

JAZIDA DE FLUORITA DA VOLTA GRANDE  
CERRO AZUL, PARANA (BR).

BIONDE, J. C.  
FELIPE, R. S.

JAZIDA DE FLUORITA DA VOLTA GRANDE  
CERRO AZUL, PARANÁ (BR)

BIONDI, J.C.  
FELIPE, R.S.  
Minerais do Paraná S.A. - MINEROPAR

FUZIKAWA, K.  
Empresas Nucleares Brasileiras S.A. - NUCLEBRÁS

THE VOLTA GRANDE FLUORITE MINE  
(CERRA AZUL, PARANÁ-PR)

ABSTRACT:

The Volta Grande fluorite mine (Cerra Azul, Paraná-PR) contains two similar ventifacted ovoids in a fault zone near the Cerra Azul. They are formed by hydrothermal replacement of Proterozoic calcareous rocks and associated rocks. Field and laboratory data and some fluid inclusion determinations suggest that the formation is related to the alkaline Mesozoic magmatism, common in that region.

Registro n. 4389



Biblioteca/Mineropar

MINEROPAR  
BIBLIOTECA  
Reg. 4389 Data 18.11.91

THE VOLTA GRANDE FLUORITE MINE  
(CERRO AZUL, PARANÁ-BR)

ABSTRACT:

The Volta Grande fluorite mine (Cerro Azul, Paraná-BR) contains two tabular verticalised orebodies in a fault that cuts the Três Córregos granit. They are formed by hydrothermal replacement of Proterozoic carbonated metasediments and cataclastic rocks. Field and laboratory data and some fluid inclusion determinations suggest that mineralisation is related to the alkalic Mesozoic magmatism, common in that region.

JAZIDA DE FLUORITA DA VOLTA GRANDE  
CERRO AZUL, PARANÁ (BR)

BIONDI, J.C.  
FELIPE, R.S.  
MINEROPAR - Minerais do Paraná S.A.

FUZIKAWA, K.  
NUCLEBRÁS - Empresas Nucleares Brasileiras S.A. (B.H.)

RESUMO:

A jazida de fluorita da Volta Grande (Cerro Azul), Paraná - BR) é constituída por dois corpos mineralizados tabulares, verticalizados, encaixados em falhas dentro do granito Três Córregos. São produtos de substituição hidrotermal de metassedimentos carbonatados Proterozóicos e de cataclasitos. Observações de campo e laboratório e o estudo de inclusões fluídas dos minerais hidrotermais sugerem que a mineralização se relacione ao magmatismo alcalino Mesozóico comum na região.

## 1. INTRODUÇÃO

Descoberta pela Nuclebrás em 1978 (anomalia 13), a ocorrência de fluorita de Volta Grande foi pesquisada pela Mineropar a partir de 1981. Até o início de 1984 haviam sido cubadas cerca de 420.000 toneladas de  $\text{CaF}_2$  (corte a 20%, teor médio de 49%). Atualmente estão sendo abertas galerias de pesquisa que deverão permitir a terceira avaliação da jazida e a determinação definitiva do modelo do depósito.

## 2. GEOLOGIA REGIONAL

A região do Vale do Ribeira é constituída por rochas metamórficas de idade Proterozóica média a superior (fig. 1), estratigraficamente subdivididas em Formação Setuva e Grupo Açungui (CPRM-MMAJ, 1982). A Formação Setuva é composta por muscovita-biotita gnaisse, anfibolito-biotita gnaisse, augen gnaisse e quartzito. O Grupo Açungui é subdividido em três formações: Formação A I (quartzitos, rochas calcosilicatadas, anfibolitos); Formação A II (micaxisto, filito, quartzito, meta-arenito, anfibolito e calco-xisto) e Formação A III, subdividida em três membros, cada um deles composto por uma sequência carbonática basal: membro inferior (calcário, dolomito, micaxisto); membro médio (calcário, dolomitos calcoxistos, micaxisto) e membro superior (calcário, calcoxisto, micaxisto, meta-arenitos, quartzitos, meta-conglomerados).

A região contém corpos graníticos intrusivos, com destaque para o batolito Três Córregos, seguindo-se os "stocks" de Morro Grande, Varginha e Itaóca. Todo esse conjunto de rochas foi atravessado no Mesozóico por intrusões magmáticas de natureza alcalino-carbonatítica representadas pelos corpos de Mato Preto, José Fernandes, Tunas, Bairro da Cruz e por uma série de "plugs" e diques que ocorrem principalmente na região do Granito Três Córregos.

É notável o sistema de falhas de direção NE, paralelas a estruturação regional, e o sistema de falhas e fraturamento NW, com o qual associam-se os inúmeros diques de diabásio/diorito de idade Juro-Cretácica presentes na área.

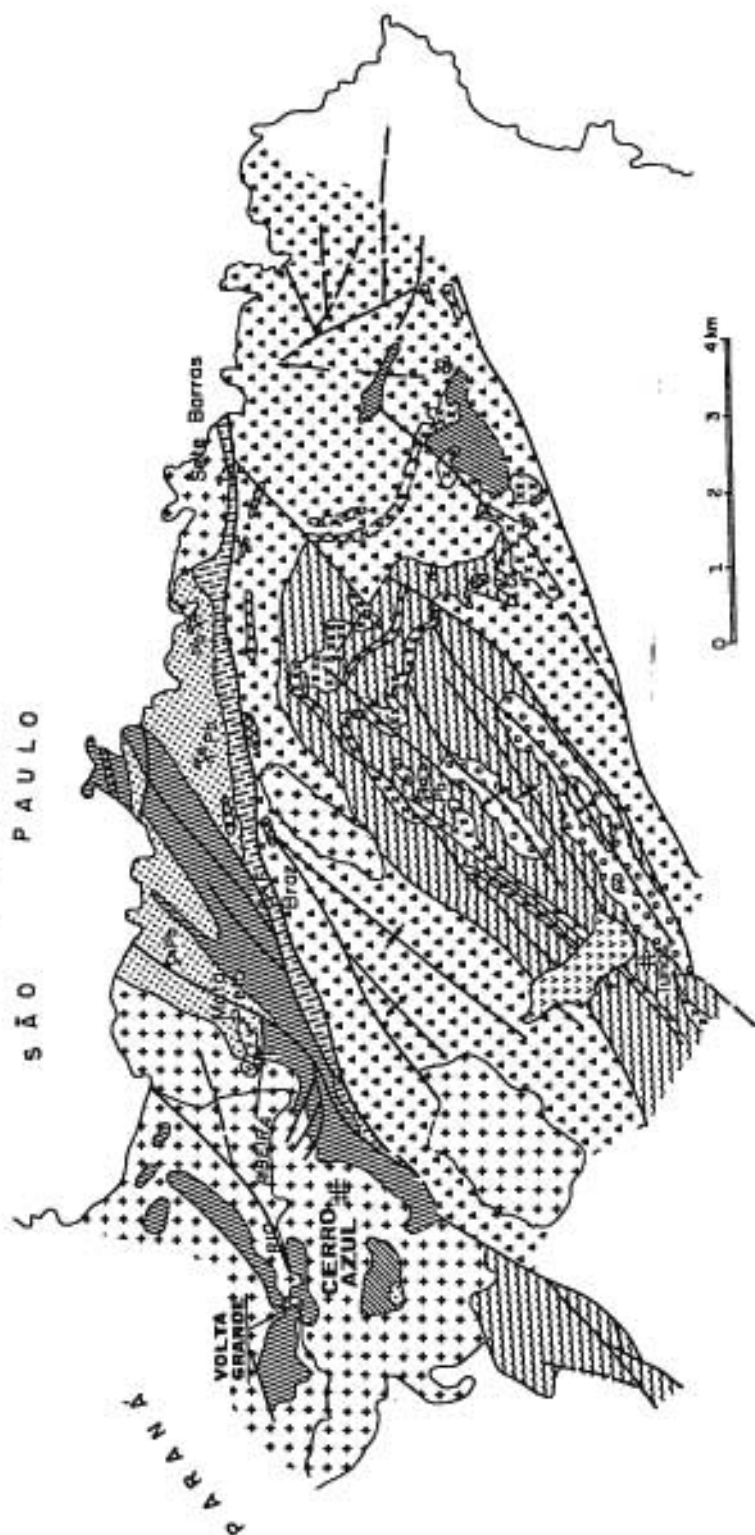
As mineralizações de fluorita do Braz e Sete Barras estão inseridas na sequência carbonática basal do membro inferior da Formação A III do Grupo Açungui, correlacionável à Formação Votuverava de Bigarella e Salamuni (1956), enquanto que a mineralização de fluorita de Volta Grande estaria no membro superior da Formação A III, possivelmente correspondente à Formação Água Clara de Marini et alii (1967).

## 3. GEOLOGIA LOCAL

A geologia da área da jazida compreende basicamente rochas do batolito Três Córregos, representadas por um granito porfiróide com matriz de composição monzogranítica e diques de granito granular alaskítico (fig. 2). Rochas do Grupo Açungui, representadas por anfibolitos e rochas metassedimentares carbonáticas impuras, ocorrem como restos de teto.

Fig. 1 - Geologia da região das jazidas de fluorita da Volta Grande, Mato Preto, Braz e Sete Barras.

ESBOÇO GEOLÓGICO COM A LOCALIZAÇÃO DAS JAZIDAS DE FLUORITA DA VOLTA GRANDE E DE SETE BARRAS



- FALHAS
- EIXO DE ANTICLINAL E SINCLINAL
- CONTATO MAPEADO OU INFERIDO
- JAZIDA DE FLUORITA OU GALENA
- CIDADES
- RIO

- INTRUSÕES ALCALINAS
- GABROS E DIORITOS
- GRANITOS PORFIRÓIDES DOMINANTES
- ANFIBOLITOS, METABASITOS E CLORITA XISTOS A.II
- CALCOXISTOS, DOLOMITOS CÔR CINZA, QUARTZITOS E MICAXISTOS
- CALCÁRIOS CLAROS, MUSCOVITA XISTOS E CLORITA MUSCOVITA XISTOS
- CALCÁRIOS ESCUROS E QZTO MUSCOVITA XISTOS
- METASSILTITOS DOMINANTES
- QUARTZITOS, CALCOXISTOS E XISTOS CARBONOSOS
- GNAISSSES DOMINANTES
- PARCIALMENTE TIRADO DA FASE II - DNPM - CPRM - JICA (1981/2)

MINEROPAR  
Minerais do Paraná S/A  
BIBLIOTECA

### 3.1. Rochas Carbonáticas impuras e anfibolitos

As rochas carbonáticas são calco-dolomitos impuros, com textura clástica, normalmente recristalizados, de cor cinza-escuro e cinza-claro, aflorando como pequenos corpos dispersos na área à margem esquerda do Rio Ribeira. Na margem direita estas rochas têm distribuição mais contínua constituindo corpos maiores, com espessuras em torno de 20m. Ocupam 40% da área mapeada. Mineralogicamente são compostos por calcita, dolomita, ortoclásio, quartzo e opacos. Localmente, devido a ação do metamorfismo de contato, estas rochas podem alcançar o fácies hornblenda-hornfels. Neste caso elas apresentam textura gronoblástica e sua mineralogia é representada por quartzo, plagioclásio, hornblenda, grossulária, diopsídio e opacos.

Os anfibolitos ocorrem em pequenos blocos arredondados em alguns pontos, e como pequenos enclaves no granito Três Córregos. Possui cor negra pintalgada de branco, textura blastofítica, granulação média, e é composto por hornblenda, andesina, quartzo e opacos.

### 3.2. Rochas Graníticas

O granito porfiróide Três Córregos possui cor cinza-escuro, por vezes cinza-clara, e aflora em forma de matacões arredondados que raramente ultrapassam 5 metros de diâmetro. No contato com enclaves de rocha metassedimentar esse granito apresenta-se com granulação fina, textura granular, cor branca e mineralogicamente composto por quartzo e feldspato.

Os macrocristais são de macroclínio ou ortoclásio, têm em média 1,5 cm de comprimento, cor rósea e forma retangular ou ovalada. Estão inseridos em uma matriz granular hipidiomórfica média a grosseira, de cor cinza escura, composta por oligoclásio-andesina, quartzo, microclínio, hornblenda, biotita e opacos. Acessoriamente ocorrem apatita, titanita, zircão e turmalina.

Diques de granito alasquítico cortam indiscriminadamente o granito porfiróide Três Córregos e os calco-dolomitos impuros. Esses diques possuem direção  $N30^{\circ}-75^{\circ}E$ , espessuras centimétricas a métrica e comprimentos que alcançam dezenas de metros. Por vezes esses diques aproveitaram espaços vazios, tais como fraturas, para se alojarem, englobando totalmente fragmentos de granito Três Córregos e/ou de metassedimentos.

Esse granito possui cor branca, textura granular fina, hipidiomórfica e xenomórfica, e microscopicamente é composto por microclínio, plagioclásio, quartzo, sericita, carbonato, apatita, zircão e opacos.

### 3.3. Tectônica rígida e rochas cataclásticas

Estruturalmente a área foi afetada por falhas regionais de direção  $N50^{\circ}E$  e  $ENE$  que em parte controlam o canal do Rio Ribeira. A falha  $ENE$  reflete forte radianomalia, principalmente na área mapeada, devido à presença de urânio e tório (NUCLEBRÁS-1978).

Os falhamentos afetaram tanto as rochas graníticas como as rochas carbonáticas dos restos de teto. As faixas cataclásticas derivadas apresentam larguras que variam de 50 a 150m. Fora da intersecção das falhas, o granito porfiróide é cataclasado e marcado por um fraturamento generalizado dos grãos minerais. De maneira geral estão muito intemperizados. As rochas carbonáticas apresentam-se bastante recristalizadas.

Na intersecção das falhas (corpo I) as rochas apresentam um maior grau de cataclasamento, organizando-se em faixas alternadas de granito cizalhado intemperizado e microbrechas com contatos aparentemente gradacionais. A direção geral é E-W.

O granito cizalhado é de cor rósea, tem poucos máficos (estes normalmente esverdeados) e fraturas preenchidas por epidoto. A microbrecha possui cor rósea e é constituída por fragmentos de quartzo e microclínio cimentados por uma matriz afanítica quartzo-feldspática.

As rochas carbonáticas apresentam-se normalmente milonitizadas, com cor amarela e muito silicificadas. Mineralizações e/ou pontuações de fluorita, barita e galena ocorrem com frequência nestas rochas. Fraturas preenchidas por quartzo enfumaçado, bem como drusas de quartzo pi



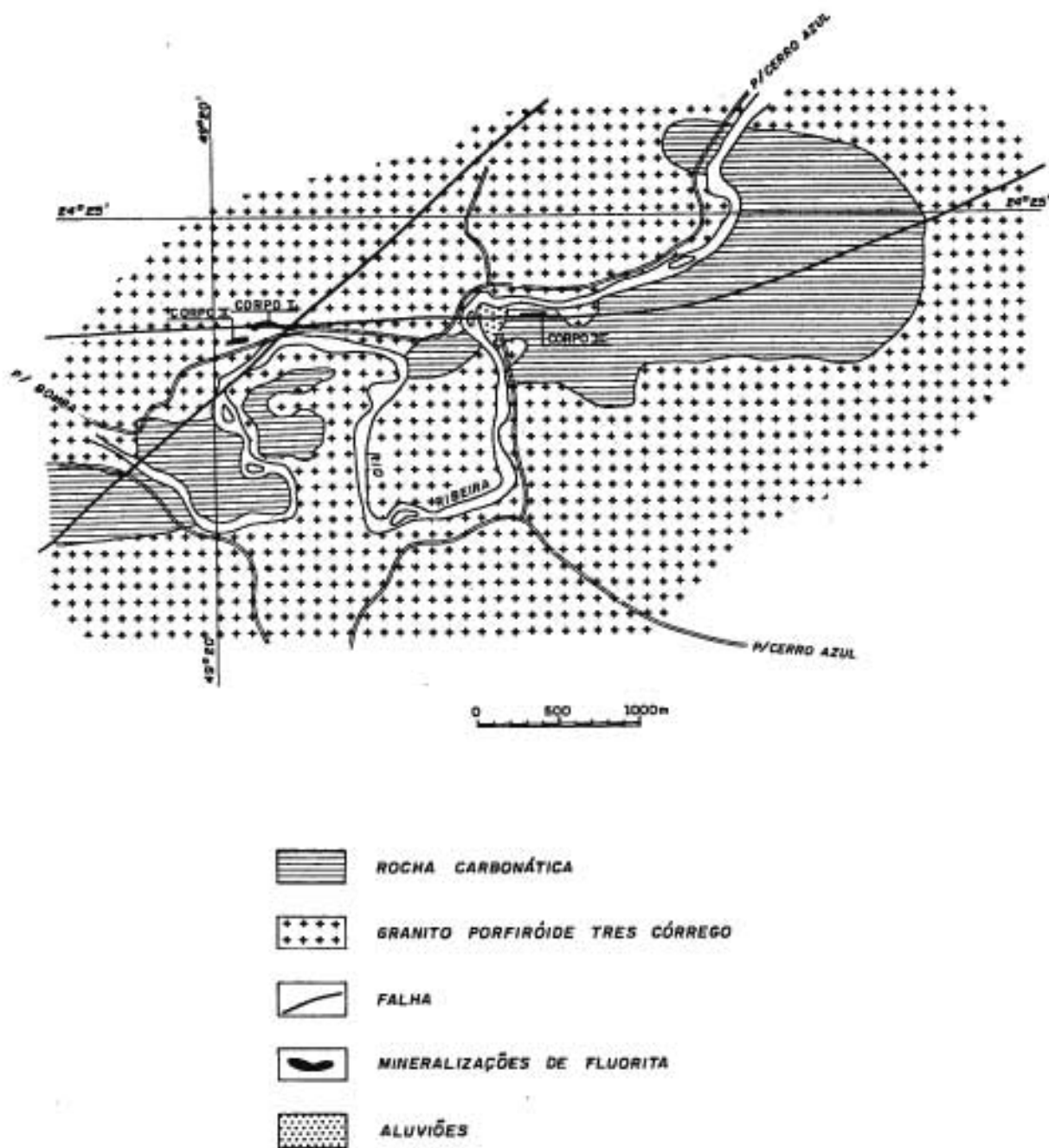


Fig. 2 - Geologia da área da jazida de fluorita da Volta Grande.

ramidal vítreo são comuns. Brechas constituídas por fragmentos de microbrecha, cimentadas por fluorita, sílica e barita foram descritas no corpo 1.

As evidências de campo bem como o estudo macroscópico das rochas cataclásticas, particularmente as microbrechas e brechas com fragmentos de microbrechas, levam-nos a aceitar a hipótese de a região ter sofrido pelo menos dois eventos de tectonismo rígido. Por outro lado, as orientações das zonas de cataclase, dos sistemas de juntas e dos espelhos de falhas, medidas na região de intersecção das falhas, sugerem que o último evento teve direção geral ENE. Isto permite inferir que a falha ENE seja posterior às demais.

#### 4. GEOLOGIA DA JAZIDA

##### 4.1. Os corpos mineralizados

O corpo 1 tem cerca de 210m de comprimento e espessura média em superfície de cerca de 10m (fig. 2 e 3A). Em profundidade o corpo 1 se alarga alcançando até 19m. Localmente pode bifurcar-se tomando a forma de um Y invertido, cada parte com espessuras de minério entre 05 a 10m (fig. 3C). É orientado EW com mergulho variável para norte, passando gradativamente da verticalidade, no seu extremo oeste, para mergulho de cerca de 65° no seu extremo leste. A oeste o minério termina digitando-se e afilando-se dentro do granito Três Córregos. A leste o minério mostra-se envolvido pelo granito e parte dele é encoberto pelo Rio Ribeira. O minério foi reconhecido até um máximo de 120m a partir da superfície.

O corpo 2 tem cerca de 120m de comprimento e espessura média de 16,0m (corte a 5,0% CaF<sub>2</sub>). Aflora como um sinforme dentro do granito Três Córregos (fig. 2 e 3B). Em profundidade o minério afila-se rapidamente atingindo espessuras entre 1,0 e 5,0m. Foi reconhecido até um máximo de 80,0m a partir da superfície. O corpo de minério tem forma cônica, com mergulhos entre 50° e 70° para norte. A oeste o minério termina bruscamente em contato com o granito Três Córregos, fazendo suspeitar da existência de um falhamento que o tenha seccionado. A leste a mineralização esvae-se no metassedimento entre as trincheiras T-14 e T-13 (fig. 3B).

Os corpos 1 e 2 não são paralelos nem alinhados. São separados por um espaço de cerca de 70m onde o granito Três Córregos ocorre sem qualquer indício de mineralização.

A barita não forma concentrações importantes em nenhum dos dois corpos. Concentra-se mais, em bolsões decimétricos e filonetes com cerca de 2% BaSO<sub>4</sub>, a oeste do corpo 1. Em profundidade nenhuma vez foi detectada qualquer concentração mais importante. No corpo 2 há uma faixa mineralizada a barita, com teores de 2% até barita pura, entre as trincheiras T-15 e T-52. Esta faixa tem cerca de 30m de comprimento e espessura média de cerca de 1,5m. Nenhuma concentração importante foi detectada em profundidade.

##### 4.2. Rochas relacionadas aos corpos mineralizados

A encaixante geral da jazida é o granito Três Córregos. É um biotita hornblenda granito com macrocristais centimétricos de feldspato K. A matriz é também porfiróide com cristais milimétricos de microclínio pertitizado perfazendo 20% a 40% da rocha. O plagioclásio é maclado, de composição albita-oligoclásio, e ocupa 20% a 30% da rocha. O quartzo normalmente perfaz cerca de 20% da rocha. A hornblenda, a biotita, a apatita, o zircão e a alanita completam a paragênese. A hornblenda é mais frequente que a biotita. O plagioclásio, o quartzo, a hornblenda e a biotita parecem ocorrer em duas gerações distintas.

Depois do Três Córregos, os metassedimentos são as rochas de maior expressão superficial na área da jazida. São restos de teto apoiados ou englobados pelo granito ou encaixados em falhamentos. As rochas carbonatadas impuras perfazem cerca de 90% dos metassedimentos aflorantes, mais visíveis junto ao corpo 2. Quando inalterados são de cor cinza e composições variando entre mármore dolomíticos impuros e metamargas sílticas. Ao microscópio mostram uma composição simples, de carbonato, sericita-muscovita, quartzo e hematita. Fragmentos de feldspato não

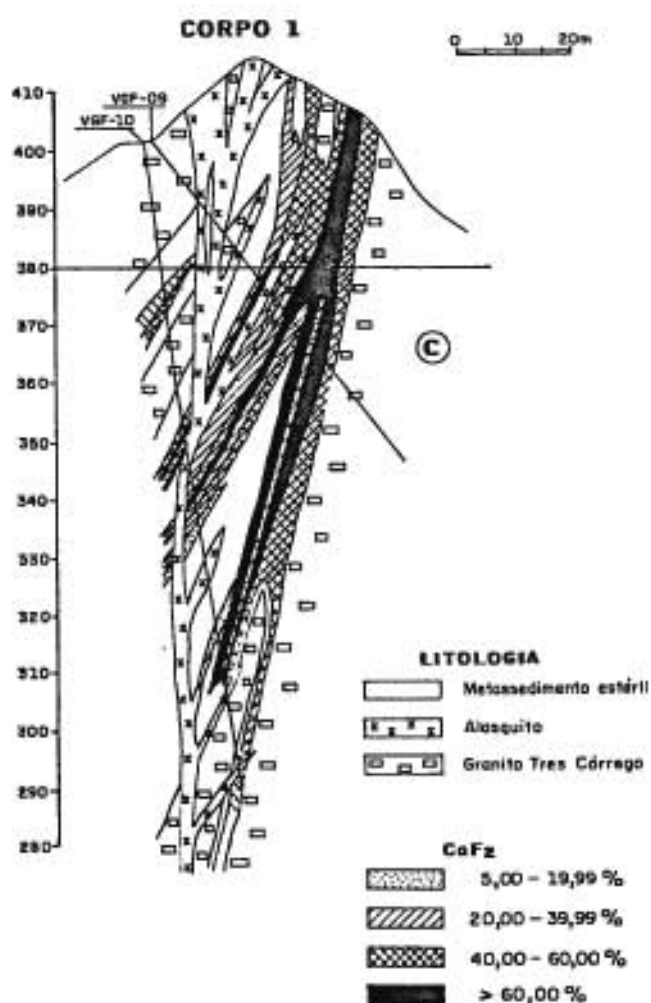
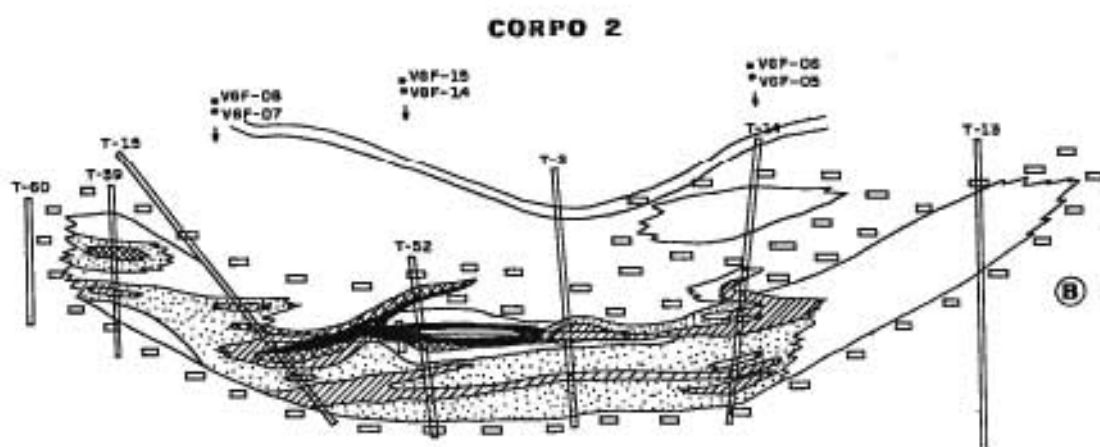
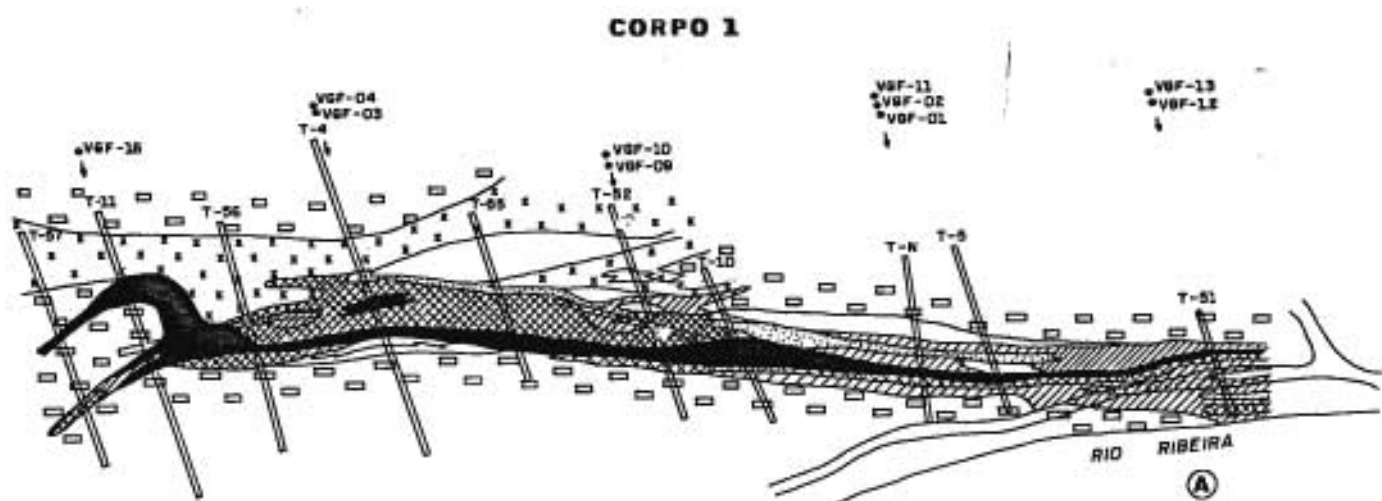


Fig. 3 - (a) Planta do corpo 1, mostrando a distribuição zonada da fluorita. (b) Idem para o corpo 2. (c) Secção do corpo 1 mostrando a zonalidade dos teores de fluorita em profundidade. Notar o comportamento dos diques de alasquito.

são raros. O carbonato é micrítico e cristalizado junto a argilas, o que confere a rocha um aspecto turvo e homogêneo, com poucas feições texturais, marcadas geralmente pela orientação dos minerais. A maior parte do minério de ambos os corpos é produto da substituição desta rocha pela fluorita. No corpo 2 afloram, além das rochas carbonatadas, também algumas matagrauvas finas, bandadas, que intercalam leitos centimétricos manganésíferos.

O metamorfismo térmico desenvolveu-se de modo muito restrito, abrangendo poucos centimétricos da rocha carbonatada, no contato imediato com o granito. O carbonato recristaliza-se em cristais submilimétricos que englobam os opacos. O diopsídio cristaliza-se em pequenos cristais subidiomórficos que se distribuem homogêneo. A muscovita praticamente desaparece e o quartzo e feldspato permanecem inalterados.

Brechas cársticas e de colapso são feições comuns sobretudo no corpo 2. É provável que tais rochas estejam sendo geradas ainda atualmente, nos "vazios" (grutas) interceptados pelas sondagens. Na maioria das vezes portam elementos mineralizados e matriz estéril, sendo, portanto, mais recentes que a mineralização. Formam pacotes com dimensões que raramente ultrapassam o metro.

Sobretudo no corpo 1, mas também no corpo 2, todas as rochas sedimentares, cataclásticas e graníticas são cortadas e/ou venuladas por um granito branco, fino, equigranular, de composição alaskítica. O principal feldspato é o microclínio embora algumas vezes a quantidade de plagioclásio o iguale. A apatita, o zircão e opacos são acessórios comuns. A moda média é de cerca de 50% de feldspato K, 30% de quartzo, 15% de plagioclásio (albita) e 5% de apatita + zircão + turmalina + raros opacos.

Milonitos e brechas são comuns sobretudo no corpo 1, formando pacotes muitas vezes de espessuras métricas. Boa parte do minério é produto da substituição destas rochas pela fluorita.

#### 4.3. Relações entre as rochas associadas e o minério

O granito Três Córregos encaixa os metassedimentos e ambas as rochas são cataclasadas pelo falhamento. Os diques alaskíticos cortam todas as rochas, metassedimentos, granito e cataclasito. A relação entre estas rochas e a mineralização é algumas vezes dúbia. O granito Três Córregos tem fissuras com fluorita e geralmente é enriquecido em fluorita no contato com o minério, mostrando teores de até 12,0%  $\text{CaF}_2$ . No poço 1 há evidências de recristalização do minério no contato com o granito, formando uma banda de minério grosseiro. Isto pode ser interpretado tanto como causado pelo aquecimento devido a intrusão (minério mais antigo que o granito) quanto a ser o contato um local de percolação mais fácil dos fluidos hidrotermais (mineralização mais nova que o granito). As evidências disponíveis não permitem uma conclusão. Em posições não afetadas pelo hidrotermalismo o Três Córregos é desprovido de fluorita.

O granito alaskítico corta e recristaliza o minério e é desprovido de fluorita, sendo mais recente que a mineralização. Entretanto o hiato de tempo existente entre a introdução deste granito e a mineralização não deve ter sido muito grande, dado que alguns diques estão argilizados, tendo sido atingidos pela última fase hidrotermal (fig. 9). A abrangência da recristalização causada pelos alaskitos é variada e pouco importante em relação ao volume de minério dos dois corpos mineralizados. A mineralização é, quase na sua totalidade, produto da substituição das rochas carbonatadas e dos cataclasitos pela fluorita.

#### 4.4. Transformações hidrotermais

##### a. Transformações dos minerais

Todas as rochas que ocorrem nas proximidades da jazida foram alteradas hidrotermalmente até várias dezenas de metros além do contato com o minério. Os macrocristais de feldspato K do granito Três Córregos estão esbranquiçados ou esverdeados e a matriz, antes clara com máficos negros, mostra-se também esverdeada. Sondagens como a VGF-11 (fig. 4A), que estenderam-se a mais de 170m abaixo da parte mais alta do corpo 1, terminaram dentro do granito alterado, de cor verde.

Em lâmina delgada o granito mostra-se cataclasado, com micro-

fraturas preenchidas por quartzo, clorita, epidoto, opacos (hematita e/ou piritita) e carbonato. Os feldspatos potássicos estão sericitizados e os núcleos dos plagioclásios estão argilizados. A hematita e, talvez, a piritita foram os primeiros minerais hidrotermais e se formaram, logo seguidos pelo epidoto, quando a rocha é granítica, ou pelo quartzo microcristalino, quando a rocha é carbonatada. A clorita cristaliza-se após o epidoto, pouco após a piritita.

A sílica cristaliza-se inicialmente na forma microcristalina e em seguida em mosaicos, com prismas piramidados e microdrusas. A fluorita preenche o núcleo das microdrusas e substitui o quartzo hidrotermal. A sericita e a muscovita hidrotermais encurvam-se contornando os cubos de fluorita, mostrando terem cristalizado após a mineralização.

A última fase hidrotermal foi carbonatada e argílica. O carbonato hidrotermal, límpido e não raro romboédrico, cristaliza-se em grandes cristais que envolvem poiquiliticamente todos os outros minerais, inclusive os carbonatos não hidrotermais, micríticos e de cor ocre. A substituição da fluorita causa o aparecimento de pseudomorfos cúbicos de carbonato.

O ciclo hidrotermal foi fechado por uma argilização penetrativa que se superpõe a todas as outras fases (fig. 4). A rocha totalmente argilizada desagrega-se por inteiro.

A ordem de cristalização descrita (fig. 9) permite subdividir o hidrotermalismo em três fases: (a) Propilítica, de maior temperatura, correspondente a silicificação, seguida da cloritização e da epidotização; (b) Fase mineralizante, com fluorita e barita, posterior a propilítica, e; (c) A fase argílica e de carbonatação, a última e mais abrangente, não raro mascarando todas as outras. Estas três fases foram identificadas nos testemunhos de sondagens, o que permitiu a construção das seções mostradas na fig. 4. Na maioria das vezes as transformações hidrotermais transgridem os contatos litológicos. A propilitização é melhor visível sobre o granito, tornando-o de cor verde. Sobre os metassedimentos esta fase causa sobretudo uma silicificação intensa, dando a estas rochas uma resistência elevada. A mineralização geralmente superpõe as zonas propilitizadas, substituindo-a e mantendo um envoltório propilitico residual (fig. 4A, B e D). A fase argílica e carbonatada envolve e substitui todas as outras fases.

#### b. Distribuição dos elementos

Os testemunhos e amostras de canal em trincheiras foram analisados para  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{FeO}$  (total) e S, o que possibilitou o estudo da distribuição destas substâncias (figs. 3, 5 e 6). A distribuição da fluorita (fig. 3) é nitidamente zonada, com uma banda central, mediana ao corpo mineralizado, de alto teor, envolvida por bandas de teores gradativamente menores. A sílica (fig. 5), deslocada pela fluorita, mostra uma distribuição inversa à da fluorita. Também inversa é a relação entre a distribuição da  $\text{CaF}_2$  e do  $\text{CaCO}_3$  (fig. 6), o minério rico ocupando áreas desprovidas de carbonato e vice-versa. Notar que a propilitização (fig. 4A), ao contrário da mineralização, não desloca o  $\text{CaCO}_3$  (fig. 6). Um outro aspecto notável é a intensa lixiviação dos carbonatos nas proximidades da superfície, com aumento gradativo de teor em profundidade até a rocha carbonatada inalterada e estéril.

Não há relação entre a distribuição do  $\text{FeO}$  (total) e as transformações hidrotermais. Todo o enxofre presente junto ao minério está sob a forma de sulfato, ligado à barita. Os sulfetos inexistem no minério ou existem em quantidades insignificantes.

### 4.5. A mineralização

#### a. Tipos de minérios e teores

A zonation da fluorita pode ser vista na fig. 3. Ao menos 80% do minério conhecido nos corpos 1 e 2 é maciço, de granulometria fina, equigranular, com cor amarela e teores de 5% a 60% de  $\text{CaF}_2$ . Em profundidade a cor torna-se escura, em tons de marron ou cinza. Os milonitos mineralizados geralmente mostram uma pseudo-estratificação cataclástica, conseqüente da movimentação diferencial dos blocos falhados. No minério fino a fluorita é amarela ou branca, concentrando-se em teores de até

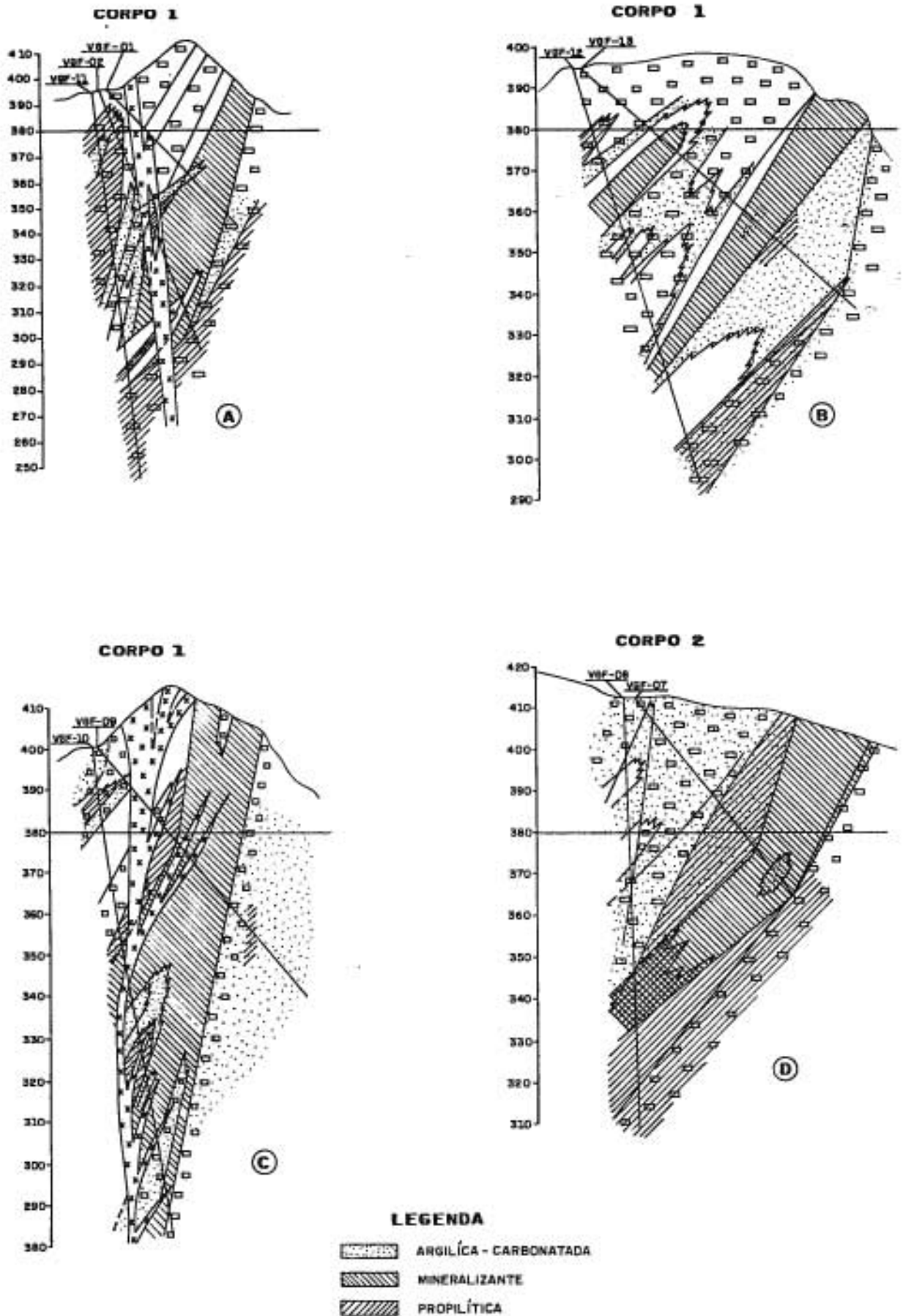


Fig. 4 - Distribuição das fases de hidrotermalismo, em secções dos corpos 1 e 2, da Volta Grande. Para as litologias, vide legenda da fig. 3.

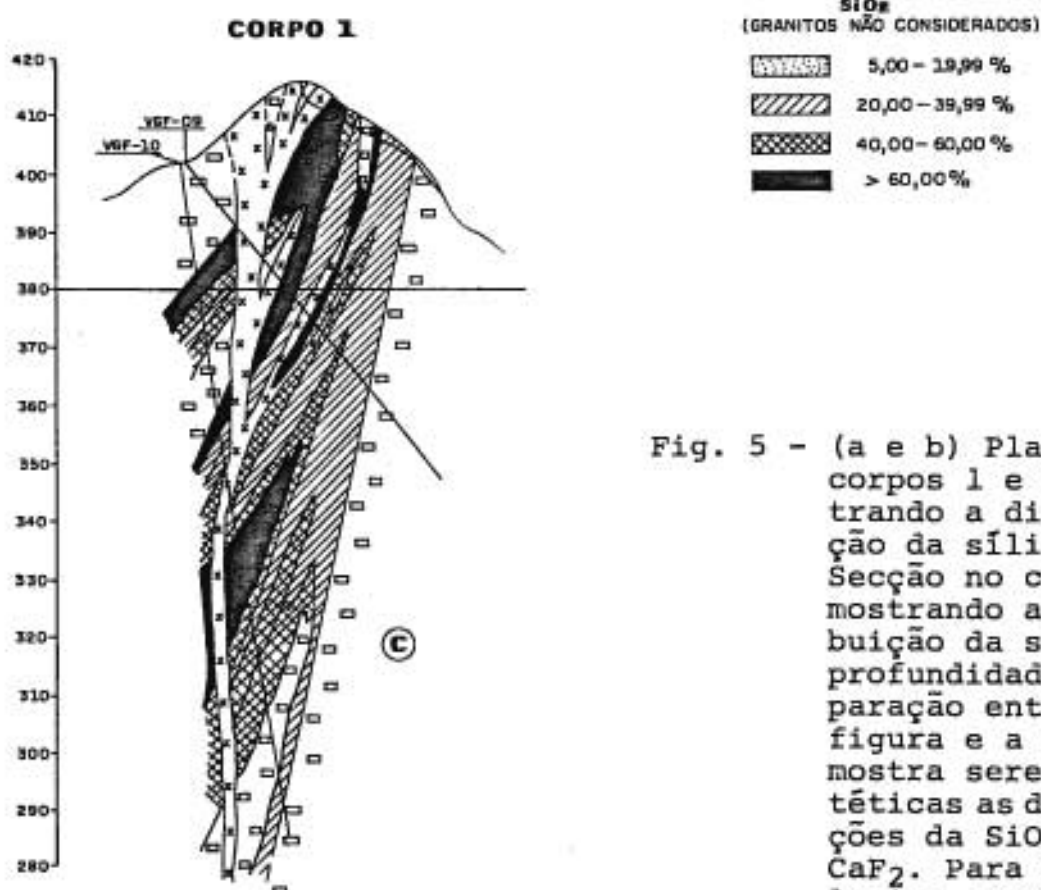
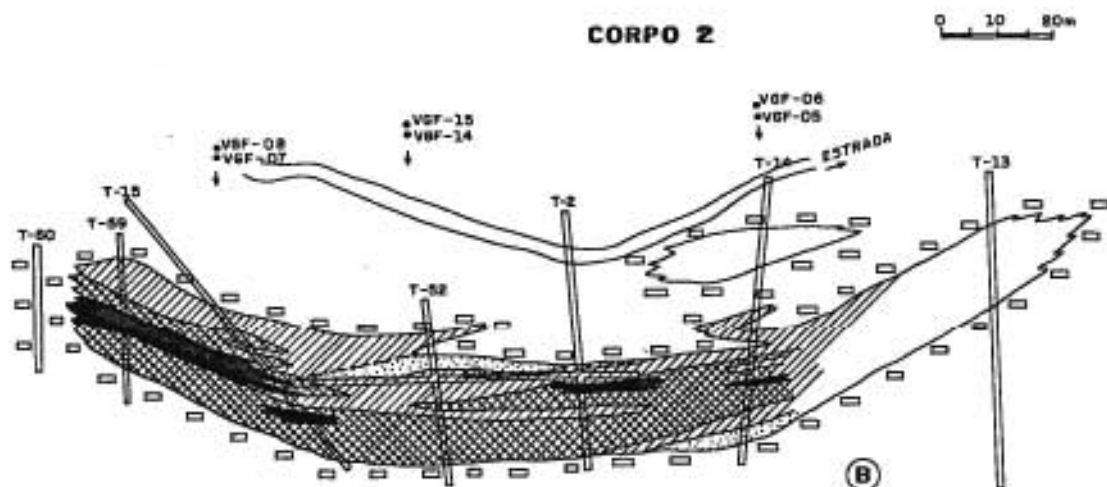
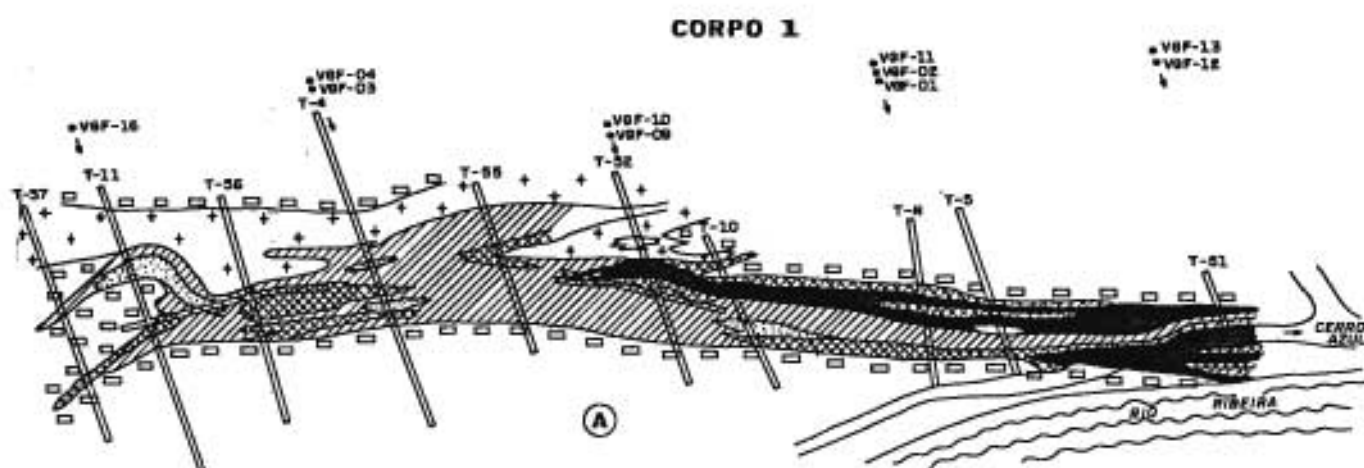


Fig. 5 - (a e b) Plantas dos corpos 1 e 2 mostrando a distribuição da sílica (c) Secção no corpo 1 mostrando a distribuição da sílica em profundidade. A comparação entre esta figura e a figura 3 mostra serem antipáticas as distribuições da SiO<sub>2</sub> e da CaF<sub>2</sub>. Para as litologias, mesma legenda da da fig. 3.

60%  $\text{CaF}_2$ .

O minério de alto teor, com mais de 60% de  $\text{CaF}_2$ , é maciço, roxo-azulado, compacto, com fluorita de cor roxa predominante, além da amarela e da branca, ou poroso. Este último tem aspecto brechóide, com a fluorita cúbica, em minúsculos cristais, atapetando as paredes de cavidades de lixiviação. Não raro os cubos são zonados, com um núcleo de fluorita roxa e um envoltório de fluorita incolor ou amarela, límpida.

A barita tem pouca importância volumétrica e baixos teores. Ocorre principalmente no corpo 2, formando bolsões métricos isolados ou associados à fluorita. Geralmente forma agregados de indivíduos rômnicos com dimensões desde o milímetro até o decímetro. As reservas são desprezíveis.

#### b. Aspectos microscópicos

Nos minérios com menos de 20% de  $\text{CaF}_2$  a fluorita mostra-se euédrica, cristalizando-se em pequenos cubos em meio a matriz carbonática dos metassedimentos. Estes cubos são parcial ou totalmente substituídos pelo carbonato hidrotermal e substituem o carbonato micrítico dos metassedimentos.

Em minérios com mais de 20% de  $\text{CaF}_2$  a fluorita mostra-se como agregados contínuos, isotropos, formados pela substituição do carbonato dos metassedimentos ou do quartzo hidrotermal. A fluorita forma microagregados que, com o aumento do teor, coalescem gerando agregados maiores, até a completa substituição da rocha. A substituição progressiva do quartzo hidrotermal e do carbonato micrítico pela fluorita pode ser observada em todas etapas. As feições originais da rocha, como os microbandamentos, são obliterados gradualmente, sem deslocamento ou quebraimento. A densidade de distribuição dos opacos e dos plagioclásios é a mesma no metassedimento estéril e no minério de alto teor, onde praticamente toda a rocha é substituída pela fluorita.

#### c. Dados físicos e quantitativos

A fig. 7 mostra as reservas medidas e indicadas de minério, de fluorita contida e de sílica do corpo 1. Desta curva deduz-se facilmente, para qualquer teor de corte entre 5% e 60% de  $\text{CaF}_2$ , quais as reservas de minério, de fluorita e de sílica, além do teor médio, contidos no corpo 1. Com corte de 5% de  $\text{CaF}_2$  o corpo 1 tem 371.100 ton de minério "medido" com teor médio de 46.3% de  $\text{CaF}_2$ . Com corte a 60% as reservas caem para 97.760 ton com teor médio de 66.7% de  $\text{CaF}_2$ . Diminuindo-se o corte de 20% para 5% de  $\text{CaF}_2$  é possível recuperar apenas mais 2% (3.260 ton) de fluorita, o que sugere um evento mineralizante que agiu brusca-mente, formando uma quantidade desprezível de minério com menos de 20% de  $\text{CaF}_2$ . No corpo 2 a mesma mudança de corte implica na recuperação de mais 28% (7.824 ton) de fluorita. As reservas totais, com corte a 20%, são de cerca de 420.000 ton de  $\text{CaF}_2$ , com teor médio de cerca de 49% de  $\text{CaF}_2$ .

A exemplo da mineralização, também a argilização hidrotermal e a lixiviação intempérica foram mais ativas no corpo 1. Em ambos os corpos há um aumento gradual da densidade do minério com o teor em  $\text{CaF}_2$ . Entretanto, para o mesmo teor, as densidades do minério do corpo 2 são maiores que as do corpo 1. Para minério com mais de 60% a densidade média é de 2,74 g/cm<sup>3</sup> no corpo 1 e de 2,86 g/cm<sup>3</sup> no corpo 2 (28 medidas). Para minério de 40% a 60% as densidades são de 2,63 g/cm<sup>3</sup> e 2,82 g/cm<sup>3</sup> (32 medidas), para minérios de 20% a 40% de 2,56 a 2,80 g/cm<sup>3</sup> (32 medidas) e para minérios de 5% a 20% de 2,46 e 2,42 g/cm<sup>3</sup> (20 medidas), nos corpos 1 e 2 respectivamente. A granulometria de todos estes minérios é fina, os cristais de fluorita sendo geralmente de dimensões inferiores a 0,5µm. Somente o minério poroso tem fluorita em cristais de maiores dimensões, entre 0,5m e 1,0m, em média com 2-3 mm.

#### 4.6. Inclusão fluídas

O exame de lâminas de rocha e de fragmentos de minerais permitiu o estudo da frequência e dimensão das inclusões fluídas, do modo de ocorrência, da morfologia, das fases fluídas contidas e as relações entre elas, da viscosidade, da cor, das características de molhamento e



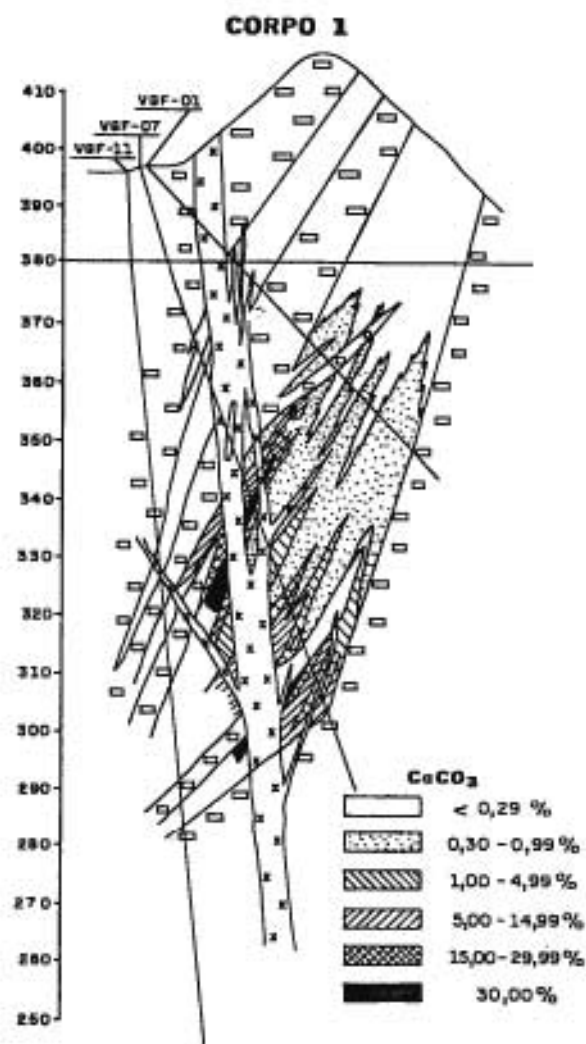


Fig. 6 - Secção mostrando a distribuição em profundidade do CaCO<sub>3</sub>. Para as litologias, vide legenda da fig. 3.

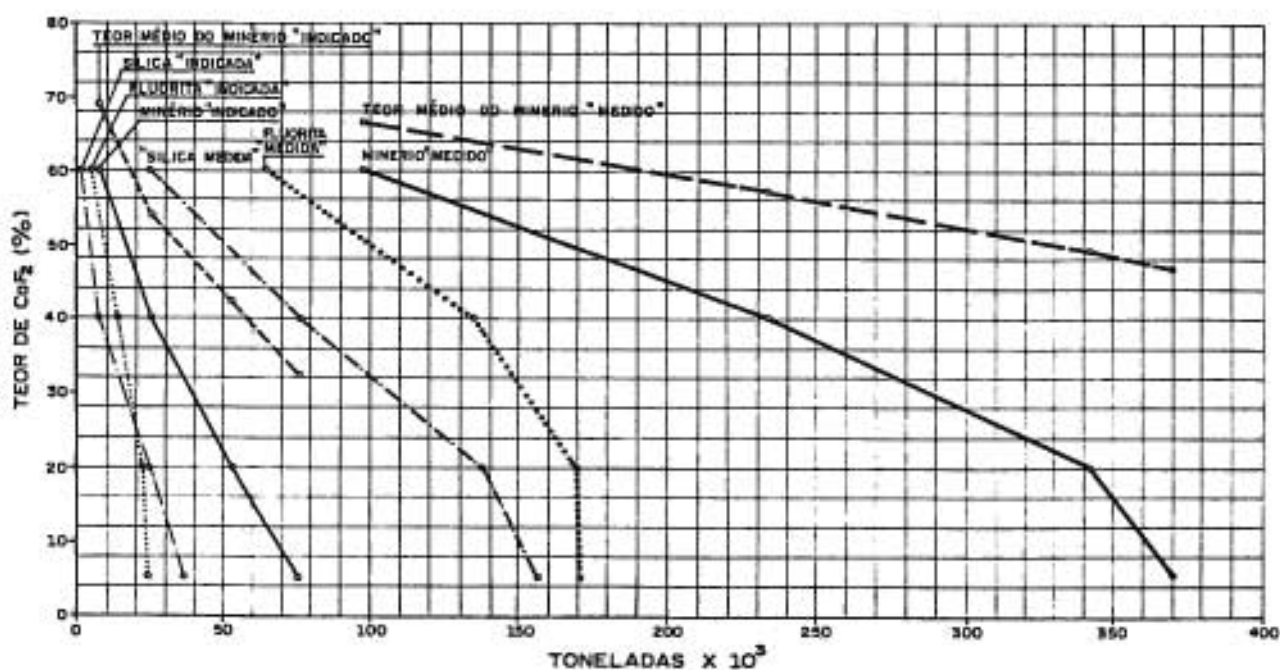


Fig. 7 - Reservas medidas e inferidas de minério de fluorita contida e de sílica no corpo 1. A curva superior dá o teor médio de fluorita para qualquer reserva estimada com teor de corte entre 5 e 60% CaF<sub>2</sub>.

das propriedades óticas das fases inclusas em inclusões da fluorita, do carbonato e do quartzo hidrotermais. Fazendo uso dos critérios de Roedler (1981) foram separadas as inclusões primárias das secundárias e estabelecida a cronologia dos diversos tipos presentes. A temperatura de formação das inclusões foi determinada pela primeira medida correspondente ao primeiro aquecimento, evitando-se problemas de dilatação das inclusões (Bodnar e Bethae, 1984). A salinidade, estimada por congelamento, e a composição de alguns dos gases das inclusões foram também determinadas.

Foram estudadas seis amostras selecionadas de fluorita, representativas do minério primário e dos minérios secundários. A morfologia das inclusões é semelhante nos dois tipos de fluorita: poliédricas (angulosas ou não) e plano alongadas. As inclusões são todas monofásicas ou bifásicas.

A fig. 8 mostra os resultados obtidos em algumas das amostras. As fluoritas primárias portam inclusões com temperaturas de homogeneização (Th) entre 150° e 170°C e salinidades de 3,2% a 5,6% equivalentes de NaCl. As fluoritas primárias tardias têm Th de 120° a 150°C e salinidades de 0% a 3,2 eq. NaCl.

A fluorita secundária, zonada e tricolor, contém inclusões com temperaturas decrescentes. O núcleo róseo tem Th de cerca de 140°C, até 120°C. O envoltório incolor é de temperatura bem menor, de cerca de 80°C. A fluorita preta, muito rara, crustiforme, tem inclusões com Th entre 120° e 130°C.

Uma amostra de barita do corpo 2 foi, também, examinada. Além de inclusões semelhantes às da fluorita, contém outras de tipos diferentes. As de tipo 1 e 2 (fig. 8) são morfologicamente semelhantes às da fluorita. Têm Th de 130° a 150°C e salinidades entre 3,3% e 4,4% eq. NaCl. As de tipo 3 e 4 são monofásicas e formam grupos de Th. As de tipo 3 têm Th entre 110° e 130°C, enquanto as do tipo 4 têm Th de 60° a 80°C, com salinidades de até 1,4%.

Medidas efetuadas em inclusões de carbonato indicaram Th entre 100° e 120°C e salinidade de 4,8% eq. NaCl. As inclusões de quartzo não puderam ser determinadas devido às suas dimensões minúsculas.

Composicionalmente as inclusões contêm uma mistura de fluídos salinos e de água meteórica. A fase gasosa é composta sobretudo por hidrocarbonetos leves, com menor participação de CO<sub>2</sub>. O CO<sub>2</sub> é ausente nas inclusões da barita e da fluorita preta. Somente nas inclusões de quartzo o CO<sub>2</sub> é a fase gasosa dominante. Há uma relação direta entre a temperatura de homogeneização das inclusões e as suas salinidades.

A constância das temperaturas determinadas em cada tipo de inclusão e a variação progressiva das Th dos diferentes tipos, demonstra a inexistência de inclusões criptadas por superaquecimento posteriores às suas origens.

#### 4.7. Evolução paragenética

Os estudos relatados, relativos a mineralogia hidrotermal e às inclusões fluídas, permitiram a elaboração de um quadro de evolução da paragenese hidrotermal (fig. 9).

À exceção do quartzo, nenhum outro mineral da fase propilítica teve suas inclusões fluídas determinadas. A quantidade de CO<sub>2</sub> maior nas inclusões fluídas deste mineral que nas da fluorita primária apenas confirma uma origem mais antiga, a maior temperatura, determinada pelo relacionamento de substituição do quartzo pela fluorita mencionada anteriormente. O mesmo tipo de relacionamento situa o epidoto após o quartzo e a clorita após o epidoto, fechando a fase propilítica, a temperaturas maiores que 180°C. A cristalização da fluorita primária fina, iniciada a cerca de 180°C, fez-se paralelamente à da barita, ambas terminando de formar-se a cerca de 150°C. Sucederam-se, então, as fluoritas rósea, lilás, preta e incolor, cristalizadas nesta ordem a temperaturas entre 150°C e 80°C. Tanto o quartzo quanto a barita mostram-se também, como uma fase tardia, nitidamente remobilizada, cristalizada a temperaturas próximas de 100°C. A fluorita incolor, junto a alguma barita, recristalizou-se durante esta remobilização a temperaturas ainda menores, de cerca de 80°C.

A fase final de hidrotermalismo iniciou-se com a carbonatação, a cerca de 110°C, e terminou a cerca de 80°C com o início da argiliza-

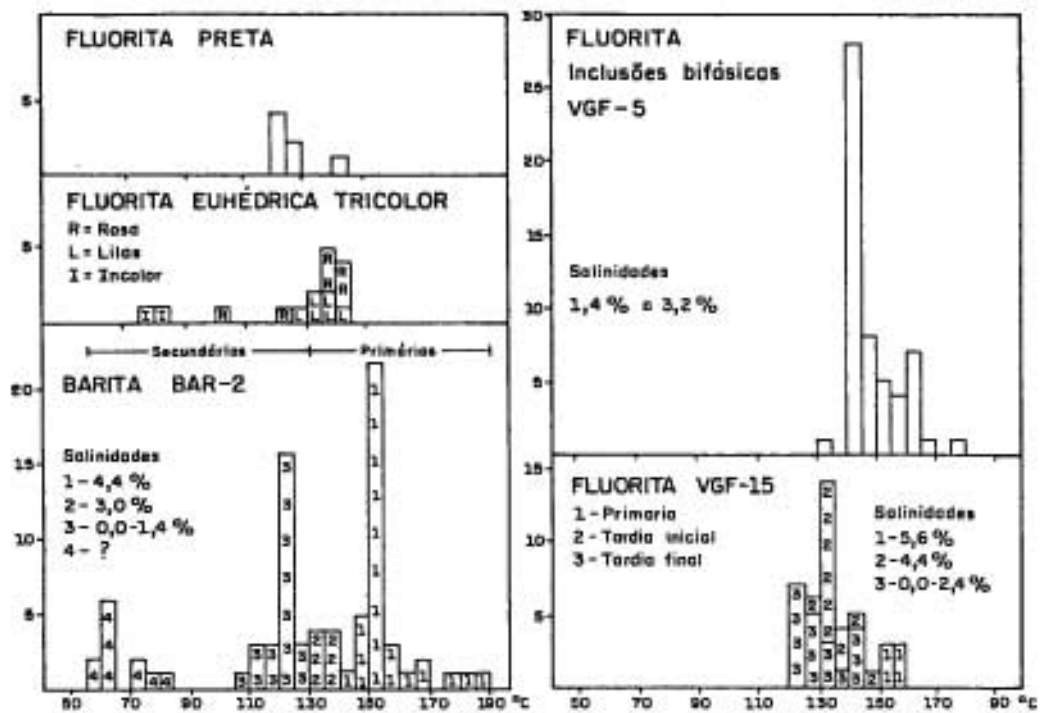


Fig.8 - Histogramas de frequência das temperaturas de homogeneização das inclusões fluídas de alguns minerais hidrotermais da Volta Grande.

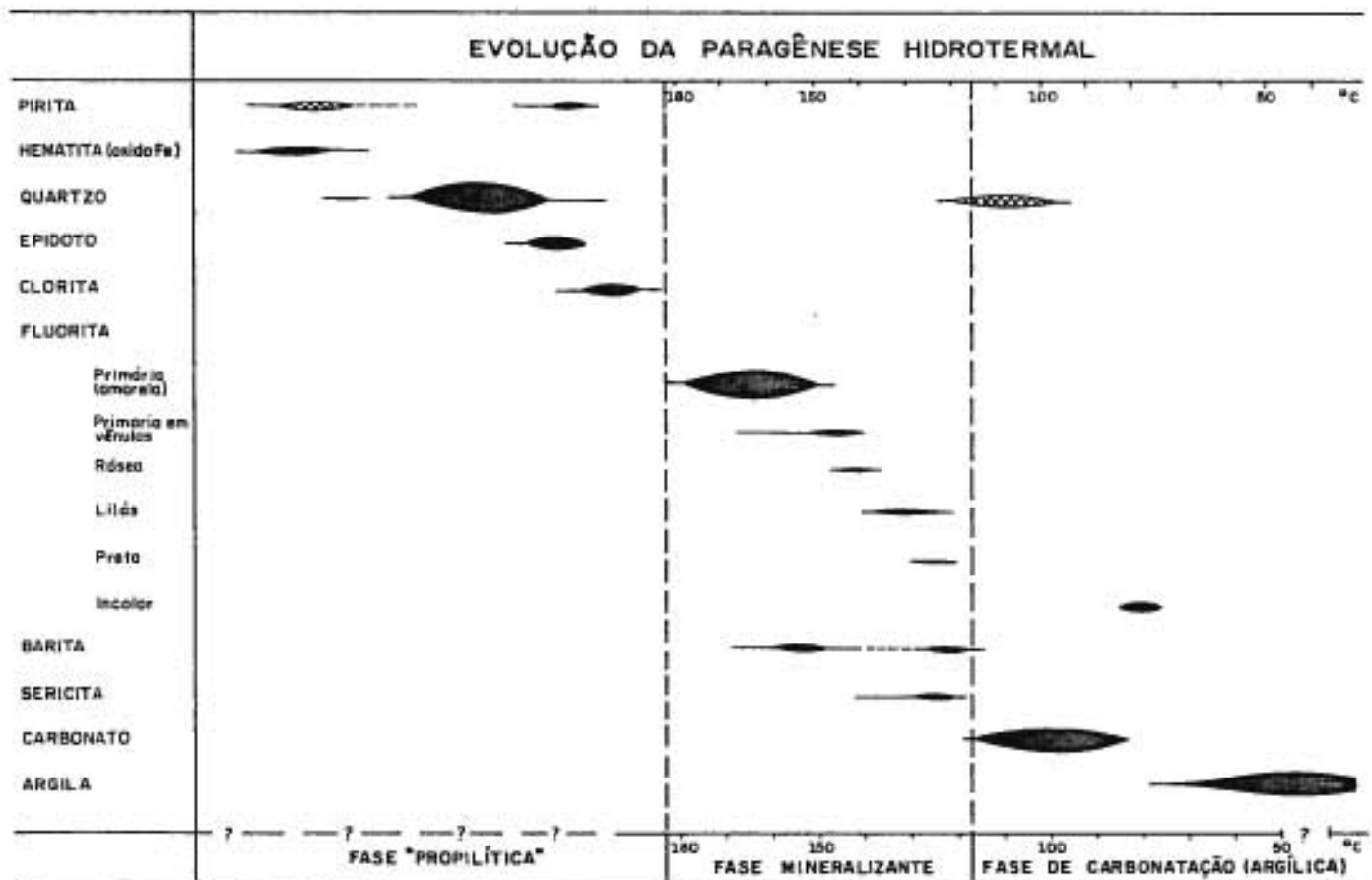


Fig.9 - Sequência evolutiva e temperaturas de cristalização da paragênese hidrotermal da jazida de fluorita de Volta Grande.

ção, desenvolvida provavelmente até a temperaturas ambientes. A argilização intempérica deve ocorrer ainda atualmente.

## 5. CONCLUSÕES

Os estudos feitos até o momento permitem apenas conclusões parciais sobre a gênese da jazida. Os resultados obtidos sugerem uma gênese hidrotermal a partir de um magma alcalino Mesozóico. O suporte para esta conclusão provém da soma das seguintes observações: a) os corpos mineralizados estão contidos em uma zona de falha; b) a mesma estrutura que contém o depósito, contém diques e necks de fonolito a poucos quilômetros da Volta Grande; c) a exemplo das alcalinas da região, a zona mineralizada da Volta Grande é radioativa, com concentração anômala de tório; d) toda a região da jazida é afetada por um hidrotermalismo de grau avançado; e) a fluorita é parte indissociável da sequência para gênese hidrotermal.

As informações que fazem acreditar que o hidrotermalismo fluorado seja Mesozóico são: a) a inexistência de inclusões criptadas que obrigam a concluir que o minério não sofreu nenhum evento térmico após sua origem. Após o Brasiliano, época que se acredita tenha sido gerado o granito Três Córregos, o único evento térmico conhecido associa-se ao magmatismo alcalino Mesozóico; b) as temperaturas de homogeneização da fluorita primária, da ordem de 170°C, são mais compatíveis com ambientes hidrotermais que sedimentares ou diagenéticos; c) a inexistência, junto ao minério, de feições que possam ser interpretadas como de origem sedimentar; d) a existência de feições de substituição características das mineralizações hidrotermais, obliterando as feições antigas dos sedimentos tais como bandamentos, feições de cataclasmamento, etc.

Até o momento não há qualquer informação que elimine em definitivo a possibilidade de que toda a fluorita seja Proterozóica e tenha sido totalmente remobilizada e recristalizada pelo evento térmico alcalino Mesozóico. Também não há qualquer informação que apoie esta hipótese, que resta, portanto, apenas como uma possibilidade a ser verificada. Resta a explicar, também, a distribuição diferenciada da fluorita em estratos carbonatados de um afloramento existente a cerca de 800m. a oeste da Volta Grande. Esta fluorita pode ser sedimentar/diagenética ou simplesmente o produto da preferência dos fluídos hidrotermais para substituir partes da rocha que sejam mais receptivas.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- BODNAR, R.J. e BETHAE, P.N. (1984) - Systematics of stretching of fluid inclusions - I: Fluorite and sphalerite at one atmosphere confining pressure. *Econ Geol*, vol, 79, pg. 141-161.
- DNPM-JICA-MMAJ (1982) - Report on geological survey of Anta Gorda Brazil, Fase II, pg. 21-32.
- DNPM-MMAJ (1983) - Projeto Anta Gorda - Mapeamento Geológico da Área Norte, Fase III, pg. 06-27.
- NUCLEBRÁS (1978) - Projeto Açungui - Relatório de Etapa, Vol. I, textos e tabelas, 77 pg. - Curitiba-Pr.
- ROEDLER, E. (1981) - Origin of fluid inclusions and changes that occur after trapping. In "Fluid inclusions - Applications to petrology", editado por L.S. Hollister e M.L. Crawford, Miner. Assoc. Canada, vol.6, pg. 101-137.

