



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

**“ EXPLORAÇÃO GEOLÓGICA E GEOQUÍMICA DETALHADA PARA
EXPLOTAÇÃO DE METAIS BASE E PRECIOSOS NO SALITRE, DEPARTAMENTO
DEL TOLIMA-COLÔMBIA”.**

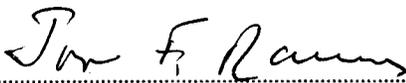
TESE APRESENTADA POR

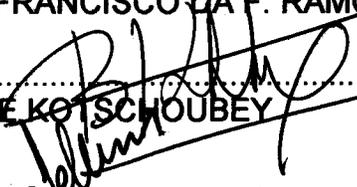
ALBERTO FAJARDO OLIVEROS

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

Data de Aprovação 05/09/95

Comitê de Tese:


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


.....
BASILE KOTSCHOUBEY

.....
JOSÉ DUARTE ALECRIM

BELÉM

A Estelita, Lalita, Camilin,
mi negrito y Alvarito

A mi familia, en especial a
mis padres.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho contou com a colaboração de numerosas pessoas, às quais tenho a satisfação de agradecer:

Ao meu orientador, professor doutor José Francisco da Fonseca Ramos, pelo apoio e estímulo oferecidos durante o desenvolvimento do curso.

A Joaquín A. Buenaventura A., meu co-orientador, Geólogo de INGEOMINAS-Colômbia, pela atenção no processamento e avaliação da informação geológica e geoquímica desta tese.

Aos membros da banca examinadora, drs. Basile Kotschoubey e José Duarte Alecrim, pelas críticas e sugestões durante a avaliação desta pesquisa.

Ao Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico (DAAD), em nome de Friedhelm Schwamborn e Marilia de la Cal, pelo apoio financeiro prestado durante o curso.

À Universidade da Amazônia de Colômbia, pela minha liberação das atividades acadêmicas durante o período de duração do curso de Mestrado.

Ao Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica (CPGG-UFGA) e a UNAMAZ, promotores do valioso intercâmbio de experiências em pesquisas geoquímicas.

À INGEOMINAS, na pessoa de Carlos Julio Cedeño, Químico chefe do Laboratório de Geoquímica, que viabilizou a fase de análises

químicas nesse instituto.

Aos amigos Jader Muñoz R., Maria do Socorro da Silva e ao professor Antonio Vaquera pelo apoio pessoal e amizade oferecida durante minha permanência no Brasil.

Aos colegas do CPGG, Edielma, Renato Jr., Afonso, Lúcia e Alayde, pelo apoio aferido durante o desenvolvimento do curso.

Finalmente, agradeço a Irma Estela, minha esposa e, Laura Estela, Camilo Alberto, Carlos Fernando e Alvaro Daniel, cuja paciência e carinho foram um estímulo para a conclusão da tese.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	i
AGRACECIMENTOS	ii
RESUMO	1
ABSTRACT	3
1. INTRODUÇÃO	5
1.1 LOCALIZAÇÃO	5
1.2 TRABALHOS ANTERIORES NA ÁREA E RELEVÂNCIA DA PRESENTE PESQUISA	8
2. CONTEXTO GEOLÓGICO	12
2.1 GEOLOGIA REGIONAL	12
2.2 GEOLOGIA DA ÁREA EM ESTUDO	13
2.2.1 Formação Payandé	13
2.2.2 Formação Saldaña	15
2.2.3 Stocks	17
2.3 MODELOS DESCRITIVOS PARA MINERALIZAÇÃO	17
2.4 DESCRIÇÃO DOS SOLOS	21
3. METODOLOGIA	22
3.1 METODOLOGIA DE CAMPO E AMOSTRAGEM	22
3.2 MÉTODOS DE ANÁLISES QUÍMICAS.	23
3.2.1 Preparação das Amostras	23

3.2.2	Determinação de Ag, Cu, Zn, Mo, Pb, As, Sb e Bi	23
3.2.3	Determinação de Ouro	24
3.2.4	Precisão e Exatidão	25
3.2.4.1	Precisão	25
3.2.4.2	Exatidão.	26
4.	GEOQUÍMICA	28
4.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	28
4.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA UNIVARIADA.	29
4.3	ANÁLISES FATORIAL MODO-R	30
4.4	TRATAMENTO UNIVARIADO DOS DADOS	33
4.4.1	Rochas	34
4.4.1.1	Prata	34
4.4.1.2	Cobre	38
4.4.1.3	Chumbo	38
4.4.1.4	Zinco	38
4.4.1.5	Molibdênio	42
4.4.1.6	Ouro	42
4.4.1.7	Antimônio	42
4.4.1.8	Arsênio	46
4.4.1.9	Bismuto	46
4.4.2	Solos	49
4.4.2.1	Prata	49
4.4.2.2	Cobre	49
4.4.2.3	Chumbo	53
4.4.2.4	Zinco	53

4.4.2.5	Molibdênio	53
4.4.2.6	Ouro	57
4.4.2.7	Antimônio	57
4.4.2.8	Arsênio	57
4.4.2.9	Bismuto	61
4.4.3	Apresentação sintética e conjunta das anomalias . . .	61
4.5	INTERPRETAÇÃO ESTATÍSTICA MULTIVARIADA	70
4.5.1	Análise Fatorial Modo-R	71
4.5.1.1	Rochas	71
4.5.1.2	Solos	76
4.5.2	Análises de Cluster.	82
5.	CONCLUSÕES	90
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
	ANEXOS.	96
	ANEXO A. PREPARAÇÃO E ABERTURA DE AMOSTRAS	96
	ANEXO B. DETERMINAÇÃO DE As, Cu, Pb E Zn POR ABSORÇÃO ATÔMICA	97
	ANEXO C. DETERMINAÇÃO ANALÍTICA DE As, Sb E Bi POR ABSORÇÃO ATÔMICA - GERAÇÃO DE HIDRETOS	98
	ANEXO D. ANÁLISE DE Au	99
	ANEXO E. MAPA DE ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL.	100
	ANEXO F. MAPA GEOLÓGICO-ZONA "EL SALITRE".	101
	ANEXO G. MAPA DE AMOSTRAGEM	102

RESUMO

Estudos de exploração geológica e geoquímica regional realizados anteriormente definiram a zona de "El Salitre", Departamento de Tolima (Colômbia), como um prospecto de interesse para o prosseguimento de trabalhos de exploração mais detalhados. Como consequência, realizou-se uma exploração geoquímica detalhada para metais preciosos e base na área, que é um ambiente geológico favorável e contem anomalias geoquímicas e depósitos de minérios em suas vizinhanças.

Com o apoio do "Instituto de Investigaciones em Geociencias, Minería y Química (INGEOMINAS)" da Colômbia, foi realizado um levantamento topográfico e obtidas informações sobre a geologia e geoquímica, na escala 1:2.000. Isso permitiu a concepção de modelos descritivos para tipos de mineralização esperados na área, o que, por sua vez, possibilitou a seleção e implementação de técnicas de quantificação de elementos químicos considerados como indicadores, que, por fim, foram submetidos a tratamento estatístico.

No trabalho de campo foram coletadas 176 amostras de solos numa área de 5 km², em um espaçamento de 50 m ao longo das cristas das serras e 40 amostras de rocha, nos afloramentos ocasionais. As análises químicas foram efetuadas utilizando-se abertura com água regia a quente e posterior determinação de Ag, Cu, Pb, Zn e Mo por AAS (chama); Sb, As e Bi, por AAS (geração de hidretos) e Au por AAS (forno de grafite).

Foram realizadas análises estatísticas univariada e multivariada (análises fatorial em modo-R e de Cluster em modo Q e R), para as 9 variáveis referidas.

Os resultados obtidos na área evidenciaram a assinatura geoquímica de um corpo de tipo pórfiro cuprífero com ouro, ou pórfiro aurífero, e por outro lado a assinatura de um skarn mineralizado com ouro e metais bases. Esses tipos de mineralizações existem, supostamente, em profundidade, e fazem parte de um mesmo ambiente geológico. A análise fatorial permitiu definir duas associações de elementos químicos relacionadas a essas mineralizações. Os conjuntos Mo-Zn-Au-Sb em rochas e Mo-Sb-Ag-Pb-Zn em solos indicam a presença de o corpo pórfiro, enquanto que Bi-Cu-Au-Ag em rochas e Bi-Cu-Au-As em solos sugerem a existência de skarn mineralizado. Estas associações foram também evidenciadas através da análise de Cluster em Modo-R.

Em superfície, os indícios destas mineralizações concentram-se no setor conhecido como La Meseta para o pórfiro, e na zona situada logo a sul desta para o skarn, fatos confirmados pela análise de Cluster em Modo-Q.

Estes resultados devem ser confrontados com estudos geofísicos de polarização induzida e magnetometria, para que a presença das mineralizações seja confirmada, antes que perfurações exploratorias sejam realizadas nos locais de interesse.

ABSTRACT

Geological and geochemical regional surveys have identified the Salitre area (Tolima department, Colombia) as an interesting target for further studies. For this reason, a detailed geochemical exploration study for precious and base metals was carried out. Geological and ore mineralogical data and geochemical anomalies have improved the understanding of the mining potential of the area.

The Institute of Investigations in Geosciences, Mining and Chemistry (INGEOMINAS) supplied support for geological, geochemical and topographic informations, at 1:2000 scale. Based on these informations, it was possible to assume a preliminary ore type descriptive model and also to choose a quantitative chemical analysis techniques for elements considered as pathfinders, which were later submitted to statistical treatment.

As a result of the field work, 40 rock samples and 176 soil samples were collected in an area of 5 km², within a 50 m spacing, along the hill ridges. The samples were chemically digested with hot aqua regia and the following elements were determined: Ag, Cu, Mo, Pb and Zn (AAS-Flame), As, Bi and Sb (AAS-Hydride Generator), and Au (AAS-Graphite Furnace).

The statistical data treatment for the 9 above referred variables included univariate and multivariate methods (R-mode Factorial and Q-mode and R-mode Cluster analyses).

As a result, two different geochemical signatures were found: one proper for a gold bearing porphyry copper type occurrence and another corresponding to a gold and basic metals bearing skarn. It is supposed that these rock bodies occur in depth. The factor analysis allows to define two associations of chemical elements related to these mineralizations: Mo-Zn-Au-Sb in rocks and Mo-Sb-Ag-Pb-Zn in soils, which indicate the presence of a porphyry body, and Bi-Cu-Au-Ag in rocks and Bi-Cu-Au-As in soils, which suggest the existence of a base metal mineralized skarn. These associations were also evidenced by R-mode cluster analysis.

The superficial sign of these mineralizations is observed in La Meseta (porphyry) and southern (skarn), both of them confirmed by Q-Mode Cluster Analysis.

Before any exploration drilling in this target site, geophysical studies (Induced Polarization and Magnetometry) should be done to compare results with those of the exploration geochemistry.

1. INTRODUÇÃO

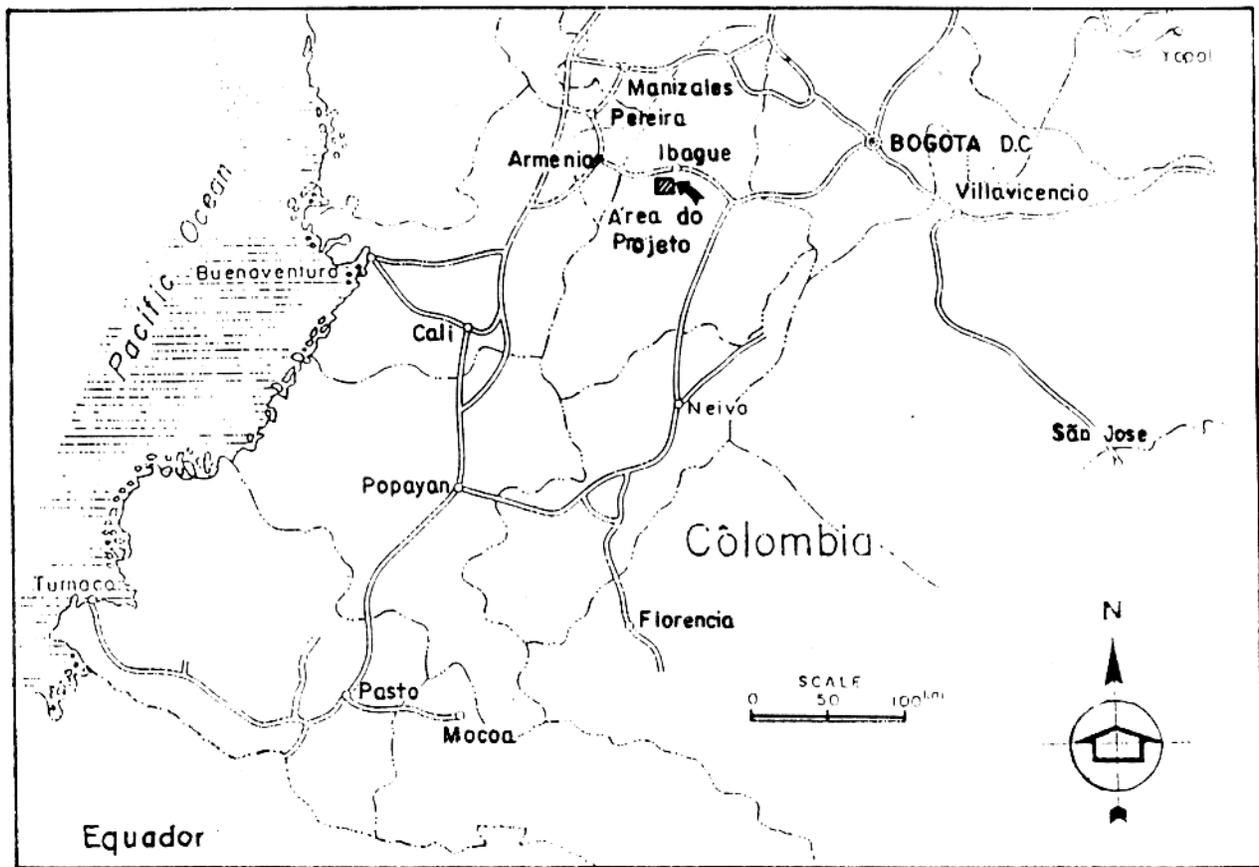
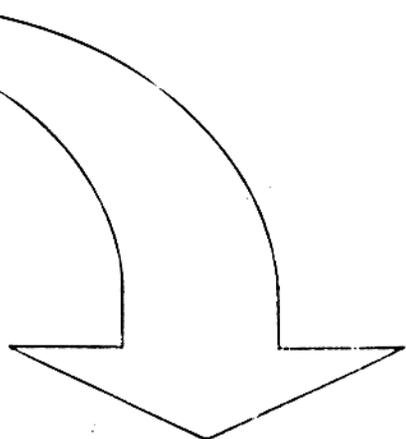
Em reconhecimentos preliminares de campo, quando se verificou a anomalia geoquímica do Salitre, observou-se, com base nas características geológicas, mineralógicas e no tipo de alteração hidrotermal presente na área, a existência de condições favoráveis para a localização de depósitos de tipo *skarn* auríferos e de pórfiros auríferos.

Por esta razão, o "Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química, INGEOMINAS" da Colômbia aprovou a realização de um projeto de exploração detalhada para a referida área.

1.1 LOCALIZAÇÃO E FISIOGRAFIA

A área de estudo, de aproximadamente 5 Km², está localizada nos arredores da inspeção El Salitre, município de San Luis no Departamento do Tolima (Colômbia), a cerca de 40 km a sul de Ibagué (Figura 1).

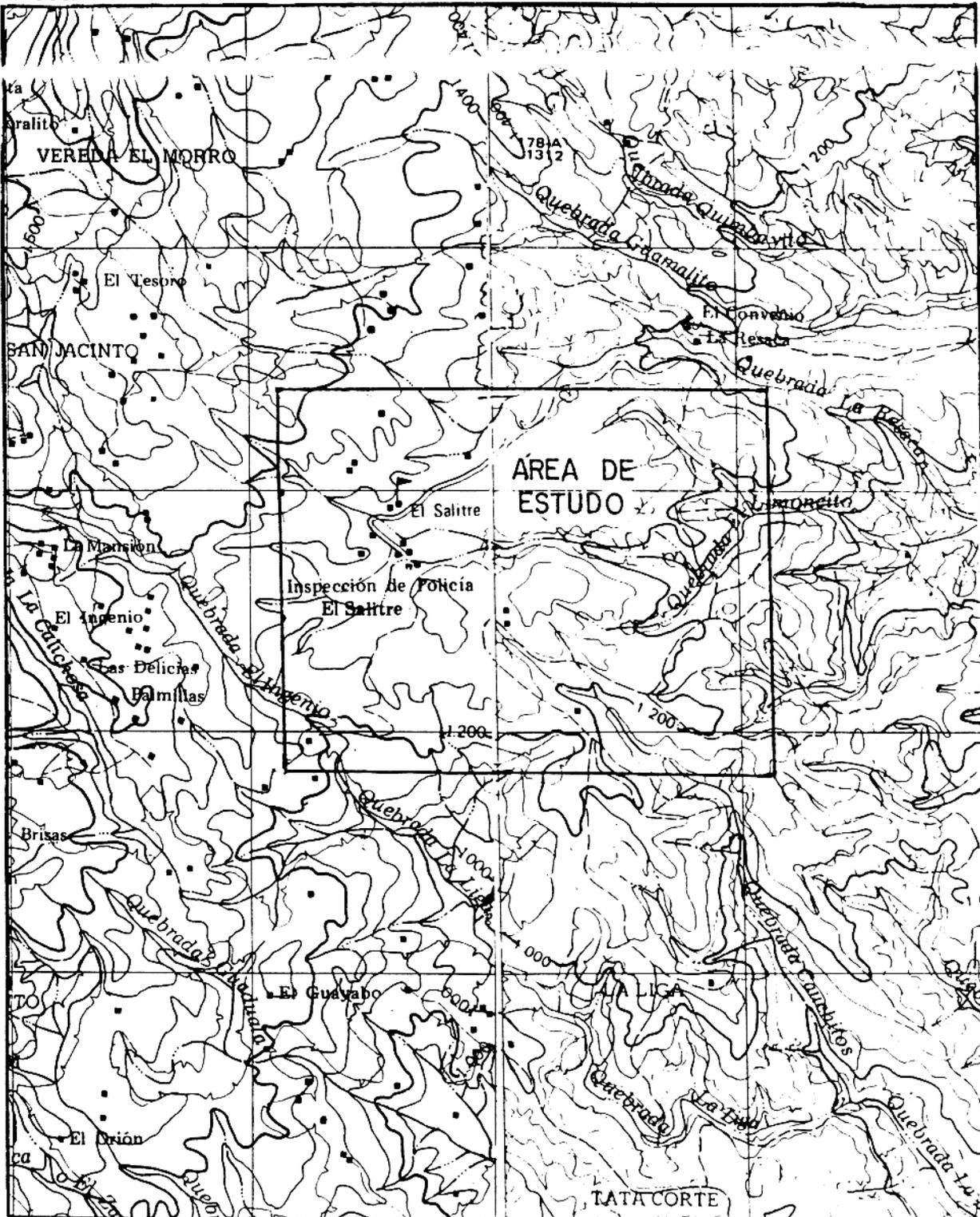
A área de interesse encontra-se na zona de interseção das folhas 244-IV-D e 245-III-C do "Instituto Geográfico Agustín Codazzi" com escala de 1:25.000, praticamente na nascente do igarapé Limoncito, afluente do igarapé El Cobre ou La Mina, o qual finalmente desemboca no rio Luisa (Figura 2).



INGEOMINAS	
LOCALIZAÇÃO REGIONAL DA ÁREA DE ESTUDO " EL SALITRE "	
PROJETO P94 M08	
Autor:	Data:
ÁREA DE MINÉRIO	Setembro de 1994
FIGURA I	

X= 966.000 m.N

Y= 878.000 m.E



Y= 882.000 m.E

X= 961.000 m.N



ÁREA DE ESTUDO

INGEOMINAS

DRENAGEM E TOPOGRAFIA DA ÁREA
DE ESTUDO "EL SALITRE"
PROJETO P94 M08

SUBDIREÇÃO DA
ÁREA DE MINÉRIO
0 250 500m

DATA SETEMBRO DE
1994

FIGURA 2

Tomado de : Planchas 244-IV-B; 245-III- IGAC 1982.

A inspeção El Salitre encontra-se a aproximadamente 10 km do povoado de Payandé, e é ligada a esta última por uma estrada não asfaltada e em mal estado de conservação, utilizada principalmente por empresas privadas que exploram calcário e mármore (Figura 3).

O terreno apresenta uma morfologia ondulada com elevações entre 1.000 e 1.400 m, onde predomina uma vegetação arbustiva mais ou menos abundante, sobretudo ciliar. As principais culturas na região são o café e a banana comprida. Do ponto de vista climático existem dois períodos distintos, um chuvoso que vai de dezembro até maio e outro seco, o verão, de junho a novembro, com temperaturas entre 22 e 30 °C, aproximadamente.

1.2 TRABALHOS ANTERIORES NA ÁREA E RELEVÂNCIA DA PRESENTE PESQUISA

Na década de 70, o "Instituto de Investigaciones en Geociencias Minería y Química, INGEOMINAS", em convênio com as Nações Unidas-PNUD, desenvolveu um programa regional de prospecção geoquímica para metais base no sudoeste colombiano (NACIONES UNIDAS, 1977), sendo assinalado o setor de El Salitre como uma zona anômala. O objetivo principal desse projeto era a exploração de uma área de 90.000 km², com enfoque nas mineralizações do tipo pórfiro cuprífero.



Figura 3. Vista panorâmica da inspeção do Salitre. Observa-se, em primeiro plano, blocos de calcário da Formação Payandé.

Os primeiros trabalhos detectaram na região 92 anomalias geoquímicas para os elementos Cu, Pb, Zn e Mo e avaliaram, preliminarmente, 23 delas durante o convênio INGEOMINAS-Nações Unidas. Na década de 80, o INGEOMINAS em convênio com o Serviço Geológico Britânico (B.G.S) avaliou mais 8 anomalias, perfazendo um total de 31 anomalias.

Visando a análise e a avaliação das 61 anomalias restantes, o INGEOMINAS executou em 1993 o projeto "Evaluación geoquímica e implementación de métodos geoquímicos para la exploración de metales base y preciosos asociados en el suroccidente Colombiano"

(BUENAVENTURA, et al., 1994a). Destas anomalias foram analisadas e avaliadas 42, ficando por serem investigadas ainda 19.

Como resultado desta última avaliação geoquímica feita pelo INGEOMINAS, foi localizada a área do Salitre e, mediante reconhecimentos preliminares de campo, foi confirmado o seu possível potencial econômico.

É também importante mencionar que a zona do Salitre localiza-se dentro do terreno Payandé, que de acordo com o Mapa de Terrenos da Colômbia seria favorável à presença de depósitos do tipo pórfiro cuprífero, molibdênio de pórfiro, skarn mineralizado a Cu, Pb-Zn, Fe e W; de barita hidrotermal, de depósitos epitermais de metais preciosos de Au disseminado em calcários e de depósitos de substituição de Pb-Zn (ETAYO-SERNA et al., 1986).

Efetivamente, tanto a NE como a SE de Salitre, encontram-se depósitos do tipo skarn, tais como o de Mina Vieja (JACQUES & NICHOLLS, 1960), que tem sido classificado como sendo um skarn aurífero semelhante ao da mina El Sapo, rico em chumbo e zinco (THEODORE et al., 1991). Da mesma forma e dentro do mesmo ambiente geológico, nos arredores da Povoação de Rovira, tem sido localizados prospectos de pórfiro cuprífero e a molibdênio tais como El infierno, Chile e Los Andes (PULIDO et al., 1976).

O exposto acima confirma a importância geológica, geoquímica e metalogênica da zona do Salitre, a qual deve ser verificada mediante trabalhos geológicos e geoquímicos detalhados, para que possa ser definido o seu verdadeiro potencial mineral.

A exploração geológica e geoquímica detalhada tem os

seguintes objetivos:

- elaborar o mapa geoquímico para o setor com base nas análises para Ag, Cu, Pb, Zn, Mo, Au, Sb, As e Bi, utilizando-se para isto métodos estatísticos univariantes e multivariantes;
- estabelecer uma relação entre o conteúdo de metais no solo e nas rochas encontradas e as zonas de alteração identificadas (em particular zonas intensamente argilizadas e silicificadas);
- reconhecer uma assinatura geoquímica para as eventuais mineralizações;
- determinar locais a serem pesquisados em detalhe nas fases posteriores de prospecção.

O trabalho foi iniciado com a compilação de todas as informações geológicas e geoquímicas disponíveis sobre a área do Salitre, sendo efetuado a seguir um levantamento topográfico, geológico e geoquímico à escala de 1:2000. Da mesma forma, foram delimitadas as zonas afetadas pela alteração hidrotermal e foram coletadas amostras de solo e de rocha.

Na fase seguinte, foram quantificados os elementos considerados como farejadores (*pathfinders*) úteis para a obtenção de informação geológica e geoquímica.

Com a interpretação dos dados geológicos e geoquímicos, foram assumidos dois tipos de mineralização, e assinalados os melhores sítios onde devem ser feitos estudos geofísicos, que darão subsídios a um programa de perfuração, para delinear a mineralização em profundidade.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo está localizada na região compreendida entre as localidades de Payandé e Rovira, zona que tem sido alvo de numerosos estudos geológicos, a maioria deles com o objetivo de conhecer a seqüência do Triássico-Jurássico, de ampla distribuição no setor.

2.1 GEOLOGIA REGIONAL

A área do projeto encontra-se no domínio da Formação Payandé caracterizada por sedimentos calcários epicontinentais de idade triássica-jurássica, com intercalação de rochas intrusivas e vulcânicas comagmáticas e de produtos de natureza vulcanoclástica (Formação Saldaña) durante o Triássico-Jurássico (ETAYO-SERNA *et al.*, 1986).

A zona em apreço está localizada no contato entre a margem oriental da Cordillera Central e o vale superior do rio Magdalena. As rochas mais antigas da região são os gnaisses e anfibolitos pré-cambrianos aflorantes no Cerro del Gobernador e no leito do rio Coello. Vêm depois as rochas do Triássico e do Jurássico, representadas pelas Formações Luisa (Formação Pré-Payandé), Payandé e Saldaña (Formação post-Payandé). Vem em seguida corpos ígneos intrusivos dentre os quais se encontram o Batólito de Ibaqué e *stocks* de menor porte, entre eles o *stock* de Payandé. Estes corpos geraram um metamorfismo de contato nas rochas encaixantes.

Finalmente, recobrando de forma discordante as formações anteriores, afloram rochas cretáceas, terciárias e quaternárias. Todas estas rochas encontram-se afetadas por falhas de diferentes direções, causadas por diversos eventos tectônicos.

2.2 GEOLOGIA DA ÁREA EM ESTUDO

O setor em apreço abrange a zona da inspeção El Salitre localizada a SW do povoado de Payandé, na nascente do riacho La Hondura, na qual afloram três unidades litológicas bem definidas: as Formações Payandé e Saldaña e corpos intrusivos do tipo *stocks* (BUENAVENTURA et al., 1994b).

2.2.1 Formação Payandé

É constituída por calcários micríticos de cor cinza a violeta, com freqüentes nódulos e intercalações de chert preto a marrom, cortados por veios de calcita e quartzo (Figura 4). Apresentam-se em bancos de espessura variável, com intercalações locais de siltitos e arenitos calcários fossilíferos.

Na área em estudo não foi observado o contato inferior da Formação Payandé, enquanto que o limite superior com a Formação Saldaña parece ser gradacional.

Microscopicamente os calcários apresentam textura microcristalina a granular. A calcita acha-se disseminada em quanto que o quartzo encontra-se em grãos arredondados a

subarredondados, de tamanho variável.

Localmente, os calcários foram transformados em mármore devido ao metamorfismo de contato gerado pelos corpos intrusivos, nos quais pode aparecer pirita finamente disseminada.



Figura 4. Afloramento dos calcários da Formação Payandé cortados por veios e vênulas de quartzo e calcita (pontos topográficos 30-31 a norte da Meseta)

2.2.2 Formação Saldaña

Na zona do Salitre a Formação Saldaña está formada por tufos, de composição riolítica e dacítica, intercalados com lavas de composição ácida a intermediária, arenitos líticos e quartzosos escuros, siltitos, argilitos avermelhados e amarelos. Próximo ao contato com a Formação Payandé são comuns os níveis de chert e calcedônia, assim como pequenas drusas com cristais anedrais de quartzo.

As rochas vulcânicas da Formação Saldaña encontram-se na sua maior parte intemperizadas. Os produtos de alteração são argilas avermelhadas, amarelo-avermelhado, creme e violeta (Figura 5).



Figura 5. Vista panorâmica do domínio da Formação Saldaña, com as suas características geomorfológicas típicas e solos avermelhados. Em primeiro plano observam-se calcários da Formação Payandé.

Na área em estudo, as rochas da Formação Saldaña foram as mais afetadas pelo metamorfismo de contato e pela alteração hidrotermal gerada pelos *stocks*. As zonas de alteração argílica e de intensa silicificação, bem como as concentrações de pirita disseminada, encontram-se dentro da Formação Saldaña. As rochas mais silicificadas são as que mastram maior resistência ao intemperismo, e ocorrem em blocos isolados, ao longo das cristas principais (Figura 6), sobressaindo-se morfológicamente.



Figura 6. Vista panorâmica da área sul da Formação Saldaña. Observa-se os solos avermelhados e as rochas silicificadas, poupadas pela meteorização

2.2.3 Stocks

Na área em apreço, os *stocks* são intrusivos nas rochas das Formações Payandé e Saldaña. Nas primeiras desenvolveram-se, localmente, por metamorfismo de contato, mármore com possibilidades de zonas de *skarn*; nas segundas, houve silicificação e geração de sulfetos.

No setor têm sido observados basicamente dois tipos de pórfiros: um de composição andesítica, composto de feldspato, plagioclasio, hornblenda e magnetita, aparentemente estéril, que aflora na parte norte da área e é intrusivo, principalmente, nos calcários da Formação Payandé; o segundo tipo, intrusivo principalmente nas rochas da Formação Saldaña, é intensamente silicificado e contém abundantes sulfetos disseminados (Figura 7).

2.3 MODELOS DESCRITIVOS PARA MINERALIZAÇÃO

Levando em conta as características geológicas, geoquímicas, mineralógicas e de alteração hidrotermal ressaltadas em trabalhos anteriores, foi elaborado um modelo das mineralizações esperada no Salitre.

De acordo com THEODORE et al.(1991) e HOLLISTER (1992), o modelo de um depósito mineral deve considerar dois aspectos: o ambiente geológico e as características intrínsecas da jazida.

A mineralização reconhecida na área do Salitre é epigenética

e está relacionada a um processo hidrotermal de origem magmática (BUENAVENTURA *et al.*, 1994b).



Figura 7. Blocos de calcário silicificado na zona da Meseta mostrando intenso fraturamento e abundante vênulação de quartzo e sulfetos disseminados (pontos topográficos 71 e 34).

Considerando o ambiente geológico definido pelo terreno Payandé (ETAYO-SERNA *et al.*, 1986) e pelo Batólito de Ibagué, favoráveis para certos depósitos minerais, além da presença nos arredores da área de estudo de mineralizações conhecidas do tipo *skarn* e pórfiro cuprífero, tais como Mina Vieja, El Sapo, Los Guayabos, El Infierno, Chili e Los Andes, pode-se concluir, que os potenciais depósitos minerais no setor de El Salitre devem ser dos mesmos tipos que aqueles conhecidos nas redondezas. Entretanto, as

características geológicas observadas no Salitre sugerem mineralizações mais específicas do tipo *skarn* aurífero e pórfiro aurífero, que estariam situadas na interface da zona de contato dos corpos intrusivos com a cobertura vulcano-sedimentar do Grupo Payandé, onde observa-se um amplo halo de metamorfismo de contato.

O primeiro modelo proposto para a provável mineralização do Salitre é do tipo *skarn* cálcico, com teores de ouro acima de 1 g/ton, e representado por duas variedades: a) *skarn* aurífero, rico em ouro e prata, com teores médios de 8,6 g/ton de Au e 5,0 g/ton de Ag. A reserva nesses depósitos de *skarn*, com base em 40 ocorrências conhecidas, é de aproximadamente 213.000 ton; b) *skarn* onde os metais preciosos são obtidos como subprodutos, sendo os teores de ouro e prata da ordem de 3,7 g/ton e 37 g/ton respectivamente. A reserva média nesses depósitos, com base em 50 ocorrências conhecidas, é de aproximadamente 330.000 toneladas (THEODORE et al., 1991).

Estes tipos de *skarn* podem apresentar concentrações econômicas de Cu, Pb, Zn, As, Bi, W, Sb, Co e Cd (THEODORE et al., 1991). Entre os minerais de minério principais encontram-se ouro nativo, electrum, pirita, pirrotita, calcopirita, arsenopirita, esfalerita, galena, minerais de bismuto e magnetita ou hematita. Os minerais de ganga incluem granada, diopsido-hedenbergita, wollastonita, clorita, epidoto, quartzo, actinolita, tremolita e calcita (THEODORE et al., 1991).

A relação Au/Ag em alguns *skarn* auríferos usualmente aumenta de dentro para fora. Em outros depósitos, a maior parte do minério

encontra-se perto da zona de contato da rocha intrusiva com a rocha encaixante. Além disso, concentrações muito anômalas de ouro, em alguns *skarns*, se encontram em rochas calcárias de granulação fina, cor cinza a cinza clara, altamente silicificadas, situadas além dos limites do próprio *skarn* (THEODORE et al., 1991)

O segundo tipo de mineralização aurífera, que pode ser encontrado na área do Salitre é do tipo pórfiro aurífero proposto por HOLLISTER (1992), que, em essência, é muito similar aos pórfiros cupríferos. A diferença principal entre eles é a deficiência em cobre e um conteúdo inferior a 1% de sulfetos no primeiro tipo. Nos pórfiros auríferos o ouro geralmente está acompanhado por sheelita, molibdenita, pirita, arsenopirita e uma série de minerais de bismuto e teluretos. A rocha encaixante varia de granito a granodiorito, sendo a maior parte do minério localizada dentro do corpo intrusivo.

Os depósitos deste tipo conhecidos no mundo apresentam zonas de alteração hidrotermal potássica e fílica associadas aos minerais de minério que apresentam-se disseminados em veios e vênulas de quartzo, formando *stockworks*. As reservas são da ordem de centenas de milhões de toneladas e o teor de ouro varia entre 0,2 e 2 ppm (HOLLISTER, 1992).

Este tipo de depósito pode estar presente na área do Salitre, mas, neste caso, a mineralização ainda não foi alcançada pelo nível de erosão, que está apenas cortando a zona fílica. Assim, nem a zona potássica nem a rocha intrusiva não alterada responsável pela mineralização afloram na área.

É importante ressaltar que no Salitre existe um amplo halo de metamorfismo de contato que afeta a cobertura vulcano-sedimentar do Jurássico-Triássico (rochas vulcânicas e calcários). Consequentemente, a provável existência de um pórfiro aurífero na área implica também a possível presença de skarns auríferos nos arredores, da mesma forma que os pórfiros cupríferos estão estreitamente ligados a skarns ricos em cobre.

2.4 DESCRIÇÃO DOS SOLOS

Os solos são residuais, e devido aos fortes declives é observado um certo deslocamento lateral. A atividade agropecuária na área e o desmatamento favorecem o intemperismo físico, impedindo o desenvolvimento do perfil do solo.

Nos locais onde foi observado o horizonte A, de cor cinza, ele tem espessura média de 10 cm, enquanto que o horizonte B, presente em todos os locais de amostragem, possuem uma espessura média de 70 cm.

A maioria das amostras da zona da Meseta apresenta uma granulometria areno-siltico-argilosa. Já no setor norte da área, predomina fortemente o solo exclusivamente argiloso.

As amostras de solo apresentam coloração ocre a amarelo-marrom, dependendo da quantidade de óxidos e hidróxidos de ferro contida. Em alguns setores observa-se uma relação direta entre os tons avermelhados do solo e o conteúdo de sulfeto nas rochas subjacentes.

3. METODOLOGIA

3.1 METODOLOGIA DE CAMPO E AMOSTRAGEM

Para o levantamento topográfico escolheu-se inicialmente um ponto de referência com coordenadas e altitude definidas na folha 244-IV-D, na escala 1:25000, do "Instituto Geográfico Agustin Codazzi".

O trabalho realizado no campo consistiu, principalmente, em levantamento planimétrico, como localização das drenagens principais, das estradas, das casas e dos cêrros principais.

Foram levantados 251 pontos correspondendo a locais de amostragem de solos e fragmentos de rochas, bem como a pontos de referência como vias de acessos e construções para uma melhor localização. Assim obteve-se um mapa da zona de maior interesse na escala 1:2000 e uma lista de todos os pontos com as coordenadas X e Y, referenciadas na cartografia obtida do "Instituto Geográfico Agustin Codazzi".

O trabalho de campo foi realizado em duas etapas, na segunda das quais foi otimizada a amostragem para análises químicas.

A amostragem de solos se deu ao longo das cristas dos cêrros, num espaçamento de 50 m, sendo cada amostra coletada no horizonte B a uma profundidade media de 50 cm.

As amostras de rochas foram obtidas em *chips*, numa área de aproximadamente 10 m, em afloramentos nos locais de interesse.

As amostras de solos e rochas foram embaladas em sacos de polietileno, devidamente rotuladas e transportadas para o laboratório.

3.2 MÉTODOS DE ANÁLISES QUÍMICAS.

3.2.1 Preparação das Amostras

Os resultados analíticos dependem da preparação das amostras e dos procedimentos utilizados para sua digestão. As amostras foram tratadas como descrito no Anexo A. Duplicatas representativas foram guardadas.

3.2.2 Determinação de Ag, Cu, Zn, Mo, Pb, As, Sb e Bi

A abertura das amostras com água régia a quente é a técnica recomendada para a dissolução dos elementos Ag, Cu, Zn, Mo, Pb, As, Sb e Bi, e sua posterior determinação analítica por espectrofotometria de absorção atômica, com fins de prospecção geoquímica (VIETS & O'LEARY, 1992).

Segundo o diagrama do Anexo A, as amostras são submetidas a abertura com HCl-HNO₃ 3:1 a 90 °C e após a diluição foram determinados o teores de cobre, zinco, chumbo, prata e molibdênio (Anexo B) por absorção atômica. Cu, Zn, Pb e Ag foram dosados com chama de acetileno-ar, enquanto que para Mo utilizou-se a chama de

óxido nitroso-ar. Para este elemento, possíveis interferências foram eliminadas pela adição de uma solução de 11.000 ppm de cloreto de alumínio em HCl 25% (CEDEÑO et al. 1991).

Levando em conta a complexa natureza das amostras usadas e a utilidade do antimônio, arsênio e bismuto como elementos indicadores de depósitos minerais além de suas baixas concentrações em materiais geológicos, foi necessária a aplicação da técnica da espectrofotometria de absorção atômica com geração de hidretos (Anexo C), para o que foram utilizadas as soluções resultantes da abertura ácida.

As condições ótimas para a geração de hidretos voláteis para As e Sb incluem a prévia adição de solução de KI 10%, que assegura a pré-redução do cátion. Segundo foi demonstrado por SINEMUS et al. (1981), o estado de oxidação tem influência sobre a sensibilidade da técnica de absorção atômica com geração de hidretos. Cátions com baixo estado de oxidação favorecem a sensibilidade do método analítico.

Bi, por sua vez, só precisa de fortes condições ácidas para sua determinação. No Anexo C apresenta-se um diagrama da técnica implementada.

3.2.3 Determinação de Ouro

Sem a separação e concentração prévia, Au não pode ser determinado, a níveis suficientemente baixos para ser usado como elemento indicador em exploração geoquímica. Neste trabalho,

utilizou-se o método proposto por THOMPSON *et al.* (1968), com algumas modificações feitas por MEIER (1988) e GONZALEZ & PRIETO (1993).

Como é mostrado no diagrama do Anexo D, o ouro foi dissolvido em amostras previamente calcinadas mediante abertura ácida, e posteriormente extraído na forma de bromoaurato com o solvente orgânico metil-isobutil-cetona (MIBK). A determinação analítica foi feita na fase orgânica por espectrofotometria de absorção atômica com forno de grafite.

3.2.4 Precisão e Exatidão

3.2.4.1 Precisão

A precisão dos métodos analíticos utilizados foi controlada mediante a dosagem de uma duplicata para cada dez amostras. Na tabela 1 são apresentados os resultados obtidos para duas das amostras analisadas. Não foram observadas diferenças significativas entre os resultados analíticos das amostras e suas duplicatas. Considera-se, conseqüentemente, que os métodos aplicados têm a precisão exigida em prospecção geoquímica.

3.2.4.2 Exatidão

Na determinação da exatidão, foram utilizados os seguintes padrões internacionais: AGV-1, DR-N, GXR-2 e GXR-6. Os resultados obtidos com AGV-1 são apresentados na Tabela 2, e comparados com os teores recomendados (GOVINDARAJU, 1994).

Tabela 1. Resultados das análises químicas obtidas em duas amostras e suas duplicatas

Variável	Amostra 251-S (Solo)			Amostra 241-R (Rocha)		
	1ª	2ª	% Variação	1ª	2ª	% Variação
Ag (ppm)	1	1	0	2	2	0
Cu (ppm)	148	158	+ 6.3	30	26	- 13.3
Pb (ppm)	173	168	- 2.8	137	146	+ 7.5
Zn (ppm)	53	54	+ 1.8	50	48	- 4
Mo (ppm)	1	1	0	1	1	0
Au (ppb)	45	53	+ 15	31	35	+ 11.4
Sb (ppm)	1.97	1.87	- 5	0.23	0.27	+ 14.8
As (ppm)	11.3	12.1	+ 6.6	19.6	22.3	+ 12.1
Bi (ppm)	12.0	10.3	- 14.4	0.41	0.5	+ 18

Após avaliação dos resultados, considerou-se apropriada a metodologia empregada, com visto em prospecção. Resultados semelhantes, foram obtidos com a utilização de outros padrões internacionais.

Tabela 2. Controle de exatidão. Padrão AGV-1.
*: Concentrações recomendadas.

	Concentração	Conc. média	%
	publicada	obtida	Varição
Ag (ppm)	0.078	< L.D.	-
As (ppm)	0.88	0.72	- 18
Au (ppb)	0.62 ppb	< L.D.	-
Bi (ppm)	0.057	0.13	+128
Cu (ppm)	*60	58	- 3,3
Mo (ppm)	*2.7	2.2	- 18,5
Pb (ppm)	*36	35	+ 2,8
Sb (ppm)	*4.3	4.42	+ 2,7
Zn (ppm)	*88	84	- 4,5

4. GEOQUÍMICA

4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Com a finalidade de caracterizar os processos mineralizantes que tem afetado a zona do Salitre, foi planejada uma amostragem geoquímica sistemática, baseada nas características geológicas, geoquímicas, mineralógicas e de alteração hidrotermal da zona em estudo.

A amostragem de solos foi realizada ao longo das cristas principais, levando em conta a morfologia do terreno, a extensão da alteração hidrotermal e a natureza das rochas aflorando ocasionalmente nos interflúvios e nos leitos dos riachos.

Cada ocorrência mineral existente na área do Salitre caracteriza-se pela presença de elementos farejadores (*pathfinders*), cuja dispersão pode formar anomalias geoquímicas. A interpretação das mesmas é feita levando em consideração os tipos de depósitos possíveis na área.

O processamento da informação geoquímica pelos métodos univariado e multivariado foi realizado utilizando o pacote estatístico GEOQUANT versão 3.0 da CPRM.

Com base na informação geológica disponível e nos tipos de depósitos ou mineralizações compatíveis com as características geológicas da área de estudo, foram selecionados os elementos *pathfinders* Cu, Pb, Zn, Mo, Sb, As e Bi, os mesmos que permitem localizar mineralizações auríferas (HOFFMAN, 1986)

A análise estatística iniciou-se com o estudo da distribuição de cada um dos elementos selecionados. Posteriormente aplicou-se o método de análise fatorial Modo-R. Foram caracterizados diferentes fatores dos quais foram estudados aqueles que pareciam mais relacionados à distribuição dos metais preciosos. O estudo inclui também a interpretação dos dados à luz da informação geológica e a identificação dos locais com maior probabilidade de concentração metalífera.

O agrupamento de elementos resultante da aplicação da análise fatorial Modo-R foi comparado com os resultados obtidos através da análise de cluster.

4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA UNIVARIADA.

A análise estatística descritiva permitiu evidenciar alguns aspectos do comportamento dos elementos metálicos, tais como a sua distribuição areal, os valores extremos e limiares (*threshold*), bem como escolher os tipos de tratamento de dados adequados, conforme sugerem TUKEY (1977) e DAVIS (1986).

O cálculo dos valores de limiar (*threshold*) (concentração de um elemento acima da qual a amostra é considerada anômala) foi realizado usando gráficos de probabilidade, segundo a metodologia proposta por SINCLAIR (1974).

Os cálculos foram realizados com exclusão dos *outliers* (valores extremos). Assim a distribuição ficou mais clara, o que

se observa nos histogramas. O histograma da Figura 8, por exemplo, se refere aos teores de cobre em amostras de rochas. O gráfico de probabilidade correspondente (Figura 9) apresenta uma forma sigmoidal, o que indica a presença de duas populações, com ponto de inflexão em 72,8 %. Estabeleceu-se como valor do *threshold* o valor da média da população superior (71,8) mais duas vezes o desvio padrão de 12,03 para essa população. Em consequência, foi obtido um valor de *threshold* de 95,86 ppm de cobre para esse conjunto de rochas.

Os outros elementos dosados foram tratados de mesmo modo, tanto em amostras de rocha como em amostras de solos, sendo considerados como valores anômalos de 1° ordem aqueles superiores ao *threshold*, e valores anômalos de 2° ordem, as concentrações situadas entre o valor da média mais uma vez o desvio padrão e o valor de *threshold*.

4.3 ANÁLISES FATORIAL MODO-R

A análise Fatorial Modo-R permite agrupar variáveis, com comportamento geoquímico semelhante em um número determinado de fatores. Este comportamento pode estar relacionado a um processo geoquímico mineralizante ou a outro fator geoquímico qualquer (DAVIS, 1986).

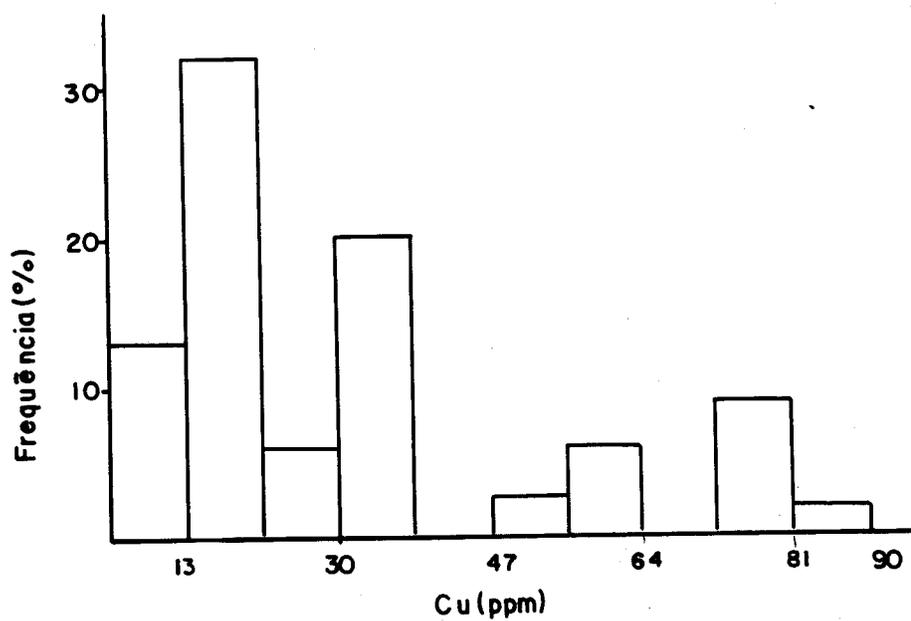


FIGURA 8. Histograma de Cobre em rochas da área de "Salitre".

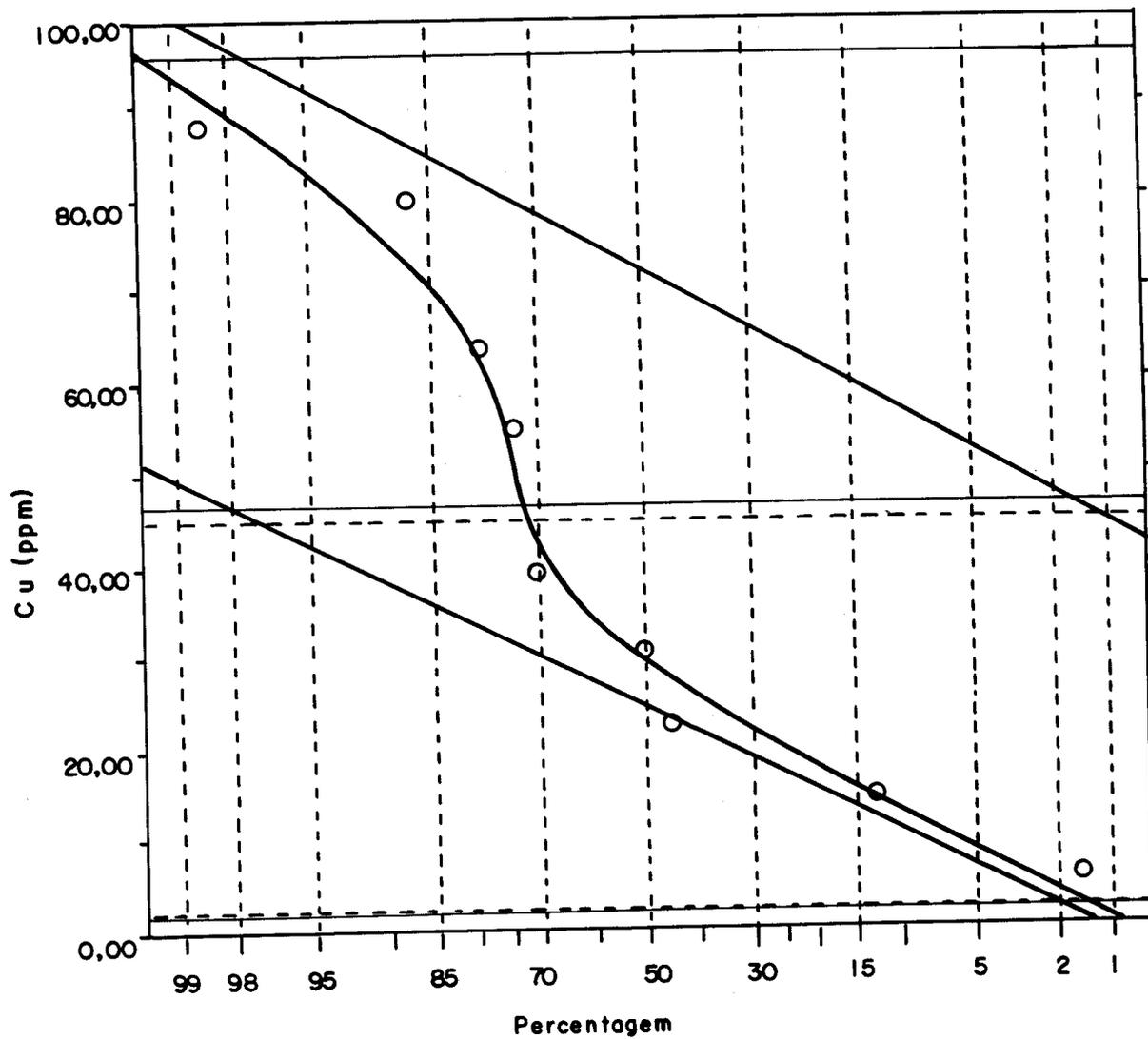


FIGURA 9. Gráfico de probabilidade para Cu em rochas. Cálculo de Threshold.

A análise de fatores é um modelo matemático que objetiva pôr em evidência a correlação que existe entre um conjunto de variáveis, utilizando-se um número de fatores subjacentes menor do que o inicial de variáveis. Embora as variáveis dependam dos fatores, elas estão também sujeitas a erros aleatórios, o que aumenta a incerteza dos resultados analíticos.

As análises de fatores são, deste modo, técnicas estatísticas cujo objetivo é representar um conjunto de variáveis por um número pequeno de variáveis hipotéticas. Cada variável resposta pode ser representada por uma função linear de um número pequeno de variáveis não observáveis (fatores comuns) e só uma variável específica (DAVIS, 1986).

Na utilização desta técnica podem ser obtidos diversos modelos, dos quais deve-se escolher um, cujos fatores sejam realmente representativos dos processos geoquímicos que ocorreram na área. Estes fatores podem ser representados finalmente num mapa, para efeitos de interpretação.

4.4 TRATAMENTO UNIVARIADO DOS DADOS

A prospecção geoquímica de rochas e solos realizou-se após um mapeamento geológico detalhado e a elaboração de um mapa de alteração hidrotermal (Anexos E e F), ambos na escala de 1:2000.

A distribuição areal de cada uma das variáveis consideradas, a sua relação com os processos mineralizantes e a existência de associações de elementos foram determinadas mediante mapas

individuais para os elementos Ag, Cu, Pb, Zn, Mo, Au, Sb, As e Bi.

Observa-se nos histogramas apresentados na Figura 10 uma marcada assimetria positiva (com exceção de um caso), o que permite inferir uma distribuição log-normal para a maioria dos elementos. Para a interpretação dos mapas geoquímicos de cada um dos 9 elementos, foi considerado o ambiente geológico da área com base nas zonas de alteração hidrotermal, procurando-se, em seguida, comparar os resultados com modelos referentes aos dois tipos de mineralização esperados na área.

4.4.1 Rochas

Quarenta amostras de rochas foram analisadas segundo a metodologia descrita em anexos (Anexos A, B, C e D) para os 9 elementos, sendo os resultados expressos em ppm para os elementos Ag, Cu, Pb, Zn, Mo, Sb, As e Bi, e em ppb para Au. Os parâmetros estatísticos básicos para os 9 elementos considerados, após eliminação dos outliers, são apresentados na Tabela 3.

4.4.1.1 Prata

A concentração de prata nas rochas, está na faixa de 1 a 29 ppm. O *threshold* é de 10 ppm. Na Figura 11 apresenta-se a localização dos 2 valores anômalos encontrados na área: um situa-se a sul da Meseta e está associado a mármore, o outro em apófises graníticas mineralizadas e alteradas hidrotermalmente, intrusivas na Formação Saldaña, aflorando no igarapé Limoncito.

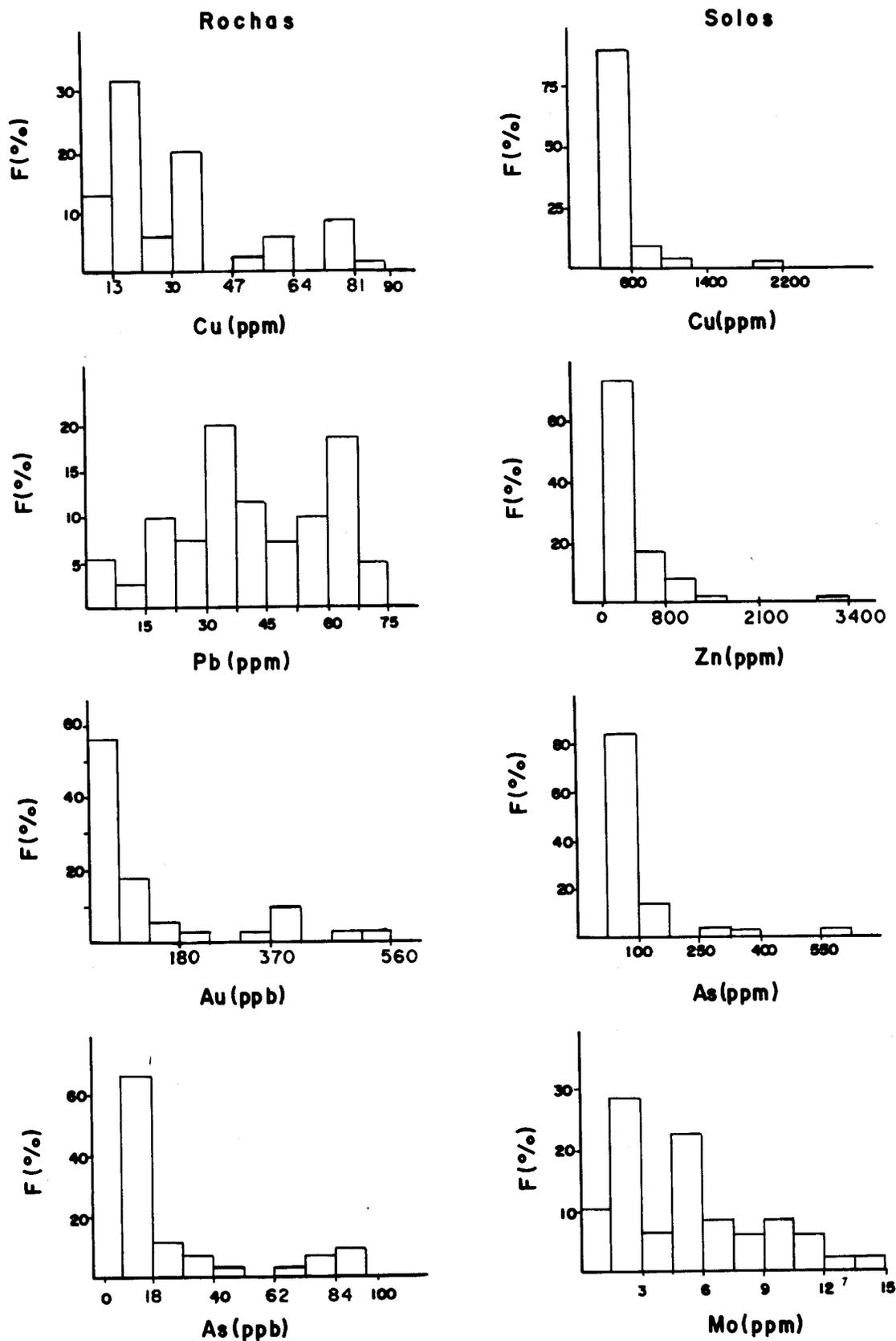


FIGURA 10. Histogramas de alguns elementos químicos em rochas e solos da área de "Salitre".

Tabela 3. Descrição estatística das variáveis consideradas em análises de rochas.

Variável	n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Threshold
Ag (ppm)	38	1	10	8	1.41	10
Cu (ppm)	34	10	84	71.8	12.0	96
Pb (ppm)	39	4	70	63.6	3.98	71
Zn (ppm)	32	10	1000	724	194	1100
Mo (ppm)	38	1	60	39.5	11.3	62
Au (ppb)	38	5	600	390	122	640
Sb (ppm)	36	0.4	1.95	1.22	0.12	1.48
As (ppm)	39	0.1	91.9	80.6	10.3	100
Bi (ppm)	37	0.12	0.9	0.617	0.194	1.0

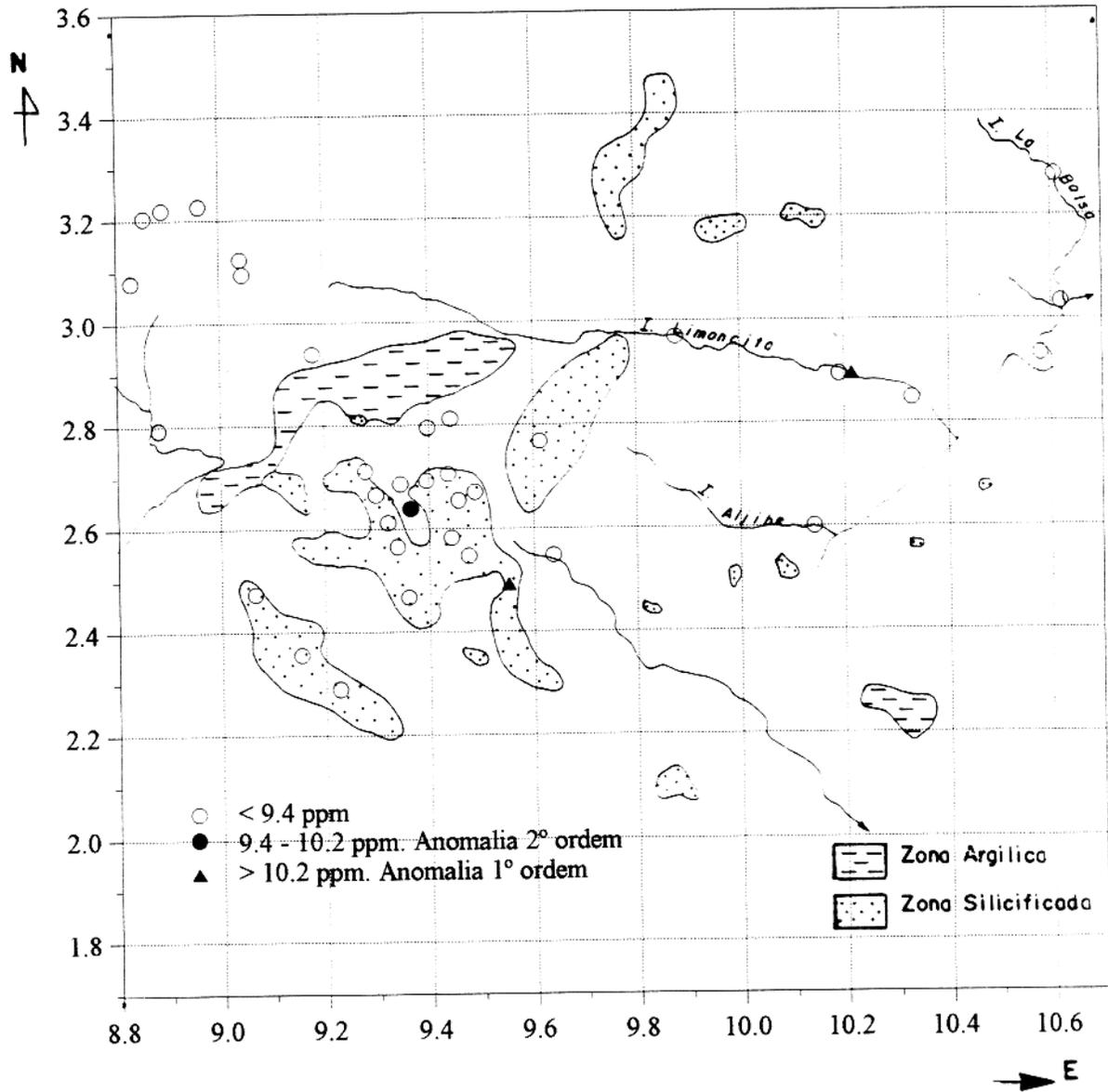


Figura 11. Mapa Geoquímico de Ag em rochas. Area de "Salitre" em coordenadas cartesianas

4.4.1.2 Cobre

Os teores de cobre situam-se entre 10 e 10.000 ppm, o *threshold* sendo de 96 ppm. Foram encontrados 6 valores anômalos (Figura 12). Observa-se a presença de 3 deles na zona silicificada da Meseta, sendo que o valor mais alto se localiza a 200 m a sul da mesma, e os outros dois valores em sitios relacionados a apófises mineralizados e alterados hidrotermalmente intrusivas na Formação Saldaña, que afloram no leito do riacho Limoncito. Neste caso é evidente a relação do cobre com os corpos intrusivos mineralizados (BUENAVENTURA et al, 1994b).

4.4.1.3 Chumbo

O chumbo apresenta concentrações de 4 a 116 ppm. O *threshold* é de 71 ppm, havendo uma amostra anômala. Ela se encontra na Formação Saldaña, no leito do riacho Limoncito, numa apófise granítica mineralizada e alterada hidrotermalmente. Outros valores altos são observados na parte NW da área, em calcários da Formação Payandé (Figura 13).

4.4.1.4 Zinco

As concentrações de zinco situam-se no intervalo de 12 a 4.000 ppm. O *threshold* é de 1100 ppm, tendo sido encontradas 9 amostras anômalas. Destas, 8 localizam-se na Meseta e estão associadas a uma intensa silicificação e à presença de pirita disseminada (Figura 14). A outra se localiza na zona silicificada dos cêrros próximo à Meseta, sugerindo, segundo BUENAVENTURA et al. (1994b), a presença de mineralização em profundidade.

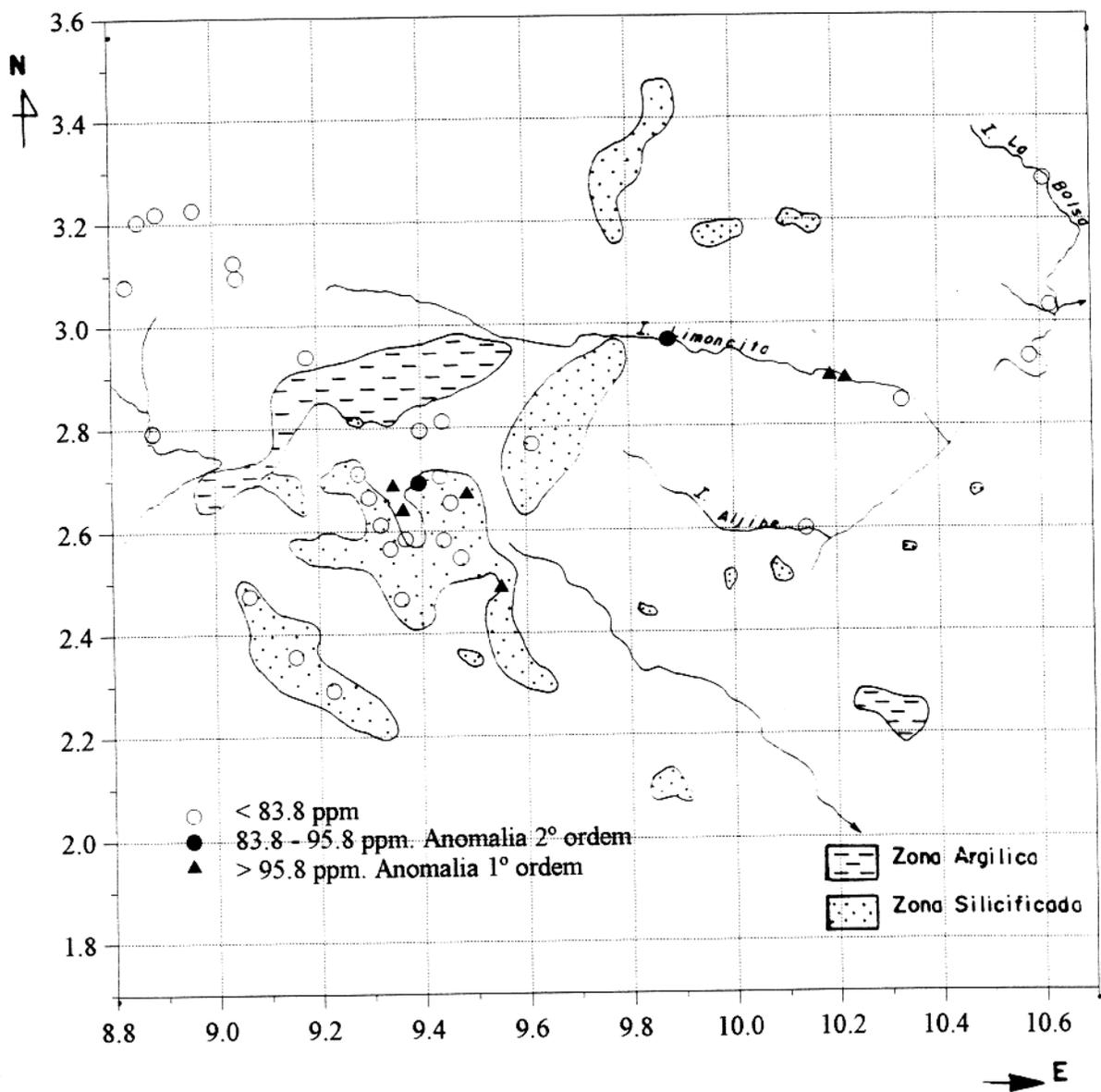


Figura 12. Mapa Geoquímico de Cu em rochas. Área de "Salitre" em coordenadas cartesianas

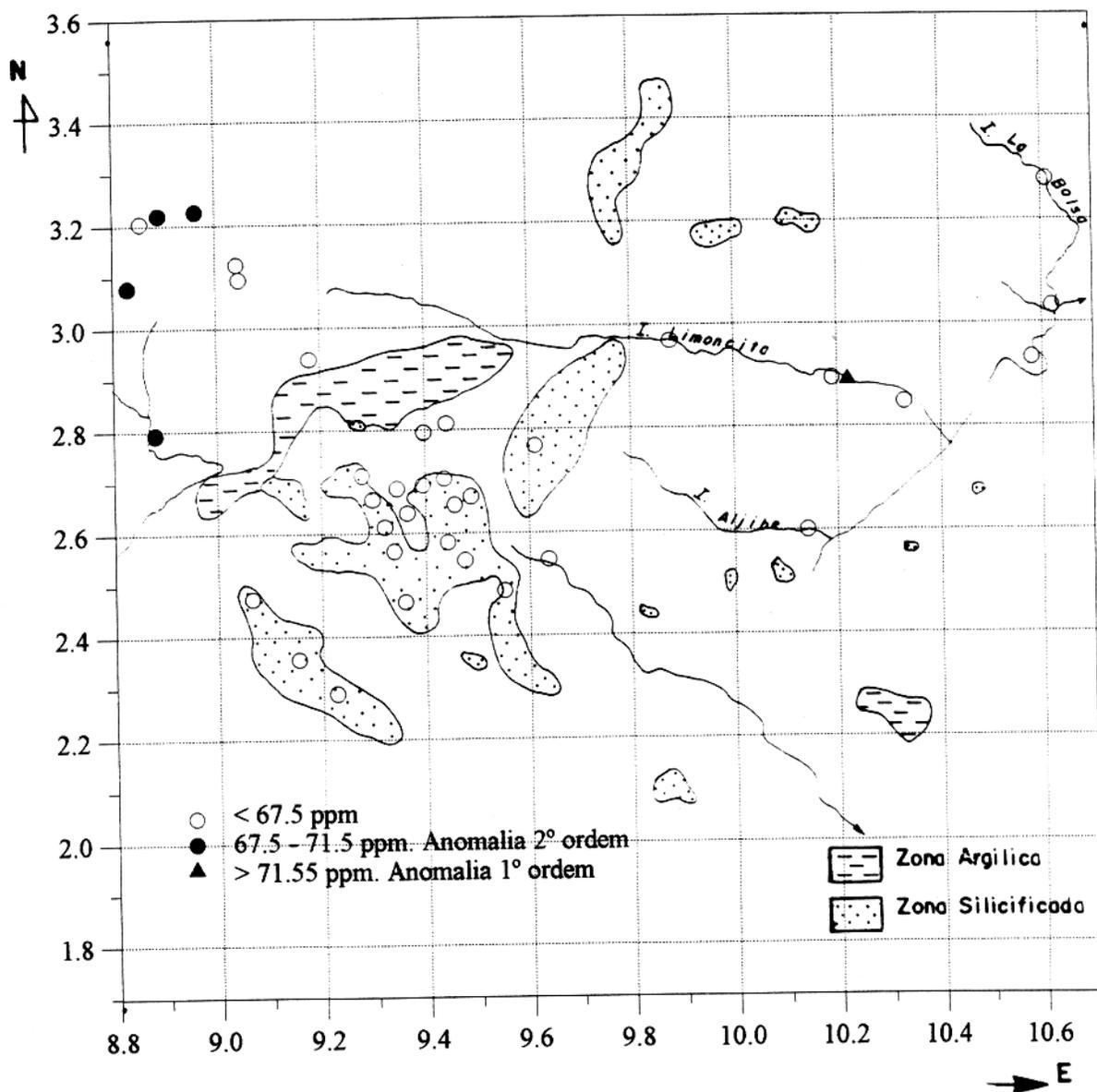


Figura 13. Mapa Geoquímico de Pb em rochas. Área de "Salitre" em coordenadas cartesianas

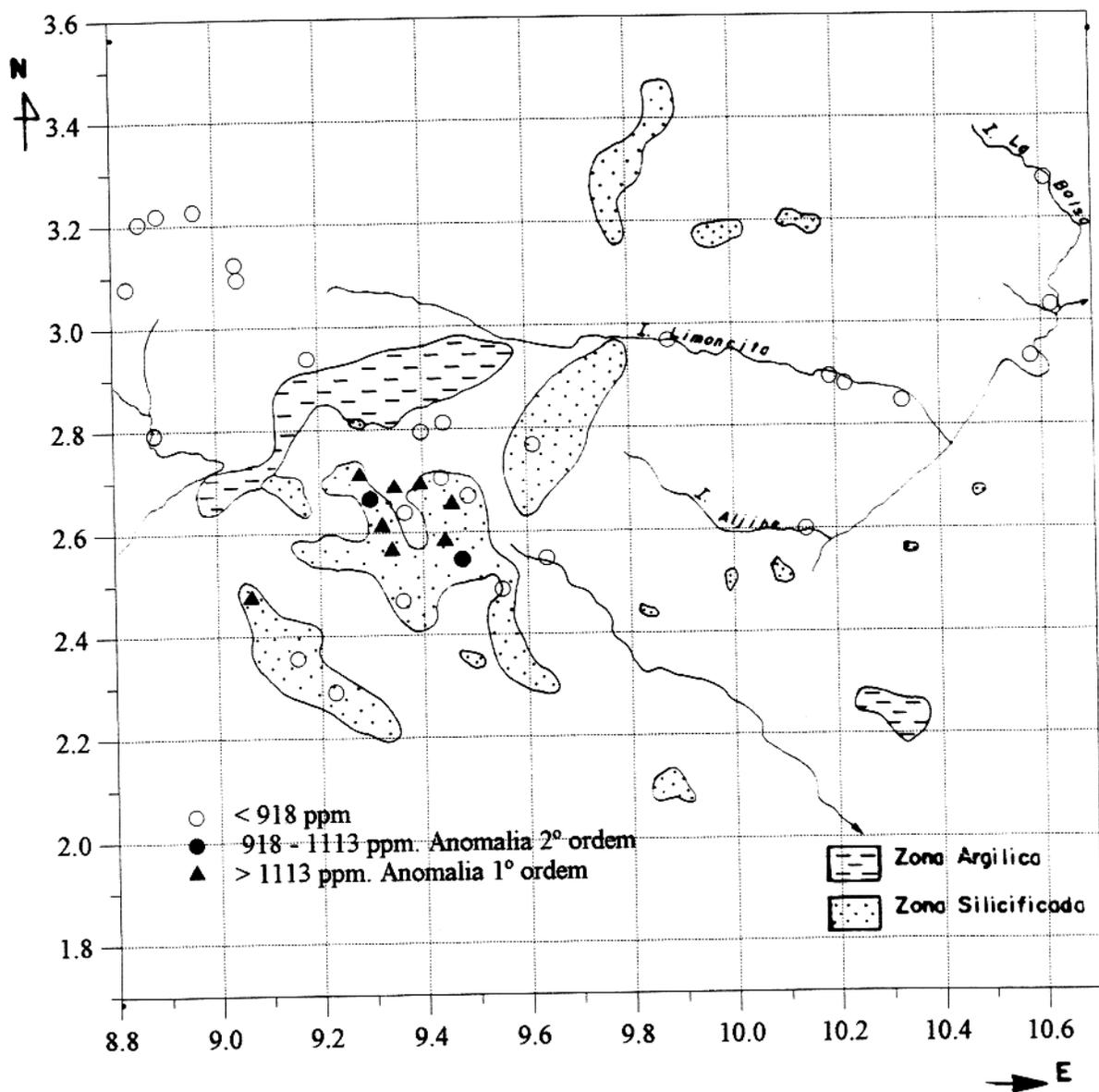


Figura 14. Mapa Geoquímico de Zn em rochas. Área de "Salitre" em coordenadas cartesianas

4.4.1.5 Molibdênio

As concentrações estão entre 1 e 78 ppm. O *threshold* é de 62 ppm. Foram encontradas 2 valores anômalos na zona silicificada da Meseta (Figura 15), sugerindo a existência de uma mineralização do tipo porfirítico em profundidade (MORÁVEK, et al., 1989). Outros valores altos também foram observados na área da Meseta.

4.4.1.6 Ouro

Os teores se distribuem no intervalo de 5 a 2.200 ppb, sendo o *threshold* de 640 ppb. Duas amostras revelaram valores acima deste último. Pode-se observar que uma das anomalias localiza-se na área da Meseta e a outra, a sul da mesma (Figura 16). Estas, junto com outras amostras apresentando concentrações elevadas, apontam uma mineralização em profundidade. Estes valores estão associados a zonas silicificadas e à presença de abundante pirita disseminada. A amostra com a maior concentração de ouro localiza-se dentro dos mármores, a sul da Meseta, e parece estar associada a uma zona de *skarn* em profundidade (MEINERT, 1989).

4.4.1.7 Antimônio

As concentrações situam-se entre 0,06 e 26,2 ppm e o *threshold* é de 1,48 ppm. Quatro valores anômalos foram encontrados (Figura 17). Observa-se que duas anomalias se situam na área da Meseta, uma na zona silicificada a leste da Meseta e a outra na apófise do riacho Limoncito.

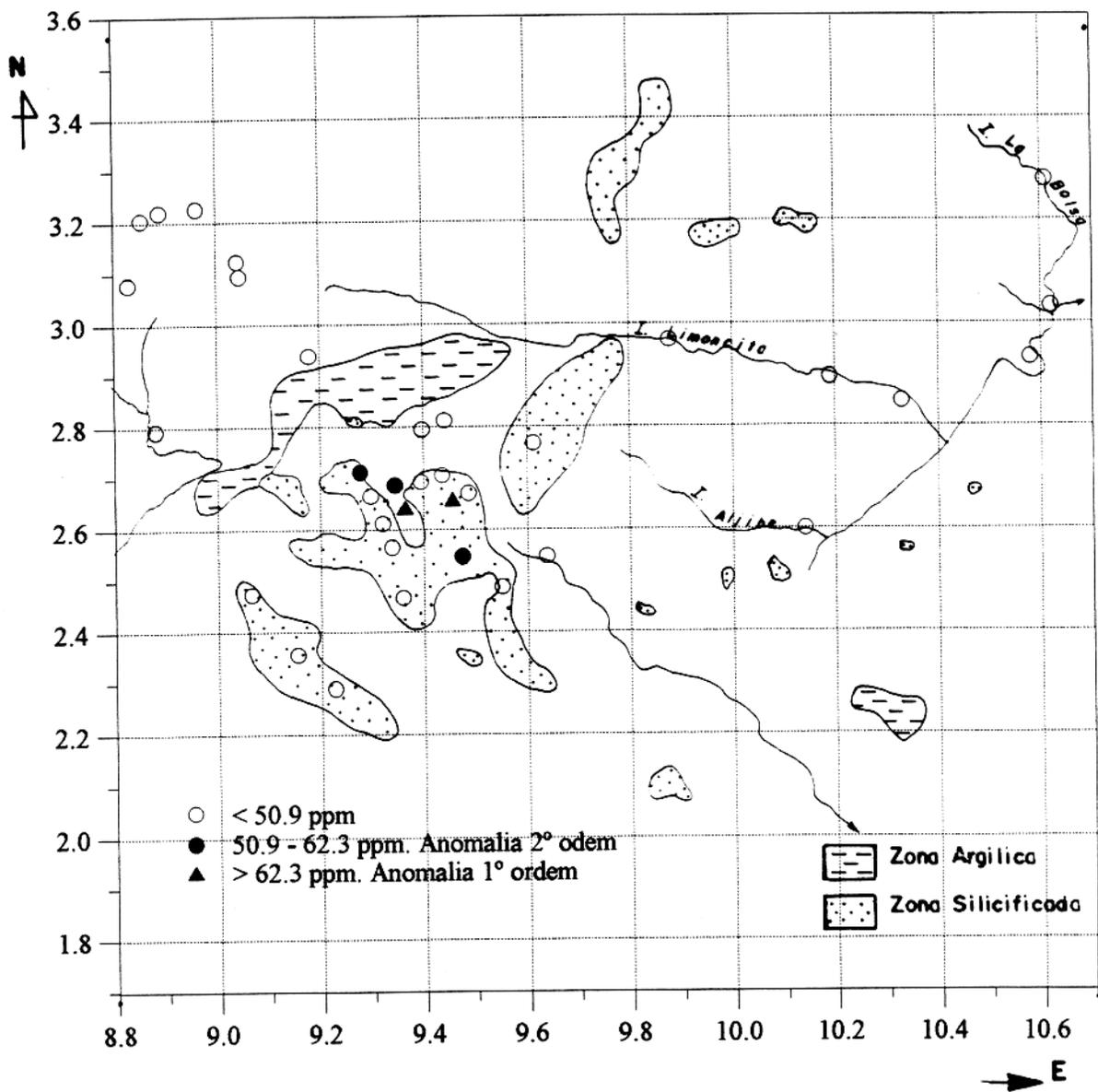


Figura 15. Mapa Geoquímico de Mo em rochas. Área de "Salitre" em coordenadas cartesianas

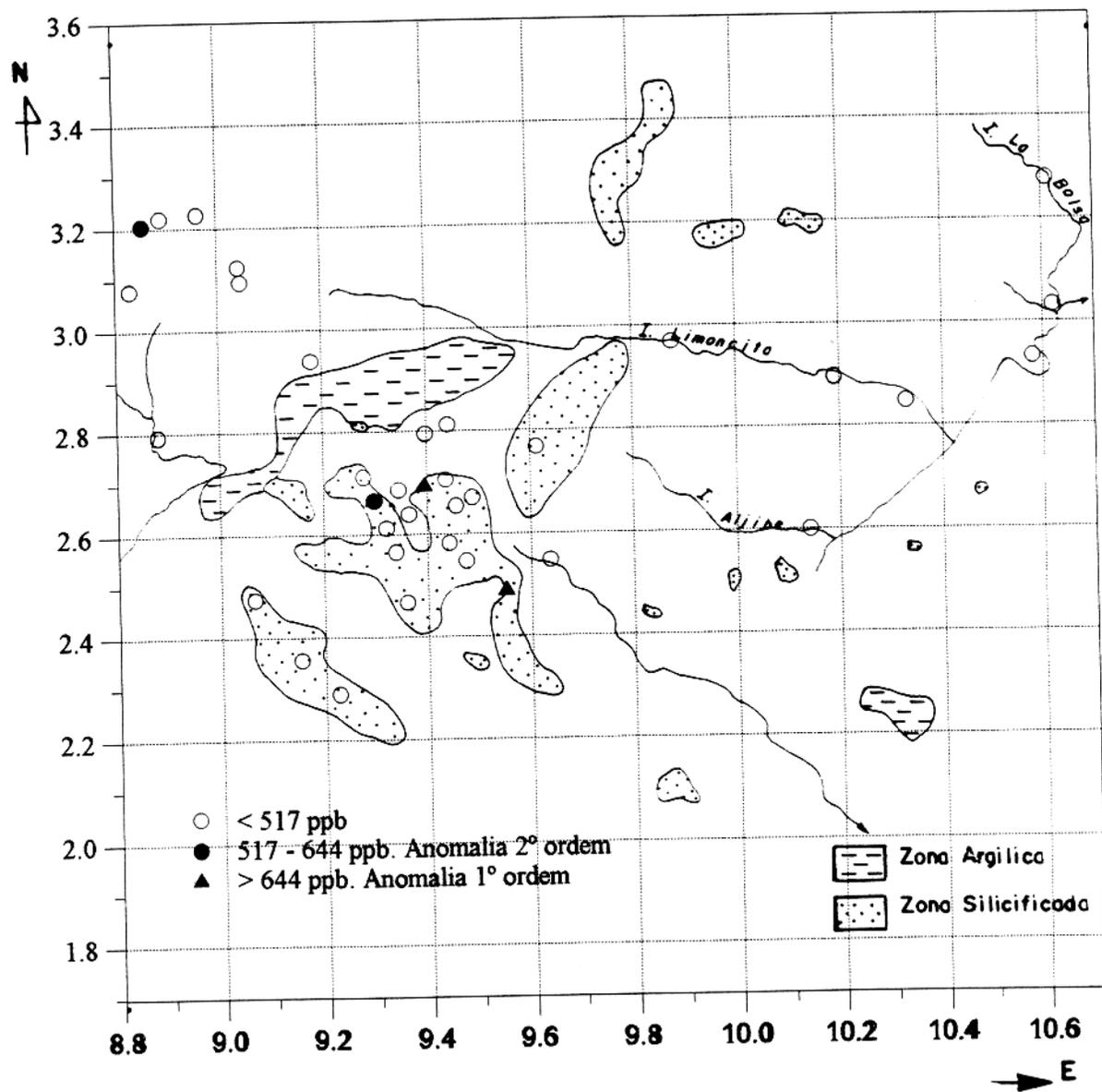


Figura 16. Mapa Geoquímico de Au em rochas. Área de "Salitre" em coordenadas cartesianas

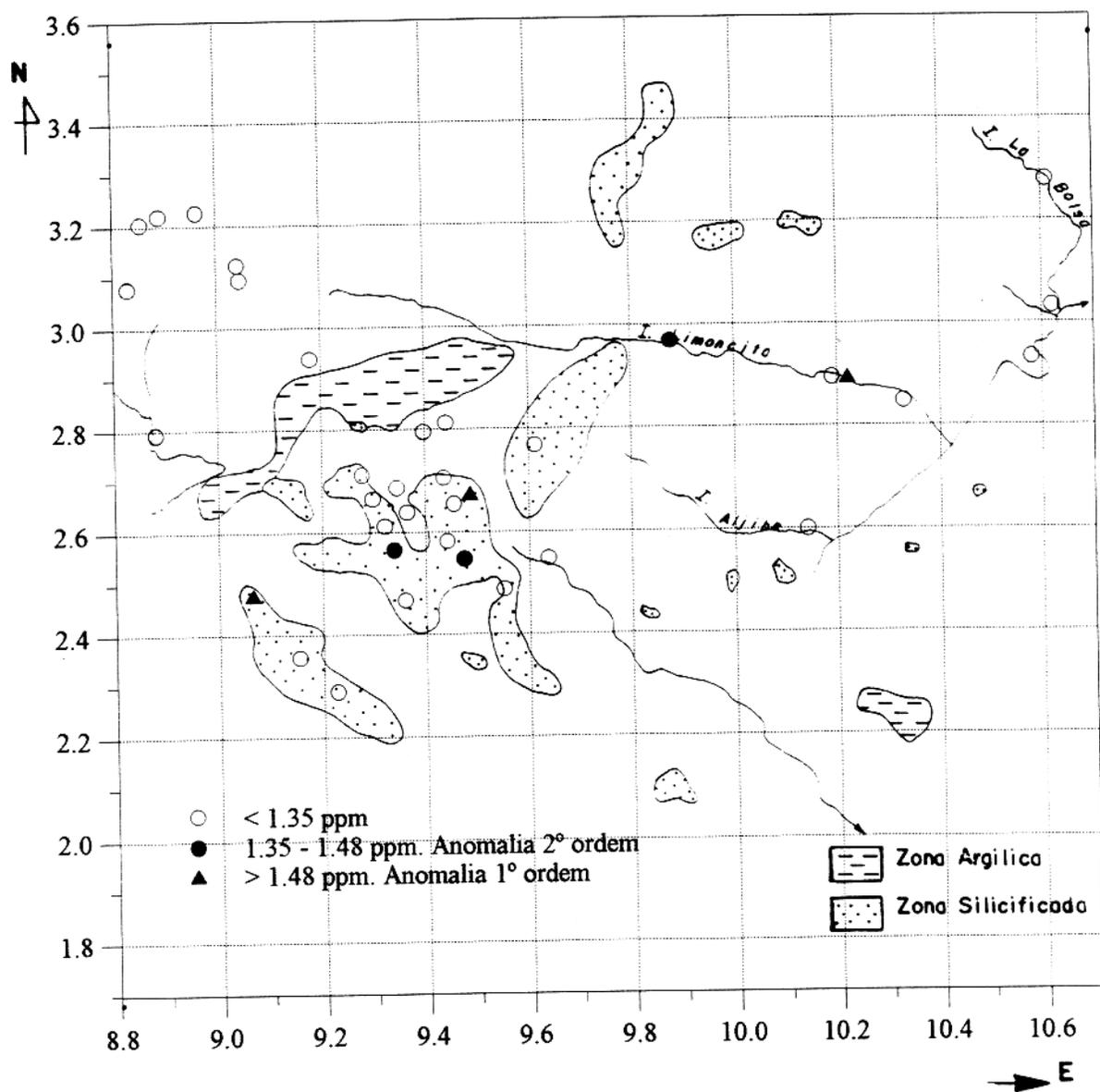


Figura 17. Mapa Geoquímico de Sb em rochas. Área de "Salitre" em coordenadas cartesianas

4.4.1.8 Arsênio

As concentrações encontram-se no intervalo de 0,12 a 200 ppm. O *threshold* é de 100 ppm, havendo 2 amostras com valores superiores a este. A Figura 18 mostra a localização de uma delas no riacho Limoncito e outra no riacho Guacharacal. As duas parecem estar relacionadas aos granitos e granodioritos mineralizados e alterados hidrotermalmente, intrusivos tanto nos tufos da Formação Saldaña como nos calcários da Formação Payandé. Em termos gerais observa-se uma tendência dos valores altos se localizarem nos arredores da Meseta. A presença de arsênio está relacionada aos dois tipos de mineralização que aparentemente se encontram na área, sendo este elemento considerado como um farejador importante para ouro e outros elementos tais como Cu, Zn, Pb e Mo (BOYLE & JONASSON, 1973).

4.4.1.9 Bismuto

As concentrações de bismuto situam-se no intervalo de 0,12 a 75,9 ppm. O *threshold* é de 1,0 ppm. Foram observados 3 amostras anômalas, uma na zona de mármore a sul da Meseta e as outras, no igarapé Limoncito (Figura 19). Como no caso do arsênio, o bismuto é considerado como um farejador de importância, tanto para os depósitos do tipo *skarn* como para os do tipo porfirítico.

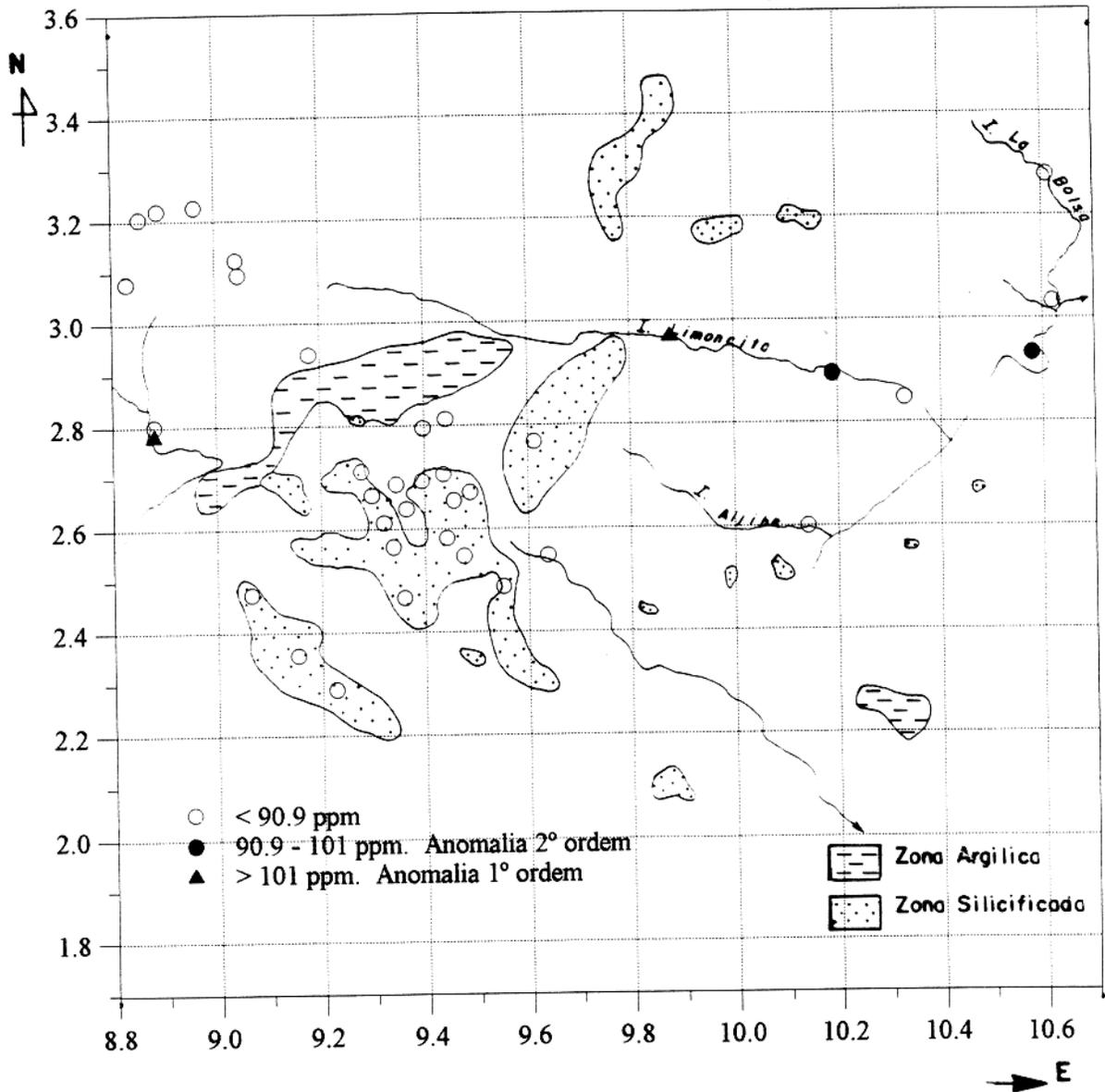


Figura 18. Mapa Geoquímico de As em rochas. Área de "Salitre" em coordenadas cartesianas.

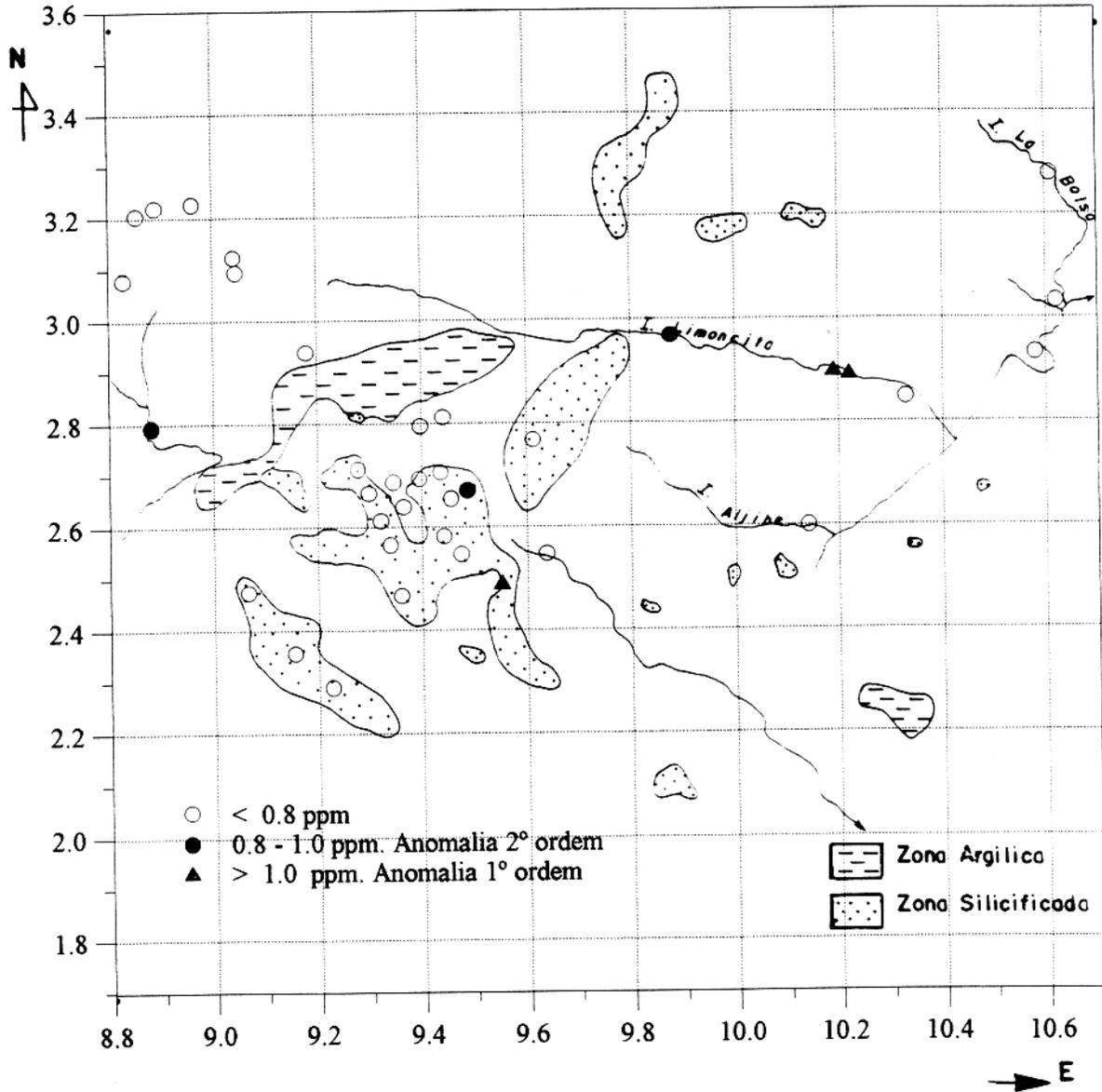


Figura 19. Mapa Geoquímico de Bi em rochas. Área de "Salitre" em coordenadas cartesianas.

4.4.2 Solos

As 176 amostras de solo coletadas foram submetidas a análises químicas para os elementos Ag, Cu, Zn, Mo, Sb, As, Bi e Au utilizando-se a metodologia descrita nos anexos A a D. Um resumo dos parâmetros estatísticos principais referentes a estes elementos, desconsiderando-se os *outliers*, é apresentado na Tabela 4.

4.4.2.1 Prata

Os teores situam-se entre 1 e 4 ppm sendo o *threshold* de 2,9 ppm. Foram encontradas 15 amostras com valores anômalos, das quais 4 se localizam na zona da Meseta, 2 a sul da mesma, 4 nos cêrros situados a leste da Meseta e 4 em sitios anômalos na porção NW da área, no domínio da Formação Payandé (Figura 20). Observa-se que alguns dos valores anômalos se encontram em zonas apresentando silicificação.

4.4.2.2 Cobre

As concentrações encontram-se no intervalo de 3 a 2.000 ppm, com um *threshold* de 320 ppm. Sete pontos são anômalos, sendo 2 na zona situada logo a sul da Meseta, 2 nos cêrros dos arredores do riacho El Aljibe, 3 no cêrro situado a SW da Meseta (Figura 21). A distribuição das anomalias confirma as observações geológicas e metalogenéticas de BUENAVENTURA et al.(1994b). Observa-se também uma relação entre os valores anômalos de cobre e as zonas silicificadas e a presença de pirita.

Tabela 4. Descrição estatística das variáveis consideradas nas análises de solo.

Variável	n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Threshold
Ag (ppm)	176	1	4	2.24	2.71	2.9
Cu (ppm)	169	4	360	200.8	62.4	320
Pb (ppm)	168	14	131	99.6	18.7	137
Zn (ppm)	166	20	800	558	144	850
Mo (ppm)	173	2	15	11.0	1.83	14
Au (ppb)	170	5	130	69.1	16.9	100
Sb (ppm)	173	0.06	10.1	3.89	1.44	6.7
As (ppm)	170	0.4	150	41.6	67.5	86
Bi (ppm)	174	0.4	14	5.71	2.59	9.6

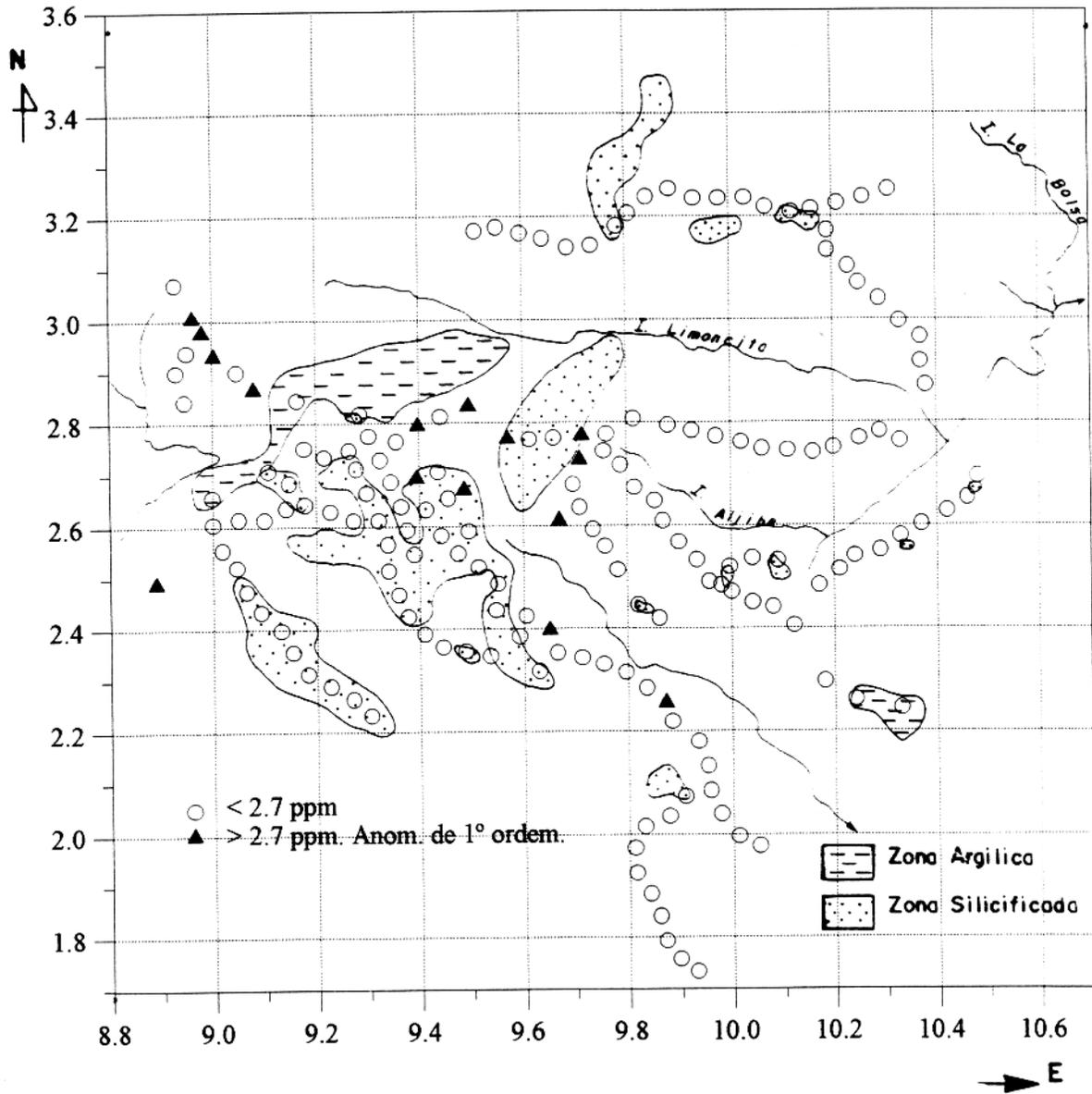


Figura 20. Mapa Geoquímico de Ag em solos. Area de "Salitre" em coordenadas cartesianas

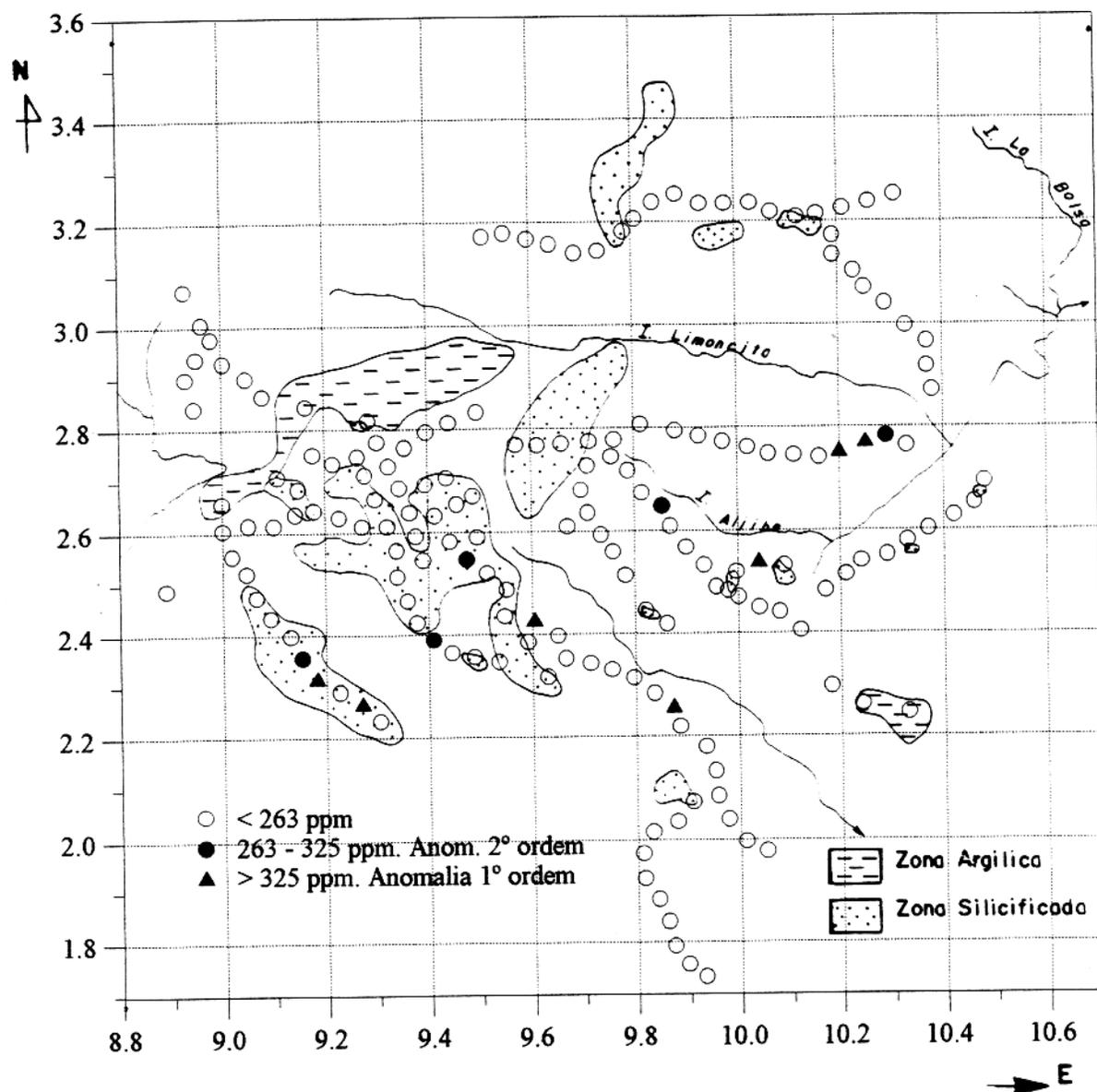


Figura 21. Mapa Geoquímico de Cu em solos. Area de "Salitre" em coordenadas cartesianas

4.4.2.3 Chumbo

As concentrações de chumbo estão entre 7 e 235 ppm. O *threshold* é de 137 ppm, havendo 8 amostras com concentrações anômalas. Sobre a Formação Saldaña e as suas imediações, na zona de maior atividade hidrotermal, estão localizados 4 anomalias. Nos arredores do riacho El Aljibe encontram-se as outras quatro. Duas das anomalias de chumbo estão relacionadas a zonas mineralizadas marcadas por silicificação e pela presença de abundante pirita (Figura 22).

4.4.2.4 Zinco

Os teores de zinco situam-se entre 6 e 3.100 ppm. O *threshold* é de 850 ppm. Destacaram-se 10 valores anômalos: 5 sobre a Meseta; 2 logo a sul da mesma; 3 a SW da Meseta (Figura 23); A maioria dos valores anômalos se concentra na Meseta e nas suas proximidades, principalmente em áreas de maior silicificação e elevado conteúdo de pirita.

4.4.2.5 Molibdênio

As concentrações de molibdênio estão entre 1 e 22 ppm, o *threshold* é de 14 ppm. Observa-se claramente a predominância de valores anômalos na Meseta e nas suas proximidades. 5 amostras anômalas localizam-se na Meseta e uma outra na zona silicificada no cêrro a oeste da Meseta (Figura 24). Estas observações permitem sugerir que a Meseta pode ser considerada como o centro da mineralização.

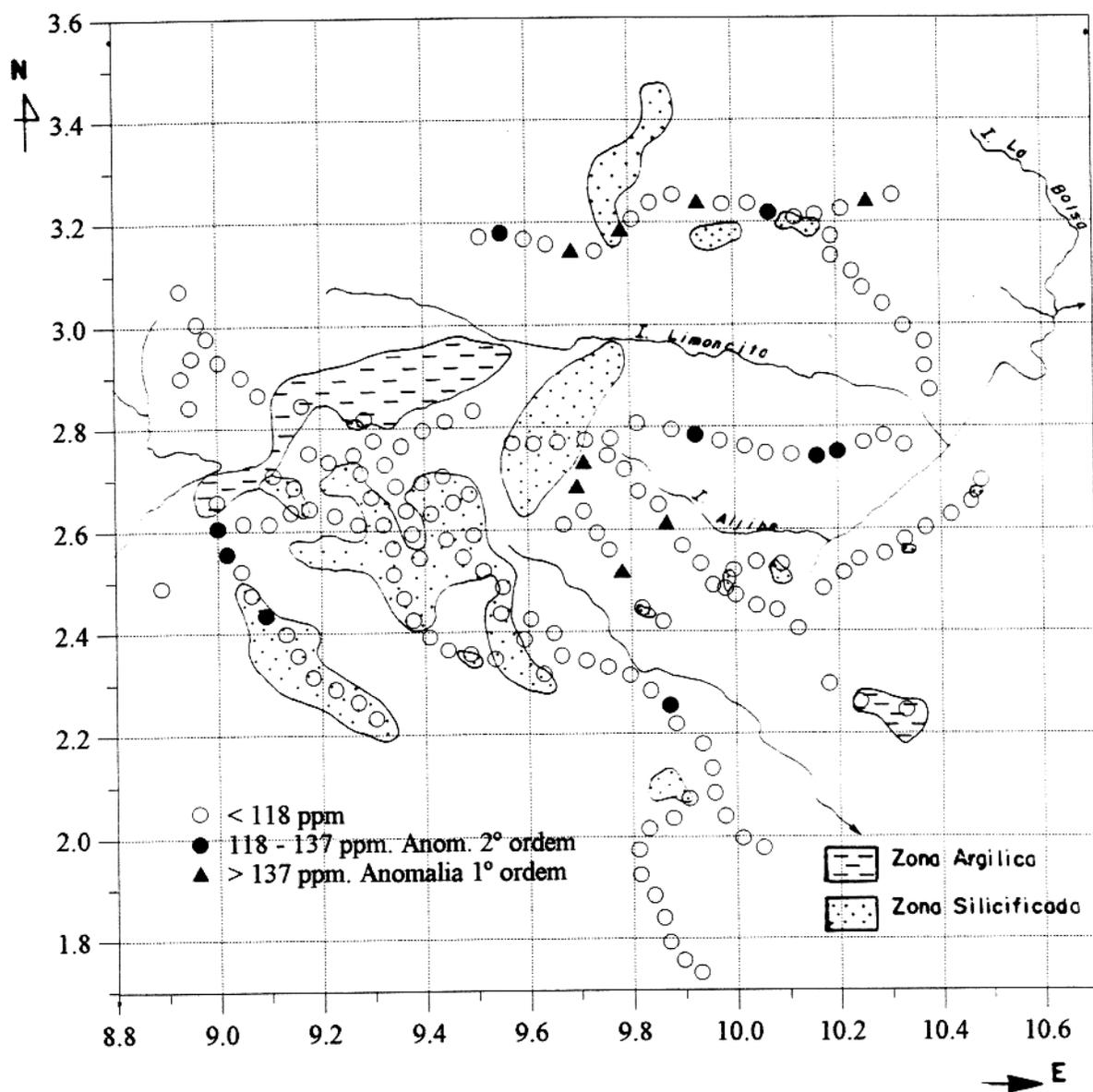


Figura 22. Mapa Geoquímico de Pb em solos. Área de "Salitre" em coordenadas cartesianas

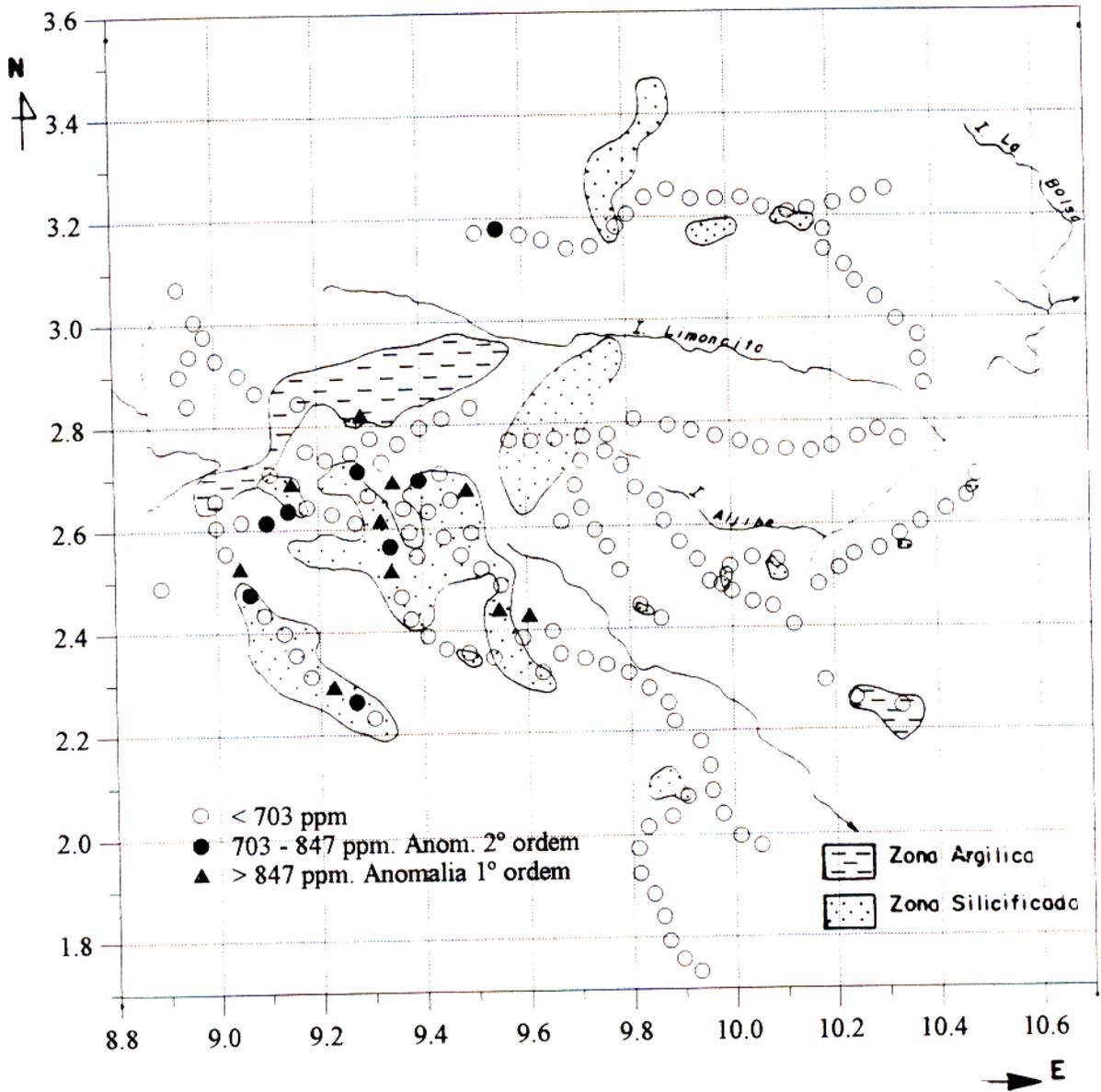


Figura 23. Mapa Geoquímico de Zn em solos. Área de "Salitre" em coordenadas cartesianas

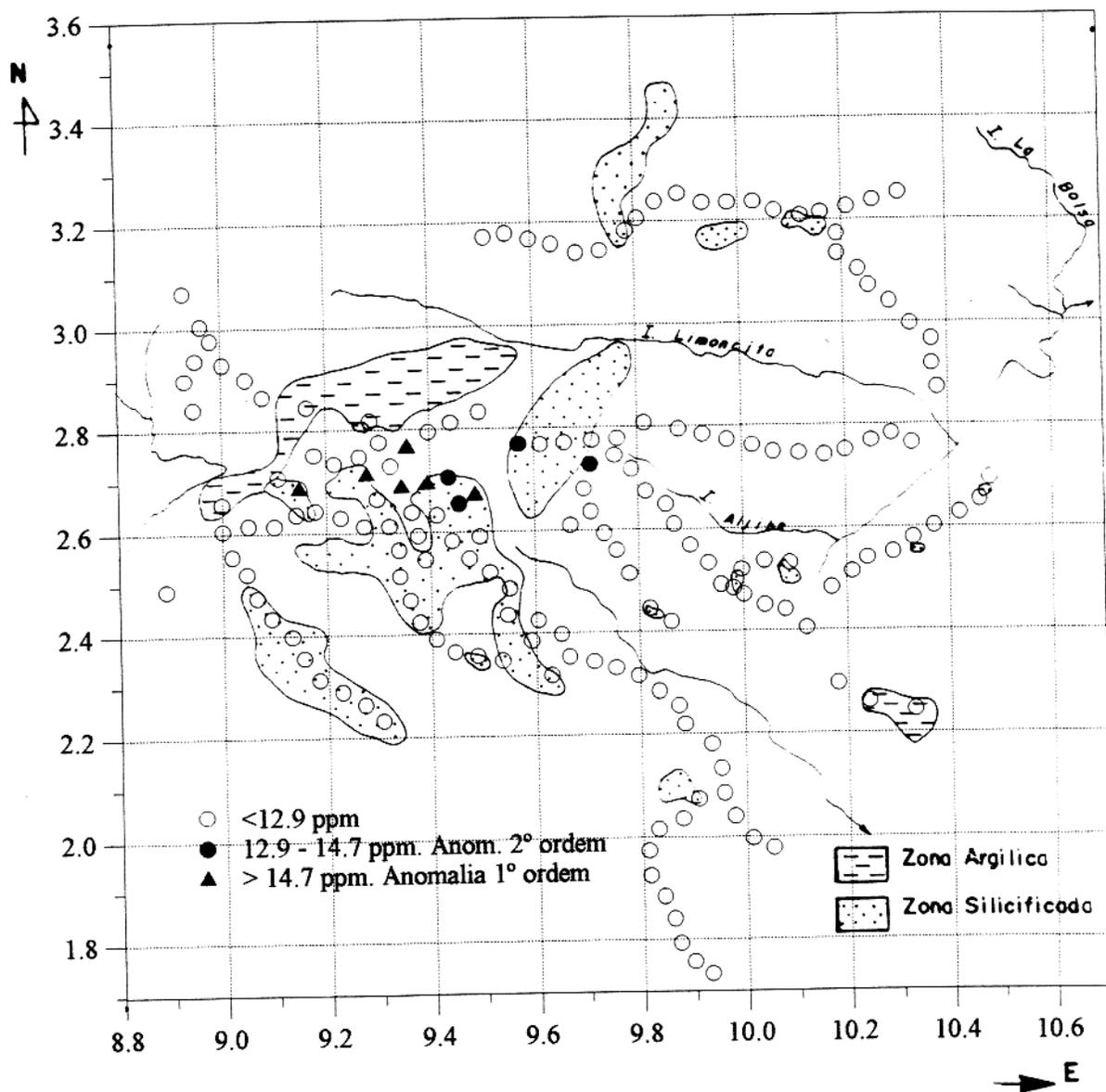


Figura 24. Mapa Geoquímico de Mo em solos. Área de "Salitre" em coordenadas cartesianas

4.4.2.6 Ouro

As concentrações estão no intervalo de 5 a 509 ppb, sendo o *threshold* de 100 ppb. Das 8 anomalias, 3 ocorrem no setor logo a sul da Meseta e provavelmente estão relacionados à zona de *skarn* e a áreas silicificadas; duas na zona silicificada a SW da Meseta enquanto que três anomalias apresentam-se como pontos isolados dentro da Formação Saldaña e estão aparentemente relacionadas a veios de quartzo (Figura 25).

4.4.2.7 Antimônio

As concentrações de antimônio encontram-se entre 0,06 a 37,6 ppm, com *threshold* de 6,7 ppm, resultando em 4 valores anômalos. Três pontos anômalos estão localizados na parte oeste da área, aparentemente externos ou periféricos em relação à zona mineralizada principal, porém associados a zonas silicificadas. Uma outra anomalia foi localizada na Meseta (Figura 26).

4.4.2.8 Arsênio

As concentrações mínima e máxima encontradas foram de 0.12 e 598 ppm, respectivamente. O *threshold* é de 86 ppm, havendo 7 valores anômalos. Observam-se 2 pontos anômalos nos cêrros nos arredores do riacho El Aljibe. Cinco na parte norte da área, no domínio da Formação Saldaña, distribuídos aparentemente num halo envolvendo a zona principal de mineralização. Este halo, provavelmente, tem sua origem na mobilidade do arsênio no ambiente de dispersão primária no domínio hidrotermal (Figura 27).

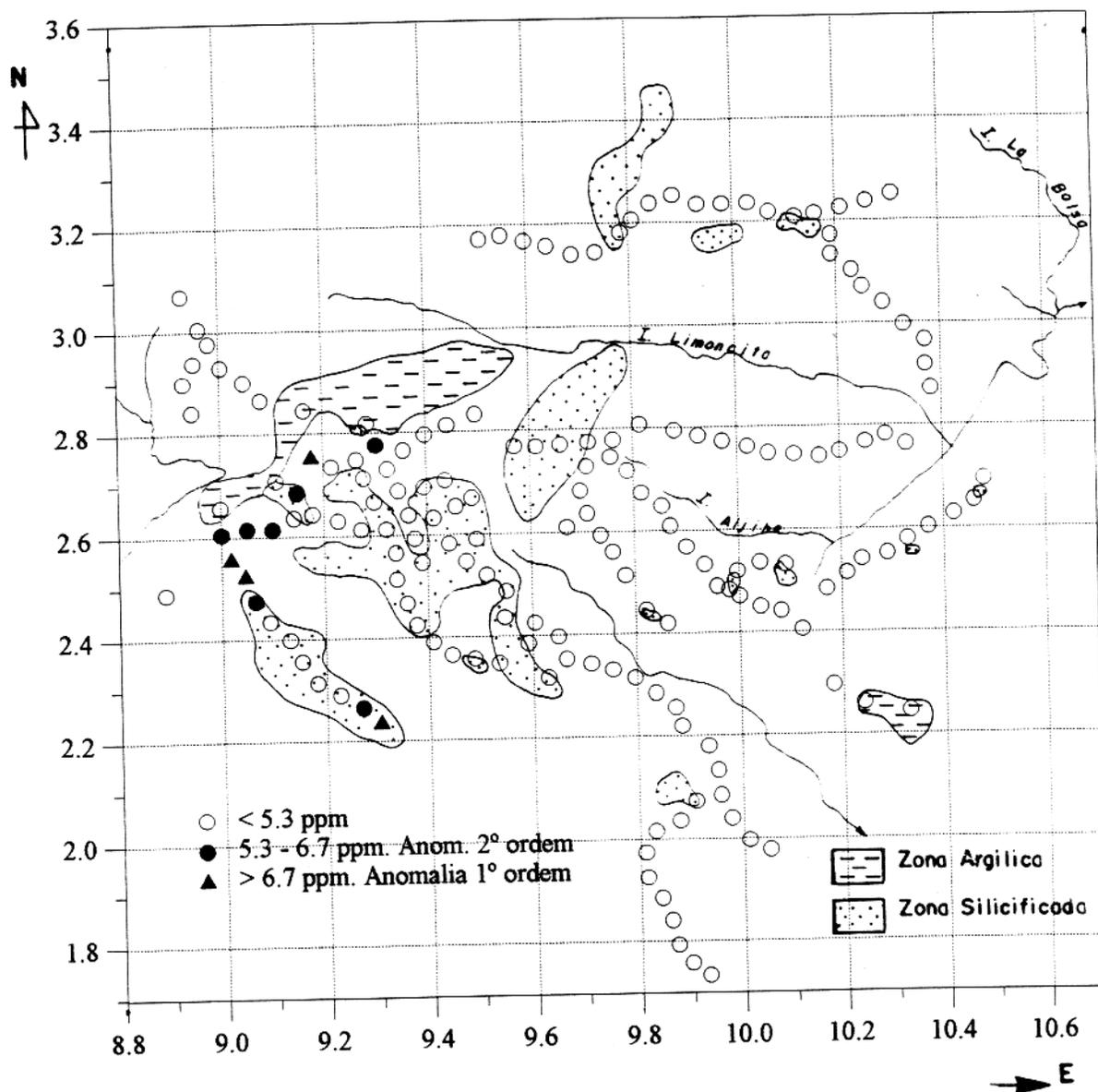


Figura 26. Mapa Geoquímico de Sb em solos. Área de "Salitre" em coordenadas cartesianas

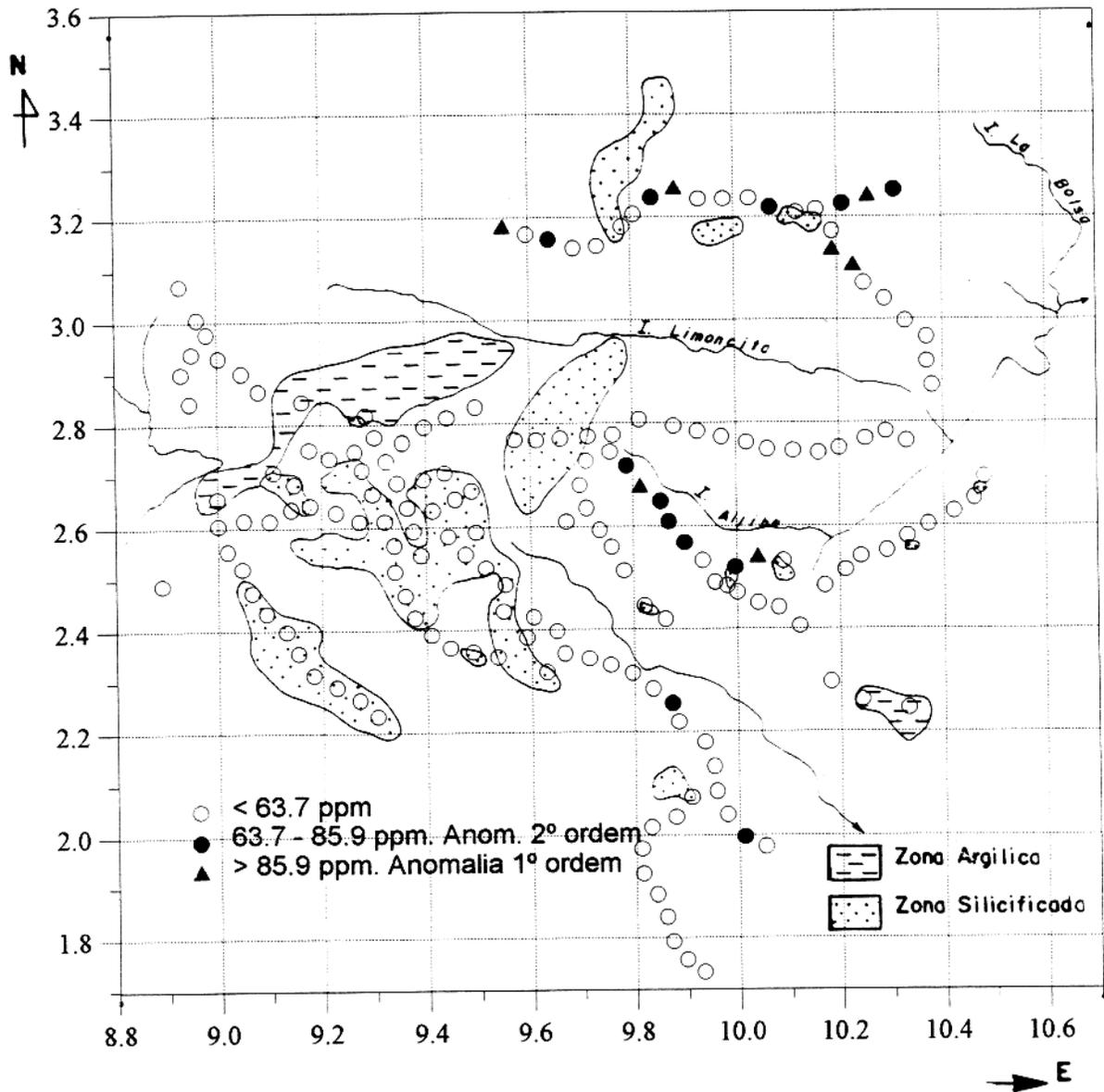


Figura 27. Mapa Geoquímico de As em solos. Área de "Salitre" em coordenadas cartesianas

4.4.2.9 Bismuto

As concentrações de bismuto estão no intervalo de 0,12 a 46 ppm, com *threshold* de 9,6 ppm. Observam-se 4 valores anômalos: um a sul da Meseta, relacionado aparentemente a uma mineralização de tipo *skarn*, e 3 nos cêrros nos arredores do riacho El Aljibe (Figura 28).

4.4.3 Apresentação sintética e conjunta das anomalias

Os teores anômalos dos elementos considerados, tanto em amostras de rochas como em solos (Figuras 11 a 28), refletem a atividade hidrotermal associada a um evento magmático que afetou a área do Salitre.

Embora as amostras de rochas sejam em número menor do que as de solos, nota-se uma certa coincidência entre todas elas, em termos de distribuição areal (Figuras 29 a 34). Uma melhor comparação entre os teores anômalos poderia ter sido testada através de uma amostragem mais densa, em rede, o que entretanto não foi possível devido as características geomorfológicas da área e por questões técnicas.

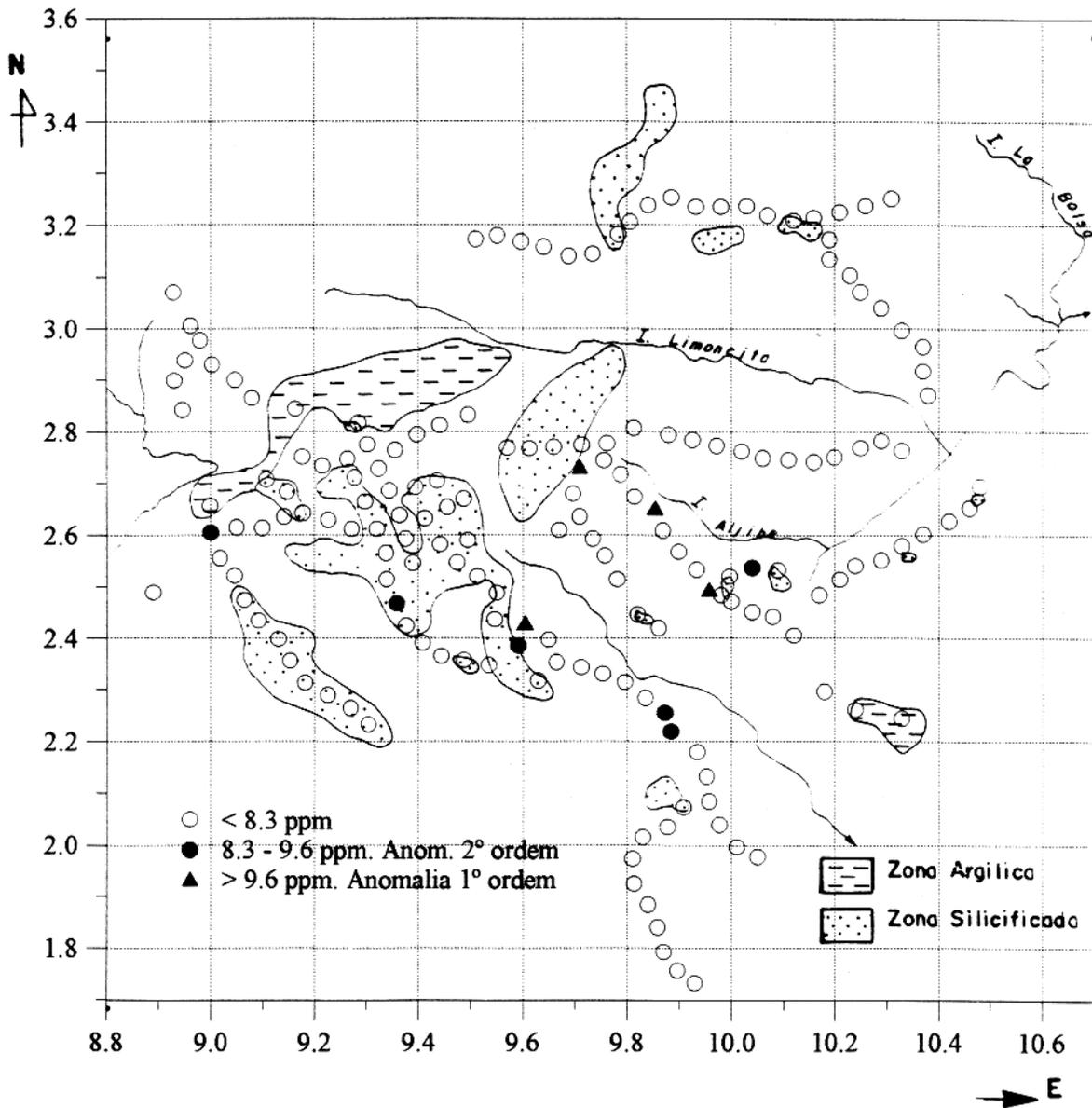


Figura 28. Mapa Geoquímico de Bi em solos. Área de "Salitre" em coordenadas cartesianas

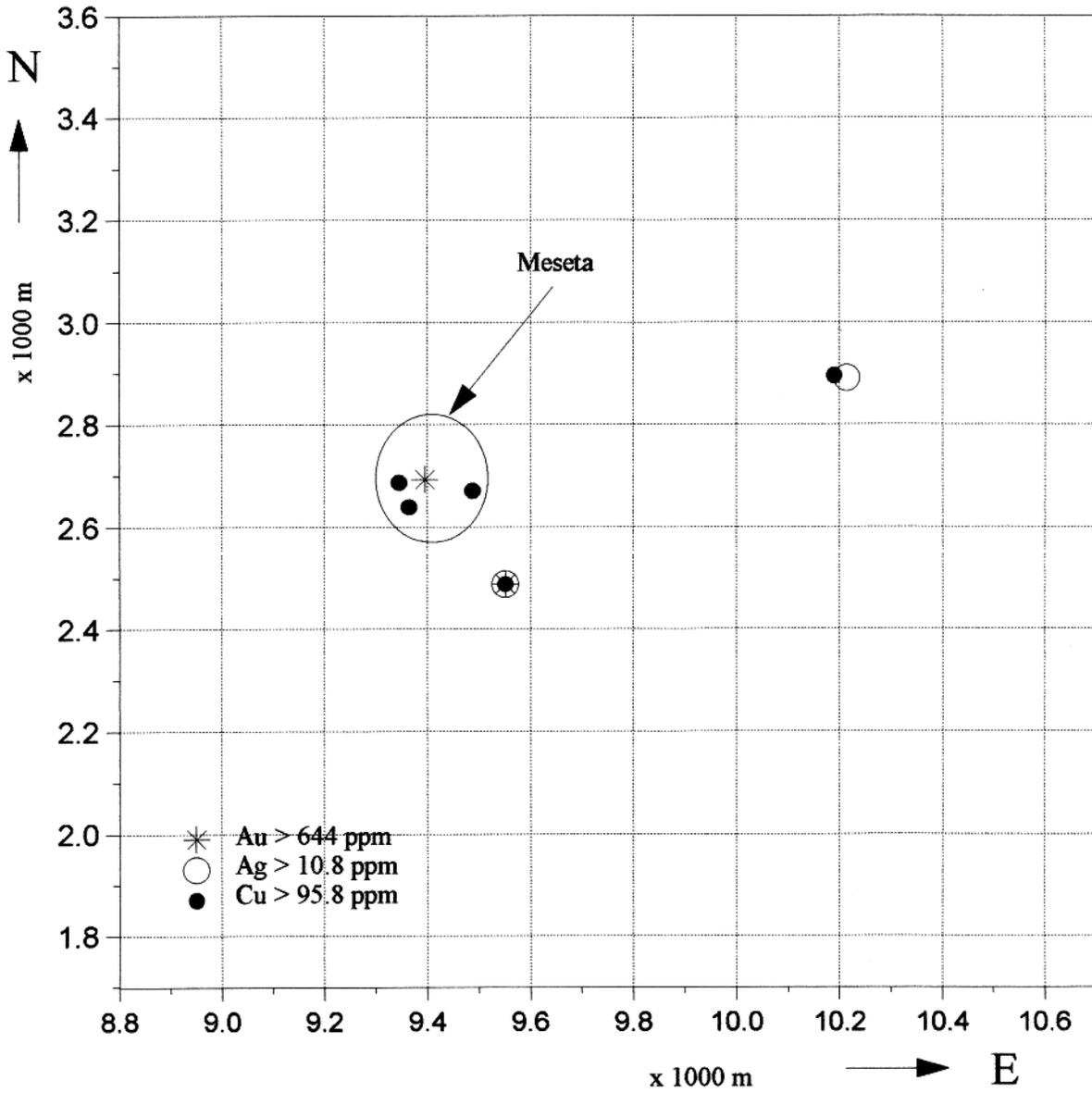


Figura 29. Mapa de anomalias de Au, Ag, e Cu em rochas.
Área de Salitre (em coordenadas cartesianas)

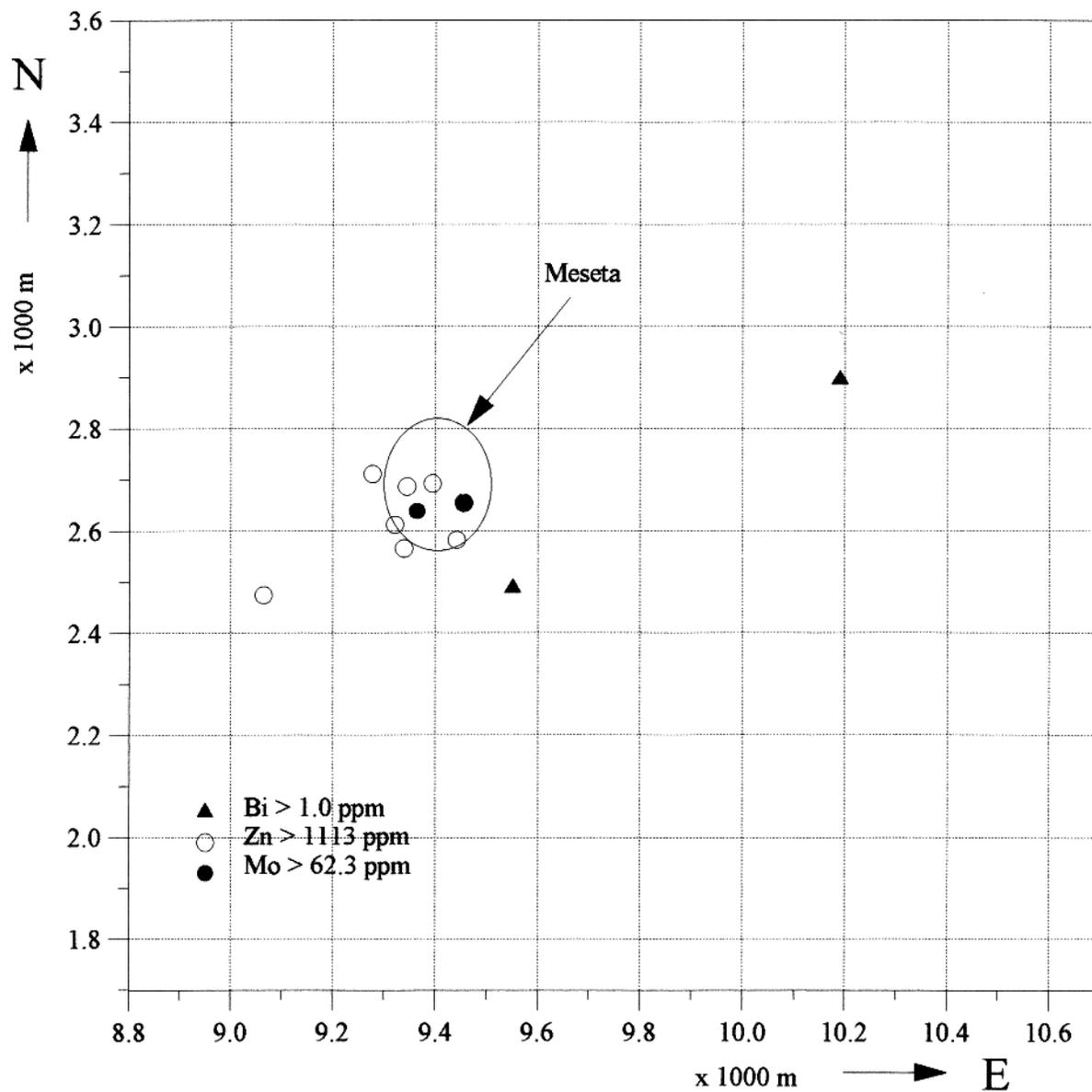


Figura 30. Mapa de anomalias de Zn, Mo e Bi em rochas. Área de "Salitre" (em coordenadas cartesianas)

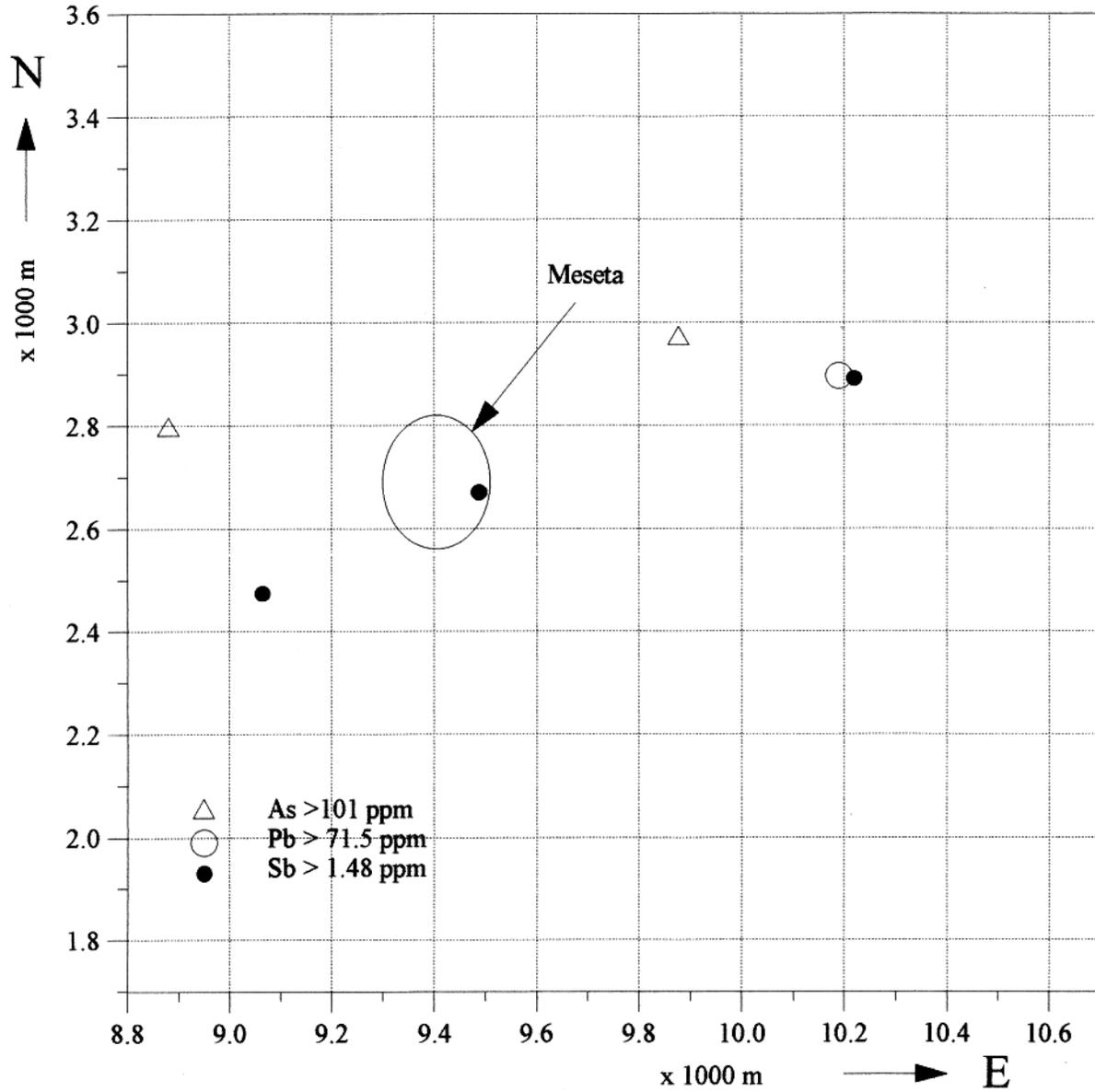


Figura 31. Mapa de anomalias de As, Pb e Sb em rochas.
 Área de "Salitre" (em coordenadas cartesianas)

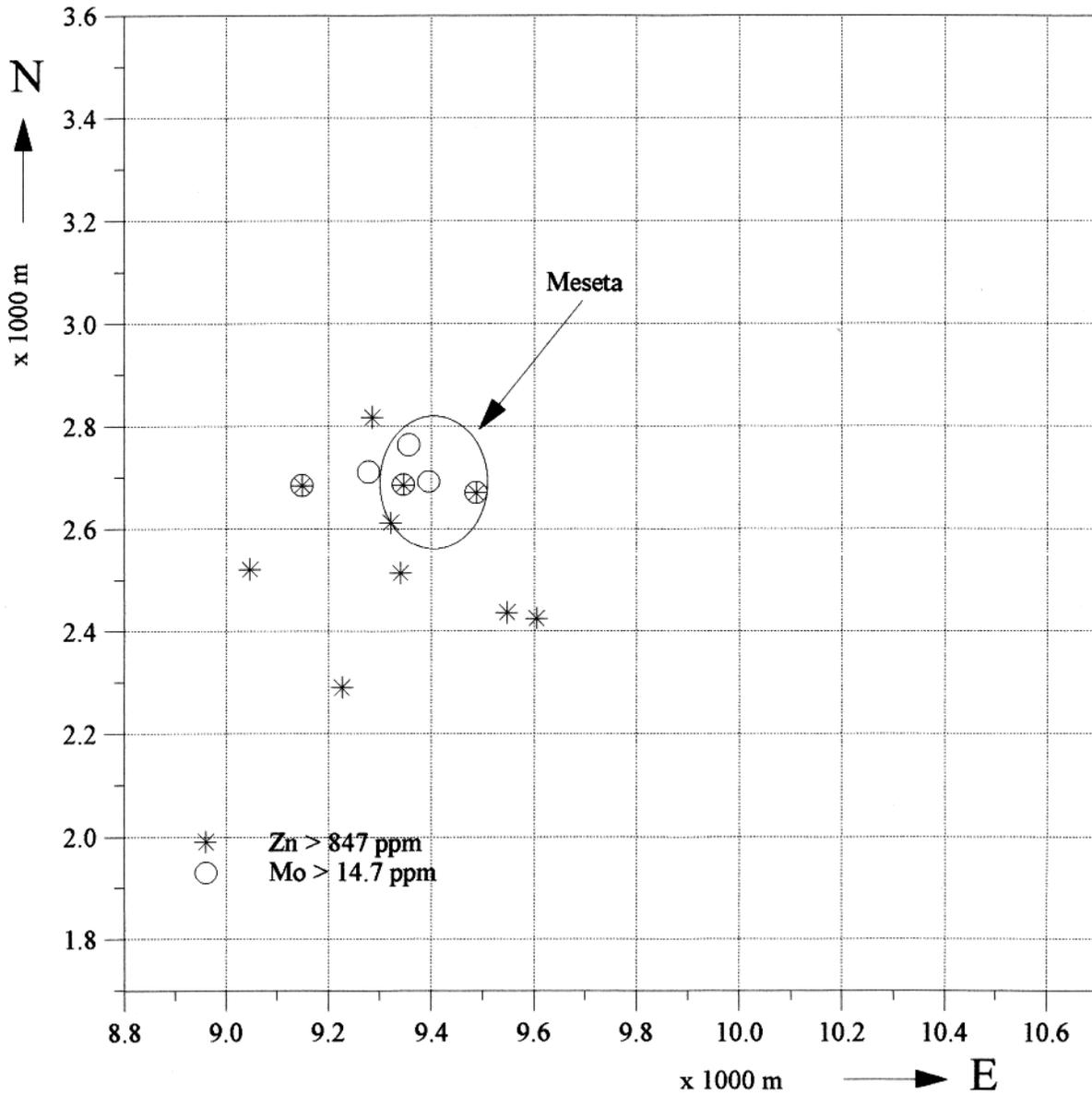


Figura 32. Mapa de anomalias de Mo e Zn em solos.
Área de "Salitre" (em coordenadas cartesianas)

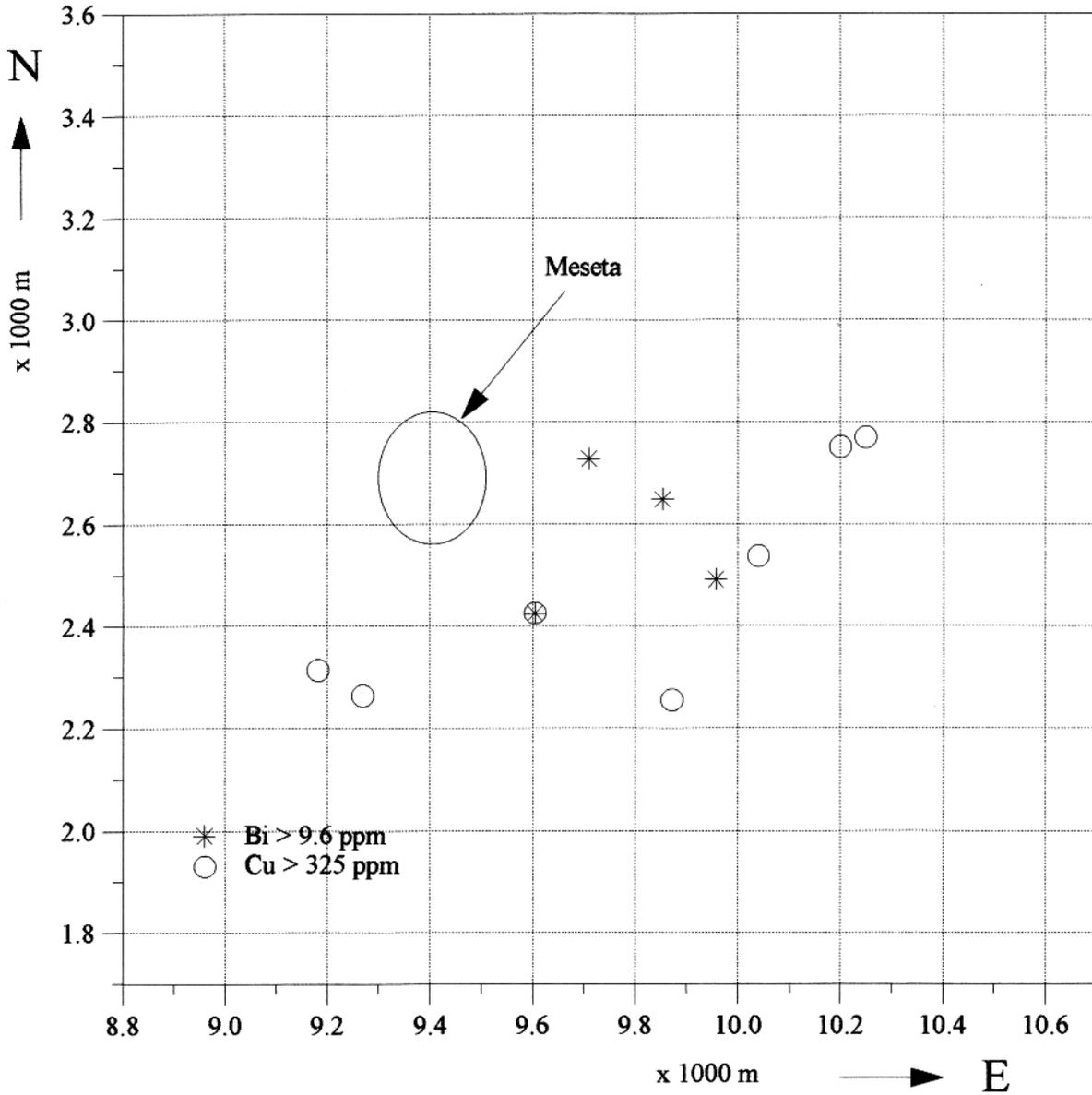


Figura 33. Mapa de anomalias de Bi e Cu em solos.
Área de "Salitre" (em coordenadas cartesianas)

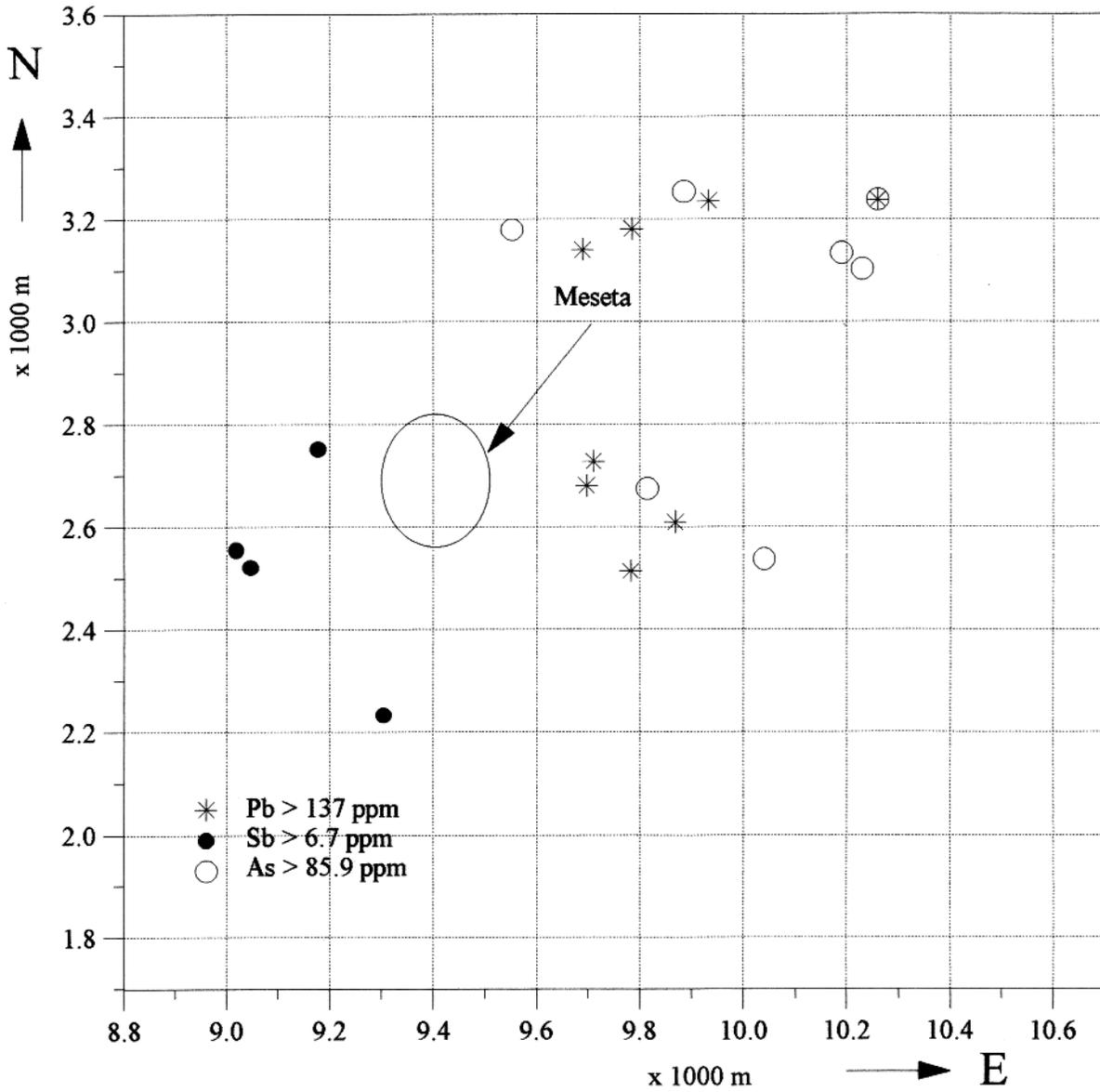


Figura 34. Mapa de anomalias de Pb, Sb e As em solos.
Área de "Salitre" (em coordenadas cartesianas)

Nas Figuras 29 a 31 são apresentados os valores anômalos em rochas para três grupos dos elementos analisados. Pode-se observar três zonas de interesse: i) a zona da Meseta, onde se encontra a maioria dos valores anômalos para os elementos Zn, Mo, Ag, Au, Cu e Sb; ii) a zona sul, a 200 m da Meseta, onde predominam valores anômalos para Zn, Bi, Ag, Pb, Au e Cu; e iii) a zona de corpos granitoides intrusivos mineralizados no leito do riacho El Limoncito, com anomalias de Zn, Pb, Bi, Cu, Ag e As. conseqüentemente, podem ser distinguidos dois conjuntos de elementos representativos dos tipos de mineralização que parecem existir na área. O primeiro, constituído por Au-Cu-As-Sb-Zn-Mo, reflete uma mineralização de tipo pórfiro aurífero que estaria localizada em profundidade, no local conhecido como a Meseta. O segundo conjunto, composto de Au-Ag-Cu-Bi-Pb-Zn, parece refletir uma mineralização do tipo *skarn* aurífero situada a 200 m a sul da Meseta e relacionada a uma zona de mármore onde foram encontrados seixos rolados de wollastonita. Segundo BUENAVENTURA *et al.* (1994b), esta segunda mineralização pressupõe a existência de um corpo intrusivo em profundidade, responsável não só pela marmorização dos calcários, como também, provavelmente, pela mineralização da zona da Meseta.

No caso das amostras de solos, a superposição de valores anômalos de molibdênio e zinco (Figura 32) aponta mais seguramente para uma mineralização do tipo porfirítico na zona da Meseta, enquanto que o bismuto e o cobre parecem estar mais relacionados a uma mineralização do tipo *skarn* localizada a sul da Meseta (Figura

33). As anomalias de chumbo, arsênio e antimônio marcam uma zona periférica em relação ao centro principal da mineralização que, ao que tudo indica, encontra-se na Meseta e à 200 m a sul desta (Figura 34). Os maiores teores de ouro encontrados em amostras de solos estão relacionados à zona de *skarn*, enquanto que outros mais baixos encontram-se na Meseta, sugerindo um outro tipo de mineralização.

As concentrações anômalas de ouro em solo, em zonas tidas como sobrejacentes a dois tipos diferentes de depósitos (de *skarn* e porfirítico), sugerem a necessidade de mais estudos sobre o potencial econômico da área.

As concentrações de elementos farejadores sintomáticos de determinados tipos de depósitos, mais as mineralizações conhecidas na região, permitem sugerir na área em apreço a presença dos dois tipos de depósitos.

4.5 INTERPRETAÇÃO ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

A análise fatorial Modo-R e a análise de Cluster Modos R e Q foram aplicadas às amostras de rochas e solos, considerando-se as variáveis Ag, Cu, Pb, Zn, Mo, Au, Sb, As e Bi, com a finalidade de se descobrir assinaturas geoquímicas e associações sugestivas de mineralizações na área de interesse.

4.5.1 Análise Fatorial Modo-R

Esta técnica permite reunir as variáveis consideradas em diversas associações, cada uma dessas apresentando um comportamento geoquímico específico. As associações são representadas por um número equivalente de fatores matemáticos, que, ao serem analisados à luz da informação geológica, podem sugerir um processo de mineralização na área.

A análise fatorial Modo-R, incluindo a determinação dos fatores de peso (*factors-loading*) foi realizada a partir de matrizes de correlação, tanto para amostras de rochas como para solos.

Foram testadas várias possibilidades da análise fatorial para solos e rochas, inicialmente sem rotação, aplicando-se, posteriormente, a técnica de rotação Varimax de Kaiser. Foi observado que a rotação não melhora a interpretação dos fatores, motivo pelo qual, para efeitos de interpretação, foram escolhidos os fatores sem rotação.

4.5.1.1 Rochas

A análise fatorial Modo-R foi realizada sem a rotação dos fatores, e com os dados não transformados em seus logarítmos.

Tendo em conta o nível de significância de 99% para 40 amostras ($r > 0,40$), os mais altos coeficientes de correlação foram identificados entre os pares Bi-Ag, Cu-Ag, Cu-Bi, Mo-Zn, Ag-Pb, Cu-Au, Bi-Au, Au-Ag e Bi-Pb (Tabela 5).

Tabela 5. Matriz de correlação para amostras de rochas.

Variável	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	Au	Sb	As	Bi
Ag	1.00								
Cu	0.89	1.00							
Pb	0.62	0.28	1.00						
Zn	-0.13	-0.08	-0.07	1.00					
Mo	-0.09	0.08	-0.21	0.69	1.00				
Au	0.45	0.52	0.06	0.39	0.09	1.00			
Sb	0.15	0.24	-0.05	0.10	0.18	0.03	1.00		
As	0.00	0.05	0.07	-0.06	-0.28	0.03	-0.08	1.00	
Bi	0.90	0.85	0.42	-0.09	-0.17	0.50	0.00	0.14	1.00

A análise fatorial com 5 fatores explica 91,43% da variância total dos dados analisados (Tabela 6). Ela foi considerada a solução mais apropriada para explicar os processos hidrotermais responsáveis pela mineralização na área do Salitre.

O fator ROC-1 (Ag-Bi-Cu-Au-Pb) explica 37,43% da variância total dos dados (Tabelas 6 e 7), e deve representar a mineralização de tipo *skarn* localizada nos arredores da estação 49 R (mapa de amostragem, Anexo G).

O fator ROC-2 (Mo-Zn-Au-Sb) - (As) explica 22,09 % da variância total (Tabelas 6 e 7). Este fator deve representar o segundo tipo de mineralização, do tipo porfirítico, associado a rochas intrusivas em profundidade. A associação (As), representado por *score* negativo, reflete a distribuição do arsênio nas rochas, com altas concentrações nos arredores da área. Salienta-se a contribuição de Mo e Zn na carga do fator, o que se confirma na Figura 28.

O fator ROC-3 (Sb) - (As-Au) explica 12,24 % da variância total (Tabelas 6 e 7). A associação (Sb), representada por um *score* positivo, confirma a distribuição geoquímica individual do antimônio nas rochas, enquanto que a associação (As-Au), representada por um *score* negativo, ratifica a distribuição individual destes elementos nas rochas (Figuras 16 e 18), refletindo a importância da mineralização na Meseta.

Tabela 6. Estatísticas iniciais do modelo de 9 fatores sem rotação para amostras de rochas.

Fator	Auto-valor	Porcentagem de Variação	Porcentagem acumulado
1	3.3687	37.43	37.43
2	1.9885	22.09	59.52
3	1.1009	12.24	71.76
4	0.9473	10.52	82.28
5	0.8234	9.15	91.43
6	0.5354	5.95	97.38
7	0.1821	2.02	99.40
8	0.0371	0.42	99.82
9	0.0165	0.18	100.00

Tabela 7. Estatísticas finais para o modelo de 5 fatores seleccionados para amostras de rocha

Variável/fator	1	2	3	4	5	Comunidade
Ag	0.9743	-0.0244	0.1473	-0.0971	0.0612	0.98
Cu	0.9116	0.1497	0.1239	0.1475	-0.169	0.92
Pb	0.5587	-0.2637	0.0548	-0.4103	0.6388	0.96
Zn	-0.0769	0.8525	-0.3466	-0.0856	0.2774	0.94
Mo	-0.1235	0.8709	0.0722	-0.1148	0.1409	0.81
Au	0.5868	0.4379	-0.4 72	0.0547	-0.308	0.80
Sb	0.1303	0.3326	0.6168	0.6174	0.2330	0.94
As	0.1073	-0.3235	-0.6180	0.5857	0.3503	0.96
Bi	0.9393	-0.0616	-0.0851	-0.0072	-0.117	0.91
% Variação	37.43	22.09	12.24	10.52	9.15	
% Acumulado	37.43	59.52	71.76	82.28	91.43	

O fator ROC-4 (Sb-As)-(Pb), explica 10,52% da variância total (Tabelas 6 e 7). A associação (Sb-As), representada por scores positivos, confirma a distribuição geoquímica individual do antimônio e do arsênio na interpretação univariada para amostras de rochas. A associação (Pb), representado por score negativo, está refletindo a distribuição espacial do chumbo na interpretação univariada e, por conseguinte, sua relação com corpos intrusivos no leito do riacho Limoncito. Os fatores ROC-2 e ROC-3 são coerentes com uma mineralização do tipo porfirítico no setor da Meseta. O significado geológico deste fator é similar aos fatores ROC-2 e ROC-3.

O fator ROC-5 (Pb-As-Zn-Sb) explica 9,15 % da variância total (Tabelas 6 e 7). A associação (Pb-As-Zn-Sb), representada por scores positivos, é similar à do fator ROC-1 e, por conseguinte, pode-se considerar que os dois tem o mesmo significado geoquímico, refletindo a mineralização de tipo *skarn*.

4.5.1.2 Solos

Para as amostras de solos, a análise fatorial Modo-R permite uma melhor interpretação quando não se faz a rotação da matriz de fatores, cujos dados, previamente, sofrem transformação logarítmica.

Os coeficientes de correlação mais significativos ($r > 0,236$, para o nível de significância de 99%,) correspondem aos pares de elementos Bi-Cu, Zn-Sb, Mo-Ag, Zn-Cu, Zn-Pb, Bi-Pb, Pb-Sb, Mo-Zn, Zn-Ag, Cu-Au, Mo-Sb e Cu-Pb (Tabela 8).

Tabela 8. Matriz de correlação para amostras de solo, com transformação logarítmica dos dados.

	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	Au	Sb	As	Bi
Ag	1.00								
Cu	0.04	1.00							
Pb	0.22	0.24	1.00						
Zn	0.30	0.43	0.43	1.00					
Mo	0.51	-0.15	0.14	0.32	1.00				
Au	-0.18	0.30	0.06	0.13	-0.17	1.00			
Sb	0.21	0.13	0.33	0.52	0.30	0.07	1.00		
As	-0.40	-0.07	-0.01	-0.46	-0.50	0.07	-0.27	1.00	
Bi	-0.03	0.65	0.39	0.19	-0.15	0.21	0.03	0.04	1.00

Comparando os coeficientes de correlação para as variáveis consideradas, pode-se observar que os pares Cu-Bi, Zn-Mo, Cu-Au e Bi-Pb são significativos tanto em rochas como em solos.

Inicialmente foi feita uma análise fatorial com nove modelos de fatores, mas a análise com 5 fatores foi julgada como mais apropriada, pois explica 82.98 % da variância total dos dados (Tabela 9).

O fator SOL-1 (Zn-Sb-Ag-Pb-Mo-Cu) - (As) explica 30,93 % da variância total dos dados obtidos (Tabelas 9 e 10). A distribuição geoquímica da associação (Zn-Sb-Ag-Pb-Mo-Cu), representada por scores positivos, limita-se praticamente à zona da Meseta e coincide em grande parte com a distribuição do zinco, molibdênio, chumbo, antimônio e cobre, obtida pela interpretação univariada para amostras de solos. A associação (As), representada por scores negativos, reflete a localização deste elemento nos arredores da Meseta, como foi observado na interpretação univariada. A semelhança deste fator com o fator ROC-2 indica terem os dois fatores o mesmo significado geológico.

O fator SOL-2 (Bi-Cu-Au-As)-(Mo-Ag) explica 23,49 % da variância total dos dados (Tabelas 9 e 10). A associação (Bi-Cu-Au-As), representada por scores positivos, tem uma distribuição geoquímica muito similar à do fator ROC-1 e, por conseguinte, pode representar uma mineralização de tipo *skarn* que, supostamente encontra-se em profundidade, a uns 200 m a sul da Meseta. Da mesma forma, este fator confirma a distribuição do bismuto, cobre, ouro e arsênio em solos (Figuras 21, 25, 27 e 28).

Tabela 9. Estatísticas iniciais do modelo de 9 fatores, para amostras de solo, sem rotação, e com transformação logarítmica.

Fator	Auto-valor	Porcentagem de variação	Porcentagem acumulado
1	2.7840	30.93	30.93
2	2.1137	23.49	54.42
3	0.9737	10.82	65.24
4	0.9186	10.20	75.44
5	0.6781	7.54	82.98
6	0.5031	5.59	88.57
7	0.4572	5.08	93.65
8	0.3706	4.12	97.77
9	0.2010	2.23	100.00

Tabela 10. Estatísticas finais para o modelo de 5 fatores seleccionado para amostras de solo.

Fator Variável	1	2	3	4	5	Comunalidade
Ag	0.5839	-0.4104	0.2936	-0.2271	0.3651	0.78
Cu	0.4404	0.7105	0.0101	-0.3562	-0.1613	0.85
Pb	0.5723	0.3039	0.4214	0.4805	0.2093	0.87
Zn	0.8311	0.1077	-0.1880	0.0714	-0.2128	0.79
Mo	0.5689	-0.5890	0.0166	-0.0614	0.2412	0.73
Au	0.0773	0.5299	-0.6534	0.0081	0.5315	1.00
Sb	0.6512	-0.0555	-0.2717	0.5069	-0.2432	0.82
As	-0.6116	0.3989	0.2464	0.4306	0.1729	0.81
Bi	0.3212	0.7392	0.3358	-0.2407	0.094	0.82
% Variação	30.93	23.49	10.82	10.20	7.54	
% Acumulado	30.93	54.42	65.24	75.44	82.98	

A associação (Mo-Ag), representada por scores negativos, confirma a distribuição geoquímica individual do molibdênio em solos (Figura 24) e pode corresponder a uma mineralização do tipo porfirítico, que, ao que parece, ocorre em profundidade, na Meseta.

O fator SOL-3 (Pb-Bi-Ag)-(Au) explica 10,82 % da variância total dos dados (Tabelas 9 e 10). A associação (Pb-Ag-Bi), representada por scores positivos, reafirma a distribuição areal destes elementos nos solos e mostra forte semelhança com o fator ROC-1. Nas Figuras 33 e 34 nota-se que eles parecem marcar um halo envolvendo o setor da mineralização principal. A associação (Au), com um score negativo, reflete a distribuição distinta do ouro, decorrente da atividade hidrotermal dentro da Formação Saldaña.

O fator SOL-4 (Pb-Sb-As)-(Cu-Bi-Ag) explica 10,2 % da variância total (Tabelas 9 e 10). A associação (Pb-Sb-As), representada por scores positivos, confirma a distribuição geoquímica destes três elementos na forma de halos periféricos em relação à mineralização dominante já determinada pela interpretação univariada para as amostras de solos. A associação (Cu-Bi-Ag), representada por scores negativos, é similar ao fator ROC-1 e deve estar relacionada à mineralização de tipo *skarn* localizada a sul da Meseta.

O fator SOL-5 (Ag-Au) explica 7,54 % da variância total (Tabelas 9 e 10). Confirma-se a dispersão individual do ouro e da prata em amostras de solo, o que sublinha discretamente a presença,

na zona da Meseta, de mineralização de tipo porfirítico relacionada a corpos intrusivos.

4.5.2 Análises de Cluster.

O método de Cluster em Modo-R aplicado a amostras de rochas permite distinguir três grupos: (1) Ag-Mo (2) Cu-Bi e (3) Zn-Sb-Pb, como se observa no dendograma da Figura 35. Os outros elementos, Au e As, aparecem isolados, enquanto que Au apresenta-se próximo do terceiro grupo. Em termos gerais, os grupos definidos acima coincidem tanto com as associações de elementos estabelecidas pela análises univariadas como com os fatores encontrados pela análise fatorial. Assim, o grupo 2, Cu-Bi, é similar ao fator ROC-1 e pode representar a mineralização de tipo *skarn* aurífero, a sul da Meseta, já definida na análise univariada. O fator ROC-2 é constituído por molibdênio e os elementos que aparecem isolados no agrupamento da análise de Cluster. É preciso lembrar a importância de Mo como elemento indicador da provável mineralização de tipo pórfiro aurífero na Meseta. Os fatores ROC-3, ROC-4 e ROC-5 estão relacionados ao grupo 3 de Cluster, correspondendo à mineralização porfirítica na Meseta.

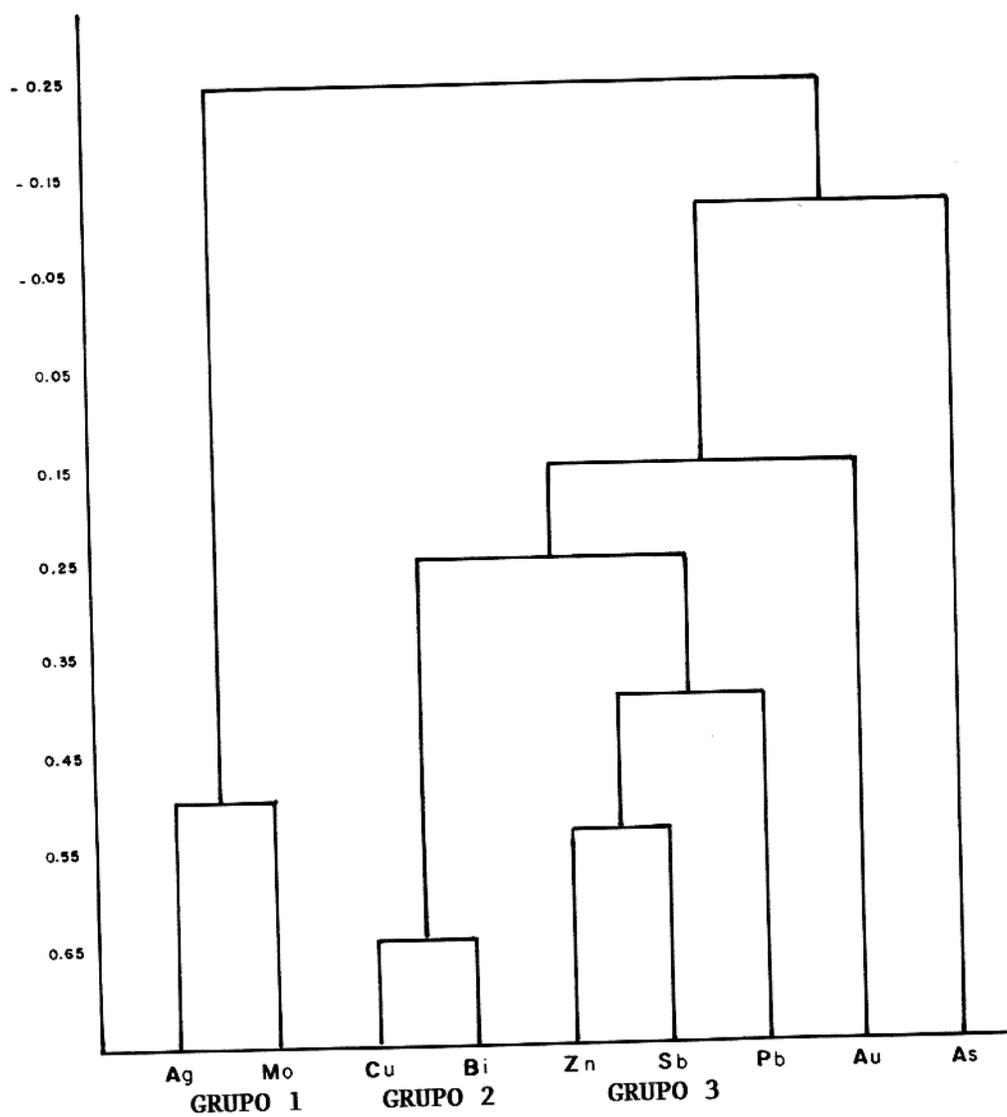


Figura 35. Dendrograma da análise de Cluster Modo-R para rochas.

Com todas as limitações devidas à menor dispersão de valores anômalos e ao número restrito de amostras, a análises de Cluster em modo Q (por amostras) para rochas permite diferenciar três grupos distintos, como se observa no dendograma da Figura 36, e mais um quarto grupo correspondendo a amostras com características particulares. Um mapa de localização das amostras diferenciadas é apresentado na Figura 37. Neste constata-se que os grupos de amostras 2 e 4 estão localizados principalmente nos arredores da Meseta e aparecem como representativos do *background* da área. Por outro lado, os grupos 1 e 3 apontam a zona da Meseta e o setor localizado a sul da mesma como locais de especial interesse em termos de concentrações minerais dos dois tipos propostos inicialmente. Da mesma forma, salienta-se a importância do corpo intrusivo do riacho Limoncito.

Na Figura 38 é apresentado o dendograma obtido através da análise de Cluster em Modo-R para solos que revela a existência de dois grupos de variáveis, quais sejam: (1) Ag-Mo-Cu-Bi e (2) Sb-Pb. Au, As e Zn aparecem como variáveis isoladas. O fator SOL-2 obtido por análise fatorial coincide com o grupo 1 da análise de Cluster, reafirmando a importância destes elementos na localização da mineralização de tipo *skarn*. O grupo 2 de Cluster está relacionado ao fator SOL-1, representando a mineralização do tipo porfirítico. Ressaltam-se aqui as associações Ag-Mo e Sb-Pb (grupos 1 e 2) que, como foi apontado pela análise univariada, caracterizam depósitos do tipo *skarn* aurífero a sul da Meseta e do tipo pórfiro aurífero na própria Meseta, respectivamente.

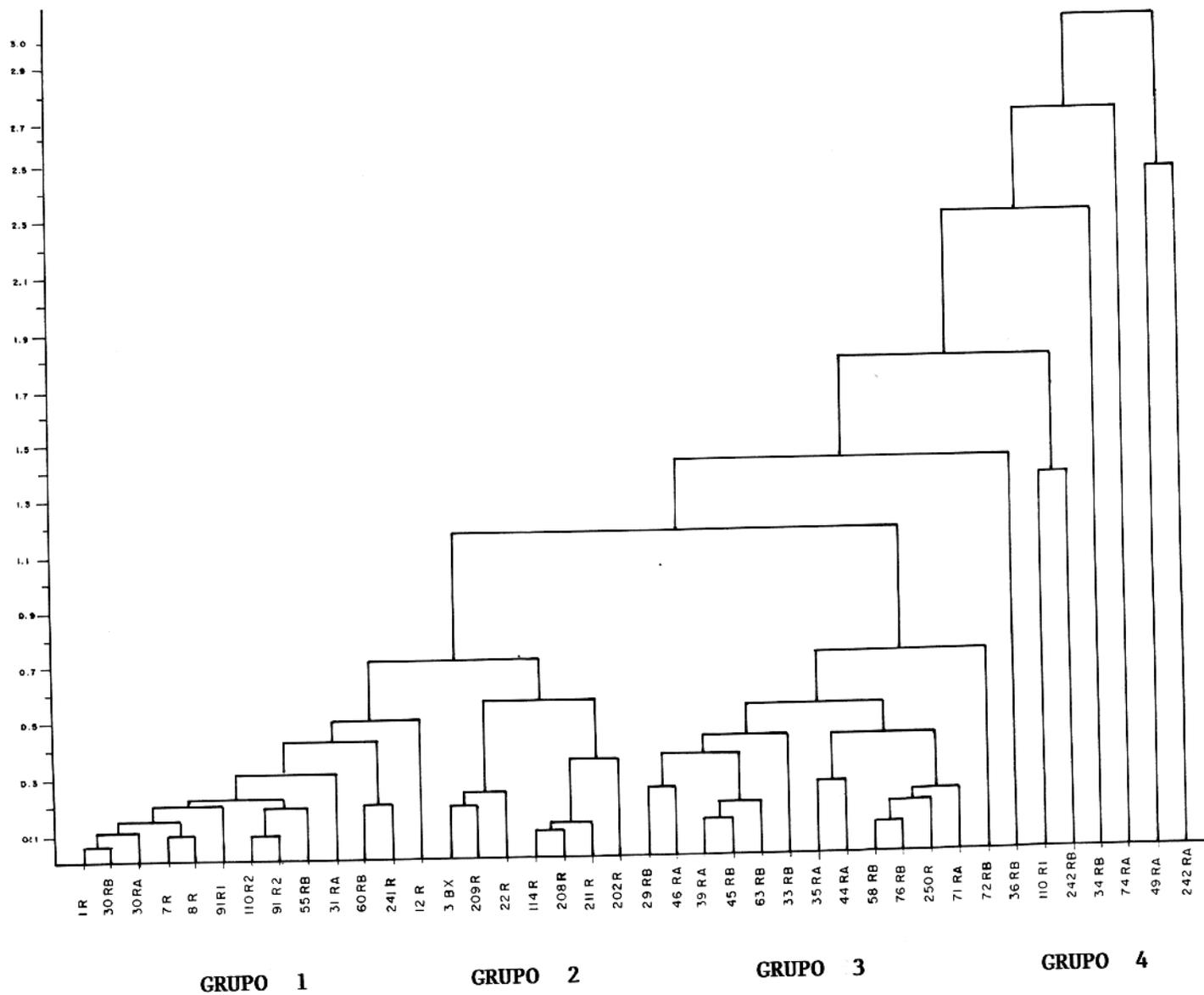


Figura 36. Dendrograma da análise de Cluster em Modo-Q para rochas.

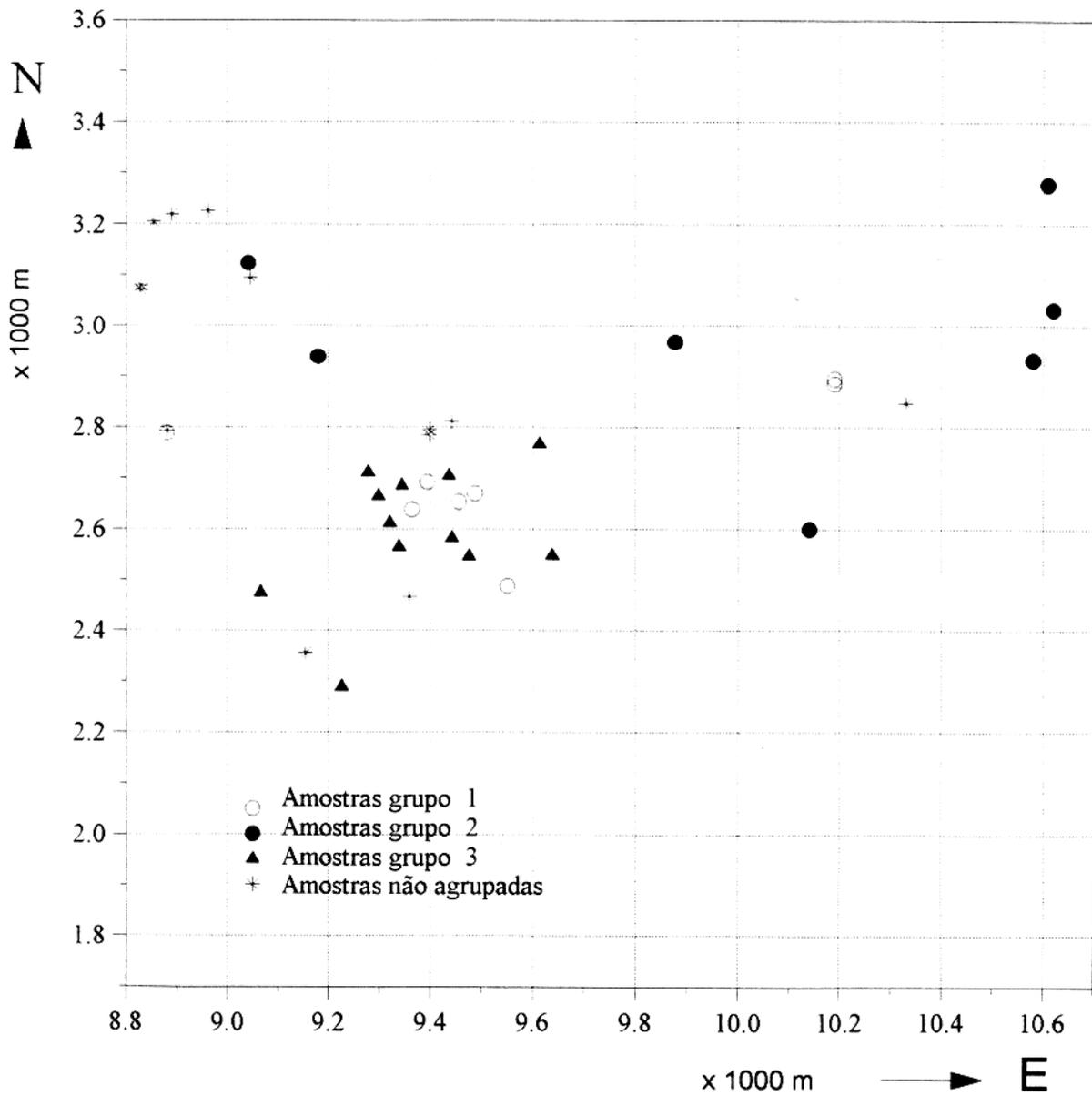


Figura 37. Mapa de localização das amostras de rochas segundo os grupos identificados pela análise de Cluster, Moda-Q

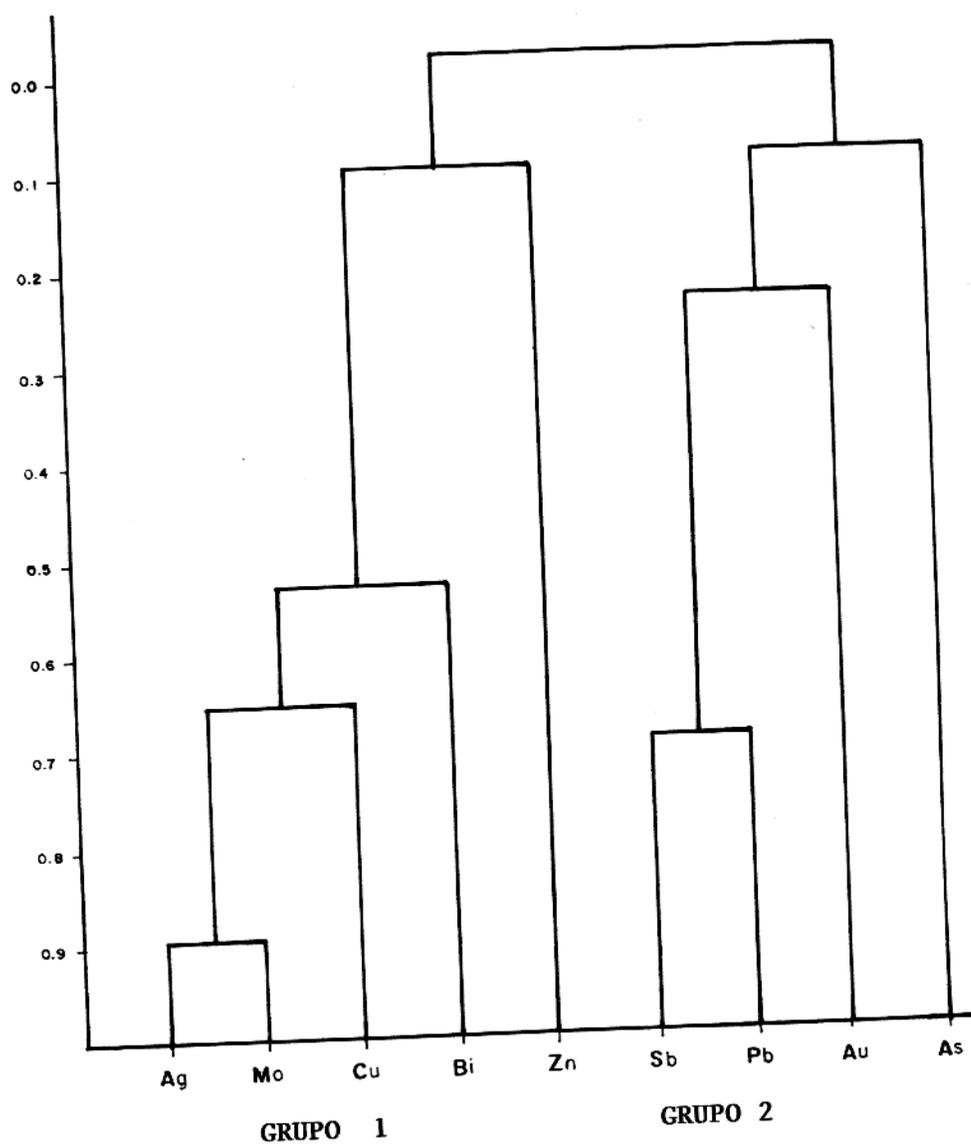


Figura 38. Dendrograma da análise em Modo-R para solos.

A aplicação da análise de Cluster em Modo-Q (para amostras) permite diferenciar 4 grupos de amostras. Na Figura 39 é apresentada a localização desses últimos. Observam-se três grupos principais. O grupo 1, corresponde às amostras não anômalas, ou seja, ao *background*. As amostras dos grupos 2 e 3 distribuem-se na zona da Meseta e nos seus arredores, delimitando a área de ocorrência provável dos depósitos sugeridos. Finalmente, o grupo 4 é composto de amostras que marcam uma zona periférica a leste-nordeste da Meseta.

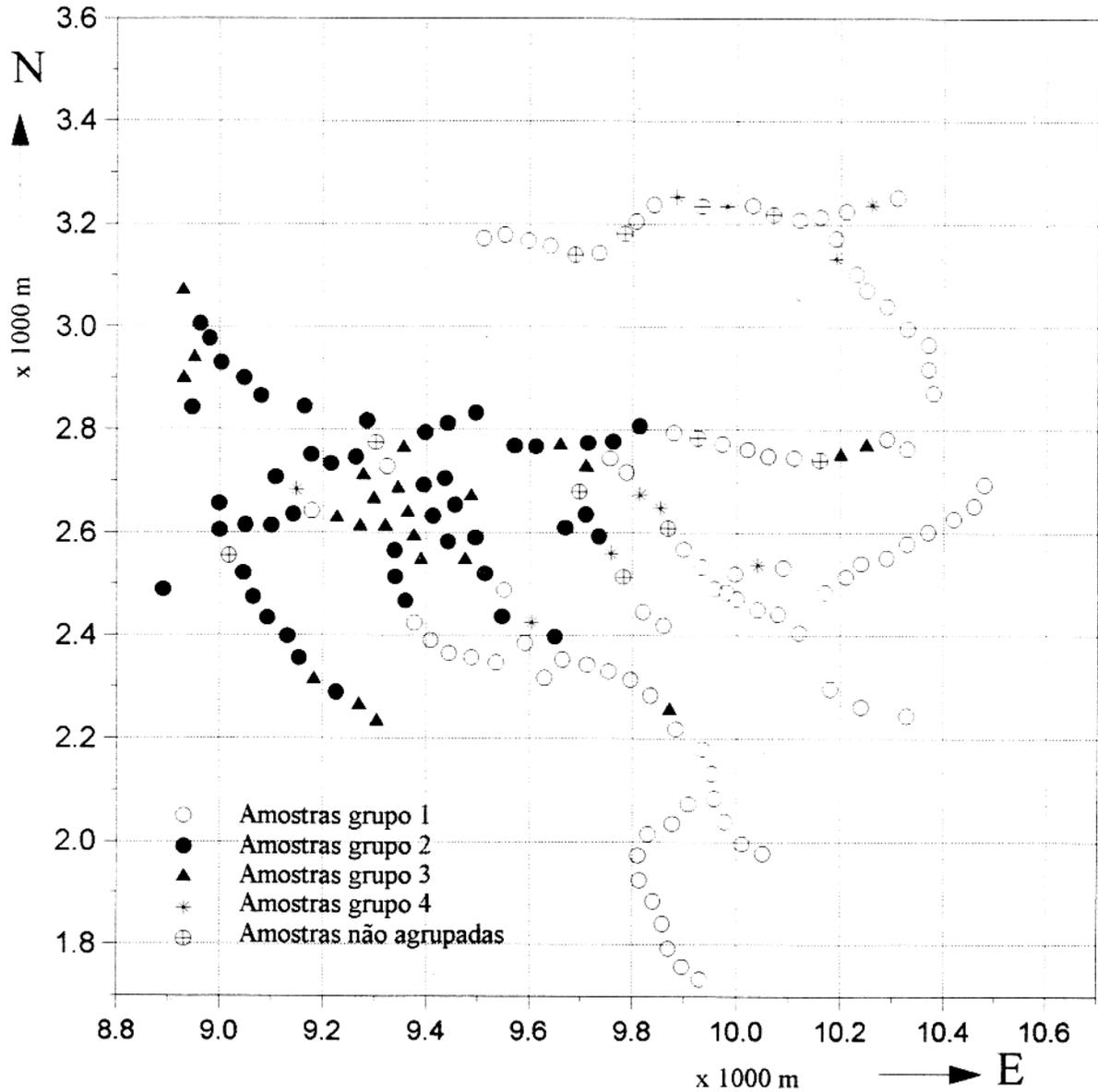


Figura 39. Mapa de localização das amostras de solos segundo os grupos identificados pela análise de Cluster, Moda-Q

5. CONCLUSÕES

A maioria dos elementos analisados apresentam uma distribuição log-normal.

Com base nos valores anômalos apresentados pelas amostras de rochas, foi possível distinguir na área em estudo três zonas de interesse:

- a Meseta, com provável mineralização de tipo pórfiro;
- O setor situado a 200 m a sul da Meseta, onde parece ocorrer uma mineralização de tipo skarn e
- um corpo intrusivo mineralizado próximo ao riacho Limoncito.

Os valores anômalos de Mo e Zn em solos assinalam com maior precisão uma mineralização do tipo porfirítico, enquanto que Bi e Cu são relacionados a uma mineralização de tipo skarn. Os elementos Pb, As e Sb constituem um halo externo, envolvendo a zona central onde aparece a maioria das anomalias.

Maiores concentrações de Au em zonas de provável ocorrência de depósitos porfiríticos e de skarn sugerem que a área em questão apresenta um relevante potencial econômico.

A análise fatorial com 5 fatores foi considerada como a mais favorável para a interpretação dos dados em rochas (explica 91,43% da variância) e em solos (explica 82,98% da variância).

Os fatores ROC-1 (Ag.Bi.Cu.Au.Pb) e SOL-2 (Bi.Cu.Au.As) sugerem uma mineralização do tipo skarn, localizada nos arredores da estação 49-R.

Os fatores ROC-2 (Mo.Zn.Au.Sb)/(As) e SOL-1 (Zn.Sb.Ag.Pb.Mo.Cu) corresponderiam, por sua vez, a uma mineralização do tipo porfirítico.

Através da análise de Cluster Modo-R para rochas foram definidos os agrupamentos Cu-Bi para ocorrências de tipo *skarn* e Ag-Mo para mineralizações pórfiríticas. Nos solos foram definidos dois grupos: o conjunto Ag-Mo-Cu-Bi, similar ao fator SOL-2, estaria assinalando uma mineralização do tipo *skarn* e Pb-Sb, similar ao fator SOL-1, refletiria um pórfiro mineralizado.

A análise de Cluster Modo-Q para solos e rochas destaca a área da Meseta como sendo de maior interesse para a continuação dos trabalhos exploratórios.

Para que possa ser confirmada a presença das mineralizações, os resultados geoquímicos devem ser confrontados com estudos geofísicos de polarização induzida e magnetometria, antes que sejam empreendidas perfurações exploratórias nos locais de interesse.

Neste trabalho foi observada a importância da aplicação de técnicas multivariadas (análise fatorial Modo-R e análise de Cluster Modos R e Q) na identificação das assinaturas geoquímicas de dois tipos de depósitos num mesmo ambiente geológico, e na seleção de áreas para fases posteriores de prospecção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOYLE, R.W. & JONASSON, J.R. 1973. The geochemistry of arsenic and its use as an indicator element in geochemical prospecting. *J. Geochem. Expl.*, 2:251-296
- BUENAVENTURA, A.J.; PRIETO, R.G.; MUÑOZ C.; RODRIGUEZ C.; CALDERON, J.I. 1994a. Evaluación Geoquímica e implementación de métodos geoquímicos para la exploración de metales base y asociados en el sur-occidente colombiano. Proyecto P93M13. Bogotá, INGEOMINAS. 204p.
- BUENAVENTURA, A.J.; RODRIGUEZ, M.A.; FORERO, H. 1994b. Evaluación geológica de áreas anómalas, Fase II. Subproyecto El Salitre. Bogotá, INGEOMINAS. 103p.
- CEDEÑO, C.J.; LESMES, L.E.; ESPINOSA, A. 1991. Selección y estandarización de un método para determinación de elementos traza en aguas. (No Prelo).
- DAVIS, J.C. 1986. *Statistics and Data Analysis in Geology*. New York, John Wiley. 646 p.

- ETAYO-SERNA, F. et al. 1986. Mapa de terrenos geológicos de Colombia. Bogotá, INGEOMINAS. 236 p. (Publicaciones Especiales, 14-1)
- GONZALEZ, L.M. & PRIETO, G. 1993. Manual de métodos analíticos de muestras geoquímicas. Recopilación. Bogotá. INGEOMINAS, Laboratorio de Geoquímica. (No prelo)
- GOVINDARAJU, H. 1994. 1994 compilation of working values and sample description for 383 geostandards. Geostandards Newsletters, 18:1-158. Special issue.
- HOFFMAN, S.J. 1986. The soil survey-Designing and exploration program. In: ROBERTSON, J.M. ed. Exploration Geochemistry: desing and interpretaion of soils survey. Reviews in Economic Geolgy. v. 3, cap.2. p.19-38.
- HOLLISTER, V.F. 1992. On a proposed plutonic Porphyry Gold deposit Model. Nonrenewable Resources. CES, 1(4)
- JACQUES J.M. & NICHOLLS E.V. 1960. Minerales de Cobre y Hierro, Mina Vieja (Payandé). Municipio de San Luis - Tolima. Bogotá, Ministerio de Minas y Petróleo. Servicio Geológico Nacional.
- MEIER, A.L. 1980. Flameless atomic-absortion determination of gold in geological materials. J. Geochem. Expl., 13(1):77-85

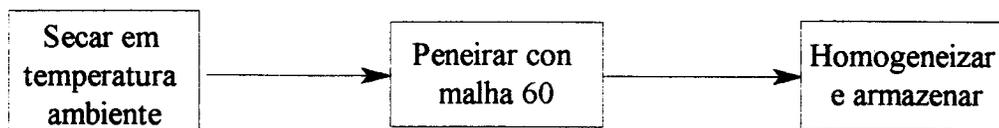
- MEINERT, L.D. 1989. Gold skarn Deposits-Geology and Exploration Criteria. In: **THE GEOLOGY of Gold Deposits: the perspective in 1988.** BRIAN J. SKINNER, EDITOR. p. 537-551. (Economic Geology Monograph, 6).
- MORÁVEK, P.; JANATKA, J.; PERTOLDOVÁ, J.; STRAKA, E. 1989. The Mokrsko Gold Deposit-the Largest Gold Deposit in the Bohemian Massif, Czechoslovakia. In: **THE GEOLOGY of gold deposits: the perspective in 1988.** BRIAN J. SKINNER, EDITOR. p. 252-259 (Economic Geology Monograph, 6).
- NACIONES UNIDAS. 1977. **Proyecto de Metales Básicos en las Cordilleras Central y Occidental, Colombia.** Informe técnico, 1-81. Nueva York.
- PULIDO, H.O.; VESGA, C.J.; LOZANO, H.Q.; MOSQUERA, D. 1976. **Mineralizaciones de molibdeno y Cobre en la vereda Andes, Municipio de Rovira, Tolima.** IBAGUE. INGEOMINAS 37p.
- SINCLAIR, A.J. 1974. Selection of threshold values in geochemical data using probability graphs. **J. Geochem. Expl.**, 3:129-149.
- SINEMUS, H.W.; MELCHER, M.; WELZ, B. 1981. Influence of valence state on the determination of Sb, As, Bi, Se y Te in lake water using the hydride A.A. technique. **Atomic Spectroscopy**, 2 (3):82-86.

- THEODORE, T.G.; ORRIS RETA, J.; HAMMARSTROM, J.M.; BLISS, J.D.
1991. Gold-bearing skarns. U.S. GEOLOGICAL SURVEY. Bulletin,
1930.
- THOMPSON, K.C.; NAKAGAWA, H.M.; VANSICKLE, G,H. 1968. Rapid
analysis for gold in geologic materials. U.S. Geol. Surv.,
Prof. Pap. 600-B:B130-133.
- TUKEY, J.W. 1977. *Exploratory Data Analysis*. Reading MA.,
Addison-Wesley. 506 p.
- VIETS, J.G., & O'LEARY, R.M., 1992. The role of atomic absorption
spectrometry in geochemical exploration. *J. Geochem. Expl.*,
44:107-138.

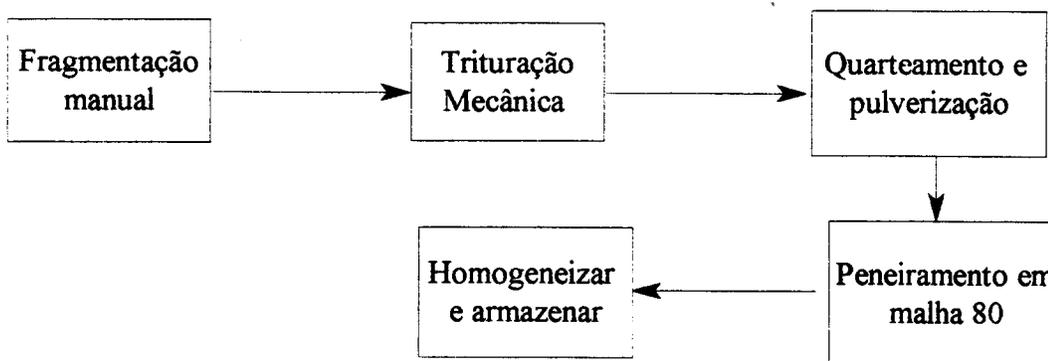
ANEXOS

Anexo A. PREPARAÇÃO E ABERTURA DE AMOSTRAS

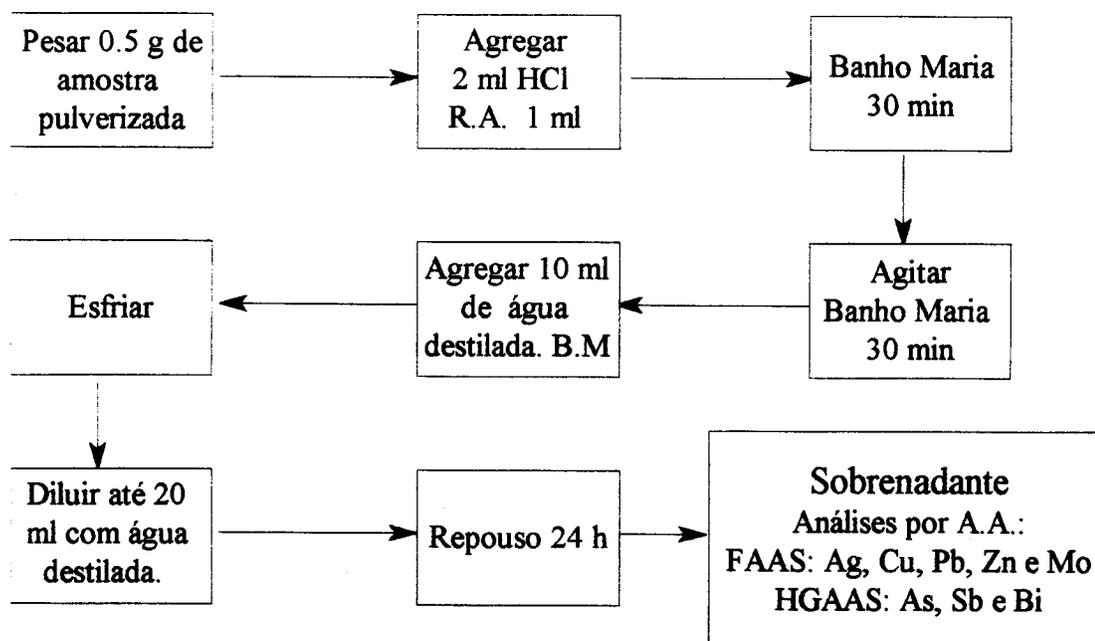
1. Preparação de solos



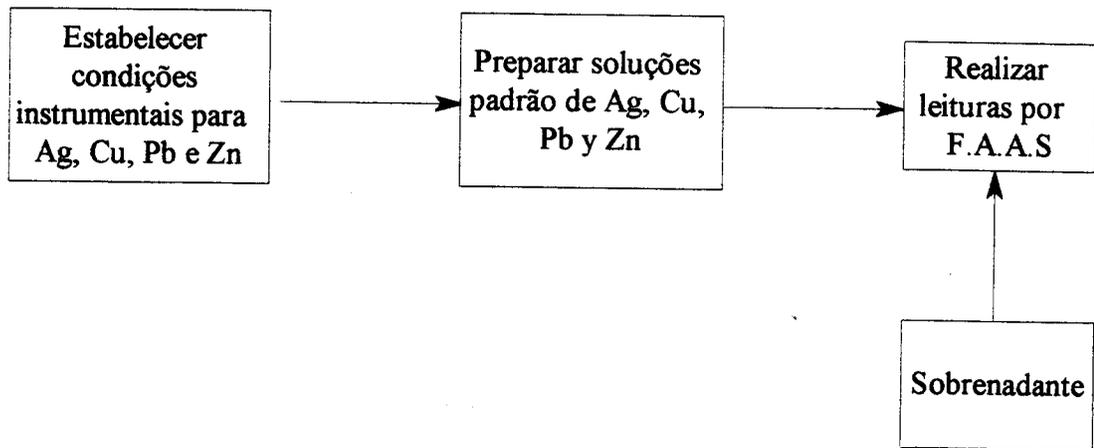
2. Preparação de rochas



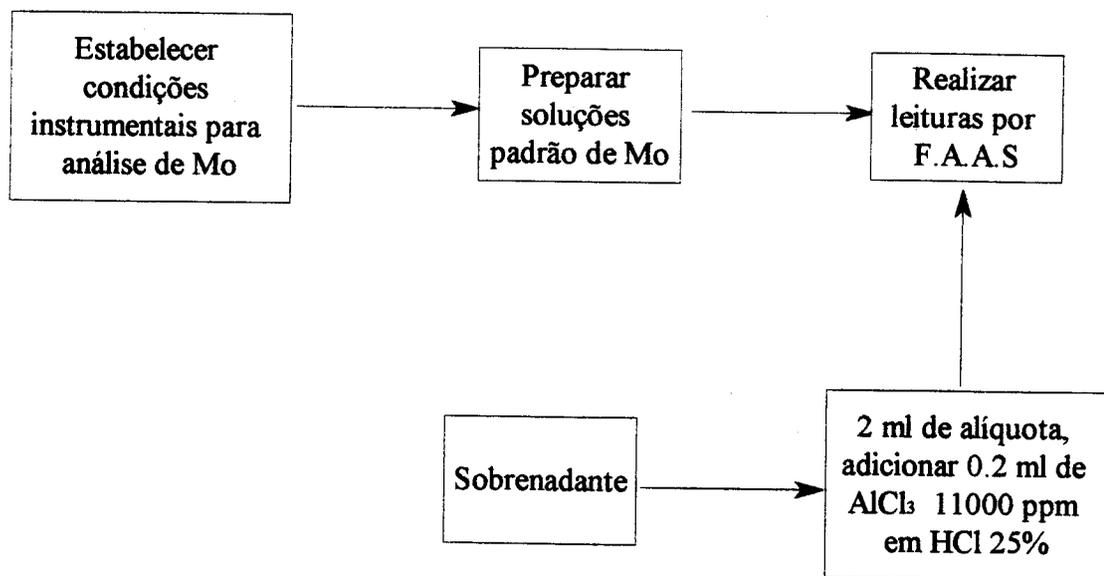
3. Abertura de solos e rochas



Anexo B. DETERMINAÇÃO DE As, Cu Pb e Zn
POR ABSORÇÃO ATÔMICA

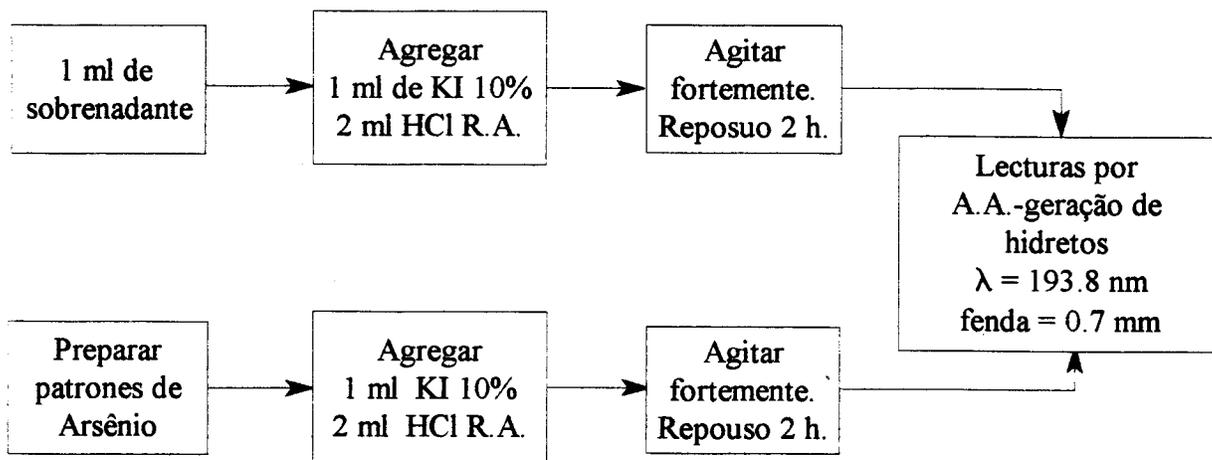


DETERMINAÇÃO DE Mo POR
ABSORÇÃO ATÔMICA

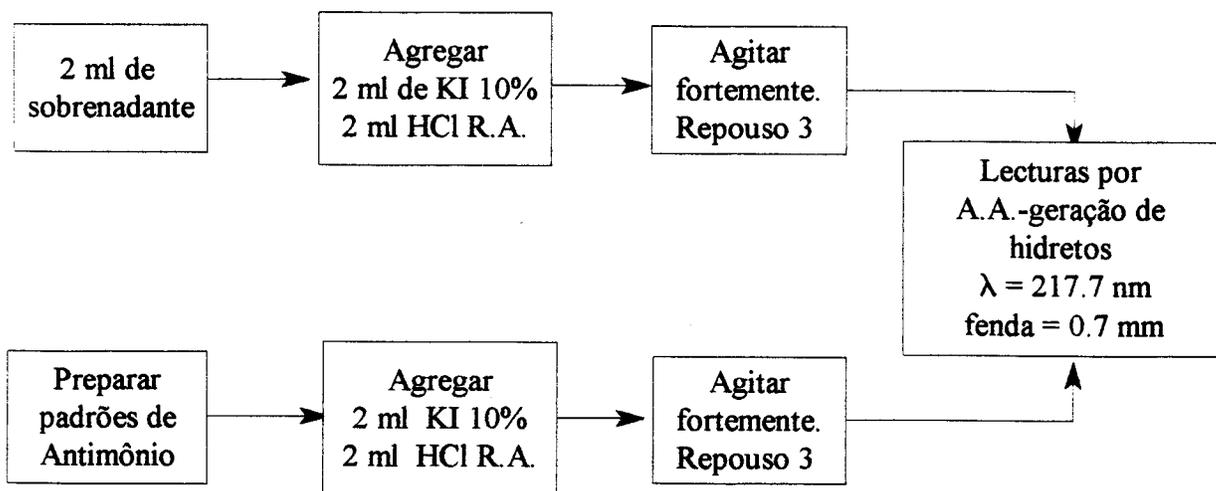


Anexo C. DETERMINAÇÃO ANALÍTICA DE As, Sb e Bi
POR ABSORÇÃO ATÔMICA-GERAÇÃO DE HIDRETOS

1. Arsênio



2. Antimônio



3. Bismuto

