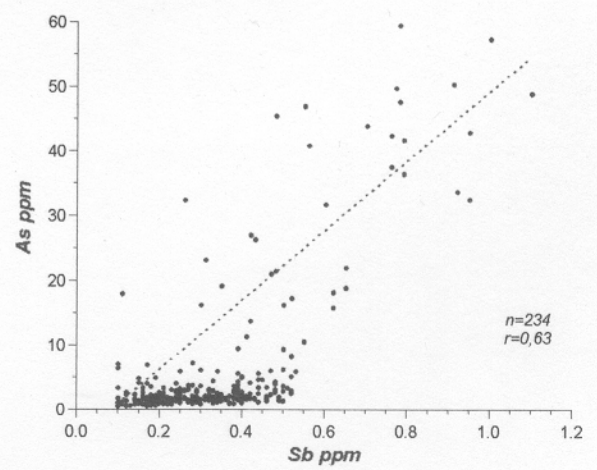
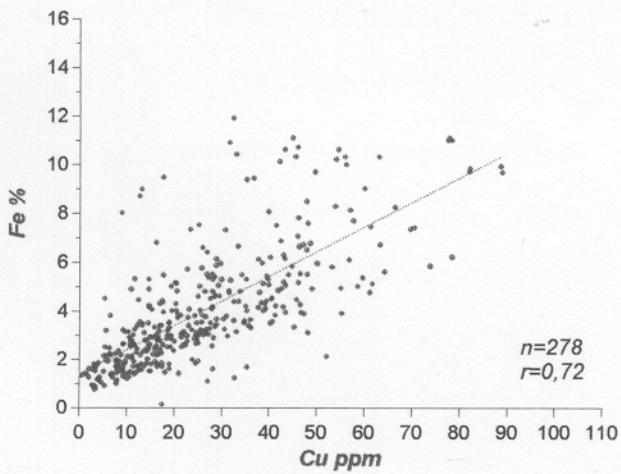
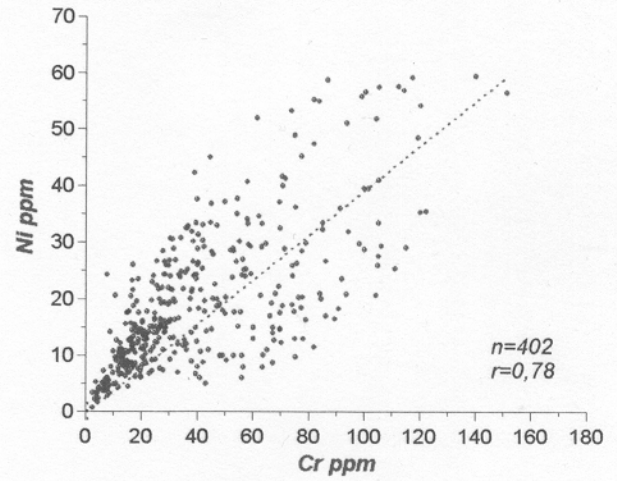
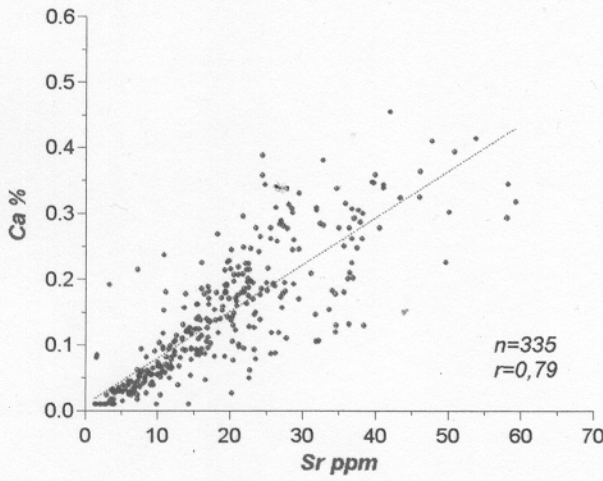
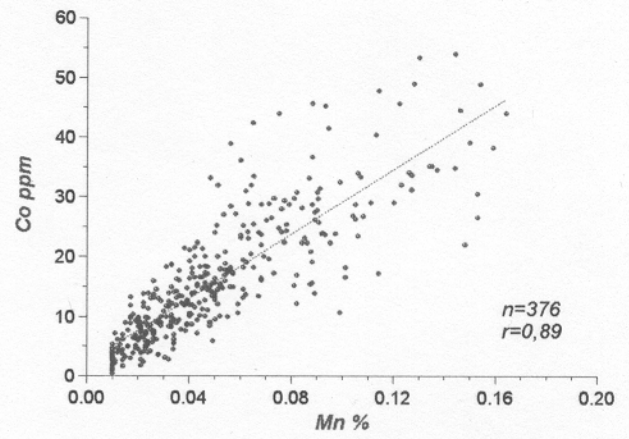
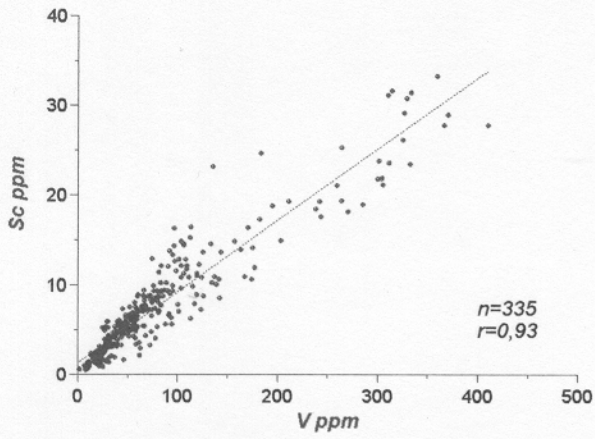


Figura 3.9. Diagramas de dispersão dos pares geoquímicos de distribuição regional da área San Javier-San Ramón.

Tabela 3.16. Matriz de coeficientes de correlação em 204 amostras de solo do grupo da litologia 1.

	Au	As	Cu	Pb	Sb	Zn	Cr	Ni	Ba	Co	Fe	Mn	Te	Bi	La	Sc	Al	Mg	Ca	P	Ti	S	Be	V	Y	Li	Sr	Zr
Au	1																											
As	0,42	1																										
Cu	0,00	0,21	1																									
Pb	0,18			1																								
Sb	0,27	0,41		0,31	1																							
Zn						1																						
Cr			0,66				1																					
Ni	0,00		0,55				0,63	1																				
Ba	0,00		0,23	0,25	0,22		0,22	0,55	1																			
Co		0,22	0,34	0,32	0,40	0,00	0,36	0,49	0,66	1																		
Fe	0,00	0,28	0,60		0,39		0,61	0,28	0,23	0,44	1																	
Mn				0,39	0,42			0,36	0,70	0,89	0,21	1																
Te		0,23	0,31	0,28							0,25		1															
Bi	0,23	0,46	0,18	0,24				0,00						1														
La				0,27								0,00			1													
Sc			0,65				0,67	0,26		0,33	0,78			0,19		1												
Al			0,47				0,55	0,45	0,40	0,22	0,60				0,63	1												
Mg							0,24	0,63	0,51	0,21			-0,20		0,22		0,39	1										
Ca			0,48				0,43	0,39	0,39	0,31	0,40			0,00	0,51	0,47	0,35	1										
P																			0,55	1								
Ti		0,18	0,27				0,42	0,32	0,36	0,24	0,46							0,21	0,59	0,29	1							
S		0,37	0,29	0,19	0,21		0,28		0,24	0,22	0,19		0,26					0,35	0,26			1						
Be			0,26	0,40	0,28		0,27	0,25	0,44	0,43	0,51	0,37		0,18	0,32	0,45	0,56	0,20	0,38	0,30	0,26	0,27	1					
V		0,26	0,65		0,34		0,62	0,27	0,24	0,44	0,91	0,18		0,18		0,85	0,57		0,49	0,27	0,39	0,28	0,54	1				
Y				0,21					0,20						0,73	0,21	0,30		0,21	0,23	0,46				1			
Li			0,24				0,28	0,30	0,39		0,41					0,42	0,70	0,45	0,43	0,20	0,41	0,25	0,57	0,41		1		
Sr			0,43	0,23	0,26		0,37	0,41	0,45	0,29	0,40	0,20				0,38	0,47	0,39	0,75	0,61	0,23	0,45	0,42	0,47			1	
Zr		0,26			0,20						0,36		0,24	0,25		0,26	0,44	0,20					0,29	0,26				1

A Tabela 3.17 lista os coeficientes de correlação para os solos do grupo litológico 2, verificando-se o seguinte:

- as correlações Cu-Cr-Ni-Co-Fe-Mn-V em solos indicam as rochas máficas;
- como é discutido em CAMERON (1989a) e EVANS (1994), a correlação As-Sb-Cu é sinal da relação com as zonas de cisalhamento, tanto destes elementos e outros como o Au, sendo o antimônio, o elemento característico nestas estruturas;
- a correlação As-Sb pode ser também sinal da presença de formações ferríferas (BIF) ricas em ouro, como discutiu EVANS (1994);
- a correlação Be-V-Al-Mn-Sc é propícia de elementos resistatos em solos intemperizados;
- as correlações Mn-Cu-Ni-Co-Fe-Sc-Al-P-Be-V-Li refletem a presença dos latossolos na área;
- as correlações Cu-Co, Mn-Co, Fe-Mn e Cu-Ni-Cr são sinais de minerais ferromagnesianos nas rochas. Sendo o Co um bom indicador de mineralizações de Cu (BOYLE, 1979). Estas correlações, além do Mn-Co, como foi discutido anteriormente, podem estar associadas também a sulfetos maciços vulcanogênicos com metais base, refletindo a presença de rochas metavulcânicas máficas na área e
- as correlações Li-Cu, Mn-Fe-Cu-Sc-Al-V e principalmente Li-Be, podem ser uma resposta da granitização imposta em geral nestas rochas (WITSCHARD et al., 1993).

A Tabela 3.18, mostra a matriz de correlação para o grupo de solos da litologia 3, verificando-se:

- as correlações Au-Cu-Co-Fe-Te-Ti-V, juntamente com Sb-As-Cu-Pb-Zn, Zn-Ni-Mn e Au-Cu-Co-Fe, podem ter vínculo com um sistema de veios de metais base e preciosos (EVANS, 1994);
- a presença das correlações Cu-Co-Fe-Cr-Ni-Mn-V-Mg-Ca-Ti é resposta às rochas de afinidade máfica, englobadas neste grupo, como os metadiabasios, muito comuns na área;
- a baixa correlação entre Au-Be-Cu, pode ser devido aos filões de quartzo, de repetida ocorrência nas zonas de cisalhamento, particularmente neste grupo de rochas;
- a correlação As-Pb-Sb, Au-Cu e principalmente S-Ba aponta mais para o vínculo destes elementos com as rochas metavulcânicas de afinidade sílica, proposto por LÓPEZ & BERNASCONI (1988), tendo como consequência, relação com sulfetos maciços de Pb, Zn, Cu com Au vulcanogênicos e
- as altas correlações Fe-Co-Mn-Sc-V-Al, se explica pela presença dos latossolos na área.

Estas correlações destacam na maior parte o padrão geoquímico nestes solos e, possíveis anomalias e/ou mineralização, caso que deve tomar em conta.

Com esta análise conclui-se que os valores mais anômalos estão relacionados à zonas e cinturões de cisalhamento, portanto, sob controle estrutural e outras anomalias estão nas rochas metavulcânicas, sob controle litológico.

Identifica-se com esta análise três alvos anômalos na área, as zonas anômalas I, II e III (Figura 3.8). A zona anômala I, perto de San Ramón, é conhecida pela exploração de Au desde os tempos coloniais (PEISER, 1944). A mineralização esta ligada aos xistos micáceos do complexo metamórfico San Ramón, com filitos grafitosos, cherts bandados (BIF) e veios de quartzo, acompanhados de sulfetos e carbonatos (WITSCHARD et al. 1993). A zona anômala II, perto de Santa Rosa de la Mina (Figura 3.8), tradicional pela exploração de Au detrítico. Corresponde à área do alvo 5, que é anômalo em As-Bi-Sb nas rochas metavulcânicas e metatufos máficos das formações Castedo e Pejichi (Anexo C). Estes elementos são também relacionados a filitos grafitosos e cherts bandados piritizados, que, devido à afinidade geoquímica, devem ser os portadores do Au presente na zona (discutido no item 3.5.5). A zona anômala III a 15 Km a sudeste de San Javier é um alvo geoquímico novo, estudado em detalhe (Figura 3.8), inclui os alvos 10 e 1, que são anômalos em As-Sb-Bi-Au-La-Y. Estas anomalias são relacionadas à zona de cisalhamento que corta os granitóides desta área, principalmente os granitos El Cusi e Taperas (Anexo C) e (Figura 3.25). Também encontram-se relacionados às formações Taporó, Pejichi e La Honda no alvo 10. Esta zona anômala III ainda tem valores elevados de Au-As-Sb, ao redor do alvo 1, que parecem estar relacionados ao metapórfiro riolítico La Molienda (Figura 3.25). As zonas de cisalhamento que limitam e afetam o metapórfiro La Molienda (Figura 3.25), foram

os mecanismos para o enriquecimento mineral desta área, particularmente no alvo 1, onde ocorrem também rochas da formação La Honda (Pn₇, Anexo C).

A zona anômala III, que também tem valores altos de Zn-Cu-Pb, é melhor estudada a continuação.

3.6- AVALIAÇÃO DOS ELEMENTOS DE UMA ZONA ANÔMALA

Após esta análise, a avaliação da zona anômala III (Figura 3.8) ou alvo geoquímico **Las Taperas-Cerro Largo** se faz a continuação, incluindo até métodos multivariados (item 3.7).

3.6.1- Ouro

O ouro apresenta uma distribuição local diferente da regional (Figura 3.7). O histograma de frequência relativa (Figura 3.10) e o diagrama de probabilidade de frequência acumulada (Figura 3.11) mostram claramente que duas populações principais estão presentes. A tendência a assimetria positiva (para as classes de valores altos) é mostrada no histograma de distribuição lognormal. A população B contém os valores baixos, tem média de 1,8 ppb e compreende 38% dos dados. A população A, engloba 62% dos valores (mais altos), com média de 19,42 ppb, pode ser tomada como a população anômala (Tabela 3.19).

Os percentís 16 e 84 fixam os limites entre as populações e dividem os dados em três grupos. Um primeiro grupo contém os valores acima de 32 ppb, incluindo 40% dos dados da população A.

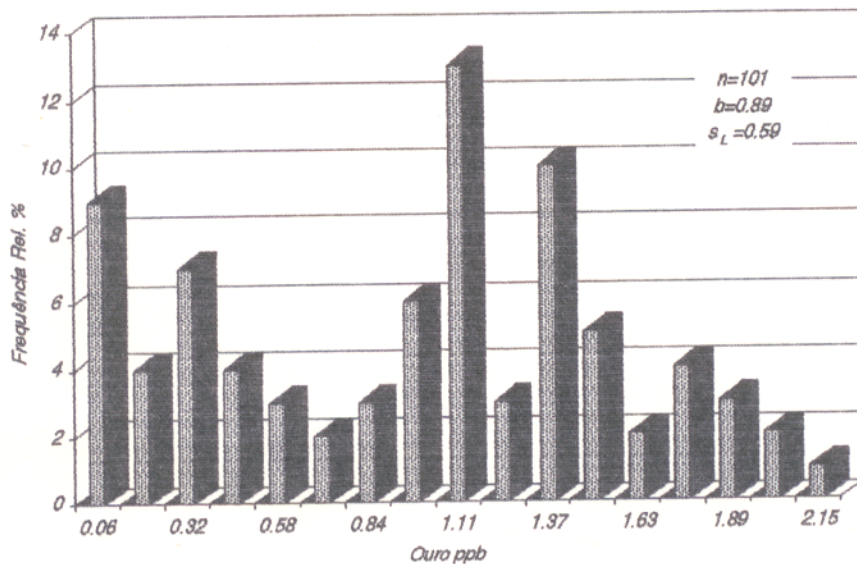


Figura 3.10. Histograma logarítmico da frequência relativa de distribuição bimodal para ouro, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo.

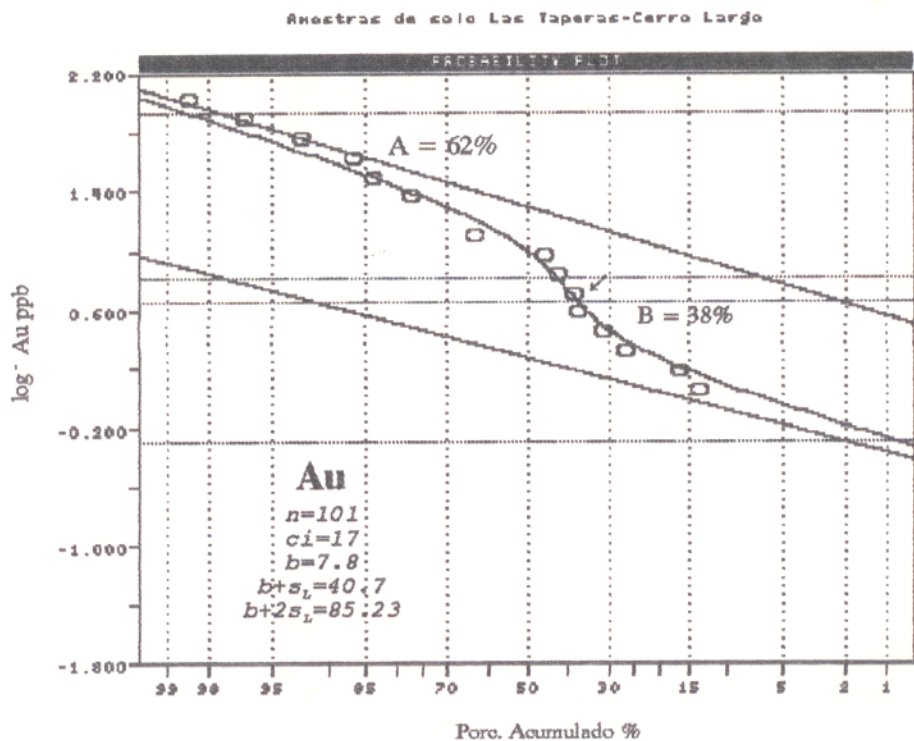


Figura 3.11. Diagrama de probabilidade de frequência acumulada para dados residuais de ouro, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo.

Um segundo grupo, compreende os valores entre 32 e 1,5 ppb, podendo ser uma mistura das populações A e B (Figura 3.11). O terceiro e composto pelos valores inferiores a 1,5 ppb e contém aproximadamente 10% da população B.

Os valores de fundo e limiar são 40,68 e 85,23 ppb respectivamente, da população A anômala (Tabela 3.19).

Aproximadamente 16% dos dados estão acima do valor limiar regional de 42,42 ppb (14 amostras) e aproximadamente 4% das observações são superiores ao valor limiar local de 85,23 ppb (5 amostras anômalas). Como o valor médio em solos (Tabela 3.5) é menor do que o limiar acima, o ouro é claramente anômalo nesta área. Na Tabela 3.20, são listados os parâmetros estatísticos e geoquímicos para este metal, para alguns guias e outros metais base investigados.

O ouro apresenta correlação com o As ($r=0,64$, Tabela 3.21), que é também anômalo regionalmente (Tabela 3.2), com valores muito altos localmente (Tabela 3.20) nos solos de rochas máficas. Também apresenta correlação com Pb e Zn.

A associação Au-As está relacionada com as rochas metavulcânicas das formações La Honda (Pn₇) e Pijichi (Pn₄) (Anexo A), explicada pela presença de filitos grafitosos (FLETCHER et al., 1979). Segundo LÓPEZ e BERNASCONI (1988), as concentrações anômalas de ouro encontradas na área, foram remobilizações por metamorfismo concentrando-se nas estruturas de compressão-distensão, que explica a concentração do ouro nas zonas de

Tabela 3.19. Parâmetros e estimadores geoestatísticos das populações lognormais e normais de distribuição local, em 101 amostras de solo da zona Las Taperas-Cerro Largo.

Variável (unidade)	População	Proporção	Media Geom. b	b-2s _L	Valor de Limiar		
					b-s _L	b+s _L	b+2s _L
Au (ppb)	A: Val. Anômalos	62 %	19,42	4,42	9,27	40,68	85,23
	B: Val. Fundo	38 %	1,83	0,50	0,96	3,48	6,62
Pb (ppm)	A: Val Anômalos	60 %	39,60	20,92	28,79	54,48	64,94
	B: Val. Fundo	40 %	9,25	5,48	7,12	12,02	15,61
Zn (ppm)	A: Val. Anômalos	76 %	42,58	28,21	34,66	52,32	64,29
	B: Val. Fundo	24 %	24,64	17,74	20,93	29,02	34,18
Cu (ppm)	A: Val. Fundo	100 %	13,21	3,04	6,34	27,53	57,34
Sb (ppm)	A: Val. Anômalos	100 %	0,48	0,20	0,31	0,73	1,12
Bi (ppm)	A: Val. Anômalos	28 %	0,28 *	0,22	0,25	0,31	0,33
	B: Val Fundo	72 %	0,16 *	0,09	0,12	0,19	0,22
As (ppm)	A: Val Anômalos	10 %	12,84	3,82	7,01	23,53	43,11
	B: Val. Fundo	90 %	2,24	0,60	1,16	4,31	8,29

* Transformada aritmética.

cisalhamento nesta área.

O mapa geoquímico de As e Au da Figura 3.22 comparada com o mapa estrutural da Figura 3.25, demonstra a anterior interpretação. Observa-se a maior concentração do ouro e arsênio nas zonas de cisalhamento, tanto no alvo 1 e 10, que afeta os filitos, filitos grafitosos e metabasaltos, das formações Pn₄ e Pn₇, assim como as rochas metavulcânicas félsicas do complexo riolítico La Molienda (Pn₁₀). Isto demonstra o controle estrutural das concentrações (e/ou anômalas) dos elementos nesta zona.

3.6.2- Chumbo

Como o ouro, este elemento tem uma distribuição local com valores altos (Tabela 3.20) se comparados com a distribuição regional (Tabela 3.7).

Localmente se tem duas populações lognormais bem definidas (Figuras 3.12 e 3.13). A assimetria é negativa, com tendência à classes de valores altos. Na curva de probabilidade obtêm-se duas populações, a B de valores de fundo e a população A de valores anômalos, com 40 e 60% dos dados, respectivamente.

A população B, de valores baixos, tem uma média de 9,25 ppm e contém aproximadamente 34 observações, enquanto que a população A de valores altos, tem uma média de 39,60 ppm (Tabela 3.19), com 46 observações, das quais 43 estão acima do valor limiar regional de 46,7 ppm (Tabela 3.7) e somente 4 estão acima do valor limiar local de 64,9 ppm (Tabela 3.19). Na Tabela 3.20 são listados os parâmetros geoquímicos para este metal.

O chumbo apresenta alta correlação com zinco localmente assim como regionalmente, e razoável correlação com Au e As (Tabela 3.21). Isto indica uma associação Pb-Zn-Au-As com a série metavulcânica, que pode explicar as eventuais mineralizações relacionadas a veios de quartzo e sulfetos, concentradas nas estruturas como as zonas de cisalhamento.

A comparação do mapa geoquímico da Figura 3.23 com o mapa da figura 3.25 mostra a relação do chumbo com a faixa de

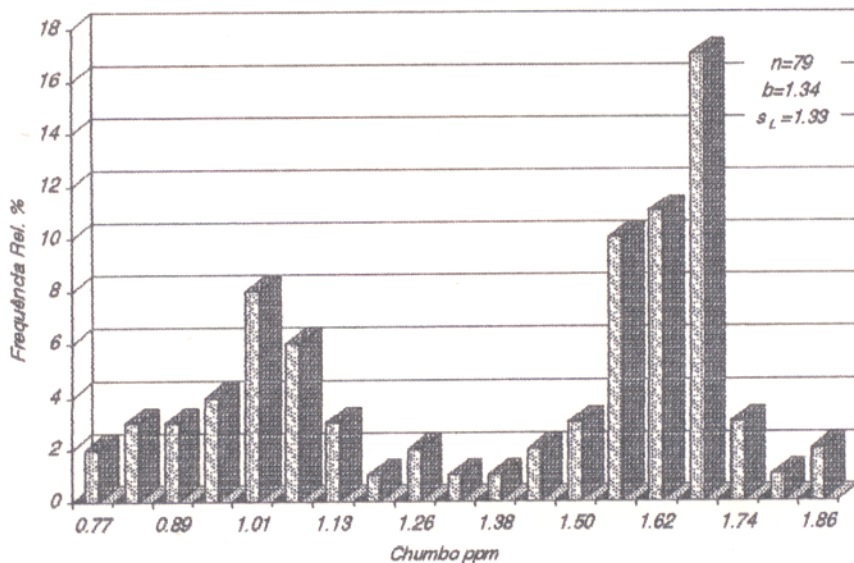


Figura 3.12. Histograma logarítmico da frequência relativa de distribuição bimodal para chumbo, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo.

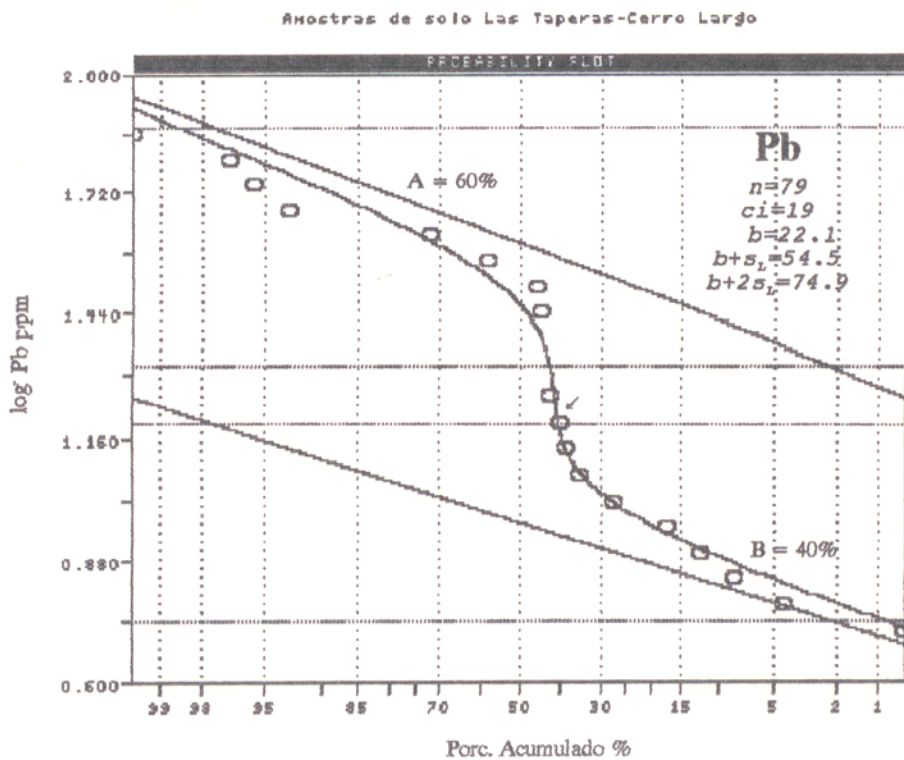


Figura 3.13. Diagrama de probabilidade de frequência acumulada para dados residuais de chumbo, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo.

Tabela 3.20. Parâmetros estatísticos de distribuição local dos elementos anômalos em 101 amostras de solo da zona anômala III Las Taperas-Cerro Largo.

Elemento (unidade)	Número n	Média Geom. b	Desvio Pad. s _L	Máximo	Mínimo	Mediana	Coef. de Var. C. V. (%)	Distribuição
Au (ppb)	101	7,80	3,94	123,0	0,0	10,0	66,77	Lognormal ²
Cu (ppm)	98	13,21	2,08	78,39	2,80	13,99	*13,21	" 1
Zn (ppm)	74	37,26	1,35	70,0	18,20	40,0	*8,51	" 2
Pb (ppm)	79	22,09	2,14	67,99	5,60	34,49	22,09	" 2
Sb (ppm)	66	0,48	1,32	1,39	0,21	0,47	57,78	" 1
Bi (ppm)	33	0,19	0,06	0,33	0,11	0,17	33,61	Normal ²
As (ppm)	95	2,58	2,31	29,90	0,50	2,45	88,52	Lognormal ²
La (ppm)	52	36,14	1,51	110,0	16,79	37,29	*11,65	" 1
Y (ppm)	56	16,75	1,92	88,0	3,10	19,70	23,24	" 1

(*) Lei lognormal y normal com similares possibilidades

(¹) Distribuição Unimodal

(²) Distribuição Bimodal

Tabela 3.21. Matriz de correlação, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo.

	Au	Cu	Zn	Pb	Sb	Bi	As	Te	La	Y
Au	1									
Cu	-0,25	1								
Zn	0,36	0,06	1							
Pb	0,44	-0,28	0,79	1						
Sb	0,00	-0,03	-0,02	0,04	1					
Bi	-0,41	0,41	-0,29	-0,54	-0,09	1				
As	0,64	-0,11	0,27	0,28	-0,03	-0,12	1			
Te	-0,15	0,28	-0,25	-0,52	-0,08	0,34	0,08	1		
La	-0,39	0,18	-0,26	-0,50	-0,09	0,04	-0,09	0,10	1	
Y	-0,33	0,27	-0,21	-0,49	-0,08	0,15	-0,21	0,15	0,80	1

cisalhamento nas rochas metavulcânicas da Formação La Honda (Pn₇) e os vulcanitos riolíticos (Pn₁₀), sendo menor nos corpos intrusivos. Algumas anomalias são mencionadas por FLETCHER et al., (1979) em veios de quartzo em contato com o granitóide San Javier, a oeste do alvo 10. O mapa geoquímico indica uma

concentração do metal para as zonas de maior distensão, semelhantemente ao ouro.

3.6.3- Zinco

A exemplo dos elementos anteriores, a distribuição local do Zn é de valores altos, ainda que não represente uma zona anômala. O zinco tem elevados valores, $>37,26$ ppm (Tabela 3.20), principalmente na área do alvo 10, que tem "outliers" até de 2038 ppm (Anexo 2), que definem uma zona localmente anômala.

O histograma e o diagrama de frequência acumulada (Figuras 3.14 e 3.15) apresentam duas populações lognormais. A assimetria é negativa, definida pelas classes de valores altos, com tendência para uma só população lognormal. Estes dados levados ao diagrama de probabilidade logarítmico definem a população A, com 76% dos dados e uma média de 42,58 ppm (população anômala), e a população B com 24% dos dados e uma média de 24,64 ppm (população de background) (Tabela 3.19). Destes dados, 9% (15 amostras) estão acima do valor limiar regional de 63,3 ppm (Tabela 3.6), e aproximadamente 4% (5 amostras) estão acima do limiar local de 64,29 ppm (Tabela 3.19, Figura 3.15). No tratamento estatístico foram eliminados os valores "outliers" >110 ppm, que agora servem para confirmar a área do alvo 10 como zona anômala muito local (Figura 3.23).

O zinco tem alta correlação com chumbo e baixa com ouro (Tabela 3.21), corroborando sua relação com as rochas

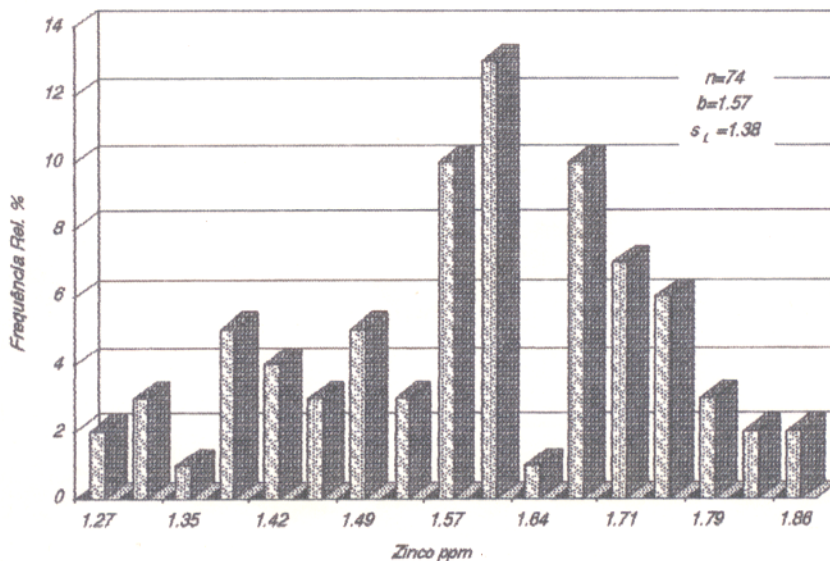


Figura 3.14. Histograma logarítmico da frequência relativa de distribuição bimodal para zinco, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo.

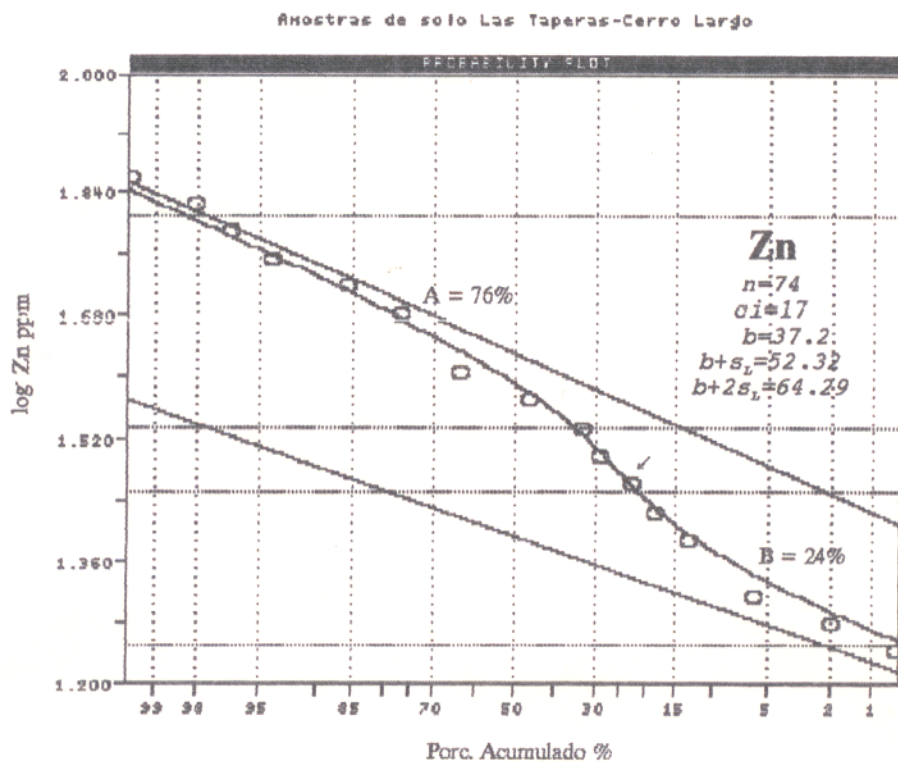


Figura 3.15. Diagrama de probabilidade de frequência acumulada para dados residuais de zinco, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo.

metavulcânicas e suas mineralizações a veios de quartzo e sulfetos, já mencionados. Sendo de mobilidade alta e de precipitação em carbonatos (Tabela 3.14), é clara a relação do zinco em solos com as rochas vulcâno-sedimentares das unidades (Pn₇), (Pn₄) (Anexo C), e menos evidente com os corpos porfiríticos, o que é observado nos mapas das Figuras 3.23 e 3.25, indicando uma leve concentração do metal nas zonas de distensão e de extrusão. FLETCHER et al., (1979) indicam algumas anomalias do metal ao norte da área, relacionada a veios de quartzo em contato com os granitóides.

3.6.4- Cobre

O cobre, tem uma distribuição bem homogênea, tanto regional (Figura 3.5) como local (Figura 3.17). Ele apresenta distribuição lognormal e uma só população de valores background, possivelmente pelo baixo conteúdo do metal nas mineralizações. Analisando as Tabelas 3.5 e 3.20, demonstramos que este metal não têm valores superiores à média, pelo tanto o Cu não é anômalo localmente.

As Figuras 3.16 e 3.17 definem claramente uma distribuição unimodal lognormal, que pode ser considerada como uma distribuição simétrica e de valores de fundo, tendo poucos valores altos (Tabela 3.19). 5% dos dados estão acima do valor limiar regional (41,9 ppm) e só 2,5% (três amostras) são superiores ao valor de limiar local (57,3 ppm).

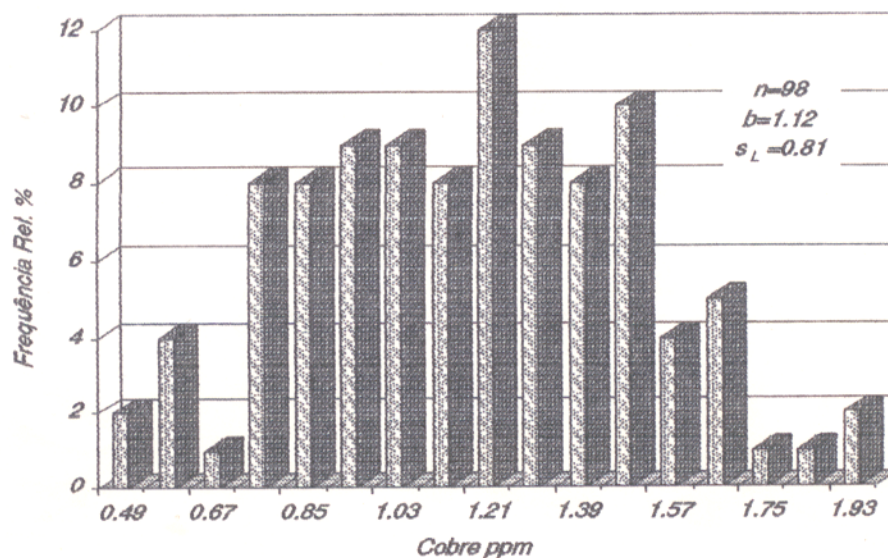


Figura 3.16. Histograma logarítmico da frequência relativa de distribuição unimodal para cobre, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo.

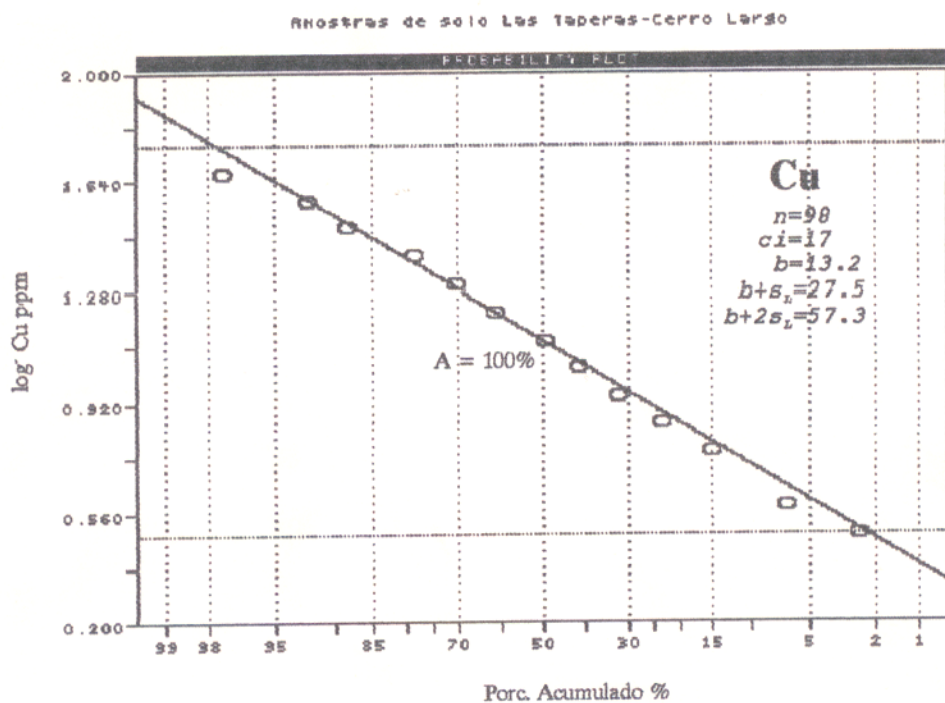


Figura 3.17. Diagrama de probabilidade de frequência acumulada para dados residuais de cobre, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo.

A análises dos coeficientes de correlação de Pearson (Tabela 3.21) indica uma baixa correlação com Bi, provável influência dos granitóides.

Devido a sua alta mobilidade, adsorção e imobilização pôr óxidos de Fe e Mn (Tabela 3.14), pode-se explicar uma maior concentração do Cu nos poucos latossolos da área. Há uma ligeira concentração do metal nas zonas de distensão, como acontece com os outros metais.

3.6.5- Antimônio

O antimônio, tanto regional como local, como acontece com o cobre, apresenta uma distribuição unimodal (Figuras 3.18 e 3.19).

Dos valores anômalos, 32% estão acima do valor limiar regional de 0,64 ppm (Tabela 3.4) e 5% estão acima do valor limiar local de (1,12 ppm) (Tabela 3.19). Levando em consideração o seu background geral em solos (Tabela 3.5) e a sua baixa mobilidade (Tabela 3.14), define-se o antimônio como anômalo nesta área, com valores muito altos (Tabela 3.20). Relacionado, principalmente, assim como o Au, Pb e Zn ao grupo das rochas metavulcânicas máficas, pôr efeito também, da presença de uma zona de cisalhamento para sua concentração (ver as Figuras 3.24 e 3.25), sendo que o antimônio é, elemento característico destas zonas tectônicas (BOYLE, 1979), (CAMERON, 1989a).

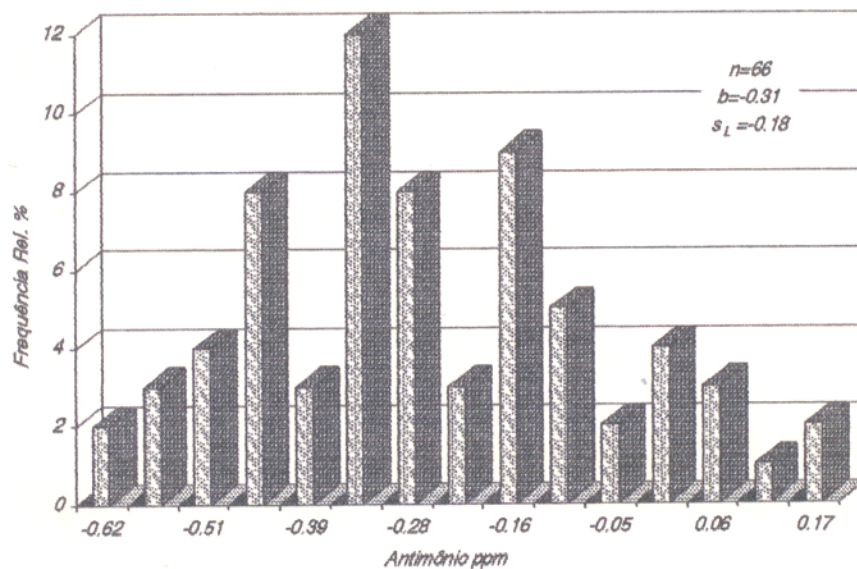


Figura 3.18. Histograma logarítmico da frequência relativa de distribuição bimodal para antimônio, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo.

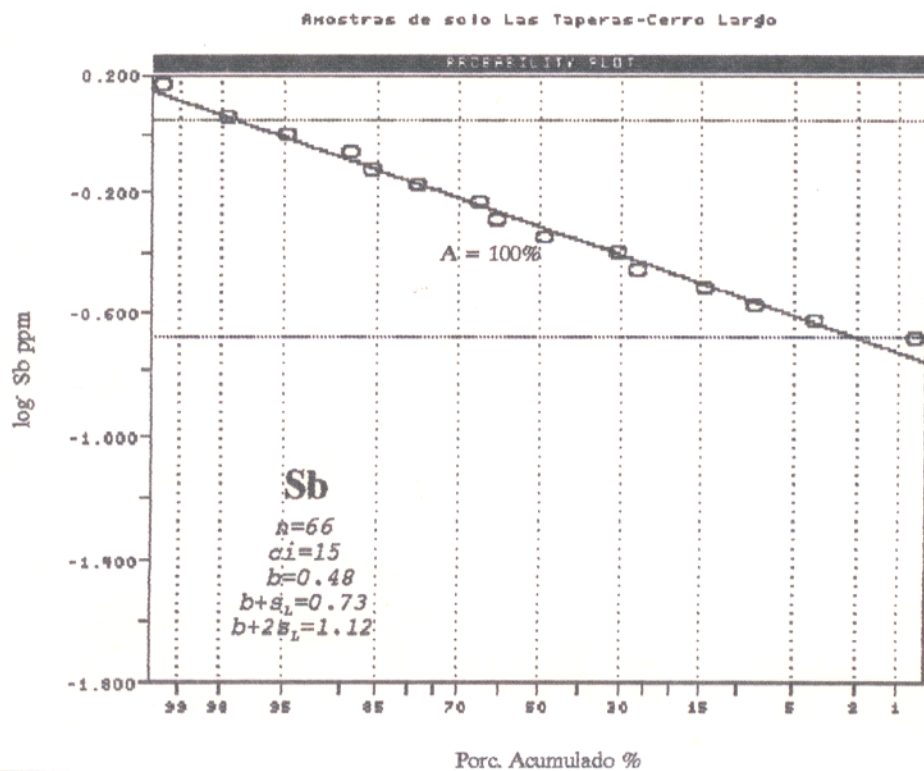


Figura 3.19. Diagrama de probabilidade de frequência acumulada para dados residuais de antimônio, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo.

3.6.6- Bismuto

O bismuto, apresenta localmente uma distribuição bimodal adequada à normal e/ou lognormal, com similares possibilidades, daí toma-se nesta investigação como distribuição normal, enquanto que a sua distribuição regional é unimodal lognormal. A Tabela 3.20, lista os parâmetros estatísticos para o Bi.

As Figuras 3.20 e 3.21 definem duas populações normais, quase simétricas, com tendência às classes de valores altos. A curva de probabilidade bem definida mostra uma população de valores de fundo B de 72% dos dados e uma média de 0,16 ppm, e uma população de valores anômalos A com os 28% restantes e uma média de 0,28 ppm (Tabela 3.19). Destes dados, quase 95% são menores do que o limiar regional de 0,32 ppm (Tabela 3.4), que é um background regional alto, e um pouco mais de 5% excedem o limiar local de 0,33 ppm (Tabela 3.19). Devido a isso, e os background geral em solos (Tabela 3.5), determinamos, que a zona é anômala em bismuto, com valores muito altos.

O mapa da Figura 3.24 comparado com o mapa da Figura 3.25, mostra a relação do Bi com os corpos intrusivos da zona, bem como, com as rochas metavulcânicas félsicas.

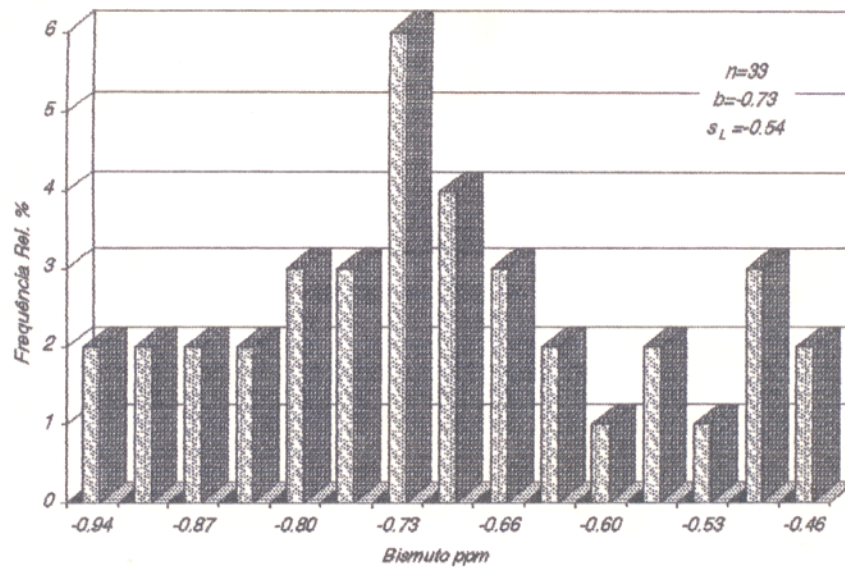


Figura 3.20. Histograma logarítmico da frequência relativa de distribuição bimodal para bismuto, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo.

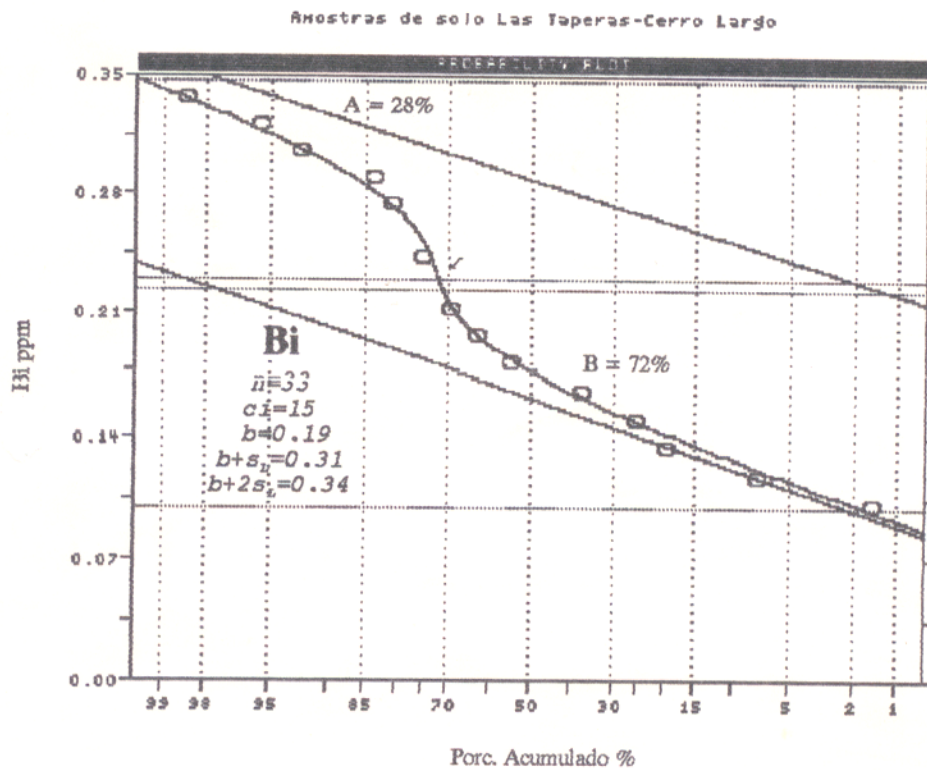
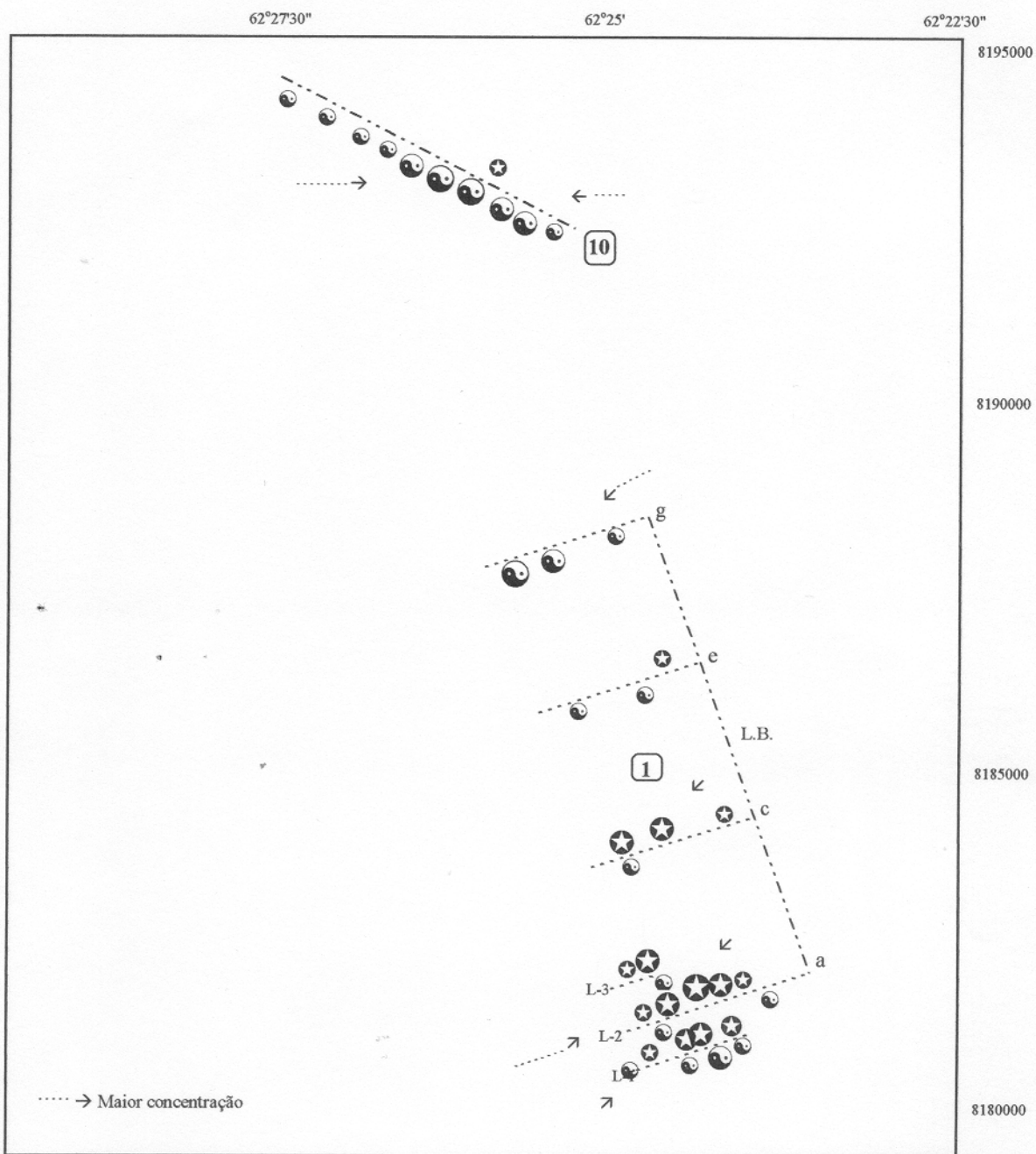


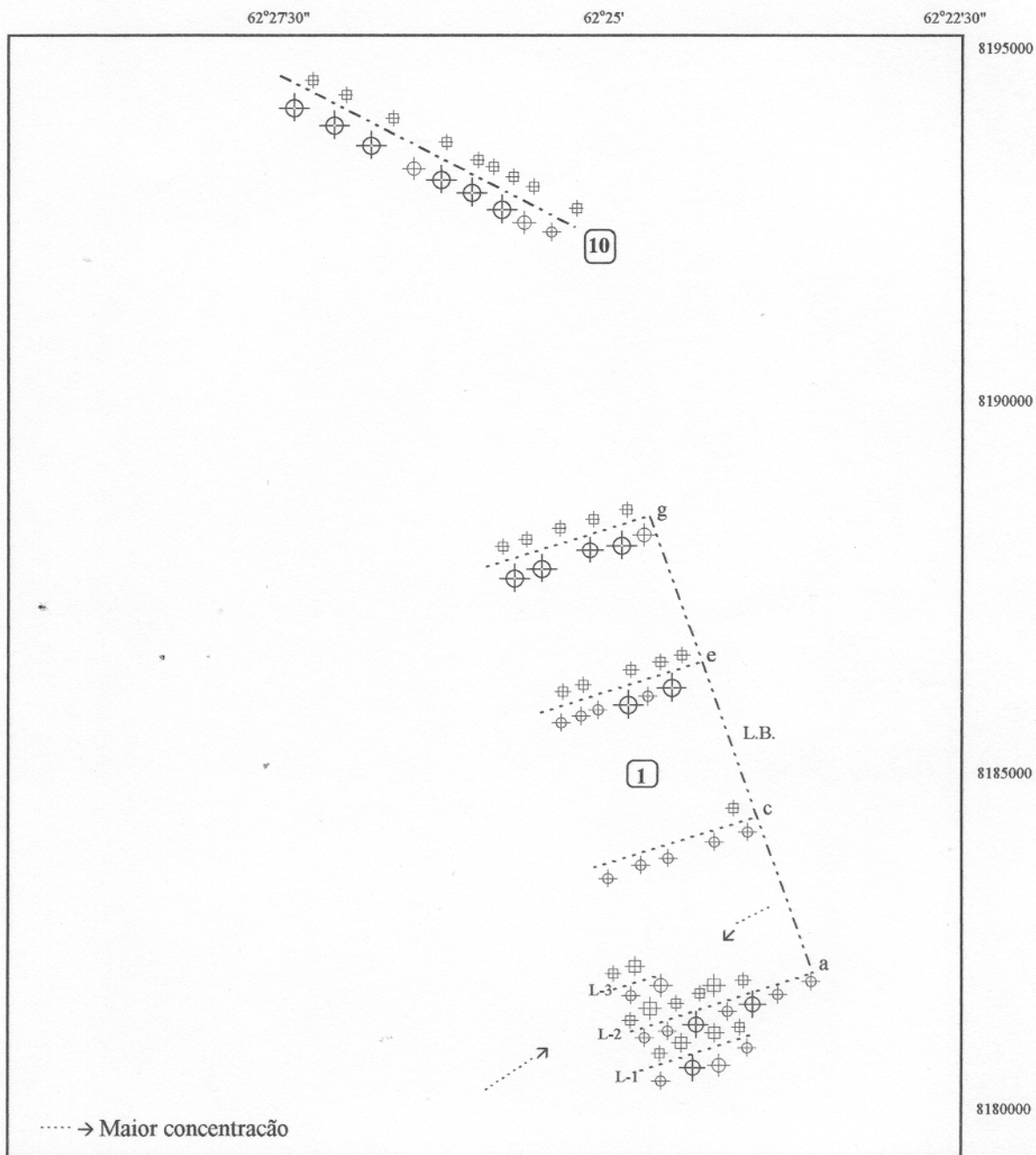
Figura 3.21. Diagrama de probabilidade de frequência acumulada para dados residuais de bismuto, da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo.



Au = ★ 85 ppb; ★ 42 ppb; ★ 14 ppb

As = ☯ 43 ppm; ☯ 24 ppm; ☯ 3,5 ppm

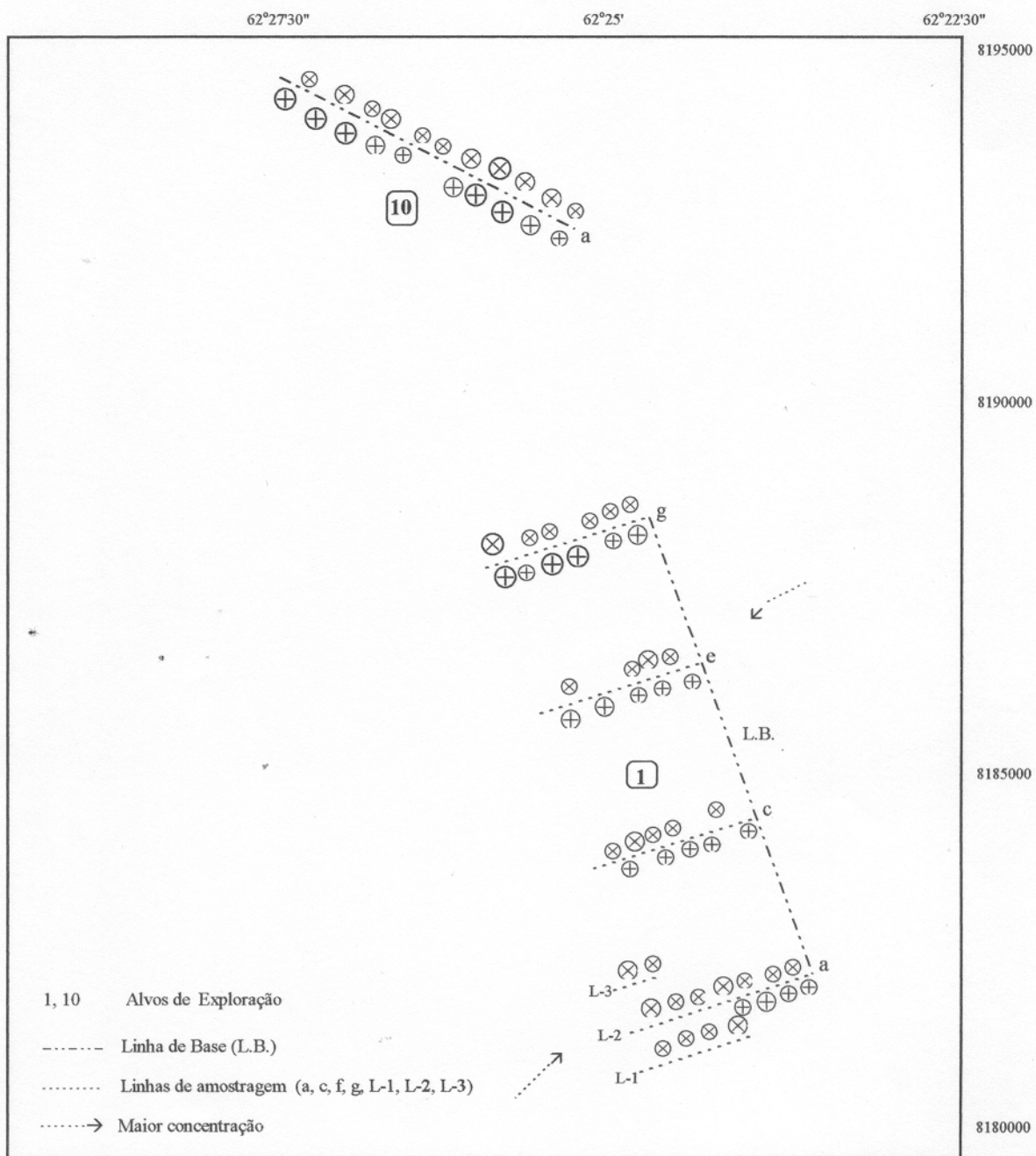
Figura 3.22. Mapa geoquímico de anomalias residuais da área anômala III Las Taperas-Cerro Largo.



Zn = ⊕ 65 ppm; ⊕ 63 ppm; ⊕ 36

Pb = ⊕ 75 ppm; ⊕ 47 ppm; ⊕ 14 ppm

Figura 3.23. Mapa geoquímico de anomalias residuais da área anômala III Las Taperas-Cerro Largo.



Sb = ⊗ 1,12 ppm; ⊗ 0,73 ppm; ⊗ 0,35

Bi = ⊕ 0,34 ppm; ⊕ 0,31 ppm; ⊕ 0,21

Figura 3.24. Mapa geoquímico de anomalias residuais da área anômala III Las Taperas-Cerro Largo.

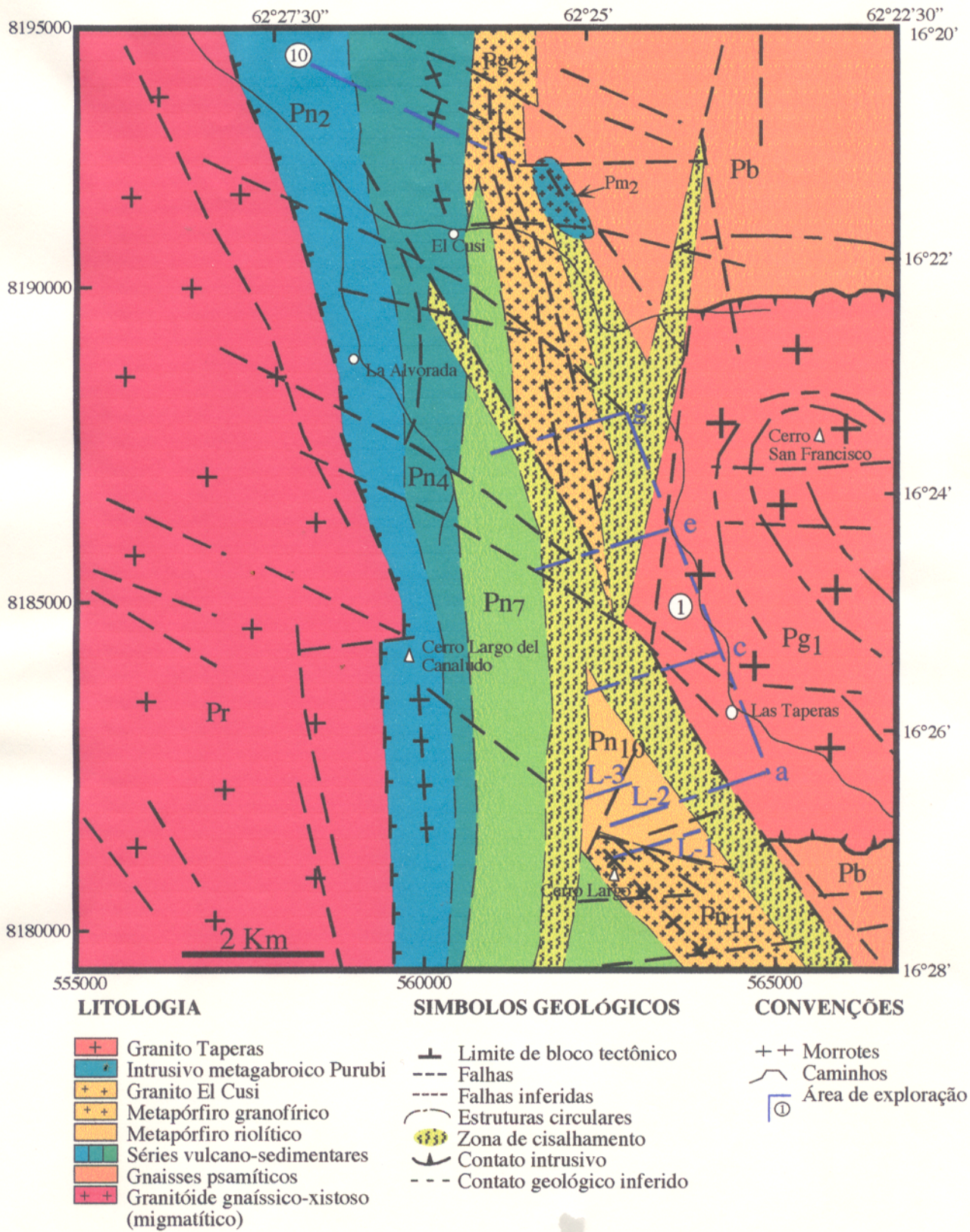


Figura 3.25. Mapa estrutural interpretado a partir de imagem de satélite SPOT. Modificado de WITSCHARD (1991a).

3.6.7- Arsênio.

O arsênio é um importante farejador de metais preciosos (Au e Ag). Foi mostrado anteriormente que ele é anômalo na área de pesquisa, tanto regionalmente (Tabela 3.8) como localmente (Tabela 3.20).

O As tem 90% de valores de background e 10% de valores anômalos (tabela 3.19). Suas concentrações em solo são elevadas, tanto localmente (Tabela 3.20) e regionalmente (Tabela 3.2). O valor limiar local é de 23,53 ppm (Tabela 3.19) valor muito alto. Uma grande parte dos dados é superior a este valor, por tanto, a área é altamente anômala em arsênio.

A razoável correlação do As com o Au (Tabela 3.21), assim como uma baixa correlação com Pb e Zn, sugerem uma associação Au-As-Pb-Zn-(Sb?), relacionada com as rochas metavulcânicas, filitos e filitos grafitosos das rochas vulcão-sedimentares da serie máfica, ressaltando-se o alto conteúdo deste elemento nas mineralizações destas rochas (Tabela 3.12). Há uma evidente relação entre os valores anômalos de As e as zonas de cisalhamento na área (Figura 3.22), assim como acontece com o Au, Sb, Pb, Zn e Cu.

É importante destacar também neste análise, os elevados valores de La e Y, considerados anômalos (Tabela 3.20), tanto local como regionalmente. Segundo Plant et al.¹ apud BASTOS

¹ PLANT, J.A., HALE, M., RIDGWAY, J. (1988). Developments in Regional Geochemistry for Mineral Exploration. **Trans. Instn. Min Metall.** (Sect B), 97: B116-B140.

(1992), La, Y e algumas outras terras raras são considerados elementos petrogenéticos importantes para fornecer informações sobre o posicionamento tectôno-estratigráfico dos depósitos minerais.

3.7- ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

A aplicação dos métodos estatísticos multivariados, como uma ferramenta útil para identificar associações e afinidades geoquímicas, é apresentada a seguir.

3.7.1- Análises Fatorial (Modo R)

A análises fatorial é um conjunto de procedimentos matemáticos, efetuado mais rapidamente por microcomputadores, que possibilita a análise de um grande número de dados. Esta técnica estatística permite reduzir e sistematizar a informação, facilitando sua interpretação.

A técnica Modo-R, aplicada nesta investigação, identifica interrelações entre variáveis e sintetiza os dados em um número menor de variáveis novas (fatores), que são combinações lineares das características originais, mantendo no final essencialmente a mesma informação contida nos dados iniciais (DAVIS, 1986).

Os vários elementos químicos agrupados em um fator matemático correspondem a um fator geoquímico. A análises fatorial na técnica R interpreta a estrutura interna de uma

matriz de covariância ou de correlação (Tabela 3.21), extraíndo autovalores e autovetores desta matriz (MERODIO, 1985).

3.7.1.1- Método de Componentes Principais

Esta técnica está baseada no cálculo dos autovetores e autovalores (componentes principais) de uma matriz de variância-covariância de dados padronizados. A análise dos valores contidos na matriz dos componentes principais permite inferir a(s) variável(s) original(is) representada(s) em cada componente principal, por suas marcas (fator score) e por seus pesos ou cargas (fator loading) estatísticos.

Foram realizadas várias análises, com 2 a 10 fatores, e se verificou que 6 fatores são necessários para explicar 81,3% da variância total (Figura 3.26). Foi aplicada a análises fatorial com rotação varimax, que melhora a interpretação dos fatores.

O procedimento varimax de Kaiser objetiva encontrar uma nova posição dos eixos-fatores mediante uma rotação rígida de 45° dos mesmos, de modo tal que os pesos (loading) dos fatores, tendam em cada um deles à unidade e a zero (MERODIO, 1985).

A matriz varimax rotacionada (Tabela 3.22) foi obtida para os 6 fatores.

As variáveis Be e Ti apresentam cargas significativas sobre três fatores, enquanto Ni, Mg, Y, Te, Pb, Zn e Cu apresentam sobre dois, o que indica que essas variáveis pertencem a duas ou mais populações.

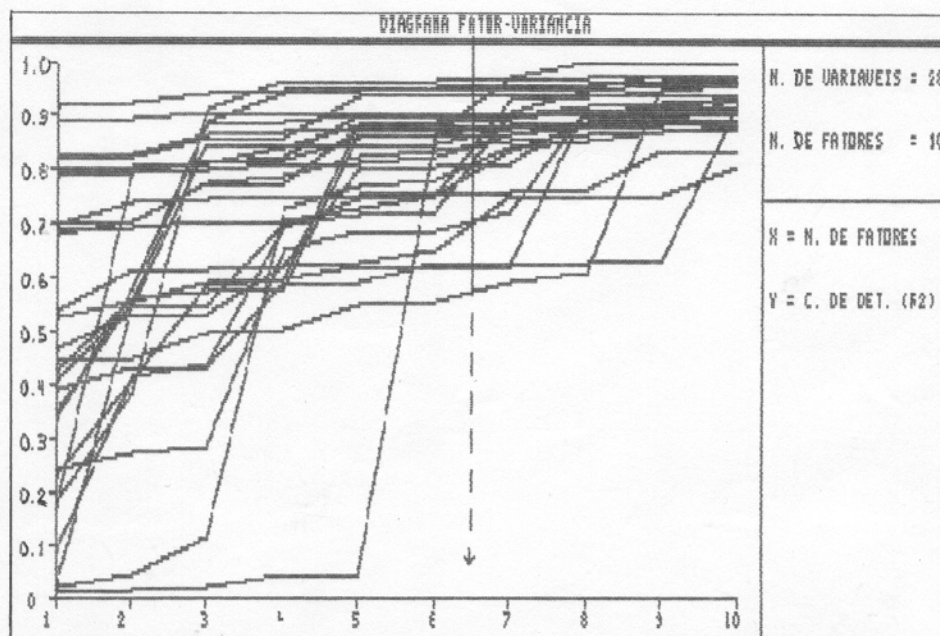


Figura 3.26. Diagrama fator variância acumulada para 28 variáveis, explicada por 6 ou 7 fatores.

A comunalidade, que quantifica o grau de contribuição (proporção da variabilidade) associado à variável (TRIPATHI, 1979), mostra que para P e Zr só 50% da variância é explicada, assinalando um baixo peso estatístico. A maior comunalidade, alcançada por Mn, Be e Sb (cerca de 94%), explica a importância dessas variáveis sobre a variância total e peso estatístico.

Os fatores extraídos desta análise representam associações de elementos que utilizamos na prospeção geoquímica.

A análise da matriz de pesos de fatores rotacionados (Tabela 3.22) mostra que o fator 1 é o mais importante, por apresentar os escores mais elevados, seguido pelo fator 5.

Tabela 3.22. Matriz da análise Fatorial Modo R com Rotação Varimax, para seis fatores, em 101 amostras de solo da zona anômala Las Taperas-Cerro Largo.

Variáveis/Fatores *	VX1	VX2	VX3	VX4	VX5	VX6	Comunalidade
Au	.	.	.	0,73	.	.	0,53
As	.	.	.	0,85	.	.	0,72
Te	0,64	.	.	.	0,43	.	0,59
Bi	0,76	.	.	.	.	.	0,58
Sb	.	.	.	.	.	0,92	0,84
Pb	-0,57	.	.	0,58	.	.	0,66
Zn	.	0,45	.	0,64	.	.	0,61
Cu	0,42	0,64	.	.	.	.	0,58
La	.	.	.	.	0,79	.	0,62
Y	0,48	.	.	.	0,70	.	0,72
Be	0,70	.	0,41	.	0,44	.	0,85
Cr	.	0,90	.	.	.	.	0,81
Ni	.	0,80	0,44	.	.	.	0,83
V	0,90	.	.	.	.	.	0,81
Fe	0,90	.	.	.	.	.	0,81
Al	0,87	.	.	.	.	.	0,75
Mg	.	0,43	.	.	0,72	.	0,70
Ca	0,78	.	.	.	.	.	0,60
Mn	.	.	0,97	.	.	.	0,94
P	0,64	.	.	.	.	.	0,40
Ti	0,64	0,42	.	.	0,47	.	0,80
S	0,81	.	.	.	.	.	0,65
Ba	.	.	0,85	.	.	.	0,72
Co	.	.	0,90	.	.	.	0,81
Li	0,81	.	.	.	.	.	0,65
Sc	0,87	.	.	.	.	.	0,75
Sr	0,80	.	.	.	.	.	0,64
Zr	0,60	.	.	.	0,43	.	0,54
Eigen Valores	13,38	2,93	2,15	1,88	1,39	0,99	
Variância Explicada	47,82	10,48	7,71	6,74	4,99	3,56	Acumulada 81,3 %

*Foram excluídos da matriz as cargas -0,40 a 0,40.

Com base nas características geológicas da área, na localização dos elementos amostrais analisados e na análise da matriz varimax, obtivemos o seguinte resultado:

- **Fator 1 VX1** (Fe+V+Al+Sc+Li+S+Sr+Ca+Bi+Be+Te+P+Ti+Zr). Explica 47,82% da variância total (Tabela 3.22). Representa a associação

de elementos litófilos e calcófilos de afinidade com o S e Fe, está relacionado ao embasamento granítico sujeito a deformação. Os escores também relacionam-se com o sinal geoquímico dos processos secundários, ligados ao intemperismo químico e físico, o que se deduz pela maior carga do Fe, que tendo associados o Al-V-S-Li indicam a co-precipitação e adsorção de elementos traços, como Bi, Cu, Pb, Zn, Sb e, provavelmente, Ag em minerais de ferro (óxi-hidróxidos de Fe, limonita, hematita) e hidróxidos de Al e argilo-minerais (Tabela 3.14). Este fator também explica a dispersão dos sulfetos, pirita e calcopirita, que ocorrem disseminados nas rochas e nas fraturas, das quais muitas estão mineralizadas (BISTE, 1990).

A associação $Al+Sr+Li+Sc+Ca+Be+P+Zr+Bi$, indica os corpos granitóides (granitos e metapórfiros), possivelmente de tipo pórfiros de Cu com Bi em teores altos na zona;

- **Fator 2 VX2** ($Cr+Ni+Cu+Zn$). Este fator explica 10,48% da variância total. Os elementos Cr, Ni, Cu indicam o embasamento de rochas máficas da série vulcano-sedimentar tipo "greenstones" do Grupo Naranjal. A associação $Cu+Zn$ reflete os seus conteúdos altos nestas litologias. Esta associação, confirma a presença de sulfetos maciços vulcanogênicos de Zn-Cu nestas rochas, possivelmente com Au e Ag, proposta por LÓPEZ & BERNASCONI (1988). É possível também relacioná-lo com sulfetos maciços de Ni-Cu e de metais base Pb-Zn-Cu com ouro, discutidos

anteriormente, relacionadas às formações Taporó, e La Honda (Anexo C);

- **Fator 3 VX3** (Mn+Co+Ba+Ni). Este fator explica 7,71% da variância total e reflete a adsorção destes elementos em óxidos de Mn nos níveis argilosos superficiais (Tabela 3.14). Pode sugerir a presença em profundidade de brechas manganíferas ou formações manganíferas com metais base e preciosos (EVANS, 1994), nas zonas de falhamento maior, causa principalmente da maior carga que exerce o Mn sobre a matriz (>97% fator positivo, de alta comunalidade) (Tabela 3.22);

- **Fator 4 VX4** (As+Au+Zn+Pb). Este fator explica 6,74% da variância total dos elementos. Seria uma resposta a mineralizações nos veios de quartzo que geralmente preenchem as falhas e fraturas das zonas de cisalhamento, como acontece no alvo 1 (Figuras 3.12, 3.15 e 3.25). Estes são associados aos metavulcanitos do grupo Naranjal (meta-andesitos, meta-riolitos), sugerindo o potencial aurífero na área.

Esta associação metálica, de alto peso na matriz para o As, foi verificada em veios de quartzo, pirita, calcopirita, arsenopirita, esfalerita, sulfossais e carbonatos, potencialmente com Au, Ag, Sb, Zn, Cu e Pb, em grandes faixas de cisalhamento (EVANS, 1994, CAMERON 1989a), que podem ocorrer também na área.

A associação Zn+Pb de fatores positivos é evidencia de sulfetos maciços vulcanogênicos auríferos de afinidade siálica

(EVANS, 1994), (BOYLE 1979), que pode ocorrer na área de pesquisa (LÓPEZ & BERNASCONI, 1988).

Esta associação pode relacionar-se também, com as formações ferríferas bandadas da fácies óxidos (hematita, magnetita), proposta por BISTE (1990) e WITSCHARD et al. (1993);

- **Fator 5 VX5** (La+Y+Be+Mg+Ti). Este fator explica 4,99% da variância total dos elementos, e sugere a relação com intrusivos graníticos e metapórfitos da área. A dispersão dos elementos do grupo do lantânio nestes solos se desenvolve aoredor dos corpos intrusivos, principalmente o granito Taperas (Pg₁) e o metapórfito El Cusi (Pg₂), afetados por cisalhamento, nos alvos 1 e 10 (Figura 3.25) e

- **Fator 6 VX6** (Sb). Este fator explica 3,56% da variância total. O antimônio ocorre isoladamente no fator, confirmando a sua distribuição geoquímica individual em solos, interpretada pela análise univariante.

O antimônio é anômalo nos solos, o que indica a abundância do metal no ambiente primário profundo. Verifica-se a dispersão do elemento nas zonas de cisalhamento, em falhas de distensão-obliquas (Figuras 3.24 e 3.25), onde este metal tem presença característica (EVANS, 1994). Isto é verificado também pelo fator 4 para outros metais.

Sendo anômalo em superfície e um elemento guia para ouro e outros metais, Sb e Au podem estar associados nas zonas de sulfetos em profundidade, de veios de quartzo com calcopirita,

pirita, arsenopirita e carbonatos, apresentando conteúdos anômalos de Au, Pb, Zn, Cu e Sb (EVANS, 1994). Isto é verificado por CAMERON (1989b) em zonas de cisalhamento.

4- CONCLUSÕES

A seqüência Vulcão-Sedimentar do Grupo Naranjal sendo parte do Supergrupo San Ignacio, pode pertencer a um tipo de Greentons Belts.

Em geral a área de pesquisa, estruturalmente corresponde a um sistema de cisalhamento NW-SE, um sistema de estruturas tipo rift N-S e um sistema de falhas mais jovens NNW-SSE.

A mineralização na área têm, três tipos principais de ocorrências; sulfetos maciços vulcanogênicos, em formações ferríferas bandadas e em zonas de cisalhamento por concentração tectôno-metamorfogênicas

A maioria dos elementos na área apresenta uma distribuição lognormal, uni-ou bimodal.

Os valores mais anômalos na área de estudo estão nas zonas do alvo 10, com anomalias de As-Sb-Bi e Zn-Cu-Pb, do alvo 5 com anomalias de As-Bi-Sb, Zn e Au. O alvo 1, com anomalias de Au-As-Sb e Pb-Cu-Zn, pela localização favorável e relações lito-estruturais, tem que ser investigado com prioridade, através de métodos geoquímicos e geofísicos em escala de detalhe. Por último, as zonas dos alvos 4 com Bi-Zn e do alvo 2 com Bi, podem ser consideradas alvos geoquímicos interessantes.

As concentrações anômalas de ouro e de metais base em solos, em zonas tidas como sobrejacentes a três tipos diferentes de mineralizações, tais como de sulfetos maciços vulcanogênicos,

veios em zonas de cisalhamento e formações ferríferas bandadas, recomendam mais estudos sobre o potencial econômico da área.

Três zonas de interesse foram identificadas na área em estudo:

- a zona anômala I, distante 10 Km de San Ramón, conhecida pela exploração de ouro em veios de quartzo e formações ferríferas bandadas com sulfetos e carbonatos;
- a zona anômala II, próxima de Santa Rosa de la Mina, conhecida pela exploração de ouro detrítico, com valores anômalos de As, Bi, Sb e Au em solos sobrejacentes a filitos grafitosos e formações ferríferas bandadas com pirita, das formações Castedo e Pejichi e
- a zona anômala III, alvo novo de Las Taperas-Cerro Largo, distante 15 Km de San Javier, com anomalias de Au, Sb, Bi, As, Pb, Zn e Cu, principalmente ocorrentes nas zonas de cisalhamento que afetam as rochas metavulcánicas das formações Taporó, Pejichi, La Honda e os metapórfiros El Cusi e La Molienda.

Os valores anômalos de Sb, Au, As e Pb nos solos da área estão sempre relacionados às zonas e cinturões de cisalhamento. Outros valores anômalos de As, Au, Zn, Cu e Pb estão em solos de rochas metavulcánicas máficas e félsicas. Os valores anômalos de Cu e Bi estão mais relacionados aos metapórfiros subjacentes.

A análise fatorial com 6 fatores foi considerada como a mais favorável para a interpretação dos dados do alvo Las taperas-Cerro Largo:

- o fator VX2 (Cr+Ni+Cu+Zn) sugere uma mineralização de sulfetos maciços vulcanogênicos de metais base e preciosos, indicada pela associação Cu+Zn;
- os fatores VX4 (AS+Au+Zn+Pb) e VX6 (Sb) sugerem à existência de mineralizações destes metais nas zonas de cisalhamento de origem vulcanogênico. O fator VX4 pode ser resposta também das mineralizações nas formações ferríferas bandadas e
- O fator VX1 formado pelos elementos (Al+Sr+Li+Sc+Ca+Be+P+Zr+Bi) e o fator VX5 pelos (La+Y+Be+Mg+Ti) são indicativos dos granitóides (granitos e metapórfiros), possivelmente de tipo pórfiros de Cu com Bi.

A importância dos métodos estatísticos, sobretudo o multivariado (Análise Fatorial modo R), neste trabalho é observada pela revelação de assinaturas geoquímicas próprias de três tipos de mineralizações, e pela seleção de alvos geoquímicos para posterior prospeção em detalhe.

REREFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMECK, P. **Geological Map of the San Ramón Gold District, Explanation.** Swedish Geological AB. (no prelo).
- BASTOS, C.H.L. 1992. **Tratamento Estatístico de Dados Geoquímicos de Solo e Sedimento de Corrente da Bacia do Rio Araguari, Est. do Amapá.** Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, 101 pp. Tese (Mestrado em Geoquímica) Curso de Pós-Graduação em Geociências, Centro de Geociências, UFPA. 1992.
- BERRANGÉ, J. P. 1982. The Eastern Bolivia Mineral Exploration Project "Proyecto Precámbrico". **Episodes.**, 4: 3-8.
- BERRANGÉ, J. P. & LITHERLAND, M. 1982. **Sinopsis de la Geología y Potencial de Minerales del Área del Proyecto Precámbrico.** GEOBOL - BGS. (Informe 21). 120 p.
- BISTE, M. 1990. **Resultados Preliminares-Proyecto 03. Exploración de Superficie de la Concesión Paula Cecilia-Gestión 1990,** Empresa Minera Santa María S. A. (Informe DR/04). 10 p.
- BONNEMAISON, M. 1986. Les "Filons de Quartz Aurifère": Un Cas Particulier de Shear Zone Aurifère. **Chron. Rech. Min.**, (482): 55-65.
- BOULTER, C. A.; FOTIOS, M. G.; PHILLIPS, G. N. 1987. The Golden Mile, Kalgoorlie: A giant gold deposit localized in ductile zones by structurally induced infiltration of an auriferous metamorphic fluid. **Econ. Geol.**, 82: 1661-1678.
- BOYLE, R. W. 1979. **The Geochemistry of Gold and its Deposits (together with a chapter on geochemical prospecting for the element).** Geological Survey of Canadá, 584 p.
- BROWNING, p.; GROVES, D. I.; BLOCKEY, J. G.; ROSMAN, K. J. R. 1987.* Lead Isotope Constrains on the Age and Source of Gold Mineralization in the Ylgarn Block, Western Australia. **Econ. Geol.**, 82: 971-986.

- BURROWS, D. R. & SPOONER, E. T. C. 1989. Relationships Between Archaean Gold Quartz Vein-Shear Zone Mineralization and Igneous Intrusions in the Val d'Or and Timmins area, Albitibi Subprovince, Canada. **Econ. Geol.**, (6): 424-444.
- CAMERON, E. M. 1989a. Derivation of Gold by Oxidative Metamorphism of a Deep Ductile Shear Zone: Part 2. Evidence from the Bamble Belt, South Norway. **Journal of Geochemical Exploration**, 31: 135-147.
- CAMERON, E. M. 1989b. Derivation of Gold by Oxidative Metamorphism of a Deep Ductile Shear Zone: Part 1. Conceptual Model. **Journal of Geochemical Exploration.**, 31: 135-147.
- DANNI, J. C. M. 1988. Os Greenstone Belts da Provincia Tocantins no Estado de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências.**, 18 (4): 381-390.
- DAVIS, J. C. 1986. **Statistics and Data Analysis in Geology**. New York. John Wiley.; 646 p.
- DOSSIN, T. M.; CHAVES, M. L. DE S.C.; DOSSIN, I. A. 1990. Mineralizações Auríferas Associadas às Zonas de Cisalhamento Brasileiras do Espinhaço Meridional (Minas Gerais). **Revista de Geología.**, 3: 19-28.
- EION, M. C. 1981. Derivation of Gold by Oxidative Metamorphism of a Deep Ductile Shear Zone: Part Conceptual Model. **Jour. Geoch. Explor.**, 31: 135-147.
- EVANS, A. M. 1994. **Ore Geology and Industrial Minerals. An Introduction**. Geoscience Texts. 3. ed. Blackwell Scientific Publications. 390 p.
- FLETCHER, C. J. N. et al. 1979. **La Geología y Potencial de Minerales del Área de Concepción (Cuad. SE 20-3 con parte de SE 20-2)**. GEOBOL-BGS. (Informe 2). 71 p.

- FLETCHER, W. K. 1986. Analysis of Soil Samples. In: ROBERTSON, J.M. ed. **Exploration geochemistry: design and interpretation of soil surveys**. Chelsea, Society of Economic Geologists, 1986. p. 79-96 (Reviews in Economic Geology, 3).
- FORTES, P. De T. F. De O.; NILSON, A. A.; JOST, H. 1992. **Evolução do Conhecimento sobre a Geologia e o Potencial Aurífero dos Greenstone Belts da Região de Crixás-Pilar de Goiás, GO**. SBG-NCO. (Boletín 15). 65-89p.
- FRIPP, R. E. P. 1976. Stratabound Gold Deposits in Archean Banded Iron-Formations, Rhodesia. **Econ. Geol.**, 71: 58-75.
- GOVETT, G. J. S. 1985. **Rock Geochemistry in Mineral Exploration. Handbook of Exploration Geochemistry**. Elsevier., v. 3, 435 p.
- GOVINDARAJU, K. 1994. Compilation of Working Values and Sample Description for 383 geostandards. **Geostandards Newsletters**. 18: 1-158. Special Issue.
- GROVES, D. I. & PHILLIPS, G. N. 1987. The Genesis and Tectonic Control an Archean Gold Deposits of the Western Australian Shield-A Metamorphic Replacement Model. **Ore Geology Reviews.**, 2: 287-322.
- GUILLEN, H. M. T. 1985. **A distribuição dos Elementos Cu, Au, Co, Zn, Ni, Mn e Fe em Solos Sobre o Depósito de Cobre de Salobo-3A, Serra dos Carajás**. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, 107 pp. Tese (Mestrado em Geoquímica) Curso de Pós-Graduação em Ciências Geofísicas e Geológicas, UFPA, 1985.
- HODGSON, C. J. 1989. The Structure of Shear-Related, Vein-Type Gold Deposits: a review. **Ore Geol. Reviews.**, 4: 231-273.
- KRISTIANSOON, K. & MALMQVIST, L. 1987. Trace Elements in the Geogas and their Relation to Bedrock Composition. **Geoexploration.**, 24: 517-534.
- KUYUMJIAN, R. M. 1981. Geologia e Mineralizações Auríferas do Greenstone Belt da Faxia Crixás. **Revista Brasileira de Geociências.**, 14 (2): 92-96

- LEPELTIER, C. 1969. A Simplified Statistical Treatment of Geochemical Data by Graphical Representation, **Econ. Geol.** (64): 538-550.
- LEVINSON, A. A. 1980. **Introduction to exploration geochemistry.** 2. ed. Applied Publishing. 924 p.
- LITHERLAND, M. & BLOOMFIELD, K. 1981. The Proterozoic History of Eastern Bolivia. **Precam. Res.**, (15): 157-179.
- LITHERLAND, M. et. al. 1985. Andean-trending Mobile Belts in the Brazilian Shield. **Nature.**, 314: 345-348.
- LITHERLAND, M. et. al. 1986. The Geology and Mineral Resources of the Bolivian Precambrian Shield. **Overseas Mem. Br. Geol. Surv.** (9): 154 p.
- LITHERLAND, M. et. al. 1989. The Proterozoic of Eastern Bolivia and its Relationship to the Andean Mobile Belt. **Precam. Res.**, (43): 157-174.
- LOPEZ MONTAÑO R. 1992. **Geología y Prospección Geoquímica por Oro en el Área San Josecito Distrito San Ramón, Precámbrico de Santa Cruz, Bolivia Oriental.** GEOBOL-PNUD, 30 p.
- LOPEZ, R. & BERNASCONI, A. 1988. **El Cinturón de Rocas Verdes en la Hoja Concepción, Precámbrico de Bolivia Oriental: Geología, Mineralización y Prospección Auríferas.** GEOBOL-PNUD, 43 P.
- MAGALHÃES, L. F. & NILSON, A. A. 1993. **Controle Lito-Estrutural e Características da Mineralização Aurífera da Região do Córrego Geral-Meia Pataca, Crixás GO.** SBG-NCO. (Boletín 16). 25-49 p.
- MALMQVIST, L.; ISAKSSON, M.; KRISTIANSSON, K. 1989. Radon Migration Through Soil and Bedrock. **Geoexploration.**, 26: 135-144.
- * MASTER, S.; HENRY, G.; BORG, G. 1988. Geochemistry and Mineralogy of Banded Iron-Formation-Hosted Gold Mineralization in the Gwanda Greenstone Belt, Zimbabwe-A discussion. **Econ. Geol.** (79): 194-197.

- MATOS, R. et. al. **Geología del área de San Ramón y Columna Estratigráfica. Proyecto 6 Recursos Minerales del Precámbrico.** (no prelo).
- MERODIO, A. 1985. **Métodos Estadísticos en Geología.** Asociación Geológica Argentina. 236 p.
- MOURA, C. A. 1985. Aplicação de Tratamento Estatístico Multivariante em Dados Geoquímicos de Solo no Mapeamento Geológico na Província de Carajás (Alvo 2-Corpo 4). **Revista Brasileira de Geociências**, 15(3): 241-248.
- MUELLER, A. G.; HARRIS, L. B.; LUNGAN, A. 1988. Structural Control of Greenstone-Hosted Gold Mineralization by Transcurrent Shearing: A New Interpretation of the Kalgoorlie Mining District, Western Australia. **Ore. Geol. Reviews**, (3): 359-387.
- OLIVEIRA, C. G. & LEONARDOS, O. H. 1990. Gold Mineralization in the Diadema Shear Belt, Northern Brasil. **Econ. Geol.**, (85): 1057-1063.
- PARSLOW, G. R. 1974. Determination of Background and Threshold in Exploration Geochemistry. **Jour. Geoch. Expl.**, (3): 319-336.
- PEISER, F. 1944. **Los Yacimientos Auríferos de la Provincia Ñuflo de Chavez:** Minería Boliviana, 1(12): 21-30.
- PHILLIPS, G. N.; GROVES, D. I.; MARTYN, J. E. 1984. An Epigenetic Origin for Archean Banded Iron-Formation-Hosted Gold Deposits. **Econ. Geol.** (79): 162-171.
- RANKANA, K. & SAHAMA, TH. G. 1959. **Geoquímica.** Aguilar, S. A. de Ediciones. 862 p.
- RHEINHART, M. C. & DAVIDSON, I. 1990. Structural and lithologic controls of gold deposition in the shear zone hosted Fazenda Brasileiro Mine, Bahia State, northeast Brasil. **Econ. Geol.**, (85): 952-967.
- RONA, P. A. 1988. Hydrothermal Mineralization at Oceanic Ridges. **Canadian Mineralogist.** (26): 431-465.

- ROSE, A. W.; HAWKES, H. E.; WEBB, J. S. 1979. **Geochemistry in Mineral Exploration**. 2. ed. John Wright & Sons Ltd. 657 p.
- SAAGER, R. & OBERTHUR, T. 1988. Geochemistry and Mineralogy of Banded Iron-Formation-Hosted Gold Mineralization in the Gwande Greenstone Belt, Zimbabwe-A Reply. **Econ. Geol.** (79): 197-198.
- SGAB ANALYS. 1991. **Svensk Grundämnes Analys AB**. (Rapport 920205). 74 p.
- SHAW, D. 1961. Element Distribution Laws in Geochemistry. **Geochim. Cosmochim. Acta.** (23): 116-134.
- SIEGEL, F. R. 1992. **Geoquímica Aplicada**. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos-Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D. C. 168 p.
- SINCLAIR, A. J. 1974. Selection of Threshold Values in Geochemical Data Using Probability Graphs. **Jour. Geoch. Explor.**, (3): 129-149.
- SINCLAIR, A. J. 1976. Applications of Probability Graphs in Mineral Exploration. **Assoc. Explor. Geochem.**, Spec. Vol. 4, 95 p.
- SINCLAIR, A. J. 1986. Statistical Interpretation of Soil Geochemical Data. In: ROBERTSON, J.M. Ed. **Exploration Geochemistry: Design and Interpretation of Soils Surveys**. Chelsea, Society of Economic Geologists, 1986. p 97-115 (Reviews in Economic Geology, 3).
- SINCLAIR, A. J. 1991. A Fundamental Approach to Threshold Estimation in Exploration Geochemistry: Probability Plots Revisited. **J. Geochem. Explor.**, (41): 1-22.
- SOLOMON, M. & WALSH, J. L. 1979. The Formation of Sulfide Deposits on the Sea Floor. **Econ. Geol.**, (74): 797-813.
- STANLEY, C.R. 1987. PROBLOT: An Interactive Computer Program to Fit Mixtures of Normal (or Lognormal) Distributions with Maximum Likelihood Procedures. **Assoc. Explor. Geochem.**, Spec. Vol. 14, 40 p.

- STANLEY, C. R. & SINCLAIR, A. J. 1987. Anomaly Recognition for Multi-Element Geochemical Data-A Background Characterization Approach. **J. Geochem. Explor.**, (29): 333-353.
- STANLEY, C. R. & SINCLAIR, A. J. 1989. Comparison of Probability Plots and the Gap Statistic in the Selection of Thresholds for Exploration Geochemistry Data. **J. Geochem. Explor.**, (32): 355-357.
- TRIPATHI, V. S. 1979. Factor Analysis in Geochemical Exploration. **J. Geochem. Explor.** (11): 263-275.
- WITSCHARD, F. 1991. **SPOT and Landsat Imagery Interpretation-San Ramón Área, Eastern Bolivia**. GEOBOL-SGAB International. (Open-File Report Nr. Bo-91001). 33 p.
- WITSCHARD, F.; KARLGREN, B.; NORAS, P. 1991. **Geochemical Exploration in the Precambrian of Bolivia-Concept and Technical Especifications**. GEOBOL SGAB International. (Open-File Report Nr. Bø 91017). 16 p.
- WITSCHARD, F.; MATOS, R.; NILSSON, L. 1993. **Airborne Geophysical Survey and Interpretations of Remote Sensing in the San Ramón Área**. GEOBOL-SGAB International. 64 p. (Boletín del Servicio Geológico de Bolivia, N° 2 Especial).

ANEXOS

ANEXO A - RESULTADOS ANALÍTICOS.

Table with columns for elements: Au, As, Sb, Zn, Pb, Cr, Cu, Ni, Ba, Co, Fe, Mn, Te, Bi, V, Sc, Zr, Sr, La, Y, Li, Be, S, Al, Mg, Ca, P, Ti, Ag, Cd, Mo, Nb, Sn, W. Each element column contains multiple numerical values. The table also includes a grid of small numbers at the bottom right, possibly representing a page or document reference.

**ANEXO B - RESULTADOS ANALÍTICOS E PARÂMETROS ESTATÍSTICOS
POR ALVOS E LINHAS DE AMOSTRAGEM.**

Alvo 1 Linha L-3														
	Au	As	Sb	Zn	Pb	Cr	Cu	Ni	Ba	Co	Fe	Mn		
	PPB	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	%		
M-033	30	2.5	0	65	40	67	10	14	30					
M-034	30	1.1	0	55	42	88	6.3	8	30					
M-035	20	2.8	0.5	95	47	91	26.2	36	30					
M-036	10	1	0.4	80	45	68	22.6	21	42					
M-037	30	2.5	0	50	34	82	21.3	13	48					
M-038	20	2	0.6	45	35	49	9.4	10	36					
M-039	10	5.4	0.7	55	36	79	7.4	9	42					
M-040	80	6.7	0	55	43	60	21.2	13	96					
M-041	40	4.2	0.8	50	38	86	24.6	17	114					
M-042	20	4	0.8	40	39	75	16.5	13	90					
M-043	10	1.1	0.4	35	34	48	8.8	10	60					
M-044	70	9.3	0.5	45	43	36	12.4	11	66					
M-045	20	7	0.1	45	36	74	16.4	15	36					
Média	30	3.8154	0.3538	55	39.385	69.482	15.638	14.615	55.395					
Des.Padr.	21.985	2.6092	0.2981	16.583	4.3309	17.023	7.0117	7.3205	28.159					
Máximo	80	9.3	0.8	95	47	91	26.2	36	114					
Mínimo	10	1	0	35	34	36	6.3	8	30					
Perfil a - a' Caminho San Ramón - San Luis														
	Au	As	Sb	Zn	Pb	Cr	Cu	Ni	Ba	Co	Fe	Mn		
	PPB	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	%		
SR-3	0	0	0.6	18.6	12.8	67	10.43	8.74	180	5.65	2.9	0.049		
SR-9	0	0	0.3	55	24.7	42.5	12.87	19.68	200	8.59	1.8	0.0409		
SR-12	10	0	0	15.3	13	39.4	5.37	6.88	220	3.02	2.5	0.0306		
SR-10	30	0	0	14.5	12.9	63.36	6.71	7.95	270	4.44	1.4	0.0338		
SR-5	0	0	0	90.8	23.7	76.74	41.33	29.89	750	33.13	4.2	0.0481		
SR-14	0	0	0.1	24.8	13.9	54.61	11.55	15.14	330	11.047	2.6	0.0472		
SR-16	0	0	0.4	52.6	16.7	29.49	26.84	19.03	540	25.65	6.4	0.0905		
SR-18	0	0	0.1	3.92	17.8	35.29	11.23	12.77	350	1.281	3	0.0857		
SR-20	10	0	0.2	40	16.2	44.57	49	33.48	460	45.66	4.9	0.0881		
SR-22	0	0	0.2	54.3	19.8	99.65	33.84	39.6	430	33.12	4.8	0.0868		
SR-24	0	0	0	63.2	17.4	56.65	39.22	25.17	220	41.47	4.1	0.0942		
SR-26	0	0	0	101.6	13.6	23.15	39.35	15.14	400	23.67	4.4	0.0832		
SR-28	0	0	2	46.4	14.8	84.96	32.47	33.5	260	29.64	3.6	0.0903		
SR-42	0	0	1.4	38.4	14.9	55.48	18.78	17.7	270	19.01	3.3	0.0623		
SR-44	0	0	1.7	48.4	16.9	45.59	27.99	20.06	360	35.03	4.8	0.0599		
SR-46	110	0	2	55.3	17.5	95.19	39.73	29.65	180	42.36	5.3	0.0548		
SR-49	0	0.3	1.7	104.2	22.4	44.26	70.51	45.03	230	54.32	7.4	0.091		
SR-53	0	0.1	1.2	60.5	16.3	71.11	34.63	28.89	270	24.09	3.5	0.0628		
SR-55	10	0.3	0.7	23.8	13.6	89.63	16.35	14.74	310	10.35	1.7	0.0408		
SR-57	380	16.2	0.3	107.1	17.4	25.59	28.49	12.33	250	18.14	5.4	0.0611		
SR-59	90	0	0.7	18.1	12.9	42.03	14.93	8.8	150	9.97	1.5	0.0518		
SR-61	280	11.2	0.7	40.7	25.6	101.29	24.62	39.58	170	28.41	3.5	0.0561		
SR-63	100	0	0.6	0	11.6	63.59	11.42	10.12	170	9.46	1.9	0.0502		
SR-65	0	0	0.5	11.9	11.1	56.44	3.99	7.96	140	7.59	1.2	0.0385		
Média	42.917	1.1708	0.6417	45.393	16.554	56.357	25.486	20.902	296.25	21.929	3.5675	0.0632		
Des.Padr.	95.575	3.9297	0.6652	31.332	4.091	20.986	16.252	11.506	142.12	15.166	1.6438	0.0213		
Máximo	390	16.2	2	107.1	25.6	101.29	70.51	45.03	750	54.32	7.4	0.0942		
Mínimo	0	0	0	0	0	11.1	23.15	3.99	6.89	140	1.281	1.2	0.0306	

Perfil b - b' Caminho San Javier-Las Taperas													
	Au	As	Sb	Pb	Zn	Cu	Cr	Ni	Ba	Co	Fe	Mn	
	PPB	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	%
SL-67	30	0	0.4	5.6	15	50.39	6.29	9.15	120	12.15	2.2	0.0332	
SL-69	0	0	0	7.1	13.2	69.95	7.64	12.32	140	11.84	1.9	0.0368	
SL-71	0	0	0.1	14.7	10.5	75.23	7.77	9.77	130	7.79	1.1	0.0368	
SL-73	50	0	0.5	26.9	22.3	74.06	11.31	25.69	150	12.31	1.7	0.0438	
SL-75	0	0	0.8	8.8	16.2	67.43	9.6	12.68	170	12.6	1.9	0.0393	
SL-77	0	0	0.5	6.4	8.5	114.63	5.24	8.96	110	5.64	0.9	0.0295	
SL-79	10	0.7	1.6	53.7	21.1	65.03	46.16	28.48	130	45.21	7.8	0.0993	
SL-82	0	0	0.8	16.8	17.8	69.57	18.48	14.87	210	16.51	2.5	0.0448	
SL-84	10	0	0.5	17.3	17	81.83	15.39	11.54	180	16.88	2.9	0.0538	
SL-86	0	0	0.1	10.9	14.1	74.75	11.32	17.77	210	25.1	2.6	0.0506	
Média	10	0.07	0.52	16.82	15.57	73.109	13.92	15.125	155	16.803	2.55	0.0459	
DesPadr.	16.997	0.2214	0.459	14.51	4.3087	17.64	12.044	6.9144	35.978	11.38	1.9495	0.0185	
Máximo	50	0.7	1.6	53.7	22.3	114.85	46.16	28.48	210	45.21	7.8	0.0993	
Mínimo	0	0	0	5.6	6.5	50.39	5.24	8.98	110	5.64	0.9	0.0295	
Perfil c - c' Caminho Santa Rosa de la Mina-La Cruz													
	Au	As	Sb	Pb	Zn	Cu	Cr	Ni	Ba	Co	Fe	Mn	
	PPB	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	%
SM-102	0	0	0.5	20.2	13.7	77.91	15.03	12.88	90	8.94	1.8	0.02	
SM-97	0	0	0.5	17.6	11.4	28.3	13.76	14.18	360	15.38	2.8	0.0671	
SM-90	0	0	0.8	35.1	21.8	77.67	28.11	20.36	380	23.8	1.6	0.0919	
SM-92	0	0.5	1	28.8	21.9	84.28	18.59	20.05	200	20.79	3.2	0.0876	
SM-94	0	0.3	0.6	105.2	16.3	100.17	63.24	56.63	150	57.45	6.7	0.0943	
SM-99	10	0.7	0.8	43.9	16	104.77	27.61	25.92	240	26.93	4.1	0.0533	
SM-104	0	0	0	33.8	15	139.88	55.23	59.44	120	36.89	3.9	0.056	
Média	1.4286	0.2143	0.5714	63.408	16.871	87.569	31.661	29.937	220	27.454	3.4429	0.07	
DesPadr.	3.7796	0.2911	0.3094	57.621	3.9974	33.926	19.762	19.662	113.87	16.213	1.7232	0.0278	
Máximo	10	0.7	1	177.6	21.9	139.88	63.24	59.44	380	57.45	6.7	0.0943	
Mínimo	0	0	0	20.2	11.4	28.3	13.76	12.88	90	8.94	1.6	0.02	

ANEXO C - MAPA GEOLOGICO