UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005123

PROSPECÇÃO LITOGEOQUÍMICA NA MINA DO
PERAU, PARANÁ

Arlei Benedito Macedo

Orientador: Prof. Dr. Aledir Paganelli Barbour

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO EXAMINADORA

nome

ass.

Presidente:

Dr. A.P. Barbour

Examinadores:

Dr. G.R. Sadowski

Dr. J.B. Moreschi

Dr. R. Maranhão

Dr. E.C. Damasceno

Aledir Paganelli Barbour
Arlei Benedito Macedo
José Benedito Moreschi
Roberto Maranhão
Eduardo C. Damasceno

São Paulo

1986

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROSPECÇÃO LITOGEOQUÍMICA NA MINA DO PERAU, PARANÁ

ARLEI BENEDITO MACEDO

Orientador: Prof. Dr. Aledir Paganelli Barbour

TESE DE DOUTORAMENTO

Área de Concentração: Geologia Geral e de Aplicação

São Paulo

1986

Í N D I C E

RESUMO	IV
ABSTRACT	V
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Localização	2
1.2 - Histórico da Mineração	2
1.3 - Trabalhos anteriores	4
1.4 - Objetivos e Atividades	9
2 - PROSPECÇÃO LITOGEOQUÍMICA DE SULFETOS MACIÇOS	11
2.1 - Introdução	11
2.2 - Sulfetos maciços e mineralizações relacionadas .	16
2.3 - Prospecção litogeoquímica de Sulfetos Maciços em Escala Regional	20
2.4 - Prospecção litogeoquímica de Sulfetos Maciços em Escala Local e de Mina	22
2.5 - Conclusões operacionais	28
3 - TÉCNICAS DE TRATAMENTO DE DADOS	31
3.1 - Técnicas univariadas	31
3.1.1 - Descrição numérica das distribuições de fre- quência	31
3.1.2 - Testes de normalidade e log-normalidade	32
3.1.3 - Comparação entre distribuições	32
3.2 - Estudo de Correlação Simples	32
3.3 - Métodos multivariados	35
3.3.1 - Análise de superfícies de tendência	37
3.3.2 - Análise de agrupamentos	39

3.3.3 - Regressão Múltipla	40
3.3.4 - Análise discriminante	44
3.4 - Processamento eletrônico dos dados	47
4 - ESBOÇO GEOLÓGICO REGIONAL	50
5 - GEOLOGIA LOCAL	56
5.1 - Introdução	56
5.2 - Gnaisses e xistos	58
5.3 - Quartzitos	58
5.4 - Rochas carbonáticas e suas intercalações	59
5.5 - Xistos	61
5.5.1 - Quartzo-biotita-muscovita-xistos	61
5.5.2 - Quartzo-sericita-xistos	62
5.5.3 - Magnetita-sericita-xistos	62
5.5.4 - Calcio-xistos	62
5.6 - Anfibolitos	63
5.7 - Diques básicos	65
5.8 - Formações quaternárias	66
5.9 - Metamorfismo	66
5.10 - Estruturas	66
5.11 - Estratigrafia	67
6 - A JAZIDA DO PERAU	69
6.1 - Minérios de cobre	69
6.2 - Minérios de chumbo	70
6.3 - Hipóteses genéticas.....	74
7 - O HALO PRIMÁRIO	77
7.1 - Origem dos dados	77
7.2 - Estudo dos teores do minério de chumbo	77
7.3 - Amostras de superfície	101
7.3.1 - Descrição dos grupos e testes estatísticos uni variados	101

7.3.2 - Comparação entre distribuições	103
7.4 - Comportamento individual dos elementos	103
7.4.1 - Comentários sobre cada elemento	112
7.4.2 - Considerações	118
7.5 - Correlação e análise de agrupamentos	122
7.6 - Análise de Regressão	125
7.7 - Análise Discriminante	135
7.8 - Comparação dos resultados	136
8 - O HALO SECUNDÁRIO	141
8.1 - Introdução	141
8.2 - Estudo orientativo	141
8.3 - Estudo de detalhe	141
8.4 - Trabalhos da JICA/MMAJ	145
8.5 - Considerações	147
9 - CONCLUSÕES	148
9.1 - Conclusões gerais	148
9.2 - Conclusões para prospecção	149
9.3 - Recomendações para prospecção	150
AGRADECIMENTOS	152
BIBLIOGRAFIA	153

RESUMO

A jazida do Perau situa-se no município de Adrianópolis, 30 km a Sul da divisa São Paulo-Paraná. Consiste de galena, pirita, calcopirita e blenda como minerais de minério principais, com uma reserva inferida de 1,9 milhões de toneladas de minério, com 4% de Pb, 2% de Zn e 85 g/t de Ag, além de uma mineralização associada de 830 000 t de minério com 2% de cobre. O corpo de minério de chumbo está encaixado em rochas calciossilicáticas, estando estas assentadas sobre quartzitos e cobertas por xistos com intercalações de anfibolitos, compondo todo este conjunto a formação Perau do Grupo Setuva, que se encontra sobreposta a xistos e gnaisses do embasamento pré-Setuva. O minério apresenta zoneamento, com aumento de Zn para NW, de Pb, Ag e Au para SE e de cobre para NE, revelados por análise de superfícies de tendência. O halo geoquímico em rocha, estudado por gráficos teor-distância à mineralização, análise de agrupamentos, regressão múltipla e análise discriminante, mostra forte enriquecimento, com a proximidade da mineralização, dos teores de La, B, e Cu na lapa e de Pb, B, Mg, Cu e K na capa, e forte empobrecimento de Co e Sn na lapa e de Sn, Zn, Be, Ni, Cr e Mo na capa. O comportamento dos elementos e o controle estratigráfico e estrutural da jazida reforçam a interpretação da sua gênese como sedimentar-exalativa. O halo secundário da mineralização em solo é expresso nos teores de Cu, Pb e Zn. O custo de detecção do halo em solo e rocha é aproximadamente o mesmo, sendo recomendada a coleta de amostras de rocha em perfis perpendiculares às estruturas principais, com espaçamento entre amostras de 100 m, integrada a levantamento geológico. Devem ser analisados pelo menos Cu, Pb, Zn, B, Mg, K, Fe, Mn e Ca.

ABSTRACT

The Perau deposit is located in Adrianopolis township, 30 km south of the São Paulo-Paraná border. The ore is mainly composed by galena, pyrite, chalcopyrite and sphalerite, and has an inferred reserve of 1.9 million metric tons, with 4% Pb, 2% Zn and 85 g/t Ag, and an associated copper deposit with 830 000 metric tons of ore with 2% Cu. The stratabound orebody is intercalated in calc-silicatic rocks, underlain by quartzites and overlain by mica-schist with intercalations of amphibolites, this sequence forming the Perau formation of Setuva group, underlain by pre-Setuva schists and gneisses. The ore body displays zoning, revealed by trend surface analysis, with Zn increasing to NW, Pb, Ag and Au to SE and Cu to NE. The geochemical halo in rock was studied by concentration-distance to ore diagrams, cluster analysis, multiple regression and discriminant analysis. At short distances to ore there is strong enrichment of La, B, and Cu in footwall rocks and Pb, B, Mg, Cu and K in hangingwall rocks. The behavior of chemical elements and the stratigraphical and structural controls of the deposit support the sedimentary-exhalative origin. The secondary halo in soils is expressed in Cu, Pb and Zn concentrations. The cost of detection of the halo in rocks and soils is nearly the same for the two sampling media. The sampling of rocks in traverses perpendicular to the main structures, with sample spacing of 100 m, integrated with geological survey, and analysis for Cu, Pb, Zn, B, Mg, K, Fe, Mn and Ca are recommended.

1 - INTRODUÇÃO

A prospecção geoquímica tem sido empregada para a descoberta de mineralizações na província mineral do vale do Ribeira pelo menos desde 1955 (Melcher, 1960). Foram feitas análises de solo (Melcher, op. cit., Damasceno, 1967, Souza, 1972, Macedo et alii, 1981, entre outros), e sedimentos de corrente (Addas e Da Vinha, 1975, Morgental et alii, 1978), sempre com bons resultados. Em todos os trabalhos de mapeamento e prospecção são coletadas amostras de rocha, algumas são analisadas quimicamente, mas até agora não foi efetuada na região nenhuma pesquisa visando verificar a eficiência da prospecção litogeoquímica na descoberta de mineralizações de chumbo. Estas mineralizações podem ser classificadas segundo dois tipos: Painéis e Perai (Fleischer, 1976). As do tipo Painéis são epigenéticas, e geralmente ocorrem como veios discordantes em calcários; as do tipo Perai são singenéticas, concordantes e estão encaixadas em rochas calciossilicáticas. A prospecção litogeoquímica de veios de sulfetos discordantes, principalmente em calcários, geralmente oferece resultados inferiores à prospecção por outros meios de amostragem, devido ao halo primário ser de muito pequena extensão (Govett, 1983). As mineralizações de sulfetos denominadas genericamente "sulfetos maciços", concordantes, singenéticas e geralmente interpretadas como resultantes de processos exalativos submarinos, estão entre as que melhores resultados oferecem para este tipo de prospecção (Govett, op. cit). A mineralização do Perai tem sido interpretada como de origem exalativa vulcanogênica (Fleischer, op. cit), sedimentar (Barbour & Oliveira, 1978) e exalativa sedimentar (R.B. Silva et alii, 1982), o que a enquadra como apresentando boas condições para o emprego da prospecção por análise de rochas. O horizonte litoestratigráfico ao qual está associada (formação Perai) tem a extensão de dezenas de quilômetros, acompanhando as bordas do anticlinório da Anta Gorda e se correlaciona a outras ocorrências a Sul com contexto litoestratigráfico semelhante (Fritzsons

et alii, 1982). A descoberta de processos litogeoquímicos eficientes para prospecção no contexto geológico da mina do Perau pode aumentar as possibilidades da detecção de novas mineralizações em toda a área de ocorrência da formação Perau.

1.1 - Localização

A mina do Perau está situada no município de Adrianópolis, Paraná, aproximadamente a 30 km a sul da divisa do Estado de São Paulo (fig. 1). O acesso à mina é feito por estrada de terra, a partir do km 39 da BR-376 (estrada velha São Paulo-Curitiba) por 12 km, ou de Adrianópolis, por 30 km pela estrada do Perau, margeando o Ribeirão Grande até a barra do Ribeirão do Perau e prosseguindo 1 km por estrada particular da mina.

1.2 - Histórico da Mineração

A primeira mineralização descoberta na área foi a de cobre, aproximadamente em 1920, a qual foi lavrada durante a segunda guerra mundial (Souza, 1972). A partir de 1965 a jazida foi explorada pela Eletro São Marco Ltda (sucedida por sua subsidiária Mineração Perau S/A) sendo inicialmente efetuadas pesquisas para cobre, iniciando-se a lavra de chumbo em 1974, a céu aberto, passando em 1977 à lavra subterrânea. Atualmente existem 5 galerias principais, tendo quatro delas aproximadamente 500 m cada e a mais nova 100 m. O desmonte é auxiliado por sub-níveis e chaminês (ver esquema no anexo III). De 1975 a 1985 já tinham sido mineradas 179075 toneladas de minério, com 11245 t de chumbo contido (I.M. Souza, com. pessoal).

A reserva medida é de 267 842 t de minério com 4,73% Pb, a indicada 215 265 t com teor de 4,92% de Pb, e inferida de 91 020 t com 4,73 % de Pb, em 1985. (I.M. Souza, com. pessoal) Além desta reserva oficial os furos efetuados pelo convênio DNPM-JICA confirmaram a extensão da mineralização para Sudoeste sendo estimadas 1,2 milhões de toneladas de minério, com teor

médio de 4% de Pb, 2% de Zn e 85 g/t de Ag (Daitx, 1985).

1.3 - Trabalhos anteriores

Embora já minerada desde a terceira década do século, apenas em 1956 aparece a primeira referência bibliográfica sobre a jazida de cobre do Perau, em Moraes (1956, citado em Souza, 1972) que a considera de origem hidrotermal, com minério composto de cuprita, malaquita, calcopirita e calcantita, e teor de cobre metálico de 10 a 15%.

Marini e Leprevost (1967) fazem breve referência à ocorrência do Perau, citada entre outras como parte dos recursos minerais do grupo Açungui.

Davino e Kadokaru (1969) efetuaram medidas geofísicas pelo método do potencial espontâneo, como parte das pesquisas para cobre. Obtiveram anomalias, não confirmadas em sondagens como indicadoras de minério e que poderiam, segundo aqueles autores, ser causadas por eletrofiltração.

Souza (1970) apresentou o esboço geológico das ocorrências de cobre, sugerindo sua origem hidrotermal, o que seria sugerido pelos minerais metálicos ocorrerem em veios de quartzo.

Melcher et alii (1971) apresentaram a geologia da folha de Apiaí, abrangendo a área do Perau.

Souza (1972) descreve a mineralogia da jazida de cobre do Ribeirão do Perau, que será melhor comentada adiante, e conclui dizendo que a gênese da jazida não pode ser explicada pela teoria magmática-hidrotermal clássica, admitindo a hipótese de deposição sedimentar e posterior reconcentração. Nesse trabalho é relatada a primeira pesquisa geoquímica efetuada na área da mina do Perau, que constou da coleta de 364 amostras de solo e sua análise para cobre por colorimetria, com resultados confirmados pela ocorrência de minerais de cobre em trincheiras abertas nos locais anômalos.

No Projeto Sudeste (DNPM/CPRM, 1972) foram descritas a geologia e mineralizações do vale do Ribeira, incluindo a

mina do Perau. A partir de sua experiência naquele Projeto, Algarte (1976) considerou o depósito de chumbo do Perau de natureza sedimentar metamórfica e caráter estratiforme.

Fleischer (1976) considerou a jazida do Perau distinta das outras do vale do Ribeira, as quais seriam de origem metamórfica-hidrotermal. A jazida foi definida como plumbo-baritífera com cobre subordinado, estratiforme encaixada em sequência vulcano-sedimentar dobrada e metamorfizada, com gênese do tipo distal Kuroko.

Souza e Campanha (1977) descreveram as jazidas de cobre e chumbo e consideraram que a grande extensão da mineralização, concordantemente ao acamamento reliquiar, e sua posição estratigráfica precisa constituíam evidências importantes para a hipótese da origem primária sedimentar do chumbo na região.

Alves et alii (1977) realizaram mapeamento de detalhe e levantamento geoquímico da área da mina, analisando 418 amostras de solo para Cu, Pb e Zn por absorção atômica. Mostraram a continuidade do halo geoquímico em superfície, indicando a continuidade da mineralização a sul da zona de afloramento da camada mineralizada.

Barbour & Oliveira (1979) descreveram a geologia e a mineralização do Perau, baseando-se em dados de superfície e subsuperfície, sendo este o primeiro trabalho efetuado após o início da operação subterrânea. Além da descrição do minério e encaixantes mostraram que havia um halo geoquímico caracterizado pelo aumento dos teores em elementos-minério nas rochas próximas ao nível mineralizado. Além disso apresentaram e ressaltaram a importância das feições indicativas de processos sedimentares, tais como a textura e estrutura dos minerais de minério e das encaixantes, a existência de brechas intraformacionais e metaconglomerados e o zoneamento dos elementos-minério, explicável pela paleogeografia da bacia de deposição, zoneamento este que consideraram correlacionável ao zoneamento de matéria orgânica, barita, filitos e calcoxistos. Assim interpretaram o minério como de origem sedimentar, depositado em bacia com sua

parte mais rasa situada a noroeste, aprofundando-se para sul e leste, sendo posteriormente remobilizado por metamorfismo. Os autores consideraram como metalotetos as seguintes feições, colocadas na sequência a empregar para prospecção de sulfetos sedimentares na região:

- 1) metassedimentos da formação Setuva;
- 2) Calcoxistos com fácies carbonáticas mais puras, em parte magnesianas - passagens de fácies clásticas para químicas-filitos;
- 3) níveis carbonosos;
- 4) níveis de barita;
- 5) produtos de alteração dos sulfetos de Cu, Pb e Zn.

No período de 1977 a 1978 foi efetuado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais um extenso levantamento geoquímico por sedimentos de corrente, abrangendo toda a província mineral do vale do Ribeira (Projeto Geoquímica no Vale do Ribeira, Morgental et alii, 1978). Foram coletadas 1.062 amostras, em uma área de 11.200 km². Elas foram analisadas para Cu, Pb, Zn, Ag, Co, Ni, Fe e Mn. Não foram detectadas anomalias associadas diretamente à mina do Perau, por não ter sido efetuada a amostragem nas drenagens da área, para evitar a contaminação.

A província mineral foi mais detalhadamente pesquisada pela CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais em convênio com o DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral através do projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira, cujos resultados são apresentados em extenso relatório (Batolla Jr. et alii, 1981). A região do Perau foi mapeada a 1:25.000 por Takahashi et alii, 1981) e a área da mina foi estudada detalhadamente, com mapeamento a 1:5.000 e estudo do minério, por C.R. Silva (1981 a); foi efetuado um levantamento geoquímico de solos e sedimentos de corrente, por Macedo (1981, 1982) detalhado no capítulo 8 desta tese. Um resumo dos resultados do projeto na área pode ser encontrado nos trabalhos de

C.R. Silva et alii (1982), Macedo et alii (1981) e Macedo (1982). Estes trabalhos contribuíram para o conhecimento do posicionamento regional da jazida do Perau, mostrando a continuidade do nível mineralizado por dezenas de quilômetros e a estreita analogia entre o contexto do Perau e o da mina da Água Clara (descrita por C. R. Silva, 1982b) e da ocorrência de Pretinhos, situadas no mesmo nível. A gênese do depósito foi interpretada como sedimentar-exalativa, tipo encaixante carbonática. Pelo levantamento geoquímico (778 amostras de solo e dez de sedimentos de corrente) foi possível determinar anomalias até 2 km a sul e 4 km a nordeste da mina, comprovando o potencial e a continuidade do nível calciossilicático. Infelizmente o projeto foi interrompido por falta de verbas, não tendo sido concluído o levantamento das galerias nem efetuados os trabalhos de escavação e sondagem previstos.

Os trabalhos efetuados pelos geólogos da MINEROPAR, parte dos quais relatados em Piekarz (1981), Fritzsons Jr. et alii (1982) e Piekarz (1984), levaram à descoberta de que as rochas por eles denominadas Sequência Perau (Piekarz, 1981) e posteriormente Formação Perau (Fritzsons Jr. et alii, 1982), englobando as rochas calciossilicáticas mineralizadas, os quartzitos subjacentes e os xistos e anfibolitos sobrejacentes, têm uma extensão muito maior que a anteriormente conhecida, aflorando em núcleos situados até a mais de uma centena de quilômetros da área da mina. Pesquisas efetuadas no núcleo do Betara levaram à descoberta de ocorrências de minerais de cobre e chumbo, atualmente em avaliação (Piekarz, 1984).

De 1980 e 1984 foram efetuados trabalhos em convênio entre o Departamento Nacional da Produção Mineral e a Japan International Cooperation Agency, com a execução a cargo da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais e a Metal Mining Agency of Japan, constituindo o Projeto Anta Gorda, cujos resultados são relatados em quatro relatórios (JICA-MMAJ 1981, 1982, 1983, 1984a) e resumidos num relatório sintético (JICA-MMAJ, 1984b).

Foram estudadas as áreas produtoras de chumbo de São Paulo e Paraná, sendo efetuados no Perau levantamentos geológico, geoquímico de solos, geofísico (magnetometria, gravimetria, e polarização induzida simples (IP) e multiespectral (SIP), e sondagens. Os resultados foram apresentados em mapas a 1:25.000 e 1:10.000, perfis de galerias, perfis de sondagem e perfis sintéticos. Em relação aos trabalhos anteriores foi melhor definida a estrutura da camada mineralizada e das encaixantes e comprovada por sondagens a extensão sudoeste da mineralização, já suspeitada anteriormente mas não comprovada pelo corte dos recursos do projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira. A gênese do depósito foi considerada como "deposição singenética a partir de solução de baixa temperatura associada à atividade ígnea básica" e a sequência mineralizada atribuída ao Grupo Açungui.

R.B. Silva et alii (1982), analisando os tipos de mineralizações no vale do Ribeira apresenta uma comparação de características da mina do Perau com aquelas típicas das jazidas do tipo exalativo sedimentar, mostrando sua estreita semelhança.

A gênese sedimentar foi novamente atribuída à jazida do Perau por Lopes (1982, 1983), associando a metalogênese à evolução paleogeográfica, e às intrusivas básicas, atuais anfibolitos.

Chiodi F? (1984) efetuou a síntese da geologia regional, enfatizando o caráter aulacogênico da evolução geológica do grupo Setuva, no qual inclui a formação Perau.

Hasui et alii (1984) declararam ser extremamente difícil a reconstrução paleogeográfica e o empilhamento original dos metassedimentos, dada a intensa deformação sofrida por todos os constituintes do que denominaram complexo Setuva. Esta dificuldade, e a grande discordância entre os autores (e em alguns casos, entre os diversos trabalhos do mesmo autor) são também apontadas na síntese feita por Daitx (1985).

1.4 - Objetivos e Atividades

Considerando a natureza dos problemas de prospecção de uma jazida como a do Perau o estudo aqui apresentado foi feito com os seguintes objetivos, a serem alcançados pelas atividades indicadas:

- a - *determinar a natureza do halo geoquímico em rocha e solo , na área de influência da mineralização de chumbo do Perau.*

Atividades: - levantamento de análises já efetuadas
 - reamostragem
 - análise química
 - processamento dos dados

- b - *verificar a contribuição que pode ser fornecida pelo estudo do halo geoquímico para a elucidação dos processos que deram origem à mineralização.*

Atividade: - comparação do halo detectado com os halos exibidos pelas mineralizações padrões dos diversos tipos genéticos.

- c - *determinar os parâmetros para prospecção geoquímica de jazidas do tipo da do Perau em contextos geológicos e ambientais (solo, clima, vegetação, relevo) semelhantes, em especial:*

- elementos a analisar
 - espaçamento da amostragem
 - processos de cálculo e interpretação
 - custo comparativo dos diversos meios de amostragem, em especial rocha e solo

Atividades: - determinar os elementos que melhor definem o halo geoquímico em rocha.
 - verificar o tamanho do halo definido e a densidade de amostragem necessária para detectá-lo.

- verificar os processos de cálculo e interpretação necessários, procurando os mais simples e diretos
- verificar o custo da detecção de um halo como o da mina do Perau por amostragem e análise de rocha e por outros meios de amostragem (solo e sedimentos de corrente).

2 - PROSPECÇÃO LITOGEOQUÍMICA DE SULFETOS MACIÇOS

2.1 - Introdução

A prospecção geoquímica visa a descoberta de depósitos minerais através de detecção de padrões anômalos de distribuição dos elementos químicos nos materiais componentes da Terra. A formação dos halos definidos por estes padrões é consequência das mineralizações, podendo ser eles formados pelos mesmos processos que causaram a mineralização (halos primários ou por alterações posteriores à deposição do minério (halos secundários). Esta classificação não é absoluta, pois o mesmo halo pode ter origem mista e os próprios depósitos podem ser originados e alterados em ciclos sucessivos de mineralização. Além disso, a variação litológica causa variações nos teores, que deve ser compensada para que possam ser descobertos os halos. A detecção dos halos é feita pela descoberta de anomalias nos teores dos elementos químicos em amostras de materiais terrestres, no caso mais simples por teores mais altos dos elementos-minério ou elementos indicadores (anomalias positivas), ou teores mais baixos dos mesmos elementos (anomalias negativas), ou padrões mais complexos, apenas detectáveis pelo estudo conjunto do comportamento de vários elementos e pela integração dos dados químicos aos geológicos. Uma discussão dos métodos estatísticos é apresentada em capítulo próprio.

Os métodos de pesquisa geoquímica podem ser divididos, adaptando e alterando a divisão de Boyle (1984):

- a - Métodos litogeoquímicos: que visam a detecção de halos primários e de halos formados por migração dos elementos procurados por fraturas, zonas de cisalhamento e camadas permeáveis, através da análise de rochas frescas, minérios, minerais de ganga e produtos de alteração intempérica e deutérica. Estes métodos serão comentados com mais detalhes adiante.
- b - Métodos pedogeoquímicos: que utilizam a análise de materiais

de formações superficiais (solos, coberturas aluviais, eólicas e glaciais, etc.), e visam principalmente à detecção de halos secundários e de migração. Apresentam sobre os métodos litogeoquímicos as vantagens de atuarem sobre halos mais extensos e terem menor custo de amostragem, e a vantagem da necessidade do halo estar expresso na superfície. São os métodos geoquímicos mais utilizados.

- c - Métodos hidrogeoquímicos: que estudam a dispersão geoquímica em águas superficiais e subterrâneas, precipitados destas águas, sedimentos fluviais, lacustres e marinhos, e concentrados destes materiais. São os mais utilizados para estudos regionais, pois as amostras contêm material de toda a bacia da captação da água ou sedimento, permitindo amostragem representativa de baixa densidade.
- d - Métodos biogeoquímicos: que empregam diversos efeitos das mineralizações nos seres vivos, seja através de teores anômalos nos tecidos de animais e plantas, seja através de efeitos no crescimento dos seres vivos e na sua distribuição. Apresentam, à semelhança dos hidrogeoquímicos, a possibilidade da amostragem representativa de baixa densidade, mas oferecem consideráveis dificuldades de interpretação.
- e - Métodos atmoquímicos: são baseados na análise de gases que ocorrem associados aos componentes de mineralizações ou constituem produtos de sua combinação química ou decomposição radioativa. Os métodos de coleta vão de furos de sondagem a aparelhos aerotransportados, passando até, o que é citado como curiosidade, por cães treinados para detectar emanações sulfetadas. A estes métodos se associa a análise de partículas emanadas de mineralizações e coletáveis no ar.

Também são estudados geoquimicamente concentrados de minerais leves e pesados, fragmentos clásticos (de partículas em suspensão na água a matações) e as relações isotópicas, seja de isótopos estáveis, seja de radioativos, em todos os meios de

amostragem acima citados.

Segundo Govett (1983) e Rose et alii (1979) a litogeoquímica tem suas principais aplicações e apresenta maior sucesso na prospecção dos seguintes tipos de depósitos:

- a - depósitos de associação plutônica, em especial a distinção entre intrusões produtivas e estéreis, em relação a depósitos de pegmatitos mineralizados, sulfetos de cobre-níquel de origem magmática, granitos estaníferos e depósitos de cobre disseminados;
- b - depósitos filonianos de origem epigenética, tanto no que se refere à distinção entre rochas magmáticas passíveis de originar estes depósitos quanto na detecção de filões pela determinação de seus halos primários ou de migração;
- c - depósitos de sulfetos maciços estratiformes, de associação vulcânica e sedimentar.

Entre os métodos geoquímicos, os métodos litogeoquímicos são aqueles que mais obrigam ao conhecimento detalhado dos processos de formação e decomposição de jazidas para seu uso, cumprindo estritamente a definição de Derry (1971), que considera a geoquímica o elo entre a gênese de jazidas e a prospecção. Por isto, e pela carência de espaço, não serão aqui tratados os métodos e resultados de prospecção litogeoquímica em depósitos de associação plutônica, concentrando-se o resumo nos tipos de jazimentos mais prováveis de serem encontradas no âmbito da formação Perau, e em particular os depósitos de origem submarina-exalativa, frequentemente denominados "sulfetos maciços" e aqueles que podem estar a eles relacionados, quais sejam os magmático-hidrotermais e os sedimentares estratiformes.

Metodologia de trabalho

Os materiais rochosos podem ser amostrados em blocos maciços, ou, mais frequentemente, são tomadas amostras compostas por lascas ("chip sample") destacadas dos afloramentos, em

canal ou raspando a superfície. A amostragem composta diminui o risco do desvio dos teores pela seleção de locais com mineralogia diferente ou grandes desvios de granulometria. A quantidade de amostra deve ser aproximadamente 100 vezes maior que o peso do maior grão mineral amostrado, para que haja um erro menor que 10% nos teores, devido apenas ao fator granulométrico. A regra empírica é expressa pela fórmula

$$C = \frac{100 K}{N} \quad \%$$

onde C = desvio padrão relativo (desvio padrão dos teores dividido pelo teor médio)

N = número de cristais na amostra

K = fator de proporcionalidade

O coeficiente de proporcionalidade geralmente é igual a 1,0, mas pode variar de 0,1 a 10, sendo menor no caso em que a rocha é equigranular e são medidos teores de elementos que participam em diversos minerais na mesma amostra (sílica, por exemplo); é maior no caso de cristais de tamanhos muito diferentes e para elementos contidos em um ou poucos minerais. No caso de materiais com porções extremamente diferentes (minério bandado, materiais de veio com partes cristalizadas grosseiramente e partes finas), é necessário analisar separadamente os diversos materiais. Para a maioria dos casos é coletado 1 kg de amostra para cada material.

As operações seguintes (moagem, homogeneização, ataque químico e análise) todas tendem a introduzir outros fatores de erro, o que obriga a testar a confiabilidade das análises de um mesmo laboratório, através de réplicas, e limita a possibilidade da utilização num mesmo estudo de análises efetuadas em diferentes laboratórios.

O erro na determinação dos teores é mais crítico na

prospecção litogeoquímica do que nos processos mais tradicionais (prospecção geoquímica de solos ou sedimentos de corrente) pois nestes os teores anômalos procurados são geralmente muito maiores do que os teores médios, enquanto que na prospecção litogeoquímica muito frequentemente a anomalia é definida por variações graduais de pequena amplitude, ou por combinações de elementos cuja variação individual não caracteriza uma diferença estatística significativa.

Govett (1983) e Beus e Grigorian (1977) apresentam seus pontos de vista sobre a determinação de anomalias em litogeoquímica. Os pontos aqui apresentados são uma síntese destes e dos trabalhos individuais consultados.

Uma anomalia é geralmente definida como "um teor anormalmente alto ou baixo de um elemento ou combinações de elementos, ou uma distribuição espacial anormal de um elemento ou combinação de elementos em um tipo particular de amostra num determinado ambiente, medido por uma determinada técnica" (Govett, 1983). Background, ou teor característico, é o valor médio esperado do teor numa amostra não anômala. Geralmente não é definido como um teor único, mas como uma faixa de variação, definida por um limiar superior e um limiar inferior. Um teor maior que o limiar superior definiria uma anomalia positiva, um menor que o inferior uma anomalia negativa. Embora estas definições não sejam tão simplistas quanto as que consideram anomalia sempre um teor alto, ainda assim são incompletas para a interpretação em litogeoquímica. Embora uma prospecção litogeoquímica possa ser efetuada procurando teores altos ou baixos, a eficiência deste método é máxima quando, ao mesmo tempo, estudam-se as variações dos teores de diversos elementos, as relações entre os teores destes elementos na mesma amostra e no conjunto das amostras, o quimismo das rochas da área estudada, comparando-o com o de rochas semelhantes em áreas mineralizadas e não mineralizadas e se testam hipóteses explicativas das variações encontradas. Raramente as análises de rochas darão teores individuais muito altos dos elementos-alvo, a não ser em distâncias relativa

mente próximas da mineralização, e neste caso muito provavelmente a detecção seria feita mais economicamente por geoquímica de solos ou sedimentos de corrente. A litogeoquímica se justifica como uma parte do estudo geológico da região mineralizada, e só produz resultados técnica e economicamente válidos quando combinada aos estudos geológicos.

Segundo Govett (1983), a natureza da resposta geoquímica de um depósito mineral é controlada fundamentalmente pelos processos geoquímicos associados com o evento mineralizante e a natureza geoquímica das encaixantes. Os fatores que influenciam a assinatura geoquímica em cada caso são:

- a gênese do depósito mineral, especialmente se é singenético ou epigenético;
- a natureza das encaixantes;
- tamanho, composição e teor do depósito;
- efeito dos processos pós-deposicionais (intemperismo, metamorfismo, etc.);
- as leis fundamentais da distribuição dos elementos;
- a determinação do background relevante para as condições consideradas, que pode não ser um teor, ou mesmo uma faixa de teor, mas uma distribuição.

O teor de um determinado elemento dosado numa amostra de rocha é a resultante de toda a história da rocha, o que inclui a composição original, a mineralização, e as alterações pós-deposicionais, além dos erros de amostragem e análise. Um problema a ser considerado é que os efeitos de diversos processos podem se somar ou se anular mutuamente, e o mesmo processo pode ter efeitos contraditórios sobre um determinado elemento, como no caso da alteração hidrotermal, que pode aumentar o teor de Mg devido à formação de clorita ou diminuí-lo pela destruição de minerais magnesianos.

2.2 - Sulfetos maciços e mineralizações relacionadas

As mineralizações denominadas, um tanto precariamen

te, "sulfetos maciços" constituem um grupo complexo de jazimentos, com variações grandes dentro do grupo e mesmo dentro de cada jazimento, a ponto de alguns serem interpretados como combinações de jazimentos de origem totalmente diferente superpostos. Em resumo, são jazidas que combinam, quando completas, características singenéticas e epigenéticas, sendo compostas por corpos lenticulares concordantes com as encaixantes, com predominância de sulfetos ("parte maciça"), sobrepostos a uma zona de alteração hidrotermal com mineralização discordante disseminada ou filoniana e cobertos por mineralização bandada concordante, que pode ultrapassar em muito a extensão dos corpos maciços.

Algumas características são comuns aos jazimentos de sulfetos maciços, conforme Hutchinson (1980) e Finlow-Bates (1980):

- 1) Têm distribuição estratigraficamente controlada, stratabound ou estratiforme.
- 2) O minério se apresenta de três formas: lentes maciças, constituídas quase somente por sulfetos, e/ou camadas bandadas, ambos concordantes, sobrepostas ou próximas a uma zona de mineralização discordante. A parte concordante é constituída de sulfetos de ferro (pirita e pirrotita), sulfetos de metais básicos (calcopirita, esfalerita, galena) e metais preciosos (Au, Ag). A parte discordante é formada predominantemente de sulfetos de cobre e ferro, na forma de veios pouco persistentes (stringer), e mostra alteração nas encaixantes, podendo às vezes ser reconhecido o conduto das soluções mineralizantes.
- 3) Os depósitos são cobertos por rochas sedimentares químicas ricas em Fe ("iron formation"), cherts e tufos.

- 4) Zoneamento do minério, da base para o topo e do centro para as bordas na sequência Cu-Pb-Zn, com Fe em todas as zonas, predominando pirrotita na base e pirita no topo, havendo às vezes uma fácies lateral dominada por Fe. Há predominância de Fe oxidado (como Fe_2O_3) nas margens do depósito e reduzido (sulfetos) na base e próximo à fonte das soluções mineralizantes.
Dentro de um distrito, há predominância de Cu (e às vezes Au) nos depósitos próximos ao ponto de saída das soluções (proximais) e do Zn, Pb e às vezes Ag nos mais distantes (distais).
- 5) Podem ocorrer BaSO_4 , CaSO_4 e minerais de Mn nas margens dos depósitos.
- 6) Nos jazimentos com predominância de encaixantes vulcânicas os sulfetos tendem a mostrar brechação, enquanto naqueles com predominância de encaixantes sedimentares os sulfetos mostram estruturas características de deformações em sedimentos não consolidados.
- 7) Ocorrem concentrações anômalas de material carbonáceo minério ou em sedimentos associados.
- 8) Há evidências de atividade ígnea contemporânea à deposição dos minérios.
- 9) Os jazimentos mostram grande variabilidade textural, associada a grande variedade de condições de metamorfismo.

Nem todas estas características estão presentes em todos os depósitos, ou são neles reconhecidas. Algumas destas são comuns a diversos tipos de depósitos, e é a sua combinação que leva a se considerar um depósito pertencente ao grupo. Os limites não são rígidos, apresentando os depósitos deste grupo uma variação de características mais ou menos contínua, tanto dentro do grupo como entre este e outros grupos semelhantes.

Figura 2.1: Relações genéticas entre depósitos de sulfetos maciços e tipos semelhantes, conforme Gustafson e Williams (1981), modificado

tes, como os de sulfetos sinsedimentares, Mississipi Valley e hidrotermais-magmáticos, indicando variação contínua nos fatores genéticos, o que é indicado de forma simplificada na figura 2.1, adaptada e modificada de Gustafson e Williams (1981).

2.3 - Prospeção litogeoquímica Sulfetos Maciços em Escala Regional

A prospeção litogeoquímica de sulfetos maciços em escala regional (a até $\pm$ 2 km de mineralização) é efetuada com dois objetivos práticos: determinar padrões petroquímicos que indiquem a presença de sequências vulcânicas (ou metavulcânicas) geralmente associadas à presença deste tipo de mineralização e detectar indícios da própria mineralização através de modificações no padrão "normal" de distribuição de elementos-traços nas rochas.

Para a prospeção em escala regional o primeiro trabalho é selecionar as áreas de ocorrência mais provável dos tipos de rocha associados aos depósitos. Segundo alguns autores (Sawkins, 1972, Hutchinson, 1980 entre muitos) existe correspondência entre tipos de rochas, ambientes tectônicos segundo a tectônica de placas e tipo de depósito de sulfetos maciços formado. Esta associação é clara nos depósitos mais jovens e não metamorfizados (Chipre e Kuroko, principalmente) e menos distinta em outros, a ponto da abordagem tectônica ser contestada, ou pelo menos considerada com cuidado. O problema fundamental é que a existência de um determinado ambiente tectônico, ou mesmo de uma determinada sequência de rochas associada a sulfetos maciços não garante a existência de depósitos. As sequências de rochas mais promissoras são as de ofiolitos toleíticos, associados a depósitos tipo Chipre (e ambientes de placas divergentes) e sequências formadas em arcos de ilhas (placas convergentes) associados ao tipo Kuroko. Garcia (1978) apresenta critérios para distinção de rochas derivadas de antigos arcos insulares, modificadas por metamorfismo. Neste ca

so ele recomenda a distinção a partir dos teores de Ti, Zr, Cr e elementos de terras raras, pouco afetados por metamorfismo de baixo grau. Para depósitos sedimentar-exalativos é fundamental o estudo paleogeográfico (D. Large, 1981), para a seleção de áreas ocupadas por rochas formadas em bacias restritas tafrogênicas, com evidências de atividade hidrotermal associada.

Uma vez selecionada a sequência, ela deve ser estudada petroquimicamente. Fox (1979) estudou a correlação positiva entre os teores de minérios e os índices de diferenciação de encaixantes em jazidas do tipo Kuroko. Mostrou também que os minérios de Zn-Cu têm encaixantes máficas, ricas em Fe, e os de Pb-Zn-Cu têm encaixantes félsicas pobres em Fe. Sopuck et alii (1980) mostraram haver, nas áreas do Escudo Canadense, diferenças entre áreas mineralizadas e não mineralizadas a sulfetos maciços, reveladas por seus teores em elementos-minério, comparados após regressão sobre elementos principais. Govett (1983), comentando todos os estudos até a data, recomenda a determinação dos elementos - minério e sua combinação em funções discriminantes ou em funções determinativas empíricas (Govett, 1972), levando-se em consideração a diferenciação das encaixantes, pelo menos por uma normalização dos teores em relação à sílica.

Ovchinnikov e Baranov (1972) estudaram os halos de depósitos piríticos (nomenclatura soviética aproximadamente equivalente à de sulfetos maciços) e mostraram ser possível sua detecção pela combinação de teores de elementos-traços em funções empíricas. Wolfe (1975) considerou os teores de Zn, estudados em relação a SiO_2 e FeO, como eficientes indicadores de depósitos econômicos de sulfetos do tipo dos encontrados no Escudo Canadense. Govett (1983) concorda, considerando Zn o mais eficiente indicador de mineralização a nível regional, seguido pelo Cu, cujo comportamento depende do tipo de depósito, sendo empobrecido nas encaixantes de Chipre e New Brunswick mas enriquecido nas do Noroeste do Canada. A razão Zn:Pb é eficiente em New Brunswick. Além do Zn, em New Brunswick os ciclos vulcânicos produtivos de depósitos de Zn-Cu distinguem-se dos estéreis por um enriqueci

mento em Fe e Mg (e provavelmente Mn) e empobrecimento em Na. O enriquecimento em Mn é mais evidente em rochas sedimentares e em exalitos que estendem o horizonte mineralizado. A forma da distribuição de frequência dos elementos traços é considerada tão importante quanto os teores. Em áreas mineralizadas os elementos-minério apresentam forte assimetria positiva. A variância dos teores também é muito mais alta nas áreas mineralizadas.

Coope e Davidson (1979) apresentam dispersões anômalas de Cu, Zn, Fe e Mn em sedimentos superficiais situados até a mais de 100 milhas de distância de centros exalativos atuais no Mar Vermelho, mostrando a origem de dispersões semelhantes (em depósitos antigos, como as de Mn em Tynagh e Meggen, anômalo até 7 km dos depósitos no Zn, Pb, As e Hg a até 20 km em McArthur River). As anomalias de Fe e Mn de origem exalativa apresentam um problema sério para as pesquisas geoquímicas de solo ou sedimentos de corrente. Isto porque nestas pesquisas os valores dos elementos-traços procurados (geralmente Cu, Pb e Zn) são normalizados em relação aos valores de Fe e Mn, geralmente por regressão múltipla, para compensar as falsas anomalias causadas pela incorporação dos elementos-minério a óxidos de Fe e Mn associados a solos ou películas sobre partículas de sedimentos. Caso a origem do Fe e Mn for exalativa, e não simplesmente da decomposição de minerais de rochas, haverá o perigo de eliminar anomalias produtivas, associadas a mineralizações, tanto dos elementos-minério quanto de Fe e Mn, indicadores de atividade exalativa. Neste caso, mais uma vez, impõe-se o estudo geolôgico e um trabalho piloto de geoquímica prévios para fixação de parâmetros de amostragem e interpretação. Também é evidente a necessidade de utilizar vários tipos de amostragem, análise e interpretação, e não um só, mais fácil ou mais em moda no momento.

2.4 - Prospecção litogeoquímica de Sulfetos Maciços em Escala Local e de Mina

Todos os tipos de depósitos maciços foram estudados visando a determinação de halos litogeoquímicos. Na impossibilidade de apresentar mesmo um resumo de todos aqui, na tabela 2.1 é reproduzida uma tabela de Govett, (1983) que lista os resultados conhecidos até a data e serão comentados esses resultados, acrescentados apenas de trabalhos mais novos não citados naquela compilação.

Amor e Nichol (1983) efetuaram trabalhos orientativos em depósitos arqueanos do Canadá, identificando dois tipos de alteração, tipos Joutel (com enriquecimento em Fe, Mg, Zn e Ag, e empobrecimento em Ca e Na), e tipo South Bay, com empobrecimento em Na, Fe e Mg, e enriquecimento em K. Esta alteração geoquímica, detectada após tratamento de dados que elimina efeitos da diferenciação magmática, estende-se muito além dos halos de alteração mineralógica (quartzo, sericita, clorita, carbonatos e epidoto e minerais de argila), a qual é também difícil de ser detectada nas rochas piroclásticas de granulação fina que hospedam os depósitos estudados.

Govett (1983) indica que tanto nos depósitos vulcânicos mais antigos (arqueanos e proterozóicos) quanto nos mais modernos (tipo Kuroko) ocorrem zonas de alteração em forma de funil nas rochas subjacentes ao depósito (lapa), ocorrendo também nas sobrejacentes (capa) nos tipo Kuroko. A alteração mineralógica mais comum é cloritização, sericitização, silicificação e carbonatação, com núcleo clorítico nos depósitos antigos e sericitítico nos modernos. A alteração geoquímica apresenta empobrecimento em Na e enriquecimento em Fe (sempre), geralmente enriquecimento em Mg, dependente do metassomatismo, geralmente empobrecimento em Ca e comportamento muito variável do K. Cu, Pb e Zn mostram forte enriquecimento na zona de maior alteração, acompanhados de outros elementos traços (S e Mn são os mais citados). O enriquecimento em elementos traços é muito realçado se os dados forem combinados em funções discriminantes empíricas ou calculadas por análise discriminante.

FIGURA 2.2 : DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DAS ANOMALIAS EM ROCHAS ENCAIXANTES DOS DEPÓSITOS DE NEW BRUNSWICK, CANADÁ, SEGUNDO GOVETT, 1983

Os halos podem se estender até 200 m acima da mineralização (Kuroko) e 700 m abaixo, e 1400 m lateralmente acompanhando o horizonte mineralizado, sendo sugerido o intervalo de 150 a 200 m de espaçamento para a amostragem em prospecção.

Os depósitos do distrito de Bathurst, New Brunswick, Canadá, foram alvo de uma série de teses de doutorado, orientadas por Govett, com o fim específico de fornecer parâmetros de prospecção para jazidas vulcanogênicas de sulfetos maciços. Treze mil amostras (115 000 determinações), a maioria de testemunhos de sondagem, foram estudadas, juntamente com o levantamento geológico detalhado das jazidas de Heath Steele (zonas ABC e B), Key Anacon e Brunswick nº 2. Infelizmente, não estando disponíveis as teses originais, comenta-se apenas as conclusões de Govett (1983). Todos os depósitos estão inseridos em sequências de rochas metassedimentares, vulcânicas félsicas e vulcânicas máficas, intercaladas geralmente com piroclásticas, e acompanhadas por formação ferrífera acima dos corpos de sulfetos maciços. A variação petrográfica obrigou os autores a empregarem sempre processos de compensação estatística (geralmente regressão múltipla sobre SiO_2 , e também funções discriminantes) mostrando os resultados felizmente não ser esta variação um impedimento para a detecção dos halos geoquímicos. Declara Govett (op cit) ser o tipo e extensão da dispersão dos elementos em torno de depósitos de sulfetos maciços dependente do processo de formação do depósito, da natureza físico-química das encaixantes, do ambiente físico-químico do local de deposição (em bacia sedimentar) e do mecanismo de dispersão dos elementos. Os fatores que influenciam a deposição dos elementos em uma bacia sedimentar serão Eh e pH, gradiente de temperatura devido aos fluidos hidrotermais, composição e solubilidade destes fluidos, e a topografia da bacia. As variações de condições de pH e Eh serão responsáveis pelo relativo enriquecimento em Mn no horizonte mineralizado, próximo, mas não junto à área mineralizada e nas rochas da capa, e no aumento da razão Pb/Cu nas rochas da capa. Esta dispersão na capa pode ocorrer por ação de fluidos

hidrotermais ou de fluidos expulsos durante a compactação do conjunto minério-piroclásticos à medida que sobre eles se acumulam sedimentos.

Os estudos em New Brunswick confirmaram a importância da distinção entre depósitos proximais (como os da zona ACE de Heath Steele e Brunswick nº 12) e distais (como os da zona B de Heath Steele), que geram halos de formas e composições diversas, resumidas na figura 2.2. As principais diferenças são a existência de mineralização venular e dispersa abaixo dos depósitos proximais, muito maior extensão e intensidade dos halos nas encaixantes da lapa dos proximais, maiores razões Mn/Fe nos halos de depósitos distais, menores de Sr, Ni e V próximo aos centros de exalação e maiores teores relativos de Cu nos halos de depósitos proximais.

Costa (1980) utilizou 222 amostras de rocha, tomadas em testemunhos de sondagem e analisadas para elementos principais e traços, para a prospecção e definição de mineralizações de Cu sulfetadas exalativas vulcanogênicas no Ceará, talvez a primeira pesquisa litogeoquímica sistemática em sulfetos maciços no Brasil. Reconheceu ele serem os halos primários de Zn, Mn e da razão Na/K bons indicadores geoquímicos potenciais da proximidade da mineralização na prospecção subterrânea. As rochas pesquisadas, da suite Diamante, do Grupo Cachoeirinha são vulcânicas queratofíricas e sedimentos intercalados, provavelmente formadas em ambiente de arco insular. As encaixantes apresentam enriquecimento em Cu, Co, Fe, Na e SiO_2 e um empobrecimento em Zn, Mn, Mg e Ca.

Rugless (1983), em pesquisa no depósito de Wainaleka, Viti Levu, Fiji, considerou os resultados de litogeoquímica favoráveis para estudos de semi-detálhe (70 amostras/km²) em terrenos situados em zona tropical úmida, quando comparados aos processos tradicionais de geoquímica de solos, permitindo detectar halos mineralizados até a 800 m estratigraficamente abaixo da mineralização, quando utilizados halos multiplicativos

Mineralização	Mina ou Área e Idade	Resposta Geoquímica													Dimensões do Holo
		Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Fe	Mn	Na	K	Ca	Mg	H ₂ O	S	
Zn-Cu	Abitibi, A								-			+			regional
Zn-Cu	Noranda, A			+										+	regional
Zn-Cu	High Lake, A			+											regional
Zn-Cu-Pb	Mattabi, A			+			+	+	-			+			regional
Zn-Cu-Pb	Sturgeon Lake, A			+			+	+	-			+			regional
Zn-Cu	Uchi-Birch Lake, A			+			+								regional
Cu	Ingladhal, A	-				+									regional
Zn-Cu-Pb	East Tuva, Pa	-	-	-	-	-		+							regional
Zn-Pb-Cu	Buchans, Pa		+	+										+ Ba	regional
Pb-Zn-Cu-Ag	Tynagh, Pa			+				+						+ Ba	3 km
Pb-Zn-Ba	Meggan, Pa							+							7 km
Zn-Pb-Cu	McArthur River, Pz		+	+			+	+							5 km
Zn-Pb-Cu	New Brunswick, Pa	-													15-23 km
														Zn:Cu, Zn: Pb, Pb:Cu ratios	regional
Cu	Cyprus, M	-		+	(-)	+									9-10 km
Cu-Pb-Zn	Red Sea, R	+		+				+						+ Hg	>200 m
Zn-Cu	Millenbach, A						+		-	±	-	+			400-800 m
Zn-Cu-Pb	Mattabi, A	+		+			+	+	-	±	-	(+)		(+) (+CO ₂)	100-250 m
Zn-Cu	Fox, A	+		+					-	±	-				500 m
Zn-Cu	Jay, A								-			+			60 m
Cu-Pb-Zn	Hanson, A	+		+											600 m
Zn-Cu	East Waite, A						+		-		-	+			100 m
Zn-Cu	South Bay, A						+		-		-	+			450-700 m
Cu-Zn	Norbec, A						+	+	-		-	+			200-400 m
Cu	Louvem, A						+		-		-	+	+	+	200 m
Zn-Cu	Detour, A								-		-	-			
Cu	Boliden, outer, Pz						+		-		-	+	+	+	>300 m
Cu	Boliden, inner, Pz						-		-	+	-	-	+	+	
Pb-Zn	Broken Hill, Pz		+				(+)	+	-	+	-	-		+ Si, + Al - Sr, + Si, + Rb, (+Ti)	500 m
Zn-Pb-Cu	Brunswick No. 12, Pa	±	+	+	-	+	+	±	-	±	-	+			450 x 915 m
Zn-Pb-Cu	Heath Steele ACD, Pa	+	+	+	-	+	+	±	-	+	-	+		+ Cr, + P, - Sr	>100 x >1140
Zn-Pb-Cu	Heath Steele B, Pa	+	+	+	-	+	+	±	-	+	-	+		+ Cr, + P, - Sr	450 x 120 m
Zn-Pb-Cu	Caribou, Pa	+	+	+			+	+	+	-	-	+			200 x 800 m
Zn-Pb-Cu	Key Anacon, Pa	+	+	+					-	+	-	+			205 x 1800 m
Zn-Pb-Cu	Woodlawn, Pa						+		-	-	-	+	+	+ Si, - Sr	400-800 m
Cu-Au	Mt. Morgan, Pa		+	+			+	+	-	-	-	+	+	+ Ba, + Ag	>1400 m
Cu	Prince Lyell, P	+		+		(+)	+	+	-	(+)	-	(+)	(+)	- CO ₂ , + Mo, - Sr, (+Rb)	
Zn-Pb	Limerick, Pa			+			+	+	+			+		+ Ba	>300 x 700 m
Zn-Cu-Pb	East Tuva, Pa		+	+				+							400 m
Cu	Cyprus, M	-		+	(-)	+								+ Ba	?100 m
Cu	Ergani-Maden, M	(±)	+	+	-	+	+		-		-	+			>1000 m
Cu-Zn-Pb	Kuroko, C						+		-	+	±	+		+ Si	1000 m
Zn-Cu	Wainaleka, C	+		-		-			-	-	-	+		- Sr, - Rb	1000 m
															300-1200 m

A= Arqueano; Pz=Proterozoico; Pa= Paleozoico; M= Mesozoico; C= Cenozoico; R= Recente, + = Enriquecimento; - = Empobrecimento; (+), (-) = Pequeno Enriquecimento ou Empobrecimento; ± = Enriquecimento e Empobrecimento em Diferentes Partes do Holo

Tabela 2.I - Sumário de respostas geoquímicas características em torno de depósitos de sulfetos maciços. Todos os resultados referem-se a amostras de rochas totais (segundo Govett, 1983).

(Mg X Mn/Cu X Zn) e aditivos normalizados (Na + Ca + Sr + Mn) X 100/ (K + Rb + Mg).

Embora ainda não tenham sido concluídos os estudos geológicos sobre a jazida do Perau, a maioria dos geólogos que nela trabalharam consideram como mais provável a hipótese sedimentar-exalativa. Em jazidas deste tipo, Large (1980), estudando o depósito de Tom, Canadá, e Carr (1984), em Lady Loretta, Austrália revelaram halos semelhantes aos dos depósitos vulcano-sedimentares, com maior extensão ao longo do horizonte mineralizado (até 1,5 km da mineralização) do que nas rochas acima e abaixo (100 m na lapa e 50 m na capa, em Lady Loretta).

A alteração química causada pelo metamorfismo e pelo intemperismo em Broken Hill (Rugless e Govett, 1984) não foi suficiente para impedir a detecção de anomalias positivas de razões Zn/Ba e Fe/Na X Ba e negativas de Na/Mn X Ca, tanto em rochas superficiais intemperizadas quanto em amostras de rocha não intemperizada extraída de testemunhos de sondagem. O êxito se deve a um cuidadoso tratamento estatístico, usando análise discriminante sequencial. A ausência deste tratamento deve ser a causa de resultados negativos como os de Smith e Walker (1971) em Mount Isa. Lahti e Govett (1981) encontraram halos muito mais extensos (quilômetros) em rochas alteradas do que em rochas frescas (dezenas de metros) em depósitos de barita e sulfetos em Mykonos, Grécia, atribuindo esta dispersão à fixação de metais traços em minerais de argila e óxidos de Fe e Mn nas rochas alteradas, de forma semelhante à que acontece em solos de áreas mais úmidas.

A íntima ligação entre os depósitos de sulfetos sedimentar-exalativos, vulcano-sedimentares e hidrotermais, com rochas ferríferas, derivadas das mesmas soluções que formaram o minério, e que geralmente se estendem além deste no horizonte mineralizado, ou derivadas da destruição intempérica de veios mineralizados, como alguns tipos de chapéus de ferro, tem levado a intensas pesquisas, podendo ser citadas: a coletânea de trabalhos editada por Glover et alii (1979), sobre os métodos de es

tudo de gossans na Austrália, enfatizando a utilização de estudo multielementar para a distinção de tipos de gossans, e sua ligação com mineralizações; o trabalho de Gross e McLeod (1980), relacionando formações ferríferas e mineralizações associadas no Canadá; o estudo de exalitos tufáceos associados a depósitos de sulfetos maciços para prospecção, por Scott et alii (1983); e o estudo de Andrew (1984), utilizando análise discriminante sequencial para a distinção entre tipos de gossans na África do Sul.

2.5 - Conclusões operacionais

A detecção dos halos dos diversos tipos de depósitos pode ser efetuada se a amostragem tiver a densidade suficiente para que pelo menos duas amostras apresentem teor anômalo, no caso de elementos individuais, ou que sejam discerníveis assinaturas geoquímicas multielementares. A tabela 2.II reproduz uma tabela de Govett (1983), com os elementos recomendados por esse autor para os diversos tipos de depósitos e as densidades mínimas de amostragem. Ela não vale como receita. Como já foi mostrado, os halos podem ser muito diferentes acima e abaixo da mineralização, podem ser em parte removidos pela erosão e podem variar muito conforme o mergulho dos corpos mineralizados. A litogeoquímica é apenas uma etapa e uma ferramenta no longo trabalho para o conhecimento da geologia de uma área e a descoberta mineral.

Escala	Alvo	Elementos		Densidade de Amostragem
		Não minério	minério	
Regional	Identificação de plutons produtivos	K, Rb, Sr, Ba, Li, Na*, Ca*	por ex. Cu, Pb, Zn, Sn, W, Mo, U, Ni	min. 30/intrusão
	sulfetos maciços	Fe, Na, Mg, Mn, Na, (K), (Ca), (Ba)	Cu, Zn, (Pb)	0,2-5/km ²
Local e mina	veio e substituição	As, Sb, Ta, Bi*	por ex. Cu, Pb, Zn, Au, Ag	1-10/km ²
	porfirítico	K, Ca, Rb, Sr, Mn, (Mg)	Cu, Zn, Mo, S	2-30/km ²
	sulfetos maciços	Fe, Mn, Na, K, Ca, Mg, (H ₂ O), (Rb), (Sr)	Cu, Pb, Zn, (S)	espaçamento 150-200 m
	veio e substituição		por ex. Cu, Pb, Zn, Au, Ag	espaçamento 5-10 m

Tabela 2.II - Sumário de elementos a serem determinados e densidade de amostragem superficial para diferentes alvos em prospecção regional e escala local. Elementos entre parênteses mostraram-se úteis em alguns casos mas seu comportamento é instável; elementos com asteriscos devem ser úteis, mas há poucos dados. Si deve ser determinado em todos os casos em que a variação petrológica pode causar variações no teor dos outros elementos (segundo Govett, 1983).

3 - TÉCNICAS DE TRATAMENTO DOS DADOS

3.1 - Técnicas univariadas:

As técnicas utilizadas para o tratamento dos diversos conjuntos de dados foram as seguintes:

- a - Descrição numérica das distribuições de frequência, por elemento, calculando-se a média aritmética, desvio padrão, assimetria, curtose, mediana e intervalo de variação dos dados brutos e transformados (tomando-se o logaritmo decimal dos teores).
- b - Teste de normalidade das distribuições, utilizando-se os valores de assimetria e curtose e efetuando o teste de aderência à distribuição normal de Kolmogorov-Smirnof.
- c - Comparação entre as distribuições de frequência dos teores entre os diversos conjuntos de dados.

3.1.1 - Descrição numérica das distribuições de frequência:

Foram calculados segundo as formulas seguintes:

$$\begin{array}{ll} \text{a média} & \\ \text{aritmética: } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N} & \text{a variância: } s^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1} \end{array}$$

$$\text{o desvio padrão: } s = \sqrt{s^2}$$

$$\text{o erro padrão: } e = \frac{s}{\sqrt{N}}$$

$$\text{a assimetria: } \frac{\sum_{i=1}^N \frac{(X_i - \bar{X})^3}{s}}{N}$$

$$\text{a curtose} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{(X_i - \bar{X})^4}{S}}{N} - 3$$

3.1.2 - Testes de normalidade e log-normalidade:

Foram comparados os valores de assimetria e curtose com os valores críticos abaixo (tirados do gráfico de Preston, 1970) para o nível de significância de 95%).

n =	25	31	61	84	111	190
Assimetria	0.72	0.65	0.49	0.43	0.38	0.29
Curtose	1.20	1.10	0.83	0.77	0.64	0.55

Também foi efetuado o teste de Kolmogorov-Smirnof, que compara a máxima diferença entre a distribuição de frequência acumulada testada e outra calculada para distribuição normal.

3.1.3 - Comparação entre distribuições:

Os conjuntos de dados compostos de teores analisados por espectrografia de emissão nos grupos totais (total de rochas do Perau, 84 amostras e total de rochas da capa do Perau, 61 amostras) e parciais (amostras com análise química quantitativa), de todo o Perau, 31 amostras e da capa, 25 amostras tiveram sua distribuição de frequência comparada pelo método de Kolmogorov-Smirnof. O teste visou verificar a possibilidade de dois conjuntos (parcial e total) virem da mesma população, o que permitiria estender ao grupo total observações efetuadas no grupo parcial.

3.2 - Estudo de Correlação Simples

Para o estudo da correlação entre os valores dos teores dos diversos elementos nos conjuntos analisados foram

calculados coeficientes de Pearson e de Spearman.

O coeficiente de correlação de Pearson entre duas variáveis X e Y pode ser definido, conforme Davis (1973), como a razão entre a covariância de X e Y e o produto dos desvios padrões de X e Y, o que nos dá a fórmula:

$$r_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\left(\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \right)^{1/2} \left(\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2 \right)^{1/2}}$$

onde X_i = i-ésima observação da variável X

Y_i = i-ésima observação da variável Y

N = número de observações

$\bar{X}$ = média aritmética da variável X

$\bar{Y}$ = média aritmética da variável Y

A significância destes coeficientes é testada, no caso da distribuição normal, por uma transformação do teste t de Student, que resulta numa tabela de valores críticos mínimos para que r seja significativa, como a apresentada em Fisher & Yates (1971), e reproduzida abaixo com os valores tabelados mais próximos dos tamanhos dos conjuntos de dados estudados neste trabalho:

níveis de significância	0.05	0.01
$r_{(N-2)}$		
$r_{(20)}$	.4227	.5368
$r_{(25)}$	.3809	.4869
$r_{(30)}$	.3494	.4487
$r_{(60)}$	.2500	.3248
$r_{(80)}$	.2172	.2830
$r_{(100)}$	.1946	.2540

Os níveis de significância neste caso indicam a probabilidade de ser obtido, para um valor $n = N - 2$, sendo N o número de pares estudado, um coeficiente de correlação $r_{(n)}$ igual ao tabelado, sendo os valores de X e Y aleatórios. Em outras palavras, só é possível dizer que há uma correlação significativa a um determinado nível entre duas variáveis na população se o valor absoluto do coeficiente de correlação, calculado para a amostra, tendo esta distribuição normal, for superior ao tabelado.

O coeficiente de correlação de postos de Spearman foi elaborado para testar correlações entre variáveis no mínimo de segundo nível de mensuração (ordinal) sendo também empregado para variáveis de terceiro e quarto níveis, nos casos em que a distribuição se afasta muito da normal. Para calculá-lo, ordenam-se primeiramente as variáveis, atribuindo a cada observação o posto que ocupa nesta ordenação. Comparam-se então por subtração os postos atribuídos às duas variáveis na mesma ordenação e anota-se a diferença (d) entre os postos, calculando-se o valor do coeficiente segundo a fórmula:

$$r_s = \frac{6 \sum_{i=1}^N d_i^2}{N^3 - N}$$

sendo: d_i = i -ésima diferença entre postos

N = número de pares testados

O valor do coeficiente r_s de Spearman testa-se do mesmo modo que o r de Pearson. Para os mesmos dados, em amostras sem observações com valores muito diferentes da média, os valores do coeficiente de Spearman são ligeiramente mais baixos que os de Pearson.

3.3 - Métodos multivariados

Quatro métodos multivariados foram utilizados para o estudo dos dados neste trabalho:

- a - análise de superfícies de tendência (trend surface analysis), para estudar a tendência da variação espacial dos teores do minério nas amostras de subsuperfície.
- b - A análise de agrupamentos, para inspeção das matrizes de coeficientes de similaridade entre amostras e variáveis.
- c - A análise de regressão múltipla, para estudar a relação entre os teores dos diversos elementos e entre estes e a distância da amostra ao nível mineralizado, tomando-se os elementos em conjunto.
- d - a análise discriminante, para determinar quais dos elementos são mais eficientes na separação das amostras entre grupos próximos e distantes da mineralização, ou grupos de capa e lapa.

Conforme será observado adiante, os conjuntos de dados estudados não atendem, a não ser em parte, os requisitos para o emprego de métodos multivariados, especialmente a exigência de distribuição normal multivariada. A heterogeneidade lito

lógica, as alterações de origem hidrotermal e intempérica e a influência da mineralização fazem com que os grupos aqui estudados, da mesma maneira que a maioria dos estudos em trabalhos de prospecção geoquímica, apresentem distribuições complexas (vide Howarth, 1983; Rose et alii, 1979). O problema tem sido atacado de várias maneiras; em primeiro lugar, empregando onde possível testes não paramétricos, não dependentes da normalidade das distribuições; em segundo lugar, verificando em cada método e cada conjunto de dados até onde é possível avançar na interpretação estatística, com os dados disponíveis. Para a regressão, é possível, segundo o teorema de Gauss-Markov, citado em Agterberg (1974), empregá-la para dados não normais, desde que os resíduos sejam aleatórios e não correlacionados. Assim sendo antes de utilizar os resultados de uma análise de regressão, é necessário estudar o comportamento dos resíduos, lançando-os em gráfico em relação à variável independente. Para a análise discriminante, segundo Davis (1973), os testes de significância exigem que as observações em cada grupo sejam aleatoriamente selecionadas, que a probabilidade de uma observação desconhecida pertencer a cada grupo seja igual, que as variáveis sejam normalmente distribuídas dentro de cada grupo, que as matrizes de variância-covariância dos grupos tenham o mesmo tamanho, que nenhuma das observações usadas para calcular a função seja mal classificada. O mesmo autor indica que pequenos afastamentos da normalidade ou desigualdade de variâncias pouco afetam os níveis de significância. Neste caso, que é necessário fazer para aplicar a análise discriminante é: apenas usar para calcular as equações variáveis de distribuição normal ou transformada; retirar do grupo de treino observações mal classificadas e recalcular a equação; formar grupos de treino de tamanho aproximadamente igual, atendendo na medida do possível à aleatoriedade na sua formação. Como as pressupostos indicados são de difícil cumprimento na prática de prospecção, os resultados da análise discriminante devem ser tomados com cuidado, aceitando-se as variáveis integrantes das equações como pon

to de partida para estudos do comportamento dos elementos, mas levando em consideração que os níveis de significância têm valor limitado. Todos os métodos de tratamento de dados geoquímicos, conforme apontado por Lewis (1984), têm problemas de aplicabilidade, e seus resultados devem ser criticados à luz das leis do comportamento geoquímico dos elementos. Também do mesmo autor deve-se adotar a prática de utilizar sempre os métodos mais simples disponíveis para cada passo do trabalho, avançando a interpretação apenas quando houver segurança nos passos anteriores.

3.3.1 - Análise de superfícies de tendência

A análise de superfícies de tencência (trend surface analysis) consiste, segundo Landim (1979) numa aplicação, generalizada para três dimensões, do ajuste de conjunto de dados (valores de "z"), cuja grandeza depende de sua localização no espaço (coordenadas "x" e "y"), como uma superfície, definida segundo as três dimensões x, y e z. Os valores de z serão definidos por uma equação, da forma

$$z(x_i, y_i) = b_0 + b_1x_i + b_2y_i + b_3x_i^2 + b_4x_iy_i + \dots + \\ + e_i(x_i, y_i), \text{ onde}$$

z é a variável mapeada em função das coordenadas x_i e y_i e o valor

$e(x_i, y_i)$ representa o resíduo, ou seja, a fonte não sistemática de variação. Para o estudo da distribuição dos valores dos teóres dos elementos analisados nas amostras de minério (Cu, Pb, Zn, Ag e Au) foram montadas equações de graus sucessivamente maiores, do primeiro ao sexto grau e observados os mapas de

contorno das superfícies e dos resíduos. O processo de cálculo consiste em montar equações polinomiais, como no caso ilustrado por Landim (1979), para a superfície linear (primeiro grau).

$z(x_i, y_i) = a_0 + a_1 x_i + a_2 y_i + e_i$ sendo a equação que representa a superfície de regressão dos pontos, é montado o sistema de equações normais:

$$\sum z_i = a_0 n + a_1 \sum x_i + a_2 \sum y_i$$

$$\sum z_i x_i = a_0 \sum x_i + a_1 \sum x_i^2 + a_2 \sum x_i y_i$$

$$\sum z_i y_i = a_0 \sum y_i + a_1 \sum x_i y_i + a_2 \sum y_i^2$$

que resulta nas matrizes

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum y_i \\ x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i y_i \\ \sum y_i & \sum x_i y_i & \sum y_i^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum z_i \\ \sum z_i x_i \\ \sum z_i y_i \end{bmatrix}$$

ou seja, na forma reduzida:

$$\begin{bmatrix} XY \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z \end{bmatrix}$$

isto resulta em

$$\begin{bmatrix} A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} XY^{-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Z \end{bmatrix}$$

o que permite calcular o valor dos coeficientes da equação a partir dos valores de x , y e z .

O ajuste da superfície é testado segundo os valores da variação total, variação devida à superfície calculada e aos resíduos.

Geralmente são testadas sucessivamente equações com graus cada vez mais elevados, obtendo cada vez maior ajuste das superfícies aos dados. Em cada caso são examinados os mapas de contorno das superfícies e dos resíduos, procurando explicações geológicas para seu comportamento. Na maioria dos casos o que se procura não é uma superfície que explique a variação (o que seria executado melhor com curvas de contorno simples), mas a separação entre os componentes da variação explicáveis por uma tendência regional e os resíduos, devidos a variações locais, o que pode ser conseguido mesmo por superfícies de baixo ajuste, desde que este seja significativo.

3.3.2 - Análise de agrupamentos

A partir das tabelas de coeficientes de similaridade observa-se que existem grupos de variáveis (elementos) aparentadas, não sendo possível separar estes grupos apenas através dos coeficientes isoladamente. A maneira mais simples de definir estes grupos é através da análise de agrupamentos (cluster analysis), definida inicialmente por taxonomistas e muito utilizada em geologia, tanto para definir grupos de variáveis quanto de amostras. Exemplos destes estudos podem ser encontrados em Krumbein & Graybill (1967), Lafitte (1972) e Howarth (1983), com aplicações para prospecção geoquímica em Roy (1981).

Foi utilizado o programa CLUSTER, do sistema GEOQUANT, da CPRM, baseado no método mais simples de redução da matriz de similaridade, o de pares ponderados. Este método se baseia em encontrar na matriz simétrica de coeficientes de correlação, inicialmente, os coeficientes mais altos de cada coluna. Dentre

estes, selecionam-se os que apresentam as correlações mutuamente mais altas entre um par de objetos estudados (no caso elementos químicos ou amostras completas). O par é reunido e tratado como um só objeto, sendo recalculadas as correlações dos outros elementos com o par, através da média das correlações que cada elemento mantinha com cada um dos elementos do par. O processo é repetido até que reste apenas uma matriz 2×2 indicando a correlação entre os dois principais grupos de elementos.

As correlações entre os grupos são expressas de forma mais clara através de um diagrama em forma de árvore (dendrograma). Devido aos processos de ponderação é introduzida uma deformação nos coeficientes, que não são exatamente os mesmos no dendrograma (coeficientes cofenéticos) e na matriz original. A correlação entre os coeficientes cofenéticos e os originais é uma medida empírica da eficiência do método.

3.3.3 - Regressão Múltipla

Embora o estudo das correlações através da análise de agrupamentos forneça informações sobre as ligações entre grupos de variáveis, essa técnica apresenta uma limitação importante, que é a de usar apenas os coeficientes de correlação simples entre os elementos. Isto não permite discriminar, dentro do efeito que uma variável exerce sobre outra, a parte de vida à sua própria ação e aquela devida à ação de uma terceira variável que a elas esteja correlacionada. Para resolver este problema são utilizadas técnicas que empregam a correlação parcial, ou seja, a correlação que uma variável apresenta com outra, abstraídos os efeitos das outras variáveis a elas correlacionadas. Uma destas técnicas é a análise de regressão múltipla, que permite, além de prever os valores de uma variável (considerada dependente) a partir dos valores de outras variáveis (consideradas independentes), estudar a contribuição relativa das variáveis independentes para a explicação da variân

cia da variável dependente.

A regressão múltipla é muito empregada na interpretação de dados de prospecção geoquímica, sendo pioneiro Rose (1970). Também no Brasil o método é utilizado, notando-se Suslick (1978) e Frizzo (1978), para prospecção geoquímica e Macedo (1979) para geoquímica de rochas basálticas.

A regressão múltipla procura, a partir dos valores de uma variável dependente (Y) e um número qualquer de variáveis independentes ($X_1, X_2, \dots, X_m$) uma equação da forma

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m$$

Os termos "independente" e "dependente" são arbitrários, sendo comum nas análises de regressão múltipla a utilização de um grupo de variáveis, sucessivamente, ora como independentes, ora como dependentes (Draper & Smith, 1966). Não têm aqui estes termos a acepção que lhes é dada em alguns tipos de análise de regressão que exigem ausência de erro na variável independente.

Os coeficientes β_j são estimados por coeficientes b_j , ficando a equação com a forma:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_m X_m + e$$

Em geral o valor calculado da variável dependente não é exatamente igual ao valor observado, resultando em cada caso um resíduo

$$e_i = \hat{Y}_i - Y_i$$

A equação de regressão é calculada segundo o processo de mínimos quadrados, procurando tornar mínima a soma dos quadrados dos resíduos. Então

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2$$

deve ser mínima. Substituindo $\hat{Y}$ pelo seu valor e diferenciado a equação em relação aos coeficientes b_j , o mínimo será alcançado quando os coeficientes satisfizerem a um sistema de equações normais, que pode ser montado efetuando a multiplicação matricial

$$\begin{bmatrix} S \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y \end{bmatrix}$$

onde S = matriz das somas de quadrados e produtos cruzados

B = vetor dos coeficientes

Y = vetor dos produtos das variáveis

Padronizando os dados (subtraindo de cada um a média da variável e dividindo pelo desvio padrão), a equação se torna

$$\begin{bmatrix} r_{XX} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{XY} \end{bmatrix}$$

na qual r_{XX} = matriz dos coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis independentes

B = vetor dos coeficientes B_j normalizados

r_{XY} = vetor dos coeficientes de correlação entre cada uma das variáveis e a variável dependente

Resolvendo a equação e transformando os coeficientes em não normalizados, obtemos a equação de previsão:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_m X_m$$

A eficiência da equação de regressão para previsão de valores e explicação das relações entre as variáveis é medida por dois indicadores: R múltiplo: coeficiente de correlação entre os valores observados e calculados da variável. O quadrado de R (R^2) representa a parcela da variância da variável dependente explicada pela regressão.

F = razão entre a variância devida à regressão e a variância devida ao resíduo, que é testada na forma abaixo:

Fonte	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F
Regressão	SS_R	m	MS_R	MS_R/MS_E
Resíduos	SS_E	n-m-1	MS_E	
Total	SS_T	n - 1		

O valor de F é comparado ao da estatística F de Fisher-Snedecor, no nível de significância escolhido. Em uma análise de regressão, calculando-se equações sequenciais, introduzindo-se cada vez na equação a variável independente que contribua com a maior explicação da variância da variável dependente, existe a tendência de, ao lado do aumento de R , a diminuição do valor de F , pelo aumento do número de graus de liberdade no denominador. Procura-se então manter o F alto (significante ao nível escolhido), introduzindo poucas variáveis na equação e excluindo desta aquelas que, pela participação de outras, tiveram sua eficiência diminuída. A técnica empregada neste trabalho foi a da regressão múltipla sequencial progressiva (forward selection stepwise regression) nos programas de computador New

Regression e MicroStatpac. A ordem de eficiência das variáveis (para previsão e para a explicação das relações empíricas entre os elementos pesquisados) é tomada segundo a ordem decrescente de sua contribuição para o aumento do R múltiplo.

3.3.4 - Análise discriminante

A análise discriminante (também denominada análise discriminatória) é uma técnica que consiste em combinar os valores das diversas variáveis numa função (função discriminante), da forma:

$$D(X_1, \dots, X_k) = \sum_{i=1}^K a_i X_i$$

tal que um valor D_0 da função separe as observações consideradas em dois grupos, com valores maiores e menores que D_0 . Em nosso caso, os grupos foram definidos a partir da distância ao centro do corpo de minério, de forma a poder determinar se uma dada amostra de rocha, coletada em área desconhecida, tem teores em elementos traços e óxidos de elementos principais tais que seus valores, combinados na função discriminante, dão valores de D_x maiores ou menores que D_0 , previamente calculado a partir de um grupo de amostras padrões, com distância conhecida ao corpo mineralizado. O processo pode ser efetuado para maior número de grupos, determinando funções em número igual ao de grupos menos um. A análise discriminante é muito empregada em geoquímica, para a separação de amostras derivadas de diversas populações geoquímicas, como em Quintanilha et alii (1983) ou para a separação entre amostras de rocha próximas a mineralizações e por elas afetadas (amostras de halo) e amostras não afetadas pela mineralização e coletadas distante dela (amostras de back ground). Foi assim empregada por Govett (1972), Whitehead & Govett (1974), Rugless & Govett (1984), Andrew (1984), entre muitos outros. Variações da técnica foram desenvolvidas para melhorar seu desempenho em estudos envolvendo grupos de distribuição

não normal ou com pequeno número de observações, como a discriminante polinomial de Howarth (1971) e a discriminante não paramétrica para reconhecimento de padrões, descrita por Van den Boom et alii (1980). Embora reconhecendo a superioridade destes métodos, não foi possível empregá-los por não haver programas de computador disponíveis.

Para obter as equações discriminantes, segundo Krumbein & Graybill (1965), tomando U_{ij} como a medida da i -ésima característica da amostra j da primeira população, temos a matriz U , com k características e n_1 amostras

$$U = \begin{bmatrix} U_{11} & U_{12} & \dots & U_{1n_1} \\ U_{21} & U_{22} & \dots & U_{2n_1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ U_{k1} & U_{k2} & \dots & U_{kn_1} \end{bmatrix}$$

e analogamente, fazendo V_{ij} representar a i -ésima característica da j -ésima amostra do grupo 2 teremos a matriz V , com k características e n_2 amostras.

Calcula-se a matriz de variância estimadas

$$B = \begin{bmatrix} b_{ij} \end{bmatrix}, \text{ onde}$$

$$b_{ij} = \frac{1}{n_1 + n_2 - 2} \left(\sum_{t=1}^{n_1} (U_{it} - \bar{U}_i)(U_{jt} - \bar{U}_j) + \sum_{t=1}^{n_2} (V_{it} - \bar{V}_i)(V_{jt} - \bar{V}_j) \right)$$

o que equivale a

$$B = \frac{1}{n_1 + n_2 - 2} (S_{U*} + S_{V*})$$

onde as matrizes S_{U*} e S_{V*} são as matrizes de somas de quadrados

e produtos cruzados corrigidos das matrizes de dados U e V respectivamente, e onde

$$\bar{U}_i = (1/n_1) \sum_{t=1}^{n_1} U_{it} \quad \text{e} \quad \bar{V}_i = (1/n_2) \sum_{t=1}^{n_2} V_{it}$$

A partir de S_{V*} e S_{U*} é calculada S = matriz das variâncias e covariâncias conjuntas das matrizes U e V. Fazendo-se o inverso da matriz S igual a:

$$S^{-1} = C = \begin{bmatrix} c_{ij} \end{bmatrix}$$

Calcula-se então o vetor $a_1, a_2 \dots a_k$, onde

$$a_p = \sum_{j=1}^k c_{pj} (\bar{U}_j - \bar{V}_j)$$

e a função discriminante será

$$D(X_1, X_2, \dots, X_k) = \sum_{p=1}^k a_p X_p$$

$$\text{e } D_0 = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^k a_p (\bar{U}_p + \bar{V}_p).$$

O teste para a eficiência da equação discriminante é feito supondo as populações de onde foram tirados os dois grupos U e V como normais multivariadas e testando a igualdade de suas médias multivariadas. Caso as médias sejam iguais, a equação discriminante não será eficiente como separadora.

Calcula-se

$$q = \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - k - 1)}{k (n_1 + n_2) (n_1 + n_2 - 2)} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^k c_{ij} (\bar{U}_i - \bar{V}_i) (\bar{J} - \bar{V}_j)$$

Se q for maior que $F_{\alpha}(k, n_1 + n_2 - k - 1)$ rejeita-se a H_0 da igualdade das médias; em caso contrário ela não é rejeitada.

Calculando a função discriminante com os valores médios das variáveis dos dois grupos teremos os valores das médias multivariadas, e a diferença entre estas médias, expressa como D^2 , é denominada distância generalizada ou distância de Mahalanobis, que é utilizada para a comparação entre várias equações discriminantes. Considera-se melhor a equação que consiga um D^2 máximo, mantendo F significativa, com pequeno número de variáveis.

O programa de computador utilizado (Discriminant analysis, do SPSS, Nie et alii, 1975) calcula equações discriminantes sequenciais, empregando inicialmente duas variáveis e acrescentando variáveis sequencialmente, testando sua significância com os valores de D^2 e F . O objetivo da análise neste trabalho foi determinar um pequeno número de variáveis, para a montagem de índices discriminantes práticos de forma semelhante à de Govett (1972)

3.4 - Processamento eletrônico dos dados

As análises químicas e informações sobre as amostras foram reunidas em arquivos, registrados em disquetes para processamento por microcomputador (Microtec XT-2002, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais e do IG-USP) e disco rígido para processamento por computador de grande porte, tendo sido utilizado o Burroughs 6900 do Centro de Computação Eletrônica da Universidade de São Paulo. Os arquivos processados foram:

- QUIM: amostras com análise quantitativa de 13 óxidos e 7 elementos traços e espectrográfica de 30 elementos: 33 amostras, sendo 32 do Perau e 1 de Água Clara. Alguns processamentos foram efetuados num sub-arquivo de 25 registros, apenas com análise de rochas da capa da mina do Perau (eliminadas as de minério e as da lapa), e a maioria dos processamentos foi efetuada com as amostras do Perau (31, excetuada uma amostra de barita).
- MIN: 24 amostras de minério, com análise quantitativa de Cu, Pb, Zn, Au, Ag e semiquantitativa de 30 elementos.
- TOTALR: reunindo análises semiquantitativas de todas as amostras coletadas (190), processado em conjunto (TOTAL, 190), dados do Perau (PERAU, 111), dados de Água Clara (AC, 79), rochas do Perau (RPERAU, 84), rochas da capa do Perau (CAPAPE, 61), rochas da lapa do Perau (LAPAPE, 16) e isoladamente os anfibolitos (ANFB, 27) e xistos (XSTO, 28) da capa do Perau.
- MTREND: com 69 amostras, com teores de Cu, Pb, Zn, Ag e Au e dados de localização (Coordenadas UTM).

Para todos os arquivos foram determinadas as estatísticas básicas (mediana, intervalo de variação, distribuição de frequência dos teores, assimetria, curtose), correlações entre os teores e entre estes e a distância ao centro da camada mineralizada (SITMIN), sendo calculados os coeficientes de Pearson e Spearman, e a regressão múltipla de SITMIN em relação aos teores, utilizando dados simples e logaritmizados. Para o arquivo QUIM foram efetuadas regressões dos teores dos óxidos e elementos com análise quantitativa em relação aos teores determinados por espectrografia ótica. Foi também feita a regressão de todos os elementos em relação à sílica e calculados os resíduos, sendo estes examinados para verificar o comportamento dos elementos após a padronização por sílica. Para os arquivos QUIM e TOTALR foram calculados teores relativos, dividindo os teores pelos teores médios em cada tipo litológico, sendo também estes teores relativos examinados para verificar o comportamento dos elementos após esta correção do efeito litológico. Para os mes

mos arquivos, e para dados brutos e corrigidos, foi efetuada análise discriminante para vários espaçamentos. Para o arquivo MTREND foram plotados mapas de contorno e de superfícies de tendência do primeiro ao sexto graus e seus resíduos. Os resultados sintéticos dos processamentos são apresentados nos capítulos posteriores, juntamente com a interpretação geoquímica. As listas mais relevantes são reproduzidas em anexo. Devido ao seu grande volume, não é possível apresentar a totalidade dos resultados de processamento. Eles são mantidos pelo autor, juntamente com duplicatas de amostras, lâminas delgadas de rochas e seções polidas de minério, disponíveis para consulta e utilização pelos interessados na continuidade das pesquisas na região.

4 - ESBOÇO GEOLÓGICO REGIONAL

A área do Perau está inserida no grande conjunto de rochas precambrianas denominado por Almeida e Hasui (1984) Província Mantiqueira, que se estende acompanhando o litoral, do Rio Grande do Sul ao Sul da Bahia. A geologia da região da divisa entre os estados do Paraná e São Paulo, próxima à mina, tem sido objeto de acirrados debates, relatados em Hasui & Oliveira (1984), Chiodi F. (1984) e Daitx (1985). Este último, referindo-se especialmente à relação entre os grupos Açungui e Setuva, conclui declarando ser a questão altamente dinâmica, levando os estudiosos da região a reverem suas próprias posições em curto período de tempo, o que resulta em controvérsias acirradas e ainda sem ponto visível de resolução. Isto se deve tanto à grande complexidade da distribuição litológica e do arranjo estrutural das unidades quanto à falta de trabalhos de campo e determinações geocronológicas em escala adequada à compreensão das estruturas e da evolução geológica da região. Esta situação obriga a optar por uma das interpretações existentes, sem a certeza de que não haverá outra interpretação mais adequada, e talvez, totalmente diferente, caso aceitemos as idéias de Hasui et alii, (1984) que consideram provável a quase total destruição das feições primárias por perturbações tectônicas na área do Complexo Setuva. O resumo abaixo é baseado em Chiodi (1984), trabalho que melhor pareceu enquadrar os dados litológicos numa interpretação coerente da evolução geológica.

A figura 4.1 expõe a localização das principais unidades estratigráficas e feições estruturais. As rochas arqueanas predominam na parte Sul, também ocorrendo no núcleo de antiformas (Anta Gorda, Água Clara e Perau) e janelas na região de Capão Bonito. São cobertas por metamorfitos proterozóicos de distribuição complexa, em faixas de orientação predominante NE-SW, muito afetadas por extensas falhas (Lancinha, Agudos Grandes, Figueira, Morro Agudo, Carumbé e Espírito Santo são as principais). Intrusões graníticas de grande porte também seguem a orientação

NE-SW. A NW da área rochas sedimentares da Bacia do Paraná reco
brem as metamórficas, que são também cortadas por pequenas in
trusões sieníticas e diques de diabásico, derivados da reativa
ção mesozóica.

A figura 4.2 esquematiza a evolução destas rochas, conforme Chiodi (1984). O embasamento arqueano é composto de metamorfitos de médio a alto grau metamórfico, integrados por rochas gnáissico-migmatíticas policíclicas associadas a comple
xos granulíticos e por sequências de menor grau metamórfico, in
terpretadas por A.T.S.F. Silva et alii (1981) como supracrus
tais arqueanas que constituiriam restos de prováveis estruturas do tipo "greenstone belt".

Durante o Proterozóico médio, aparentemente a partir de 1.400 m.a., desenvolveu-se uma estrutura intraplataformal li
near tafrogênica, supostamente do tipo aulacogênico, o que oca
sionou a deposição das rochas vulcano-sedimentares consideradas por Chiodi (1984) como constituintes do Grupo Setuva, de NW pa
ra SE as formações Itaiacoca, Água Clara e Perau e a Sequência Turvo-Cajati.

Takahashi et alii (1984) definiram a formação Itaiacoca como formada por metacherts, metassiltitos e meta-argilitos, rochas metabásicas e metaultramáficas de provável derivação vulca
nica, dolomitos e mármore estromatolíticos, meta-arenitos e com associação subordinada de metavulcânicas básicas a interme
diárias, xistos carbonosos e quartzitos.

A formação Água Clara definida por Marini & Leprevost (1967) compreende carbonato-xistos, como associação subordinada e indiferenciada de metacalcários calcíticos a dolomíticos, mi
ca-xistos, metarritmitos e filitos, metassilitos, sericita-xisto
s e metabasitos, incluindo anfibolitos e metagabros.

A sequência Turvo-Cajati foi definida por A.T.S.F. Silva et alii (1981), que nela reconheceram rochas ectin
íticas (metapelíticas, metapsamíticas, metacarbonáticas, metabásicas e metautrabásicas), com passagens verticais e horizontais entre si, quase sempre com migmatização e feldspatização locais, ro

FIGURA 4.2-EVOLUÇÃO TECTONO-GEOLÓGICA DOS GRUPOS SETUVA E AÇUNGUI EM SEÇÕES ESQUEMÁTICAS. FONTE CHIODI (1984)

chas gnáissicas com frequentes intercalações subordinadas de mármores dolomíticos, rochas calcossilicatadas, anfibolitos, metabasitos, metaultrabasitos, quartzitos e micaxistos, afetadas por posterior migmatização e rochas migmatíticas estromatíticas de paleossoma ectinítico predominante e diatexíticas e/ou anatexíticas.

A Formação Perau será definida posteriormente no contexto local.

No intervalo de 1:100.000 a 900 m.a. desenvolveu-se uma estrutura do tipo rift, condicionando a deposição das formações Votuverava e Capiçu, integrantes do Grupo Açungui (Chiodi, 1984), correspondendo a zona central de rifteamento à faixa maior de calcários da Formação Votuverava, entre as falhas do Espírito Santo a Norte e as falhas Ribeira e Figueira a Sul. A Sul da falha da Ribeira as faixas de afloramento ligadas à extensão da formação Votuverava e à formação Capiçu parecem constituir fácies correlatas de um estágio sinêclise para o qual teria evoluído a estrutura rift original. Após a sedimentação teria ocorrido dobramento, colocação de granitos e deposição de molassas brasileiras.

A formação Votuverava (Bigarella & Salamuni, 1958) é constituída de filitos, calcários, dolomitos, quartzitos e metaconglomerados, além de pequenos corpos de rochas básicas metamorfizadas, incluídas na sequência metassedimentar.

A formação Capiçu (Bigarella e Salamuni, 1956) é formada por uma intercalação de unidades carbonáticas (dolomitos) com quartzitos e filitos. Os quartzitos e filitos perfazem sessenta por cento da sequência, havendo predominância de quartzitos na parte inferior e filitos na superior.

As molassas brasileiras são representadas pela formação Iporanga (Leonardos, 1943), composta por filitos, ardósias, meta-argilitos, sericita-xistos, meta-quartzo-arenitos, meta-arcósios e intercalações de metamargas e metaconglomerados poli-

míticos (Chiodi et alii, 1983).

Corpos de granitóides ocorrem na região, sendo os maiores os maciços Três Córregos, Cunhaporanga e Agudos Grandes.

A NW da região ocorrem sedimentos da Bacia do Paraná.

Rochas sieníticas dos corpos de Banhadão, Tunas e Jacupiranga são testemunhas da reativação mesozóica, juntamente com diques de diabásio, comuns em toda a área, e a intrusão básica de José Fernandes.

Aluviões quaternários ocupam área extremamente restrita, sendo os cursos d'água profundamente encaixados no relevo acidentado.

Os solos são pouco desenvolvidos, de pequena espessura, predominando litossolos e cambissolos.

5 - GEOLOGIA LOCAL

5.1 - Introdução

A região da mina do Perau parece constituir o centro da controvérsia geológica já citada no capítulo anterior. Comparando os trabalhos que tratam da área (Souza, 1972; Fleischer, 1976; Souza e Campanha, 1977; Barbour e Oliveira, 1979; C. R. Silva et alii, 1981, 1982; JICA/MMAJ, 1982, 1983, 1984; Takahashi et alii, 1981; R.B. Silva et alii, 1982, Lopes, 1983; Chiodi et alii, 1983, Chiodi, 1984) a única concordância que se pode encontrar é referente à composição e forma dos diversos corpos de rocha, em superfície e nas proximidades imediatas da mina. Mesmo neste caso há outras idéias, como as de Lopes (1983). A descrição abaixo e os mapas e perfis que a acompanham são baseados nos trabalhos desenvolvidos pela CPRM, isoladamente, no Projeto Integração e Detalhe Geológico no vale do Ribeira (PIDGVR) (Takahashi et alii, 1981; C.R. Silva et alii, 1981, 1982; Macedo et alii, 1981, 1982) e em conjunto com a JICA/MMAJ, 1982, 1983, 1984) com a participação direta do autor como encarregado dos serviços de prospecção geoquímica do PIDGVR, no Projeto Mapas Metalogenéticos, folha Itararé (Hama et alii, 1985) e em pesquisas individuais visando diretamente esta tese. Não é intenção deste trabalho entrar no debate estratigráfico, já acirrado demais (vide Daitx, 1985). O empilhamento apresentado é o que pode ser observado no campo e em fotos aéreas, nas vizinhanças imediatas da mina do Perau. Não houve condições nem foi objetivo deste trabalho efetuar estudo estrutural ou estratigráfico, e é opinião do autor que são ainda necessárias muito mais observações diretas, apoiadas por uma reflexão indutiva, que parta do particular para o geral, para que seja possível esclarecer este problema.

Em rápido resumo, na área da mina a unidade inferior é constituída de gnaisses e xistos. Segue-se uma unidade predom

minantemente quartzítica, com pequenas intercalações de anfibolitos e alguma mineralização de cobre. Em seguida ocorre um horizonte de rochas calciosilicáticas, que contêm as principais mineralizações de Pb-Cu-Zn-Ag e barita, tanto na área da mina do Perau quanto nas ocorrências que a ela foram correlacionadas (Água Clara, Pretinhos, Canoas, Araçazeiro e Betara). Segue-se um conjunto de xistos micáceos e grafitosos intercalados com anfibolitos. Os gnaisses e xistos inferiores são atribuídos ao Arqueano, os quartzitos, as rochas calcossilicáticas xistos superiores e anfibolitos ao Protérozóico médio constituindo a formação Perau, do grupo Setuva, tal como definida por Fritzsons Jr. et alii (1982).

O mapa do anexo 2 mostra a geologia e localização das amostras citadas no texto à frente.

Nos tópicos que se seguem, a primeira parte é uma síntese de observações de campo do autor e compilação daquilo em que os trabalhos acima mencionados concordam. No caso em que poucos autores apresentam uma observação, ela é apresentada com a indicação da autoria. Das amostras coletadas na fase de reamostragem deste trabalho foram feitas lâminas de 30, dentre aquelas submetidas a análise completa (13 óxidos, 7 elementos por absorção atômica e 30 elementos por espectrografia de emissão). As análises químicas são comentadas no capítulo 7, sendo neste apresentados apenas alguns dados necessários para completar a descrição litológica.

5.2 - Gnaisses e xistos

A base da sequência aflorante na área da mina é constituída de gnaisses e xistos, com pequenas intercalações de quartzitos. Na parte inferior são milonito-gnaisses finos, com cristais de feldspato estirados, passando a quartzito-biotita-xistos, com a diminuição gradativa dos feldspatos, chegando a muscovita-biotita-xistos na parte superior (C.R. Silva et alii, 1982). Estes gnaisses e xistos constituem o núcleo das antiformas

mas do Perau e da Água Clara, ocorrendo também fora da área em estudo, no núcleo da antiforma da Anta Gorda, a qual contém ainda quartzitos em seu centro. Estas antiformas, juntamente com as sinformas do Faria, do Fecho e Ouro Fino, constituem a megantiforma denominada da Serra do Cadeado por Hasui et alii (1984) e controlam as estruturas de toda a área. O metamorfismo dos gnaisses e xistos vai da fácies xistos verdes à fácies anfibolito, sem diferença significativa entre os tipos litológicos ou entre estes e as unidades superiores (JICA/MMAJ, 1982). Não são conhecidas mineralizações nas áreas ocupadas por estas rochas. No entanto a amostra 294 apresenta 700 ppm de Pb por espectrografia ótica e 100 por absorção atômica. É um gnaisse, com quartzo, muscovita, feldspato, biotita, opacos, epidoto e titanita, com o epidoto preenchendo fratura conjuntamente com o quartzo, provável indício de atividade hidrotermal.

5.3 - Quartzitos

Acima dos xistos e gnaisses ocorrem quartzitos. São rochas de granulometria muito variada, de muito finos, semelhantes a metacherts, a grosseiros, às vezes com ciclicidade de granulação fina e grossa. São de coloração branca a cinza quando frescos e amarelada quando alterados. São compostos principalmente de quartzo, com sericita ao longo dos planos de foliação, às vezes com biotita, muscovita, zircão, epidoto-zoisita e opacos, principalmente magnetita. Podem ter pequena quantidade de sulfetos (pirita, calcopirita) e minerais oxidados de cobre (azurita, malaquita). Estes minerais ocorrem em concentrações pontuais ou preenchendo fraturas às vezes acompanhando veios de quartzo, geralmente nos níveis superiores, próximos ao contato com as rochas calciossilicáticas. Os quartzitos apresentam geralmente textura granoblástica, mas podem também apresentar alguma orientação dos grãos de quartzo acompanhando os planos de foliação, paralelamente aos minerais placóides e acessórios. Es

tes planos de foliação são mais facilmente percebidos macroscopicamente nas rochas alteradas, devido à alteração dos acessórios, gerando óxidos de coloração amarelada a avermelhada e à facilidade de partição pelos planos de foliação.

Os quartzitos apresentam na área da mina do Perau espessura de 300 a 400 m, com intercalações de anfibólio-xistos e biotita-xistos que chegam a 40 m de espessura. Os quartzitos constituem importante camada-guia para a localização do nível carbonático mineralizado, que se situa imediatamente acima, por serem facilmente reconhecíveis em campo e em foto aérea, sustentando os principais acidentes topográficos em toda a região. Sua origem é muito provavelmente sedimentar, tendo Souza (1972) reconhecido ao microscópio sinais de antiga estrutura sedimentar ainda não destruída pelo crescimento metamórfico dos grãos, que gerou a textura granoblástica atualmente dominante. Em outras ocorrências correlacionáveis à do Perau foram reconhecidas claras estruturas sedimentares, macroscópicas, como estratificações cruzadas na área do Betara (Piekarz, 1984). Nas amostras descritas e analisadas o teor em quartzo é muito alto (com 98% de sílica nas análises químicas) com pouca muscovita, zircão e opacos. Os teores em elementos traços são menores que os padrões médios (apresentados no capítulo 7), exceto para Pb e Cu.

O contato dos quartzitos com as unidades inferiores (xistos e gnaisses) e superiores (rochas calciossilicáticas) não é brusco, havendo intercalações em ambos os casos. Se estas intercalações são resultado de sedimentação ou de atividade tectônica não é possível afirmar atualmente com segurança. A deformação tectônica atuou na região muito fortemente, sendo necessário trabalho muito mais detalhado até que seja possível uma reconstrução paleogeográfica.

5.4 - Rochas carbonáticas e suas intercalações

Imediatamente acima dos quartzitos, com contato gradacional com eles e com os xistos que as recobre, ocorrem ro-

chas carbonáticas, que constituem um nível persistente por dezenas de quilômetros, conforme detectado em superfície e por sondagens acompanhando a estruturação do anticlinório da Anta Gorda. Nos pontos em que afloram geralmente são acompanhadas por ocorrências de sulfetos, como no Perau, em Água Clara e em Canoas. Na área da mina do Perau elas afloram como uma lente, com dimensões máximas de 4.000 m de comprimento e 150 m de espessura, sendo alcançadas por sondagens numa extensão de até 1.000 m na direção do mergulho, tendo atitude média do acamamento de N10E-N35W (Silva et alii, 1982).

As rochas carbonáticas do Perau apresentam grande variação textural e de composição, predominando rochas calciossilicáticas, que nas galerias apresentam-se bandadas, com alternância de lâminas centimétricas claras, esverdeadas, compostas principalmente por tremolita-actinolita e lâminas escuras com carbonatos, biotita, sericita e quartzo. Também ocorrem calco-xistos, na parte superior do pacote de rochas carbonáticas. Apresentam coloração cinza escura, granulação fina, veios de quartzo concordantes e boudinados e foliação aparentemente concordante com o acamamento. São compostos por carbonatos, biotita, muscovita e quartzo. Na parte média e inferior do pacote ocorrem mármore impuros, em lentes com espessuras decimétricas a métricas, concordantes. Têm cor cinza, clara e escura, e são formados principalmente por carbonatos e quartzo, às vezes com muscovita, sericita, zircão e opacos. Na base do pacote carbonático ocorrem tremolititos, onde bandas centimétricas a decimétricas de composição tremolítica-actinolítica se alternam com bandas calci-dolomíticas com quartzo.

Além das rochas predominantemente carbonáticas ocorrem intercaladas lentes de barita e sulfetos, que constituem o minério, a ser descrito adiante, um nível magnetítico bandado, conhecido localmente como "formação ferrífera" e um nível de filito grafitoso. O nível magnetítico ocorre no topo do pacote carbonático, tendo de 1 a 2 m de espessura, e grande persistência lateral, sendo detectado em afloramento e por medidas magnetométricas como

acompanhando toda a lente carbonática na região da mina. Apresenta alternância de lâminas quartzosas, micáceas e magnetíticas, sendo identificados magnetita, quartzo, biotita e acessoriamente muscovita e clorita. Na área das galerias principais da mina (G1 a G3) o nível de barita encontra-se próximo ao topo do pacote carbonatado, acima do minério sulfetado e abaixo do nível magnetítico, o qual apresenta-se às vezes como bandas alternadas de quartzo e magnetita e outras vezes como intercalação no topo do pacote carbonatado, no limite com os mica-xistos. Na mineralização atingida pelas sondagens do Projeto Anta Gorda (MMAJ, 1982, 1983, 1984) o minério sulfetado ocorre intercalado com barita. Uma lente de filito grafitoso ocorre no centro do corpo carbonático, com extensão em superfície de 1.500 m e espessura de até 30 m. Tem coloração cinza escura, granulação fina e bandejamento milimétrico, sendo composto por sericita, carbonatos, quartzo, flogopita, tremolita e opacos. Nas galerias e em sondagens ocorre abaixo do nível mineralizado. A amostra 251 é um filito muito fino com textura lepidoblástica e estrutura xistosa muito ondulada, contendo além dos minerais já citados, hematita, espessartita e rutilo.

5.5 - Xistos

Sobrepostos à unidade calciossilicática mineralizada ocorrem xistos, que na área da mina apresentam cor mais escura e granulação mais grossa, com predominância de muscovita e a sul, fora da mina, até a região de Água Clara tornam-se mais claros e finos, e com predominância de sericita. Alguns tipos podem ser individualizados:

5.5.1 - Quartzo-biotita-muscovita-xistos

São de coloração cinza e preta, com granulação grossa a fina, mais frequentemente média, com muscovita e biotita e subordinadamente sericita, quartzo disseminado ou em veios, tur

malina, granada e magnetita. Apresentam planos de xistosidade proeminentes, aparentemente concordantes com o acamamento, sendo crenulados por planos de clivagem discordantes. Ao microscópio mostram textura lepidoblástica e porfiroblastos de biotita, granada e magnetita discordantes da direção principal, marcada por cristais de muscovita, biotita, quartzo, sericita, granada e magnetita, e acessoriamente tremolita, clorita, carbonatos, apatita, plagioclásio, titanita, turmalina e opacos (Silva et alii, 1981).

5.5.2 - Quartzo-sericita-xistos

De cor cinza esverdeada a cinza clara, granulação fina, xistosidade bem desenvolvida. Ao microscópio apresentam textura lepidoblástica, granulação fina, com sericita, quartzo, biotita, opacos, turmalina, granada, epidoto-zoisita e clorita. Ocorrem acima dos quartzo-muscovita-xistos, a oeste e sul da área da mina.

5.5.3 - Magnetita-sericita-xistos

A oeste da área da mina, ladeando calco-xistos com sericita, muscovita, quartzo e magnetita, apresentando granulação fina, e xistosidade bem marcada.

5.5.4 - Calcio-xistos

Em faixas concordantes com a estruturação regional, em afloramento apresentam até 50 m de espessura, com grande variação composicional e textural, em camadas decimétricas de termos calcio-anfibolíticos, calcio-xistosos e carbonáticos e intercalação de nível magnetítico. Estes calcio-xistos apresentam teores relativamente altos de elementos traços, que se refletem nos gráficos de dispersão apresentados adiante. Estes teores, e a presença do nível magnetítico, indicam uma provável ocorrência de condições favoráveis à mineralização, semelhantes às

que deram origem à mina, também encaixada em rochas calciossilicáticas.

Nas lâminas descritas aparecem variações locais dos xistos, como tremolita-xisto, tremolita-epidoto-xisto e biotita-flogopita-xisto, indicando a presença de material calciomagnesiano em todo o pacote sedimentar que deu origem aos xistos.

Os xistos descritos apresentam metamorfismo de baixo grau (fácies xistos verdes), derivados de metamorfismo regional. Lopes (1983) reconheceu hornblenda-biotita-quartzo-xistos e almandina-anfibólio-xistos, associados às intercalações de anfibolitos, atribuindo estas associações, indicativas de metamorfismo de médio grau, à influência termometamórfica sobre os xistos de baixo grau a partir do magmatismo que deu origem aos anfibolitos.

5.6 - Anfibolitos

A área próxima à mina do Perau contém diversos corpos de anfibolitos, alguns dos quais de grande dimensão (dezenas de quilômetros), como os do Ribeirão Grande, a NW da mina, Barreiro, a sul, e outros pequenos, com dimensão máxima de alguns quilômetros e espessura de até centenas de metros. Estes corpos se encontram intercalados concordantemente com os metassedimentos acima descritos. São rochas de granulação fina a grossa, com texturas de granoblástica a lepidoblástica, compostas por hornblenda, plagioclásio, quartzo, epidoto, leucoxênio, tremolita-actinolita, clorita, carbonatos e opacos.

O corpo do Ribeirão Grande é formado por rochas cinza-esverdeadas, de granulação média a fina, com intercalações de xistos grafitosos e sericita-xistos. Ao microscópio apresentam textura granoblástica e lepidoblástica, sendo os principais minerais tremolita-actinolita, hornblenda, plagioclásio, quartzo, epidoto, leucoxênio e clorita.

O corpo do Barreiro apresenta um nível de calco-anfibolito intercalado. O anfibolito tem cor esverdeada, granulação

média, e apresenta foliação nas bordas segundo N40S. Ao microscópio apresenta granulação média, textura nematoblástica e granoblástica, com actinolita, hornblenda, plagioclássio, quartzo, epidoto e titanita.

O anfibolito do Quati corta a área de SW a NE, aflorando na estrada próxima ao escritório da mina do Perau, tendo espessura de 50 m, coloração cinza esverdeada, granulação média, com anfibólios, quartzo e carbonato, apresentando às vezes calcopirita em veios de quartzo.

Os pequenos corpos anfibolíticos intercalados nos xistos apresentam espessuras pequenas (geralmente poucos metros), comprimento até alguns quilômetros, coloração esverdeada, com hornblenda, tremolita-actinolita, plagioclássio e biotita. A textura varia das bordas para o centro, sendo fina, com foliação concordante com a encaixante xistosa nas bordas, e granoblástica grosseira no centro.

Este padrão textural foi observado também neste trabalho, repetindo-se em campo e em lâminas, sempre com estrutura xistosa nas bordas dos corpos e maciça no centro, com texturas lepidoblástica e granoblástica respectivamente. Um ponto importante observado nas lâminas foi a presença de turmalina, em maior quantidade nas amostras 252 e 254, coletadas a 10 e 15 metros da mineralização. Silva et alii (1981) descreve turmalinito, CR 320, coletado a 100 m estratigraficamente acima da mineralização. Esta turmalina, expressão mineralógica de alto teor de boro que aparece nas amostras de perto da mineralização, pode ser interpretada, segundo Boyle (1974) e Ethier & Campbell (1977) como originada de sedimentos marinhos ou originada de soluções ligadas à mineralização. O teor muito maior bem próximo à mineralização favorece a segunda hipótese.

A origem dos anfibolitos é controversa. Takahashi et alii (1981) consideraram inconclusivas as análises petrográficas e os valores de Ni, Cr e Co (comparados com os valores de Turekian & Wedepohl, 1961) para atribuir-lhes origem magmática ou metamórfica a partir de sedimentos. Citam uma amostra rica

em anfibólito e piroxênio sugerindo possível origem a partir de material magmático básico a ultrabásico. Barbour & Oliveira (1979) consideraram que a textura blastofítica observada em algumas amostras indicaria origem magmática. JICA/MMAJ (1983) consideram sua origem mista, sendo a maior parte derivada de extrusivas básicas e uma parte por reação entre as básicas e os sedimentos pelíticos encaixantes. Indicam como evidências a plotagem das análises como ígneas básicas em diagramas ACF, a ocorrência concordante com os xistos e a textura ígnea da parte máfica. Lopes (1983) considera os anfibolitos como ígneas básicas, derivadas de vulcanismo submarino e/ou intrusões cujo calor teria provocado termometamorfismo nas encaixantes xistosas e mobilização do minério, fornecendo a energia para a movimentação das soluções mineralizantes.

As amostras de anfibolitos coletadas para esta tese são de dois tipos: as primeiras não apresentam indícios de alinhamentos e têm predominância de minerais máficos; as outras apresentam bandamento, com faixas quartzo-feldspáticas e faixas máficas (anfibólito-xistos). As primeiras foram coletadas no interior das faixas anfibolíticas e as últimas em sua periferia próximo ao contato com os xistos. Gráficos petroquímicos, apresentados no Anexo I, foram pouco conclusivos, mas na maioria dos casos as amostras dos tipos mais máficos foram classificadas como derivadas de basaltos alcalinos, de margens de placas, oceânicas. Com base nestas observações pode-se considerar a questão ainda aberta, embora com maior possibilidade de origem ígnea para os anfibolitos mais máficos e origem mista, derivada de material ígneo e sedimentar, para os anfibólito-xistos.

5.7 - Diques básicos

Barbour & Oliveira (1978) e Silva et alii (1981) descrevem diques de diabásico, de idade considerada Juro-Cretácea, ocorrendo na área da mina, cortando as rochas calciossilicáticas. São descritos como de coloração cinza escura, granulome

tria fina, estrutura maciça, com fenocristais de minerais máficos e siálicos, e textura sub-ofítica, sendo constituídos por plagioclásios, serpentina, augita, olivina, minerais opacos, biotita, argilo-minerais e carbonatos.

5.8 - Formações quaternárias

Na área próxima da mina os únicos representantes de eventos geológicos modernos são coluviões que ocorrem nas quebras do relevo e pés de elevações. O relevo é demasiadamente encaixando para permitir a formação de aluviões. Mesmo a estreita faixa relativamente plana que acompanha em alguns pontos o Ribeirão Grande é formada por colúvio, sendo seu aplainamento derivado de erosão e não de deposição.

5.9 - Metamorfismo

O grau metamórfico das rochas da área foi estudado por Souza (1972), Barbour e Oliveira (1978), Silva et alii (1981, 1982) JICA/MMAJ (1982) e Lopes (1983). Estes autores consideram o metamorfismo como de grau baixo a médio (fácies xistos verdes a anfibolito), com pequena diferenciação entre as unidades geológicas, com pequeno aumento do grau metamórfico nas rochas arqueanas em relação às do complexo Setuva, aumento gradual e com ocorrência de rochas de graus metamórficos diferentes intercaladas. Lopes (1983) considera a existência de metamorfismo termal associado a magmatismo básico. Existe concordância na atribuição do último metamorfismo ao evento brasiliano (750-500 m.a.).

5.10 - Estruturas

A área do Perau situa-se no flanco noroeste da Antiforma Anta Gorda, parte noroeste da megantiforma da Serra do Cadeado (Hasui et alii, 1984), principal conjunto geoestrutural da região. A sequência mineralizada é afetada pela sinforma do

Faria e a antiforma do Perau, dobras abertas, levemente assimétricas, com vergência para SE, estando o jazimento em lavra situado no flanco noroeste da antiforma do Perau (Silva et alii, 1982). A direção média dos eixos da última fase de dobramento é N45E-S45W, com mergulho aproximado de 10° para sudoeste. As rochas formação Perau são mais afetadas pelo dobramento, formando microdobras cerradas, enquanto os gnaisses e xistos arqueanos são menos afetados, formando dobras abertas.

A principal falha que afeta a região é a do Ribeirão Grande, que apresenta fracas evidências de campo, tendo sido descoberta por levantamento geofísico (gravimetria) durante o projeto Anta Gorda (JICA/MMAJ, 1982). Foi classificada como falha normal, com abatimento do bloco noroeste. Além desta, ocorrem falhas de menor amplitude, de direção NE-SW, algumas das quais associadas a diques mesozóicos.

Na parte lavrada o acamamento segue a atitude média N10E-35NW, sendo as camadas afetadas por microdobras e pequenas falhas, sendo citadas falhas de gravidade com direção N75 e rejeito de poucos metros, bem como falhas normais e inversas, subconcordantes com o acamamento, também de pequeno rejeito. Estas estruturas afetam o nível mineralizado, aumentando ou diminuindo sua possança (C.R. Silva et alii, 1981, JICA/MMAJ, 1981, 1982).

5.11 - Estratigrafia

Segundo Chiodi (1984) os xistos e gnaisses inferiores constituem uma unidade mais antiga que as rochas superiores, sendo por ele denominada Embasamento Pré-Setuva, com idade Arqueana a Proterozóica Inferior. As rochas do que ele denomina Grupo Setuva, representadas na região pela Formação Perau, seriam formadas a partir de 1.400 m.a., vinculadas a uma estrutura intraplataformal tafrogênica, supostamente do tipo aulacógeno. Esta formação englobaria, na área da mina, os quartzitos, a sequência calciossilicática, os xistos e anfibolitos. Estas rochas

seriam deformadas durante o ciclo Brasileiro, e finalmente cortadas por diques durante o Mesozóico. Esta evolução proposta não é aceita pacificamente por todos os autores, conforme já relatado acima. Mesmo levando em conta a possibilidade aventada por Hasui et alii (1984) do empilhamento aparente não ser o verdadeiro, a proposta de Chiodi (op. cit.) é aceita como esquema estratigráfico de trabalho. Não é objetivo desta tese entrar no debate estratigráfico, nem há, segundo a opinião do autor, trabalhos de levantamento sistemático de campo, apoiados por trabalhos de laboratório utilizado sensoriamento remoto, geocronologia e geoquímica em quantidade suficiente para uma decisão.

6 - A JAZIDA DO PERAU: Mineralogia e estrutura do minério

6.1 - Minérios de cobre

A primeira mineralização lavrada na área foi a de cobre, já conhecida desde a década de 1920 e descrita em Souza (1972). Ela se situa abaixo da mineralização de chumbo, estando as galerias de pesquisa, que acompanham o minério, 15 m acima do contato quartzito-rochas calciossilicatadas e 7 m abaixo da lente de filito grafitoso. Souza (1972) descreveu como minerais primários pirita, calcopirita, tennantita, quartzo, rara galena e barita; como secundários calcocita, covelita, bornita, cuprita, cobre nativo, prata nativa, crisocola, azurita e malaquita. A mineralização primária foi descrita como concordante com a estratificação dos quartzitos e a secundária como preenchendo cavidades ou fraturas das rochas carbonáticas ou filões concordantes com a estratificação de quartzitos milonitizados. Embora tenham sido cubadas 830.000 toneladas de minério com teor de 2% de cobre e 180.000 toneladas com teor de 2,8%, a estrutura da jazida, com filões de pequena espessura e a inexistência de processos de concentração e metalurgia econômica para os minérios oxidados impediram até o momento seu aproveitamento industrial.

A sul da mina encontra -se, em posição estratigráfica análoga à do minério descrito acima, a cerca de 10 m acima do contato quartzito calciossilicáticas, uma mineralização composta por minerais oxidados de cobre. Foi efetuada pesquisa pela concessionária da mina através de uma galeria ("galeria da azurita") e pela CPRM por amostragens compostas em seções cortando as estruturas (Silva et alij, 1981).

O nível mineralizado apresenta uma espessura aproximada de 10 cm, e é concordante com a encaixante. Não tem grande persistência lateral, é alterado e composto por azurita, malaquita, pirita, calcopirita, bornita, limonita e quartzo. A encaixante é um mármore impuro de granulometria fina a mêdia,

textura granoblástica xenomórfica, com proporções aproximadamente equivalentes de carbonatos e quartzo, com muscovita, sericita e óxido de ferro subordinados. A atitude do acamamento é N35E, 40NW (Silva et alii, 1981).

6.2 - Minérios de chumbo

O minério de chumbo do Perau foi descoberto na década de 1970, durante as pesquisas para definição da jazida de cobre. Inicialmente foi lavrada uma camada oxidada, composta principalmente por cerussita incoerente, o que permitiu sua lavra por processos simples, a céu aberto, até 1976.

Fleischer (1976) citou a mineralização de chumbo, apontando sua natureza estratiforme e notando que, embora não se confirmasse em profundidade a grande riqueza que mostrava quando era lavrado em superfície (até 14 m de espessura com teores de 14 a 17% de Pb) a sua provável filiação vulcanossedimentar indicava a possibilidade de que sua reserva fosse maior do que a conhecida até a época (1.203.000 toneladas de minério, com 3,4% de chumbo).

Souza e Camapanha (1977) descrevem a mineralização de chumbo como veio-camada concordante com o acamamento, encaixada em calco-anfibólio-xistos e calco-xistos, e situada, estratigraficamente, logo acima do contato entre os xistos e quartzitos. Declaram espessuras entre 1 a 10 m e extensão de 1.600 m da zona mineralizada. Consideram a mineralogia como sendo: galena, cerussita (na zona superficial, prata nativa e barita, com blenda detectada em furos de sondagem. Pela grande extensão, caráter concordante com o acamamento reliquiar e posição estratigráfica precisa consideram provável uma origem primária sedimentar para o minério.

Barbour e Oliveira (1979) estudaram a geologia da área da mina e a mineralogia do minério de chumbo, e propugnam a origem sinsedimentar com posteriores deformações de pequena amplitude causadas pelo metamorfismo.

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, em Convênio com o Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM, durante o estudo das mineralizações do vale do Ribeira, no projeto Integração e Detalhe Geológico do Vale do Ribeira, estudou a mina do Perau e as áreas próximas, conforme relatado em A.T.S.F. Silva et alii (1981), Takahashi et alii (1981), C.R. Silva et alii (1981), Macedo et alii (1981 a e b e 1982). O projeto foi interrompido por falta de verbas em 1981. Os trabalhos foram reiniciados por convênio do DNPM com a CPRM e com a Japan International Cooperation Agency (JICA) e a Metal Mining Agency of Japan (MMAJ), tendo sido realizados de 1981 a 1984 e relatados em relatórios, com a autoria atribuída apenas a JICA/MMAJ (1982, 1983, 1984).

A descrição abaixo é uma síntese dos trabalhos realizados pelo autor como participante do Projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira, no qual foi coordenador da equipe de Geoquímica e Geofísica, autor dos capítulos de geofísica e geoquímica de todos os relatórios e co-autor dos textos dos estudos de detalhe nas áreas de minas, e os trabalhos mais recentes na mesma área, descritos em JICA/MMAJ (op.cit.), complementados por observações efetuadas em uma etapa de campo realizada em 1986 para complementação de amostragem e cinco seções polidas de minérios coletados nas frentes de lavra nesta etapa. Também tiveram grande influência na elaboração das idéias os trabalhos de Barbour e Oliveira (1979) e Daitx (1985). Quando a autoria das idéias ou observações pode ser atribuída apenas a um dos autores ela é indicada. No caso da não indicação ela é produto da concordância entre várias observações, cabendo ao autor desta tese a responsabilidade. A localização das galerias e amostras de subsuperfície é indicada no anexo 3.

O minério atualmente lavrado na mina do Perau é constituído predominantemente de galena e pirita, com calcopirita e blenda subordinadas, sendo identificados pirrotita e marcassita ao microscópio. Piromorfita, cerussita, rutilo, calcocita, bornita, malaquita, azurita, crisocola, cuprita e linneita são

identificados em pequena quantidade. Também ocorre prata, num teor de 100 g/tonelada de minério. A reserva medida, em 1985, era de 267 824 toneladas de minério, com 4,73% de chumbo, a indicada de 215 462 toneladas, com 4,73% de chumbo e a inferida de 91 020 toneladas com 4,73% de chumbo. Os teores de zinco são baixos (geralmente inferiores a 1%), mas ocorrem partes ricas em blenda (Galerias G-1 e G-4), onde o teor pode chegar até a 10% de Zn em pontos isolados.

A pirita é comum no nível mineralizado, disseminada nas encaixantes e mostra granulação fina e estrutura bandada concordante com a predominante nas encaixantes e minério. Apresenta-se de duas formas, uma mais fina, com descontinuidades preenchidas por galena, sugerindo ser a pirita o mineral mais antigo e outra mais grosseira, com hábito anhédrico.

A galena é o sulfeto predominante, mostrando geralmente granulação grossa, resultante de recristalização. É concordante com as encaixantes, e apresenta-se também disseminada nos contatos e preenchendo fraturas na pirita e nas encaixantes. Apresenta alteração intempérica para cerussita nas zonas das galerias próximas da superfície, em planos de fraturamento. Às vezes é envolvida por talco ou sericita, mostrando indícios de alteração hidrotermal. É o único mineral a constituir brechas intraformacionais e mostra fragmentos de encaixantes e pirita brechadas a nível microscópico mesmo em cristais aparentemente maciços.

A calcopirita ocorre formando inclusões em cristais de galena e pirita e dispersa nas rochas quartzosas, não costumando formar bandas maciças. Tanto a pirita quanto a calcopirita apresentam controle pelos horizontes mais carbonosos do calcio xisto.

A blenda ocorre em pequenas quantidades acompanhando a galena, com concentrações locais (G.1 e G.4) no noroeste da mina.

O aparente zoneamento dos metais no minério, com predominância de cobre na parte sul do corpo lavrado e de zinco

na parte norte deu origem ao estudo estatístico através de curvas de contorno e análise de tendência de superfície, relatado adiante.

A barita ocorre em leitos, veios e manchas dispersas no calco-xisto acima do corpo do minério. Atinge até 6 m de es pes su ra no centro do depósito.

A prata ocorre provavelmente dentro da galena o que é sugerido pelas altas correlações entre os teores de Pb e Ag.

O corpo mineralizado da mina do Perau se estende por 800 m acompanhando a direção geológica, e já foi alcançado por galerias até a 200 m acompanhando o mergulho, e por sondagens até a 700 metros no mesmo sentido (JICA/MMAJ, 1985). Esta exten são e os pontos de amostragem de minério em galerias e sonda gens são apresentados no anexo 3.

A espessura varia de alguns decímetros a vários metros (até 6 m) com alternância de camadas maciças, constituídas quase somente de sulfetos e minério estratificado juntamente com a rocha cal ciossilicática encaixante. As zonas de maior espessura de miné rio ("bonanzas") apresentam a forma de lentes com eixo maior di re cionado paralelamente aos eixos de dobras locais e regionais (Daitx, 1985, JICA/MMAJ, 1982).

Em furos de sondagem efetuados para teste da extensão da mineralização, pela CPRM, como parte do projeto Anta Gorda, relatados em JICA/MMAJ (1983, 1984) e estudados por Daitx(1985) foi detectado um nível mineralizado que, embora constitua exten são do veio-camada lavrado nas galerias, dele difere em alguns pontos importantes. A mineralização neste caso é composta por sulfetos de Pb-Zn-Fe, disseminados na zona da barita, com redu zida participação dos níveis ou leitos sulfetados em rochas car bonáticas, que é o tipo predominante na zona lavrada. Os teores foram semelhantes aos encontrados nas galerias, com 2,5 a 5,7% de Pb e 0,5 a 5,6% de Zn, diminuindo no furo feito mais a sul, com 2,5% de Pb e 0,9% de Zn. Em todos os furos ocorre barita (até 20% de BaO).

Nas galerias, furos de sondagem e mesmo em superfície o limite superior da zona mineralizada é marcado por nível magnetítico bandado impregnando as rochas calciossilicáticas, rochas carbonáticas e o xisto, podendo atingir vários metros de espessura. Este nível constitui um metaloteto regional importante, com a vantagem de poder ser detectado por processos geofísicos em profundidade. A sucessão quartzito-nível calciossilicático com fácies de filito grafitoso-minério sulfetado-barita-nível magnetítico-xistos com anfibolitos pode ser acompanhada por toda a antiforma da Anta Gorda, havendo outros pontos em que o minério atinge proporções econômicas, como no Araçazeiro, enquanto em outros há ocorrências ainda pouco estudadas de sulfetos de metais básicos (Água Clara, Canoas, Volta Grande) e barita (Água Clara, Pretinhos, Tigre). Sequências semelhantes, que provavelmente são derivadas do mesmo ciclo geológico, são identifi cadas no Betara (Piekarz, 1984), em Guapiara (Silva e Lopes Jr., 1985) e na área Rio do Leite/Ribeirão Itacolomi (Paiva et alii, 1979 e R.S. Silva et alii, 1982).

6.3 - Hipóteses genéticas

Diversas feições dos depósitos do Perau e outros depósitos citados acima foram apontadas como importantes para a determinação de sua gênese, podendo-se lembrar, adaptando e ampliando a lista de Daitx (1985):

- a) concordância com as rochas encaixantes;
- b) posição estratigráfica definida, a mesma em diversos depósitos;
- c) associação com formações ferríferas e níveis de barita;
- d) predominância dos sulfetos de Pb e Fe sobre os de Cu e Zn;
- e) predominância de Ag sobre Au como elemento nobre presente em quantidade econômica;
- f) a nível local, idade (1.400 m.a.) bem diferente, e maior que a dos depósitos epigenéticos próximos ("tipo Panelas"), que é de 1.000 a 1.100 m.a.

- g) feições singenéticas (camadas estratificadas com a encaixante, sulfetos disseminados concordantemente com encaixantes, estruturas de deslizamento) lado a lado com feições epigenéticas (camadas maciças, recristalização, veios discordantes mineralizados).

Para explicação destas feições quatro linhas de hipóteses, que podem ser complementares, foram levantadas:

- a) Sinsedimentar: (Souza e Campanha, 1977; Barbour e Oliveira, 1979) deposição por fatores sedimentológicos, ligados principalmente a bacias de circulação restrita, com posterior recristalização metamórfica.
- b) Vulcanogênica: Fleischer (1976) considerou a jazida do Perau distinta das outras do vale do Ribeira, às quais atribuiu origem metamórfico-hidrotermal. A sequência geológica na região da mina foi interpretada como vulcanossedimentar, considerando os xistos quartzo-feldspáticos, xistos silicosos e calcio-anfibolitos respectivamente como metatufos, metatufitos e metabasaltos. A jazida foi definida como plumbo-baritifera, com cobre subordinado, encaixada em sequência vulcanossedimentar dobrada e metamorfizada no precambriano médio, com origem exalativa vulcanogênica semelhante à dos depósitos distais de Kuroko. Os geólogos japoneses da JICA/MMAJ (comunicação pessoal) apontaram semelhanças entre a jazida do Perau e as vulcanogênicas do tipo Besshi (em vulcânicas básicas) e Kuroko, sem formalizarem a classificação.
- c) Concentração sinsedimentar, com mobilização por soluções hidrotermais: Lopes (1983) considerou a gênese derivada da concentração inicial por fatores sedimentares, dos elementos mineralizantes juntamente com as rochas calciossilicáticas, numa fase sin-sedimentar precoce. Posteriormente haveria uma mobilização, com concentração dos sulfetos a níveis econômicos, causada por soluções derivadas da intrusão e/ou exalação vulcânica básica.

d) Sedimentar-exalativa: C.R. Silva et alii, (1981, 1982), R.B. Silva (1982), JICA/MMAJ (1982) consideraram a jazida de origem exalativa, depositada por soluções hidrotermais em ambiente marinho, com predominância de sedimentação sobre vulcanismo. As características mais marcantes que levaram estes autores e assim considerá-la são:

a) controle estratigráfico, do tipo stratabound; b) ocorrência de formação ferrífera sobreposta ao depósito; c) a mineralização é constituída principalmente por sulfetos de Pb, Cu e Zn, com prata subordinada; d) a mineralização é lenticular, com partes maciças, constituídas por mais de 50% de sulfetos; e) ocorrência de estruturas de deslizamento na mineralização; f) presença na sequência da região da mina de rochas básicas interpretadas como metavulcânicas (anfíboli^{ti}tos, anfibólio-xistos); g) as galenas da região foram datadas de 1.000 a 1.400 m.a., dentro do intervalo de variação das jazidas exalativas-sedimentares conhecidas, que vai de 1.000 a 1.700 m.a.; i) a mineralização se encontra em bacia tafrogênica, que foi submetida a tectônica tracional, traço também comum às jazidas exalativas sedimentares.

Embora esta última hipótese reúna maior número de evidências a seu favor, o grau de conhecimento da geologia da região e da jazida em particular ainda não permitem uma classificação inequívoca da jazida.

7 - O HALO PRIMÁRIO

7.1 - Origem dos dados

Os dados utilizados para o estudo geoquímico apresentado a seguir são derivados da análise química de amostras coletadas em diversos estudos efetuados na mina do Perau. A localização, método de análise e tipo de material coletado para cada análise são apresentados em detalhe nos anexos A e B, no final deste volume. Os métodos de coleta e análise são apresentados no anexo J.

7.2 - Estudo dos teores do minério de chumbo

Sessenta e nove amostras de minério de chumbo da mina do Perau, coletadas em galerias e furos de sondagem, apresentaram as médias expostas na tabela 7.II. Nota-se a predominância do chumbo, com teor muito maior que dos outros elementos, o que se expressa na mineralogia, com predominância de galena sobre os outros minerais de minério.

O corpo de minério do Perau apresenta grande variação de espessura, acompanhada por irregularidades de teor, o que dificulta muito a detecção de padrões espaciais de variação dos teores, que poderiam indicar variação nas condições genéticas, conforme sugerido por Barbour & Oliveira (1979). Para testar a regularidade nos padrões de variação foram traçados em computador mapas de contorno dos teores dos elementos analisados (Cu, Pb, Zn, Ag e Au) e de razões entre elementos, sendo estas

$$\frac{\text{Cu}}{\text{Cu} + \text{Pb}/100} \quad \text{e} \quad \frac{\text{Zn}}{\text{Zn} + \text{Pb}/10}$$

As correlações entre os valores brutos e calculados por regressão das superfícies de tendência em geral foram muito baixas, conforme é mostrado na tabela 7.II. Isto indica predominância forte, para quase todos os elementos, exceto Zn, da variação local sobre a variação regional dos teores. Isto em parte é ex

plicado pela heterogeneidade da amostragem, mas não totalmente, pois quando o padrão ocorre, ele é discernível nas áreas de amostragem mais regular, como na parte SE dos mapas. A localização precisa das amostras é apresentada no anexo 3, os mapas de contorno dos teores e os respectivos mapas de tendência e de resíduos de primeira ordem apresentados nas figuras 7.1 a 7.21. Apenas são apresentados os de primeira ordem por economia de espaço e porque os padrões não se alteram nos de mais alta ordem, apenas sendo acrescentadas variações locais às tendências já apresentadas pelos mapas de primeira ordem, sem alterar a direção geral de variação. Três tendências se apresentam: a primeira, mais forte, é o crescimento dos teores calculados para NW nos mapas de $\frac{Zn}{Zn + Pb/10}$ e de Zn. Uma tendência inversa é

mostrada pelos mapas de Pb, Ag e Au, com crescimento para SE. Uma variação desta última é a de Cu, com fraca tendência para crescimento para NE. As tendências contrastantes dos teores de Zn de um lado e os de Pb, Ag e Au do outro estão de acordo com o apresentado por Barbour & Oliveira (1979), de predominância de Pb na parte central da bacia e Zn na parte periférica, marcada por metaconglomerados. O comportamento do Cu não pode adequadamente ser explicado pelos dados disponíveis, pois ele predomina num nível inferior ao estudado, não sendo também incluídas no mapa amostras da galeria da Azurita, bem a sul da área exibida. A tendência quase universal de decréscimo dos teores para oeste é concordante com o mostrado pela espessura do minério nos novos furos de sondagem a SW, conforme JICA/MMAJ (1982, 1983).

Em resumo, o estudo da variação espacial dos teores por superfícies de tendência mostrou:

- a) a variação local, devida a espessamentos e adelgaçamentos do nível mineralizado e provável recristalização metamórfica, é muito grande, não chegando, entretanto, a sobrepujar totalmente a variação regional.
- b) a variação regional mostra crescimento dos teores de Zn para

ELEMENTO	GRAUS DAS SUPERFÍCIES DE TENDÊNCIA					
	1º	2º	3º	4º	5º	6º
Cu	.063	.124	.166	.348	.456	.518
Cu						
Cu + Pb/100	.246	.281	.306	.456	.485	.588
Pb	.286	.293	.306	.442	.476	.590
Zn	.469	.516	.581	.660	.723	.760
Zn						
Zn + Pb/10	.406	.427	.506	.528	.620	.753
Ag	.328	.350	.371	.479	.490	.590
Au	.173	.224	.299	.344	.479	.649

Tabela 7.I - Coeficientes de correlação das superfícies de tendência calculadas para 69 amostras de minério da mina do Perau.

ELEMENTO	$\bar{X}$	s	Mínimo	Máximo
Cu (%)	0.151	0.607	0.001	5.0
Pb (%)	10.28	8.36	0.025	50.0
Zn (%)	1.31	1.93	0.001	9.9
Ag (ppm)	183	122	22	629
Au (ppm)	0.152	0.238	0.02	1.30

Tabela 7.II - Médias aritméticas, desvios padrões, valores mínimos e valores máximos dos teores de 5 elementos analisados em 69 amostras de minério da mina do Perau.

Figura 7.1: - Mapa de isoteores de cobre para 69 amostras de mi
nério da mina do Perau.

Figura 7.2: - Mapa da superfície de tendência de primeira ordem para teores de cobre de 69 amostras de minério da mina do Perau

Figura 7.3: - Mapa residual de primeira ordem para teores de co
bre de 69 amostras de minério da mina do Perau.

Figura 7.4: - Mapa de isovalores para a razão $\text{Cu}/(\text{Cu}+\text{Pb}/100)$ de 69 amostras de minério da mina do Perau.

Figura 7.5: - Mapa da superfície de tendência de primeira ordem para a razão $\text{Cu}/(\text{Cu}+\text{Pb}/100)$ de 69 amostras de minério da mina do Perau.

Figura 7.6: - Mapa residual de primeira ordem para a razão $\text{Cu}/(\text{Cu}+\text{Pb}/100)$ de 69 amostras de minério da mina do Perau

Figura 7.7: - Mapa de isoteores de chumbo para 69 amostras de mi
nério da mina do Perau

Figura 7.8: - Mapa da superfície de tendência de primeira ordem para teores de chumbo de 69 amostras de minério da mina do Perau.

Figura 7.6: - Mapa residual de primeira ordem para a razão $\text{Cu}/(\text{Cu}+\text{Pb}/100)$ de 69 amostras de minério da mina do Perau

Figura 7.7: - Mapa de isotores de chumbo para 69 amostras de minério da mina do Perau

Figura 7.8: - Mapa da superfície de tendência de primeira ordem para teores de chumbo de 69 amostras de minério da mina do Perau.

Figura 7.9: - Mapa residual de primeira ordem para teores de chumbo de 69 amostras de minério da mina do Perau.

Figura 7.10: Mapa de isoteores de zinco para 69 amostras de mi
nério da mina do Perau.

Figura 7.11: Mapa de superfície de tendência de primeira ordem para teores de zinco de 69 amostras de minério da mina do Perau.

Figura 7.12: - Mapa residual de primeira ordem para teores de zinco de 69 amostras de minério da mina do Perau.

Figura 7.13: - Mapa de isovalores para a razão $Zn/(Zn+Pb/10)$ de 69 amostras de minério da mina do Perau.

Figura 7.14: Mapa da superfície de tendência de primeira ordem para a razão $Zn/(Zn+Pb/10)$ de 69 amostras de minério da mina do Perau.

Figura 7.15: Mapa residual de primeira ordem para a razão $Zn/(Zn+Pb/10)$ de 69 amostras de minério da mina do Perau.

Figura 7.17: Mapa da superfície de tendência de primeira ordem para teores de prata de 69 amostras de minério da mina do Perau.

Figura 7.18: - Mapa residual de primeira ordem para teores de prata de 69 amostras de minério da mina do Perau.

Figura 7.19: - Mapa de isoteores de ouro para 69 amostras de mi
 nério da mina do Perau.

SYMBOLICA USADA PARA TEORIAS DE DUNE LA PPM

№	№, 2	№, 1	№, 3	№, 4	№, 5
00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000

NY

0 100
[*****]
ESCALA 64 DEGRES

Figura 20: - Mapa de superfície de tendência de primeira ordem para teores de ouro em 69 amostras de minério da mina do Perau.

Figura 7.21: - Mapa residual de primeira ordem para teores de ouro em 69 amostras de minério da mina do Perau.

NW e de Pb, Ag, Au para SE, e de Cu fracamente para NE. Esta variação deve ser motivada por variações nas condições de deposição dos sedimentos e do minério.

c) estas variações são compatíveis com uma interpretação genética sedimentar ou sedimentar-exalativa.

Vinte e quatro amostras de minério foram submetidas a análise quantitativa para Cu, Pb e Zn e análise espectrográfica de emissão para 30 elementos. Os resultados são apresentados no Anexo B e comentados juntamente com os das amostras de rocha.

7.3 - Amostras de superfície

7.3.1 - Descrição dos grupos e testes estatísticos univariados

Das 111 amostras da área do Perau, com análise espectrográfica de emissão, 84 amostras de rocha foram processadas conjuntamente (grupo rochas do Perau). Sessenta e uma destas a mostras foram coletadas acima da mineralização (rochas da capa do Perau) e 17 abaixo (rochas da lapa do Perau). Trinta e uma amostras, entre as 84, sofreram análise total (espectrográfica, absorção atômica e quantitativa), sendo destas, 25 coletadas na capa. Antes de efetuar os processamentos mais complexos foi analisada a distribuição de frequência dos dados nos diversos grupos, sendo os resultados dos cálculos apresentados nas tabelas 7.III a 7.VI. As fórmulas e limites foram apresentados no capítulo 3.

A prata apresentou apenas um valor (em filito, 0,5 m abaixo da mineralização) e quatro em rochas calciossilicáticas, acima do limite inferior de detecção. Consequentemente não a apresentou variação nos grupos de dados da capa.

O arsênio apresentou apenas um valor de 1 000 ppm, em rocha calciossilicática do nível mineralizado.

O ouro não apresentou nenhuma amostra com valor detectável por espectrografia ótica (acima de 3 ppm), enquanto o

cádmio apresentou dois valores de 20 ppm, iguais ao limite, em rocha calciossilicática e um de 10 ppm (valor menor que o limite) em gnaiss.

O antimônio não apresentou valores detectáveis, enquanto o wolfrâmio apresentou um valor, em gnaiss, de 25 ppm, inferior ao limite.

Todos estes elementos apresentam muito poucos valores significativos de teores determinados por espectrografia ótica de emissão para serem utilizados em prospecção litogeoquímica, nas condições do Perau. Os valores que apresentam em minério e, em alguns casos, em rochas do horizonte mineralizado indicam que deveriam ser testados por processos mais precisos de análise para utilização em prospecção.

No grupo de dados de rochas do Perau (84, tabela 7.III) os valores de ferro apresentaram distribuição de frequência compatível com a normalidade, ao nível de 5%, e nenhum dos elementos mostrou distribuição lognormal.

No grupo de dados da capa do Perau, (61, tabela 7.IV) o Mg apresentou valores compatíveis com a lognormalidade.

Para as amostras com análise total, no grupo das rochas do Perau (31, tabela 7.V) os valores de Fe, Ti e Co por espectrografia ótica e os de Fe_2O_3 , TiO_2 , MnO e ferro total apresentaram distribuição normal e os de Sr e V por espectrografia ótica e de Sr e K_2O por espectrometria de absorção atômica apresentaram lognormalidade. O grupo de amostras da capa do Perau com análise total tem muito poucas amostras (25, tabela 7.VI) para que faça sentido testar sua distribuição de frequência.

Em resumo, em todos os conjuntos de dados de rochas de superfície do Perau a grande maioria dos elementos não apresenta distribuição normal nem lognormal. Isto faz com que devam ser utilizados quando possível testes não paramétricos. Os procedimentos multivariados, conforme já apontado no capítulo 3, devem ser usados apenas como técnicas de redução de dados,

mas não podem ser usados como testes, por não atenderem às premissas necessárias para os cálculos dos níveis de significância.

7.3.2 - Comparação entre distribuições

Foi usado o teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov, para comparação entre os conjuntos de rochas do Perau com análise (31) e com análise espectrográfica (84) entre os conjuntos da capa do Perau com as mesmas análises (25 e 61 amostras). Os valores críticos foram os fornecidos por Bussab & Severo (1974) e os resultados, conforme calculados pelo programa NPAR TESTS do SPSS, estão listados na tabela 7.VII). Em todos os casos os valores da estatística D (máxima diferença entre frequências acumuladas proporcionais) são inferiores aos tabelados para o nível de significância de 5 %. É possível então, segundo este teste, considerar cada dupla de conjuntos comparados provenientes da mesma população, e generalizar para o conjunto maior os resultados obtidos para o conjunto menor.

7.4 - Comportamento individual dos elementos

Introdução

O comportamento individual dos elementos foi estudado comparando seus teores com as médias para os diversos tipos de rocha amostrados, apresentadas na tabela 7.VIII. Valores muito mais baixos ou mais altos que a média são apresentados e comentados à frente. Os teores foram lançados em gráficos, tomando como variável independente (eixo dos x) a distância à mineralização. Foram também elaborados gráficos parciais, tomando apenas as amostras da capa e da lapa da mineralização, e gráficos contendo apenas teores dosados em anfíbolitos e xistos. Estes gráficos são apresentados no anexo H. Também foi calculada média móvel de 3 valores contíguos, e elaborados a partir dela gráficos para Cu, Pb, Zn, Mg e B. Para teste da correlação entre distância da mineralização e teores foram calculados coefi

ELEMENTO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	ASSIMETRIA	CURTOSE	DK-S	ASSIMETRIA LOG	CURTOSE LOG	DK-S LOG	OBS
FE	5.596	3.862	0.446	- 0.224	0.1319	- 1.778	2.713	0.2677	
MG	1.879	2.222	2.592	8.576	0.2877	- 1.060	1.564	0.1568	
CA	2.471	3.599	2.422	7.352	0.2484	- 0.319	- 1.239	0.1325	
TI	0.302	0.224	1.863	5.294	0.5313	1.322	2.344	0.2483	
ME	1.068.452	1.089.911	2.656	9.750	0.2389	- 1.443	1.359	0.2794	
AG	2.562	16.578	8.705	77.949	0.4900	4.157	17.068	0.5284	
AS	71.190	102.562	9.165	84.000	0.5315	9.165	84.000	0.5315	
AU	3.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-	
B	117.952	428.941	5.192	27.337	0.3944	1.398	1.153	0.3083	
BA	713.810	1.577.696	2.960	7.810	0.3753	0.331	- 0.906	0.1613	
BE	0.494	0.456	4.304	21.012	0.3757	2.046	4.681	0.3331	
BI	3.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-	
CD	6.381	2.184	6.038	36.172	0.5335	5.760	33.029	0.5361	
CO	25.673	31.275	2.708	10.868	0.2743	- 0.363	- 0.771	0.1817	
CR	114.881	164.534	3.294	12.770	0.2860	- 0.498	- 0.823	0.2106	
CU	298.244	1.793.107	7.444	57.946	0.4853	0.997	2.624	0.1294	
LA	20.024	33.684	3.984	18.424	0.3400	1.403	0.925	0.4117	
MO	1.935	1.937	5.159	28.892	0.5292	4.115	16.239	0.5368	
NB	4.940	1.409	4.744	33.191	0.4593	0.905	9.533	0.4509	
NI	48.690	63.727	1.946	4.203	0.2701	- 0.054	- 0.969	0.0917	
PB	612.202	3.287.766	6.741	47.729	0.4546	1.614	2.850	0.1812	
SB	30.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.5000	
SC	13.065	10.691	0.619	- 1.188	0.2505	- 0.387	- 0.987	0.1422	
SN	3.524	1.753	4.753	25.593	0.4746	3.373	12.307	0.4956	
SR	81.667	83.418	2.480	7.804	0.2788	0.841	- 0.508	0.2973	
V	96.738	126.099	4.684	31.465	0.2286	- 0.529	- 0.717	0.1808	
W	15.119	1.091	9.165	84.000	0.5315	9.165	84.000	0.5315	
Y	15.940	10.710	2.664	9.686	0.3207	- 0.540	1.363	1.2905	
ZN	274.524	1.450.023	8.429	73.885	0.4884	4.765	23.679	0.5027	
ZR	78.381	73.172	1.300	1.276	0.1885	- 0.500	- 0.356	0.1501	

Tabela 7.III - Parâmetros estatísticos e resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov de normalidade para 84 amostras de rocha da mina do Perau, com análise espectrográfica de emissão.

ELEMENTO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	ASSIMETRIA	CURTOSE	D - KS	ASSIMETRIA LOG	CURTOSE LOG	D - KS LOG	OBS
FE	6.948	3.306	0.583	0.561	0.2150	- 1.987	6.914	0.2430	
MG	2.041	2.087	2.928	12.075	0.3111	- 0.306	0.386	0.1462	
CA	2.728	3.494	2.548	9.194	0.2230	- 0.679	- 0.599	0.1685	
TI	0.339	0.190	1.632	3.445	0.3191	- 0.861	3.522	0.2217	
MN	1.328.852	1.135.082	2.748	9.163	0.2925	- 2.289	7.512	0.2671	
AG	0.150	0.000	0.000	0.000	0.5000	0.000	0.000	-	
AS	60.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-	
AU	3.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-	
B	105.197	382.973	5.602	33.281	0.3948	1.316	0.996	0.3022	
BA	494.393	1.032.563	3.337	11.540	0.3181	0.319	- 1.071	0.1683	
BE	0.433	0.241	2.506	6.765	0.3319	1.551	1.802	0.3677	
BI	3.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-	
CD	6.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.5000	
CD	29.000	25.915	1.093	0.146	0.2561	- 0.807	0.600	0.1638	
CR	148.934	180.874	2.937	9.667	0.2645	- 1.118	1.434	0.2382	
CU	287.025	1.915.788	7.803	60.921	0.4957	0.683	2.927	0.1606	
LA	15.869	27.715	5.318	33.328	0.3609	1.680	2.426	0.4250	
MO	1.697	1.170	6.541	44.734	0.5340	5.789	33.957	0.5379	
NB	4.984	0.785	3.661	29.796	0.4753	- 0.086	15.163	0.4688	
NI	59.770	61.412	1.420	2.326	0.2271	- 0.170	- 0.962	0.1192	
PB	55.098	154.210	4.785	25.379	0.3843	1.126	0.903	0.1980	
SB	30.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.5000	
SC	16.492	10.370	0.262	- 1.617	0.2151	- 0.442	- 0.585	0.1841	
SN	3.197	0.601	2.766	5.840	0.5300	2.766	5.840	0.5300	
SR	89.016	88.274	2.416	7.535	0.2609	0.673	- 0.708	0.2500	
V	122.180	136.958	4.599	28.233	0.2392	- 0.785	1.582	0.1619	
W	15.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-	
Y	17.705	10.471	3.137	11.908	0.3396	0.696	3.195	0.2890	
ZN	94.426	192.254	6.893	49.837	0.4891	4.914	25.481	0.5132	
ZR	67.213	60.886	1.036	- 0.076	0.2049	- 0.140	- 0.922	0.1624	

Tabela 7.IV - Parâmetros estatísticos e resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov de normalidade para 61 amostras de rocha da capa da mina do Perau com análise espectrográfica de emissão.

ELEMENTO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	ASSIMETRIA	CURTÓSE	D - KS	ASSIMETRIA LOG	CURTÓSE LOG	D - KS LOG
FE	4.460	2.555	- 0.089	- 0.798	0.1966	- 2.028	4.360	- 0.2713
MG	1.034	0.937	2.693	10.102	0.2241	- 0.816	1.938	- 0.1747
CA	1.271	2.096	2.297	9.843	0.3257	- 0.164	- 0.871	- 0.1243
TI	0.247	0.120	0.289	0.448	0.2333	- 1.598	2.507	- 0.2851
MN	897.097	551.526	- 0.419	- 1.275	0.2514	- 1.537	1.194	- 0.3472
AG	0.629	2.667	5.568	31.000	0.5390	5.568	31.000	- 0.4287
AS	60.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.0000
AU	3.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.0000
B	80.516	270.897	5.132	27.399	0.4187	1.388	1.423	- 0.1933
BA	693.226	1.473.061	3.159	9.754	0.3691	0.064	- 1.122	- 0.1765
BE	0.477	0.281	2.254	5.342	0.3390	1.281	1.089	- 0.2175
BI	3.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.0000
CD	6.129	0.718	5.568	31.000	0.5390	5.568	31.000	- 0.4287
CO	13.194	9.697	0.460	- 0.749	0.1452	- 0.747	- 0.967	- 0.2654
CR	89.968	65.207	1.090	2.478	0.2776	- 1.404	1.008	- 0.3191
CU	26.371	24.587	1.087	0.963	0.1943	- 0.327	- 1.281	- 0.1625
LA	29.419	48.881	3.004	8.830	0.3340	1.048	0.190	- 0.2179
MO	1.500	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.0000
NB	5.355	2.074	3.873	16.867	0.5034	2.220	9.614	- 0.3989
NI	29.484	31.445	1.238	0.320	0.2637	- 0.254	- 0.695	- 0.1139
PB	75.839	212.363	3.818	14.328	0.4242	1.471	2.592	- 0.1108
SB	30.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.0000
SC	8.952	6.328	0.880	- 0.616	0.2985	- 0.353	- 0.300	- 0.1785
SN	3.613	1.430	3.302	13.127	0.4401	2.262	5.492	- 0.3142
SR	103.226	108.117	2.082	5.148	0.2491	0.576	- 1.069	- 0.1860
V	55.742	45.830	1.013	1.436	0.1644	- 0.652	- 0.598	- 0.1722
W	15.323	1.796	5.568	31.000	0.5390	5.568	31.000	- 0.4287
Y	14.290	7.480	3.585	18.258	0.4299	- 0.816	4.753	- 0.3670
ZN	60.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.0000
ZR	71.129	52.863	1.063	0.559	0.2182	- 0.180	- 1.123	- 0.1807
CUQ	47.903	48.392	1.346	1.680	0.1927	- 0.704	- 0.541	- 0.1598
PBQ	36.194	121.552	5.286	28.731	0.3877	1.614	3.161	- 0.1401
ZNO	41.548	28.445	1.068	1.704	0.1346	- 1.653	3.529	- 0.1791
COQ	11.387	8.024	0.529	- 0.386	0.1117	- 0.768	- 0.607	- 0.2098
NIQ	21.513	19.110	1.373	3.004	0.1434	- 1.084	- 0.084	- 0.2927
SRQ	179.677	259.897	2.742	8.310	0.2508	- 0.059	- 0.164	- 0.0972
RBQ	120.484	116.700	1.184	1.245	0.2772	0.198	- 1.761	- 0.1660
SI02	61.029	15.321	0.180	2.253	0.1555	- 2.799	10.192	0.2946
AL203	13.466	4.572	- 1.929	3.135	0.2734	- 2.456	5.120	0.3286
FE203	3.688	1.848	0.169	0.216	0.0946	- 1.740	3.302	0.2187
FE0	3.206	2.604	0.268	- 1.532	0.1829	- 0.782	- 0.496	0.1574
TI02	0.702	0.464	0.874	0.527	0.1810	- 1.958	3.777	- 0.2406
MNO	0.153	0.112	0.415	- 0.983	0.1073	- 0.751	- 0.668	0.1642
CA0	4.695	5.787	2.073	6.460	0.2465	- 0.305	- 1.395	0.2166
MG0	4.160	3.695	1.603	4.034	0.1895	- 0.681	- 0.247	0.1761
NA20	2.734	2.191	0.066	- 1.521	0.1540	- 0.841	- 0.747	0.2119
K2O	2.441	2.564	0.902	- 0.183	0.2008	- 0.551	- 0.798	0.1724
P205	0.285	0.235	1.905	3.323	0.2470	- 0.861	1.440	0.1277
PF	3.290	5.312	4.763	24.753	0.3164	- 0.468	1.775	- 0.1377
FET	6.894	3.416	- 0.535	- 1.034	0.1788	- 1.925	3.675	- 0.2257

Tabela 7.V - Parâmetros estatísticos e resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov de normalidade para 31 amostras de rocha da mina do Perau com análise espectrográficas de emissão e absorção atômica e análises quantitativas de óxidos de elementos principais.

ELEMENTO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	ASSIMETRIA	CURTOSE	D - KS	ASSIMETRIA LOG	CURTOSE LOG	D - KS LOG
FE	5.260	2.107	- 0.128	- 0.216	0.2109	- 1.015	0.146	0.3002
MG	1.172	0.991	2.517	8.810	0.2089	- 0.474	1.165	0.1236
CA	1.506	2.272	2.611	7.738	0.3080	- 0.239	- 0.649	0.1293
TI	0.255	0.107	0.339	1.123	0.2578	- 1.964	5.719	0.2537
MN	1.056.800	460.966	- 0.795	- 0.307	0.2510	- 2.977	10.556	0.3705
AG	0.150	0.000	0.000	0.000	0.5000	0.000	0.000	-
AS	60.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-
AU	3.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-
B	85.920	297.698	4.841	23.840	0.4413	1.466	1.981	0.3098
BA	551.200	1.112.600	3.320	11.559	0.3268	0.099	- 1.359	0.1973
BE	0.468	0.291	2.448	6.311	0.3362	1.480	1.733	0.3223
BI	3.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-
CD	6.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.5000
CO	15.660	9.071	0.292	- 0.686	0.1690	- 0.474	1.736	0.2572
CR	101.640	64.348	1.176	2.873	0.3102	- 2.060	4.251	0.3340
CU	30.000	25.951	0.801	0.366	0.1984	- 0.522	- 1.272	0.2024
LA	22.000	39.812	4.084	18.107	0.3439	1.394	1.687	0.3585
MO	1.500	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.5000
NB	5.200	1.000	5.000	25.000	0.5393	5.000	25.000	0.5393
NI	35.400	32.339	0.968	- 0.344	0.2430	- 0.664	0.320	0.1374
PB	60.920	197.714	4.843	23.832	0.4421	1.799	5.319	0.2514
SB	30.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-
SC	10.120	6.426	0.669	- 1.156	0.2863	- 0.356	0.010	0.1902
SN	3.400	0.816	1.597	0.593	0.4879	1.597	0.593	0.4879
SR	106.400	110.449	2.177	5.935	0.2446	0.484	- 1.154	0.3010
V	62.320	47.342	0.871	1.167	0.1870	- 0.881	0.151	0.1943
W	15.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-
Y	15.200	7.703	4.015	19.092	0.4704	0.685	7.796	0.3943
ZN	60.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-
ZR	64.600	53.637	1.401	1.588	0.2199	0.095	- 1.196	0.2059
CUQ	55.240	51.123	1.057	0.920	0.1443	- 0.796	- 0.628	0.2212
PBQ	37.420	134.551	4.921	24.431	0.4149	1.985	5.502	0.2612
ZNQ	47.280	27.778	1.148	1.813	0.1634	- 0.523	0.423	0.1005
COQ	12.520	6.789	0.249	- 0.368	0.1174	- 1.167	0.633	0.2216
NIQ	24.424	18.116	1.662	4.671	0.1997	- 2.009	3.850	0.3246
SRQ	183.200	246.606	3.179	12.270	0.2541	0.311	- 0.747	0.1498
RBQ	105.800	96.282	0.656	- 1.189	0.3193	0.251	- 1.915	0.3397
SI02	57.428	11.732	- 1.246	4.541	0.2016	- 3.033	12.774	0.1916
AL203	14.412	3.450	- 2.277	6.442	0.2755	- 3.941	17.391	0.3286
FE	4.168	1.598	0.472	0.872	0.1236	2.051	7.542	0.2187
FEO	3.686	2.466	0.086	- 1.509	0.1612	- 1.546	2.923	0.1574
TI02	0.757	0.400	0.906	0.962	0.1954	- 2.708	10.809	0.2576
MNO	0.180	0.104	0.296	- 1.064	0.1291	- 0.931	0.466	0.1642
CAO	5.454	6.065	1.960	5.882	0.1902	- 0.544	- 1.070	0.2166
MGO	4.728	3.824	1.476	3.671	0.1599	- 0.914	0.309	0.1761
NA20	3.124	2.136	- 0.191	- 1.391	0.1561	- 1.462	1.325	0.2119
K20	2.083	2.206	0.923	0.092	0.2130	- 0.158	- 1.582	0.1724
P205	0.299	0.205	2.210	5.037	0.2595	0.372	1.105	0.1277
PF	3.508	5.781	4.569	22.040	0.3649	0.054	2.290	0.1328

Tabela 7.VI - Parâmetros estatísticos e resultados do teste de Kolmogorov-Smirnorf de normalidade para amostras de rocha da capa da mina do Perau com análises espectrográficas de emissão e absorção atômica e análise quantitativas de óxidos de elementos principais.

Tabela 7.VII : Valores da estatística D de Kolmogorov-Smirnof para teste de aderência de distribuições de frequência dos teores entre os grupos de amostras de rocha do Perau. Na primeira coluna, total das rochas x rochas com análise quantitativa; na segunda coluna, total das rochas da capa x rocha da capa com análise quantitativa. Os elementos assinalados com asterisco (*) apresentam valor constante em pelo menos um dos grupos

Elemento	Perau	Capa do Perau
Fe	.1967	.2387
Mg	.2363	.2590
Ca	.2220	.2610
Ti	.1321	.1823
Mn	.1084	.1475
Ag *	.0400	.0000
As *	.0120	.0000
Au *	.0000	.0000
B	.1283	.1075
Ba	.1185	.1069
Be	.0863	.0630
Bi *	.0000	.0000
Cd *	.0024	.0000
Co	.2169	.2787
Cr	.1363	.1443
Cu	.1363	.1443
La	.1384	.1049
Mo	.0602	.0328
Nb	.0560	.0492
Ni	.1566	.1967
Pb	.1757	.2426
Sb *	.0000	.0000
Sc	.2289	.3115
Sn	.0933	.1016
Sr	.1178	.1141
V	.2449	.3207
W *	.0202	.0000
Y	.1846	.2223
Zn	.1080	.0931
Zr	.1080	.0931

cientes de Pearson e Spearman para os conjuntos parciais (capa e lapa, xistos e anfibolitos da capa), apresentados na tabela 7.IX.

Considerando a variabilidade dos teores dos elementos nos diversos tipos de rocha, o teor de um elemento, por si só, tem pouca significação. Para a prospecção, interessa analisar a variação dos teores e usar como indicador de mineralização as diferenças que possam ser atribuídas ao minério ou a seus agentes formadores. Para que isto possa ser feito deve primeiramente ser tirada da variável a parcela derivada da diferença litológica. Neste trabalho esta correção foi feita de duas maneiras. Primeiramente, adotando o processo de Govett (1983) foi efetuada, para as amostras de rocha do Perau com análise total (31), regressão dos teores dos diversos elementos em relação aos teores de SiO_2 . Foram calculados os resíduos e estudada sua variação, por diagramas de dispersão em relação à distância, regressão múltipla e análise discriminante. Este tipo de correção tem dois problemas: o primeiro é o fato de exigir análise de sílica para todas as amostras, encarecendo o processo: o segundo é que, embora ideal para corrigir variação em sequências de rochas ígneas cuja principal variação é a diferenciação magmática, a correção por sílica não leva em conta as variações mais radicais que aparecem quando se trabalha com amostras coletadas em rochas de composição e tipo genético muito variado, como é o caso das do Perau. Assim sendo foi feito o cálculo de teores relativos, sendo cada um deles o resultado da divisão do teor bruto pelo teor médio para o tipo de rocha a que pertence a amostra. Os teores médios usados para correção são os indicados na tabela 7.6. Os valores para elementos principais foram os apresentados por Beus (1976) como médias para o total das rochas de cada tipo no mundo; os valores para elementos traços foram tomados em Rose et alii (1979). Também esta correção apresenta problemas. Não foram conseguidos os valores para elementos traços em xistos e filitos, sendo

Tabela 7.VIII - Teores médios usados para correção dos teores por tipo de rocha, segundo Beus (1976), teores em percentagem e Hawkes et alii (1975), teores em ppm.

ELEMENTO	PROPORÇÃO	ANFIFOLITOS (básicas)	GNAISSES (granitos)	CALCÁRIOS	ARENITOS (quartzitos)	XISTOS (folhelhos)
Si	Atômica	22.8	30.6	3.4	34.7	29.4
%	SiO ₂	48.04	64.48	7.16	73.12	61.95
Al	Atômica	8.3	8.4	0.96	2.9	8.8
%	Al ₂ O ₃	15.68	15.87	1.81	5.48	16.62
Fe	Atômica	8.8	4.0	0.86	2.8	4.8
Mg	Atômica	4.3	1.25	0.95	0.15	1.56
%	MgO	7.1	2.07	1.58	1.24	2.59
Ca	Atômica	7.1	2.45	32.50	9.68	1.72
%	CaO	9.93	3.42	45.47	3.75	2.41
Ti	Atômica	0.82	0.35	0.12	0.30	0.36
%	TiO	1.37	0.62	0.20	0.50	0.60
Mn	Atômica	0.12	0.07	0.042	0.04	0.10
%	MnO	0.15	0.09	0.054	0.05	0.13
Na	Atômica	1.85	2.4	0.25	0.92	1.43
%	Na ₂ O	2.49	3.24	0.34	1.24	1.93
K	Atômica	0.70	2.4	0.25	1.24	2.65
%	K ₂ O	0.84	2.9	0.30	1.49	3.19
P	Atômica	0.07	0.084	0.05	0.04	0.06
%	P ₂ O ₅	0.16	0.191	0.11	0.09	0.14
Ag	ppm	0.1	0.037	0.1	0.25	0.19
As	ppm	1.5	2.1	1.1	1.2	12
Au	ppm	0.0032	0.0023	0.005	0.005	0.004
B	ppm	5	10	20	35	100
Ba	ppm	330	840	92	170	550
Be	ppm	1	3	1	1	3
Bi	ppm	0.05	0.3	-	0.3	1.0
Cd	ppm	0.2	0.1	0.035	0.05	0.3
Co	ppm	48	1	0.1	0.33	19
Cr	ppm	170	4.1	11	35	90
Cu	ppm	72	12	5	10	42
La	ppm	17	55	4	7	39
Mo	ppm	1.5	1.3	0.4	0.2	2.6
Nb	ppm	20	20	15	15	20
Ni	ppm	130	4.5	20	2	68
Pb	ppm	4	18	5	1.0	25
Sb	ppm	.1	.2	.3	.1	1
Sn	ppm	1.5	3.0	0.5	0.6	6
Sr	ppm	465	100	610	20	300
V	ppm	250	44	20	20	130
W	ppm	1	1.5	0.5	1.6	1.8
Y	ppm	25	41	4	10	35
Zn	ppm	94	51	21	40	100
Zr	ppm	140	175	19	220	160
RbQ	ppm	32	276	56	40	143

usados os referentes a folhelhos para correção dos teores nestas rochas. Não foi feita nenhuma correção para alteração intemperica. E finalmente, os valores médios ideais seriam os das rochas que estamos estudando, calculados com um número suficiente de amostras, sendo estas sem nenhuma alteração causada por intemperismo, hidrotermalismo e mineralização. Sendo estas condições impossíveis de alcançar na prática, foram efetuadas as correções com os teores médios, com bons resultados, conforme será observado adiante. As médias dos teores corrigidos, para cada tipo de rocha, foram utilizadas como indicadores de enriquecimento ou empobrecimento. Assim, nos gráficos e teores corrigidos indicados, médias e valores em gráfico de teores relativos superiores a um indicam enriquecimento nas rochas estudadas em relação aos teores médios mundiais, inferiores indicam empobrecimento. Nos comentários abaixo,

EE significa espectrografia ótica de emissão,

AA espectrometria de absorção atômica,

Q análise quantitativas, conforme os métodos já expostos,

Rel sendo el um elemento, teores corrigidos por cálculo de resíduo em relação a sílica e

ElN sendo el um elemento, teores relativos = teor bruto/ teor médio mundial para cada rocha. Os teores médios brutos e relativos, são apresentados em listagens no anexo G.

Os gráficos de teores x distâncias à mineralização encontram-se no anexo H, inclusive os efetuados com médias móveis.

7.4.1 - Comentários sobre cada elemento:

FERRO: não apresenta padrões nos gráficos de dispersão que possam ser interpretados como causados pela mineralização. Maiores teores relativos em calciossilicáticas (4,4) e xistos (1,14), mas os xistos com maiores teores são situados longe da mineralização. As calciossilicáticas têm pirita, assim como o minério. Gossans, provavelmente derivados da decomposição de veios em fraturas, com mineralização, apresentam 20% de Fe.

MAGNÊSIO: teores brutos e corrigidos por sílica mostram enriquecimento apenas nas calciossilicáticas (realçado pela correção). Teores relativos por rocha maiores em calciossilicáticas (4,3) e xistos (1,04), com maiores valores em calcioxistos. O padrão espacial dos teores corrigidos por rocha (MgN por EE, não MgOQ) mostra maiores teores na capa que na lapa, com altos teores relativos imediatamente junto ao minério e decréscimo com a distância. Isto poderia indicar cloritização, pois ocorre clorita nas rochas próximas à mineralização e esta é uma alteração comum nas rochas próximas a depósitos de sulfetos maciços (Govett, 1983).

TITÂNIO: teores brutos mais altos na capa que na lapa, a não ser um valor isolado de mais de um por cento a 500 m. Teores relativos maiores em filitos (1,01), calciossilicáticas (1,3) e xistos (1,7). Padrões espaciais não controlados pela distância à mineralização.

CÁLCIO: todos os teores médios são mais baixos que os padrões, exceto o dos xistos, com teor relativo de 1,1 explicado pelos calcioxistos. Não mostra padrão espacial de enriquecimento nem empobrecimento. Valores da capa maiores que da lapa (estes mostram diminuição na direção da mineralização).

MANGANÊS: maiores teores relativos em calciossilicáticas (2,6), ortognaisses (1,9) e xistos (1,5). Teores relativos maiores

na capa que na lapa, maiores próximo à mineralização e no ortognaisse (a 515 m). Isto se reflete na correlação dos teores com distância na capa (coeficientes de $-0,29$ de Pearson e $-0,36$ de Spearman) e mostra que manganês é bom indicador da proximidade da mineralização.

PRATA: a prata apenas apresentou valores acima do limite de detecção por EE em rochas situadas imediatamente no nível mineralizado (calciossilicáticas) ou muito próximas, em filito a 0,5 m. Seus teores em minério acompanham os de Pb (correlação 0,8). Não é útil para prospecção, sendo preferível analisar Pb.

ARSENIO: apresenta apenas um valor acima do limite de detecção por EE (1000 ppm em calciossilicática do nível mineralizado). Em minério acompanha Cu, Mo e Sc.

OURO: os teores de ouro não alcançaram o limite de detecção por EE em nenhuma amostra.

BORO: apresenta teores relativos maiores em anfibolitos (13), filitos (2) e calciossilicáticas (31). Teor absoluto até 1500 ppm em anfibolito e mais que o limite superior de EE (2000 ppm) em calciossilicáticas, gossan e minério. Ocorre como turmalina visível em lâminas de amostras coletadas próximo à mineralização e a olho nú em um turmalinito descrito por C.R.Silva et alii (1981), que ocorre encaixado em granadamuscovita-xisto, 100 m acima da mineralização. É formado por cerca de 90% de turmalina, em ripas submilimétricas dispostas ao acaso, quartzo e óxido de ferro. Nas lâminas de anfibolitos e xistos ocorre como ripas isoladas sem orientação. Segundo Boyle (1974) e Ethier & Campbell (1977) o boro pode ser, em situações análogas à estudada, originado de sedimentos marinhos ou ser trazido por soluções de origem magmática. A ocorrência de turmalina e altos teores de B em anfibolitos, além de sua presença em fraturas e gossans e o alto teor imediatamente junto ao minério favorecem a segunda hipótese.

Gossans a norte da mina (amostras 9 e 10) apresentam teores de 2000 e mais que 2000 ppm (limite de EE), tendo além disso até 700 ppm de Ba, 70 de Co, 150 de Cr, 100 de Cu, 70 de Ni, 30 de Sc, 300 de V e 50 de Y, todos muito maiores que a média para toda a área. Os gráficos dos teores em relação à distância da mineralização mostram maiores valores próximo à mineralização e maiores valores na capa que na lapa. Estes padrões são realçados nos gráficos feitos com teores relativos, e nos de médias móveis mostrando ser o B um ótimo indicador de mineralização na área estudada.

BÁRIO: teores relativos altos em filito (4,8), calciossilicáticas (25) e xistos (1,5). Os padrões espaciais em gráficos de teores brutos e corrigidos por sílica não são claros. Em gráficos de teores relativos mostram maiores valores na capa que na lapa e picos nas áreas até 100 m de mineralização e nos cálcio-xistos (600 a 700 m).

BERÍLIO: baixos teores relativos, sendo maior em calciossilicáticas (1,1). Padrões espaciais com teores brutos em geral maiores longe da mineralização, exceto calcoxistos e um anfibolito. Os teores corrigidos por sílica são maiores longe da mineralização. Teores relativos com pequena variação.

BISMUTO: todos os valores são menores que o limite de detecção por EE.

CÁDMIO: valores maiores que o limite para EE só na amostra 249 (gnaiss a - 600) e em calciossilicática na mineralização. Embora geralmente acompanhe Zn, como é o caso nos minérios do Perau, não é bom indicador para prospecção geoquímica.

COBALTO: maiores teores relativos em calciossilicáticas (300), ortognaisse (10,7), quartzito (4,5) e gnaiss (4,9) por EE e 1,5 em gnaisses, 9,1 em quartzitos e 50 em calciossilicáticas por AA. Os padrões espaciais não indicam a proximidade da mineralização, a não ser nas calciossilicáticas.

CROMO: teores relativos altos em gnaisses (2,9) e em calciossilicáticas e anfibolitos (ambos 1,3). Maiores valores a mais de 200 m da mineralização, a não ser nos teores relativos em calciossilicáticas no nível mineralizado.

COBRE: teores relativos maiores em calciossilicáticas (165), anfibolitos (8,2) e quartzitos (1,05), por EE e em quartzitos (2,1) e calciossilicáticas (20) para as amostras analisadas por AA. Nos gráficos em relação à distância aparecem picos de teores brutos associados à mineralização e à composição (anfibolitos e cálcio-xistos). Nos de teores relativos permanecem os picos devidos à mineralização e o do calcoxisto, indicando provavelmente recorrência da mineralização. Estes padrões são realçados pelas médias móveis. Cobre é bom indicador para prospecção litogeoquímica na área.

LANTÂNIO: maiores teores relativos em calciossilicáticas (4,1), gnaisses (1,7) e filito (1,2). Gráficos por distância indicam pico nos gnaisses da lapa, nas calciossilicáticas, em xisto na capa a 700 m e anfibolito a 1 400 m.

MOLIBDÊNIO: teores detectáveis por EE apenas no nível mineralizado e longe dele, a 500 e 1 200 m, em gnaisses, xistos e anfibolitos. Exceto pela calciossilicática, maiores teores longe da mineralização.

NIÓBIO: baixos teores, sendo maior em xisto a 1 200 m na capa (10 ppm); pequena variação, com maioria dos valores abaixo do limite.

NÍQUEL: maiores teores relativos em calciossilicáticas (2,4), quartzitos (1,3) e gnaisses (0,9). Gráficos por distância pouco claros, mostrando, a não ser na calciossilicática, maiores teores absolutos e relativos longe da mineralização.

CHUMBO: apresenta teores relativos altos em todas as litologias estudadas: 10 em gnaisses, 13 em quartzitos, 10 em filito, 1 043 em calciossilicáticas, 5 em anfibolitos, 2,7 em xistos e 2,5 em ortognaisses, para as 84 amostras analisadas.

sadas por EE e 2,9 em gnaisses, 0,4 em quartzitos, 2,6 filito, 7 em calciossilicáticas, 4,7 em anfibolitos e 1,9 em xistos, para 31 amostras por AA. Nos gráficos por distância os valores maiores ocorrem próximo à mineralização, com picos secundários a 600 m na lapa e a 500, 700 e 1 400 m na capa, com tendência geral de aumento ao aproximar-se o nível mineralizado, mostrando tratar-se de bom indicador para prospecção litogeoquímica na área.

RUBÍDIO: teor relativo médio 1,02, com máximos em gnaisses (1,4), anfibolitos e xistos (1,0) e mínimo em calciossilicáticas (0,4) e quartzitos (0,6). Com teores absolutos e relativos existe tendência a maiores valores longe da mineralização, de 300 a 500 m na capa e na lapa.

ANTIMÔNIO: teores abaixo do limite de detecção por EE.

ESCÂNDIO: por falta de padrões não foram calculados teores relativos. Valores brutos mais altos na capa que na lapa, sem padrão definido em relação à distância da mineralização.

ESTANHO: 72 valores não detectados, nove abaixo do limite, dois de dez e um de quinze ppm. Maiores valores longe da mineralização, em padrão pouco definido.

ESTRÔNCIO: baixos teores relativos (0,27) por EE, só em quartzito maior que um (1,5); AA média 0,5, em nenhuma litologia maior que um. Gráfico sem padrão ligado à mineralização, com maiores valores em quartzitos na lapa, a 700 m na capa e em 3 amostras de calciossilicáticas no nível mineralizado.

TUNGSTÊNIO: todos os valores abaixo do limite de 50 ppm, só um valor detectado a 600 m na lapa.

VANÁDIO: valores relativos baixos (média 0,54), maiores em calciossilicáticas (1,8), anfibolitos (0,7) e xistos (0,6). Padrões pouco nítidos, tendo, além do pico em calciossilicáticas, maiores valores na capa e na lapa longe da mineralização.

ÍTRIO: valores relativos baixos (média 0,6), a não ser nas calciossilicáticas (3,1) e ortognaisses (2,4). Valores na lapa menores e crescentes com a distância. Valores na capa maiores junto à mineralização e por volta dos 400 m, além de em calciossilicática a 200 m.

ZINCO: valores detectáveis por EE só em filito, calciossilicáticas e anfibolito, só este longe da mineralização (400 m). Por AA valores maiores na capa, no horizonte mineralizado e entre 300 e 900 m.

ZIRCÔNIO: valores relativos baixos (média 0,5), maiores em calciossilicáticas (2,1) e ortognaisse (1,07). Valores brutos maiores na lapa. Padrão aleatório com distância, tanto em valores brutos quanto relativos.

SÍLICA: valores relativos 1,1, maiores nas calciossilicáticas (2,5), ortognaisse (1,5) e quartzitos (1,3). Talvez enriquecimento em sílica pela mineralização (indicado pelos valores em quartzitos e calciossilicáticas). Valores relativos mostram padrão quase constante, bem dividido entre anfibolitos e xistos.

ALUMINA: valores relativos baixos (média 0,87), só maior que um em calciossilicática (1,04), muito baixa em quartzo (0,17). Padrão por distância indefinido.

PF: perda ao fogo: indica principalmente teor em carbonatos (perda de CO_2). Maiores valores em calciossilicáticas e rocha básica cálcica a 350 m na lapa.

FÓSFORO: teor relativo médio 1,93, com maiores valores em anfibolito (2,4), xisto (2,3) e ortognaisse (1,6). Pelo gráfico, maiores teores em rocha básica e calcóxistos a 700 m na capa. Padrão pouco nítido de maiores valores longe da mineralização.

POTÁSSIO: Média dos teores relativos 0,97, maiores em gnaisses (2,1), calciossilicáticas (3,2) e filito (2,7). Maiores teores próximo à mineralização.

SÓDIO: média dos teores relativos 1,24, teor relativo muito baixo em filito (0,02), quartzitos (0,09), alto em anfibolitos (1,9), xistos (1,3) e ortognaisse (2,3). Maiores teores brutos de 200 a 500 m na capa. Gráfico de teores relativos mal definido, com pico a 500 m. O Índice K/Na, recomendado na literatura (Govett, 1983) deu gráfico mal definido, com picos a 10, 900 e 1600 m da mineralização. Provavelmente deve ser mais indicado para detectar modificações em sequências ígneas cogenéticas. O Índice usado por Rugless (1983) em rochas de superfície nas ilhas Fiji, $(Na+Ca+Sr+Mn) \times 100 / (K+Rb+MgO)$ deu bons resultados, com maiores valores próximo à mineralização e correlação de -0.41 dos valores da capa com a distância da mineralização.

7.4.2 - Considerações

Alguns comportamentos comuns podem ser destacados entre os relatados acima:

- a - em sua quase totalidade os elementos analisados apresentam maiores teores na capa que na lapa, tanto absolutos quanto relativos. Os elementos que se afastam desta regra são zircônio e lantânio, havendo alguns teores isolados altos na lapa, como mais de um por cento de titânio em xisto a 500 m e 700 ppm de chumbo em gnaisse a 600 m abaixo da mineralização. Este comportamento é coerente com a idéia de que haveria uma diferença geológica importante, de tipo litológico e idade, entre as rochas abaixo dos quartzitos (pré-Setuva) e as da formação Perau, que englobam os quartzitos e as rochas a ele sobrepostas. Os quartzitos analisados apresentaram também baixos teores, mas deve ser lembrado que não foram amostrados quartzitos muito próximos às mineralizações de cobre conhecidas.
- b - as rochas calciossilicáticas apresentaram altos teores em quase todos os elementos analisados, exceto nos seguintes

elementos (com seus teores relativos): Na_2O (0,07), P_2O_5 (0,7), Sr (0,2) e Rb (0,4). Embora deva-se considerar que os padrões utilizados foram de calcário, que tem muito provavelmente um conteúdo de elementos traços menor que os sedimentos calciossilicáticos originadores das rochas em estudo, os altos teores apresentados no item anterior, e detalhados no anexo G, indicam excepcional concentração de elementos metálicos. Esta concentração poderia ser explicada de duas maneiras: em primeiro lugar, condições sedimentares que facilitassem a deposição e conservação dos metais, tais como as que ocorrem em bacias restritas, com matéria orgânica, como sugerido por Barbour & Oliveira (1979); outra causa seria o aporte de metais por exalações submarinas, conforme defendido por Fleischer (1976), C.R. Silva et alii (1982) e Fritzsons Jr. et alii (1982). Poderia haver a combinação dos dois processos, pela remobilização por soluções termais, conforme Lopes (1983). Não há condições, no momento, de solucionar o problema genético. Fica registrado o alto teor em elementos traços nas calciossilicáticas, mesmo tendo sido tomado o cuidado de não mandar à análise rochas com sulfetos visíveis. Estes teores altos se repetem nos cálcio-xistos, mesmo longe da mineralização (700 m), mostrando haver uma correspondência entre as condições de deposição de carbonatos e de mineralização.

- c - os seguintes elementos apresentaram claros padrões espaciais, em teores brutos e corrigidos, de aumento do teor próximo à mineralização: chumbo, boro, manganês, magnésio, bário e potássio. Padrões menos claros, mas ainda discerníveis como crescentes com a aproximação da mineralização, influenciados pela presença dos elementos procurados em rochas básicas, ou por prováveis recorrências da mineralização, como nos cálcio-xistos, são os de cobre, cobalto e prata. Este, como os outros elementos com poucos valores detectáveis por espectrografia de emissão, apresenta seus maio

res teores nas calciossilicáticas, aparecendo em alto teor no minério. Os teores de ferro não apresentam aumento a não ser bem próximo da mineralização. A ocorrência deste elemento no minério, na formação ferrífera e como alto teor de opacos em lâminas de rochas coletadas próximo à mineralização indica que talvez possa ser ainda utilizado para prospecção, mesmo com os resultados pouco conclusivos das análises estudadas.

- d - excetuando alguns picos na calciossilicática imediatamente no nível mineralizado, os seguintes elementos apresentaram tendência a aumento dos teores com a distância da mineralização: berílio, vanádio, ítrio, cromo, níquel, estrôncio e zinco analisado por absorção atômica. Este último apresenta um comportamento contrastante com o apresentado por ele em quase todas as jazidas citadas por Govett (1983), em companhia das mineralizações de Tuva Oriental (URSS) em vulcânicas calco-alcálicas, e o de Wainaleka (Rugless, 1983), em vulcânicas félsicas, a qual tem empobrecimento regional de Zn, mas enriquecimento bem próximo à mineralização. No Perau o Zn é um bom indicador da mineralização em solo, conforme será mostrado no capítulo seguinte.
- e - os outros elementos analisados não apresentam padrão claro dos teores em relação à mineralização, a não ser o generalizado aumento dos teores nas calciossilicáticas, já comentado.

Além dos gráficos de dispersão o comportamento dos elementos em relação à distância da mineralização foi estudado através do cálculo de coeficientes de correlação entre os teores e esta distância, apresentados na tabela 7.IX. Devido à grande diferença de comportamento dos elementos na capa e na lapa os coeficientes foram calculados apenas para os teores de amostras coletadas na capa do Perau. Dois grupos foram estudados: as rochas com análise total (25 na capa) e aquelas apenas

Tabela 7.IX - Coeficientes de correlação de Pearson e Spearman dos elementos analisados por EE e AA para 25 amostras e por EE para 61 amostras de rocha da capa do Perau, com a distância ao centro do horizonte mineralizado (SITMIN).

Elemento	Pearson		Spearman	
	25	61	25	61
Fe	-0.1775	0.0738	-0.2655	0.0827
Mg	-0.3299	-0.1594	-0.3155	-0.0338
Ca	-0.2809	-0.0593	-0.4294	0.0437
Ti	-0.1045	0.3140	-0.2036	0.2890
Mn	-0.3671	-0.2963	-0.2563	-0.3636
B	-0.2194	-0.1953	0.0864	-0.1409
Ba	0.3028	-0.0106	0.4459	-0.0258
Be	0.7835	0.0876	0.6680	0.0686
Co	-0.5206	0.2814	-0.4597	0.1734
Cr	0.0009	0.1509	-0.0195	0.1820
Cu	-0.2385	-0.1031	-0.1986	0.1229
La	0.1254	-0.0989	0.1319	-0.2205
Mo	-	0.2138	-	0.2245
Nb	0.3989	0.2351	0.3114	0.2287
Ni	-0.2591	0.3082	-0.1904	0.2199
Pb	-0.2401	-0.2199	-0.3606	-0.4983
Sc	-0.3343	0.2693	-0.3041	0.2186
Sn	0.6667	0.2922	0.5686	0.2956
Sr	-0.0561	-0.2144	-0.1783	-0.3460
V	-0.1456	0.2958	-0.1946	0.3780
Y	0.0804	-0.0525	0.2096	0.0727
Zn	-	-0.1944	-	-0.1976
Zr	0.4930	-0.1009	0.4808	-0.1056
Cuq	-0.1891		-0.2216	
PbQ	-0.2563		-0.4000	
Znq	0.2080		0.1901	
Coq	-0.2199		-0.1204	
Niq	0.0473		0.0686	
Srq	0.0056		-0.1754	
Rbq	0.3812		0.3104	
S ₂ O ₃	0.4336		0.4391	
Al ₂ O ₃	0.0451		-0.1779	
Fe ₂ O ₃	0.2007		0.0731	
FeO	0.2007		-0.3029	
TiO ₂	0.2184		0.4239	
MnO ₂	-0.3522		-0.3835	
CaO	-0.4366		-0.5265	
MgO	-0.4317		-0.3884	
Na ₂ O	-0.3289		-0.1891	
K ₂ O	0.2304		0.2040	
P ₂ O ₅	0.1986		0.2237	
Pf	-0.1171		0.2725	

com análise por EE (61 na capa). Os teores críticos para os níveis de significância de 10% e 5% respectivamente são, segundo Fisher & Yates (1971), para $n=25$, 0,3260 e 0,3809 e para $n=60$, 0,2180 e 0,2500. Coeficientes positivos indicam a tendência de aumento dos teores com a distância da mineralização; coeficientes negativos indicam diminuição. Foram calculados coeficientes de Pearson e Spearman. Sendo os coeficientes de Spearman ordinais, eles não são distorcidos pela presença de alguns valores discrepantes, muito altos ou baixos o que é um defeito dos coeficientes de Pearson.

Segundo as correlações, apresentam enriquecimento forte ao aproximar-se na mineralização Ti, Mn, Pb, Sr, CaO, MgO, MnO; pequeno enriquecimento Mg, Ca e Na_2O . Apresentam forte empobrecimento Mo, Nb, Sn, Zn e SiO_2 ; fraco empobrecimento Ba, Rb, TiO_2 e P_2O_5 . Embora pelo teste de Kolmogorov-Smirnov os dois grupos não apresentem diferença significativa em suas distribuições, os coeficientes de correlação de Co, Ni, Sc e V apresentam sinal diferente nos grupos de 25 e 61 amostras.

7.5 - Correlação e análise de agrupamentos

Foram calculados coeficientes de Pearson e Spearman para todos os conjuntos de dados estudados. Os resultados para as rochas da capa do Perau (61) são apresentados na tabela 7.X e aqueles para as rochas com análise total (31) são apresentados na tabela 7.XI. Na impossibilidade de comentar isoladamente as correlações, pelo seu grande número, duas técnicas foram utilizadas para extrair das matrizes de coeficientes os resultados mais importantes para a interpretação geoquímica. A primeira, comentada abaixo, foi a análise de agrupamentos, que ordena os elementos através da correlação simples. A outra, comentada no tópico seguinte, foi a regressão múltipla, que utiliza correlações parciais.

	Fe	Mg	Ca	Ti	Mn	B	Ba	Be	Co	Cr	Cu	La	Mo	Nb	Ni	Pb	Sc	Sn	Sr	V	Y	Zn	Zr
Fe	1.00	0.23	0.17	0.32	0.02	0.40	-0.20	0.11	0.69	0.12	0.24	-0.16	-0.26	-0.05	0.32	-0.10	0.58	-0.24	0.06	0.51	0.11	-0.02	-0.32
		0.36	0.37	0.33	0.11	-0.13	-0.47	-0.28	0.79	0.18	0.51	-0.41	-0.28	-0.07	0.43	-0.19	0.73	-0.30	0.15	0.64	0.04	0.13	-0.43
Mg		1.00	0.85	-0.06	0.28	0.01	-0.18	-0.13	0.41	0.32	0.68	-0.16	-0.14	-0.17	0.35	-0.09	0.37	-0.21	0.10	0.11	-0.23	-0.04	-0.30
			0.84	-0.01	0.30	-0.41	-0.28	-0.16	0.55	0.28	0.40	-0.38	-0.29	-0.23	0.52	-0.55	0.48	-0.33	0.40	0.39	-0.30	0.68	-0.53
Ca			1.00	-0.06	0.22	-0.00	-0.21	-0.18	0.37	0.26	0.64	-0.18	-0.12	-0.17	0.30	-0.17	0.33	-0.23	0.15	0.06	-0.17	-0.12	-0.37
				0.08	0.22	-0.45	-0.32	-0.16	0.54	0.34	0.28	-0.41	-0.28	-0.22	0.48	-0.12	0.51	-0.37	0.44	0.34	-0.24	-0.13	-0.60
Ti				1.00	-0.00	0.04	-0.01	-0.09	0.41	-0.20	-0.08	0.03	0.01	0.01	0.08	-0.06	0.44	-0.07	0.05	0.47	0.24	-0.03	-0.04
					-0.15	-0.18	-0.03	-0.04	0.32	-0.06	0.10	0.20	0.11	0.10	0.07	-0.08	0.39	-0.08	-0.01	0.42	0.36	0.68	0.27
Mn					1.00	0.05	-0.12	-0.19	-0.06	-0.12	-0.02	-0.20	-0.19	-0.25	-0.20	-0.09	-0.02	-0.19	-0.06	-0.10	0.03	-0.01	0.08
						-0.17	-0.07	-0.35	-0.08	-0.07	-0.03	-0.20	-0.30	-0.26	-0.16	0.08	-0.03	-0.27	0.04	-0.25	-0.11	-0.01	0.16
B						1.00	-0.05	0.44	-0.02	-0.06	-0.03	0.04	-0.01	0.00	-0.09	-0.04	0.05	0.07	0.06	0.04	0.26	-0.02	0.07
							0.35	0.39	-0.32	-0.17	-0.23	0.30	0.22	0.10	-0.15	0.14	-0.24	0.16	-0.20	-0.25	0.29	0.01	0.27
Ba							1.00																
								0.52	-0.50	-0.22	-0.40	0.10	0.18	-0.01	-0.48	0.27	-0.58	0.34	-0.09	-0.44	0.16	-0.08	0.62
Be								1.00	-0.17	-0.14	0.01	0.45	0.03	0.17	-0.24	0.04	-0.26	0.35	0.12	-0.14	0.19	-0.00	0.44
									-0.38	-0.13	-0.42	0.08	0.17	0.69	-0.37	0.14	-0.35	0.40	-0.08	-0.33	0.36	-0.68	0.51
Co									1.00	0.29	0.35	-0.21	-0.18	-0.00	0.63	-0.11	0.77	-0.27	0.01	0.64	-0.11	-0.08	-0.53
										0.33	0.03	-0.44	-0.29	0.03	0.28	-0.33	0.83	-0.36	0.25	0.74	-0.10	0.16	-0.66
Cr										1.00	0.11	-0.12	-0.04	-0.10	0.75	-0.10	0.41	-0.11	0.02	0.07	-0.31	-0.06	-0.36
											0.24	-0.01	-0.01	-0.07	0.76	-0.15	0.32	-0.11	0.25	0.36	-0.30	-0.02	-0.44
Cu											1.00	-0.05	-0.02	0.00	0.19	-0.04	0.17	-0.04	0.08	0.03	-0.09	-0.02	-0.14
												-0.42	-0.07	0.10	0.50	-0.01	0.88	-0.11	0.10	0.34	-0.10	0.14	-0.50
La												1.00	0.02	0.01	-0.18	-0.04	-0.31	0.10	0.43	-0.15	0.11	0.08	0.45
													0.20	0.63	-0.40	0.20	-0.46	0.24	-0.01	-0.42	-0.29	0.27	0.53
Mo													1.00	0.00	-0.14	-0.01	-0.15	0.11	-0.11	0.01	0.02	-0.02	0.17
														0.02	-0.25	0.22	-0.15	0.24	-0.19	0.07	0.20	-0.03	0.22
Nb														1.00	-0.03	-0.00	-0.07	0.35	-0.17	-0.05	0.02	0.00	0.22
															0.02	0.00	-0.02	0.25	-0.18	-0.02	0.11	0.03	0.09
Ni															1.00	-0.12	0.64	-0.24	0.08	0.24	0.30	-0.08	-0.54
																-0.26	0.53	-0.29	0.30	0.60	-0.32	0.14	-0.62
Pb																1.00	-0.07	-0.03	-0.04	-0.09	0.08	0.13	0.10
																	-0.33	0.06	0.24	-0.21	-0.04	0.20	0.35
Sc																	1.00	-0.31	-0.06	0.55	0.12	-0.11	-0.56
																		-0.31	0.12	0.78	0.65	0.13	-0.58
Sn																		1.00	0.05	-0.18	-0.07	-0.05	-0.27
																			-0.19	-0.28	0.00	-0.09	0.28
Sr																			1.00	-0.09	-0.15	-0.07	-0.02
																				0.08	-0.17	-0.03	-0.21
V																				1.00	-0.02	-0.04	-0.34
																					0.01	0.13	-0.54
Y																					1.00	0.12	0.30
																						0.21	0.45
Zn																						1.00	0.13
																							0.02
Zr																							1.00

Tabela 7.X: - Coeficientes de correlação de Pearson e Spearman para 61 amostras de rocha da capa da mina do Perau.

Tabela 7.XI - Coeficientes de correlação de Pearson e Spearman para teores analisados em 31 amostras de rocha da capa do Perau. Coeficientes de Spearman em itálico>.

A figura 7.22 mostra um dendrograma, que agrupa os elementos analisados nas 31 amostras de rocha da mina do Perau. Todos os agrupamentos reúnem pequenos conjuntos de elementos, sendo estes conjuntos em sua maioria explicados pelas afinidades naturais dos elementos (conforme expressas pela tabela periódica e a classificação de Goldschmidt). Poucos elementos demonstram, por sua posição no dendrograma, ter sido afetados pelos elementos-minério. É o caso do boro, ligado ao chumbo, bário, ligado à prata e cromo ligado ao cobre.

A figura 7.23 mostra um dendrograma montado a partir de coeficientes de distância entre as amostras com análise total. Os agrupamentos encontrados são controlados predominantemente pela composição geral da rocha, expressa por sua classificação como xisto, gnaisse, quartzito, anfibolito e calciossilicática. O dendrograma classificou corretamente os cálcio-xistos (a 20 e 620 m na capa) juntamente com a calciossilicática, o anfibólito-xisto (+ 15), juntamente com os anfibolitos, e geralmente juntou xisto e anfibolitos com seus pares em agrupamentos com litologia uniforme. As únicas amostras que parecem ter sido colocadas à parte pela ligação com a mineralização são um xisto a 15 m, e um anfibolito a 10 m na capa e um filito a 10 m na lapa. Mesmo com estes resultados na maioria positivos esta técnica de separação das amostras é unfluenciada demais pelas variações litológicas para que possa ser utilizada para prospecção litogeoquímica na área do Perau, caso sejam utilizados, como aqui, teores brutos para o cálculo dos coeficientes de correlação e distância.

7.6 - Análise de Regressão

Visando combinar os teores dos elementos analisados em índices compostos, úteis para prospecção litogeoquímica, foram efetuadas regressões de tres tipos:

a - regressão simples, calculando teores dos elementos analisa

Figura 7.22- Agrupamentos de elementos, conforme coeficientes de correlação de Pearson entre teores, para 31 amostras de rocha na mina do Perau com análise total.

Figura 7.23- Agrupamentos de amostras de rocha da mina do Perau, calculados usando coeficientes de distância a partir de análises químicas totais (13 óxidos, 7 elementos por AA e 30 elementos por EE).

dos tomando sílica como variável independente. Foram calculados os resíduos e estes considerados como teores corrigidos em relação à sílica e usados para o estudo do comportamento dos elementos em relação à distância. Os resultados são apresentados na tabela 7.XII.

- b - regressões múltiplas, visando reproduzir os teores dos óxidos de elementos principais e os teores de elementos traços analisados por AA usando como variáveis independentes os teores analisados por EE. Os resultados são apresentados na tabela 7.XIII.
- c - regressões múltiplas, usando como variável dependente a distância da amostra ao centro da mineralização (SITMIN) e como variáveis independentes diversas combinações de teores de elementos principais e traços, sendo os resultados apresentados na tabela 7.XIV. Elementos citados no texto e nas tabelas com o prefixo R (RFe, RPb, etc.), referem-se a teores corrigidos por sílica (resíduos de regressão do elemento pelos teores de SiO_2); elementos com o sufixo N (FeN, PbN, etc.) são expressos pelos seus teores relativos (razão entre o teor bruto e o teor médio mundial, conforme a tabela 7.IX). O prefixo L indica logaritmos decimais dos teores do elemento indicado (LFe, LPb, etc.).

Observando-se a tabela 7.XIV aparecem alguns resultados importantes para a interpretação:

- a - as funções de regressão apresentam melhores índices de ajuste (quadrado do coeficiente de correlação e erro padrão), na maioria dos casos, quando são introduzidos no cálculo também os teores transformados logaritmicamente. Mesmo a distribuição não sendo lognormal, esta transformação reduz a excessiva assimetria das distribuições de frequência dos teores.
- b - o conjunto de rochas da capa do Perau com análise total (Q25) foi o que apresentou melhores resultados nas regres

Tabela 7.XII - Coeficientes das funções de regressão da forma $B_0 + B_1 + SiO_2$, utilizadas para correção dos teores por sílica (RFe, etc) e coeficientes de correlação de Pearson entre os teores de SiO_2 e os teores dos outros elementos analisados em 31 amostras de rocha da mina do Perau.

Elemento ou Óxido	B_0	B_1	R
Fe	9,45	- 0,082	- 0,490
Mg	4,00	- 0,049	- 0,795
Ca	7,04	- 0,045	- 0,691
Ti	0,43	- 0,0041	- 0,192
Mn	2335,47	- 23,57	- 0,655
Ag	- 0,39	+ 0,168	+ 0,097
B	179,64	- 1,62	- 0,092
Ba	591,29	+ 1,66	+ 0,017
Be	0,36	+ 0,0025	+ 0,035
Cd	5,64	+ 0,0079	+ 0,168
Co	36,099	- 0,375	- 0,593
Cr	200,84	- 1,816	- 0,427
Cu	76,72	- 0,825	- 0,514
La	11,73	+ 0,318	+ 0,125
Nb	5,274	+ 0,0013	+ 0,010
Ni	79,13	- 0,810	- 0,399
Pb	83,24	- 0,121	- 0,009
Sn	2,264	+ 0,137	+ 0,211
Sr	278,31	- 2,287	- 0,407
V	120,92	- 1,03	- 0,376
W	14,12	+ 0,197	+ 0,168
Y	14,81	+ 0,0086	- 0,018
Zr	- 16,57	+ 1,44	+ 0,417
CuQ	142,93	- 1,557	- 0,493
PbQ	87,80	- 0,845	- 0,109
ZnQ	82,48	- 0,671	- 0,361
CoQ	24,46	- 0,214	- 0,409
NiQ	55,02	- 0,503	- 0,325
SrQ	806,68	- 10,52	- 0,380
RbQ	8,93	+ 1,827	+ 0,240
Al_2O_3	19,31	- 0,096	- 0,320
Fe_2O_3	5,228	- 0,025	- 0,209
FeO	9,369	- 0,101	- 0,594
TiO_2	1,357	- 0,017	- 0,354
MnO	0,463	- 0,0051	- 0,698
CaO	23,688	- 0,311	- 0,824
MgO	16,635	- 0,204	- 0,848
Na_2O	5,192	- 0,040	- 0,282
K_2O	1,242	+ 0,0196	+ 0,117
P_2O_5	0,611	- 0,0053	- 0,349

Tabela 7.XIII- Resultados de regressões múltiplas de teores de óxidos de elementos principais e teores de elementos traços determinados por AA em relação a teores de elementos determinados por EE, para 32 amostras de rocha do Peráu e uma de Água Clara.

Variável Dependente	Variável Independente	Variáveis na equação	R ²
Fe total	Fe - Zr	Fe, Mn, Ca, Sr	88,36
TiO ₂	Fe - LZr	LFe, LZr, LSr, LY	61,82
TiO ₂	Fe - Zr	Fe, Zr	35,08
MnO	Fe - Zr	Mn, Fe	66,91
MnO	Fe - LZr	Mn, Fe, LSc, Zr, LPb	80,54
CaO	Fe - Zr	Ca, Mg, Co	91,64
CaO	Fe - LZr	Ca, Mg, LSr, Ba, LSn, Cr	97,10
MgO	Fe - Zr	Mg, Ni, Ba	91,74
MgO	Fe - LZr	Mg, Ba, LSr, Ag, LCo	95,50
Na ₂ O	Fe - Zr	Sc	30,68
Na ₂ O	Fe - LZr	LBa, LSc, LSr, LY, Fe	75,73
K ₂ O	Fe - Zr	Cu, Ag, Be	49,92
K ₂ O	Fe - LZr	LLa, LB, B	68,68
P ₂ O ₅	Fe - Zr	Ti	18,93
P ₂ O ₅	Fe - LZr	Ti, LB	31,06
CuQ	Fe - Zr	Cu, Cr, Ti	91,33
CuQ	Fe - LZr	Cu, Zr, Ti, LCr, LY	93,44
PbQ	Fe - Zr	Pb, W, Sr, V	99,08
PbQ	Fe - LZr	Pb, W, B, LPb, Ca, Mg	99,40
ZnQ	Fe - Zr	Sr	67,25
ZnQ	Fe - LZr	Sr, LSr, LFe, LBa	85,93
CoQ	Fe - Zr	Sr, Fe Co	56,95
CoQ	Fe - LZr	Sr, LCo, Co, Ca	75,11
NiQ	Fe - Zr	Cr, Sr, Zr	49,06
NiQ	Fe - LSr	LNi, LLa, Nb, Zr	57,99
SrQ	Fe - Zr	Sr, Ti	32,27
SrQ	Fe - LZr	LSr, Cu, Ca, Ag, Ni, La, Mg	93,83
RbQ	Fe - Zr	Be, Cu	50,39
RbQ	Fe - LZr	LBe, LCu	68,41

Tabela 7.XIV- Resultados da regressão dos valores da distância à mineralização em relação aos teores dos elementos analisados e suas transformações (L = Logaritmo; R = resíduos da regressão por SiO₂; N = corrigidos por tipo de rocha).

Grupo (nº de amostras)	Variáveis testadas	R ²	Erro Padrão	Variáveis na equação
Lapa (17)	Fe - Zr	68,3	371	+La, -Co, +B
Lapa (17)	Fe - LZr	77,7	105	-LSn, -Co, +LCu
Capa (61)	Fe - Zr	37,6	405	+Ti, +Sn, +Ni, -Sr
Capa (61)	Fe - LZr	47,7	371	-LPb, -LMn, +LTi, -LLa, +Sn
ANFB (27)	Fe - Zr	60,8	355	-Sr, +Ti, -Fe, +Co, -B
ANFB (27)	Fe - LZr	71,8	301	+LTi, -LPb, + LZn, -Fe
XSTO (30)	Fe - Zr	66,1	256	+Be, +V, -Co, +Sn
XSTO (30)	Fe - LZr	66,1	256	+Be, -Co, +LSn
Q (25)	Fe - LZr, CuQ - Pf	73,4	212	+Be, -Ti, -PF
Q (25)	RFe - RZr	65,4	242	-RSn, +RBe, + RCr, -RTi
Q (25)	RFe-RZr, RCuQ-RPf	78,4	191	+RSr, +RBe, +RCr, -RTi, + RFeQ, -RCo
Q (25)	RCuQ - RPF	49,2	293	+RTiO ₂ , -RCoQ, +RZnQ, +RAI ₂ O ₃ , -RMnO
Q (25)	FeN - ZrN	82,0	174	+BeN, - WN, + SnN, - TiN, + BaN
Q (25)	FeN-ZrN, CuQN-P ₂ O ₅ N	86,2	152	+BeN, -WN, +SnN, -TiN, +NiQN, -SiO ₂ N
Q (25)	FeN-ZrN (sem WN), CuQn - P ₂ O ₅ N	67,4	234	+BeN, - SnN, + ZnQN, - TiN

sões, seguindo-se das rochas da lapa (17), sendo o pior o do total das rochas da capa do Perau, apenas com análise espectrográfica de emissão (61). Isto é devido a duas causas: primeiramente, o tipo de análise química empregado tem pouca precisão, fato que não impediu a obtenção de bom ajuste no grupo de 25 amostras, apenas com Be e Ti analisados por EE. Em segundo lugar, o grupo de 61 amostras reuniu maior número de amostras com alteração intempérica, sendo o grupo de 25 amostras constituído quase totalmente por amostras frescas, tendo apenas cinco alteradas. Separando-se as amostras por composição litológica, os conjuntos de amostras de xistos e anfibolitos apresentaram melhores resultados que o conjunto total.

- c - para o conjunto de rochas com análise total, as análises espectrográficas permitiram a montagem de funções de regressão da distância à mineralização com melhores parâmetros do que aquelas efetuadas utilizando apenas as análises quantitativas, quer de elementos principais, quer de elementos traços.
- d - os elementos selecionados pela técnica de regressão sequencial progressiva para a montagem das equações de regressão são apresentados abaixo. Deve ser lembrado que esta técnica utiliza correlação parciais, eliminando da equação ou não deixando que nela entrem elementos com alta correlação com aqueles que já participem da equação. Isto faz com que haja pequenas diferenças na lista dos elementos usados nas equações e aqueles que mostraram, pelos gráficos ou pelas correlações simples, terem sua distribuição afetada pela distância à mineralização. Apresentaram tendência de aumento dos teores próximo da mineralização B e Cu, na lapa; Sr, Pb, Mn, La, Fe, B, Co, Ti, perda ao fogo, SiO_2 e o único teor alto de W na capa. Este elemento ilustra, conforme os resultados mantidos deliberadamente na tabela, o problema de fazer cálculos sem análise prévia dos dados. Sendo os resulta

dos de W (todos constantes, menos um) corrigidos por tipo de rocha, resultou um conjunto de teores relativos que foi classificado como bem influenciado pela distância à mineralização. Eliminados estes teores, a equação foi recalculada, diminuindo seu ajuste, mas ganhando confiabilidade pela eliminação de falsos teores. Mostraram tendência de diminuição ao aproximar-se a mineralização, na lapa, La, Co e Sn e na capa Ni, Zn, Be, Cr, FeO, Al_2O_3 e Ba. Os valores de Co, Sn e Ti apresentaram comportamento incoerente, com aumento em algumas regressões e diminuição em outras.

- e - as equações obtidas pela regressão permitem calcular com boa precisão a distância da amostra à mineralização (erro padrão de 105 a 405 m, maioria por volta de 200 m). Evidentemente não é objetivo deste trabalho fornecer uma equação que calcule magicamente a localização da mineralização (a qual teria sua aplicabilidade restrita aos dados com os quais foi calculada). Os níveis de significância foram mantidos a 5%, visando obter equações menores, para poder selecionar elementos que possam ter aplicação em prospecção em toda a área da formação Perau e não apenas no perfil estudado.
- f - para o grupo da capa do Perau com análise total a utilização dos teores brutos, dos corrigidos por sílica (R) ou dos corrigidos por tipo litológico (N) forneceu equações com ajuste muito semelhante, em relação ao R^2 e erro padrão, envolvendo, com pequenas variações, os mesmos elementos. Isto indica que provavelmente as variações ligadas à mineralização são suficientemente fortes para encobrir as variações devidas ao tipo litológico. Observando o comportamento dos teores nos gráficos de dispersão por distância, aqueles elaborados com os teores corrigidos por rocha fornecem indicações mais claras da mineralização. Considerando além disto que a correção por tipo litológico tem base no comportamen

Tabela 7.XV - Resultados de análises discriminantes efetuadas em amostras de rocha da mina do Perau.
 Grupos divididos por distância à mineralização. Grupo 1 = $d \leq$ distância de separação;
 G.2 = $d >$ distância de separação

Grupo	Distância (m)	Variáveis Testadas	Nº de Amostras G.1	Nº de Amostras G.2	F Sig.F	λ Wilks	% Classif.	Variáveis na função (em ordem decrescente de coeficientes canônicos padronizados)
Anfibolitos	200	Fe - Zr	6	21	3.81 (0.007)	0.184	100.0	Sc,Cu,Ni,B,Sr,La, Fe,V,-Mn,-Ti,-Ca,-Cr,-Co
Anfibolitos	200	Fe -LZr	6	21	5.58 (0.001)	0.223	100.0	Cu,LMn,LPb,B,LZn,LSr,LBa,-Mg,-Ln,-Mn
Xistos	200	Fe - Zr	8	20	2.81 (0.031)	0.458	85.7	Sc,Mo,Fe, - Sn, -V, - Cr, -Cu, -V
Xistos	200	Fe -LZr	8	20	5.49 (0.005)	0.592	85.7	LPb,-LBe,- LV
Capa x lapa	0	Fe - Zr	16	59	12.20 (0.000)	0.344	94.7	W, Ag,Sn,Zr,-Be,-Cr,-Fe,-Ba,-Ln,-Nb (+lapa, -capa)
Capa x lapa	0	Fe -LZr	16	59	36.18 (0.000)	0.186	96.0	Sc,LaG,LM,Ti, -LB, - LFe, -Ba, - LSc
Capa (61)	200	Fe - Zr	18	43	4.79 (0.000)	0.542	83.6	Sr,Pb, Mg, B, Zn, -Ba,-Sn, -Ti, -Sn
Capa (61)	200	Fe -LZr	18	43	6.34 (0.000)	0.416	91.8	LPb,LSr,LB, Mg,Cu, LZn,-LMO,-Ba,-Cr,-LCu,-LZn
Capa (61)	400	Fe -LZr	23	38	7.34 (0.000)	0.423	84.5	LSr,Sc, LPb,Mg,LLa,LB,-LMO,-Lb,-Cr,-LFe,-Ba, -Sr, -LSc
Capa (61)	600	Fe - Zr	37	24	8.102 (0.000)	0.355	91.8	Hg, Fe, Cr,Sr,-Mo,-Ti,-V,-Ba,-Ca,-Ni
Capa (61)	100	FeN-ZrN	12	49	3.91 (0.002)	0.624	83.6	CoN, ZnN, BN,BeN, PbN,-NbN,-SnN
Capa (61)	200	FeN-ZrN	18	43	3.34 (0.002)	0.599	83.6	MgN, FeN, LaN, PbN, BN, -CaN, -BaN, -CrN, -SnN, -TiN
Capa (61)	400	FeN-ZrN	23	38	3.00 (0.003)	0.521	83.6	FeN, LaN, MgN, BN, CoN, -BaN, -NbN, -CaN, -Ti, -TiN, -SnN, -NbN
Capa (25)	200	Fe-Zr	9	16	3.23 (0.021)	0.481	80.0	Co, V, B, -Sn, -Zr, - Cr
Capa (25)	200	Fe-Zr	6	14	234.2 (0.000)	0.007	100.0	Ba, Fe, Nb, Ca, Y, V, B, Fe, -Pb, -Cu, - Sr,-Cr -Zr
Capa (25)	200	LFe-LZr	9	16	4.99 (0.010)	0.584	84.0	LB, LPb, -LBe
Capa (25)	200	Fe-RbQ	9	16	6.76 (0.001)	0.111	100.0	Ba,CoO, RbQ, V, Ca, PbQ, B, Zr, -Be, -Cr, -ZnO, -La
Capa (25)	200	Fe-LZr	9	16	94.69 (0.000)	0.003	100.0	LB,Sc,Mg,LCa, Ni, LY, LPb, Sn, LBa, LFe, -Mn, -Nb, -Zr, -V, -LCu, -Cr, -LMg, -R
Capa (25)	200	SiO ₂ -P ₂ O ₅	9	16	2.34 (0.072)	0.508	80.0	CaO, K ₂ O, Na ₂ O, - Al ₂ O ₃ , - P ₂ O ₅ , -SiO ₂
Capa (25)	200	Fe-PF	9	16	11.49 (0.000)	0.127	100.0	SC, PF, K ₂ O, Co, V, B, -Be, -Cr, - FeO
Capa (25)	200	FeN-ZrN	9	16	5.72 (0.002)	0.399	92.0	VN, MnN, BN, -BeN, -CrN
Capa (25)	200	CuON-P ₂ O ₅ N	9	16	3.73 (0.034)	0.445	92.0	K ₂ ON, Al ₂ O ₃ N, Na ₂ ON, PbON, -RbON, -ZnON
Capa (25)	200	FeN-P ₂ O ₅ N	9	16	13.45 (0.009)	0.030	100.0	K ₂ ON, MgON, CuON, Na ₂ ON, ZrN,VN, BN, CaON,SrON, PbON, -CrN, -TiN, MnON, -SiO ₂ N, -RbON,-TiO ₂ N, -HgN
Capa (25)	400	Fe - Zr	11	14	3.45 (0.019)	0.465	80.0	Co, Ti, -Sr, -Sn, -Zr, -Cr
Capa (25)	400	Fe- LZr	11	14	30.39 (0.000)	0.032	100.0	LCa, Fe,Co, PF, K ₂ O, LB, -Ni, -Cr,-Lb,-LMg, -MnO

médio dos elementos, e pode ser explicada pelas leis geoquímicas, recomenda-se que ela seja aplicada em futuras pesquisas na região.

7.7 - Análise Discriminante

Foram efetuadas análises discriminantes entre grupos de amostras da capa e da lapa do Perau, e entre os grupos das mais próximas e mais distantes da mineralização. A partir dos gráficos de dispersão dos teores e da localização das amostras no campo foi considerado que os efeitos imediatos da mineralização pareciam bem definidos à distância de 200 m. Assim sendo, a maioria das análises discriminantes foi efetuada comparando grupos de amostras coletadas a até 200 m, e coletadas a mais de 200 m. Foram também testadas distâncias de 100, 300, 400 e 600 m. Os resultados são apresentados na tabela 7.XV. A eficiência da separação é indicada pelo índice λ de Wilks, que é inversamente proporcional à variância explicada pela separação, e também pela percentagem das amostras corretamente classificadas pelas funções discriminantes. Os valores da estatística F e sua significância são também apresentados, lembrando porém que esta significância está comprometida pelo fato das variáveis estudadas não apresentarem distribuições de frequência normais.

As seguintes conclusões podem ser extraídas dos resultados das análises discriminantes:

- a - a separação entre amostras da capa e da lapa apresentou alta percentagem de classificações corretas, mantendo a tendência de Zr e Ti apresentarem altos valores na lapa, apresentando esta tendência também Sc, Cu, Sn, Ag e W, cujo comportamento individual não é tão claro pelos gráficos. O Sc apresentou um comportamento contraditório, com os teores brutos indicados como característicos do grupo da lapa e os logaritmizados da capa.

- b - a combinação nas funções de teores brutos e logaritmizados, embora aumente a percentagem de classificações corretas, intro^uz em diversos casos, como da análise anterior, compor^otamentos contraditórios do mesmo elemento, comprometendo a interpretação. Considerando não serem as distribuições log^onormais, não foi julgada útil efetuar transformações logarí^tmicas para análises discriminantes, para os dados estudados.
- c - Comparando as análises entre grupos de amostras coletadas a até 200 m da mineralização e distâncias maiores, observa-se que Sc, B, Fe, Pb, K_2O , Mg e Co predominam fortemente entre os elementos indicadores da proximidade da mineralização, seguidos mais fracamente por Cu, Ni, Sr, La, V, Ca, Al_2O_3 , Na_2O e SiO_2 . Os elementos Be, Cr, Sn e Ti predominam fortemente entre os que indicam afastamento da mineralização, o que também acontece em menor escala com Ba, Ca, Zr, Mn, Zn, Be e Mo. Aqueles considerados com forte predominância numa parte do halo são os que ocorrem em maior número de vezes nas funções e não ocorrem em diferentes partes do halo em diferentes funções ou o fazem muito poucas vezes. Os outros elementos ocorrem poucas vezes ou mostram comportamento incoerente, ocorrendo com sinais diferentes em diferentes fun^ções.
- d - Os teores brutos e corrigidos por rocha apresentam comporta^omento muito semelhante nas funções discriminantes, no grupo de 61 amostras com análise por EE; no grupo de 25 amostras a correção por tipo litológico aumentou a percentagem de classificações corretas.

7.8 - Comparação dos resultados

Comparando os resultados do tratamento dos dados pelos diferentes métodos, nota-se que:

- a - a análise de agrupamentos não se mostrou adequada para fins de prospecção. Os agrupamentos de elementos foram melhor explicados pelo comportamento desses elementos nas rochas normais, do que pela influência da mineralização. Os agrupamentos de rochas foram muito mais governados pelo tipo litológico que pela distância à mineralização.
- b - os outros processos de tratamento dos dados, quais sejam os gráficos de dispersão em relação à distância, os coeficientes de correlação simples de Pearson e Spearman entre os teores e a distância à mineralização, as análises de regressão das distâncias em relação aos teores e as análises discriminantes, todos permitiram distinguir os comportamentos dos grupos de elementos que sofrem enriquecimento ou empobrecimento relativo com a distância à mineralização. Os resultados são de um modo geral concordantes. Os elementos Pb, B, Mg, Cu e K apresentam forte enriquecimento, por qualquer sistema de tratamento de dados. Apresentam predominantemente enriquecimento ou ocorrem apenas uma vez na lista como enriquecidos Sr, Mn, Fe, Co, Ag, Ca, perda ao fogo, La, Sc, e Na. Apresentam forte empobrecimento Sn, Zn, Be, Ni, Cr e Mo; predominantemente empobrecimento ou ocorrem apenas uma vez na lista como empobrecimento Rb, TiO_2 , P_2O_5 , FeO, Ba, Al, Nb. Aqueles indicados com comportamento mais coerente, mantendo em todos os casos seu empobrecimento ou enriquecimento relativo são também os que apresentam mais altos coeficientes de correlação e coeficientes nas funções de regressão e discriminantes. Ti e Sr apresentam comportamento errático, apresentando ora empobrecimento, ora enriquecimento em métodos diferentes.
- c - comparando o comportamento nos gráficos de dispersão, os erros padrões de correlação e os resultados das equações discriminantes pode ser considerada uma largura segura para o halo primário da mineralização do Perau a de 200 m. A in

GRUPOS	VARIÁVEIS	R ²	E	AMOSTRAS COM MAIORES RESÍDUOS
Lapa	Fe-Zr	72,9	128	
Lapa	Fe-LZr	80,4	109	204, 266, 259, 258, 265, 249
Capa 61	Fe-Zr	37,6	405	13, 5, 9, 34, 49, 16, 11, 36, 58, 55
Capa 61	FeN-ZrN	13,9	476	13, 60, 11, 10, 20, 14, 9, 5, 61, 40
ANFB	Fe-Zr	60,8	355	5, 18, 13, 16, 17, 12, 268, 22, 209, 263
ANFB	Fe-LZr	71,8	301	21, 12, 17, 231, 18, 270, 252, 4, 22, 5
XSTO	Fe-Zr	66,1	256	273, 223, 235, 230, 280, 201, 267, 202, 261, 279
XSTO	Fe-LZr	66,1	256	223, 273, 235, 230, 280, 267, 202, 261, 279, 260
O	Fe-LZr, -CuQ-LRbQ	73,4	212	256, 254, 276, 278, 277, 272, 253, 268, 260, 263
O	RFe - RZr	65,4	242	256, 276, 278, 270, 254, 271, 262, 280, 250, 277
O	RFe-RZr, RCuQ-RPF	78,4	191	277, 250, 255, 273, 280, 272, 274, 260, 254, 267
O	RCuQ-RPF	49,2	293	272, 262, 260, 254, 280, 253, 252, 269, 261, 279
O	FeN-ZrN	82,0	174	276, 274, 279, 280, 256, 255, 277, 252, 272, 267
O	FeN-ZrN-CuQN-P ₂ O ₅ N	86,3	152	256, 267, 254, 264, 276, 277, 257, 280, 263, 255
O	FeN-ZrN-S/Wn	67,4	234	256, 267, 277, 276, 260, 269, 257, 254, 272, 262
O	SiO ₂ - PF	15,6	377	279, 280, 261, 256, 253, 260, 273, 254, 277, 276
O	SiO ₂ -PF/LSiO ₂ -LPP	77,7	194	273, 254, 261, 253, 255, 263, 279, 264, 262, 269
O	Fe - PF	73,4	211	256, 254, 276, 278, 277, 272, 253, 268, 260, 263
O	Fe - Zr	65,7	240	250, 256, 276, 277, 254, 278, 272, 268, 253, 260
DISCRI MINANTE	VARIÁVEIS	λ WILKS	η	AMOSTRAS MAL CLASSIFICADAS
25	Fe - Zr	0.481	80.0	260, 264, 267, 276, 277
25	SiO ₂ - P ₂ O ₅	0.536	83.0	255, 260, 258, 276, 280
25	FeN - ZrN	0.399	92.0	257, 260
25	CuQN - P ₂ O ₅	0.445	92.0	260, 273
25	Fe - Zr (400)	0.465	80.0	260, 268, 269, 276, 277
61	FeN-ZrN (200)	0.633	83.6	3, 5, 202, 220, 235, 255, 256, 257, 261, 269
61	FeN-ZrN (100)	0.624	83,6	4, 5, 202, 230, 253, 254, 260, 261, 269, 274
61	FeN-ZrN (400)	0.521	83,6	17, 202, 210, 220, 235, 255, 257, 263, 269, 274

Tabela 7.XVI - Amostras mais discrepantes em relação à regressão da distância à mineralização e à análise discriminante.

fluência da mineralização vai além disso, o que pode ser notado na permanência dos elementos normalmente enriquecidos mostrando este comportamento nas análises discriminantes entre amostras como distâncias até 400 a 600 m. Na área estudada este padrão foi influenciado pelos cálcio-xistos anômalos que ocorrem dos 600 a 700 m, o que impede a distinção inequívoca do halo da mineralização principal.

- d - as amostras mais discrepantes em geral apresentaram comportamento semelhante nas regressões em relação à distância à mineralização e análises discriminantes (tabela 7.XVI). As amostras que apresentaram maiores resíduos na regressão quase sempre foram também mal classificadas nas análises discriminantes. Seu comportamento pode ser explicado pela diferença litológica (am 2 é um gnaiss, 250 é cálcio-silicática, 277 tem excesso de sílica), pela maior alteração intempérica (am 9,10,11,12,13,16,17,22,202,210,230,231,261,262,264 e 279) ou maior proximidade da mineralização (am 253, 254 e 260). As amostras discrepantes não foram removidas das análises, porque o interesse do estudo foi verificar quais elementos mostram diferenças significativas com a proximidade da mineralização, levando em conta toda a variação litológica. Uma grande seleção das amostras levaria a equações ou análises discriminantes com ótimos resultados, mas aplicáveis apenas aos conjuntos de amostras expurgados, sem aplicabilidade na prospecção. Quando se faz um trabalho de prospecção não se sabe de antemão quais amostras apresentam variação normal, quais são anômalas devido à mineralização e quais são discrepantes por outros motivos. Os processos de interpretação só terão sucesso se forem baseados em elementos que apresentem anomalias perceptíveis mesmo na presença das discrepâncias.
- e - comparando os comportamentos dos teores nas proximidades da mina do Perau e aqueles relatados na literatura (e resumidos no capítulo 2) verificamos que:

- Cu, Pb, Ni, Co, Mn, K e Mg apresentam comportamento igual ao da quase totalidade dos trabalhos consultados;

- Zn apresenta empobrecimento, tal como East Tuva (Govett, 1983), Wainaleka (Rugless, 1983) e Aurora (Costa, 1980). Notando serem Wainaleka (Fiji), Aurora (Ceará) e Perau localizados em área tropical, e sendo Zn geralmente móvel em ambiente secundário, o que acontece certamente no Perau (cap.8), talvez possa ser atribuído ao intemperismo, uma vez que o zinco apresenta altos teores por AA no minério e nas calcossilicáticas;

- Na apresenta enriquecimento, como em Aurora (Costa, 1980), Limerick (Dunlop et alii, 1979) e Caribou (Govett, 1983). A ausência de empobrecimento de Na em Limerick é interpretada como indício de seu caráter distal, não tendo as soluções hidrotermais naquele caso intensidade suficiente para destruir os feldspatos. Isto poderia acontecer no Perau, e mais ainda considerando que também o Ca nesta mina conserva altos valores próximos da mineralização, possível herança sedimentar não destruída pela atividade termal nem pelo intemperismo;

- permanece inexplicado o comportamento discrepante do Sr e do Ba, este com altos teores bem próximo à mineralização, mas padrão geral de empobrecimento, ao contrário da maioria.

A concordância do comportamento da maioria dos elementos indicadores com aquele exibido pelas jazidas de origem exalativa reforça a idéia de que haveria a participação de soluções termais na gênese da jazida do Perau. A predominância de metassedimentos sobre rochas de possível origem vulcânica, a variação espacial dos teores de minério e a persistência de padrões litológicos e químicos de origem sedimentar apoiam a interpretação da gênese como sedimentar-exalativa.

8 - O HALO SECUNDÁRIO

8.1 - Introdução

A mineralização do Perau apresenta um halo de disper
são secundário, estudado pelo autor em prospecção geoquímica de
solo, descrita em detalhe por Macedo, in Silva et alii (1981) ,
apresentada em Macedo et alii, 1981 e resumida abaixo. Estudos
de menor porte foram efetuados nas proximidades da mina do Pe
rau por Souza (1972, 1977) e JICA/MMAJ (1982), em áreas restr
tas, mas também mostrando a aplicabilidade do método de prospec
ção geoquímica de solo para prospecção de detalhe de jazidas co
mo a do Perau.

8.2 - Estudo orientativo

Foi efetuado um estudo orientativo de prospecção geo
química de solo, através da amostragem em três trincheiras, com
a coleta de 126 amostras, analisadas para Cu, Pb e Zn por absor
ção atômica. Foram coletadas amostras simples nos horizontes A,
B e C e amostras compostas, em canal, acompanhando a parte mais
argilosa do horizonte B em duas trincheiras. Os resultados fo
ram semelhantes nas três, sendo apresentados na figura 8.1 a
localização do estudo orientativo e das áreas amostradas e na
figura 8.2 os gráficos teor-distância da trincheira 1. Tendo si
do adotado o limiar sugerido por Melcher (1960), de 100 ppm de
Pb, foi fixado, conforme os resultados da amostragem nas trin
cheiras, o espaçamento de 50 m entre amostras para levantamento
de rotina e 25 m para follow-up de anomalias.

8.3 - Estudo de detalhe

O estudo de detalhe foi efetuado para testar a conti
nuidade do nível mineralizado, a sul e a norte da área lavrada.
Foram coletadas 600 amostras, nos horizontes B e C. Os resulta

TRINCHEIRA 1

HORIZONTES

A
B
C

AMOSTRAS DE CANAL

.....

ESCALA

0 2 4 6 8 10m

FIGURA 8.1 - PERFIS GEOLOGICOS TRINCHEIRA1-ESTUDO ORIENTATIVO NA ÁREA MINA DO PERAU

FONTE CPRM-PROJ.INT.DET.GEOL.V.RIBEIRA-RELATÓRIO FINAL-VOLUME XI SILVA.C.R.et alii,1981

dos foram tratados em papel de probabilidade lognormal, adotando o processo de Williams (1967) para a decomposição das curvas em partes atribuídas às amostras não afetadas pela mineralização (background) e amostras com teor elevado do elemento procurado (anomalias). Deste modo foram avaliados os parâmetros da população de background e através deles determinados os limiares da anomalia apresentados abaixo. Foi adotado como limiar de anomalia possível o valor $MG.DG^2$, sendo MG = média geométrica dos teores e DG = desvio geométrico. Para limiar de anomalia provável foi adotado o valor de $MG.DG^3$. Daí resultaram os limites da tabela abaixo:

Tabela 8.I = Parâmetros estatísticos e faixas de teores adotados para os resultados de amostras do horizonte B do solo na área da mina do Perau (segundo Macedo, in C.R. Silva et alii, 1981). Dados em ppm.

Elemento	MG	DG	Anomalia possível	Anomalia provável
Cu	30	2,0	120-239	240-1600
Pb	16	2,5	100-249	250-700
Zn	30	2,2	145-318	319-420

Aplicando-se estes limiares foram definidas faixas anômalas muito distintas, a sul e norte da área lavrada. As anomalias foram posteriormente confirmadas como ligadas à mineralização, através de trabalhos de geologia, geofísica e escavação. As faixas anômalas apresentaram a largura superior a 100 m, para os valores superiores aos limiares de anomalia possível. Embora o relevo seja muito acidentado, condicionando a formação de solos pouco desenvolvidos (litossolos e cambissolos), este fator não impediu a detecção das anomalias. Provavelmente devido ao relevo ocorreu uma diferença notável entre o comportamento do Cu, que apresentou anomalias muito mais extensas que as

Pb e Zn, prolongando-se para cotas mais baixas que as ocupadas pelas anomalias destes dois elementos. Este comportamento se refletiu nos coeficientes de correlação entre os teores dos três elementos, apresentados abaixo:

Correlação	Cu Pb	Cu Zn	Pb Zn
Estudo orientativo	0,766	0,694	0,874
Lev. de detalhe	0,032	0,054	0,378

Tabela 8.II - Coeficientes de correlação de Pearson entre os teores de elementos analisados em 176 amostras de solo do estudo orientativo e 600 amostras de solo dos levantamentos de detalhe na mina do Perau (segundo Macedo & Batolla, 1981).

Estes coeficientes confirmam o observado nos mapas de isoteores, mostrando que, embora as anomalias prevenham do mesmo horizonte mineralizado (o que se mostra pelo minério e pelas altas correlações dos teores do estudo orientativo), o comportamento do cobre é muito diferente do que os do zinco e do chumbo. O cobre é muito mais móvel no ambiente secundário, nas condições de rocha, relevo e clima do Perau, que os dois outros elementos.

8.4 - Trabalhos da JICA/MMAJ

Como parte do projeto Anta Gorda, realizado em convênio por DNPM-MMAJ-CPRM-JICA, cujos resultados são apresentados em JICA/MMAJ (1982) foi efetuado um levantamento geoquímico de solo, com a coleta de 113 amostras do horizonte B, com espaçamentos de 50 a 100 m, e análise por absorção atômica de Cu, Pb, Zn, Ni, Co e Mn. Os resultados foram muito

semelhantes aos do trabalho anteriormente exposto, com teores ligeiramente mais altos devido à área de amostragem mais limitada, e mais próxima à mineralização (recobrando em parte a área já amostrada no trabalho anterior). Os parâmetros estatísticos apresentados na tabela abaixo

Tabela 8.III - Parâmetros estatísticos e limiares de anomalias possíveis (MG.DG) e prováveis (MG.DG²), segundo JICA/MMAJ, 1982.

Elemento	MG	DG	MG.DG	MG.DG ²
Cu	52	2,5	129	322
Pb	25	2,7	70	193
Zn	42	2,4	100	241
Co	14	2,6	37	96
Ni	16	1,0	38	88
Mn	708	3,9	2779	10914

são bem maiores que os adotados no estudo anterior, por não terem os técnicos japoneses adotado nenhuma técnica de separação de grupos de background e anomalia, adotando os valores brutos de média e desvio padrão do total dos dados.

Como parte do mesmo estudo foi efetuada análise fatorial dos teores, tendo os autores considerado relevantes dois fatores, cujas cargas fatoriais são apresentadas na tabela 8.IV.

O fator 1, no qual apresentam altas cargas fatoriais Zn, Co, Ni e Mn foi interpretado como dominado pela influência litológica, devida aos anfíbolitos e rochas cálcio-silicáticas; o segundo fator, com altas cargas em Cu, Pb e Zn, é atribuída à influência direta da mineralização. Recomendam os autores que em outras prospecções geoquímicas de solo na área sejam consideradas como promissoras as áreas de altos coeficientes do fator 2.

8.5 - Considerações

A mineralização do Perau apresenta um halo secundário em solo facilmente detectável pela análise dos elementos-minério Cu, Pb e Zn, fato este demonstrado em todos os trabalhos de prospecção geoquímica lá realizados. A detecção deste halo por amostragem do horizonte B, que nesta região se apresenta geralmente entre 0,5 e 1,0 m de profundidade, não é anulada pelo relevo acidentado, o qual apenas tem o efeito de aumentar a largura do halo de teores de cobre, sem deslocá-lo. O espaçamento conveniente para amostragem é o de malha quadrada de 50 x 50 m para estudos de detalhe. Malhas maiores que esta poderão não detectar anomalias.

Devido à contaminação pelo minério extraído, não foi efetuado estudo orientativo de sedimentos de corrente, embora resultados parciais obtidos pelo autor a norte da mina, expostos em Macedo & Batolla, 1981, indiquem que sedimentos de drenagens que drenam o nível mineralizado têm teores de Pb (70 ppm) considerados como anômalos se comparados com o limiar da anomalia (60 ppm) do Projeto Geoquímica no vale do Ribeira (Morgental et alii, 1978).

Tabela 8.IV - Cargas fatoriais para os elementos analisados em 113 amostras de solo da área da mina do Perau, segundo JICA/MMAJ (1982).

Elemento	Cargas fatoriais	
	Fator 1	Fator 2
Cu	0,289	0,704
Pb	- 0,013	0,920
Zn	0,629	0,541
Co	0,913	0,200
Ni	0,853	0,245
Mn	0,901	- 0,021

9 - CONCLUSÕES

9.1 - Conclusões gerais

O depósito do Perau apresenta características de mineralização sedimentar-exalativa, sendo as mais marcantes o controle estratigráfico, do tipo stratabound, a ocorrência de formação ferrífera sobreposta ao depósito, as relações entre os teores de Pb-Cu-Zn-Ag, as estruturas de deslizamento na mineralização, a presença de metavulcânicas básicas e o ambiente tectônico, interpretado mais comumente como bacia tafrogênica. Algumas observações coletadas neste trabalho confirmam estas idéias, principalmente:

- a) o zoneamento dos metais, principalmente Zn e Pb, confirmado pela análise de superfícies de tendência, reforça as idéias do controle sedimentológico da mineralização.
- b) o halo geoquímico em rocha, muito mais bem definido na capa que na lapa, e com recorrências dos elementos indicadores ligadas à composição dos sedimentos originais, com anomalias nos calcoxistos indica provavelmente gênese sedimentar-exalativa.
- c) os elementos que apresentam maiores enriquecimentos com a proximidade da mineralização são La, B e Cu, na lapa e Pb, B, Mg, Cu e K na capa, havendo enriquecimento também em Sr, Mn, Fe, Co, Ag, Ca, La, Sc, Na e na percentagem de perda ao fogo, interpretada como devida principalmente ao Co_2 . Apresentam menores teores próximo da mineralização Sn, Zn, Be, Ni, Cr e Mo, em maior proporção, havendo menor empobrecimento em Rb, TiO_2 , Ba, P_2O_5 , FeO, Al e Nb. O halo primário ligado diretamente à mineralização principal apresenta pelo menos 200m de extensão na capa, podendo ser maior, mas sua detecção é prejudicada pela ocorrência de anomalias nos calcoxistos.
- d) o comportamento dos elementos citados é coerente com o apresentado pelos depósitos sedimentar-exalativos e volcanogênicos distais. As diferenças são o empobrecimento em Zn e o comportamento de Ca e Na, que parecem pouco influenciados pela mineralização.

9.2 - Conclusões para prospecção

As seguintes conclusões foram a base das técnicas de prospecção litogeoquímica recomendadas à frente, para uso na área da formação Perau:

- a) as análises rápidas, efetuadas por espectrografia ótica de emissão, permitiram a detecção do halo geoquímico da mineralização do Perau em rocha quase tão bem como as análises de óxidos e elementos traços por processos mais precisos e muito mais caros. Uma análise de 30 elementos por EE custa Cz\$89,40, uma AA Cz\$13,70 para o primeiro elemento e Cz\$4,70 pelos seguintes e uma análise quantitativa de 13 óxidos Cz\$878,00, no Laboratório de Análises Minerais (LAMIN) da CPRM. Os elementos analisados simultaneamente pelos dois processos apresentaram resultados quase idênticos, a não ser no caso do Zn, que só pode ser estudado através de análise por absorção atômica, devido ao limite inferior de detecção relativamente alto por EE (200 ppm). Os outros elementos com teores mais baixos que os limites de EE são geralmente utilizados em pesquisas de sulfetos maciços. Dos elementos maiores que mostraram variação pela influência da mineralização apenas o potássio não é determinado por espectrografia ótica de emissão. A correção dos teores por resíduos em relação à sílica não mostrou resultados que compensassem o aumento de custos.
- b) os processos de tratamento de dados utilizados apresentaram resultados em sua maioria concordantes, a não ser no caso da análise de agrupamentos, cujos resultados não indicaram seu aproveitamento para tratamento de dados de prospecção litogeoquímica na área. As amostras com maiores resíduos na regressão da distância à mineralização são em geral as mesmas mal classificadas pela análise discriminante.
- c) considerando uma largura do halo de 200 m, seguramente detectada neste trabalho, o espaçamento de amostragem deve ser de aproximadamente 100 m, para obter para cada perfil em média duas amostras anômalas ao cruzar a área mineralizada.

- d) a correção pelo cálculo de teores relativos, dividindo cada teor pela média de seu tipo litológico, foi a que se mostrou mais eficiente, particularmente na definição dos halos pelos gráficos teor-distância.
- e) o custo da prospecção litogeoquímica, na região do Perau, considerando um espaçamento aproximado (controlado pela existência de afloramentos e variação litológica) de 100 m, é aproximadamente o mesmo da prospecção geoquímica de solos, considerando-se, para um espaçamento de 50 m e o mesmo tipo de análise, uma produção diária de amostras de solo duas vezes maior que a de amostras de rocha e técnico coletor para rochas mais habilitado, no mínimo geólogo iniciante, com salário aproximadamente o dobro daquele do técnico de mineração do nível médio, coletor de amostras de solo. Haverá melhor aproveitamento do trabalho, tanto do ponto de vista econômico quanto do técnico, se a coleta for efetuada pelo mesmo geólogo que fizer o mapeamento, e integrada com este. Não existem dados suficientes para comparar os custos de detecção por sedimentos de corrente e rocha, na área do Perau.

9.3 - Recomendações para prospecção

Tendo em vista os resultados acima, recomenda-se para prospecção litogeoquímica na área do Perau:

- a) efetuar coleta em perfis perpendiculares às estruturas principais, na área da formação Perau, preferivelmente em sua base, onde ela puder ser definida por indicações de superfície.
- b) o espaçamento deverá ser de aproximadamente 100 m no perfil, procurando amostrar os principais tipos litológicos encontrados. Considerando a necessidade da identificação das rochas, a coleta deve ser feita por geólogo, e integrada aos trabalhos de levantamento geológico.
- c) tendo em vista a numerosa suite de elementos que pode mostrar...

variações com a mineralização, a análise deve ser multielementar, por processos rápidos para o total das amostras. A precisão das análises por espectrografia ótica de emissão é suficiente para os trabalhos de rotina. Nas áreas definidas como potencialmente anômalas as amostras deverão ser reanalisadas para os elementos-minério por processo de maior precisão (absorção atômica, raios X ou plasma).

- d) o processamento dos dados deve ser feito inicialmente por gráficos de teor-distância e cálculo de estatísticas básicas de teores brutos e relativos (corrigidos por divisão pelos teores médios para cada tipo de rocha).
- e) para as áreas julgadas em primeira instância como anômalas deverá ser feito processamento dos dados por análise discriminante e elaboração de gráficos teor-distância com os elementos indicadores combinados em índices compostos.
- e) para detalhamento, considerando os bons resultados de ambos os meios de amostragem, deverá ser feita coleta de solo e rocha, por geólogo, em perfis com malha mínima de 50 m, e análise de Cu, Pb, Zn, B, Mg, K, Fe, Mn e Ca por processos quantitativos. Os tres primeiros por sua ligação direta com o minério, os tres seguintes por serem indicadores da proximidade da mineralização, Fe e Mn pelo mesmo motivo e também para controle da absorção de elementos traços em solo ou produtos de alteração e Ca para indicação dos níveis carbonáticos, hospedeiros da mineralização.

A G R A D E C I M E N T O S

Este trabalho só foi possível graças ao apoio e à colaboração de muitos, aos quais agradeço, inclusive àqueles aqui não citados. Expresso aqui os maiores agradecimentos:

Ao Prof. Aledir Paganelli Barbour, orientador desta tese, por sua ajuda em todas as fases do trabalho.

Aos colegas da Companhia de Pesquisa de Recursos Mine-rais, em especial Walter José Marques, Hermes Augusto Verner Inda, Paulo C.M. Branco, Elias Carneiro Daitx, Nelson de Almeida Fernandes e Mário Mota Câmara.

Aos colegas do Departamento Nacional da Produção Mine-ral em especial Fernando Mendes Valverde.

À Mineração Perau S.A. e seu gerente Cidomar Biancardi. À Nilson Guiguer Filho e Alberto Kaminski, pelo auxílio no processamento de dados.

A Sergio Aparecido Antonini e outros componentes da e-quipe de Geologia Ambiental e de Planejamento, por terem suportado a carga adicional de trabalho durante a elaboração da tese.

A Roylane Barbosa, Roberto Lopes e Maria Nunes da Ro-cha pelo trabalho gráfico e auxílio em todos os trabalhos.

A Anna Luise Schulz Macedo, Heitor Schulz Macedo e Stella Schulz Macedo, pela sua ajuda, e principalmente pelo apoio moral durante todo o trabalho.

B I B L I O G R A F I A

- AGTERBERG, F.P., - 1974 - *Geomathematics*. Amsterdam, Elsevier. 596 p.
- ALVES, M.J., CAMARGO, M.V., FERREIRA, J.C., RAABE, G.J. & THEODOROVICZ, A., 1977 - *Mapeamento geológico e levantamento geoquímico da área de cobre e chumbo, Barra do Perau, Adrianópolis, CEGEP-UFP-Eletro São Marco*, 40 p. (rel.inédito).
- AMOR, S.D. & NICHOL, I., 1983 - Identification of diagnostic geochemical alteration in the wallrocks of Archean volcanic-exhalative massive sulfide deposits. *J. Geochem. Explor.*, 19: 543-562.
- ANDREW, R.L., 1984 - The geochemistry of selected base-metal grossans, southern Africa. *J. Geochem. Explor.*, 22:161-192.
- BARBOUR, A., & OLIVEIRA, M.A., 1979 - Pb, Zn, Cu e Ba do Distrito do Perau, Pr - Modelo sedimentar para sulfetos do Vale do Ribeira. *Boletim IG*, S. Paulo, Inst. Geociências USP, 10:97-120.
- BATOLLA JR., F. et alii, 1981 - *Projeto integração e detalhe geológico no Vale do Ribeira*, S.Paulo, DNPM/CPRM, 15v.
- BEUS, A.S., 1976 - *Geochemistry of the Lithosphere*. Moscou, Mir 366 p.
- BEUS, A.A. & GRIGORIAN, S.F., 1977 - *Geochemical Exploration Methods for Mineral Deposits*. Wilmette, Ill., USA, Applied, 287 p.
- BIGARELLA, J.J. & SALAMUNI, R. 1956 - Estudos preliminares da Série Açungui V - Estruturas organógenas nos dolomitos da Formação Capiuru (Estado do Paraná). *Dusenía*, Curitiba, 7(6):317-323.
- BIGARELLA, J.J. & SALAMUNI, R., 1958 - Estudos preliminares da Série Açungui VIII - A Formação Votuverava. Curitiba, Inst.

- Hist. Nat. Geol., 1958. 6p. il (Boletim 2).
- BOOM, G. van den, REHDER, S. & KOTTRUP, G., 1980 - Geochemical patterns in the rocks surrounding the Woodlawn volcanogenic ore deposit, New South Wales, Australia. *Geologisches Jahrbuch*, D 40:169-200.
- BOYLE, R.W., 1974 - The use of major elemental ratios in detailed geochemical prospecting utilizing primary halos. *J. Geochem. Explor.*, 3 (4):345-369.
- BOYLE, R.W., 1984 - The prospect for geochemical exploration - predictable advances and new approaches. *J. Geochem. Explor.*, 21:1-18.
- CARR, G.R., 1984 - Primary geochemical and mineralogical dispersion in the vicinity of the Lady Loretta Au-Pb-Ag deposit, northwest Queensland. *J. Geochem. Explor.*, 22:217-238.
- CASSEDANNE, J., 1971 - Estudo dos elementos-traços e acessórios das galenas do Vale do Ribeira-SP. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXV, S.Paulo, *Anais do ...*, S. Paulo, 1971, SBG, 1: 14-20.
- CHIODI Fº, C., TAKAHASHI, A.T., SILVA, C.R. & FERREIRA, J.C.G., 1983 - *Projeto Capão Bonito Relatório Final*. S.Paulo, SICCT/CPRM, 2v.
- CHIODI Fº, C., 1984 - Contribuição à geologia das regiões Sul Paulista e Leste Paranaense. Grupos Açungui e Setuva. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXXIII, *Anais do ...*, Rio de Janeiro, SBG, 5:2394-2406.
- COOPE, J.A. & DAVIDSON, M.J., 1979 - Some aspects of integrated exploration. In HOOD, P.J. (ed) *Geophysics and geochemistry in the search for metallic ores*, Geol. Survey of Canada, Ec. Geol. Report 31 p.575-592.
- COSTA, M.J., 1980 - *Rock and soil geochemical investigations on sulphide-bearing precambrian metavolcanics at Aurora, Ceará State, North East Brasil*, Leicester, UK, Faculty of Science, Un. Leicester, 129 p.il. (Tese MSc, inéd).

- DAITX, E.C., 1985 - *O estágio atual do conhecimento sobre as mineralizações de Pb-Ag (Zn) do Vale do Ribeira (Pr e SP)*. S.Paulo, IG-USP, 62 p. (inédito, tema de Exame de Qualificação).
- DAVINO, A. & KADEKARU, K., 1969 - Resultados preliminares de um levantamento por polarização espontânea da ocorrência de cobre da Barra do Perau, município de Adrianópolis, Paraná. *Min.Met. L* (229):212-213.
- DAVIS, J.C., 1973 - *Statistics and data analysis in Geology*, New York, Wiley, 550 p.
- DERRY, D.R., 1971 - Geochemistry - the link between ore genesis and exploration. *Geochemical Exploration. CIM, Spec.* 11:1-4.
- DRAPER, N.R. & SMITH, H., 1966 - *Applied regression analysis*, New York, Wiley, 407 p.
- ETHIER, V.G. & CAMPBELL, F.A., 1977 - *Tourmaline concentrations in proterozoic sediments of the Southern Cordillera of Canada and their economic significance*. *Can. J. Earth Sc*, 14:2348-2363.
- FINLOW BATES, T., 1980 - The chemical and physical control on the genesis of submarine exhalative orebodies and their implications for formulating exploration concepts. A review. *Geologisches Jahrbuch*, D40:131-168.
- FISHER, R.A. & YATES, F., 1971 - *Tabelas estatísticas para pesquisa em biologia, medicina e agricultura*. S.Paulo, EDUSP e Polígono, 150 p.
- ×FLEISCHER, R., 1976 - A pesquisa de chumbo no Brasil. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXIX, Ouro Preto, *Anais do ...*, SBG, 1:19-33.
- FLOYD, P.A. & WINCHESTER, J.A., 1978 - Identification and discrimination of altered and metamorphosed volcanic rocks using immobile elements. *Chemical Geology*, 21:291-306.
- FOX, J.S., 1979 - Host-rock geochemistry and massive volcanogenic sulphide ores. *CIM Bull*, 72 (804):127-134.
- FRITZSON JR. O., PIEKARZ, G.F. & FALCADE, D., 1982 - Geologia e potencial econômico do Grupo Setuva (Pr)., XXXII CONGRESSO BRA

- SILEIRO DE GEOLOGIA, Salvador, *Anais do ...*, SBG. 3:987-1000.
- FRIZZO, S.J., 1978 - *Estatística aplicada à prospecção geoquímica - Princípios*. Rio de Janeiro, Cia. Pesq. Recursos Minerais (pub.interna), 69 p.
- GARCIA, M.O., 1978 - Criteria for the identification of ancient volcanic arcs. *Earth-Science Reviews*, 14:147-165.
- GLOVER, J.E., GROVES, D.I. & SMITH, R.E. (ed), 1979 - *Pathfinder and multi-element geochemistry in mineral exploration*. CSIRO Inst. of Earth resources, Publ. nº 4, 116 p.
- GOVETT, G.J.S., 1972 - Interpretation of a rock geochemical exploration survey in Cyprus: Statistical and graphical techniques. *J. Geochem. Explor.*, 1:77-102.
- GOVETT, G.J.S., 1983 - *Rock geochemistry in mineral exploration*. Amsterdam, Elsevier, 461 p.
- GROSS, A.G. & McLEOD, C.R., 1980 - A preliminary assessment on the chemical composition of iron formations in Canada. *Canadian Mineralogist*, 18:223-229.
- GUSTAFSON, L.B. & WILLIAMS, N., 1981 - Sediment-Hosted stratiform deposits of Copper, Lead and Zinc. *Econ. Geol.*, 75th Anniversary Volume, 139-178.
- HASUY, Y., EBERT, H.D. & QUADE, H., 1984 - Aspectos geológicos da megantiforma da Serra do Cadeado, Pr. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXXIII, Rio de Janeiro, SBG, *Anais do ...*, V: 2380-2394.
- HOWARTH, R.J., 1971 - An empirical discriminant method applied to sedimentary rocks. Classification from major element geochemistry. *Math. Geol.*, 3(1): 51-60.
- HOWARTH, R.J., 1983 - *Statistics and data analysis in geochemical prospecting*. Amsterdam. Elsevier. 437 p. (Handbook of Exploration Geochemistry, v.2).
- HUTCHINSON, R.W., 1980 - Massive base metal sulphide deposits as guides to tectonic evolution. In: Strangway, D.W. (ed) - *The Continental crust and its mineral deposits*, Geol. Ass. of Canada, Spec. Paper 20:660-684.

- IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.R.A., 1971 - A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth. Sci.*, 8:523-548.
- JICA/MMAJ, 1981 - *Report on Geological Survey of Anta Gorda, Brasil, Phase I.* Tóquio, Japão, Conv. DNPM/MMAJ, 79p. (inédito).
- JICA/MMAJ, 1982 - *Report on Geological Survey of Anta Gorda, Brasil, Phase II.* Tóquio, Bishimetal, 118 p.
- JICA/MMAJ, 1983 - *Report on Geological Survey of Anta Gorda, Brasil, Phase III.* Tóquio, Bishimetal, 111 p.
- JICA/MMAJ, 1984 - *Report on Geological Survey of Anta Gorda, Brasil, Phase IV.* Tóquio, Japão, Conv. DNPM/MMAJ, 57 p. (inédito).
- KRUMBEIN, W.C. & GRAYBILL, W.A., 1965 - *An introduction to statistical models in geology.* New York, Mc.Graw-Hill, 475p.
- LAFFITE, P., 1972 - *Traité d'informatique géologique.* Paris, Masson. 624 p.
- LAHTI, H.R. & GOVETT, G.J.S., 1981 - Primary and secondary halos in weathered and oxidized rocks - an exploration study from Mykonos, Greece, *J. Geochem. Explor.*, 16:27-40.
- LANDIM, P.M.B., 1979 - *Análise estatística de dados geológicos.* Rio Claro, CEGEO-UNESP, 102 p.
- LARGE, E.D., 1980 - Geological parameters associated with sediment-hosted submarine exhalative Pb-Zn deposits: An empirical model for mineral exploration. *Geologisches Jahrbuch*, D40:59-129.
- LARGE, D.E., 1981 - The geochemistry of the sedimentary rocks in the vicinity of the Tom Pb-Zn-Ba deposit, Yukon Territory, Canada. *J. Geochem. Explor.*, 15:203-217.
- x LEWIS Jr., R.W., 1984 - Evaluation of statistical methods used in geochemical prospecting. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXXIII, Rio de Janeiro, SBG, *Anais do ...*, p.4570-4578.
- LOPES, O.F., 1982 - Um modelo de sedimentação epicontinental do precambriano: análise comparada da área cratonizada do Médio

- São Francisco e a Faixa Móvel do Ribeira e suas consequências metalogenéticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXXII, Salvador, SBG, *Anais do ...*, 3:957-971.
- LOPES, O.F., 1983 - Faixa do Perau: uma unidade faciológica e tectono-metamórfica do Grupo Açungui. *Rev. Bras. Geociências*, 13 (3): 190-203.
- MACEDO, A.B., 1979 - *Estudo estatístico das relações entre elementos principais e traços em rochas basálticas da Bacia do Paraná*. São Paulo, IG-USP, 171 p. (Dissertação de mestrado, inédita).
- MACEDO, A.B. & BATOLLA, F., 1981 - *Metodologia de Geoquímica*, In: Projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira, Vol. XIII, S.Paulo, DNPM/CPRM, 90 p.
- MACEDO, A.B., ADDAS, W. & BATOLLA Jr., F., 1981 - Metodologia de Prospecção geoquímica em Minas do Vale do Ribeira - Pr. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3. Curitiba, Pr. 1981, *Atas do ...*, Soc. Bras. Geol., Núcleo de São Paulo, 417 p. il. p.71-81.
- MACEDO, A.B., 1982 - Prospecção Geoquímica e Geofísica de detalhe em minas do Vale do Ribeira. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXXII, Salvador, SBG, *Boletim nº 2*, p.36.
- MARINI, O.J. & LEPREVOST, A., 1967 - Rochas calcáreas do Grupo Açungui no Estado do Paraná. *Bol. Paranaense de Geociências*, Curitiba, 23-25, 180 p.
- MELCHER, G.C., 1960 - Geochemical Exploration in the Rio Ribeira de Iguape Lead District, Brasil. In: *Symposium de Exploracion Geoquimica*, XX Congresso Geológico Internacional, Mexico, 3: 585-596.
- MELCHER, G.C., CORDANI, U.G., DAMASCENO, E.C., GIRARDI, V.A., & GOMES, C.G., 1971 - Geologia da Folha de Apiaí, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXV., *Anais do ...*, Soc. Bras. Geologia, v.1, p.101.
- MORAES, J.M. & PINHEIRO, M.S., 1956 - *Primeira expedição científica à Serra de Paranapiacaba e Alto Ribeira*, v.1. Com. Defe-

sa do Patrimonio Natural do Paraná.

MORGENTAL, A., SILVA, A.G., BORIN Jr., R., ALEGRI, V. & ADDAS, W., 1978 - Prospecção geoquímica no Vale do Ribeira (SP-PR).

CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXX, Recife, 1978, *Anais do ...*, SBG, 5:2159-2173.

NIE, N.H., HULL, C.H., JENKINS, J.G., SEINBRENNER, K., BENT, H. D., 1975 - *SPSS - Statistical Package for the Social Sciences* - 2nd edition, New York, Mc Graw-Hill, 121 p.

OVCHINNIKOV, L.N. & BARANOV, E.N., 1972 - Endogenic geochemical halos of pyritic ore deposits. *International Geology Review*, 14(5): 419-431.

PAIVA, I.P., FERREIRA, F.J.F., PINTO, G.G., MORGENTAL, A., PINHO Fº, W.D., BORIN Jr., T. & CASTRO, V.H.S., 1979 - Pesquisa de Chumbo e Zinco associada à formação ferrífera bandeada no vale do Ribeira, SP., *Atas do 2º Simpósio Regional de Geologia*, Rio Claro, 2:129-142.

PIEKARZ, G.F., 1981 - Reconhecimento de unidades correlacionáveis à sequência mineralizada do Perau, Pr., 3º SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, SBG/SP, Curitiba, *Atas do ...*, 1:148-155.

PIEKARZ, G.F., 1984 - Geologia e resultados preliminares da pesquisa mineral no núcleo Betara da Formação Perau (Pr). CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXXIII, Rio de Janeiro, *Anais do ...* SBG, p.3682-3696.

QUINTANILHA, J.A., SUSLICK, S.B., BOIN, M.N. & MELLO, I.S.C., 1983 - Aplicação de análise discriminante em prospecção geoquímica. 4º SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, SBG, São Paulo, *Atas do ...*, p. 413-427.

ROSE, A.W., DAHLBERG, E.C. & KEITH, M.L., 1970 - A multiple regression technique for adjusting background values in stream sediment geochemistry. *Econ. Geol.*, 65:156-165.

ROSE, A.W., HAWKES, H.E. & WEGG, J.S., 1979 - *Geochemistry in mineral exploration*. London, Academic Press, 657 p.

ROY, A., 1981 - Application of cluster analysis in the interpretation of geochemical data from the Sargipalli lead-

- zinc mine area, Dundergarh District, Orissa (India), *J. Geochem. Explor.* 14:245-264.
- RUGLESS, C.S., 1983 - Lithogeochemistry of Wainaleka Cu-Zn volcanogenic deposit, Viti Levu, Fiji and possible applications for exploration in tropical terrains. *J. Geochem. Explor.*, 19:563-586.
- RUGLESS, C.S. & GOVETT, G.J.S., 1984 - Exploration rock geochemistry for Pinnacles-type mineralization at Broken Hill, N.S.W., Australia, *J. Geochem. Explor.*, 22:133-160.
- SAWKINS, F.J., 1972 - Sulfide Ore deposits in relation to plate tectonics. *Jour. Geology*, 80:377-397.
- SCOTT, S.D., KALOGEROPOULOS, S.I., SHEGELSKI, R.J. Y SIRIUNAS, J.M., 1983 - Tuffaceous exhalites as exploration guides for volcanogenic massive sulphide deposits. *J. Geochem. Explor.*, 19:500-502.
- SILVA, A.T.S.F., FRANCISCONI, O., GODOY, A.M. & BATOLLA Jr., F., 1981 - *Projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira*. Relatório Final. São Paulo, DNPM/CPRM, 15 v. vol.1, Integração Geológica, 264 p.
- SILVA, A.T.S.F. & ALGARTE, J.P., 1982 - Contribuição à geologia da sequência Turvo-Cajati entre o Rio Pardo e Pariquera Açu, I. - Litologia e Petrografia. *Atas do 3º Simpósio Regional de Geologia*, Curitiba, SBG-NSP, 1:109-120.
- SILVA, C.R., CHIODI, C., MACEDO, A.B., TAKAHASHI & BATOLLA, F., 1981 - *Projeto Integração e Detalhe Geológico do Vale do Ribeira*. Relatório Final Área Mina do Perau. São Paulo, DNPM/CPRM v.11, 162 p.
- SILVA, C.R., TAKAHASHI, A.T., CHIODI Fº, C. & BATOLLA, F., 1982- Geologia e mineralizações da região Perau-Água Clara, Vale do Ribeira, Pr. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXXII, Salvador, SBG, *Anais do ...*, 3:1024-1036.
- SILVA, C.R., TAKAHASHI, A.T., CHIODI Fº., C. & BATOLLA Jr., F., 1982 - Geologia e mineralizações da Região do Perau - Água Clara, Vale do Ribeira. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXXII,

- Salvador, BA, *Atas do ...*, 3: 1029-1033.
- SILVA, C.R. & LOPES, I., 1985 - Pb, Zn e Ba estratiforme no Município de Guapiara, SP, *5º Simpósio Regional de Geologia*, S. Paulo, SBG (no prelo).
- SILVA, R.B., MAEYAMA, O., PEROSA, P.T.Y., ALMEIDA, E.B. & SARGIOTTO, J.A.R., 1982 - Considerações sobre as mineralizações de chumbo, zinco e prata do Grupo Açungui no Estado de S. Paulo CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXXII, Salvador, SBG. *Anais do ...*, 3:972-986.
- SMITH, S.E. & WALKER, K.R., 1971 - *Primary element dispersions associated with mineralization at Mount Isa, Queensland*. Canberra, Bureau of Min. Resources, Geol. and Geoph., Bull. 131. 80 p.
- SOPUCK, V.J., LAVIN, O.P. & NICHOL, I., 1980 - Lithogeochemistry as a guide to identifying favourable areas for the discovery of volcanogenic massive sulphide deposits. *CIM BULL*, 73 (nov 1980): 152-166.
- SOUZA, I.M., 1970 - Esboço geológico das ocorrências de cobre no Ribeirão do Perau, Município de Adrianópolis, Estado do Paraná. *XXII Reunião Anual da Soc. Bras. Progr. da Ciência*, Salvador, p. 79.
- SOUZA, I.M., 1972 - *Mineralogia da Jazida de Cobre do Ribeirão do Perau, Paraná*, Tese de Doutorado Inst. Geociências USP, 213 p. (inédito).
- SOUZA, I.M. & CAMPANHA, G.A., 1977 - Chumbo e cobre no Vale do Ribeira. Mina Barra do Perau. *Mineração e Metalurgia*, 40(384): 4-7.
- SUSLICK, S.B., 1978 - *Estudo metodológico de técnicas estatísticas para Análise de dados geoquímicos*. Diss. de Mestrado, Inst. de Geociências, USP, 116 p. (inédito).
- TAKAHASHI, A.T., CHIODI Fº., C., SILVA, C.R. & BATOLLA Jr., F., 1981 - *Projeto integração e detalhe geológico no Vale do Ribeira*. Relatório Final Área do Ribeirão do Perau. São Paulo, DNPM/CPRM, V. 7, 94 p.

- TAKAHASHI, A.T., FERREIRA, J.C.G. & THEODOROVICZ, A., 1984 - *Projeto Guapiara. Relatório Final.* São Paulo, SICCT/CPRM, 2 v.
- WHITEHEAD, R.E.S. & GOVETT, G.J.S., 1974 - Exploration rock geochemistry - detection of trace element halos at Heath Steele Mines (N.B., Canada) by discriminant analysis. *J. Geochem. Explor.*, 3:371-396.
- WILLIAMS, X.K., 1967 - Statistics in the interpretation of geochemical data. *New Zealand J. Geol. Geophys.*, 10:771-797.
- WOLFE, W.J., 1975 - Zinc abundance in early precambrian volcanic rocks, its relationship to exploitable levels of zinc in sulphide deposits of volcanic exhalative origin, In: *Geochemical exploration*, 1984, Amsterdam, Elsevier, p. 261-278.

ELEMENTOS UTILIZADOS
Adequado do projeto
Ante go do GIC/MMA/ONPM/CPRM/1982

CONVENÇÕES

ESTRATIGRÁFICAS

PROTEROZOICO SUPERIOR

GRANITO

PROTEROZOICO MÉDIO

GRUPO AÇUNGUI
FORMAÇÃO VOTUVERAVA

Sericito xistos (p6ox); quartzitos (p6oq)

GRUPO SETUVA
FORMAÇÃO PERAU

Gráfico xistos (p6pax) Calcio xistos (p6pca) Anfibolitos e anfibolito xistos (p6pax) Mico xistos abrangendo sericito quartzito xistos, muscovito xistos, biotito xistos (p6pax) Rochas carbonáticas abrangendo mármores impuros, tremolito xistos e calcários, com mineralizações de Pb-Cu-Ba-Zn e com intercalações de filito e dolomitos (horizonte Peralau, p6pca); quartzitos com intercalações de anfibolitos e micaxistos (p6pax)

ARQUEANO-PROTEROZOICO INFERIOR

Xistos e gnaissos (p6gnx)

ESTRUTURAIS

Eixo de Anticlinal

Eixo de Sinclinal

Falha inferida

LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS PESQUISADAS

PROSPECÇÃO LITOGEOQUÍMICA NA MINA DO PERAU, PARANÁ

ARLEI BENEDITO MACEDO

ANEXO I MAPA GEOLÓGICO E DE LOCALIZAÇÃO DE ÁREAS PESQUISADAS

ESCALA

T
m 141
A.D.P
V. 1
u. 2

CONVENÇÕES

ESTRATIGRÁFICAS

PROTEROZÓICO MÉDIO

PRÉ-CAMBRIANO MÉDIO

GRUPO SETUVA

FORMAÇÃO PERAU

Grafito-xistos (pGpx) Calcio-xistos (pGpcx) Anfíbolitos e anfíbolitos-xistos (pGpa)
Mica-xistos abrangendo: sericito-quartzito-xistos, muscovito-xistos, biotito-xistos (pGmx)
Dolomitos (pGpd) Filitos (pGpf) Rochas carbonáticas abrangendo mármore impuro,
transilúcido-xistos e calcários, com mineralização de Pb-Cu-Zn (horizonte Perau),
(pGpcx) quartzitos com intercalações de anfíbolitos e mica-xistos (pGpq)

ARQUEANO-PROTEROZÓICO INFERIOR

ESTRUTURAIS

Eixo de Anticlinal

Eixo de Sinclinal

Falha Inferida

GEOQUÍMICAS

Ponto de amostragem em superfície

TRABALHOS DE PESQUISA

Furo de sondagem

Boca de galinha

PROSPECÇÃO LITOGEOQUÍMICA NA MINA DO PERAU, PARANÁ

ARLEI BENEDITO MACEDO

ANEXO 2

MAPA GEOLÓGICO E DE LOCALIZAÇÃO DE AMOSTRAGEM ÁREA DO PERAU

ESCALA

ELEMENTOS UTILIZADOS

Adaptado do projeto

Anta gorda (JICA/MMAU/DNPM/CPRM)

DES. Roberto Lopes