

INIS - BR -- 2674 .

BR 9127369  
INIS - BR -- 2674

**CONGRESSO BRASILEIRO  
DE GEOLOGIA**  
**36**  
NATAL / RN

28 de outubro a 1 de novembro 90  
CENTRO DE CONVENÇÕES

**ANAIS**  
**VOLUME 3**



**REALIZAÇÃO:**  
**SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA**  
**NÚCLEO NORDESTE**

**APLICAÇÃO DOS ISÓTOPOS DE Pb E Sr NA DETERMINAÇÃO DA NATUREZA DAS FONTES DAS MINERALIZAÇÕES DE CHUMBO DO VALE DO RIBEIRA - SP E PR.**

Colombo C. G. Tassinari (1)  
Aldir P. Barbour (2)  
Ellis C. Debi (3)  
Kei Sato (1)

(2) Universidade de São Paulo,  
Instituto de Geociências,  
Departamento de Geologia  
Econômica e Geológica Aplicada

(1) Universidade de São Paulo,  
Instituto de Geociências, Centro  
de Pesquisas Geocronológicas

(3) Universidade Estadual  
Paulista, Instituto de Geociências  
e Ciências Exatas, Campus de  
Rio Claro

**ABSTRACT**

A lead and strontium isotope study was carried out on galena, barite and calcite from Pb-Ag syngenetic stratiform (Perau type) and hydrothermal veins (Panela type) deposits from Vale do Ribeira region (São Paulo and Paraná states).

The leads from the Perau and Panelas type deposits have respectively isotope ratios ( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.157$  to  $16.505$  and  $16.520$  to  $17.273$ ;  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.466$  to  $15.720$  and  $15.470$  to  $15.780$  and  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.370$  to  $36.763$  and  $37.043$  to  $38.243$ ), that defined a Stacey and Kramers model ages mainly concentrate within 1.7-1.5Ga. (Perau type) and 1.4-1.1Ga. (Panelas type) time interval. The initial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  for the Perau type deposits (0.705-0.706) coincide with the seawater strontium and for the Panelas type ore deposits is characterized by high values in comparison to seawater strontium (0.711-0.720).

A review of published Pb isotopic compositions for these deposits and considerations of new Sr isotope data and Pb results using plumbotectonics model, indicate that the Perau type mineralizations are related to the syngenetic process and the Pb are derived from upper crust with a short crustal residence time. For the Panelas type deposits the Pb and Sr isotope studies support the conclusion that the ores were emplaced during regional metamorphism and the Pb were derived from lithologically complex source which may include metasedimentary and basement rocks.

**INTRODUÇÃO**

Nos jazimentos de Pb e Ag situados na região do Vale do Ribeira, no Sudeste do Estado de São Paulo e Nordeste do Paraná, foram realizados alguns estudos geocronológicos pelo método Pb-Pb em galenas visando a determinação das idades das mineralizações e a caracterização do tipo do depósito, se eram empobrecidas ou enriquecidas em Pb radiogênico (Tipo E ou J), ou se o conteúdo era normal, inferindo que a evolução isotópica de Pb, neste último caso, havia sido em estágio único.

Nos trabalhos mais antigos, anteriores a 1972, as idades foram calculadas segundo modelos que assumem uma evolução isotópica do Pb em estágio único. Entretanto o número de depósitos minerais que tiveram evolução isotópica de Pb desta forma é muito pequeno, correspondendo aqueles em que o Pb foi extraído do manto superior e imediatamente incorporado a galena, através de atividades vulcânicas em arcos de ilhas ou vulcanismos submarinos. No caso de se estudar depósitos minerais, cujo Pb evoluiu em dois ou mais estágios, as idades obtidas, assumindo-se um modelo em estágio único, podem apresentar valores anômalos sem significação geológica.

Atualmente é conhecido que grande parte de depósitos de sulfetos contém Pb denominado de "anômalo" isto é, Pb incorporado às mineralizações após uma evolução em dois ou mais estágios, de acordo com os modelos de Stacey e Kramers (1975), Cumming e Richards (1975) e Doe e Zartmann (1979), os quais propiciam a obtenção de idades mais realistas.

Nos últimos anos os isótopos de Pb têm sido muito utilizados no estudo de mineralizações para se determinar a fonte das soluções mineralizantes. Da mesma forma a composição isotópica inicial de Sr também pode ser indicadora da fonte das soluções hidrotermais, desde

que obtidas em minerais de ganga, relacionados às mineralizações, que não possuem Rb em seus retículos cristalinos, como calcita, barita e fluorita por exemplo.

Com o objetivo de se determinar a fonte das soluções mineralizantes dos jazimentos de Pb e Ag do Vale do Ribeira, bem como suas idades, foram realizadas 25 determinações da composição isotópica de Pb em amostras de galenas e 10 determinações das razões  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  em concentrados de barita e calcita, que são aqui interpretados em conjunto com os dados disponíveis na literatura.

Os depósitos selecionados para este estudo são incluídos preliminarmente em jazimentos do tipo "Perau" ou "Painelas" (Fleischer, 1976), tendo em vista que, futuramente, com o avanço do conhecimento geológico destas jazidas elas podem vir a ser subdivididas em outros grupos, em especial aquelas incluídas como tipo "Painelas" que constituem mineralizações epigenéticas em corpos geralmente discordantes e associados preferencialmente a rochas carbonáticas. Já os depósitos do tipo "Perau" são estratiformes com as mineralizações associadas a seqüências vulcanossedimentares. As amostras estudadas são provenientes das minas Rocha, Furnas, Barrinha e Tigre, incluídas como tipo "Painelas" e Perau, Água Clara, Canoas e Pretinhos incluídas como tipo "Perau".

## CONTEXTO GEOLÓGICO

A figura 1 consiste de um mapa geológico simplificado extraído de Campanha et al. (1987), onde constam as localizações dos jazimentos estudados neste trabalho. Sob o ponto de vista geotectônico esta área situa-se dentro da Faixa de Dobramentos Apiaí (Hasui et al., 1975) incluída nos domínios da Província Mantiqueira de Almeida et al. (1977).

As unidades litoestratigráficas dispõem-se preferencialmente em faixas paralelas com direção principal nordeste. As seqüências supracrustais estão incluídas nos grupos Açungui e Setuva (Chiodi Filho, 1984). As várias sínteses efetuadas para a porção sudeste do Estado de São Paulo e leste paranaense agruparam estas seqüências sob diversas denominações e distintas relações estratigráficas (Hasui et al., 1984, 1986; Chiodi Filho, 1984; Campanha et al., 1987 e Soares, 1987).

Regionalmente a área é constituída por um embasamento gnáissico-migmatítico com rochas de médio a alto grau metamórfico incluídas nos denominados Complexos Costeiro, Embú, Pré-Setuva ou Apiaí-Mirim.

Sobreposta a esse embasamento ocorrem as seqüências supracrustais que aqui são descritas conforme a sua disposição de SE para NW. Inicialmente temos uma seqüência de rochas carbonáticas de natureza dolomítica, correspondendo a uma seqüência de plataforma de águas rasas litorâneas, denominada de Formação Capiru (Bigarella e Salamuni, 1956, Campanha et al., 1987).

Subjacente a esta seqüência carbonática ocorrem uma associação de micaxistos, xistos aluminosos, paragnaisses e quartzitos, um pacote de quartzitos e uma seqüência de metapelitos com variações carbonáticas e carbonosas com intercalações de mármore. Este conjunto está incluído na formação Setuva de Scholl et al. (1982) ou no Complexo Turvo-Cajati de Silva e Algarte (1981).

Na porção inferior dessa unidade ocorrem quartzitos, filitos e mica-xistos, com intercalações de rochas metavulcânicas de natureza intermediária a básica, e, subordinadamente, mármore, metacherts e formações ferríferas, incluídas na formação Perau de Takahashi et al. (1981).

Sobre esta formação ocorre uma seqüência plataformar de águas rasas, não litorâneas (Petri e Suguio, 1969) constituída por espessos pacotes de rochas carbonáticas e psamopelíticas incluídas no Grupo Açungui sensu estrito (Chiodi Filho, 1984) ou Subgrupo Lajeado (Campanha et al., 1987) que corresponderia ao fácies carbonático da Formação Votuverava.

A noroeste desta última unidade aparecem uma seqüência carbonática impura associada com xistos, metacherts e metavulcânicas intermediárias a básicas, consideradas em Campanha et al. (1987) como Formação Água Clara. Em contato com esta formação ocorrem um conjunto or-

to-gnaissico associado a migmatitos e rochas graníticas de composição granítica a granodiorítica incluídas dentro do Complexo Apiaí-Mirim (Chiodi Filho et al., 1983) e considerados anteriormente como parte do Complexo Granítico Três Córregos.

A nordeste do Complexo Apiaí-Mirim aparece um pacote de rochas carbonáticas intercaladas por rochas psamíticas e pelíticas, considerado por Almeida (1956) como Formação Itaiacoca. Associadas a esta formação ocorrem rochas vulcânicas básicas, intermediárias e subordinadamente ultrabásicas.

As idades disponíveis, até o momento, para rochas e mineralizações associadas a estas seqüências (Takahashi et al., 1981; Batolla Jr. et al., 1981; Damasceno, 1970; Cassedane e Lasserre, 1970; Cassedane et al., 1972 e MMAJ/JICA, 1983), sugerem valores relacionados ao Proterozóico Médio (1,4 e 1,1 Ga.) para a deposição e metamorfismo destas rochas, com superposição da orogenia brasileira (Cordani & Bittencourt, 1967; Cordani & Kawashita, 1971).

Dentro deste contexto regional grande parte das mineralizações conhecidas estão alojadas em rochas carbonáticas incluídas nas Formações Votuverava (Subgrupo Lajeado) e Perau, compondo respectivamente os jazimentos tipo "Painelas" e "Perau".

Os jazimentos do tipo "Painelas" constituem mineralizações epigenéticas em corpos discordantes com forte controle litológico e estrutural. Dentro deste grupo as minas Rocha, Furnas e Barrinha incluem mineralizações associadas a epicalcários dolomíticos de direção NE-SW, com intercalações de filitos por vezes grafitosos associados com cálcio-xistos com biotita e/ou clorita e quartzo.

As mineralizações do tipo Perau caracterizam-se por serem singenéticas concordantes, associado-se às formações ferríferas e/ou corpos de barita e dispendo-se ao longo de um horizonte litoestratigráfico na porção inferior da Formação Perau, constituído geralmente por quartzitos, rochas carbonáticas impuras e quartzo-micaxistos com intercalações subordinadas de anfíbolitos.

## TÉCNICAS ANALÍTICAS

Para as determinações das composições isotópicas iniciais de Pb e Sr foram separados respectivamente cristais de galena, barita e calcita, tendo em vista que a galena não possui U em seus retículos cristalinos e barita e calcita não possuem Rb, o que faz com que as razões  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  e  $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$  medidas hoje sejam muito próximas das composições isotópicas do Pb e Sr iniciais das mineralizações.

### a) Análises de Galenas

Os cristais de galena foram pulverizados em almofariz e água e cerca de 0,2g de pó obtido foi atacado quimicamente com ácido nítrico concentrado destilado em Becker de teflon a quente. Após a dissolução do pó, a solução foi evaporada em um micro-sistema com ar filtrado para a concentração do Pb. Após esta fase o Pb foi depositado juntamente com ácido fosfórico e sílica gel em microfilamento descontaminado de Rênio para análises espectrométricas que foram feitas em um espectrômetro de massa VG-354, Micromass com multi-coletor totalmente computadorizado.

Em conjunto com as amostras analisadas foram também executadas as análises dos padrões internacionais NBS-981 e 982 obtendo-se os seguintes resultados:

Padrões	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
NBS981	16,9371	15,49175	36,7213
NBS982	36,7390	17,19971	36,7449

Com base nestes valores foi feita uma correção de 0,01%.

## b) Análises de Sr

Para as análises isotópicas de Sr foram separados concentrados de barita e calcita por meio denso e catação manual à lupa. Posteriormente, foram pulverizados em moinhos de bolas revestido de molibdênio. Com o pó obtido foram feitas dosagens de Rb e Sr por fluorescência de Raios X. As amostras que apresentaram teores de Rb igual a zero ou próximo disso foram atacadas por vários ácidos (fluorídrico, perclórico e clorídrico) e passados por colunas de trocas iônicas, conforme descrito em Kawashita (1972). As análises isotópicas de Sr foram realizadas em microfiliamentos de Tântalo descontaminados em espectrômetro de massa VG-354 com multicoletor e totalmente computadorizado. Os valores da razão isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  foram normalizados para valores de  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0,1194$ .

## TRABALHOS PRÉVIOS SOBRE IDADES Pb-Pb NAS OCORRÊNCIAS DE GALENA DO VALE DO RIBEIRA

Pelo fato das regiões sudeste de São Paulo e leste do Paraná possuírem a maior densidade de ocorrências de Pb do Brasil, foram realizadas várias medidas das composições isotópicas de Pb dessas galenas, principalmente com o objetivo de se determinar as idades destas mineralizações. Os métodos utilizados para os cálculos dessas idades assumem um modelo de evolução isotópica de Pb em estágio único, que hoje em dia não são mais utilizados porque podem apresentar com mais frequência idades sem significação geológica.

Damasceno (1970), apresentou a geologia da mina Paqueiro, onde publicou os resultados analíticos Pb-Pb obtidos em galenas desta mina bem como aqueles realizados por Damasceno (1966), Damasceno e Betten-court (1968) e Melcher (1968) nas mineralizações do Lageado, Itapirapuã, Painelas, Furnas, Bassetti. Tais análises indicaram idades entre 1300 e 1000Ma., exceto a ocorrência de Itapirapuã que apresentou idades entre 500 e 400Ma. Com base nestes estudos Damasceno (1970) considerou que o Pb teria sido depositado junto com os sedimentos que sofreriam posterior metamorfismo e magmatismo granítico, que causariam a remobilização do Pb.

Cassedane e Lasserre (1970) e Cassedane et al. (1972) apresentaram as composições isotópicas de galena das ocorrências Ribeirão da Navalha em Ribeira (SP), São Francisco, em Iporanga (SP), Pedreira Branca em Itapeva (SP) e Puladora, em Bocaiúva do Sul (PR). Para a ocorrência Ribeirão da Navalha foram obtidas idades concordantes de 700 e 650Ma mais antigas que o sienito encaixante, que possui idade de 450Ma., levando tais autores a considerarem o depósito como do tipo "E". Para a ocorrência São Francisco, dentro do jazimento do Lageado, foram obtidas as idades de  $1245 \pm 45$  e  $1340 \pm 60$ Ma.. Na ocorrência da Pedreira Branca a idade obtida foi de  $360 \pm 40$  Ma., que segundo os autores (op. cit.) concorda com a idade da mineralização, pois fragmentos desta encontram-se associados a seixos de uma seqüência desta idade. Finalmente para a ocorrência Puladora foi obtida idade negativa, o que foi interpretado como resultado de um retrabalhamento de Pb durante a intrusão de um gabro nas imediações da ocorrência, e que poderia ter acarretado uma adição significativa de Pb radiogênico nas galenas.

Finalmente, várias análises isotópicas de Pb foram realizadas nos jazimentos do Perau, Canoas, Painelas, Barrinha, Espírito Santo, Monjolinho de Sebastião, Água de Limeira, Lageado, Furnas, Paqueiro, Diogo Lopes, Bueno, Onça e Rocha, MMAJ-JICA (1983) dentro do Projeto Antagorda. Tais resultados permitiram caracterizar que os jazimentos do tipo "Perau", representados pelas ocorrências do Perau e Canoas forneceram idades próximas a 1400Ma. e as demais ocorrências, todas do tipo "Painelas" apresentaram idades mais jovens entre 1200 e 1000Ma. calculadas pelo Modelo Cumming e Richards (1975), que é um modelo que admite um crescimento da razão U-Pb linearmente.

## ISÓTOPOS DE Sr

Em minerais que contém baixas concentrações de Rb ( 5ppm), mas altas concentrações de Sr, as razões  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  indicam a composição isotópica inicial de Sr dos fluidos mineralizantes. Esta razão inicial, portanto, depende do reservatório onde foi gerado o Sr para esses fluidos. Por exemplo, as mineralizações sin-sedimentares marinhas devem possuir  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  iniciais correlatas com a composição isotópica de Sr na água do mar na época de deposição. As mineralizações relacionadas a vulcanismo de natureza básica-ultrabásica devem ter relações iniciais baixas entre 0,700 e 0,706 e as mineralizações cujas fontes estão vinculadas a metassedimentos devem apresentar valores de razões iniciais altas, em geral, maiores que 0,708.

Visando a determinação da razão inicial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  dos fluidos mineralizantes dos jazimentos de Pb da região do Vale do Ribeira foram determinadas as composições isotópicas de Sr de concentrados de barita e calcita provenientes das minas Perau, Fretinhos, Água Clara, Rocha, Furnas e Tigre. Em geral as amostras analisadas possuem teores de Rb menores que 10 ppm; no caso de amostras com teores mais elevados de Rb, os valores medidos para  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  seriam máximos para as razões iniciais. Os dados analíticos relativos às baritas e calcitas estudadas encontram-se na Tabela 1.

A Figura 2 representa a distribuição das razões  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  iniciais para as diversas ocorrências estudadas. Os jazimentos do tipo "Painéis" apresentaram composições isotópicas de Sr mais radiogênicas, com valores variando entre 0,710 e 0,717, sugerindo uma fonte situada em níveis crustais elevados, relacionados provavelmente a rochas metassedimentares. Por outro lado, os jazimentos do tipo "Perau" apresentaram razões iniciais bem mais baixas entre 0,705 e 0,707, o que indica, como fonte para as mineralizações, rochas com baixa razão Rb/Sr, compatível com rochas da crosta inferior, ou de natureza básica ou ultrabásica, ou até mesmo uma fonte mantélica com alguma contaminação crustal. Tal fato pode também ser observado na Figura 3, onde encontra-se representado o campo do manto e da crosta em relação aos isótopos de Sr em função do tempo geológico. Neste diagrama nota-se que os pontos relativos aos jazimentos do tipo "Perau" situam-se próximos ao campo do manto superior e os do tipo "Painéis" pouco mais acima já evidenciando um envolvimento crustal maior. Os valores das idades dos jazimentos considerados na figura foram estabelecidos pelo método Pb-Pb em galeñas.

Na Figura 4 encontra-se representada a curva de variação da razão  $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$  para as rochas carbonáticas pré-cambrianas que refletem a composição isotópica da água do mar neste período geológico, extraída de Faure (1986). Para comparação foram plotadas as composições isotópicas iniciais de Sr das soluções mineralizantes dos jazimentos do tipo "Painéis" e "Perau". Os pontos relativos ao primeiro tipo situaram-se muito acima da curva traçada mostrando que a composição isotópica inicial de Sr dessas mineralizações é mais radiogênica que a composição isotópica das rochas carbonáticas na época de sua formação, o que implica em comprovar que tais jazimentos formaram-se posteriormente à deposição das rochas carbonáticas que os contém. Já os pontos relativos aos jazimentos do tipo Perau situaram-se próximos da composição isotópica de Sr da água do mar no período de formação das mineralizações, permitindo considerar que as baritas estavam, na época de sua formação, homogeneizadas isotopicamente com a água do mar, o que implica em admitir uma formação sinéctica para mineralizações do tipo Perau.

Cumpramos assinalar que existem somente duas isócronas Rb-Sr em rocha total para as rochas metamórficas regionais da área de ocorrência das mineralizações. Tratam-se de isócronas publicadas em Takahashi et al. (1981) em metassedimentos incluídos por tais autores na formação Perau, que indicaram idades próximas a 1170 e 1330 Ma. com razões  $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$  iniciais respectivamente de 0,708 e 0,730. Tais idades podem ser interpretadas como as épocas de metamorfismo regional que afetaram a região, provavelmente remobilizando o Pb da crosta continental para formarem as mineralizações do tipo "Painéis".

## ISÓTOPOS DE Pb

Na Tabela 2 encontram-se listadas as composições isotópicas de Pb nas galenas analisadas neste trabalho e aquelas realizadas por outros autores provenientes das diversas ocorrências de Pb e Ag do Vale do Ribeira.

Na figura 5 estão representadas as composições  $Pb^{206}/Pb^{204}$  das galenas estudadas e nota-se claramente a existência de dois grupos distintos. O primeiro composto pelas amostras dos jazimentos do tipo "Perau", com uma composição pouco radiogênica, com o centro de valores para a razão  $Pb^{206}/Pb^{204}$  de 16.279. O outro grupo, constituído pelos jazimentos do tipo "Panelas" apresentaram uma composição isotópica de Pb mais radiogênica e mais heterogênea, com a média dos valores indicada de 16.850. Com relação às composições isotópicas de  $Pb^{207}/Pb^{204}$  e  $Pb^{208}/Pb^{204}$ , os jazimentos do tipo "Perau" apresentaram respectivamente as médias de 15,548 e 36,638 e os do tipo "Panelas" 15,54t e 37,401.

Os valores das razões  $Pb^{206}/Pb^{204}$  sugerem que as fontes de Pb dos jazimentos do tipo "Panelas" seriam constituídas por rochas de níveis crustais elevados, provavelmente metassedimentares, tendo em vista que tais composições são mais radiogênicas e bastante heterogêneas. Já as razões  $Pb^{206}/Pb^{204}$  dos jazimentos do tipo Perau, por serem menos radiogênicas e menos variáveis, sugerem que a fonte de Pb estaria relacionada a rochas mais homogêneas e com baixa razão U-Pb, como por exemplo rochas vulcânicas derivadas do manto superior pouco tempo antes da formação das galenas.

No diagrama  $Pb^{207}/Pb^{204}$  versus  $Pb^{206}/Pb^{204}$  do modelo de "Plumbotectônica" proposto por Zartman e Doe (1981), encontram-se representadas as curvas de evolução isotópica do Pb para os grandes reservatórios geoquímicos da Terra (Manto Superior, Crosta Continental superior e Inferior e de um ambiente orogênico onde ocorreriam misturas de magmas provenientes destes reservatórios). Neste diagrama (Figura 6) foram lançadas as composições isotópicas das galenas analisadas onde pode ser observado que as galenas das ocorrências do tipo "Panelas" (Furnas, Rocha, Lageado, Paqueiro e Panelas) situaram-se sobre a curva orogênica acima ou abaixo dela, segundo um "trend" oblíquo, dentro do intervalo de tempo 1,3-1,1 Ga.

Os pontos situados acima da curva orogênica sugerem que as fontes principais para a formação destes depósitos foram as rochas da crosta continental superior. Alguns pontos, relativos a Mina do Rocha, situaram-se abaixo da curva orogênica, indicando uma evolução isotópica do Pb mais compatível com uma fonte proveniente do manto superior ou crosta continental inferior. Essa ambiguidade pode ser resolvida utilizando-se o diagrama tiorogênico  $Pb^{208}/Pb^{204}$  versus  $Pb^{206}/Pb^{204}$  da figura 7 onde as curvas de evolução para estes ambientes situam-se em lados opostos em relação à curva orogênica. Em tal diagrama, esses pontos situaram-se acima da curva orogênica com valores altos para as razões  $Pb^{206}/Pb^{204}$ , sugerindo que a fonte principal de Pb para algumas galenas da Mina do Rocha possuía alta razão Th/U, como por exemplo, algumas rochas granulíticas, típicas da crosta inferior.

De uma forma geral o "trend" oblíquo dos pontos relativos aos jazimentos do tipo "Panelas" indicam que o Pb formador das mineralizações teve várias fontes distintas, com comportamento típico de fontes crustais heterogêneas.

Alguns pontos relativos às mineralizações Furnas, Paqueiro, Rocha e Lageado situaram-se (Figura 6) acima da curva relativa à crosta superior, o que significa que tais amostras apresentam uma composição isotópica de Pb extremamente radiogênica, ou seja, quando essas galenas se formaram elas incorporaram Pb que tiveram evolução isotópica em mais de dois estágios em níveis superiores da crosta continental. Como consequência as idades calculadas para essas poucas amostras (Tabela 2), poderiam eventualmente não ter significação geológica.

Os pontos relativos às galenas provenientes das Minas do Perau e Canoas situaram-se no diagrama da Figura 6, de uma forma geral dentro do intervalo de tempo 1,7-1,6 ba, entre as curvas orogênicas e da crosta superior, mostrando a presença de Pb com algum tempo de residência na crosta superior na composição destas galenas, o que sugere que tais galenas formaram-se sin geneticamente com o decorrer da sedimentação.

Para as análises isotópicas de Pb disponíveis foram calculadas

idades modelos, conforme Stacey e Kramers (1975) que admite um modelo de evolução isotópica do Pb em dois estágios, sendo os resultados obtidos apresentados na Tabela 2. A Figura 8 representa um histograma de distribuição destas idades, onde nota-se claramente que os depósitos do tipo "Perau" são mais antigos com idades predominantemente entre 1,7 e 1,6 Ga. e os depósitos do tipo "Panelas" mais jovens com uma concentração maior de resultados entre 1,2 e 1,1 Ga., período este coincidente com as idades obtidas para a época de metamorfismo regional da área em estudo.

#### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da composição isotópica de Pb e Sr corrobora com a separação de pelo menos dois tipos de jazimentos de Pb e Ag na região do Vale do Ribeira, conforme já reportados por Fleischer (1976) e JICA-MMAJ (1982-1983), o tipo Perau menos radiogênico e o tipo Panelas mais radiogênico, conforme mostrado na Figura 9.

Para os depósitos do tipo "Panelas", os isótopos de Pb e Sr mostram uma origem claramente crustal para as soluções mineralizantes, formadas por processos de remobilização a partir de fontes crustais diversas provocados por ação dos eventos metamórficos regionais entre 1,4 e 1,1 Ga..

Os depósitos do tipo Perau, necessitam de estudos mais detalhados para uma completa caracterização de sua evolução. Entretanto, os dados isotópicos do Pb e Sr disponíveis já permitem algumas conclusões. Pelo fato do Pb presente nas galenas possuir características crustais e as razões  $Sr^{87}/Sr^{86}$  iniciais das soluções mineralizantes serem baixas (entre 0,705 e 0,706), pode ser considerado que o Pb foi removido do manto superior através de vulcanismo pouco tempo antes de ser incorporado à galena, sendo seu período de residência crustal relativamente curto. O fato do valor da razão  $Sr^{87}/Sr^{86}$  inicial da mineralização ser próximo do valor estimado para a água do mar ao redor de 1600Ma suporta a hipótese destes jazimentos serem singenéticos.

Os dados isotópicos de Pb e Sr obtidos para os jazimentos minerais aqui estudados fornecem importantes subsídios para a evolução geológica regional da Faixa de Dobramentos Apiaí. As idades Pb-Pb obtidas em galenas dos depósitos "Panelas" com valores entre 1,3 e 1,1 Ga. preferencialmente, sugerem idades relativas pelo menos ao Proterozóico Médio para as seqüências carbonáticas encaixantes, referíveis ao Grupo Açungui (Hasui et al., 1984) considerado como relativo ao Proterozóico Superior em vários trabalhos exceto MMAJ-JICA (1983) e Dairx et al. (1983). Além disto, o fato dos jazimentos do tipo Perau possuírem idades entre 1,7 e 1,5 Ga. e serem singenéticos mostram que a deposição das seqüências litológicas que os contém ocorreu nesta época e o fato dos jazimentos do tipo "Panelas" com idades entre 1,3 e 1,1 Ga. terem se formado por processos de remobilização de Pb crustal podem sugerir a atuação de um evento metamórfico nesta época na região. O posicionamento dos veios mineralizados em fraturas associadas a estruturas sinformal (Mina Lageado) ou antiformal (corpo Quatro, Mina Barrinha) implicaram em que essas estruturas dobradas teriam idade mínima semelhante aos veios (1,3-1,1 Ga.), não sendo, portanto, geradas no Proterozóico Superior.

Em síntese podemos considerar que as seqüências metamórficas da Faixa de Dobramentos Apiaí depositaram-se entre 1,8 e 1,5 Ga., sofrendo um metamorfismo entre 1,3 e 1,0 Ga., com superimposição de um evento metamórfico pelo menos termal durante o Proterozóico Superior, próximo a 700 m.a..

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro concedido para o desenvolvimento da pesquisa (Processo nº 408730/88) e a geóloga Leila M. Bandeira Barreto pelo auxílio prestado durante o desenvolvimento do trabalho.



## BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F.F.M.de - 1956 - Novas ocorrências de fósseis no Pré-Cambriano brasileiro. An.Acad.Bras.Ci., Rio de Janeiro 28(4)-XLIV-XLV
- ALMEIDA, F.F.M.de et al. - 1977 - Províncias Estruturais brasileiras. In: Simp.Geol.Nordeste, 8, Campina Grande, 1977. Atas... Campina Grande, p.363-391.
- BATOLLA Jr.; SILVA, A.T.S.F.; ALGARTE, J.P. - 1981 - O pré-Cambriano na região sul-sudeste do Estado de São Paulo e este-nordeste do Estado do Paraná. Atas... III Simp.Reg.Geol.Curitiba, 1:94-108.
- BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R. -1956- Estudos preliminares na série Açungui. v.Estruturas organógenas nos dolomitos da Formação Capiru Estado do Paraná. Dusenio, Curitiba, 7(6):317-323.
- CAMPANHA, G.A. da C.; ALMEIDA, M.A.; BISTRICHI, C.A. - 1987 - Considerações sobre a organização litoestratigráfica e evolução tectônica da Faixa de Dobramentos Apiaí. Simp.Sul Bras.Geol. 3 - Curitiba - Atas... v.2:725-742.
- CASSEDANE, J. & LASSERRE, M. - 1970 - Análise isotópica pelo método do Chumbo de uma segunda série de galenas brasileiras. Min.Met., v. LI(301):31-40.
- CASSEDANE, J.; DUTHO, J.L.; LASSERRE, M. - 1972 - Análise isotópica pelo método do Chumbo de uma terceira série de galenas brasileiras. Min.Met., (335):12-19.
- CHIODI F<sup>2</sup>, C. - 1984 - Contribuição a Geologia das regiões sul Paulista e Leste Paranaense - Grupos Açungui e Setuva. An. XXXIII Congr Bras.Geol., Rio de Janeiro, p.2394-2406.
- CORDANI, U.G. e BITTENCOURT, I. - 1967 - Determinações de Idade K-Ar em rochas do Grupo Açungui - Anais do XXI Congr.Bras.de Geol., p.219-233. Curitiba.
- CORDANI, U.G. e KAWASHITA, K. - 1971 - Estudo Geocronológico pelo método Rb-Sr de rochas graníticas intrusivas no Grupo Açungui. Anais do XXV Congr.Bras.de Geol. -São Paulo - p.105-110.
- CUMMING, G.L. e RICHARDS, J.R. - 1975 - Ore lead in a continuously changing Earth. Earth Planet.Sci.Letters, 28:155-171.
- DAITX, E.C.; TAKAHASHI, A.T.; FERREIRA J.C.G.; SILVA, C.R. e MAEYAMA, O. - 1983 - Projeto ante-gorda, Fase III. Mapeamento Geológico da área nrote. DNPM/CPRM, São Paulo, 1v.
- DAMASCENO, E.C. - 1970 - Geologia da Mina do Paqueiro. An.Acad.Bras.Ci. 42(3):535-552.
- DAMASCENO, E.C. - 1966 - Nota sobre a composição isotópica de Pb em galenas de jazidas do Vale do Ribeira. Congr.Bras.Geol., Vito - ria. Resumos.
- DAMASCENO, E.C. & BITTENCOURT, I. - 1968 - Idades relativas da Mineralização de Pb de Panelas e Itapirapuã. Congr.Bras.Geol., B.Horizonte. Resumos.
- DOE, B.R. & ZARTMAN, R.E. - 1979 - Plumbotectonics 1, the Phanerozoic. In: H.L.Barnes Ed., Geochemistry of Hidrotermal Ore Deposits, 2<sup>o</sup> Ed., N.York.

- FERREIRA DA SILVA, A.T. S. e ALGARTE, J.P. - 1981 - Contribuição à Geologia da Seqüência Turvo-Cajati entre o Rio Parão e Pariqueira Açú, Estado de São Paulo. I- Litologia e Petrologia, 3º Simp. Reg.Geol.Curitiba. Atas (1): 109-120.
- FLEISCHER, R. - 1976 - A pesquisa de chumbo no Brasil. An. 29º Congr. Bras.de Geol., p.19-32. Ouro Preto, MG.
- MASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.; COIMBRA, A.M. - 1975 - The Ribeira Felded Belt. Rev.Bras.Geoc., 5(4):257-266.
- MASUI, Y. e OLIVEIRA, M.A.F. - 1984- Provinha Mantiqueira - Setor Central. In: F.F.M.de Almeida e Y.Masui (Ed.) - O Pré-Cambriano do Brasil, 1ª Edição, São Paulo. p.308-344.
- MASUI, Y.; CREMONINI, O.A.; BORN, M. - 1994 - Considerações sobre o Grupo Açungui em São Paulo e Poção adjacente do Paraná. Anais do XXXIII Congr.Bras.Geol., Rio de Janeiro, p.3297-3306.
- KAMASHITA, K. - 1972 - O método Rb-Sr em rochas sedimentares: aplicação para as bacias do Paraná e Amazonas. São Paulo. IGUSP. Tese de Doutorado. p.111.
- MMAJ/JICA- Metal Mining Agency of Japan/Japan International Cooper. Agency. -1983- Report on Geological survey of Anta-gorda, phase 3. Convênio DNPM-MMAJ/JICA.
- MELCHER, G. - 1968 - Contribuição ao conhecimento do distrito mineral do ribeira do Iguape. SP e PR. Tese de Livre-Docência EPUSP, 122p., inédita.
- PETRI, S. & SUGUIO, K. - 1969 - Sobre os metassedimentos do Grupo Açungui no extremo sul do Estado de São Paulo. Publ.Esp.Conv. USP-DAEE, São Paulo. inédito.
- STACEY, J.S. & KRAMERS, J.D. - 1975 - Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two stage model. Earth Planet.Sc.Let. 26, 207-221.
- SCHOLL, W.V.; SILVA, A.C.G.de A.; MONASTIER, M.S. - 1982 - A Formação Setuva do Pré-Cambriano no Estado do Paraná, uma revisão crítica. Congr.Bras.Geol., 32, Salvador, Anais. v.4, p.55-63.
- SOARES, P.C. - 1987 - Seqüências tecto-sedimentares e tectônica deformadora no centro-oeste do Escudo Paranaense. Atas do III Simp. Sul-Brasileiro de Geologia. p.743-771. Curitiba.
- TAKAHASHI, A.T.; CHIODI Fº, C.; SILVA, C.R.; BATOLLA, P. - 1981 - Projeto integração e detalhe geológico no Vale do Ribeira. Relat. Final. Área Ribeirão do Perau. DNPM/CPRM. São Paulo, v.VII
- ZARTMAN, R.E. and DOE, B.R. - 1981 - Plumbotectonics - The model - Tectonophysics, 75. p.135-162. Amsterdam.

TABLE 2  
 SUMMARY OF THE DATA  
 FROM THE SURVEY OF  
 THE ECONOMIC  
 DEVELOPMENT OF  
 THE COUNTRY

Year	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022																																																																																																																																
GDP	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295	300	305	310	315	320	325	330	335	340	345	350	355	360	365	370	375	380	385	390	395	400	405	410	415	420	425	430	435	440	445	450	455	460	465	470	475	480	485	490	495	500	505	510	515	520	525	530	535	540	545	550	555	560	565	570	575	580	585	590	595	600	605	610	615	620	625	630	635	640	645	650	655	660	665	670	675	680	685	690	695	700	705	710	715	720	725	730	735	740	745	750	755	760	765	770	775	780	785	790	795	800	805	810	815	820	825	830	835	840	845	850	855	860	865	870	875	880	885	890	895	900	905	910	915	920	925	930	935	940	945	950	955	960	965	970	975	980	985	990	995	1000

\* Index calculated by the Ministry of Economy and Finance (1970)  
 \*\* Index calculated by the Ministry of Economy and Finance (1970)  
 Source: 1. Directorate (1970), 2. BPC-JICA (1980), 3. Casanova & Lapierre (1990),  
 4. Casanova et al. (1997).

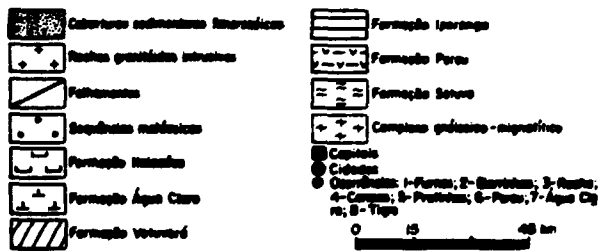
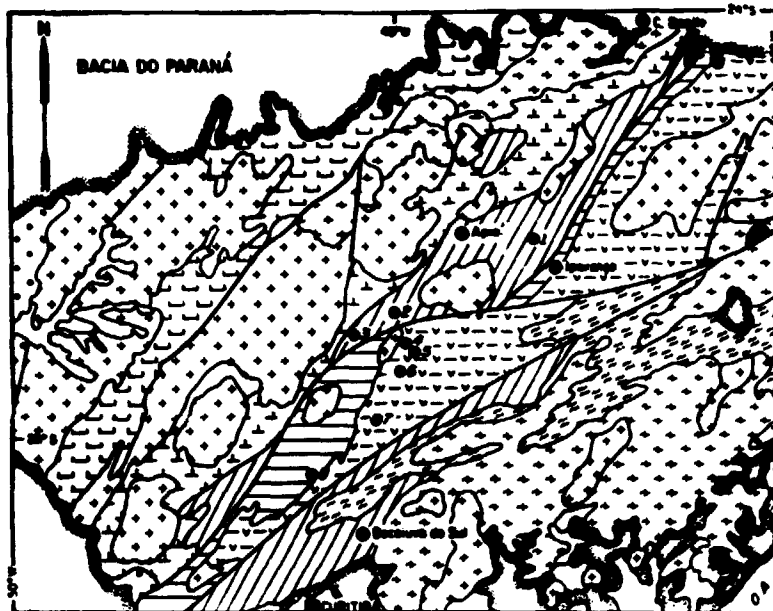


Fig. 1 - LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS MINERAIS ESTUDADAS  
(Simplificado de Campos et al. 1987)

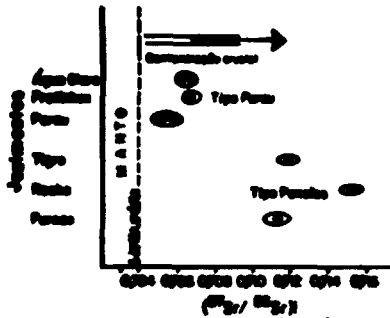


Fig. 2 - DISTRIBUIÇÃO DAS RAZÕES INICIAIS DE Sr PARA OS JAZIMENTOS ESTUDADOS

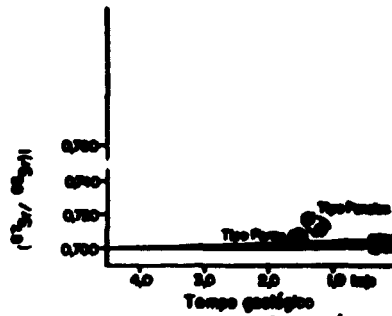


Fig. 3 - DIAGRAMA DE EVOLUÇÃO ISOTÓPICA DO Sr PARA O MANTO SUPERIOR

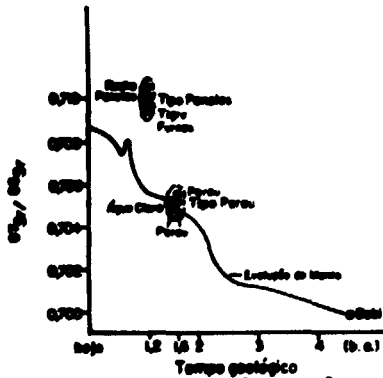


Fig. 4 - CURVA DE VARIAÇÃO DA RAZÃO  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  PARA ROCHAS CARBONÁTICAS

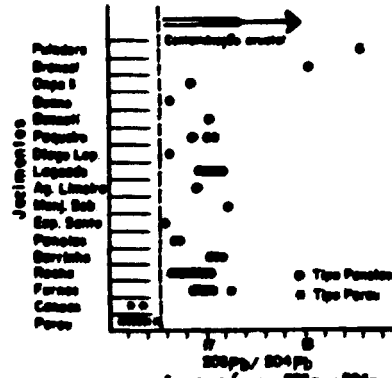


Fig. 5 - COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  PARA OS JAZIMENTOS DE Pb DO VALE DO RIBEIRA

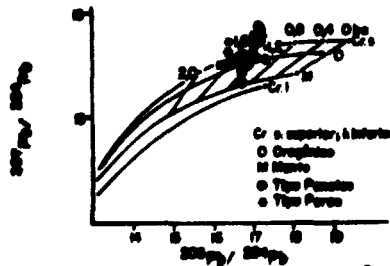


Fig. 6 - DIAGRAMA UROGÊNICO DE EVOLUÇÃO ISOTÓPICA DE Pb (Zartman e Doe - 1981)

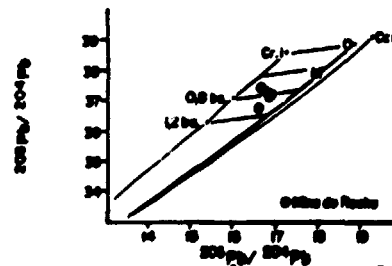


Fig. 7 - DIAGRAMA THERMOGÊNICO DE EVOLUÇÃO ISOTÓPICA DE Pb (Zartman e Doe - 1981)

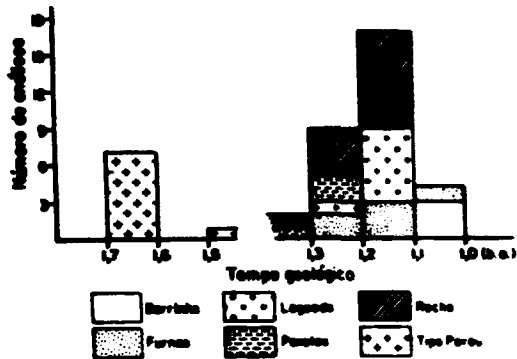


Fig. 8 - DISTRIBUIÇÃO DE IDADES Pb-Pb EM GALENAS (modelo Steacey e Kramers, 1975)

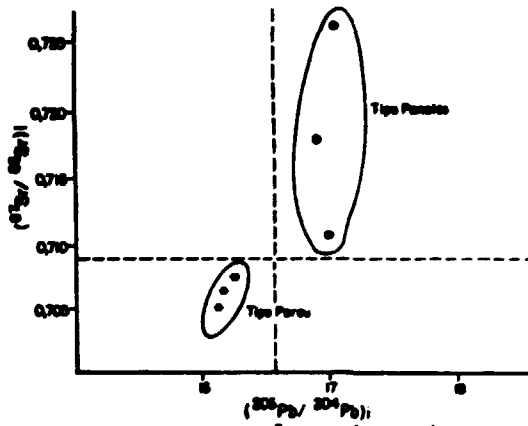


Fig. 9 - COMPOSIÇÕES ISOTÓPICAS INICIAIS DE  $^{207}\text{Pb}/^{209}\text{Pb}$  VERSUS  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$