

CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS ELEMENTOS Cu, Pb, Zn, E Ba NO DISTRITO DO PERAU, PR*

A.P.Barbour¹

A.B.Macedo¹

RESUMO

A distribuição espacial de alguns elementos maiores e traços no distrito do Perau evidenciou um zoneamento horizontal do Pb, Zn, Cu, Fe, Ag, elementos Terras Raras e barita. O zoneamento vertical, embora menos notável, configura-se através do B, Mg, Fe e barita. Estes zoneamentos permitem traçar a direção aproximada do eixo da bacia do Perau, assim como delinear os limites aproximados atuais desta bacia.

O estudo da estrutura da jazida, da camada mineralizada e de amostras representativas convergiu na definição de uma tectônica intensa, ativa no período sin- e pós-mineralização.

A distribuição espacial dos elementos no nível mineralizado e nas rochas da capa e lapa sugere a formação da jazida em um modelo compatível com um sistema exalativo distal.

ABSTRACT

Spatial distribution of several major and trace elements in the Perau district reveals horizontal zonation of Pb, Zn, Cu, Ag, rare earth elements and barite. Vertical zonation, although less notable, is evident for B, Mg, Fe and barite. These patterns allow the approximate direction of the axis of the Perau basin, as well as the approximate present limits of this basin to be traced.

Studies of structure, the mineralization level and representative ore samples together define an active sin- and post-mineralization period of intense tectonics.

The spatial distribution of elements within the mineralization level and at the

*Financiado através do projeto PADCT/FINEP/IG-USP 4286054500.

¹Depto. de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada, Instituto de Geociências/USP, São Paulo.

hanging and foot walls suggests formation according to a model compatible with a distal exhalative system.

INTRODUÇÃO E HISTÓRICO

A mina do Perau, com aproximadamente 1,8 milhões de toneladas de minério com 4% de Pb, 2% de Zn e 85 g/t de Ag, constitui uma das maiores concentrações minerais do distrito do Vale do Ribeira (Fig. 1).

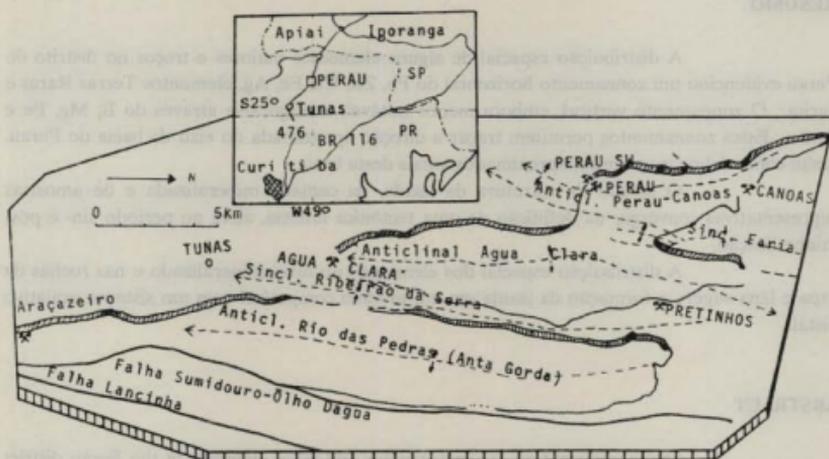


Figura 1 - Localização geográfica, área preservada/erodida e estrutura da Bacia do Perau.

Esta mina foi estudada por SOUZA (1972), SOUZA & CAMPANHA (1977) e BARBOUR & OLIVEIRA (1979), sendo integrada no contexto regional pelos projetos Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira (BATOLLA et al., 1981), e Anta Gorda (JICA-MMAJ, 1981 a 1984), e focalizada sob o ponto de vista de prospecção litogeoquímica por MACEDO (1986). SOUZA & CAMPANHA (1977) mostraram que a forma do corpo de minério em veio camada concordante com o acamamento regional. ALVES et al. (1977) mostraram, a partir de dados geoquímicos, que a mineralização se estendia a sul da área lavrada.

BARBOUR & OLIVEIRA (1979) descreveram em detalhe a mineralogia da

jazida, demonstrando a ocorrência de galena, blenda, calcopirita, pirita, pirrotita, cerussita, smithsonita, piromorfita, goethita e barita. Consideraram como indicativos de processos sedimentares responsáveis pela mineralização a textura e a estrutura dos minerais de minério e das encaixantes, a existência de brechas intraformacionais, metaconglomerados, e o zoneamento dos teores dos elementos formadores de minério. A feição considerada mais importante deste zoneamento foi o aumento dos teores de Zn a noroeste da jazida, onde chegava a 5% em detrimento dos teores de Pb. Sugeriram que a deposição do Zn estava associada a águas mais rasas e ambiente de maior energia. Consideraram assim o minério como de origem sedimentar, depositado em bacia com a sua parte mais rasa situada a noroeste, aprofundando-se para sul e leste.

MACEDO & BATOLLA (1981), SILVA et al. (1981), MACEDO (1982) e SILVA & ALGARTE (1982), em publicações relatando os resultados do projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira (BATOLLA et al., 1981), estabeleceram o posicionamento geológico regional da jazida, correlacionando-a às ocorrências de Água Clara e Pretinhos, e detectando anomalias geoquímicas de solo a até 2 km a sul e 4 km a norte da zona de afloramento da mineralização.

Os geólogos da MINEROPAR estenderam ainda mais a faixa correlacionável às rochas encontradas nas proximidades da mina do Perau. Eles denominaram as rochas calciosilicáticas mineralizadas, os quartzitos subjacentes e os xistos e anfibolitos sobrejacentes à mineralização de Seqüência Perau (PIEKARZ, 1981) e posteriormente Formação Perau (FRITZSONS Jr. et al., 1982).

O Projeto Anta Gorda, com execução a cargo da CPRM e da Metal Mining Agency of Japan, foi relatado em JICA-MMAJ (1981, 1982, 1983 e 1984). Em relação à distribuição espacial do minério, duas contribuições vieram do Projeto Anta Gorda: a comprovação da extensão do minério na direção SW, e o levantamento detalhado do minério nas galerias de lavra. A partir destas informações novas mostrou-se que o corpo de minério tem pelo menos 400 m na direção SW, e que existem espaçamentos e adelgaçamentos na camada mineralizada, criando zonas mais ricas, denominadas "bonanzas" pelos geólogos da JICA-MMAJ.

OBJETIVO DA PESQUISA

Muito embora haja muitas semelhanças geológicas entre as jazidas de metais base do Vale do Ribeira, a jazida do Perau mostra algumas características incomuns, que a torna diferente de suas congêneres. Feição estratiforme, zoneamento de elementos e minerais na distribuição lateral e vertical, deformação dútil intensa mas com preservação da possível forma original do corpo mineralizado, e finalmente, a associação com formação ferrífera bandada e barita. Estas feições comuns no Perau e ausentes em muitos distritos do Vale do Ribeira, suscitam a expectativa de uma sedimentação em ciclos próprios a um modelo

geoquímico sedimentar, com um zoneamento espacial do Cu, Pb, Zn, Ag, Au, Fe e Ba. O comportamento geoquímico seletivo dos elementos Pb, Zn, Cu, Sn, Ni, Cr, Be, B, La, Mg e K já foi observado nas rochas encaixantes superiores e inferiores do nível sulfetado, mudando seus teores com a aproximação do nível mineralizado. A caracterização destas variáveis físicas e químicas assim como suas correlações no tempo e espaço vieram a concretizar os objetivos iniciais desta pesquisa.

RESUMO DA GEOLOGIA DA ÁREA DO PERAU

O distrito do Perau foi inicialmente estudado para a caracterização de um nível sulfetado cuprífero. Aproximadamente 40 m acima deste nível mineralizado, foi descoberto outro nível com Pb, Zn e algum Cu. Estes dois níveis localizam-se em litótipos diferentes (BARBOUR et al., 1988). As considerações feitas a seguir referem-se apenas ao nível superior.

As rochas do distrito constituem uma seqüência vulcano-sedimentar assentada sobre um embasamento gnáissico. Esta seqüência pode ser dividida em três unidades distintas. Uma inferior predominantemente clástica, constituída de quartzitos e mica quartzitos, assentados sobre um embasamento gnáissico, com espessura de algumas centenas de metros. Esta unidade grada para a unidade superior em camadas alternadas. Nesta zona de passagem localiza-se um nível mineralizado a Cu cujo modo de ocorrência e significado genético serão discutidos posteriormente. Em seguida inicia-se uma unidade carbonato/pelítica intermediária, mais francamente carbonática em sua base (mármore calcítico/dolomítico), anfibólio e mica-quartzo-carbonato xistos e mais pelítica em seu topo (tremolita-biotita-carbonato xistos). A zona de gradação da sedimentação carbonática predominante, para pelítica predominante, contém um filito grafitoso. Pouco acima desta rocha estende-se o horizonte sulfetado, com camada de barita na porção superior, e 15 m acima da barita, xisto magnetítico com 0,5 a 2,0 m de espessura. Acima estende-se uma unidade francamente vulcano-pelito-carbonática constituída de quartzo-sericita xistos contendo granada, alternada por lentes e camadas de anfíbolitos.

As rochas locais definem uma área de sedimentação clástica passando a química, de baixa energia, carbonato-pelítica desdobrando-se em fácies pelito-carbonática.

Pirita, galena, blenda e raramente calcopirita, calcosina e pirrotita (BARBOUR & OLIVEIRA, 1979) compõem minério maciço, disseminado e brechado, delimitando uma lente estratiforme com extensão superior a 1.000 m, largura aproximada de 300 m e espessura aproximada de 1 m, chegando, na zona de deformação tectônica, a atingir 9 m.

ZONEAMENTO E CONCEITO PROXIMAL VERSUS DISTAL

A distribuição espacial dos elementos a partir de uma fonte exalativa pressupõe uma rota das soluções pela qual os elementos se afastam e precipitam-se de acordo com sua solubilidade.

Surge um zoneamento lateral concordante com o acamamento das encaixantes, ou vertical cortando a estrutura das rochas. Este tem sido um traço quase comum nos depósitos de sulfetos de metais base. À medida que os depósitos afastam-se de sua fonte, vão adquirindo características que passam a denominar-se de distais, e o zoneamento mineralógico começa a satisfazer às condições geoquímicas locais de deposição da bacia. O elemento Cu por exemplo, que forma um grupo de minerais menos solúveis, costuma se precipitar nas proximidades da zona de exalação. Forma jazidas do tipo proximal. Apesar das variações locais na seqüência de deposição dos elementos que configuram um zoneamento lateral, costuma ser comum do centro para a borda da bacia, a ordem Cu, Pb, Zn, Mn, Ba e Fe, apesar de raramente este zoneamento estar completo.

Zoneamento lateral foi descrito em Mc Arthur River, Tynah e Silvermines, Meggen e Sullivan, entre outros distritos menores.

O zoneamento vertical costuma ser ressaltado pela fácies de mineralização sulfetada do tipo "cross-cutting" (stringer), que delimita o caminho ascendente das soluções mineralizantes e pode indicar em sua porção superior, o sítio ou centro de mineralização (LARGE, 1980).

A jazida do Perau não exibe, até o momento, características de mineralização de fácies "cross-cutting" (BARBOUR et al., 1988). Muitas das características lembram mineralizações estratiformes distais.

Neste contexto, o zoneamento da bacia do Perau não será enfocado como referente ao centro de zoneamento, ou fonte de soluções. Deve ser compreendido como relacionado à rota ou caminho das soluções em sua natureza distal, uma vez que condições locais de deposição devem ter condicionado a precipitação e o zoneamento dos sulfetos.

INTRODUÇÃO AO ZONEAMENTO: NÍVEIS ESTRATIGRÁFICOS REGIONAIS DO PERAU.

O nível mineralizado do Perau representa hoje o que restou de uma bacia de deposição que mantém, até suas bordas mais bem preservadas, várias similaridades geológicas. O estudo do zoneamento de cada uma das ocorrências ou jazidas desta bacia exige antes uma síntese de algumas das características comuns, especialmente aquelas que atingem a bacia como um todo.

Os depósitos atualmente conhecidos, Canoas, Pretinhos, Araçazeiro, Água Clara e Perau SW, representam grosseiramente as bordas N, NE, S, SW e W da antiga bacia do Perau. A região delimitada por estas ocorrências e jazidas está contida em uma estrutura antiformal proeminente, de idade precambriana. HASUI et al. (1984) denominaram-na

Megantiforma da Serra do Cadeado, configurando ondulações quilométricas de segunda ordem definindo antiformas, sinformas e dobras parasíticas menores. As estruturas estão em grande parte arqueadas, com eixos mostrando caimento de 10 a 20° para NE e SW (SILVA et al., 1982).

A jazida do Perau, por exemplo, apesar de tão próxima do Perau SW, evidencia uma disposição espacial do nível sulfetado, baritífero e magnético, que indica condições prevalescentes em zonas mais profundas, e portanto em direção à zona central da bacia. Nota-se na Figura 1 que as antiformas foram preferencialmente erodidas, restando ainda a região alongada da Sinforma Ribeirão da Serra, preservada por constituir uma faixa tectonicamente rebaixada.

A aparente erosão da zona central da bacia do Perau não impede um cálculo aproximado de sua área atual. Ocorrências e jazidas distribuem-se em uma área aproximada de 250 km², alongada na direção N-S. Muitas das características comuns destas jazidas e ocorrências mostram aspectos de zoneamento espacial em largos traços. Estas características serão apenas resumidas, uma vez que não constituem o escopo principal desta pesquisa.

A seqüência paragenética da Jazida do Perau, dentre as demais ocorrências e jazidas deste nível estratigráfico representa, segundo a literatura especializada, a seqüência mais próxima da normal. Por esta razão foi tomada como padrão para correlações laterais, exibindo os seguintes níveis, cada um representando uma paragéneses distinta:

- 4º - Fe²⁺
- 3º - Ba
- 2º - (Cu, Fe)S²⁻
- 1º - (Pb, Zn, Cu, Fe)S²⁻

A distribuição e correlação desses níveis nas jazidas e ocorrências da bacia do Perau são mostradas na Figura 2. O primeiro nível representa o horizonte de metais base cuja espessura normal é de alguns centímetros. Estende-se por grande parte da bacia ainda preservada da erosão. Em direção ao centro da bacia, espessava-se. A jazida do Perau representa este nível em direção ao centro da bacia (Fig. 2).

O segundo nível representa uma mineralização delgada contendo pirita e calcopirita. Costuma associar-se a um nível quartzoso. Está representado no Perau, Pretinhos e Água Clara (Fig. 2). Não é representativo como o anterior em espessura e área. Não forma jazidas, e localiza-se próximo ao topo do 1º nível, ou próximo à base do nível baritífero.

O terceiro nível, baritífero, faz-se representar muito bem no Perau, Água Clara e Pretinhos, Canoas e Perau SW. Está, até onde são conhecidos os dados de pesquisa, ausente no Araçazeiro.

O 4º nível estratigráfico, representando magnetita-xistos, está ausente, até o momento, apenas na jazida de Canoas (Fig. 2). Através de pesquisas mais pormenorizadas poderá ainda ser encontrado.



Figura 2 - Esquema tentativo de posicionamento e correlação de algumas variáveis geológicas de jazidas e ocorrências na Bacia do Perau.

Todos estes níveis estão em uma posição estratigráfica distinta apenas na jazida do Perau (Fig. 2), razão pela qual foi tomada como padrão de comparação. Entretanto, associam-se os níveis 2º e 3º nos Pretinhos, os níveis 1º e 3º em Canoas, os níveis 1º e 3º no Perau SW, os níveis 2º, 3º e 4º em Água Clara e os níveis 1º e 4º no Araçazeiro (Fig. 2). Pesquisas mais pormenorizadas poderão explicar estas associações, assim como seu significado em termos de condições geoquímicas de formação. De momento vamos ressaltar nos capítulos seguintes os aspectos concernentes apenas à jazida do Perau.

MACEDO & BARBOUR (1989) estudaram o halo geoquímico das rochas encaixantes do nível mineralizado do Perau através de gráficos teor-distância, correlação e regressão simples, regressão múltipla e análise discriminante. Concluíram que apresentam enriquecimento com a proximidade da mineralização na lapa, os elementos B, Cu, Pb, Fe, K, Mg e Pb, B, Mg, Cu, K e Mn na capa do minério (Fig. 3). Observa-se que a lapa e a capa do minério reúnem um séquito de elementos que, por sua natureza e distribuição com a proximidade do nível sulfetado, são indicações de fenômenos preparatórios que já atuavam nas encaixantes, e que poderiam ser denominados de pré-mineralização qualitativa. Em especial, foi notado que as rochas calciosilicáticas, que são as encaixantes diretas do minério até uma certa **distância estratigráfica** acima ou abaixo da mineralização, apresentam altos teores em numerosos elementos traços. Por análises discriminantes entre grupos de amostras da capa e da lapa, e entre grupos das mais próximas e das mais distantes da mineralização, MACEDO & BARBOUR (1989) concluíram que os efeitos do processo mineralizador parecem definidos já em algumas litologias, à **distância estratigráfica** aproximada de 200 m.

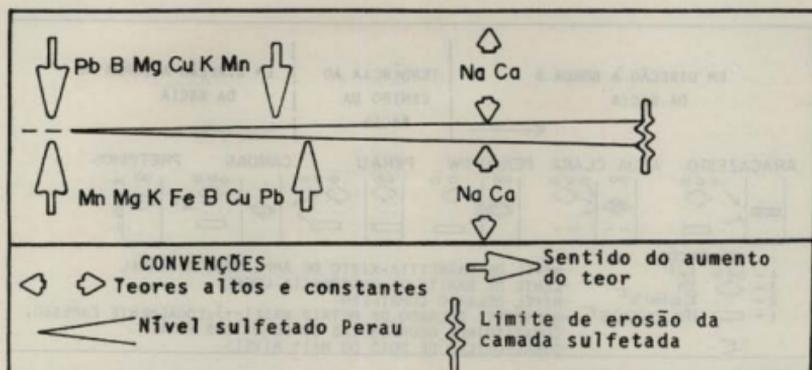


Figura 3 - Variação do teor dos elementos das rochas encaixantes em relação ao nível sulfetado da jazida do Perau (MACEDO et al., 1989 - modificado).

É pertinente observar que o Na contido em feldspatos, e o Ca não empobrecem com a aproximação do nível sulfetado (Fig. 3), fato observado comumente na lapa de jazidas exalativas proximais, como consequência da ação lixiviante de soluções hidrotermais ascendentes.

E finalmente, B e Mg, elementos típicos de atividades pneumatolíticas/hidrotermais exibem valores acentuados em direção ao nível sulfetado (Fig. 3).

BARITA E SUAS RELAÇÕES ESPACIAIS/GENÉTICAS COM NÍVEIS SULFETADOS

Depósitos de barita do tipo estratiforme associam-se com mineralizações sedimentares exalativas sulfetadas (SEDEX), formadas em bacias locais em margens cratônicas rasas ou bacias aulacogênicas em sistema de rifteamento.

Considerada em sua morfologia estratiforme, a barita assume relações espaciais variadas quando associada a níveis sulfetados. Ela pode estar espacialmente separada em sulfetos, capeando-os, constituindo uma extensão lateral à camada sulfetada, a exemplo de Rammelsberg (HANNAK, 1981), Meggen (KREBS, 1981), Lady Loreta (LOUDON et al., 1975) e Silvermines (TAYLOR & ANDREW, 1978). Em exemplos pouco comuns, a barita pode associar-se diretamente aos sulfetos, na porção superior do horizonte mineralizado, como em Rammelsberg (HANNAK, 1981), ou então alternar-se com os sulfetos em delgados

horizontes como ocorre na jazida de Tom (CARNE, 1976). As jazidas mencionadas anteriormente são todas encaixadas em rochas sedimentares.

Em contraste com o ambiente predominante, baritas associam-se também a depósitos de metais base formados em ambiente exalativo com atividades vulcanogênicas predominantes, em domínio tectônico de arcos insulares. Segundo ELDRIDGE et al. (1983), nas jazidas do tipo Kuroko, baritas podem constituir um horizonte denominado "Barite ore", ou constituir parte do horizonte sulfetado, denominado então "Massive black ore", com até 80% de barita na porção superior do horizonte (OSHIMA et al., 1974). Pode compor o "Massive semblack ore" com até 75% de barita, e também o "Siliceous black ore" com até 17% de barita.

O horizonte de barita considerado em sua posição geral no distrito de Kuroko, coloca-se logo abaixo de um horizonte quartzo-ferruginoso denominado "tetsusekiei" e no topo do tipo de minério denominado Kuroko. Assim sendo, a barita coloca-se estratigraficamente acima, capeando os vários tipos de minérios sulfetados do distrito Kuroko (MATSUKUMA & HORIKOSHI, 1970).

Várias pesquisas foram dirigidas no sentido de caracterização da fonte de S e Ba. Isótopos de S, assim como as condições paleogeográficas e geoquímicas locais têm indicado como fonte tanto sulfato contido na água do mar, quanto soluções hidrotermais ácidas portadoras de bário e metais base. Ainda segundo inúmeras pesquisas efetuadas, a barita mostra tendência de deposição em altos topográficos e regiões quimicamente mais oxidantes. Todas estas características observadas em jazidas dispersas em vários continentes poderão auxiliar no estudo do nível baritífero do Perau, acrescentando informações para o melhor entendimento das condições geoquímicas reinantes na bacia de deposição do Perau.

SÍTIO DO PERAU - AMBIENTE DE FORMAÇÃO

A Figura 4 sugere algumas das mudanças ambientais requeridas para a preparação do sítio de deposição dos sulfetos de metais base do Perau.

Inicia-se a sedimentação das rochas da lapa do nível sulfetado do Perau com um litótipo clástico alóctone, representado por quartzitos na base, passando lentamente para sedimentos clásticos finos (xistos) (Fig. 4). A bacia torna-se então pouco mais profunda, com menor energia de transporte, definindo um sítio propício à sedimentação crescente de carbonatos, restringindo-se então a litótipos autóctones. Nesta fase, condições redutoras começam a prevalecer, mesmo pela ação biológica associada à precipitação dos carbonatos. Níveis delgados de possíveis tufitos e cineritos (xistos silicosos) sugerem atividades vulcânicas explosivas, de natureza esporádica, ressaltando, também o contexto tectônico da formação da bacia do Perau. Em seguida, as condições redutoras são intensificadas localmente pela presença de matéria orgânica (filitos grafitosos). Logo após e acima, um retorno às condições calmas de precipitação de calcários predominantes, representa o quadro geoquímico passível para o início da nucleação dos sulfetos de Fe, Pb, Zn e Cu em um nível específico de baixa

ROCHAS/MINERAIS	Condições geoquímicas		S ²⁻	Ba	MATÉR. ORGÂN.	CO ₂ ²⁻ AÇÃO BIOL.	PELITOS	PSAMITOS	AMBIENTE DE FORMAÇÃO SEDIMENTAÇÃO/VULCANISMO
	Red.	Oxid.							
Quartzo sericita xistos e anfibolitos. Horizonte de magnetita									Clásticos, pelitos com algum vulcanismo básico (lavas básicas ? e tufo vulcânicos ?)
Biotita carbonato xistos com material grafitoso									Pelitos e algum carbonato
Barita									Químico predominante
Sulfetos de Pb, Zn e Cu									Químico predominante
Filitos grafitosos									Pelitos
Mármore e carbonato * xistos com xistos silíceos									Carbonatos e pelitos com xistos silíceos (tufo e cineritos ?)
Quartzitos									Clásticos, alta energia

Figura 4 - Ambiente de sedimentação e condições geoquímicas locais de formação da borda leste da jazida do Perau. *Litótipos idênticos. Sem escala vertical.

energia (carbonatos), e condições euféricas, representadas pelos próprios carbonatos, indicativos de agentes biológicos, e matéria orgânica nos filitos basais (Fig. 4). Após a precipitação dos sulfetos, mudança drástica do ambiente de sedimentação, passando de redutor a oxidante, talvez representando condições mais rasas, ou altos topográficos, deu início à precipitação de sulfatos de bário, ainda associados a carbonato xistos. Lentamente a bacia local começa novamente a receber influxo de pelitos (biotita carbonato xistos) e passa então a adquirir condições de energia de transporte mais alta, voltando a acrescentar litótipos alóctones (quartzo sericita xistos). Esta fase alterna-se com vulcanismo básico, anfibolitos representando talvez lavas básicas e/ou tufo vulcânicos.

Contacto inferior do minério com fragmentos da encaixante, clastos de pirita, estruturas de deslize, e delgados nveis de anfibolitos, mesmo nas unidades clásticas (quartzitos) basais, poderiam constituir, em seu conjunto, evidências para movimentos contemporâneos a falhamentos, próximos e penessincrônicos respectivamente, ao sítio e tempo de deposição dos sulfetos de metais base.

ALGUMAS CARACTERÍSTICAS SINGULARES DO NÍVEL SULFETADO DO PERAU

A jazida do Perau exhibe alguns traços comuns com outras jazidas de metais

base com geometria estratiforme. Baritas estão capeando o horizonte sulfetado em sua porção E. Ao longo de uma distância aproximada de 250 m a barita mantém esta disposição espacial. Em seguida passa de uma camada que capeia o horizonte sulfetado, na borda E da jazida (Perau), para uma camada associada diretamente aos sulfetos de metais base, estendendo-se ainda por mais 350 m, na direção SE (Perau SW). Este posicionamento espacial da barita e do horizonte sulfetado é singular, uma vez que no distrito de Kuroko, a barita capeia e mistura-se ao minério em dois horizontes distintos na mesma sucessão vertical.

A associação de duas paragêneses tão distintas exige algumas considerações antes do capítulo final de conclusões. A análise das condições de deposição de uma bacia pressupõe dois tipos diferentes de variáveis geoquímicas. Parâmetros temporais que implicam em mudanças verticais que atingem a bacia quase como um todo e mudanças laterais do centro para as bordas da bacia, estão condicionadas pela sua dimensão e geometria. Esta última variável implica em que as condições redutoras mais profundas, e oxidantes mais rasas, a partir de um certo nível de profundidade, aproximam-se, e eventualmente sobrepõe-se nas bordas das bacias. Julgamos possível admitir que o Perau SW, assim como Canoas, representam esta zona de sobreposição de condições redutoras, favoráveis à nucleação dos sulfetos de metais base, e a zona de condições oxidantes, propícia à deposição de sulfatos de Ba. Na realidade esta sobreposição pode também representar mudanças sazonais, implicando em condições oxidantes e redutoras alternando-se no mesmo nível estratigráfico.

Observa-se também no distrito do Perau um certo relacionamento entre o comportamento do nível sulfetado, a barita e o quartzo associado à camada baritífera. Em direção NW, onde o nível sulfetado apresenta-se rico em blenda, a camada de barita exibe adelgaçamentos chegando eventualmente a desaparecer. Nas regiões onde a barita torna-se quartzosa surgem perturbações tectônicas nas encaixantes, resultando em granulação grosseira para a blenda e adelgaçamentos e espessamentos do nível sulfetado, que em seu conjunto torna-se espesso. As feições resultantes de deformações locais estão registradas intensamente nos horizontes dúcteis da barita e dos sulfetos.

Amostras descritas anteriormente tornam evidentes fenômenos de fragmentação junto ao contato com as encaixantes e, em seguida, de uma verdadeira milonitização dos sulfetos em direção ao centro do horizonte mineralizado. Estes fenômenos são observados com maior facilidade em regiões terminais onde ocorrem veios mais delgados. Não é um fenômeno generalizado, entretanto, e poderia ser indicativo de transposição local, pelo menos de parte de corpos mineralizados.

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 por MACEDO (1986).

Sessenta e nove amostras de minério da mina do Perau, coletadas em galerias e furos de sondagem, apresentaram predominância de chumbo, com teor muito maior que dos outros elementos.

Tabela 1 - Médias aritméticas e desvios padrões dos teores de 5 elementos analisados em 69 amostras de minério da Mina do Perau (segundo MACEDO, 1986).

Elemento	Média	Desvio Padrão
Cu (%)	0,15	0,61
Pb (%)	10,28	8,36
Zn (%)	1,31	1,93
Ag (ppm)	183	122
Au (ppm)	0,15	0,24

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 blocos tridimensionais representando os teores dos elementos Pb, Zn, Cu, Ag e Au.

COMENTÁRIOS SOBRE OS GRÁFICOS DE SUPERFÍCIE DE CONTORNO CARACTERIZADOS PARA A JAZIDA DO PERAU SW

Chumbo

O gráfico de superfície de contorno (Fig. 5) exhibe distribuição preferencial do Pb ao longo do eixo SW - NE da bacia de deposição do Perau. Os teores de Pb crescem de SW para NE, com uma inflexão para NNE, representada por teores elevados, muito embora decrescentes. Esta distribuição espacial pode ser considerada como um padrão geral para a parte da bacia preservada da erosão.

Zinco

O gráfico da Figura 5 ressalta que no plano geral o Zn tem algumas semelhanças com o Pb. Entretanto, observado em suas variações locais de teores, apresenta

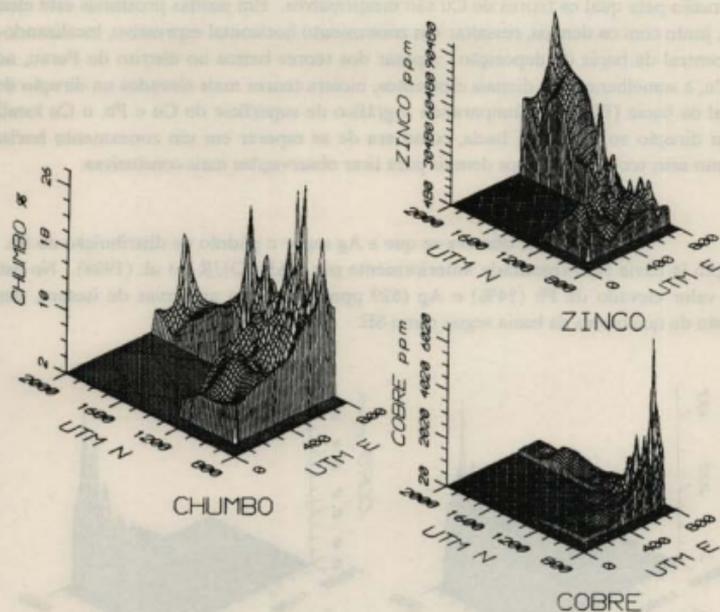


Figura 5 - Gráfico de superfície de contorno dos elementos chumbo, zinco e cobre.

peculiaridades. Seus teores variam, como o Pb, ao longo do eixo SW-NE. Ao longo deste eixo, na direção NE, há um aumento sensível nos teores, e também à semelhança do Pb, inflete na direção NNE. Entretanto, o aumento de teores na direção da galeria G4, para NNE, é bastante pronunciado, chegando a atingir valores de 8% de Zn.

Nos furos de sondagem do Perau SW observa-se, mesmo megascopicamente, um aumento dos teores na direção da borda da bacia, em contraste flagrante com os demais elementos (Fig. 5). Este zoneamento é compatível com resultados obtidos em vários distritos sulfetados similares ao Perau, como mencionado na literatura internacional.

Cobre

O elemento Cu assume valores representativos em jazidas proximais, quando a mineralização localiza-se próximo da fonte. A jazida do Perau exhibe várias características

distais, razão pela qual os teores de Cu são inexpressivos. Em jazidas proximais este elemento deveria, junto com os demais, ressaltar um zoneamento horizontal expressivo, localizando-se na região central da bacia de deposição. Apesar dos teores baixos no distrito do Perau, nota-se que o Cu, à semelhança dos demais elementos, mostra teores mais elevados na direção do eixo principal da bacia (Fig. 5). Comparando o gráfico de superfície do Cu e Pb, o Cu localiza-se mais em direção ao centro da bacia, como era de se esperar em um zoneamento horizontal, entretanto seus teores são baixos demais para tirar observações mais conclusivas.

Prata

Na Figura 6, observa-se que a Ag segue o padrão de distribuição do Pb. Esta correlação já havia sido ressaltada anteriormente por BARBOUR et al. (1988). No extremo SE um valor elevado de Pb (14%) e Ag (629 ppm) distorceu as curvas de isoteor, dando a impressão de que o eixo da bacia segue rumo SE.

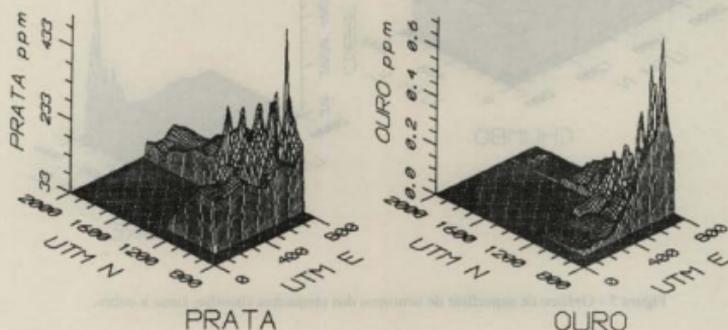


Figura 6 - Gráfico de superfície de contorno dos elementos prata e ouro.

Ouro

A região da galeria G 4 não registra teores de Au detectáveis, apesar da presença de pirita nas encaixantes. Há pelo menos duas gerações de pirita no Perau (BARBOUR & OLIVEIRA, 1979), e possivelmente o Au é seletivo em uma delas.

Um exame prévio da Figura 7 indica que a quantidade relativa de pirita aumenta também na direção NE. O gráfico de superfície de contorno evidencia que o Au cresce na direção NE, segundo o eixo da bacia. O valor mais alto registrado atinge 0,65 ppm.

Finalmente os dados comentados nos capítulos anteriores, e que referem-se ao zoneamento de elementos ou minerais, foram resumidos e apresentados na Figura 7. Apenas elementos ou minerais que expressam um zoneamento distinto foram incluídos no

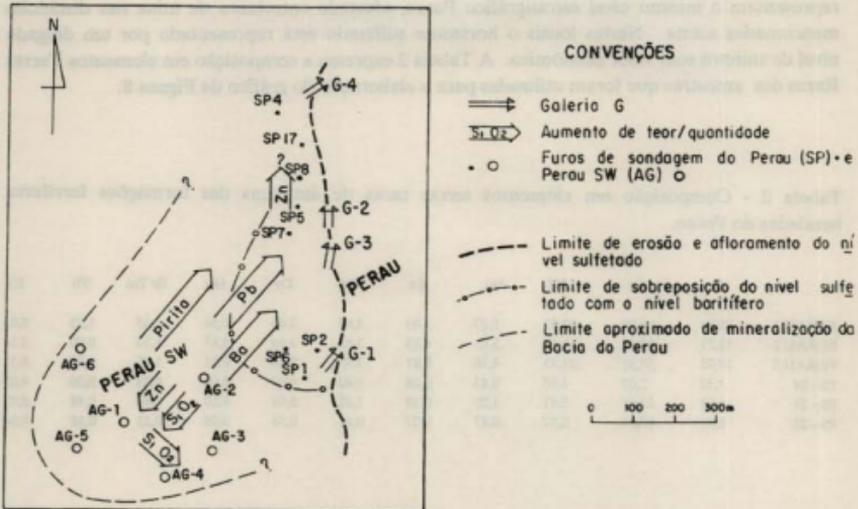


Figura 7 - Mapa esquemático da distribuição espacial de elementos e minerais, variações no nível mineralizado e localização de furos de sonda. Depósito do Perau e Perau SW.

mapa esquemático, contendo também o limite aproximado até onde o nível sulfetado constitui uma camada de espessura mapeável.

ELEMENTOS TERRAS RARAS: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

O estudo do zoneamento de elementos em uma jazida deve estender-se quando possível à sua seqüência hospedeira. Padrões de distribuição de elementos Terras Raras em formações ferríferas bandadas (exalitos) constituem ferramenta útil no estudo do zoneamento e na detecção de contribuições vulcânicas e exalativas, e, em seu todo, na evolução genética de rochas e mineralizações.

As amostras utilizadas para este estudo foram coletadas em dois locais distintos. Amostras Perau 1, 2 e 3 coletadas na formação ferrífera inserida acima do horizonte sulfetado do Perau, em sua porção mais espessa. As amostras PS 24, 23 e 22 foram coletadas

respectivamente a 450, 750 e 900 m de distância da mina do Perau. Estas três amostras representam o mesmo nível estratigráfico Perau, afastado entretanto da mina nas distâncias mencionadas acima. Nestes locais o horizonte sulfetado está representado por um delgado nível de sulfetos sem valor econômico. A Tabela 2 expressa a composição em elementos Terras Raras das amostras que foram utilizadas para a elaboração do gráfico da Figura 8.

Tabela 2 - Composição em elementos terras raras de amostras das formações ferríferas bandadas do Perau.

	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er Tm	Yb	Lu
PERAU 1	25,84	50,03	27,82	5,27	1,01	3,85	2,60	0,56	1,35	1,25	0,21
PERAU 2	13,71	28,18	18,19	3,83	0,83	3,05	2,60	0,45	1,10	0,90	0,14
PERAU 3	19,02	37,32	21,73	4,30	0,87	3,75	2,80	0,52	1,45	1,27	0,33
PS - 24	1,32	2,07	1,60	0,43	0,08	0,42	0,40	0,09	0,23	0,20	0,05
PS - 23	6,03	12,85	5,91	1,20	0,19	1,02	0,96	0,20	0,49	0,48	0,07
PS - 22	2,85	10,04	2,37	0,47	0,07	0,41	0,38	0,08	0,23	0,18	0,04

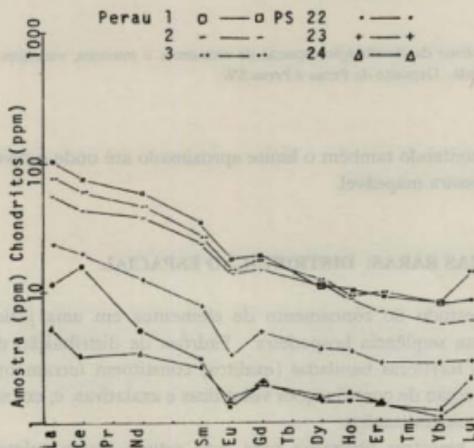


Figura 8 - Padrão de distribuição de elementos Terras Raras em formações ferríferas do Perau.

Da observação dessa figura nota-se uma tendência de enriquecimento em Terras Raras leves, acompanhada de uma expressiva anomalia negativa do elemento Európio. O elemento Cério ressalta pequenas variações, mas, indefinidas se quantitativamente positivas. Este padrão é em parte compatível com aquele apresentado por Formações Ferríferas do Proterozóico (FRYER, 1983), que indica contribuição vulcânica em formações ferríferas bandadas.

LOTTERMOSER (1989) em trabalho recente faz um reestudo da assinatura dos elementos Terras Raras em exalitos concluindo que eles auxiliam na identificação do caráter proximal ou distal da mineralização sulfetada em relação à fonte das soluções hidrotermais. Este autor conclui que exalitos de mineralizações pequenas de Broken Hill geralmente possuem um conteúdo total de elementos Terras Raras menor do que exalitos associados com corpos potentes mineralizados, indicando seu caráter distal. Ressalta ainda que exalitos proximais mostram teores altos do elemento Európio e aqueles considerados como distais, teores anômalos baixos. As análises do Perau ressaltam que distanciando-se do corpo mineralizado principal ao longo do próprio nível mineralizado, o conteúdo total dos elementos Terras Raras diminui. Há um visível zoneamento quantitativo para estes elementos. Entretanto, nota-se que todas as amostras exibem teores negativos anômalos do elemento Európio. LOTTERMOSER (1989) concluiu ainda que a assinatura de elementos Terras Raras é interpretada como indicadora de temperaturas decrescentes dos fluidos hidrotermais com a distância crescente em relação à mineralização sulfetada.

CONCLUSÕES

A distribuição espacial de alguns elementos maiores e traços no distrito do Perau configura um zoneamento horizontal assumindo os elementos e minerais as seguintes características:

- O Pb ressalta teores mais elevados no quadrante NE, em direção ao provável centro da bacia. Esta tendência satisfaz à expectativa normal de zoneamentos. Um aumento, embora menor, na direção NNE não invalida a tendência geral de zoneamento deste elemento.

- O Zn tem como comportamento geral, um aumento de teor pronunciado nas direções SW, N e NE, as duas primeiras direções assumidas como bordas da bacia. Este comportamento atende plenamente à expectativa e é considerado como normal para o elemento Zn.

- O Cu expressa valores médios muito baixos, compatíveis com jazidas distais, configurando um pequeno aumento em direção ao centro da bacia, assim atendendo à expectativa de zoneamento deste elemento.

- O Fe está representado através da calcopirita e principalmente pirita, e exhibe aumento para NE, em direção ao centro da bacia.

- A Ag, associada à galena, segue o padrão de zoneamento do Pb, concentrando-se em direção ao centro da bacia.

- O Au comporta-se em concordância com a distribuição da pirlita. Embora presente-se em teores muito baixos, ressalta um aumento em direção ao centro da bacia.

- A barita apresenta-se em um horizonte contínuo no distrito do Perau, embora com espessamentos e adelgaçamentos locais. Fora deste distrito, ela configura um horizonte descontínuo, e se estende além do nível sulfetado, em direção às bordas da bacia, comportamento este totalmente em acordo com outros distritos baritíferos associados a metais base.

- O padrão de distribuição de elementos Terras Raras ressalta tendência de enriquecimento em elementos leves, anomalia negativa do elemento Európio, e diminuição do conteúdo total de elementos Terras Raras com o afastamento do sítio mineralizado. O zoneamento vertical particulariza-se através das seguintes características:

- B e Mg, elementos típicos de atividades pneumatolíticas/hidrotermais apresentando nas encaixantes, valores que aumentam em direção ao nível sulfetado;

- Fe constituindo pirlita, disseminado na lapa do nível mineralizado, antecedendo a nucleação principal dos sulfetos de Pb, Zn e Cu;

- Pb e Zn que exigem amostragem e observações mais pormenorizadas, uma vez que a ductilidade maior da galena em comparação com a blenda, poderia facilitar a transladação local deste mineral para as encaixantes;

- teores baixos, assim como a falta de estudos mais detalhados do Cu, Ag e Au não permitem observações mais específicas sobre o zoneamento vertical, e,

- barita ocorre, à semelhança de outros distritos portadores de sulfetos de metais base, capeando ou localizada acima do horizonte sulfetado. Em direção à borda da bacia, isto é, em direção ao Perau SW, associam-se no mesmo nível barita e sulfetos de Pb, Zn e Cu. Esta é uma característica singular e incomum da jazida do Perau, se comparada com jazidas geologicamente equivalentes de outros distritos.

Em escala de amostra observam-se sulfetos fragmentados e milonitizados, clastos de pirlita e estruturas de deslize no contato dos sulfetos com a encaixante inferior. Em escala de distrito observam-se adelgaçamento e espessamento do nível sulfetado, falhas cortando com rejeito a camada de minério e lentes ou camadas de meta anfíbolitos alternadas com os metassedimentos. Em escala regional observam-se estruturas de anticlinais e sinclinais alternados. Em todas estas escalas fica saliente uma tectônica ativa sin e pós-mineralização, sobrepondo fenômenos de amplitude local e regional.

Teores mais altos de elementos traços nas encaixantes calciossilicáticas, elementos índices de mineralização mais altos nas rochas da capa, ausência de concentração e lixiviação anormal de alguns elementos típicos nas rochas da lapa condicionam a gênese da jazida a um modelo distal em relação à fonte de mineralização.

As características somadas das encaixantes e do nível mineralizado sugerem

um zoneamento compatível com um modelo exalativo distal para a jazida do Perau.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M.J.; CAMARGO, M.V.; FERREIRA, J.C.; RAABE, G.J.; TODOVICZ, A. (1977) Mapeamento geológico e levantamento geoquímico da área de cobre e chumbo, Barra do Perau, Adrianópolis. CEGEP-UFP - Eletro São Marcos, 40p. (Rel.inéd.).
- BARBOUR, A.P. & OLIVEIRA, M.A.F. (1979) Pb, Zn, Cu e Ba no distrito do Perau - Modelo sedimentar para sulfetos do Vale do Ribeira. **Boletim IG-USP, Série Científica**, 10:97-120.
- BARBOUR, A.P.; MACEDO, A.B.; HYPÓLITO, R. (1988) Correlações dos elementos Ag, Pb, Zn, Cu e Fe com Ba em algumas jazidas sulfetadas do Vale do Ribeira, Estados de SP e PR. **Boletim IG-USP, Série Científica**, 19:1-21.
- BATOLLA Jr., F.; TAKAHASHI, A.T.; CHIODI FILHO, C.; SILVA, C.R. (1981) **Projeto integração e detalhe geológico no Vale do Ribeira, São Paulo**: relatório final, área Ribeirão do Rocha. São Paulo, CPRM/DNPM. V.6, p.1-101.
- CARNE, R.C. (1976) Stratabound barite and lead-zinc-barite deposits in the eastern Selwin Basin Yukon Territory. Dept. Indian and Northern Affairs, Open File Rep.: EGS - 16, 41p; Whitehouse, Canadá.
- ELDRIDGE, C.S.; BARTON Jr., P.B.; OHMOTO, H. (1983) Mineral textures and their bearing on formation of the Kuroko orebodies. **Economic Geology Monographs**, 5:241-281.
- FRITZONS Jr., O.; PIEKARZ, G.F.; FALCADE, D. (1982) Geologia e potencial econômico do Grupo Setuva (PR). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., Salvador, 1982. **Anais**. Salvador, SBG. V.3, p.987-1001.
- FRYER, B.J. (1983) Rare earth elements in iron formations. In: TRENDALL, A.F. & MORRIS, R.C. (eds.) **Iron formation, facts and problems**. Amsterdam, Elsevier. Cap. 8, p.345-358 (Developments in precambrian geology, 6).
- HANNAK, W.W. (1981) Genesis of the Rammelsberg ore deposit near Goslar/Upper Harz, Federal Republic of Germany. In: WOLF, K.H. (ed.) **Handbook of stratabound and stratiform ore deposits**. Amsterdam, Elsevier. V.9, p.551-642.

- HASUI, Y.; EBERT, H.D.; QUADE, H. (1984) Aspectos geológicos da mega-antiforma da Serra do Cadeado, PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. *Anais*, Rio de Janeiro, SBG. V.7, p.2380-2393.
- JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY - JICA (1981) **Report on Geological Survey of Anta Gorda, Brazil, phase I.** 128p.
- JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY - JICA (1982) **Report on Geological Survey of Anta Gorda, Brazil, phase II.** 119p.
- JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY - JICA (1983) **Report on Geological Survey of Anta Gorda, Brazil, phase III.** 110p.
- JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY - JICA (1984) **Report on geological survey of Anta Gorda, Brazil, phase IV.** 57p.
- KREBS, W. (1981) The geology of the Meggen ore deposits. In: WOLF, K.H. (ed.) **Handbook of stratabound and stratiform ore deposits.** Amsterdam, Elsevier. V.9, p.509-549.
- LARGE, D.E. (1980) Geological parameters associated with sediment hosted submarine exhalative Pb-Zn deposits: an empirical model for mineral exploration. *Geologisches Jahrbuch - Reihe D.*, 40:50-129.
- LOTTERMOSER, B.G. (1989) Rare earth element study at exhalites within the Willyama Supergroup, Broken Hill Block, Australia. *Mineralium Deposita*, 24(2):92-99.
- LOUDON, A.G.; LEE, M.K.; DOWLING, J.F.; BOURN, R. (1975) Lady Loretta silver-lead-zinc deposit. *Australasian Institute of Mining and Metallurgy. Monograph Series*, 5(1):377-381.
- MACEDO, A.B. & BATOLLA, F. (1981) **Projeto integração e detalhe geológico no Vale do Ribeira: relatório final, metodologia de geoquímica.** São Paulo, CPRM/DNPM. V.13, p.1-90.
- MACEDO, A.B. (1982) Prospecção geoquímica e geofísica de detalhe em minas do Vale do Ribeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., Salvador, 1982. **Resumos e breves comunicações. Boletim 2.** Salvador, SBG. p.36.
- MACEDO, A.B. (1986) **Prospecção litogeoquímica na mina do Perau, Paraná.** São Paulo,

- 162p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências - USP).
- MACEDO, A.B. & BARBOUR, A.P. (1989) Lithochemical exploration of massive sulphide at Perau base metal mine, Paraná, Brazil. In: INTERNATIONAL GEOCHEMICAL EXPLORATION SYMPOSIUM, 13., BRAZILIAN GEOCHEMICAL CONGRESS, 2., Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Geoquímica, CPRM, DNPM., p.108.
- MATSUKUMA, T. & HORIKOSHI, E. (1970) Kuroko deposits in Japan, a review. In: TATSUMI, T. (ed.) **Volcanism and ore genesis**. Tokyo, University of Tokyo Press, p.153-179.
- OSHIMA, T.; HASHIMOTO, T.; KAMONO, H.; KAWABE, S.; SUGA, K.; TANIMURA, S.; ISHIKAWA, Y. (1974) Geology of the Kosaka mine, Akita Prefecture. **Mining Geology**, Special Issue, (6):89-100.
- PIEKARZ, G.F. (1981) Reconhecimento de unidades correlacionáveis à seqüência mineralizada do Perau, Estado do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., Curitiba, 1981. **Atas**. Curitiba, SBG. V.1, p.148-154.
- 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, análises químicas, arquivo geral - II**. São Paulo, CPRM/DNPM. V.15.
- SILVA, A.T.S.F. & ALGARTE, J.P. (1982) Contribuição à geologia da seqüência Turvo-Cajati entre o Rio Pardo e Pariquera Açu, I - Litologia e Petrografia. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., Curitiba, 1982. **Atas**. Curitiba, SBG. V.1, p.109-120.
- SILVA, C.R.; TAKAHASHI, A.T.; CHIODI FILHO, C.; BATOLLA Jr., F. (1982) Geologia e mineralizações da região Perau-Água Clara, Vale do Ribeira, PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., Salvador, 1982. **Anais**. Salvador, SBG. V.3, p.1024-1036.
- SILVA, C.R.; SOUZA, I.M.; BRANDÃO, W. (1988) Mina de chumbo e prata do Perau, Adrianópolis, Paraná. In: SCHOBENHAUS, C. & COELHO, C.E.S. (coords.) **Principais depósitos minerais do Brasil**. Brasília, DNPM. V.3, p.123-134.
- SOUZA, I.M. (1972) **Mineralogia da jazida de cobre do Ribeirão do Perau, Paraná**. São Paulo. 213p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências/USP).
- SOUZA, I.M. & CAMPANHA, G.A.C. (1977) Chumbo e cobre no Vale do Ribeira, Mina

Barra do Perau, Município de Adrianópolis, Estado do Paraná. **Mineração e Metalurgia**, (384):4-7.

TAYLOR, S. & ANDREW, C.J. (1978) Silvermines orebodies, County Tipperary, Ireland. **Transactions Institution of Mining and Metallurgy, Sec.B.**, 87:111-124.

Recebido em 14/11/1990.
Aprovado em 14/01/1991.