

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**INVESTIGAÇÕES MINERALÓGICAS EM  
MATÉRIA-PRIMA CARBONÁTICA DE UMA  
DETERMINADA UNIDADE LITOLÓGICA DA  
MINA DE CAJATI (SP), VISANDO NOVAS  
APLICAÇÕES INDUSTRIALIS.**

Ana Gabriela de Paula Brandão

Orientadora: Profa. Dra. Lília Mascarenhas Sant'Agostino  
Co-Orientador: Thiago Bastos Bonás

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2003/07)

SÃO PAULO  
2003

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**INVESTIGAÇÕES MINERALÓGICAS EM MATÉRIA-PRIMA  
CARBONÁTICA DE UMA DETERMINADA UNIDADE LITOLÓGICA DA  
MINA DE CAJATI (SP), VISANDO NOVAS APLICAÇÕES INDUSTRIALIS**

Ana Gabriela de Paula Brandão

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA**

**TF 2003/07**



Orientadora: Profa Dra. Lília Mascarenhas Sant'Agostino  
Instituto de Geociências – USP

Co – orientador: Geólogo Thiago Bastos Bonás  
Bunge Fertilizantes S.A.

SÃO PAULO

2003

TF  
B817  
AGP.i



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900014571

# INVESTIGAÇÕES MINERALÓGICAS EM MATÉRIA- PRIMA CARBONÁTICA DE UMA DETERMINADA UNIDADE LITOLÓGICA DA MINA DE CAJATI (SP), VISANDO NOVAS APLICAÇÕES INDUSTRIAS

## **ANA GABRIELA DE PAULA BRANDÃO**



## Monografia de Trabalho de Formatura

## Banca Examinadora

Profa. Dra. Lilia Mascarenhas Sant'Agostinho

Prof. Dr. Henrique Kahn

Profa. Dra. Maria Cristina Motta de Toledo

São Paulo

2003

DOAÇÃO Seção.....
Graduação-1Gc
Data: 06/05/2004



*Todo aquele, pois, que ouve estas minhas palavras e as põe em prática, será comparado a um homem prudente, que edificou a casa sobre a rocha.*

Mateus 7:24

*À Deus-Pai pelo infinito amor*

## AGRADECIMENTOS

É com muita alegria e satisfação que chego ao final deste árduo, porém gratificante trabalho que marca a minha formação como geóloga. Sei que sentirei falta dos finais de semana passados em frente ao computador, das noites mal dormidas, das longas horas despendidas no trajeto São Paulo - Cajati. Enfim, sentirei falta de toda essa correria que certamente foi essencial para o meu aprendizado e amadurecimento pessoal e profissional.

É claro que esta não é uma vitória só minha. Não posso deixar de agradecer a todos que me apoiaram para a concretização deste trabalho.

Primeiramente ao Deus - Pai pelo dom da vida. Tudo o que tenho e sou vem de Dele. É Ele que me capacita e me dá sabedoria para distinguir o bom do ruim, o certo do errado. O Seu amor me envolve e Sua misericórdia me salva das minhas falhas.

À todos os meus professores do Instituto de Geociências por terem despertado em mim a paixão pela geologia, em particular a minha orientadora Lília Mascarenhas Sant' Agostino pela orientação, paciência e profissionalismo e em especial a minha ex-orientadora, professora e acima de tudo amiga Maria Cristina Motta Toledo pela inesgotável paciência e prontidão em atender minhas dúvidas e por ser um exemplo de ética e dedicação.

À empresa Bunge Fertilizantes S.A. por ter fornecido todos os subsídios necessários para a realização deste trabalho e pela oportunidade do estágio que em muito engrandeceu minha formação profissional. Gostaria de agradecer ao Eng. de Minas Marcelo Pereira e ao Geólogo Thiago Bonás pela orientação e direcionamento do estágio e a todos os meus colegas de trabalho pela calorosa acolhida, em especial ao Agenor, Walter, Edna, Dirce, Geraldinho, Silviano, meninos da piloto, toda equipe da Rodes Química e um abraço muito especial ao meu grande amigo Fabinho e a minha nova família Andréia, Zé Geraldo, pequena Márlia e Vô Zuca.

À todos os meus amigos da faculdade pelo companheirismo nesta longa jornada que está terminando, principalmente à Alessandra, Fernanda, Fabrício e à minha grande amiga e conselheira Giselle por ter me socorrido e ajudado nas horas que mais precisei. Nossos caminhos podem até separar daqui a diante, mas terei vocês em meu coração sempre.

A toda a equipe da Geo Júnior que fez parte da gestão que eu tive a honra de presidir. As habilidades administrativas e competências técnicas que adquiri nesta jornada são incomensuráveis e não podem ser ensinadas por escola nenhuma e nem encontradas em livros; só a vivência com as dificuldades, êxitos e fracassos e sucesso que tivemos durante nossa gestão é que nos levou ao aprendizado. Lembro-me muito bem como tudo começou, uma sala vazia, empoeirada, dívidas passadas.... e hoje vejo tudo que construímos e conquistamos (a FENAFEG foi um sucesso) e tenho muito orgulho do nosso trabalho. Não me arrependo nem um pouco em ter me dedicado de corpo e alma por esta causa. Boa sorte e sucesso para vocês que ficam!

A minha amada família Tarcísio, Acácia, Rafael e Rodrigo que são meu porto seguro e minha rocha forte. Os laços de amor e carinho entre nós foram fundamentais para que eu persistisse nos momentos mais difíceis. E finalmente ao meu querido Fernando. Este trabalho é nossa vitória e o dedico a você.

## RESUMO

Atualmente o ácido fosfórico produzido a partir do concentrado de apatita obtido na exploração mineira do complexo alcalino carbonatítico de Cajati (SP) é aplicado em matéria prima carbonática para a fabricação de foscálcio (fosfato bicálcico) que é um suplemento mineral para alimentação animal.

Este trabalho enfocou uma das unidades litológicas componentes da jazida a qual possui em planta forma oval alongada segundo NE/SW com a terminação NE truncada por uma zona de falha NW/SE. Atualmente encontra-se aflorante no nível -70 na porção sul da cava. Trata-se de um carbonatito calcítico, com poucos acessórios, subdividido em litotipos distintos: branco, branco a cinza, creme, laranja e vermelho. A distribuição espacial deles mostra que os litotipos creme, laranja e vermelho estão concentrados mais próximos da falha, sugerindo que a coloração avermelhada desta unidade pode ser resultado de algum fluido de alteração proveniente da falha.

O valor biológico de uma fonte mineral varia em função da concentração do elemento de interesse e presença de elementos tóxicos ou contaminantes. Em relação a esta última variável, o Mg e o Fe têm efeitos nocivos na nutrição animal (boi, ave e suínos) e Ba e Sr possuem efeitos cumulativo na cadeia alimentar.

A unidade Cfl apresenta composição química ideal para a produção de foscálcio ( $\text{CaO} > 48,5\%$  e  $\text{MgO} < 3,5\%$  e baixas concentrações de elementos contaminantes), porém tem um limitante por possuir cor avermelhada, que não tem boa aceitação de mercado.

O objetivo dos estudos de caracterização tecnológica da matéria carbonática proveniente desta unidade foi gerar dados que poderão ser aplicados nos processos de beneficiamento, seja para purificação da matéria-prima carbonática ou até mesmo para a fabricação de um novo produto; um foscálcio creme diferenciado.

Para tanto, foram selecionadas seis amostras de testemunhos de sondagem, localizados dentro desta unidade, que foram submetidas a operações de preparação de amostras, separações minerais e análises químicas, granulométricas e mineralógicas.

Verificou-se que os  $\text{MgO}$  e  $\text{SrO}$  presentes no minério estão contidos principalmente na estrutura cristalina da calcita e subordinadamente em associações mineralógicas com dolomita e silicatos (flogopita e olivina) para o  $\text{MgO}$  e dolomita, estrocionita e burbankita para o  $\text{SrO}$ . O  $\text{BaO}$  presente refere-se a inclusões micrométricas de barita nos carbonatos.

Análises em microscopia eletrônica de varredura (MEV-EDS) mostraram que a coloração avermelhada do minério, deve-se principalmente a impregnações micrométricas de óxidos/hidróxidos de ferro nos carbonatos e subordinadamente a presença de Fe-dolomita.

Concentrados de carbonatos gerados nos estudos mostraram teores de 2%  $\text{MgO}$  independentemente do litotipo de minério. Os obtidos a partir dos litotipos branco e branco a cinza mostraram teor em torno de 0,1%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e uma recuperação em massa em torno de 82%. Aqueles obtidos a partir das amostras de mistura (creme+laranja+vermelha) e as amostras cremes apresentaram teor em torno de 0,4 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  com uma recuperação em massa de cerca de 83%.

## ABSTRACT

The phosphoric acid produced from apatite concentrate obtained in the carbonatitic alkaline complex of Cajati (SP) mining activity is applied in carbonatic raw material for foscálcio manufacturing, generating an animal feed mineral supplement.

This work focus an specific litological unity (named Cfl) that composed the ore deposit, which is outcropped in the cote -70 m in the south portion of the actual pit and has an elliptical design in plant NE/SW oriented, being NE limited by a fault zone. It is an essentially carbonatitic lithology with low proportions of accessory minerals that can be subdivided in distinct litotypes: white, white to gray, cream, orange and red. Their 3D settings shows the cream, the orange and the red confined in the neighboring of the fault what is indicative that the reddish color can be result of fluids percolated through the fault opening.

The biological value of a mineral source is function of the interesting element concentration and toxic or contaminants elements grades. Mg And Fe are in this last category acting as noxious elements, and Ba and Sr are cumulative in the nutritional chain.

The technological characterization studies performed in the carbonatic raw material aimed informations to be applied in the processing of purifying it or even in the manufacturing a new commercial product, a differentiated cream foscálcio.

Six drilling samples of the referred lithological unity were selected for the studies, which were prepared in the laboratory, being submitted to mineral separations as well as chemical, grain size and mineralogical analysis.

It was verified that the ore MgO and the SrO contents are mainly enclosed in the calcite crystalline structure with a subordinate portion associated to dolomite and silicates (phlogopite and olivine) for the MgO and dolomite, stroncinite and burbankite for the SrO. The BaO ore grades are consequence of barite micrometric inclusions in the carbonates.

MEV-EDS analysis showed that the ore reddish color is due to micrometric iron impregnations in the carbonates and in minor proportions is related with Fe-dolomite.

Carbonates concentrates obtained in the studies maintained a residual MgO grade of 2% for all the litotypes samples. Those generated from the white and grayish white ore litotypes showed grades of 0,1% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> with a weight recovery of about 82%. Otherwise those attained from the samples of litotypes mixture (cream, orange and red) and also of the cream presented grades of 0,4 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> for a weight recovery of 83%.

# Í N D I C E

<b>I - INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>II – OBJETIVO E RELEVÂNCIA DO PROJETO</b>	<b>1</b>
<b>III – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>2</b>
III.1 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO	2
III.2 – HISTÓRICO DA MINA	2
III.3 – GEOLOGIA	3
III.4 – FOSFATO BICÁLCICO	6
<b>IV – MÉTODOS APLICADOS</b>	<b>9</b>
<b>V – MATERIAIS UTILIZADOS</b>	<b>9</b>
<b>VI – CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E GEOMÉTRICAS DA UNIDADE CFL</b>	<b>10</b>
<b>VII – CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA APLICADA A TECNOLOGIA MINERAL</b>	<b>14</b>
VII.1 – SELEÇÃO DAS AMOSTRAS	14
VII.2 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA DAS AMOSTRAS SELECIONADAS	16
VII.3 - PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	17
VII.4 – CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA.	18
VII.5 – SEPARAÇÃO MINERAL	21
VII.5.1 – Separações em meio denso	21
VII.5.2 – Separações eletromagnéticas.	22
VII.6 - MICROSCOPIA ELETRÔNICA E MICRO-ANÁLISE.	24
VII.6.1 - Características das partículas de carbonatos	24
VII.6.2 - Considerações Gerais sobre os resultados de MEV-EDS	36
<b>VIII – CONCLUSÕES</b>	<b>37</b>
<b>IX – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>39</b>

## Í N D I C E D E A N E X O S

- INDICE 1 – Fotos dos equipamentos utilizados.  
INDICE 2 – Descrição macroscópica dos litotipos constituintes da unidade Cfl.  
INDICE 3 – Seções geológicos NW-SSE ao longo dos furos SP 36, SP 37 e SP 41.  
INDICE 4 – Descrições macroscópicas das amostras selecionadas de testemunhos de furos de sondagem.  
INDICE 5 – Fluxogramas de etapas de fabricação do foscálio e de caracterização.  
INDICE 6 – Descrição em esteromicroscopia dos produtos flutuados magnéticos e não magnéticos.  
INDICE 7 – Fotos em esteromicroscopio dos produtos flutuados magnéticos e não magnéticos das amostras SP 36 – 01, SP 37-01 e SP 41-02.  
INDICE 8 – Contagem de grãos dos produtos flutuados magnéticos.

## Í N D I C E D E F I G U R A S

- FIGURA 1 – Mapa de acessos e localização de Cajati  
FIGURA 2 – Mapa geológico do complexo alcalino de Jacupiranga  
FIGURA 3 - Mapa geológico dos carbonatitos de Jacupiranga  
FIGURA 4 – Mapa geológico dos carbonatitos de Jacupiranga, com detalhe da unidade Cfl.  
FIGURA 5 – Imagem 3D das unidades Cfl e zona de falha geradas a partir do software Datamine.  
FIGURA 6 – Distribuição espacial dos Furos SP36, SP37 e SP 41 na unidade Cfl  
FIGURA 7 – Distribuição espacial das seções geológica ao longo dos furos SP 36, SP 37 e SP 41.  
FIGURA 8 – Gráfico de distribuição em massa no passante nas faixas granulométricas para as diferentes amostras.  
FIGURA 9 – Gráficos de distribuição dos principais óxidos por fração granulométrica.

## Í N D I C E D E T A B E L A S

- TABELA 1 - Características das principais fontes de cálcio e fósforo.  
TABELA 2- Concentrações de fósforo e flúor em rocha fosfática.  
TABELA 3. Concentração média de flúor em alguns fosfatos e gesso  
TABELA 4 – Teores mínimos e máximos de cálcio, fósforo e flúor no foscálio.  
TABELA 5 – Solubilidade do fósforo em diferentes meios.  
TABELA 6 – Percentuais de ocorrência de cada litotipo nas seções e o total para a unidade Cfl  
TABELA 7 – Características das amostras selecionadas.  
TABELA 8 – Composição química por fluorescência de raios - X das amostras estudadas.  
TABELA 9 – Mineralogia com base em cálculos estequiométricos das amostras selecionadas.  
TABELA 10 – Balanço de massa e distribuição dos principais óxidos nas frações.  
TABELA 11 – Densidade relativa dos minerais presentes no carbonatito de Cajati  
TABELA 12 – Balanço de massa e distribuição dos principais óxidos nos produtos flutuados e afundados.  
TABELA 13 – Balanço de massa e distribuição dos principais óxidos nos produtos flutuados magnéticos e não magnéticos.  
TABELA 14 – Composição química dos carbonatos (% em peso) obtida por MEV-EDS.

## I - INTRODUÇÃO

O complexo ultramáfico alcalino de Cajati (SP), também conhecido por complexo de Jacupiranga, constitui uma ocorrência clássica de intrusão alcalina carbonatítica em associação a rochas ultrabásicas no Brasil.

A empresa Bunge Fertilizantes S.A., proprietária dos decretos de lavra de Cajati, desde a década de 40 vem lavrando o minério apatítico deste carbonatito. Na década de 80, a crise na indústria de fertilizantes incentivou o desenvolvimento de novas aplicações industriais visando os subprodutos da mina. Desde então, o ácido fosfórico produzido a partir do concentrado de apatita é aplicado em matéria prima carbonática para a fabricação de foscálcio (fosfato bicálcico) que é um suplemento mineral para alimentação animal.

Este trabalho está inserido dentro de um programa de análise da variabilidade composicional dos carbonatos provenientes dos diferentes litotipos de carbonatitos presente na mina, visando a produção de foscálcio. A unidade litológica selecionada neste trabalho (Cfl) apresenta composição química ideal para a produção de foscálcio ( $\text{CaO} > 48,5\%$  e  $\text{MgO} < 3,5\%$ ), porém tem um limitante por possuir cor avermelhada. Produtos industriais utilizando a matéria-prima carbonática desta unidade não tiveram boa aceitação no mercado, visto que sua pureza está associado a alvura.

Deste modo, este trabalho visou caracterizar a matéria-prima carbonática proveniente da unidade Cfl gerando dados que poderão ser aplicados nos processos de beneficiamento, seja para purificação da matéria-prima carbonática ou até mesmo para a fabricação de um novo produto; um foscálcio creme diferenciado.

Para o estudo de caracterização foram selecionadas seis amostras de testemunhos de sondagem relativos a uma campanha especificamente dirigida para investigação da unidade Cfl. As amostras tal qual foram submetidas a um procedimento de preparação de amostras e separações minerais para obtenção de produtos minerais purificados nos quais realizaram-se análises para detalhamento das características dos carbonatos

## II – OBJETIVO E RELEVÂNCIA DO PROJETO

Estudos mineralógicos realizados em rejeitos carbonatíticos da usina de concentração de apatita, indicaram presença de teores variados de  $\text{MgO}$  associados à estrutura cristalina da calcita e da dolomita (Raposo, 2002). Considerando que estas unidades provavelmente sejam resultados de pulsos magmáticos sucessivos, é possível terem ocorrido diferenciações de composição nos carbonatos.

A partir desta constatação, foi elaborado um programa visando avaliar a variabilidade de composição química dos carbonatos nas várias unidades litológicas, estando este trabalho inserido neste programa.

Este trabalho refere-se a unidade litológica Cfl, espacialmente bem delimitada e que compõe um volume expressivo das reservas de minério, que corresponde a um carbonatito calcítico que se distingue sobretudo pela presença de flogopitas euédricas

que, conforme apresentado anteriormente, apresenta composição química ideal para a produção de fosfálcio porém apresenta variações de cores em tons de branco a avermelhado.

O aproveitamento industrial desta matéria prima pode ser feito em blendagem com outras litologias de forma a minimizar o efeito de sua coloração avermelhada ou na geração de um produto diferenciado na sua cor visando segmentos específicos de consumo. Para qualquer das alternativas é fundamental o conhecimento detalhado dos carbonatos e dos minerais associados, com particular enfoque no levantamento da causa da coloração observada no minério.

### III – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### III.1 – Localização e acesso

O Complexo Alcalino de Jacupiranga localiza-se no Vale do Ribeira, sudoeste de Estado de São Paulo, no município de Cajati, aproximadamente entre as coordenadas  $48^{\circ} 09' W$  e  $24^{\circ} 41' S$  já próximo a divisa com o Estado do Paraná (Figura 1). O Município de Cajati, antigo distrito pertencente a Jacupiranga, dista cerca de 230 Km da cidade de São Paulo.

O acesso à região é feito através da rodovia Régis Bittencourt (Br 116), Km 488,5 que une a cidade de São Paulo ao sul do país.

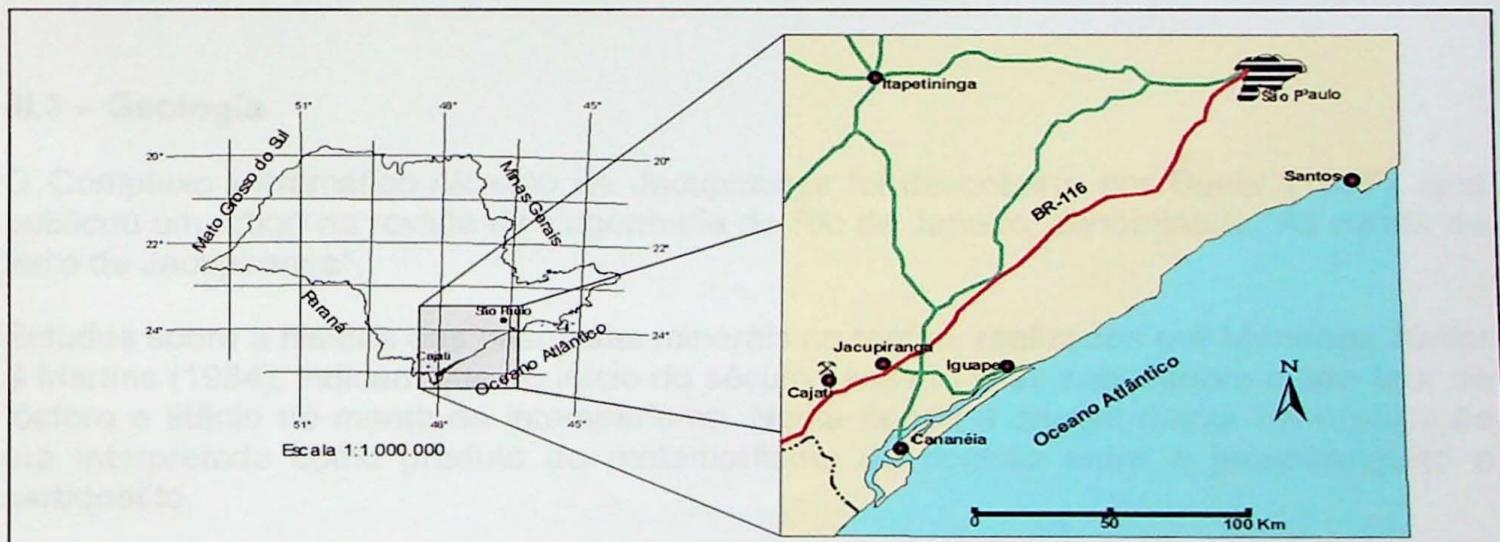


Figura 1 – Mapa de acessos e localização de Cajati.

#### III.2 – Histórico da mina

Em 1943 iniciou-se a exploração de minério residual, no local denominado de Morro da Mina, onde o material lavrado era lavado sobre peneiras e submetido a separação magnética, obtendo-se um concentrado com cerca de 2,5% de  $Fe_2O_3$  e 40% de  $P_2O_5$ , utilizado na fabricação de fertilizantes.

Na década de 70, com a exaustão do minério residual, iniciou-se a lavra de rocha sã com teores de  $P_2O_5$  em torno de 5% e foi estabelecido um parque industrial composto também por unidades químicas visando à produção de fertilizantes. A partir de então, a apatita deixou de ser a única base econômica da mina, passando-se também a aproveitar subprodutos, como o carbonato e a magnetita para fabricação de cimento. No final da década de 80, a crise na indústria de fertilizantes incentivou o desenvolvimento de novas aplicações industriais visando os subprodutos da mina, mais especificamente corretivos agrícolas e brita bem como o fosfogesso, sub-produto da unidade química.

Hoje, o produto principal da Mina de Cajati continua sendo o concentrado de apatita utilizado na produção de ácido fosfórico, que é utilizado na fabricação de foscálcio, além de ser comercializado na forma de ácido. O estéril da mina, constituído por carbonatitos e piroxenitos (jacupiranguito), é britado e vendido como matéria-prima para construção civil além de ser utilizado na pavimentação das vias e bermas da mina. Magnetita e carbonatos são obtidos como rejeitos da usina de concentração da apatita, sendo a primeira utilizada como matéria-prima para o cimento e o segundo, dependendo das especificações, utilizado para fabricação de foscálcio, cimento ou corretivos agrícolas. Além disso, o gesso, resultado do processo de geração do ácido fosfórico, também é aproveitado e vendido como matéria-prima para produtos agrícolas, cimento e papel.

O aproveitamento sistemático e otimizado de praticamente todos os bens minerais e produtos gerados nos processos industriais e de mineração qualifica a Bunge Fertilizantes S/A como uma empresa que aplica o conceito de desenvolvimento sustentável.

### III.3 – Geologia

O Complexo Ultramáfico-Alcalino de Jacupiranga foi descoberto por Bauer (1877), que publicou um artigo na revista de Engenharia do Rio de Janeiro, denominado “As minas de ferro de Jacupiranga”.

Estudos sobre a história das pesquisas minerais na região, realizados por Menezes Júnior & Martins (1984), indicam que no início do século passado já se sabia sobre o alto teor de fósforo e titânio no manto de intemperismo. Nesta época a origem dessa mineralização era interpretada como produto do metamorfismo de contato entre o jacupiranguito e carbonatito.

Melcher (1965) concluiu que o minério residual foi produto de alteração intempérica do carbonatito, e não produto do metamorfismo de contato entre o jacupiranguito e carbonato, como se acreditava até então.

A idade absoluta aproximada para as rochas que compõem o complexo, determinada pelos métodos K/Ar e Rb/Sr, é de  $131 \pm 3$  Ma (Amaral, 1978 e Roden et al., 1975, apud Ruberti et al., 1992). Este valor situa o complexo entre as diversas ocorrências de rochas alcalinas cretáceas que acompanham as bordas da Bacia de Paraná. Tais ocorrências estão supostamente associadas à abertura inicial do Oceano Atlântico Sul e, provavelmente, tectonicamente condicionadas ao Arco de Ponta Grossa (Ruberti et al. 1992).

O complexo exibe forma ovalada ( $10,5 \times 6,7\text{km}$ ), com alongamento NNW (Germann et al 1987) e encontra-se inteiramente encaixado em rochas Pré-Cambrianas do Grupo Açungui: granodioritos ao Norte e mica-xisto ao Sul.

O complexo é formado por dois corpos intrusivos principais: dunitos na parte norte e magnetita clinopiroxenitos (jacupiranguitos) na porção sul. Segundo o mesmo autor, o jacupiranguito foi intrudido por um corpo de ijolito com forma de meia lua, e por um corpo alongado de carbonatito de menor tamanho. Ocorrem fenitos principalmente nas margens do complexo (Figura 2). A atividade alcalina inclui ainda a formação de diques fonolíticos e veios de sienitos nefeliníticos pegmatíticos (Lapido-Loureiro, 1998).

???

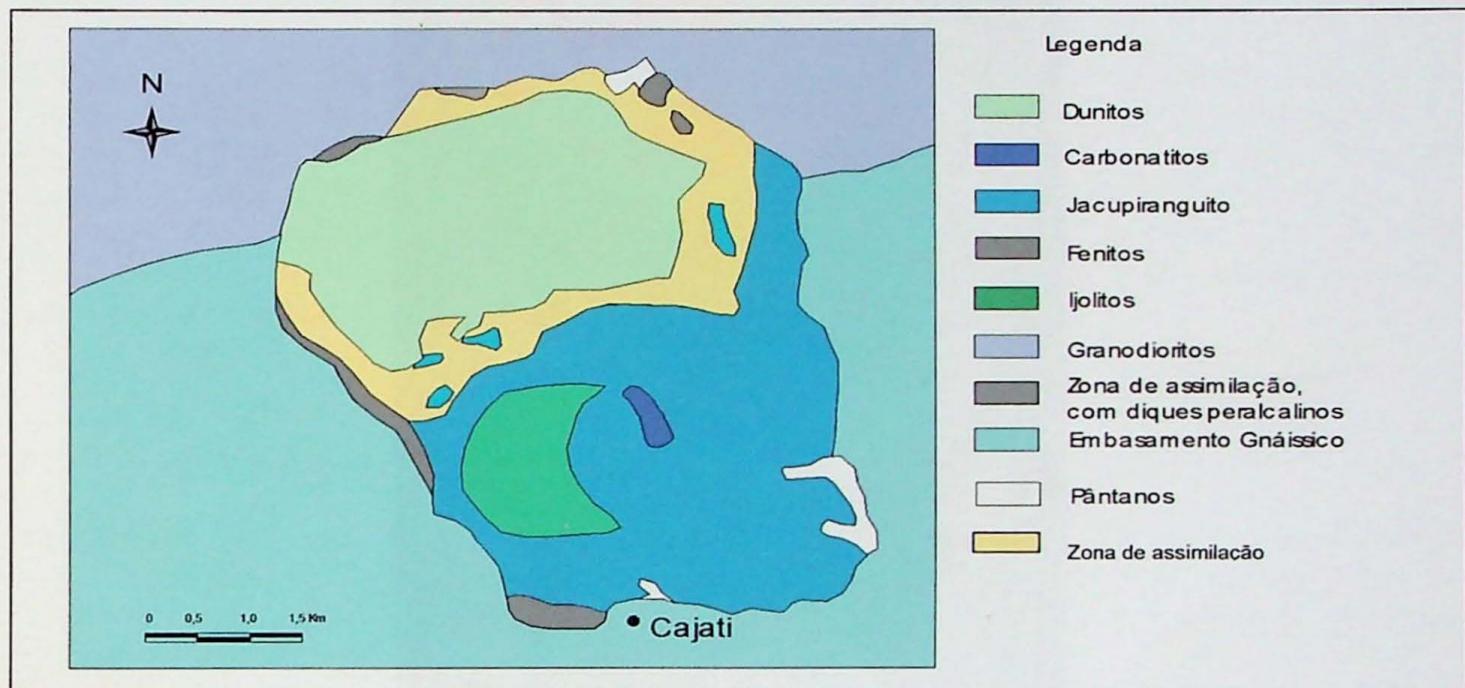


Figura 2 – Mapa geológico do complexo alcalino de Jacupiranga (adaptado de Germann et al., 1987, apud Raposo 2002)

Menezes Júnior & Martins (1984) dividiram os minerais da assembléia do depósito em dois grupos: aqueles encontrados no carbonatito e os encontrados no jacupiranguito. A lista completa consiste em 42 espécies. No carbonatito esses autores observam: ancilita, aragonita (secundária), baddeleita, barita, brucita, calcita (primária e secundária), calcopirita, titano-clinohumita, dolomita, fluorapatita, forsterita, galena, geiquielita, magnésio-ilmenita, magnetita, quintinita, flogopita, pirita, pirrotita, quartzo (secundário), serpentina, estroncianita, uranpirocloro, valeriita.

No jacupiranguito os minerais encontrados, segundo os mesmos autores, são: titano-andratita, titano-augita, barita, calcita, calzirquita, diopsídio, dolomita, edingtonita, fluorapatita, forsterita, hornblendita, magnésio-ilmenita, magnetita, natrolita, nefelina, perovskita, flogopita, pirita, pirrotita, richterita, schorlomita, tazheranita, titanita, tremolita, vesuvianita, wolastonita, zircão e zirkelita.

Gaspar (1989) após efetuar um mapeamento em escala de detalhe, com suporte de petrografia e determinações em microssonda eletrônica, revelou a ocorrência de cinco intrusões carbonatíticas distintas, de idades diferentes na seguinte ordem (mais velha para mais nova): C1, C2, C3, C4 e C5 (figura 3).

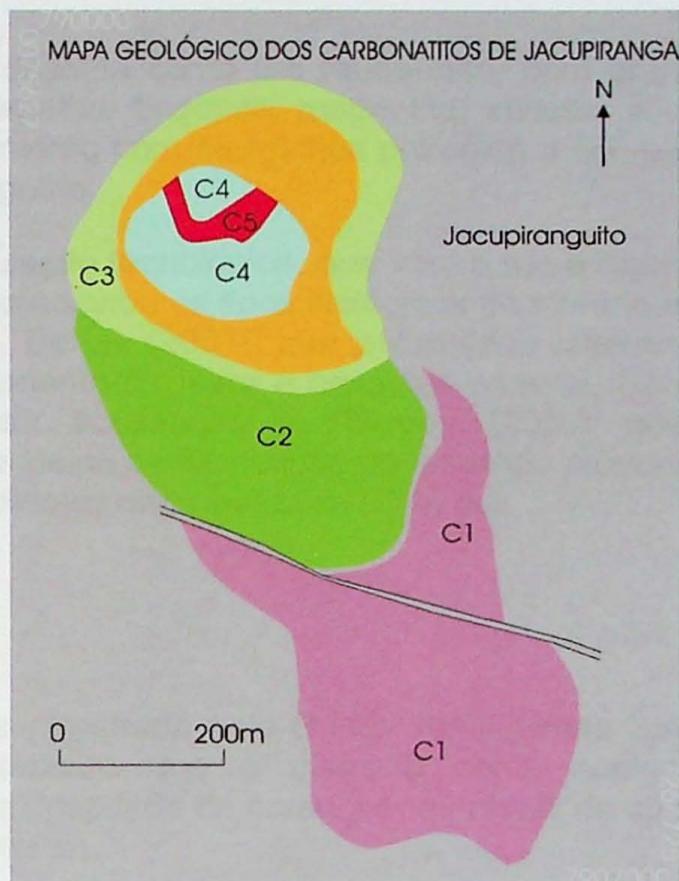


Figura 3 - Mapa geológico dos carbonatitos de Jacupiranga (Fonte: Gaspar, 1989)

Segundo o mesmo autor, C1 é um sovito, com granulação grossa e bandamento espesso, composto por calcita, apatita, magnetita, olivina, flogopita, dolomita e sulfetos (a mineralogia é descrita na ordem de maior para menor abundância). O bandamento é geralmente subvertical mergulhando para Norte. A lineação da apatita é sempre sub-horizontal. Duas regiões ao Sul podem ser individualizadas por serem pobres em minerais não carbonáticos, fora dessas regiões o sovito é rico em olivina, magnetita e apatita.

A intrusão C2 é descrita pelo autor como um sovito dolomítico com granulação fina a média e nessa porção a rocha é finamente bandada, composta por: calcita, apatita, magnetita, olivina, flogopita, dolomita e sulfetos. Possui mergulho vertical, paralelo ao contato com C1 e a lineação da apatita é sub-horizontal. No contato entre C2 e C3 observam-se sovito e beforsito com bandamento difuso.

A intrusão C3 também é um sovito com granulação média a grossa. O bandamento é menos evidente e composto por calcita, apatita, magnetita, flogopita, dolomita, olivina e sulfeto, sendo que tem uma característica diferente dos outros locais: no centro o

mergulho é para Norte, entre 20 a 40°, já nas bordas torna-se mais íngreme e em alguns locais, vertical. A lineação da apatita é geralmente paralela ao mergulho.

Na porção Norte, C4 é descrita como um sovito com granulação média, composta por calcita, apatita, magnetita, olivina, flogopita, dolomita e sulfetos. Essa região narrada como uma intrusão cilíndrica com bandamento vertical paralelo às bordas com lineação sub-horizontal.

E por último C5, que é descrita como um rauhaugito, com granulação média a grossa composto por dolomita, apatita, flogopita, magnetita, sulfetos e calcita. Para o autor C5 corta C4 e possui bandamento com mergulhos próximos a 80° para Norte. A lineação da apatita é paralela ao mergulho.

Dos estudos de caracterização tecnológica, que vêm a ser a base do trabalho, destacam-se Alves (1999), que correlacionou os tipos litológicos de minério e seu aproveitamento na usina de beneficiamento, Bonás (2001), que padronizou critérios de descrição litológica com vista ao acompanhamento de lavra e pesquisa mineral, Silva (2001) que estudou a mineralogia dos minerais acessórios e Raposo (2002) que realizou um estudo mineralógico no rejeito da Usina de fabricação de foscálcio proveniente do processamento de minério da unidade litológica carbonatito calcítico sul.

### III.4 – Fosfato bicálcico

O foscálcio é uma marca registrada pela Bunge Fertilizantes S.A. correspondente a um fosfato bicálcico desfluorizado que é utilizado como suplemento mineral para a alimentação animal com a finalidade de balancear os níveis de cálcio e fósforo nas rações e outros suplementos minerais.

O fosfato bicálcico é uma das diversas fontes de cálcio e fósforo (tabela 1) que previnem estados carenciais como raquitismo em animais jovens, com abaulamento dos ossos longos e dilatação das articulações e osteomalácea em animais adultos, com ossatura fraca sujeita a fraturas espontâneas. O cálcio participa em torno de 1,64% e o fósforo com 1% do peso vivo dos animais da seguinte forma:

- na composição da estrutura óssea e dentes;
- na reprodução e crescimento é imprescindível a presença de fosfoproteínas no núcleo das células;
- os fosfolipídeos (lecitina e cefalinas) possibilitam a circulação das gorduras no organismo, favorecendo a engorda;
- no metabolismo energético a presença do fósforo nas estruturas do ADP e ATP na liberação da energia corporal.

O valor biológico de uma fonte mineral varia em função da concentração do elemento de interesse, disponibilidade biológica, palatabilidade e presença de elementos tóxicos ou contaminantes.

Tabela 1 - Características das principais fontes de cálcio e fósforo.

Elemento	Fonte	Fórmula	Elemento (%)	Forma física	Biodisponibilidade
Cálcio	Carbonato de cálcio	$\text{CaCO}_3$	40	pó branco	média
	Calcário calcítico	$\text{CaCO}_3$	35	pó insolúvel	média
	Calcário dolomítico	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	22,3	pó insolúvel	média
	Farinha de ostra	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{CaX}$	38	granulada	média
	Fosfato monocálcico	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	15,9	cristais brancos	alta
	Fosfato bicálcico	$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	23,3	cristais brancos	alta
	Fosfato tricálcico	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	38,6	pó branco	-
	Sulfato de cálcio diidratado (gesso)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	22	pó branco	-
	Farinha de ossos autoclavada	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaX}$	26	-	alta
	Farinha de ossos calcinada	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaX}$	36	-	alta
	Fosfato monocálcico	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	24,6	cristais brancos	alta
	Fosfato bicálcico	$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	18	cristais brancos	média
	Fosfato tricálcico	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	20	pó branco	média
Fósforo	Farinha de ossos autoclavada	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaX}$	14,5	-	alta
	Farinha de ossos calcinada	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaX}$	15,5	-	alta
	Ácido fosfórico	$\text{H}_3\text{PO}_4$	24	-	alta
	Fosfato monoamônico	$(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$	23,5	pó branco	alta

(Fonte: <http://www.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/doc/doc109/05fontes.html>)

**Biodisponibilidade:** o conteúdo total de um determinado elemento na fonte precisa ser qualificado por um fator que indique a disponibilidade biológica. O elemento precisa passar pelos processos de digestão, absorção e transporte até ficar disponível para exercer suas funções. A biodisponibilidade pode ser considerada como uma medida de habilidade de um determinado suplemento suportar os processos biológicos do animal.

**Palatabilidade** Receptividade do rebanho ao suplemento mineral em sua alimentação. Misturas minerais contendo 30% ou mais de sal comum são bem consumidas.

**Contaminantes** As rochas fosfáticas brasileiras são, na sua maioria, de origem ígnea, e têm apresentado menor concentração de flúor (tabela 2) e elementos pesados e radioativos que rochas importadas.

Tabela 2- Concentrações de fósforo e flúor em rochas fosfáticas

Fosfato	Flúor, %	P, %	P/F
Marrocos	4,2	14,32	3,40
Aruba	0,9	10,87	12
Carolina do Norte	3,7	13,40	3,60
Kola	3,3	16,68	5,05
Patos	1,8	10,61	5,89
Tapira	1,3	14,80	11,38
Araxá	2,2	16,28	7,40
Catalão	2,5	17,15	6,68

(Fonte: <http://www.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/doc/doc109/05fontes.html>)

O teor de flúor de fosfatos sempre foi uma preocupação para a nutrição animal, devido a sua alta toxicidade. Os efeitos tóxicos do flúor têm caráter cumulativo e dependem da quantidade ingerida, duração e continuidade da ingestão, solubilidade da fonte de flúor, idade e nutrição. Níveis máximos toleráveis na dieta de bovinos variam de 40ppm para novilhas a 100ppm para bovinos em terminação.

Quando ingerido, parte do flúor é excretado na urina e, outra parte, deposita-se nos ossos e dentes. O efeito dessa acumulação pode manifestar a médio e longo prazo com fluorose dentária, lesão óssea, manqueira, fraturas espontâneas, diminuição do consumo de alimento e outros.

A concentração de flúor nos fosfatos alimentares depende em grande parte da origem e processamento. Exemplos da concentração média de flúor em alguns compostos estão na tabela 3.

Tabela 3. Concentração média de flúor em alguns fosfatos e gesso

Fonte	F %	P / F
Fosfato bicálcico	0,08	225
Fosfato monoamônico (alimentar)	0,21	114
Fosfato monoamônico (fertilizante)	até 1	23,5
Superfosfato triplo (fertilizante)	0,57	36
Sulfato de cálcio (gesso)	0,6-1	-

(Fonte: <http://www.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/doc/doc109/05fontes.html>)

### Processo de fabricação e características do foscálcio.

A processo de fabricação de foscálcio (anexo 5.1) começa na mina, com as atividades de planejamento, lavra e britagem (primárias e secundárias) e tem como produto final o carbonatito britado passante em peneira com abertura de 4 cm e com a seguinte composição química:  $P_2O_5=4,7\%$ ;  $CaO \geq 47\%$  e  $MgO \leq 3,5\%$ . Este carbonatito alimenta a usina de beneficiamento com estas características, onde é moído (moinho de barras), desmagnetizado e separado por flotação. A flotação gera dois produtos: um concentrado de apatita com 36% de  $P_2O_5$  e um rejeito carbonatítico. Quando esse rejeito possui concentração de  $CaO \geq 49$  e  $MgO \leq 3,8$  é destinado para purificação até 50% de CaO em outro circuito de beneficiamento e então utilizado para a fabricação de foscálcio.

O concentrado apatítico é utilizado para a fabricação de ácido fosfórico, que é desfluorizado e desulfatado. A reação entre o rejeito carbonatítico e o ácido fosfórico resulta no foscálcio que por sua vez é secado, moído, ensacado e comercializado.

O foscálcio é um produto com coloração branco a cinza claro, na forma de microgranulado ( $0,15 \leq \varnothing \leq 2,00\text{mm}$ ) e pó ( $0,04 \leq \varnothing \leq 1,41\text{mm}$ ), com cheiro característico, pH entre 5 e 6,5, alta biodisponibilidade, ótima palatabilidade e estabilidade nas misturas minerais e em suplementos e rações. As tabelas 4 e 5 apresentam respectivamente os teores mínimos e máximos de cálcio, fósforo e flúor no foscálcio e a solubilidade do fósforo em diferentes meios.

Tabela 4 – Teores mínimos e máximos de cálcio, fósforo e flúor no foscálcio.

Teores (%)		
Elemento	Mínimo	máximo
Cálcio	22,00	25,00
Fósforo	18,00	18,50
Flúor	0,10	0,15

Fonte: Portfólio da Bunge Fertilizantes S.A.

Tabela 5 – Solubilidade do fósforo em diferentes meios.

Solubilidade do fósforo (%)		
Meio	mínimo	Máximo
Ácido clorídrico(0,4%)	95	100
Ácido cítrico (2%)	90,0	96,0
Água	5,0	10,0

Fonte: Portfólio da Bunge Fertilizantes S.A.

#### IV – MÉTODOS APLICADOS

Na etapa inicial do projeto, foi realizada uma introdução aos métodos de preparação de amostras e separações de minerais aplicados nas atividades rotineiras da mina e também aos processos utilizados na usina de concentração do minério.

A metodologia adotada para a caracterização tecnológica das amostras consistiu na seleção e preparação das amostras em escala de bancada, seguindo os procedimentos rotineiros da empresa, como britagem, moagem, separação magnética de baixa intensidade por via úmida e classificação granulométrica com apoio a análise química por fluorescência de raios-X (Alves, 1999).

Complementarmente à metodologia rotineira de preparação de amostras da mina, foi desenvolvida uma etapa subsequente, a qual é enfocada neste trabalho de formatura, constituindo-se da separação física dos minerais através das propriedades de densidade (separação por líquido denso), suscetibilidade magnética (separador magnético Frantz) e posterior detalhamento da mineralogia apoiada em análises química/mineralógicas por Microscopia Eletrônica de Varredura com microanálise (MEV-EDS) para determinação da composição química e micromorfologia dos carbonatos, além de apoio analítico por Fluorescência de raios-X (XRF) e estereomicroscopia.

Para este trabalho complementar foram utilizadas as frações -48+100# do ensaio de classificação granulométrica, que representam dentro da distribuição granulométrica padrão de carbonatito cominuído na usina de beneficiamento, aquelas com conteúdo mais significativo de  $P_2O_5$ , além de apresentar bom comportamento quando submetidas aos processos de concentração mineral.

#### V – MATERIAIS UTILIZADOS

Na etapa de preparação das amostras, envolvendo redução de tamanho foi utilizado britador de mandíbulas (anexo 1, foto 1), moinho de disco (anexo 1, foto 2) e moinho com carga de bolas de ferro (anexo 1, foto 3). Para a separação magnética foi utilizado o

separador de baixo campo do tipo tambor (anexo 1, foto 4). Para homogeneização das amostras utilizou-se o quarteador do tipo "Jones" (anexo 1, foto 5). Para a classificação granulométrica fez-se o uso dos peneiradores e peneiras da série *tyler* (anexo 1, foto 6) e para as separações minerais foram utilizados os seguintes materiais: líquido denso (tetrabromoetano,  $d=2,96\text{g}/\text{cm}^3$ ) (anexo 1, foto 7) e separador magnético Frantz Isodinâmico, modelo L-1 (anexo 1, foto 8).

Para as descrições minerais bem como para estimativa de proporções por contagem de grãos foi utilizada a lupa OLIMPUS TOKYO com fator de aumento 10x, pertencente à empresa Bunge Fertilizantes S.A.

Os estudos de investigação mineralógica por Microscopia Eletrônica de Varrredura (MEV) foram efetuados no Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Para tais estudos, foi utilizado o MEV marca LEICA, modelo STEREOSCAN 440 acoplado ao sistema de análise de imagem por espectrômetro de dispersão de energia (EDS) modelo OXFORD LINK GEM (anexo 1, foto 9).

## VI – CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E GEOMÉTRICAS DA UNIDADE CFL

Em planta a unidade possui forma oval alongada segundo NE/SW com a terminação NE truncada por uma zona de falha NW/SE; a média do diâmetro menor é de 82 m e o eixo maior possui aproximadamente 180 m. Atualmente encontra-se aflorante no nível -70 da cava e estima-se sua continuidade, segundo o modelo geológico geométrico atualizado em novembro de 2003, até o nível -400. Localiza-se na porção sul da mina em contato a NE pela zona de falha e o restante é rodeado pela unidade carbonatito calcítico sul (figuras 4 e 5).

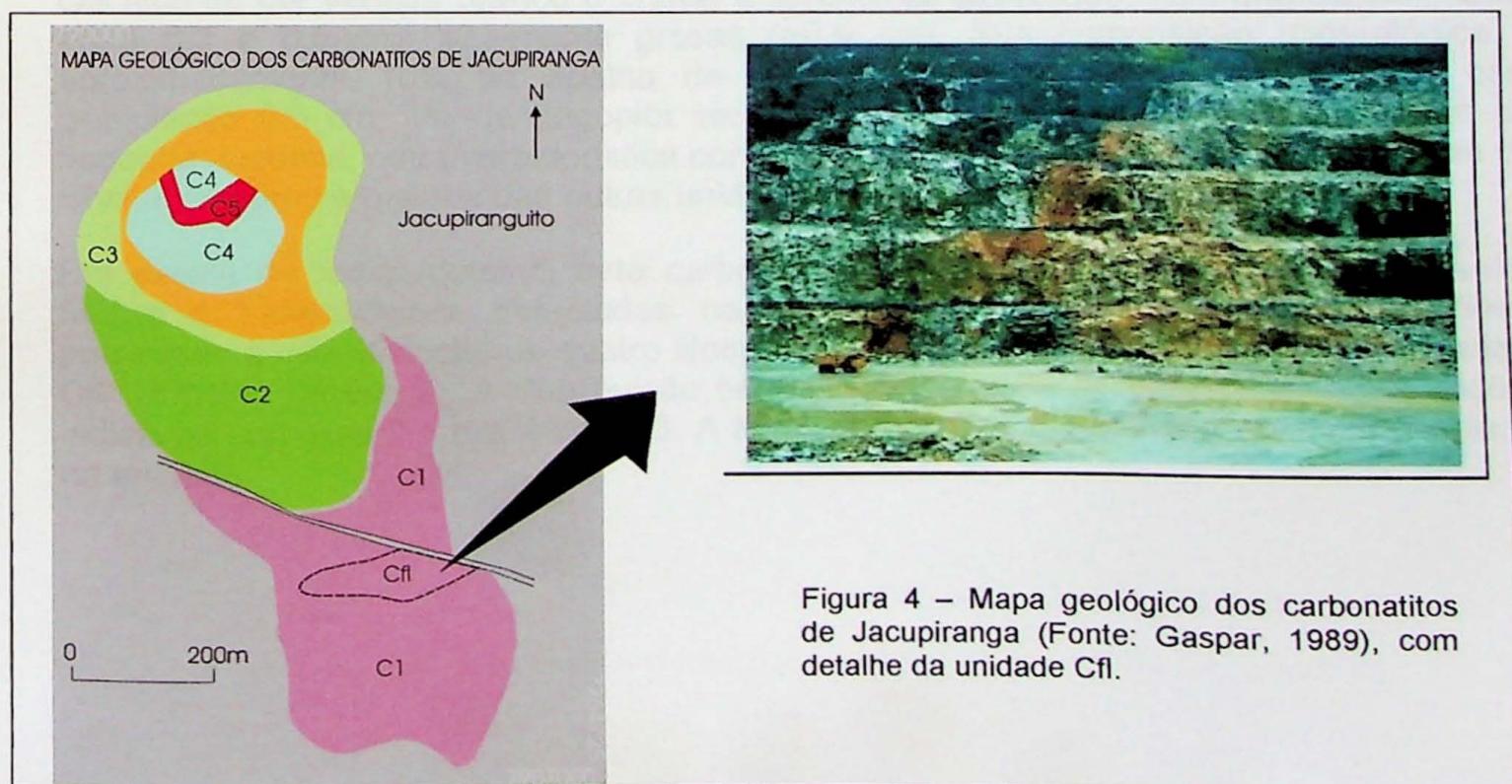


Figura 4 – Mapa geológico dos carbonatitos de Jacupiranga (Fonte: Gaspar, 1989), com detalhe da unidade Cfl.

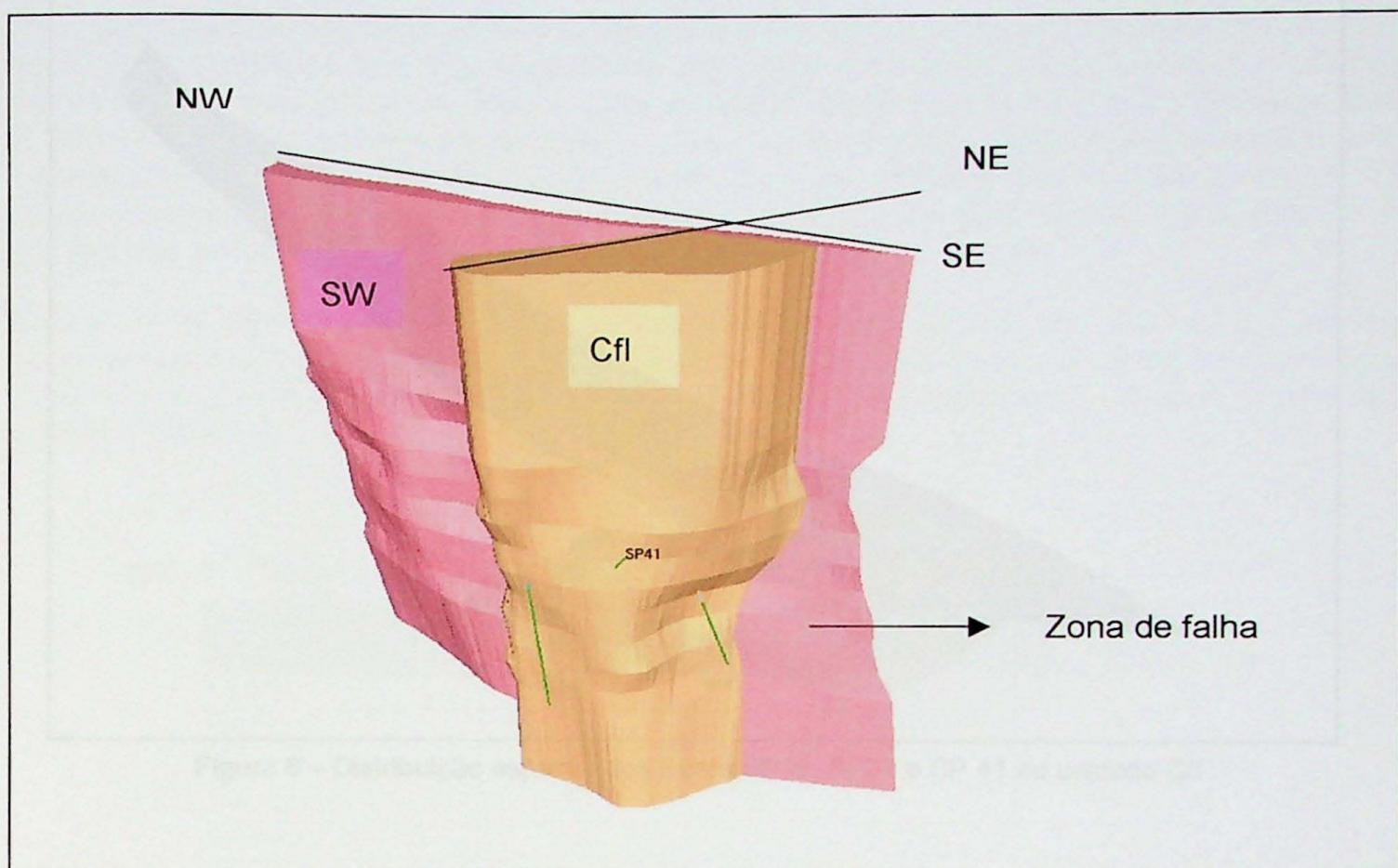


Figura 5 – Imagem 3D das unidades Cfl e zona de falha geradas a partir do software Datamine.

Em termos litológicos, a unidade Cfl corresponde, de um modo geral, a um carbonatito calcítico de cor variada branco e creme a levemente alaranjado, com granulação média entre 0,2 e 0,5 cm, localmente grosso ( $>0,5$  cm). Sua composição mineralógica é aproximadamente 10% de apatita de 0,1 cm; 10% de magnetita subédrica com granulação 0,5 cm; 1% de flogopita verde euédrica e presença de sulfetos. Além da flogopita euédrica, outra característica conspícuia desta unidade é a escassez/ausência de olivina, comum na maioria das outras unidades de carbonatitos.

Em escala de maior detalhe, este carbonatito apresenta diferenças nas propriedades físicas e mineralógicas detectadas nas descrições sistemáticas dos testemunhos, permitindo a diferenciação de quatro litotipos: Cfl branco a cinza, Cfl creme, Cfl laranja e Cfl vermelho (anexo 2). A distribuição relativas deles pode ser visualizada nas seções indicadas na figura 7 e nos anexos 3. A figura 6 mostra a distribuição espacial dos furos na unidade.

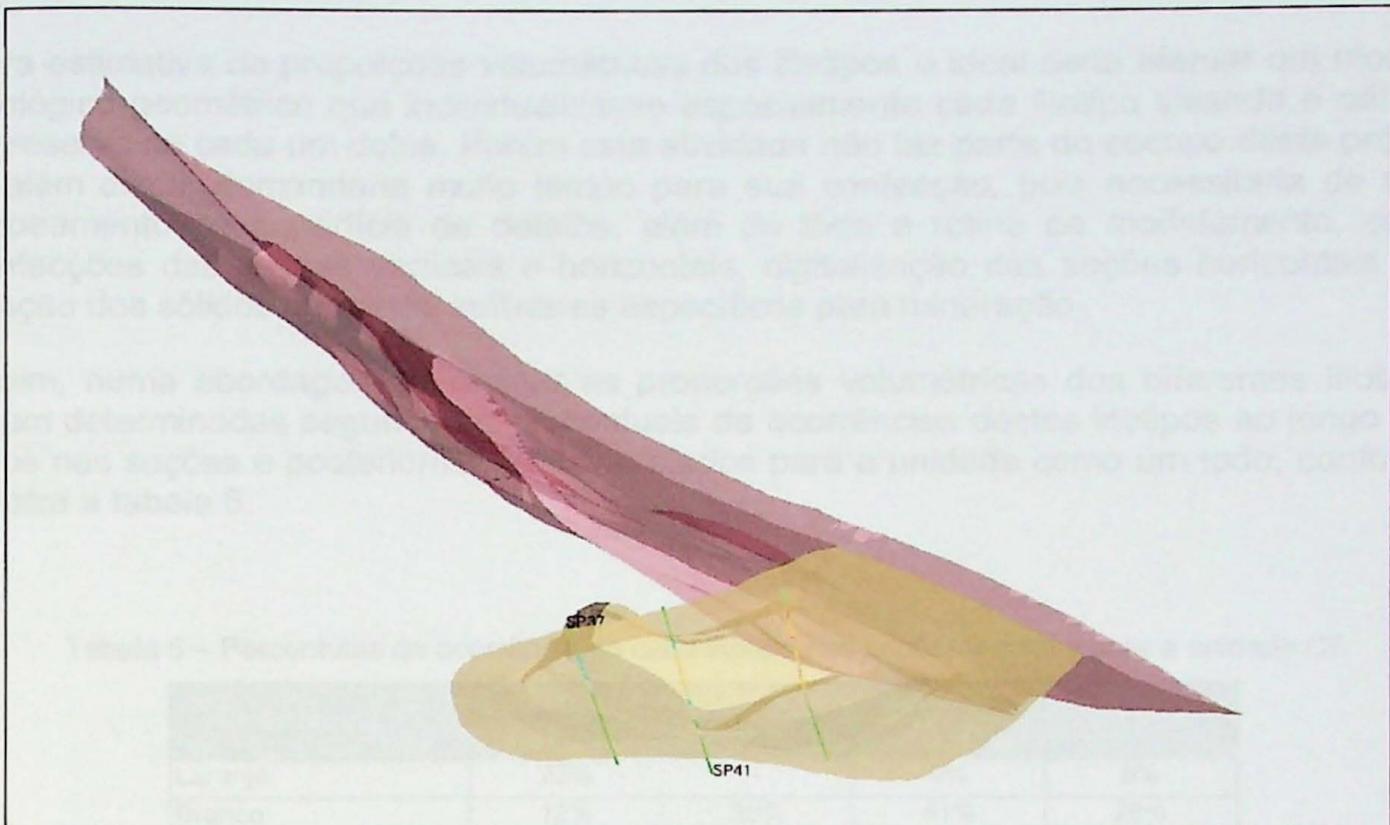


Figura 6 – Distribuição espacial dos Furos SP36, SP37 e SP 41 na unidade Cfl

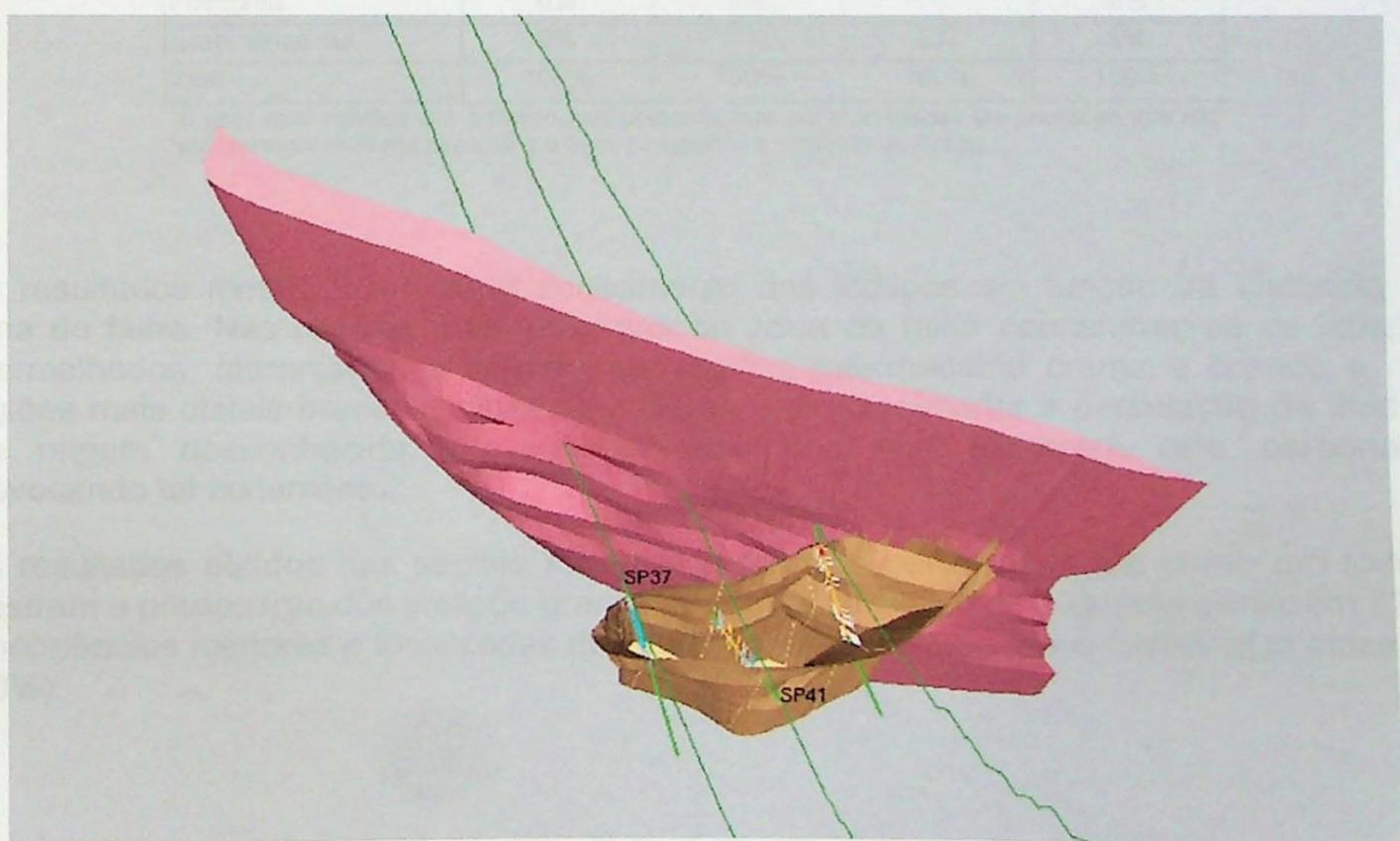


Figura 7 – Distribuição espacial das seções ao longo dos furos SP 36, SP 37 e SP 41.

Para estimativa de proporções volumétricas dos litotipos o ideal seria efetuar um modelo geológico geométrico que individualizasse espacialmente cada litotipo visando o cálculo da reserva de cada um deles. Porém esta atividade não faz parte do escopo deste projeto e, além disso, demandaria muito tempo para sua confecção, pois necessitaria de uma mapeamento de superfície de detalhe, além de toda a rotina de modelamento, como confecções das seções verticais e horizontais, digitalização das seções horizontais e a criação dos sólidos utilizando softwares específicos para mineração.

Assim, numa abordagem preliminar as proporções volumétricas dos diferentes litotipos foram determinadas segundo os percentuais de ocorrências destes litotipos ao longo dos furos nas seções e posteriormente extrapolados para a unidade como um todo, conforme mostra a tabela 6.

Tabela 6 – Percentuais de ocorrência de cada litotipo nas seções e o total para a unidade Cfl

Litotipos	Furos de sondagem na unidade Cfl			Cfl total
	SP 36	SP 37	SP 41	
Laranja	23%	-	0%	8%
Branco	12%	38%	41%	28%
Branco a cinza	-	62%	20%	23%
Vermelho	14%	-	-	5%
Creme	51%	-	39%	31%
Foscorito	0%	0%	-	0%
Carb. cinza sul	0%	1%	0%	5%
total	100%	100%	100%	100%

\*o valor zero significa que o litotipo está presente, mas em quantidades tão pequenas que não tem representatividade espacial e o traço (-) significa a ausência do litotipo.

Os resultados mostram um certo zoneamento dos litotipos em função da distância da zona de falha. Nas regiões mais próximas da zona de falha concentram-se os litotipos avermelhados, alaranjados e creme; nas regiões intermediárias creme e branco e nas regiões mais distais branco a cinza. Isto deve-se provavelmente a percolação de fluidos, de origem desconhecida, provenientes da falha que alteraram este carbonatito provocando tal zonamento.

Os resultados obtidos nas seções foram extrapolados para a unidade como um todo e mostram o predomínio dos litotipos branco, branco a cinza e creme (juntos perfazem 82%) e ocorrências menores e localizadas dos litotipos laranja, vermelho e carbonatito cinza sul (18%).

## VII – CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA APLICADA A TECNOLOGIA MINERAL

A caracterização tecnológica é realizada através de uma série de ensaios e operações laboratoriais objetivando concentrar espécies minerais com vistas ao detalhamento de suas propriedades (Sant'Agostino, 1997). Caracterizar um minério significa aplicar técnicas para a determinação dos constituintes mineralógicos e avaliar as relações de associação entre os minerais presentes.

Neste contexto de mineralogia aplicada à tecnologia mineral, este trabalho visou determinar:

- composição química dos carbonatos;
- origem da coloração avermelhada na unidade em foco neste trabalho (Cfl), através da determinação das associações minerais e estudo da cristaloquímica do carbonato;
- assembléia mineralógica e formas de associações mineralógicas (estudo por microscopia) da unidade Cfl;

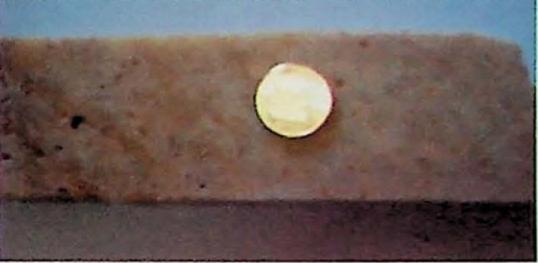
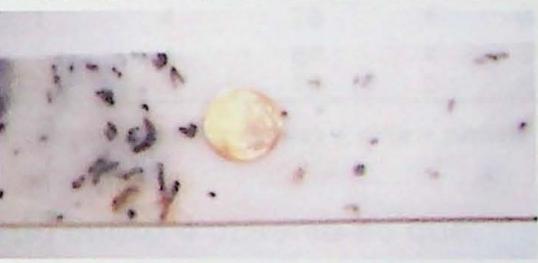
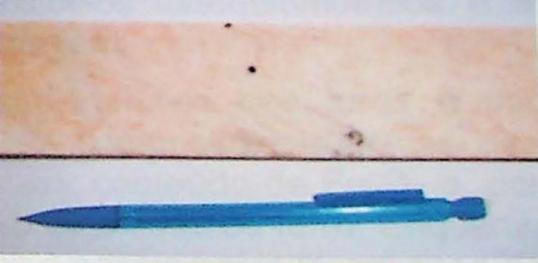
### VII.1 – Seleção das amostras

Os critérios de seleção adotados para seleção das amostras foram os seguintes:

- representatividade espacial - intervalos de testemunho de sondagem superiores a 10 m (compatível com a escala de lavra);
- localização espacial das amostras dentro do domínio litológico em questão;
- representatividade das propriedades físicas e mineralógicas da unidade.

De acordo com estes critérios foram selecionados seis intervalos de testemunhos de sondagem para a realização dos trabalhos, apresentados na tabela 7. As descrições macroscópicas destes intervalos de furos de sondagem encontram-se no anexo 4.

Tabela 7 – Características das amostras selecionadas.

Amostra	Testemunho de sondagem	Intervalos selecionados	Litotipo	Fotos do intervalo do testemunho
SP36-01	SP 36	30 a 40 m	creme+laranja+vermelho	
SP36-02	SP 36	60 a 70 m	creme	
SP37- 01	SP 37	25 a 40 m	branco a cinza	
SP37-02	SP 37	65 a 80 m	branco	
SP41-01	SP 41	85 a 100m	creme	
SP41-02	SP 41	105 a 120 m	creme	

## VII.2 – Composição química e mineralógica das amostras selecionadas

Com o objetivo de determinar a composição química total de cada amostra foi empregado o método de análise por fluorescência de raios-X em pastilha fundida com a determinação de oito óxidos ( $P_2O_5$ ,  $SiO_2$ ,  $CaO$   $Fe_2O_3$   $Al_2O_3$   $TiO_2$   $K_2O$ ), enxofre (S) e perda ao fogo (PF).

Os resultados da análises químicas segue na tabela 8. A mineralogia obtida por cálculos estequiométricos encontra-se na tabela 9 e as descrições macroscópica das amostras de testemunhos de sondagem encontram-se no anexo 4.

Tabela 8 – Composição química das amostras estudadas.

Amostra	Profundidade (m) de até	$P_2O_5$	MgO	$SiO_2$	$CaO$	$Fe_2O_3$	$Al_2O_3$	$TiO_2$	$K_2O$	S	PF
SP-36-01	30	40	3,44	2,31	0,12	49,1	5,69	0,27	0,15	0	0,19
SP36-02	60	70	5,19	2,25	0,22	49,1	5,01	0,11	0,12	0,06	0,38
SP-37-01	25	40	4,97	2,45	0,29	50,1	4,79	0,24	0,07	0,03	0,24
SP-37-02	65	80	4,61	2,57	0,35	50,0	4,09	0,26	0,03	0,04	0,21
SP-41-01	85	100	2,36	2,42	0,35	49,9	4,52	0,26	0,09	0,04	0,25
SP-41-02	105	120	4,22	2,36	0,42	49,5	5,51	0,22	0,13	0,04	0,35
											36,1

Tabela 9 – Mineralogia com base em cálculos estequiométricos das amostras selecionadas.

AMOSTRA	LITOLOGIA	apatita	sulfetos	silicatos	óxidos Fe	carbonatos		total
						calcita	dolomita	
SP 36-01	carbonatito calcítico vermelho + laranja + creme	8	0,4	0	6	80	5	85
SP36-02	carbonatito calcítico creme	13	0,8	1	5	77	4	81
SP37-01	carbonatito calcítico branco a cinza	12	0,5	1	5	77	5	82
SP37-02	carbonatito calcítico branco	11	0,5	1	4	78	5	83
SP41-01	carbonatito calcítico creme	6	0,6	1	4	84	4	88
SP41-02	carbonatito calcítico creme	10	0,8	1	5	79	3	83

Obs.: silicatos = flogopita + olivina + serpentina + piroxênio; óxidos de ferro = magnetita + goethita + limonita; sulfetos = pirita + pirrotita + sulfeto de cobre

A partir da avaliação dos dados obtidos nas tabelas 8 e 9 e no anexo 4 observa-se que:

- há coerência na mineralogia obtida a partir de cálculos estequiométricos e a proveniente das descrições dos testemunhos de sondagem;
- diferenças de cores e mineralógicas obtidas nas descrições dos furos e por estequiometria refletem, em parte, em diferenças na composição químicas das mesmas. Por exemplo a amostra SP 36-01 tem o maior conteúdo de  $Fe_2O_3$  e, por sua vez, é a mais vermelha e tem a maior % em peso de óxidos de ferro. Enquanto que a SP 37-02, que tem o menor conteúdo, é branca e possui baixa % em peso de óxidos de ferro. Observa-se, desta forma, correlação entre conteúdo de  $Fe_2O_3$ , cor, e presença de óxidos de ferro
- todas as amostras apresentam teor de MgO (2,25 a 2,57%) baixo em relação as demais unidades litológicas da mina, sendo que estes valores atendem a especificação para a fabricação do foscálcio (<3,5%);
- todas as amostras são escassas (1%) em silicatos em geral (flogopita, olivina, serpentina e piroxênio) e em sulfetos;

- independentemente da coloração há uma ampla variação nos valores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, também verificados nos diferentes percentuais de apatita (6 a 13%). As amostras de coloração creme, por exemplo, apresentam os teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e apatita máximo (5,19 % e 13% respectivamente) e mínimo (2,36% e 6% respectivamente) dentre as amostras estudadas;
- a amostra SP41-01 não pode ser considerada minério, segundo o *cut off* praticado atualmente na mina de Cajati de 3% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

### VII.3 - Preparação das amostras

As amostras tal qual de testemunhos de sondagem foram submetidas a um britador de mandíbulas onde foram reduzidas a um diâmetro menor que 5,0 mm (peneira 4# da série *Tyler*).

A amostra passou por três quarteamentos (respectivamente 1.500g, 1.000g e 500g), sendo que a alíquota obtida no último quarteamento foi subdividida em 50,0g e pré-moída no moinho de anéis vibratórios, a partir da qual é homogeneizada. Da alíquota pré-moida, separa-se 30,0g à qual se adiciona 1g de amido gerando a amostra que é pulverizada no moinho de anéis e prensadas formando a pastilha para análise por fluorescência de raios-X (anexo 5.2)

Após a etapa de britagem, as amostras foram moídas via úmida em moinho de jarros com carga de bolas de vários tamanhos, até serem obtidas partículas com diâmetros passante na malha com abertura de 0,833 mm (20# da série *Tyler*). As partículas com diâmetro maior que esta malha, foram moídas no moinho de disco até atingirem o tamanho necessário (anexo 5.3).

A operação de separação magnética é aplicada na polpa obtida da moagem, que é diluída e passada por um campo magnético de baixa intensidade (2,5 A), em um tambor magnético gerando os produtos magnéticos e não magnéticos. As amostras moídas e sem o produto magnetita são peneiradas em malha com abertura de 0,037mm (400# na série *Tyler*). Este procedimento é denominado deslamagem (anexo 5.4). O material passante nesta malha é a lama e o retido é classificado em frações granulométricas (anexo 5.5).

O produto magnético separação magnética, o passante na malha 0,037 mm da deslamagem, os retidos nas malhas 0,297 e 0,074 mm e o passante em 0,074 mm da classificação granulométricas foram submetidos à análise química por fluorescência de raios-X.

#### VII.4 – Classificação granulométrica.

Esta atividade compreendeu a separação de frações granulométricas das amostras selecionadas por meio de peneiramento a úmido.

A classificação granulométrica por peneiramento foi efetuada em peneiras com aberturas de 0,297, 0,149, 0,074 e 0,037 mm (respectivamente 48, 100, 200 e 400 # da série Tyler) (anexos 5.4 e 5.5).

O balanço de massa e a distribuição dos principais óxidos nas amostras encontram-se na tabela 10. Os gráficos de distribuição em massa no passante e dos principais óxidos nas frações granulométricas encontram-se, respectivamente, nas figuras 8 e 9.

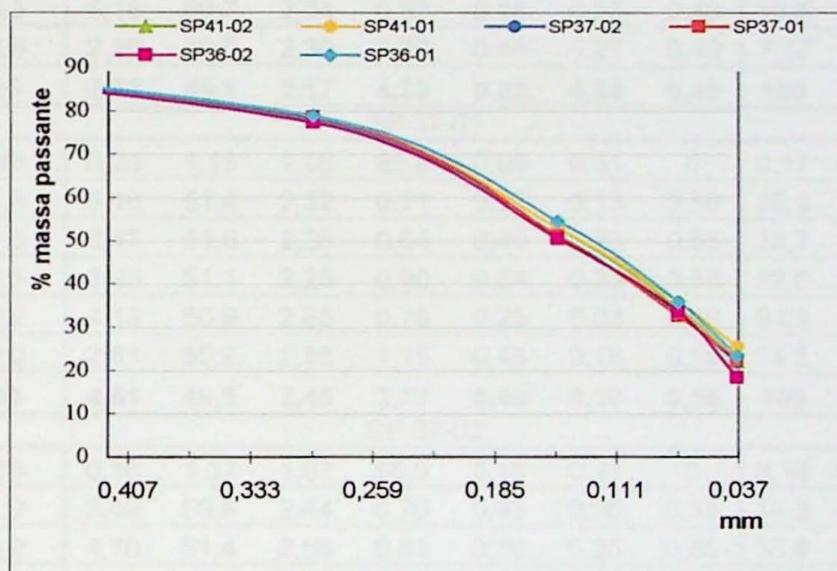


Figura 8 – Gráfico de distribuição em massa no passante nas faixas granulométricas para as diferentes amostras.

A figura 8 mostra que as diferentes amostras moídas segundo um procedimento padronizado apresentam distribuição granulométrica bastante similar. Cerca de 79% do material das amostras se situa abaixo de 0,297 mm. A fração entre 0,297 e 0,149 mm tem a maior representatividade em massa (~30%), enquanto que a fração entre 0,037 e 0,074 mm tem a menor representatividade (~13%). A fração mais grossa, acima de 0,297 mm, representa em torno de 21%, enquanto as mais finas, abaixo de 0,037 mm, perfazem 22% em média das massas das amostras.

Tabela 10 – Balanço de massa e distribuição dos principais óxidos nas frações.

Fração/produto	% peso no minério	teores (%)						distribuição no minério (%)					
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SrO	P2O5	CaO	MgO	Fe2O3	SiO2
SP 36-01													
magnetita	3,44	0,12	1,12	0,82	88,8	0,15	0,59	0	0,12	0,08	1,20	62,73	1,41
-0,84+0,297 mm	21,0	1,44	50,7	2,23	2,74	0,48	0,25	0,54	8,65	21,7	19,9	11,8	27,5
-0,297+0,149 mm	24,5	4,31	50,9	2,45	1,69	0,26	0,26	0,51	30,3	25,5	25,6	8,53	17,5
-0,149+0,074 mm	18,7	5,23	51,0	2,23	1,69	0,23	0,17	0,50	28,1	19,5	17,8	6,52	11,8
-0,074+0,037 mm	12,4	4,06	50,8	2,53	1,83	0,19	0,12	0,51	14,4	12,8	13,3	4,66	6,43
-0,037 mm	19,9	3,23	50,4	2,61	1,40	0,65	0,27	0,55	18,4	20,5	22,1	5,74	35,4
<b>total calculado</b>	<b>100</b>	<b>3,49</b>	<b>49,1</b>	<b>2,35</b>	<b>4,86</b>	<b>0,37</b>	<b>0,24</b>	<b>0,51</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
SP 36-02													
magnetita	3,81	0,20	1,93	1,21	85,7	0,06	0,43	0	0,16	0,15	2,13	75,3	0,80
-0,84+0,297 mm	22,6	2,42	51,1	2,23	1,14	0,55	0,25	0,57	11,5	23,5	23,3	6,0	43,6
-0,297+0,149 mm	27,0	6,80	51,9	2,18	0,67	0,17	0,21	0,54	38,5	28,6	27,1	4,19	16,6
-0,149+0,074 mm	16,8	7,46	51,3	1,96	0,69	0,12	0,2	0,49	26,2	17,5	15,2	2,67	7,05
-0,074+0,037 mm	15,3	5,18	50,7	2,34	0,82	0,16	0,23	0,48	16,6	15,8	16,5	2,89	8,57
-0,037 mm	14,5	2,36	49,0	2,36	2,70	0,46	0,27	0,43	7,17	14,5	15,8	9,04	23,4
<b>total calculado</b>	<b>100</b>	<b>4,78</b>	<b>49,1</b>	<b>2,17</b>	<b>4,33</b>	<b>0,29</b>	<b>0,24</b>	<b>0,49</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
SP 37-01													
magnetita	3,48	0,23	1,18	1,95	85,8	0,09	0,31	0	0,17	0,08	2,77	79,1	0,68
-0,84+0,297 mm	21,3	6,16	51,4	2,52	0,71	0,37	0,13	0,56	28,4	22,1	21,9	4,0	17,2
-0,297+0,149 mm	27,6	6,47	51,6	2,36	0,64	0,40	0,23	0,55	38,7	28,8	26,7	4,68	24,1
-0,149+0,074 mm	18,5	3,00	51,1	2,25	0,90	0,84	0,33	0,58	12,0	19,1	17,0	4,42	33,9
-0,074+0,037 mm	10,2	4,13	50,9	2,85	0,75	0,25	0,06	0,59	9,09	10,4	11,8	2,02	5,53
-0,037 mm	19,0	2,81	50,8	2,56	1,15	0,45	0,18	0,58	11,5	19,5	19,8	5,78	18,6
<b>total calculado</b>	<b>100</b>	<b>4,61</b>	<b>49,5</b>	<b>2,45</b>	<b>3,77</b>	<b>0,46</b>	<b>0,20</b>	<b>0,55</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
SP 37-02													
magnetita	3,76	0,18	1,37	1,62	85,5	0,16	0,31	0	0,18	0,11	2,29	83,9	1,25
-0,84+0,297 mm	21,9	2,49	50,8	2,44	0,70	0,95	0,36	0,56	14,3	23,0	20,1	4,0	43,3
-0,297+0,149 mm	26,9	4,76	51,4	2,56	0,51	0,36	0,25	0,55	33,5	28,4	25,8	3,58	19,83
-0,149+0,074 mm	18,4	6,18	51,2	2,57	0,57	0,37	0,14	0,55	29,7	19,4	17,7	2,73	14,1
-0,074+0,037 mm	11,0	2,59	49,3	2,76	1,19	0,6	0,45	0,47	7,43	11,1	11,4	3,40	13,64
-0,037 mm	18,1	3,13	48,3	3,34	0,51	0,21	0,23	0,45	14,8	18,0	22,7	2,41	7,88
<b>total calculado</b>	<b>100</b>	<b>3,82</b>	<b>48,6</b>	<b>2,66</b>	<b>3,83</b>	<b>0,48</b>	<b>0,27</b>	<b>0,50</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
SP41-01													
magnetita	3,64	0,10	2,24	1,05	87,1	0,05	0,41	0	0,17	0,17	1,61	75,0	0,71
-0,84+0,297 mm	21,9	0,75	50,9	2,36	1,07	0,36	0,25	0,57	7,56	22,7	21,7	6,00	30,9
-0,297+0,149 mm	25,1	2,84	51,5	2,43	0,79	0,12	0,18	0,56	32,9	26,4	25,7	5,00	12,2
-0,149+0,074 mm	17,1	3,56	50,2	2,19	0,89	0,02	0,24	0,52	28,1	17,5	15,8	4,00	1,34
-0,074+0,037 mm	10,5	2,90	51,2	2,52	1,07	0,03	0,04	0,60	14,1	11,0	11,2	3,00	1,24
-0,037 mm	21,7	1,72	50,3	2,62	1,63	0,63	0,30	0,57	17,2	22,3	24,0	8,00	53,7
<b>total calculado</b>	<b>100</b>	<b>2,17</b>	<b>49,0</b>	<b>2,37</b>	<b>4,23</b>	<b>0,26</b>	<b>0,22</b>	<b>0,54</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
SP41-02													
magnetita	4,14	0,16	2,61	1,12	82,2	0,07	0,33	0,50	0,18	0,22	2,01	75,6	1,07
-0,84+0,297 mm	21,8	1,01	49,1	2,40	1,14	0,53	0,42	0,50	6,04	22,2	22,7	5,51	42,5
-0,297+0,149 mm	25,3	3,88	51,5	2,47	0,85	0,17	0,20	0,79	27,0	27,0	27,2	4,77	16,1
-0,149+0,074 mm	18,6	6,44	50,0	2,05	1,03	0,05	0,29	0,46	32,9	19,3	16,5	4,25	3,43
-0,074+0,037 mm	12,3	5,44	49,3	2,30	1,11	0,07	0,31	0,45	18,3	12,5	12,2	3,02	3,16
-0,037 mm	17,9	3,17	50,6	2,50	1,72	0,51	0,23	0,55	15,6	18,8	19,4	6,84	33,7
<b>total calculado</b>	<b>100</b>	<b>3,64</b>	<b>48,3</b>	<b>2,31</b>	<b>4,50</b>	<b>0,27</b>	<b>0,29</b>	<b>0,57</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

0 – abaixo do limite de detecção analítico

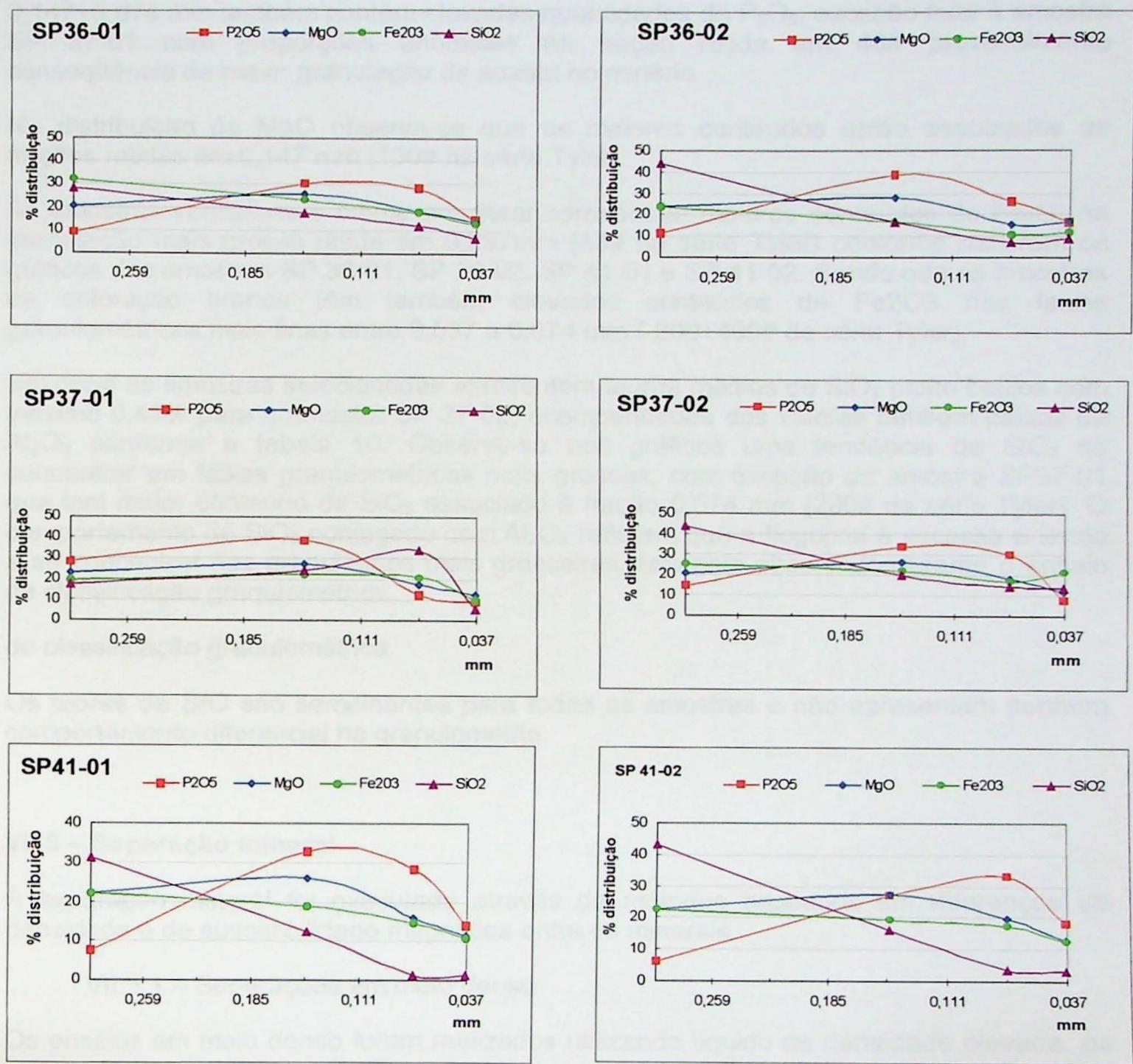


Figura 9 – Gráficos de distribuição dos principais óxidos por fração granulométrica.

A tabela 10 mostra que no produto magnetita o fosfato apresenta boa liberação na moagem efetuada (teores de  $P_2O_5$  baixos variando de 0,10 a 0,23%) sendo menor a liberação dos carbonatos (teores CaO 1,12 a 2,61% e MgO 0,82 a 1,95%). Por ser constituído essencialmente de magnetita, este produto apresenta altos teores de  $Fe_2O_3$ .

Nos gráficos da figura 9 pode-se observar que os maiores conteúdos de  $P_2O_5$  estão associados à fração 0,147 mm (100# na série Tyler), lembrando que amostra SP 41-01 tem teor abaixo do cut off atualmente praticado de 3%. Verifica-se, ainda, que a fração

0,147+0,074 mm também contém elevadas quantidades de  $P_2O_5$ , exceção feita à amostra SP 37-01 com proporções anômalas na fração retida em 48# provavelmente consequência de maior granulação de apatita no minério.

Na distribuição de MgO observa-se que os maiores conteúdos estão associados às frações retidas em 0,147 mm (100# na série Tyler).

As amostras vermelhas e creme em geral apresentam maiores conteúdos de  $Fe_2O_3$  na granulação mais grossa retida em 0,297mm (48# na série Tyler) conforme mostram os gráficos das amostras SP 36-01, SP 36-02, SP 41-01 e SP 41-02. Sendo que as amostras de coloração branca têm também elevados conteúdos de  $Fe_2O_3$  nas faixas granulométricas mais finas entre 0,037 a 0,074 mm (-200+400# da série Tyler).

Em geral as amostras selecionadas apresentam teores médios de  $SiO_2$  muito baixos com máximo 0,48% para a amostra SP 37-02, acompanhados dos valores também baixos de  $Al_2O_3$  conforme a tabela 10. Observa-se nos gráficos uma tendência de  $SiO_2$  se concentrar em faixas granulométricas mais grossas, com exceção da amostra SP37-01 que tem maior conteúdo de  $SiO_2$  associado à fração 0,074 mm (200# da série Tyler). O comportamento de  $SiO_2$  conjugado com  $Al_2O_3$  refletem que a flogopita é escassa e tende a se concentrar nas granulações mais grosseiras, fato este observado durante o ensaio de classificação granulométrica.

de classificação granulométrica.

Os teores de  $SrO$  são semelhantes para todas as amostras e não apresentam nenhum comportamento diferencial na granulometria.

## VII.5 – Separação mineral

A separação mineral foi executada através de métodos baseados em diferenças de densidade e de suscetibilidade magnética entre os minerais.

### VII.5.1 – Separações em meio denso

Os ensaios em meio denso foram realizados utilizando líquido de densidade elevada, no caso o Tetrabromoetano (TBE), com densidade  $2,96g/cm^3$  visando obter como produto flutuado calcita, dolomita e flogopita e como afundado sulfeto, magnetita, apatita e olivina (tabela 11).

Tabela 11 – Densidade relativa dos minerais presentes no carbonatito de Cajati

PRODUTO	MINERAIS	DENSIDADE ( $g/cm^3$ )
FLUTUADO	Calcita ( $CaCO_3$ )	2,72
	Dolomita ( $CaMg(CO_3)_2$ )	2,85
	Flogopita ( $KMg_3Si_3AlO_{10}(FOH)_2$ )	2,86
	Tetrabromoetano (TBE)	2,96
AFUNDADO	Apatita ( $Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)$ )	3,15 a 3,20
	Olivina ( $Mg_2SiO_4$ )	3,27 a 4,37
	Magnetita ( $Fe_3O_4$ )	5,18
	Pirita ( $FeS_2$ )	5,02
	Pirrotita ( $Fe_{1-x}S$ )	4,58 a 4,65
	Calcopirita ( $CuFeS_2$ )	4,10 a 4,30

Os resultados de balanço de massa e de análise química desses produtos são apresentados, a seguir, na tabela 12.

Tabela 12 – Balanço de massa e distribuição dos principais óxidos nos produtos flutuados e afundados.

Amostra	Produto	% peso na fração	% peso na amostra	teores (% em peso)					distribuição na fração (%)					distribuição na amostra (%)				
				P2O5	CaO	MgO	Fe2O3	SiO2	P2O5	CaO	MgO	Fe2O3	SiO2	P2O5	CaO	MgO	Fe2O3	SiO2
SP-3601	Flutuado	88,1	21,6	0,11	51,2	2,72	0,62	0,25	2,25	88,6	97,6	32,4	84,1	0,68	22,6	25,0	2,76	14,7
	Afundado	11,9	2,92	35,3	48,9	0,50	9,58	0,35	97,7	11,4	2,42	67,6	15,9	29,6	2,91	0,62	5,77	2,78
	Total	100	24,5	4,30	50,9	2,46	1,69	0,26	100	100	100	100	100	30,3	25,5	25,6	8,53	17,5
SP-3602	Flutuado	83,1	22,4	0,17	51,8	2,54	0,40	0,18	2,08	82,8	97,0	49,5	85,5	0,80	23,7	26,3	2,07	14,2
	Afundado	16,9	4,56	39,4	52,8	0,39	2,01	0,15	97,9	17,2	3,03	50,5	14,5	37,7	4,91	0,82	2,12	2,41
	Total	100	27,0	6,80	52,0	2,18	0,67	0,17	100	100	100	100	100	38,5	28,6	27,1	4,19	16,6
SP-3701	Flutuado	85,1	23,5	0,85	51,6	2,58	0,20	0,34	11,2	85,2	93,0	26,6	72,2	4,33	24,5	24,8	1,24	17,4
	Afundado	14,9	4,10	38,7	51,5	1,12	3,16	0,75	88,8	14,8	7,04	73,4	27,8	34,4	4,26	1,88	3,44	6,70
	Total	100	27,6	6,47	51,6	2,36	0,64	0,40	100	100	100	100	100	38,7	28,8	26,7	4,68	24,1
SP-3702	Flutuado	89,8	24,2	0,95	51,3	2,74	0,24	0,34	17,9	89,8	96,3	42,3	86,0	6,00	25,5	24,8	1,51	17,0
	Afundado	10,2	2,74	38,4	51,5	0,94	2,89	0,49	82,1	10,2	3,74	57,7	14,0	27,5	2,90	0,97	2,07	2,78
	Total	100	26,9	4,76	51,3	2,56	0,51	0,36	100	100	100	100	100	33,5	28,4	25,8	3,6	19,8
SP-4101	Flutuado	92,5	23,2	0,07	51,6	2,58	0,55	0,12	2,28	92,7	98,1	64,3	89,7	0,75	24,5	25,2	3,22	10,9
	Afundado	7,48	1,88	37,1	50,5	0,61	3,77	0,17	97,7	7,33	1,88	35,7	10,3	32,1	1,94	0,48	1,79	1,26
	Total	100	25,1	2,84	51,5	2,43	0,79	0,12	100	100	100	100	100	32,9	26,4	25,7	5,00	12,2
SP-4102	Flutuado	90,0	22,8	0,08	51,6	2,70	0,51	0,18	1,86	90,0	98,2	57,8	93,6	0,50	24,4	26,7	2,76	15,1
	Afundado	10,0	2,54	38,0	51,2	0,45	3,34	0,11	98,1	10,0	1,82	42,2	6,37	26,5	2,69	0,50	2,01	1,03
	Total	100	25,3	3,88	51,5	2,47	0,79	0,17	100	100	100	100	100	27,0	27,0	27,2	4,77	16,1

A análise da tabela 12 indica que o produto flutuado corresponde em média a 88 % das frações e 23% da amostra total e o afundado a 12% das frações e 3% da amostra total da amostra total. Esta constatação reflete a composição mineralógica do carbonatito em questão, no qual carbonatos somam em média 85 a 95% da rocha.

No produto flutuado além dos carbonatos e micas esperados, verificou-se a presença de pouquíssima quantidade de apatita, sulfeto e magnetita na forma de partículas mistas, observadas por estereomicroscopia (anexo 6) e indicadas pelas análises químicas. (tabela 11).

#### VII.5.2 – Separações eletromagnéticas.

Os produtos flutuados foram submetidos à separação magnética de alto campo com o aparelho Frantz isodinâmico, visando separar os carbonatos da flogopita. Este procedimento gerou mais dois produtos: flutuado não magnético (FLNM) flutuado magnético (FLM)

A composição química do FLNM foi obtida por análise (tabela 12) e o FLM através de balanço metalúrgico. Ambos foram analisados em estereomicroscópio por se tratarem de

produtos que contêm as partículas de carbonato objeto deste estudo. Esta análise foi realizada visando conhecer as formas de associação mineralógica das partículas de carbonato (anexo 6 e 7) bem como o grau de liberação dos mesmos (anexo 8).

Tabela 13 – Balanço de massa e distribuição dos principais óxidos nos produtos flutuados magnéticos e não magnéticos.

Amostra	Produto	% peso na flutuado	% peso na amostra	teores (% em peso)					distribuição no flutuado (%)					distribuição na amostra (%)				
				P2O5	CaO	MgO	Fe2O3	SiO2	P2O5	CaO	MgO	Fe2O3	SiO2	P2O5	CaO	MgO	Fe2O3	SiO2
SP-3601	Mag.	2,02	0,44	2,07	26,7	37,5	7,97	8,09	37,9	1,05	27,8	25,9	65,0	0,26	0,24	6,94	0,72	9,56
	N mag	98,0	21,1	0,07	51,7	2,01	0,47	0,09	62,1	98,9	72,2	74,1	35,0	0,42	22,3	18,0	2,05	5,16
	Total	100	21,6	0,11	51,2	2,73	0,62	0,25	100	100	100	100	100	0,68	22,6	25,0	2,76	14,7
SP-3602	Mag.	1,50	0,34	0,83	51,1	39,3	4,997	5,47	7,29	1,48	23,2	18,7	45	0,06	0,35	6,1	0,39	6,45
	N mag	98,5	22,1	0,16	51,8	1,98	0,33	0,10	92,7	98,5	76,78	81,3	55	0,74	23,3	20,2	1,68	7,75
	Total	100	22,4	0,17	51,8	2,54	0,40	0,18	100	100	100	100	100	0,80	23,7	26,3	2,07	14,2
SP-3701	Mag.	0,88	0,21	-0,20	-11,2	62,0	5,71	24,6	-0,21	-0,19	21,3	25,2	64,5	-0,01	-0,05	5,28	0,31	11,2
	N mag	99,1	23,3	0,86	52,2	2,04	0,15	0,12	100	100	78,7	74,8	35,5	4,34	24,6	19,5	0,93	6,18
	Total	100	23,5	0,85	51,6	2,57	0,20	0,34	100	100	100	100	100	4,33	24,5	24,8	1,24	17,4
SP-3702	Mag.	1,56	0,38	-3,36	6,40	40,3	3,32	13,3	-5,50	0,19	23,0	21,7	61,8	-0,33	0,05	5,72	0,33	10,5
	N mag	98,4	23,8	1,02	52,0	2,13	0,19	0,13	105	99,8	77,0	78,3	38,2	6,33	25,5	19,1	1,19	6,52
	Total	100	24,2	0,95	51,3	2,72	0,24	0,33	100	100	100	100	100	6,00	25,5	24,8	1,51	17,0
SP-4101	Mag.	2,63	0,61	0,07	28,4	28,8	3,92	1,62	2,63	1,45	29,3	18,7	35,3	0,02	0,35	7,38	0,60	3,87
	N mag	97,4	22,6	0,07	52,2	1,88	0,46	0,08	97,4	98,6	70,7	81,3	64,7	0,73	24,1	17,8	2,61	7,08
	Total	100	23,2	0,07	51,6	2,59	0,55	0,12	100	100	100	100	100	0,75	24,5	25,2	3,22	10,9
SP-4102	Mag.	2,76	0,63	0,79	54,8	24,6	1,57	2,65	27,1	2,93	25,1	8,51	40,6	0,14	0,71	6,70	0,23	6,1
	N mag	97,2	22,1	0,06	51,5	2,08	0,48	0,11	72,9	97,1	74,9	91,5	59,4	0,37	23,6	20,0	2,52	9,0
	Total	100	22,8	0,08	51,6	2,70	0,51	0,18	100	100	100	100	100	0,50	24,4	26,7	2,76	15,1

O balanço de massa para os produtos da separação em Frantz (tabela 13) indicou que o produto não magnético corresponde a 98% em média do produto flutuado sendo que é constituído praticamente por partículas predominantemente liberadas de carbonatos (95 a 99%), fato verificado em análise mineralógica por estereomicroscopia e comprovado pelo aumento dos teores de CaO em relação ao produto flutuado. Este produto contém em média 75% do MgO do flutuado que corresponde em média a 24% do conteúdo total de MgO das amostras. Nota-se que 80% do Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> presente no produto flutuado está no não magnético provavelmente associado à calcita seja na sua estrutura cristalina ou em partículas mistas.

Os 2% restante da massa do produto flutuado, o magnético, são constituídos por partículas não liberadas de carbonato, apatita, flogopita, sulfetos e magnetita observadas por estereomicroscopia (anexos 6 e 8).

## VII.6 - Microscopia eletrônica e micro-análise.

No contexto da caracterização detalhada do carbonato para foscálcio, foram realizadas análises por microscopia eletrônica de varredura com sistema de micro-analises por espectrometria de raios-X por dispersão de energia (MEV-EDS) no Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT) do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Para essas análises foram selecionados concentrados de carbonatos (calcita e dolomita) referentes aos produtos flutuados não magnéticos (FLNM) e magnéticos (FLM), provenientes dos diferentes litotipos presentes na unidade litológica Cfl.

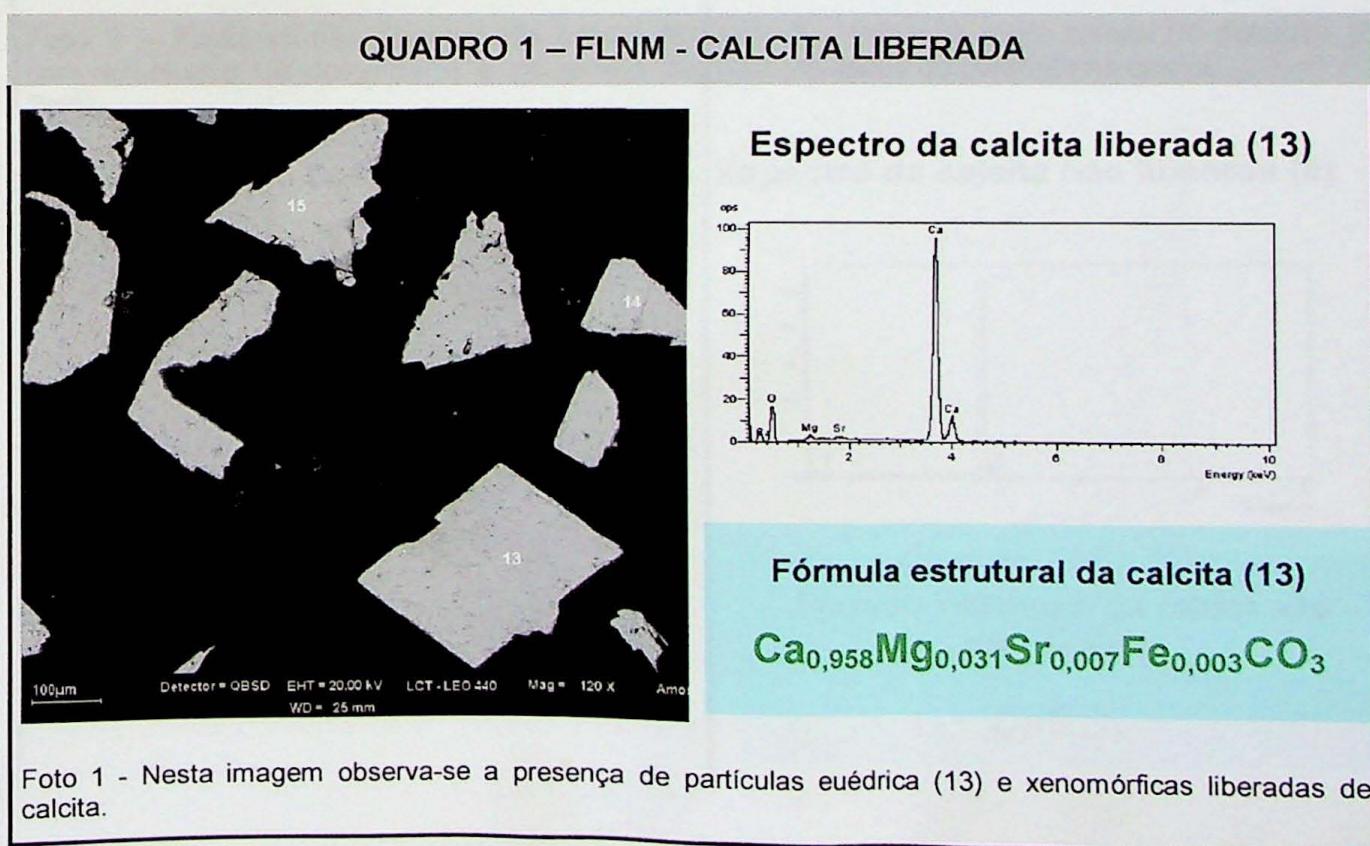
As análises tiveram como objetivo identificar as formas de associações entre calcita e dolomita e a relação do óxido de ferro com estes minerais bem como suas composições químicas; outra feição também investigada foi a presença de fases menores.

### VII.6.1 - Características das partículas de carbonatos

#### VI.6.1 a - Associações mineralógicas

Os estudos em estereomicroscopia do produto flutuado não magnético (FLNM) revelaram que as partículas liberadas de carbonato constituem 95 a 99% em volume deste produto e as análises em MEV mostraram que este carbonato corresponde quase exclusivamente a calcita.

As partículas liberadas de calcita são preferencialmente xenomórficas e subordinadamente hipdeomórficas (Quadro 1).



Já as partículas não liberadas de calcita do produto FLNM apresentam-se associadas com dolomita, óxidos e hidróxidos de Fe e outros minerais em menores quantidades como barita e carbonato de Sr.

A associação da calcita com a dolomita ocorre basicamente de duas formas: 30% das associações correspondem a partículas mistas (quadro 2, foto 2), predominando a fase calcita e 70% corresponde a inclusão/exsolução micrométrica (10 a 25 $\mu$ m) dentro da calcita (quadro 2, foto 3).

**QUADRO 2 – FLNM - ASSOCIAÇÃO CALCITA DOLOMITA**

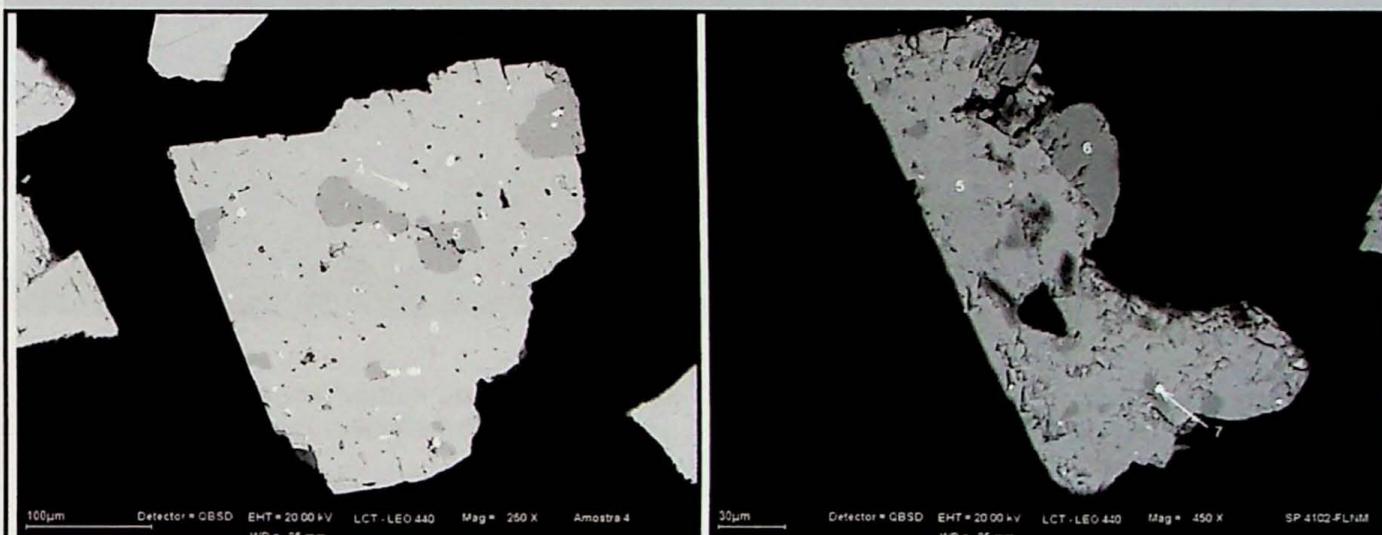


Foto 2 – Partícula não liberada de calcita (6) com exsolução de dolomita(5) e carbonato de Sr(4).

### **Espectro do carbonato de Sr (4)**

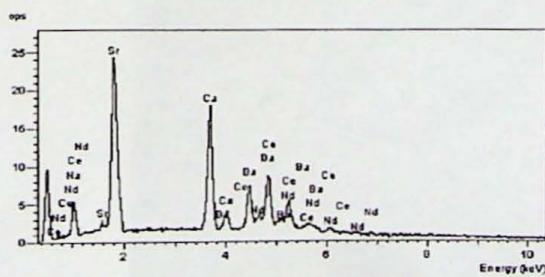
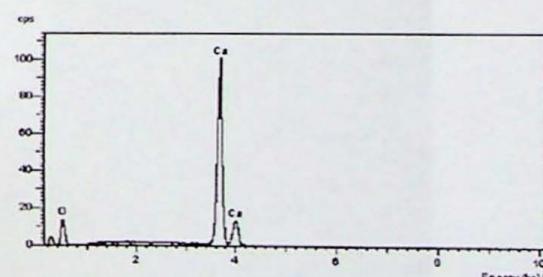


Foto 3 – Partícula mista calcita (5) dolomita (6) com inclusões de dolomita na calcita.

### **Espectro da calcita não liberada (6)**



## **Fórmula estrutural da calcita não liberada (6)**



Os óxidos e hidróxidos de Fe associam-se à calcita na forma de preenchimento de fraturas micrométricas ( $3\text{ }\mu\text{m}$ ) (quadro 3, foto 4), como crostas de recobrimento com  $30\mu\text{m}$  de espessura (quadro 3, foto 5) e como vênulas descontínuas com  $2\text{ }\mu\text{m}$  de comprimento (quadro 3, foto 6).

#### QUADRO 3 – FLNM - ASSOCIAÇÃO CALCITA- ÓXIDOS DE FERRO

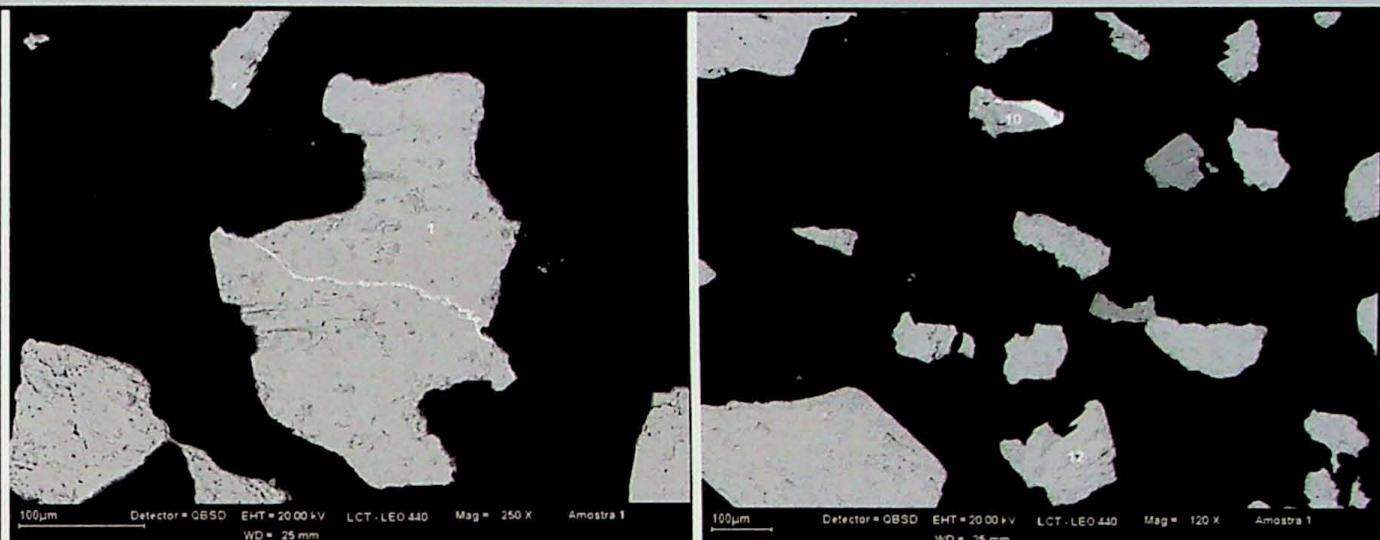


Foto 4 - Partícula xenomórfica de calcita (1) com fratura preenchida por óxido/hidróxidos de ferro.

Foto 5 – Mostra diversas partículas xenomórficas de calcita liberadas (11 e 12) e mista associada à crosta de recobrimento por óxido/hidróxidos de ferro.

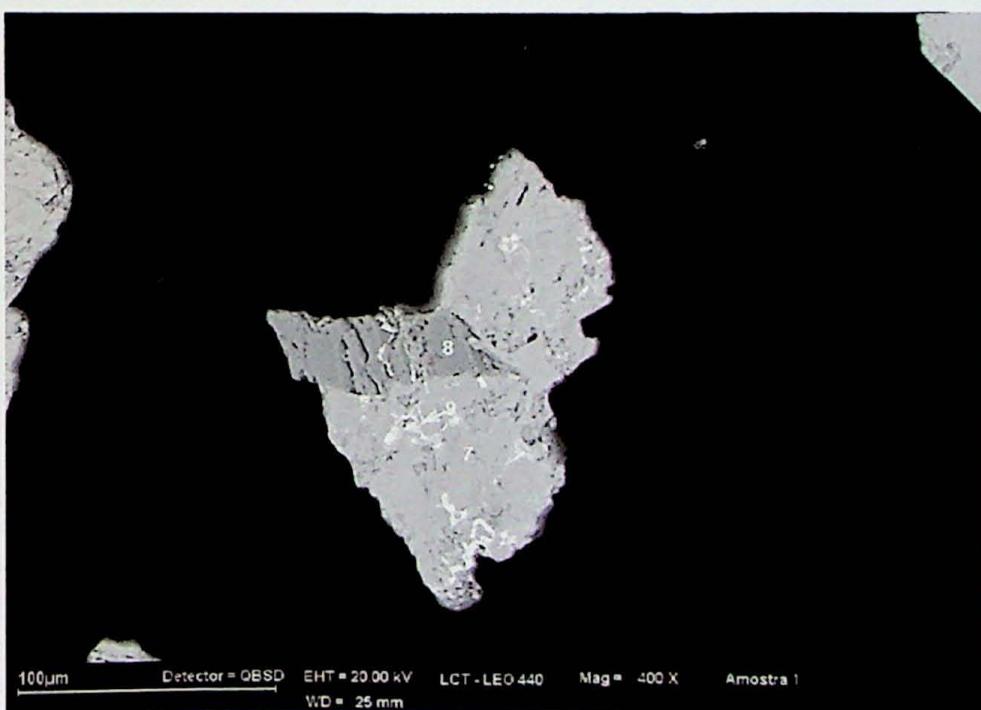
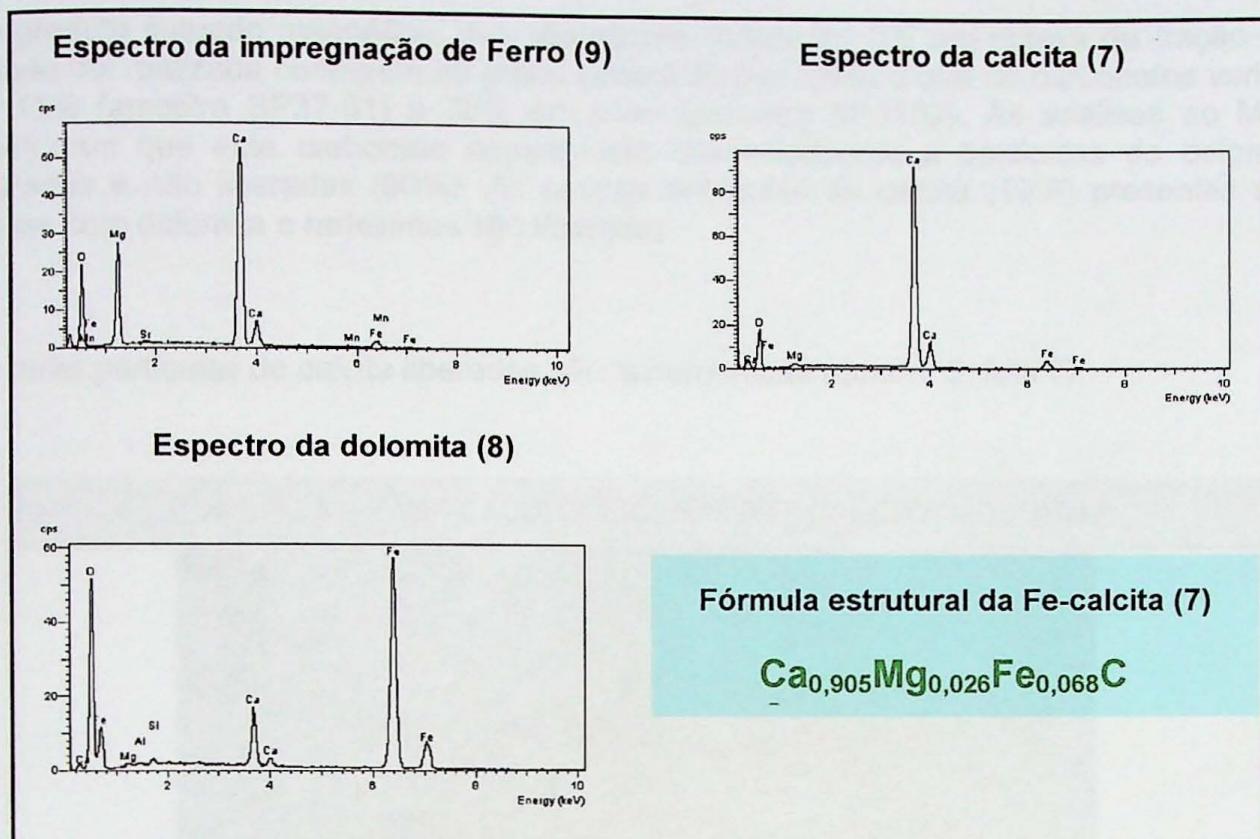
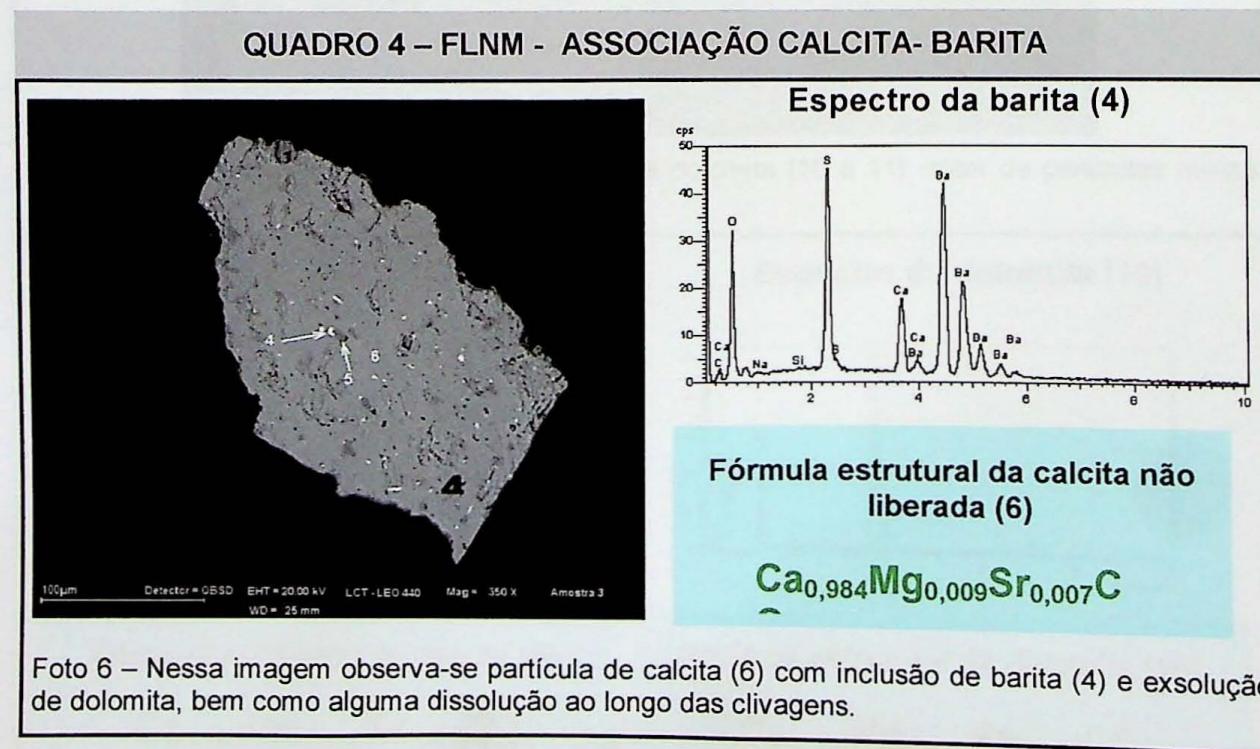


Foto 6 – Partícula mista de calcita (7) e dolomita (8) com impregnação de ferro de forma descontínua (9).



Outras formas de associações encontradas, foram inclusões de barita e carbonato de Sr com aproximadamente 3 µm de comprimento (quadro 4, foto 6).



No produto flutuado magnético, que representa menos de 3% em massa da fração em estudo, foi realizada contagem de grãos (anexo 8) que revelou que os carbonatos variam de 11% (amostra SP37-01) a 70% em peso (amostra SP4102). As análises ao MEV mostraram que este carbonato corresponde essencialmente a partículas de dolomita liberadas e não liberadas (90%). As poucas partículas de calcita (10%) presentes são mistas com dolomita e raríssimas são liberadas.

As raras partículas de calcita liberadas são xenomórficas (quadro 5, foto 7).

**QUADRO 5 – FLM - CALCITA LIBERADA E CALCITA-DOLOMITA**

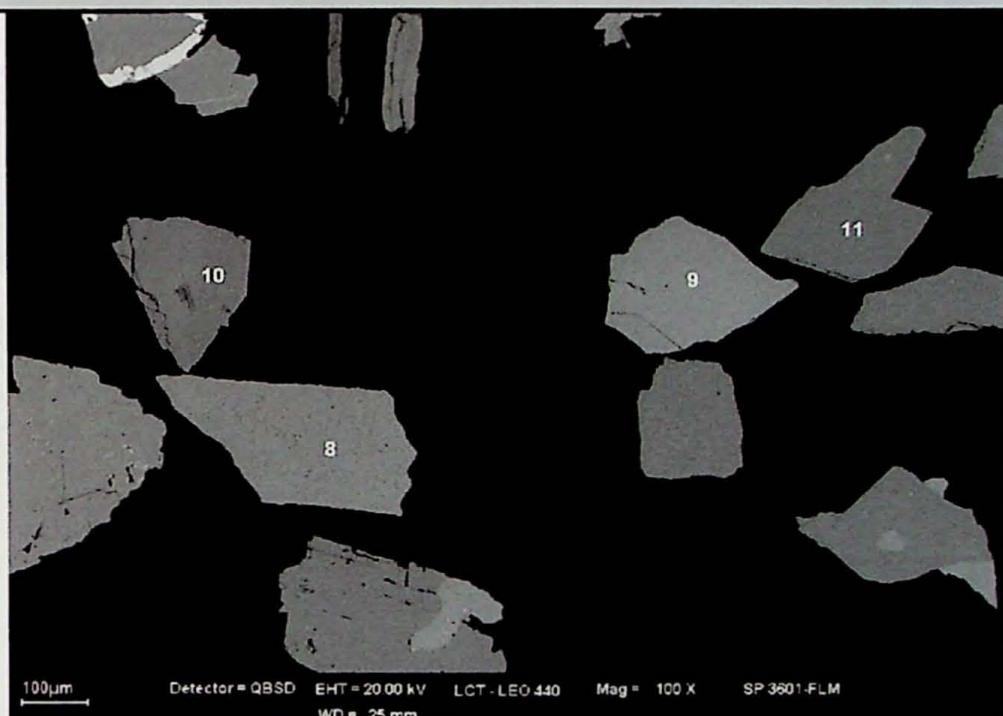
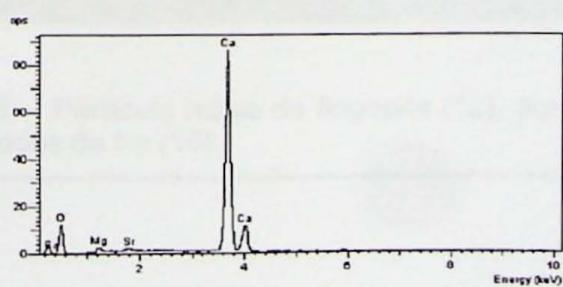
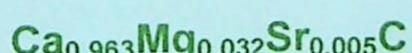


Foto 7 – Partículas liberadas de calcita (8 e 9) e dolomita (10 e 11), além de partículas mistas dolomita-calcita.

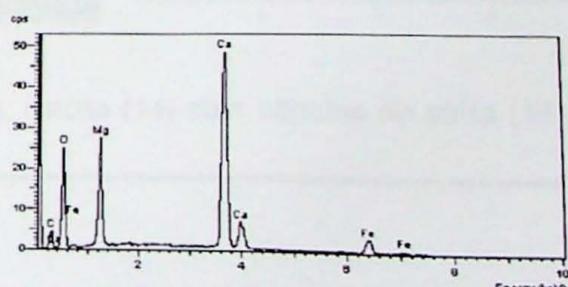
**Espectro da calcita (8)**



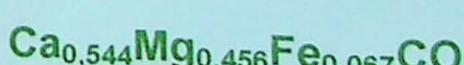
**Fórmula estrutural da calcita (8)**



**Espectro da dolomita (10)**



**Fórmula estrutural da dolomita (10)**



Já as partículas não liberadas associam-se também com outras fases minerais como óxidos/hidróxidos de ferro, flogopita, apatita, barita, pirita, ilmenita, rutilo e carbonato de Sr.

A forma de associação mineralógica em partículas mistas mais freqüente nos produtos FLM é entre calcita e dolomita (quadro 5), ora predominando uma ora outra. Na maioria dos casos predomina a fase dolomita em relação à calcita (50 a 200 $\mu\text{m}$ ). Com menor freqüência pode-se observar partículas mistas com três fases minerais: calcita/dolomita/carbonato de Sr, calcita/rutilo/ilmenita e ainda com quatro fases: calcita/dolomita/apatita/flogopita.

Os óxidos/hidróxidos de Fe associam-se à calcita na forma de preenchimento de vênelas micrométricas (2 $\mu\text{m}$ ) (quadro 6, foto 8) e cavidades (quadro 6, foto 9), película de recobrimento de grãos com espessura de 20 a 50 $\mu\text{m}$  (quadro 6, foto 10), bordas de inclusão de pirita variando de 5 a 20 $\mu\text{m}$  (quadro 6, foto 11) e como partículas mistas (quadro 6, foto 12)

#### QUADRO 6 – FLM – CALCITA – ÓXIDOS DE FERRO

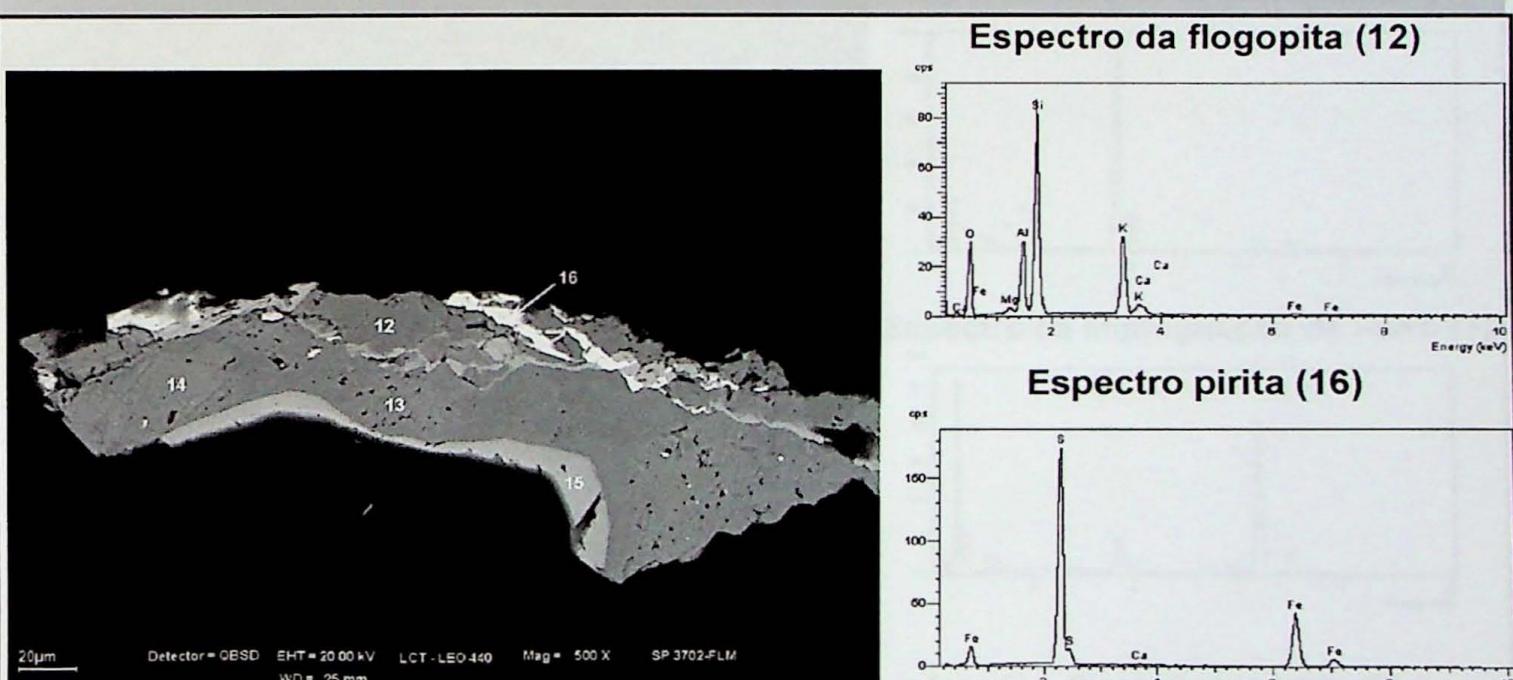
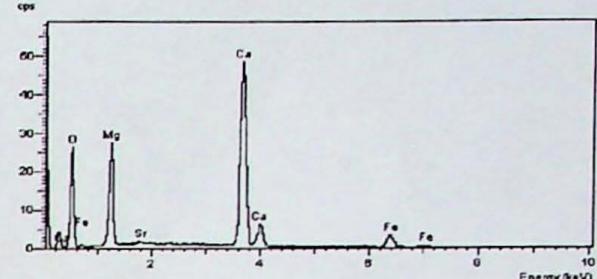


Foto 8 – Partícula mista de flogopita (12), dolomita (13), calcita (14) com vênelas de pirita (16) e óxidos e hidróxidos de Fe (15).

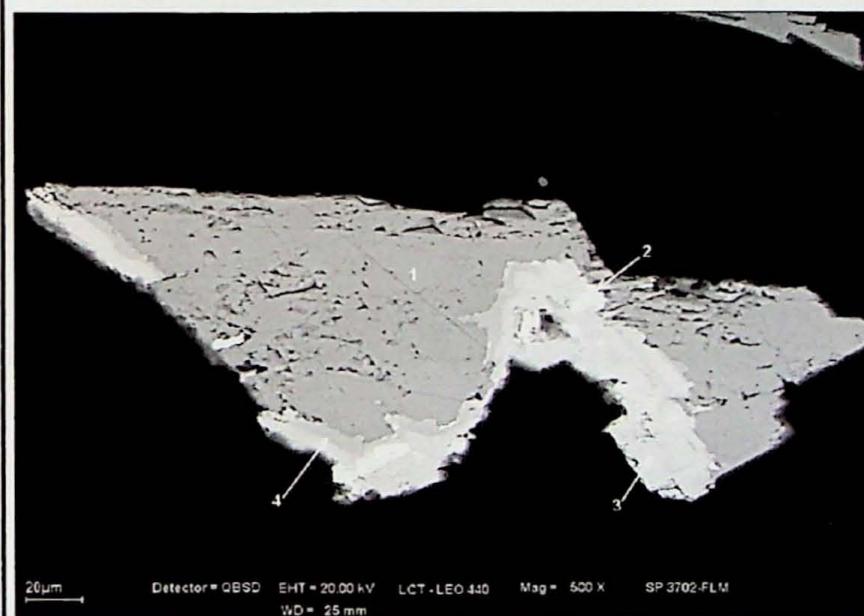
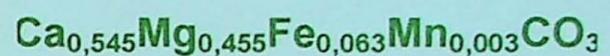


Foto 9 – Partícula mista de calcita (8) e dolomita (9) com cavidade de dissolução no centro da partícula recoberta por óxidos e hidróxidos de Fe (10) e pirita (11).

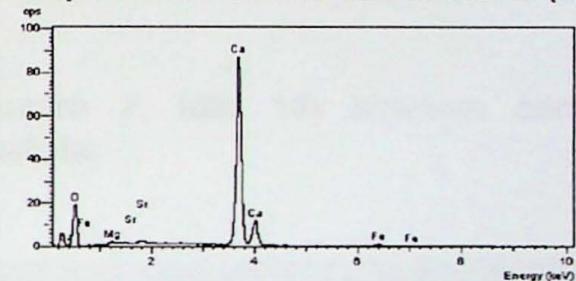
### Espectro da dolomita (9)



### Fórmula estrutural da dolomita (9)



### Espectro da calcita não liberada (1)



### Espectro da impregnação de Ferro (3)

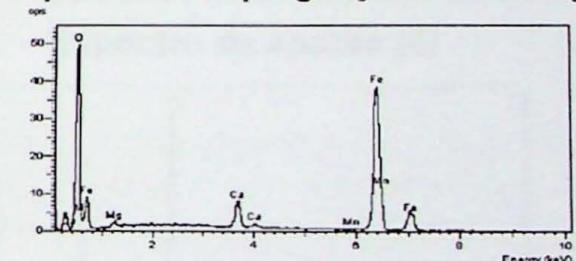


Foto 10 – Partícula de calcita (1) recoberta por óxido e hidróxido de ferro (3 e 4) associado a barita (2)

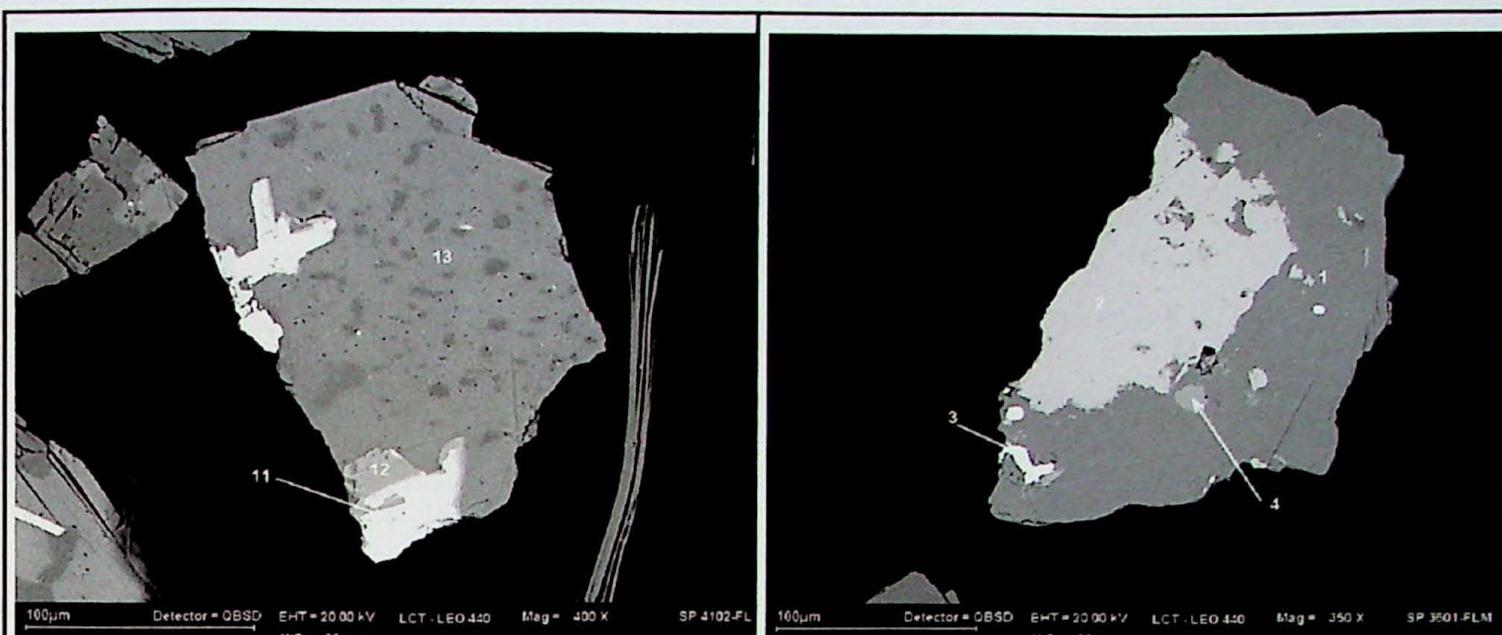
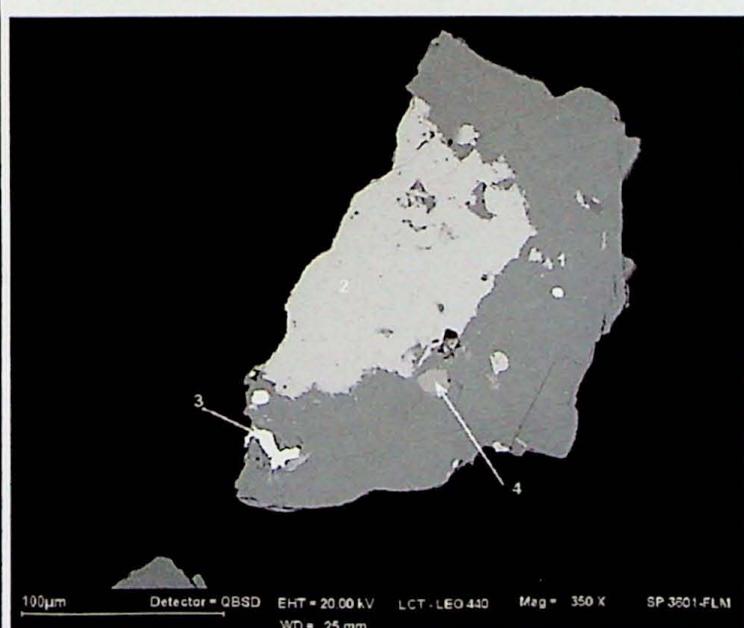


Foto 11 – Partícula de calcita (13) com exsolução de dolomita e inclusão de pirita (11) associada a óxido/hidróxido de Fe (12).

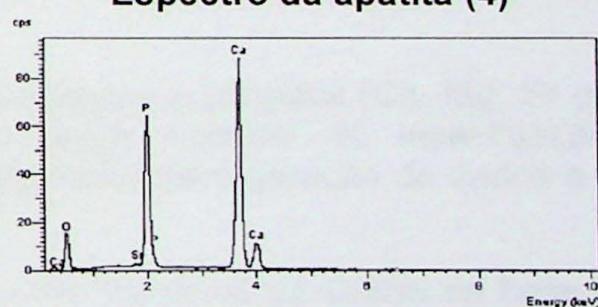
Foto 12 – Partícula mista de calcita (1) óxido/hidróxido de Fe (2) com inclusão de barita (3) e apatita (4).

Apatita, barita (quadro 7, foto 13) e pirita (quadro 7, foto 14) ocorrem como inclusão/incrustação micrométrica (10 a 100  $\mu\text{m}$ ) na calcita.

#### QUADRO 7 – FLM – CALCITA – BARITA - APATITA



Espectro da apatita (4)



Espectro da barita (3)

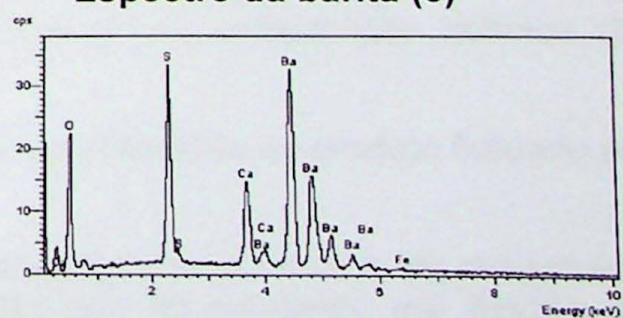


Foto 13 – Partícula mista de calcita (1) óxido/hidróxido de Fe (2) com inclusão de barita (3) e apatita (4).

QUADRO 8 – FLM – CALCITA – PIRITA

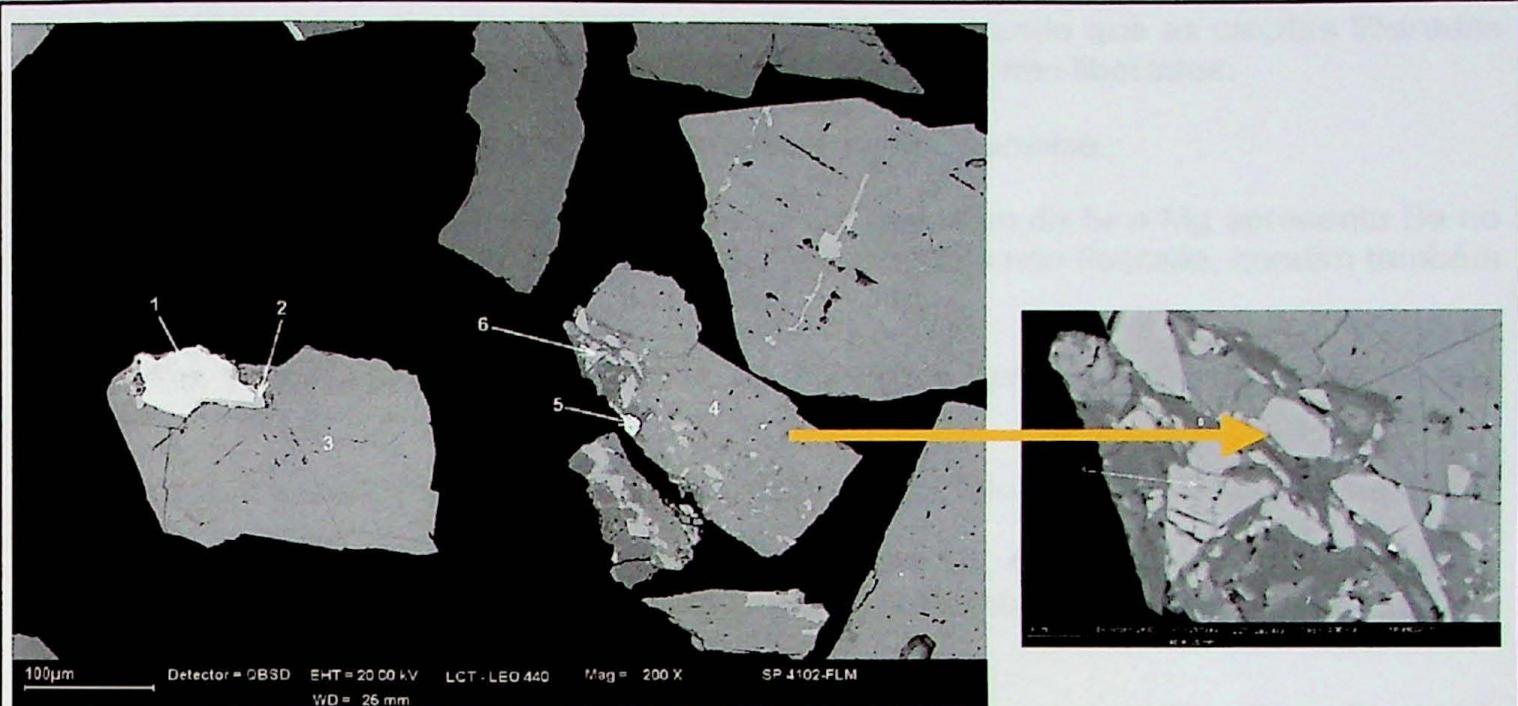


Foto 14 – A esquerda observa-se partícula de calcita (3) com inclusão de pirita (1) com borda de óxido/hidróxido de Fe. A direita, no detalhe, partícula mista de calcita (4), dolomita (7), flogopita (8) e apatita (6) com inclusão de óxido/hidróxido de Fe (5).

#### VII.6.1 b – Composição química

A composição química das fases foi obtida por micro-análises no sistema MEV - EDS. Este método analítico é limitado para trabalhos de investigação de detalhe devido à exatidão analítica e nível de detecção.

O nível de detecção médio para os principais elementos analisados (Ca, Mg, Sr e Fe) é de 0,5% que é adequado para o objetivo deste trabalho de investigação das características químicas e mineralógicas dos carbonatos para geração de dados a serem utilizados no processo de seu beneficiamento.

Para cada tipo de carbonato foi calculada a fórmula estrutural da calcita na base de um cátion.

O agrupamento apresentado na tabela 14 é baseado na composição química dos carbonatos obtida nas micro-análises.

Os carbonatos do tipo 1 ao 9 correspondem às calcitas presentes no produto flutuado não magnético.

A calcita tipo 1 é a mais freqüente e sua principal característica é ter Sr e Mg substituindo o Ca na estrutura cristaloquímica da calcita. Este tipo foi subdividido em função das variações das proporções de MgO e SrO observadas nas partículas de calcita liberada (tipo 1A) e não liberada (tipo 1B). A concentração de MgO para o tipo 1A (0,83 a 1,33%) é

significantemente maior que para o tipo 1B (0,24 a 1,41%). Já o SrO apresenta valores máximos (0,8%) semelhantes nos tipos 1A e 1B, porém com uma variação no limite inferior: 0,35% para o tipo B e 0,53% para o tipo 1A, mostrando que as calcitas liberadas apresentam maiores concentrações de Sr que as partículas não liberadas.

Para os tipos 2, 3, 4, 5 e 6 foi efetuada somente uma microanálise.

O tipo 2 corresponde a partícula liberada de calcita que além de Sr e Mg apresenta Ba no sítio catiônico do Ca, já o tipo 3, correspondente a partícula não liberada, contém também Fe.

O tipo 4 é similar ao tipo 1 com aporte de Al, sendo que corresponde a calcita não liberada.

A calcita tipo 5 é muito rara; trata-se de uma calcita pura, isto é, sem substituinte nenhum.

A calcita tipo 6 corresponde a uma Fe-calcita. Cerca de 4,81% em peso da calcita é constituída por Fe na estrutura cristoloquímica; ela possui também alto conteúdo de manganês (1,03% MgO) em relação ao tipo 1.

A calcita tipo 7 é tão freqüente como a calcita tipo 1A e possui Mg, Sr e Fe como substituintes do Ca. Os valores de Mg e Sr deste tipo são muito semelhantes aos do tipo mais freqüente 1A. Os valores de FeO variam entre 0,59 a 0,81%.

A análise na calcita tipo 8 apresentou 0,29% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Existem duas possibilidades: ou este Al está na estrutura da calcita como substituinte do Ca, o que não é muito comum, ou pode ter sido um problema de interferência analítica por outra fase portadora de Al (flogopita, por exemplo).

A calcita tipo 9 trata-se de uma Fe-calcita com Al. Além disso, a microanálise detectou a presença de Ce e P. Como esta partícula de calcita está associada a monazita é muito provável que o P e o Ce presentes sejam influência deste mineral.

Os tipos 10 a 17 correspondem aos carbonatos (dolomita e calcita) do produto flutuado magnético.

O tipo 10 é o mais freqüente no FLNM e é caracterizada pela presença de Mg, Sr e Fe como substituinte do Ca. A diferença entre o tipo 10A (liberada) e 10B (não liberada) é sutil, o 10A possui maiores concentrações de MgO (1,08 a 2,21%) que o tipo 10B (0,22 a 1,91%). Em relação ao SrO, os valores inferiores para os dois tipos são próximos de 0,5%, porém o superior para o tipo 10B (0,91%) é mais elevado que para o 10A (0,68%). O limite inferior do FeO para os dois tipos é em torno de 0,3% e o limite superior para o tipo B é 0,95% e para o tipo A 0,56%.

Os demais tipos de calcita se referem a outras substituições no sítio do Ca, o tipo 11 é semelhante ao tipo 10 a menos do ferro; o tipo 13 é similar ao tipo 11 com aporte também de Cu; o tipo 12 tem Mg e Fe sem Sr.

Os tipos de carbonatos de 14 a 17 correspondem a dolomita. O tipo 14 é uma Fe-dolomita liberada e não liberada com FeO variando de 1,26 a 4,43%.

O tipo 15 além de conter FeO, que pode chegar a elevadas concentrações (6,3%), possui SrO que varia de 0,25 a 0,49%.

Os tipos 16 e 17 contêm MnO e FeO na estrutura cristalina. A diferença entre eles é a presença de Sr e menor conteúdo de Fe no tipo 16.

Tabela 14 – Composição química dos carbonatos (% em peso) obtida por MEV-EDS.

	TIPO	CaO	MgO	SrO	BaO	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CuO	MnO	Fórmula química	Partícula	Amostra	Nº de micro-analises
1A	mínimo	47,2	0,83	0,53									Ca <sub>0,970</sub> Mg <sub>0,024</sub> Si <sub>0,006</sub> CO <sub>3</sub>	liberada	SP-3601, SP-3701 e SP-3702	9
	máximo	51,4	1,33	0,77									Ca <sub>0,888</sub> Mg <sub>0,044</sub> Si <sub>0,008</sub> CO <sub>3</sub>	liberada	SP-3701 SP-3702 e SP-4102	4
1B	mínimo	48,9	0,24	0,35									Ca <sub>0,880</sub> Mg <sub>0,013</sub> Si <sub>0,007</sub> CO <sub>3</sub>	não liberada	SP-3701 SP-3702 e SP-4102	4
	máximo	50,4	1,41	0,83									Ca <sub>0,889</sub> Mg <sub>0,007</sub> Si <sub>0,004</sub> CO <sub>3</sub>	liberada	SP-3701 SP-3702 e SP-4102	4
FLNM	CALCITA	2	48,8	0,88	0,77	0,36							Ca <sub>0,967</sub> Mg <sub>0,024</sub> Si <sub>0,008</sub> Ba <sub>0,003</sub> CO <sub>3</sub>	liberada	SP-3701 SP-3702 e SP-4102	1
		3	49,1	1,32	0,59	0,47	0,26						Ca <sub>0,954</sub> Mg <sub>0,036</sub> Si <sub>0,004</sub> Ba <sub>0,003</sub> CO <sub>3</sub>	não liberada	SP-3601 SP-3701 e SP-4102	1
		4	52,7	0,29	0,55		0,23						Ca <sub>0,954</sub> Mg <sub>0,036</sub> Si <sub>0,004</sub> Fe <sub>0,004</sub> Ba <sub>0,003</sub> CO <sub>3</sub>	não liberada	SP-3601 SP-3701 e SP-4102	1
		5	49,9										CaCO <sub>3</sub>	não liberada	SP-3702 SP-3701 e SP-4102	1
		6	49,7	1,03		4,81							Ca <sub>0,905</sub> Mg <sub>0,026</sub> Fe <sub>0,008</sub> CO <sub>3</sub>	não liberada	SP-3601 SP-3701 e SP-4102	1
		7	47,9	0,87	0,59		0,12						Ca <sub>0,967</sub> Mg <sub>0,024</sub> Si <sub>0,006</sub> Fe <sub>0,002</sub> CO <sub>3</sub>	liberada	SP-3601 SP-3702 SP-4102	6
		8	51,7	1,34	0,81		0,51						Ca <sub>0,950</sub> Mg <sub>0,034</sub> Si <sub>0,008</sub> Fe <sub>0,007</sub> CO <sub>3</sub>	não liberada	SP-3702 SP-3701 e SP-4102	1
		9	49,7				0,29						Ca <sub>0,905</sub> Mg <sub>0,026</sub> Fe <sub>0,008</sub> CO <sub>3</sub>	não liberada	SP-3601 SP-3701 e SP-4102	1
		10A	47,9	1,08	0,57		0,37						Ca <sub>0,958</sub> Mg <sub>0,028</sub> Si <sub>0,006</sub> Fe <sub>0,006</sub> CO <sub>3</sub>	liberada	SP-3601 SP-3702 SP-4102	4
		10B	50,5	2,21	0,68		0,56						Ca <sub>0,929</sub> Mg <sub>0,057</sub> Si <sub>0,007</sub> Fe <sub>0,008</sub> CO <sub>3</sub>	liberada	SP-3601 SP-3702 SP-4102 SP-3701	7
		11	45,9	0,22	0,42		0,26						Ca <sub>0,984</sub> Mg <sub>0,007</sub> Si <sub>0,005</sub> Fe <sub>0,004</sub> CO <sub>3</sub>	não liberada	SP-3601 SP-3702 SP-4102 SP-3701	7
		12	50,7	1,91	0,91		0,95						Ca <sub>0,929</sub> Mg <sub>0,049</sub> Si <sub>0,009</sub> Fe <sub>0,014</sub> CO <sub>3</sub>	liberada	SP-3601 SP-3702 SP-3701	5
		13	48,1	0,58	0,46								Ca <sub>0,979</sub> Mg <sub>0,016</sub> Si <sub>0,006</sub> CO <sub>3</sub>	não liberada	SP-4102 SP-3601	2
		14	49,5	1,16	0,67								Ca <sub>0,882</sub> Mg <sub>0,031</sub> Si <sub>0,007</sub> CO <sub>3</sub>	não liberada	SP-4102 SP-3601	1
		15	48,7	0,3		0,31							Ca <sub>0,981</sub> Mg <sub>0,009</sub> Fe <sub>0,005</sub> CO <sub>3</sub>	não liberada	SP-4102 SP-3601	2
		16	50,4	0,4		1,13							Ca <sub>0,988</sub> Mg <sub>0,011</sub> Fe <sub>0,017</sub> CO <sub>3</sub>	não liberada	SP-4102 SP-3601	2
		17	50,8	0,51	0,54								Ca <sub>0,970</sub> Mg <sub>0,014</sub> Si <sub>0,006</sub> Ca <sub>0,011</sub> CO <sub>3</sub>	não liberada	SP-4102 SP-3601	1
		18	27,2	17,0			1,26						Ca <sub>0,535</sub> Mg <sub>0,465</sub> Fe <sub>0,019</sub> CO <sub>3</sub>	não liberada	SP-4102 SP-3601	4
		19	29,2	19,4			4,43						Ca <sub>0,519</sub> Mg <sub>0,481</sub> Fe <sub>0,002</sub> CO <sub>3</sub>	não liberada	SP-3601 SP-3702 SP-3701	5
		20	27,8	15,8	0,25		1,68						Ca <sub>0,559</sub> Mg <sub>0,441</sub> Fe <sub>0,026</sub> Si <sub>0,006</sub> CO <sub>3</sub>	não liberada	SP-3701 SP-3702 SP-3701	5
		21	30,5	18,2	0,49		6,3						Ca <sub>0,841</sub> Mg <sub>0,453</sub> Fe <sub>0,008</sub> Si <sub>0,006</sub> CO <sub>3</sub>	n. lib e lib	SP-3701 SP-3701 SP-3701	2
		22	28,0	16,8	0,28		1,78						Ca <sub>0,665</sub> Mg <sub>0,455</sub> Fe <sub>0,027</sub> Si <sub>0,006</sub> Mn <sub>0,006</sub> CO <sub>3</sub>	n. lib e lib	SP-3701 SP-3701 SP-3701	1
		23	27,2	15,6		3,43							Ca <sub>0,556</sub> Mg <sub>0,444</sub> Fe <sub>0,053</sub> Mn <sub>0,003</sub> CO <sub>3</sub>	não liberada	SP-3701 SP-3701 SP-3701	1

### VII.6.2 - Considerações Gerais sobre os resultados de MEV-EDS

A coloração avermelhada nas amostras da unidade Cfl deve-se principalmente a impregnações micrométricas de óxidos/hidróxidos de Fe e subordinadamente à presença de Fe-dolomita.

Os produtos flutuados não magnéticos (FLNM) são constituídos essencialmente por partículas de calcita com presença constante de MgO (0,2 a 1,41%) e SrO (0,35 a 0,83), sendo raras as partículas sem estes substituintes. A dolomita está presente somente em partículas mistas. Teores de Fe associados se devem a óxidos/hidróxidos na forma de vênulas e crostas micrométricas, tendo sido também verificada a sua presença na estrutura da calcita. BaO pode se associar à calcita em teores de até 0,5%.

Os produtos flutuados magnéticos (FLM) que representam 2,5% em massa da fração detalhada, são compostos essencialmente por dolomita principalmente liberada. A dolomita contém sempre FeO em sua estrutura (1,26 a 6,3%) e subordinadamente SrO (0,25 a 0,49) e MnO

A calcita normalmente ocorre associada à dolomita em partículas mistas, sendo esta a associação mineralógica mais comum nestes produtos FLM (90%) e por vezes em associações minerais complexas envolvendo flogopita e/ou apatita e/ou ilmenita e/ou rutilo e/ou barita e/ou carbonato de Sr (10%). Estas partículas de calcita contém Fe (0 a 1,13%) e Sr (0 a 0,91%)

Numa abordagem considerando as diferentes litologias presentes na unidade Cfl as análises ao MEV indicaram que no litotipo branco a calcita tem presença constante de MgO e SrO e subordinada de FeO. Nesta amostra foi encontrada uma feição rara: calcita isenta de substituições diadóquicas em sua estrutura cristalina. As associações mais freqüentes são inclusões/exsoluções de dolomita e inclusões de carbonato de Sr (provavelmente burbankita) e menos freqüentes são associações complexas e associações com óxidos/hidróxidos de Fe. As partículas de dolomita possuem FeO na estrutura.

As características das partículas de calcita presentes no litotipo branco a cinza é semelhante à calcita do anterior podendo ter BaO na estrutura. Já as partículas de dolomita por sua vez apresentam maior diversidade na composição química, apresentando Mn. As formas de associação mais freqüentes são inclusões micrométricas de dolomita, carbonato de Sr e barita.

O litotipo creme possui calcita com MgO, SrO e FeO na estrutura, sendo que raramente teme isento de SrO. A calcita associa-se à dolomita em partículas mistas. Nesta amostra é comum o aspecto brechado da calcita com matriz de óxido/hidróxidos de Fe. Outras feições observadas foram inclusões/incrustações de pirita e crostas de óxidos/hidróxidos de Fe. A dolomita apresenta FeO e MgO e não tem SrO.

As partículas de calcita relativa ao litotipo creme + laranja + vermelho apresentam características diversas das anteriores, sendo muito diversificadas as substituições catiônicas do Ca e as associações mineralógicas. Vale ressaltar que este litotipo possui uma feição não observada nos demais, que são partículas mistas de calcita e óxidos/hidróxidos de Fe.

## VIII – CONCLUSÕES

Os estudos referentes à distribuição espacial dos litotipos revelaram um zoneamento dos litotipos em relação à zona de falha, estando concentrados próximos a falha os litotipos avermelhados, alaranjados e creme; nas regiões intermediárias os creme e branco e nas regiões mais distais branco a cinza. Isto se deve provavelmente à percolação de fluidos, de origem desconhecida, provenientes da falha que alteraram este carbonatito provocando tal distribuição espacial. Em relação às proporções volumétricas dos litotipos constatou-se o predomínio dos branco a cinza e creme (juntos perfazem 82%) e ocorrências menores e localizadas dos litotipos laranja, vermelho e carbonatito cinza sul na região de contato interdigitado (18%).

As diferenças de cor e mineralogia constatadas nas descrições macroscópicas refletem diferenças na composição química.

De um modo geral, as amostras provenientes da unidade Cfl apresentam flogopita em pouca quantidade (<1%), fato indicado pelos baixos teores de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e K<sub>2</sub>O. As amostras vermelhas e cremes apresentam os maiores valores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> em contrapartida às amostras de coloração branca que possuem menores teores. Os teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> são muito variados, mostrando que o parâmetro físico cor não tem relação com a quantidade de apatita.

O minério da unidade Cfl apresenta baixo conteúdo de magnetita (3 a 4% em peso) que se mostra bastante liberada da apatita e menos dos carbonatos na granulometria de 0,297 mm.

A apatita se concentra na fração -0,147+0,074 mm, em comportamento similar para todas as amostra, exceção da SP37-01 que apresenta significativa quantidade na fração retida em 0,297 mm, refletindo uma apatita de cristalização mais grossa nesta amostra.

A flogopita tende a se concentrar nas frações retidas em 0,297mm, a menos da amostra SP 37-01 em que está principalmente associada à fração -0,147+0,074 mm, ocorre olivina em quantidade de traços.

O magnésio contido neste minério está principalmente associado à estrutura cristalina da calcita, com quantidades menores na forma de dolomita e dos silicatos. Estima-se que cerca de 68 a 72% deste elemento esteja contido nas partículas de calcita, sendo que os estudos de caracterização realizados indicam teores em torno de 2% de MgO para concentrados de carbonato gerados a partir de minério desta unidade litológica, considerando os valores contidos na estrutura da calcita e os relativos à dolomita a ela associada (30% em partículas mistas e 70% em inclusões micrométricas, na fração -0,297+0,149 mm).

Mais de 90% do Sr contido no minério estão associados à estrutura cristalina da calcita, sendo o restante relativo à dolomita e a inclusões micrométricas na calcita de minerais específicos (estroncionita).

O Ba está na forma de barita que ocorre em inclusões micrométricas geralmente associadas à calcita.

A coloração avermelhada nas amostras da unidade Cfl, deve-se principalmente a impregnações micrométricas de óxidos/hidróxidos de Fe nas partículas de calcita e subordinadamente a presença de Fe-dolomita.

No carbonatito branco (SP 37-01 e SP 37-02) cerca de 84% do  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  do minério está contido no produto magnetita, sendo que cerca de 1,2 % estão associados a partículas de calcita, para este litotipo o concentrado de carbonatos obtido apresentou teor mínimo de 0,15 a 0,20% com um recuperação em massa de 80 a 85%.

Na amostra de mistura de litotipos (SP36-01, carbonatito vermelho laranja e creme) observou-se que 63% do  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  está contido no produto magnetita, cerca de 9% se associam às partículas de calcita, tendo-se obtido um concentrado destes minerais com recuperação em massa de 83% e teor de 0,5%.

Nas amostras de carbonatito creme verificou-se que 75% (SP36-02) e 77% do  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (SP 41-01) estão no produto magnetita, sendo que cerca de 10% estão associados às partículas de calcita, e em concentrados purificados obteve-se recuperação em massa de 79 a 87% e teores de 0,33% a 0,46%.

A verificação dos índices de alvura para os concentrados de carbonatos provenientes dos diversos litotipos estudados ficou prejudicada pela dificuldade de dispor, em tempo hábil, de instrumentação adequada para diferenciação fidedigna de tons de vermelho. A metodologia correntemente aplicada na Mina de Cajati se apóia em equipamento simples de baixa sensibilidade e que distingue tons de cinza.

## IX – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, P.R.P.C., 1999. Estudos de caracterização tecnológica no minério apatítico do Complexo Alcalino de Jacupiranga, SP. Monografia de trabalho de formatura, TF1999/011. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 59 p.
- BARROS, G., 2000. Reavaliação geoestatística dos recursos/reservas de fosfato da mina de Cajati (SP). Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 108 p.
- BAUER, H.E., 1877. As minas de ferro de Jacupiranga. *Rev. Eng.*, Rio de Janeiro, p 213.
- BONÁS, T.B., 2001. Consolidação de critérios de descrição litológica para o minério apatítico do Complexo Alcalino de Jacupiranga. Monografia de trabalho de formatura, TF2001/036. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 59 p.
- DERBY, O.A., 1891. The magnetite ore districts of Jacupiranga and Ipanema, São Paulo, Brazil. *American Journal of Science*, series 3, 41, p 311-321.
- GASPAR, J.C., 1989. Geologie et mineralogie du complexe carbonatitique de Jacupiranga, Brésil. França, Tese de Doutoramento U.E.R. de Science Fundamentales et Appliquées, Université d'Orléans, 344 p.
- GERMAN, A.; MARKER, A.; FRIEDRICH, G., 1987. The alkaline complex of Jacupiranga, São Paulo, Brazil. Petrology and genetic consideration. *Zbl. Geol. Paleont.*, 1 (7/8): p 807 – 818.
- MELCHER, G.C., 1965. O Carbonatito de Jacupianga. Boletim 282, Geologia nº 21, São Paulo, Brasil.
- MENEZES Jr, L.A.D.; MARTINS, J. M., 1984. The Jacupiranga mine. São Paulo, Brasil. *The Mineralogical Record*, September-October, p 261-269.
- RAPOSO, D.B., 2002. Investigação tecnológica em minério carbonatítico de Cajati-SP, utilizado como matéria-prima na produção de foscálcio. Monografia de trabalho de formatura, TF2002/010. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 28 p.
- RUBERTI, E.; SCHEIBE, L.F.; GOMES, C.B., 1988. The Jacupiranga Alkaline Complex. INT. CONF. "GEOCHEMICAL EVOLUTION OF THE CONTINENTAL CRUST", Poços de Caldas, 1988. Guidebook. Poços de Caldas, p 11-25.
- RUBERTI, E.; MARGUTI, R.L.; GOMES, C.B., 1992. O Complexo carbonatítico de Jacupiranga, SP: Informações gerais. Roteiro das excursões do 37º Congresso Brasileiro de Geologia – SBG/SP, São Paulo, SP. Vol 4, p 16.
- SILVA, J.F., 2001. Detalhamento da mineralogia em apoio à caracterização tecnológica do minério de fosfato da mina de Cajati, São Paulo. Monografia de trabalho de formatura, TF99/011. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 59 p.

**ANEXO 1 – FOTOS DOS EQUIPAMENTOS**





Foto 1 – Britador de mandíbulas.



Foto 2 – Moinho de disco



Foto 3 – Moinho com carga de bolas



Foto 4 - Separador manético de baixo campo – tipo tambor



Foto 5 – Amostrador do tipo Jones



Foto 6 - Peneiradores



Foto 9 – Ensaio de meio denso (Tetrabromoetano)



Foto 8 – Separador magnético isodinâmico Frantz



Foto 9 – Microscópio eletrônico de varredura.

**ANEXO 2 – Descrição macroscópica dos litotipos constituintes da unidade Cfl.**

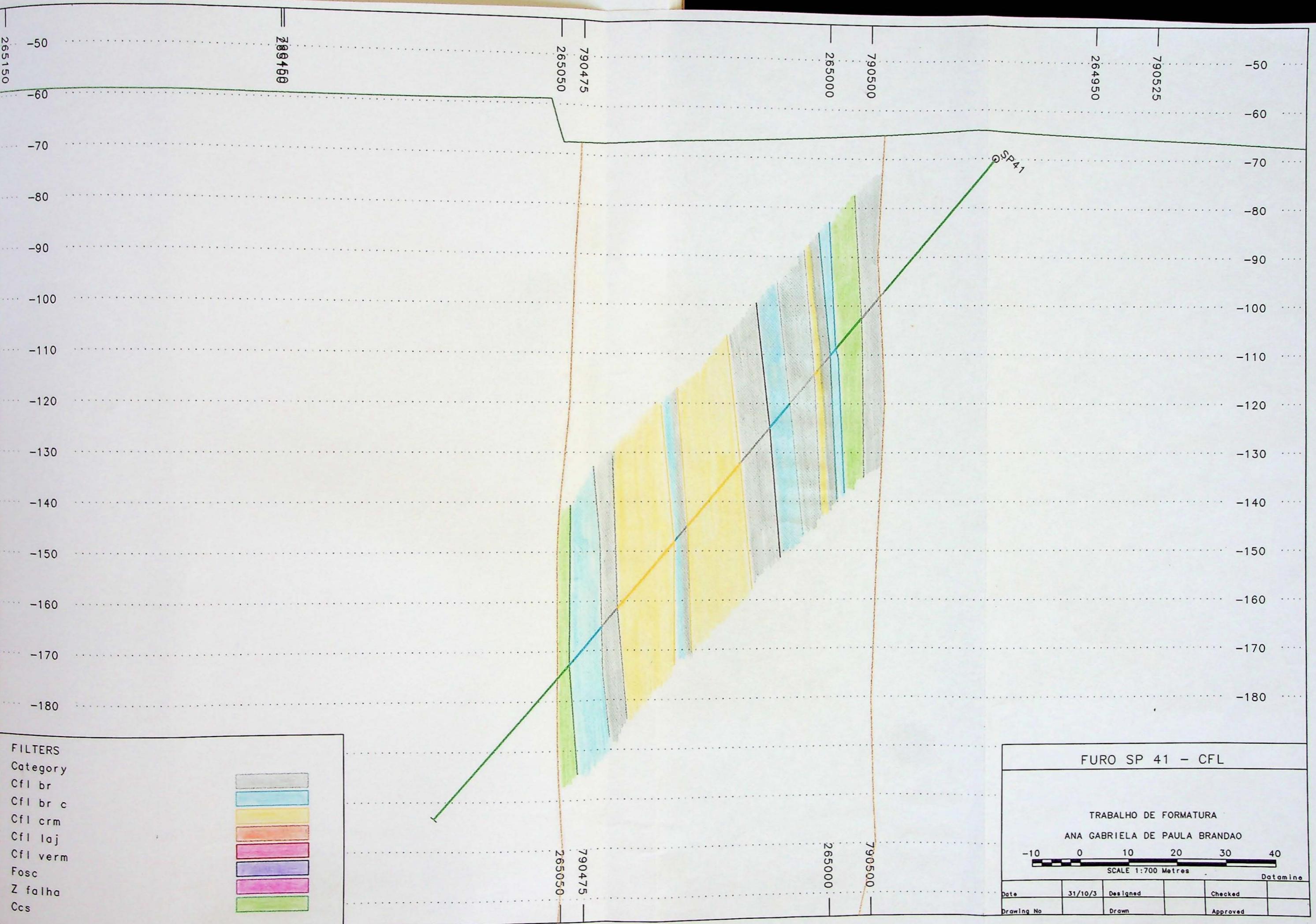


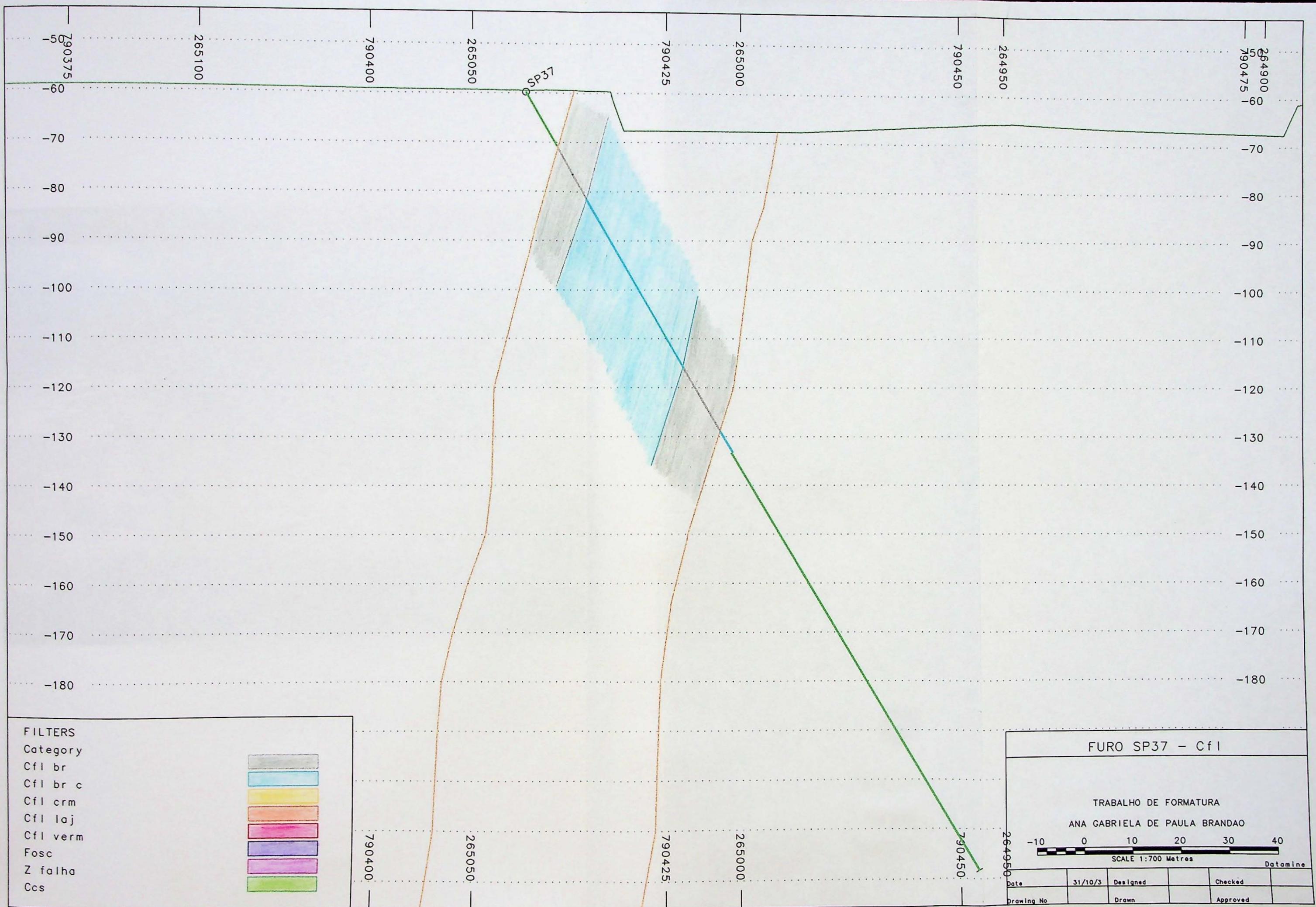
Litotipo	Granulação	Mineralogia			Foto
Carbonatito calcítico branco a cinza	2-5mm	mineral	granulação	quantidade	 23/04/2003
		Apatita	0,1-0,3 cm	5-10%	
		Flogopita	0,5 cm	1-5%	
		Magnetita	0,3-1 cm	5-15%	
		Carbonato	0,2-0,5 cm	70-90%	
		<b>Acessórios:</b> olivina localmente e sulfeto associada à magnetita e disseminado.			
Carbonatito calcítico creme	2mm	mineral	granulação	quantidade	 23/04/2003
		Apatita (radial)	0,1-0,3 cm	5-10%	
		Flogopita	0,3-1 cm	1-3%	
		Magnetita	0,5 cm	5-15%	
		Carbonato	0,2 cm	70-90%	
		<b>Acessórios:</b> sulfetos localmente			
Carbonatito calcítico laranja	2-5mm	mineral	granulação	quantidade	 23/04/2003
		Apatita	0,1-0,3 cm	5-15%	
		Flogopita	1 cm	<5%	
		Magnetita	0,3 a 1 cm	5-15%	
		Carbonato	0,2 cm	70-90%	
		<b>Acessório:</b> sulfetos localmente			
Carbonatito calcítico vermelho (recristalizado com muitas cavidades de dissolução)	0,5cm	mineral	granulação	quantidade	 23/04/2003
		Apatita	00,5 -0,3 cm	5%	
		Flogopita	0,5 – 1 cm	5%	
		Magnetita	0,5 – 1 cm	5%	
		Carbonato	0,3 a 0,5 cm	85%	
		<b>Acessório:</b> sulfeto concentrado em bolsões.			

**ANEXO 3 – Seções NNW-SSE ao longo dos furos SP 36, SP 37 e SP 41.**









**ANEXO 4 – Descrição macroscópica das amostras selecionadas de testemunhos de furos de sondagem.**



FURO:

SP-36

DATA:

22/10/02

**DE (m) ATÉ (m) DESCRIÇÃO LITOLÓGICA**

30 35 \*30,00 a 31,10 – Carbonatito calcítico laranja (localmente vermelho), normal, com apatita laranja normal à fina em pouca quantidade, por vezes concentrada em pequenos bolsões, magnetita normal a fina, localmente grossa, algumas alteradas (sem brilho), outras com bordas irregulares ou “espetadas”, comumente em pouca quantidade, flogopita verde, normal à fina, localmente grossa por vezes euédrica em pouca quantidade. Localmente ocorrem vênulas preenchidas por material preto (espessura milimétrica). Primeiros 30cm bastante venulado/brechados, preenchidos por material laranja e brecha com fragmentos milimétricos a centimétricos de calcita e matriz carbonática laranja.  
 \*34,00 a 34,65 – Carbonatito creme (um pouco mais de apatita (7%) e menos flogopita e magnetita que os outros intervalos).

\*34,65 a 35,00 – Carbonatito creme alaranjado. Os intervalos 30,56,a 30,66, 33,45 a 33,55 e 34,00 a 34,20 apresentam-se muito fraturados/fragmentados. Em 34,00 há fraturas com mergulhos 150 e 400 que estão com percolação de material laranja. Em 34,10 há fratura preenchida por material vermelho com mergulho 150.

35 40 Carbonatito calcítico normal à fina com apatita normal a fina, por vezes concentrada em bolsões milimétricos a centimétricos (localmente dourado) em quantidade normal; magnetita normal, localmente grossa em pouca quantidade (algumas com bordas irregulares); flogopita normal à fina, localmente grossa em pouca quantidade (algumas com bordas irregulares);flogopita normal à fina, localmente grossa em pouca quantidade. Sulfeto associado principalmente à apatita, que fica com uma cor dourada.

carbonatos	apatita	quantidade	magnetita			flogopita		
			granulação	multo grossa	>3cm	quantidade	multo grossa	>3cm
grossa	>5mm	>3mm	multa	>10%	1>d>3cm	multa	grossa	1>d>3cm
normal	2<d<5mm	3<d<1mm	normal	5<q<10%	0,3<d<1cm	normal	normal	0,3<d<1cm
fina	<2mm	<1mm	pouca	<5%	<0,3cm	pouca	fina	<0,3cm

		<p>Localmente ocorrem vênulas finas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>*35,00 a 35,87 – carbonatito creme;</li> <li>*35,87 a 36,27 – carbonatito creme alaranjado;</li> <li>*36,27 a 36,85 - carbonatito laranja;</li> <li>*36,85 a 37,47 – carbonatito vermelho;</li> <li>*37,47 a 37,70 – carbonatito laranja;</li> <li>*37,70 a 38,17 – carbonatito creme alaranjado;</li> <li>*38,17 a 40,00 – carbonatito creme. Em 38,50 ocorre fratura com mergulho 50° e em 39,00 ocorre fratura com mergulho 25° (com percolação de material laranja/vermelho).</li> </ul>
--	--	--

60	65	Carbonatito calcítico creme normal a fino, localmente com aspecto de recristalizado na porção laranja. Possui apatita fina a normal (verde e laranja), localmente com crescimento radial (59,88m) em quantidade normal (7%), localmente pouca, flogopita (na porção laranja, apatita em menor quantidade), magnetita normal à fina em quantidade normal a pouca, flogopita normal a fina (~3%) verde, tipicamente euédrica, sulfetos (pirita e pirrotita) localmente. Podem ocorrer vênulas finas, preenchidas por material verde.
		*60,37 a 60,79 – carbonatito laranja com muitas cavidades de dissolução. Apatita normal à fina (localmente radial), por vezes concentrada em bolsões milimétricos a centimétricos em quantidade normal, localmente muita; magnetita normal, localmente fina, em quantidade normal, localmente alterada; flogopita normal à fina em pouca quantidade; sulfetos (pirrotita) localmente.
65	70	*61,10 a 61,40 – intervalo com muito pouco acessório.
		Prosegue o carbonatito calcítico creme, normal a fino, descrito anteriormente. *66,00 a 68,05 – bastante fraturado (fraturas perpendiculares ao furo), localmente bastante fragmentado e vênulas com material laranja e sulfetos. Em 69,00 há fraturas com carbonato recristalizado (200)

carbonatos	granaulacão	apatita	quantidade	magnetita		flogopita		quantidade
				multo grossa	>3cm	multo grossa	>3cm	
grossa	>5mm	grossa	>3mm	multa	>10%	grossa	1>d>3cm	muita
normal	2<d<5mm	normal	3<d<1mm	normal	5-q<10%	normal	0,3<d<1cm	normal
fina	<2mm	fina	<1mm	pouca	<5%	fina	<0,3cm	pouca

**DESCRÍÇÃO DAS AMOSTRAS SP37-01 E SP37-02**

**BOLETIM DE DESCRIÇÃO LITOLÓGICA**

FURO:

SP-37

DATA:

06/11/02

25	30	Carbonatito calcítico cinza a branco, normal a fino, com apatita normal, por vezes concentrada em muita quantidade; magnetita normal a fina, localmente grossa em quantidade normal; flogopita normal a fina, verde, por vezes euédrica, em pouca quantidade (1%); olivina localmente sulfeto associada à magnetita e disseminado em pouca quantidade. Localmente manchas verde (serpentina?) e vênula fina preenchida por material verde. Intervalo com muitas fraturas(?) perpendiculares ao furo.											
30	35	Carbonatito calcítico branco a cinza, normal a fino, com apatita normal em quantidade normal, localmente concentrada; magnetita normal a fina em quantidade normal, localmente pouca; flogopita normal, por vezes fina, em pouca quantidade (3%), verde, geralmente euédrica; sulfeto venular e associado à magnetita (<1%); olivina localmente no início do intervalo. Localmente ocorre apatita friável e associada a mineral preto. *30, 12; 30,37; 30,55 – fraturas perpendiculares ao furo;											
35	40	Carbonatito calcítico branco a cinza, normal a fino, com apatita fina a normal em quantidade normal, localmente pouca, por vezes concentrada em bolsões (milimétricos a centimétricos); magnetita normal a fina, localmente grossa em quantidade normal, localmente pouca; flogopita normal a fina, comumente verde, euédrica (3%); sulfeto associado à magnetita (substituição ?) e disseminado (<1%). * 36,00 – fratura com mergulho 75°; *36,16 – fratura com mergulho 90°; *38,00 – fratura com mergulho 45°.											

carbonatos	apatita	magnetita			flogopita			quantidade
		granulação	quantidade	granulação	quantidade	granulação	quantidade	
grossa	>5mm	grossa	>3mm	multa	>10%	multa	>15%	multa
normal	2-d<5mm	normal	3-d<1mm	normal	5-q<10%	normal	5-q<15%	normal
finia	<2mm	finia	<1mm	pouca	<5%	fina	<5%	pouca

65	70	<p>Carbonatito calcítico branco, localmente cinza, normal. Apatita normal em quantidade normal a pouca; magnetita normal a fina, localmente grossa e muito grossa em quantidade normal, localmente pouca (por vezes "esfarrapadas" e com bordas irregulares); flogopita normal a fina, verde, algumas euédricas (~2%). Ocorre sulfeto disseminado e associado à magnetita (&lt;1%).</p> <p>Localmente ocorre mineral preto muito fino (provavelmente magnetita) em matriz carbonática cinza (pode ser resquício de uma rocha mais antiga (?)).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>*69,22 a 69,62 – intervalo com pouquíssimos acessórios;</li> <li>*69,82 – vênula fina preenchida por material verde (flogopita ?);</li> <li>*69,23 – fratura com mergulho 40°.</li> </ul>
70	75	<p>Prossegue o carbonatito descrito anteriormente.</p> <p>Obs: um pouco mais de flogopita (~3%).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>*69,60 a 69,83 – ocorre apatita em muita quantidade;</li> <li>*71,70 – fratura com mergulho 50°.</li> <li>*71,45 – fratura com mergulho 20°.</li> </ul>

75	80	<p>Carbonatito calcítico branco, localmente cinza, fino a normal, com apatita normal em pouca quantidade; magnetita fina a normal ("esfarrapada" com bordas corroídas) em quantidade normal, por vezes pouca; flogopita normal a fina, verde, por vezes com sessão triangular (2%), entre 77,30 a 77,45 ocorre flogopita euédrica, verde, normal (~5%); sulfeto associado à magnetita, localmente.</p>
		<p>*79,16 a 79,50 – ocorre muita quantidade de minerais finos, pretos (provavelmente magnetita) associada à carbonato cinza e apatita. Pode estar associado à relação entre fases carbonáticas diferentes (carbonatito com magnetita e carbonatito com flogopita) onde há consumo dos minerais pré-existentes por fases mais juvenis.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 76,48 a 76,55 – apatita em muita quantidade. Localmente serpentina.</li> <li>* 79,50 a 80,00 – acessórios com granulação fina, aumento na porcentagem de apatita e começa a ocorrer olivina (carbonatito com magnetita)</li> </ul>

carbonatos	apatita	granulação	magnetita	flogopita		
				quantidade	quantidade	quantidade
grossa	>5mm	grossa	>3mm	multa	>3cm	>3cm
normal	2<d<5mm	normal	3<d<1mm	multa	1>d>3cm	1>d>3cm
finia	<2mm	finia	<1mm	normal	0,3<d<1cm	0,3<d<1cm
				pouca	<5%	pouca



DESCRICAO DAS AMOSTRAS SP41-01 E SP41-02

BOLETIM DE DESCRIÇÃO LITOLÓGICA

FURQ:

DATA: 11/11/02

85	90	Carbonatito calcítico creme normal a grosso, apatita fina radial em agregados cm em quantidade normal (5%); pouca magnetita normal (0,3-1cm); flogopita normal em pequena quantidade (2-3%); sulfeto venular ou estirado, em pequena quantidade; localmente ocorre apatita dourada (apatita + microcristais de sulfeto). Entre 85,00 e 85,50; 87,15 e 87,35; 89,35 e 90,00 há poucos acessórios (magnetita + flogopita + apatita <5%). Foliação de fluxo com mergulho 60°.
	Fraturas:	86,40 m – 30°                  88,60 m – 50°                  89,00 m – 40°
90	95	Carbonatito calcítico creme normal, com localizadas porções brancas; apatita fina, localmente radial, em agregados centimétricos, em pouca quantidade. Pouca magnetita normal à grossa (2-3%), localmente fina; pouca flogopita grossa a fina (<2%); sulfeto ameboidal e venular em pequenas quantidades (pirrotita). Nota-se a oxidação superficial de alguns cristais de sulfeto; com recobrimento do carbonatito por película de óxido de ferro. Esse intervalo apresenta várias fraturas; 90,40 m – 60° com vênulas milimétricas de material cinza. 90,59 a 90,65 m - brecha com clastos de carbonatito e flogopita em matriz fina amarela efervescente. 91,25 m – 50°. 91,75 m – 60°. 92,75 a 92,90 m – 55° e 30° (juntas).
95	100	*95,00 a 98,00- Prosegue carbonatito creme normal a fino com poucos acessórios, porém com magnetita

carbonatos	granulação	apatita	quantidade	magnetita			quantidade	flogopita
				granulação		>3cm		
				multo grossa	grossa	>3cm		
grossa	>5mm	>3mm	multa	>10%	multa	1>b>3cm	multa	>10%
normal	2<d<5mm	3<d<1mm	normal	5<q<10%	normal	0,3<d<1cm	normal	5<q<10%
fina	<2mm	<1mm	pouca	<5%	fina	<0,3cm	pouca	<5%

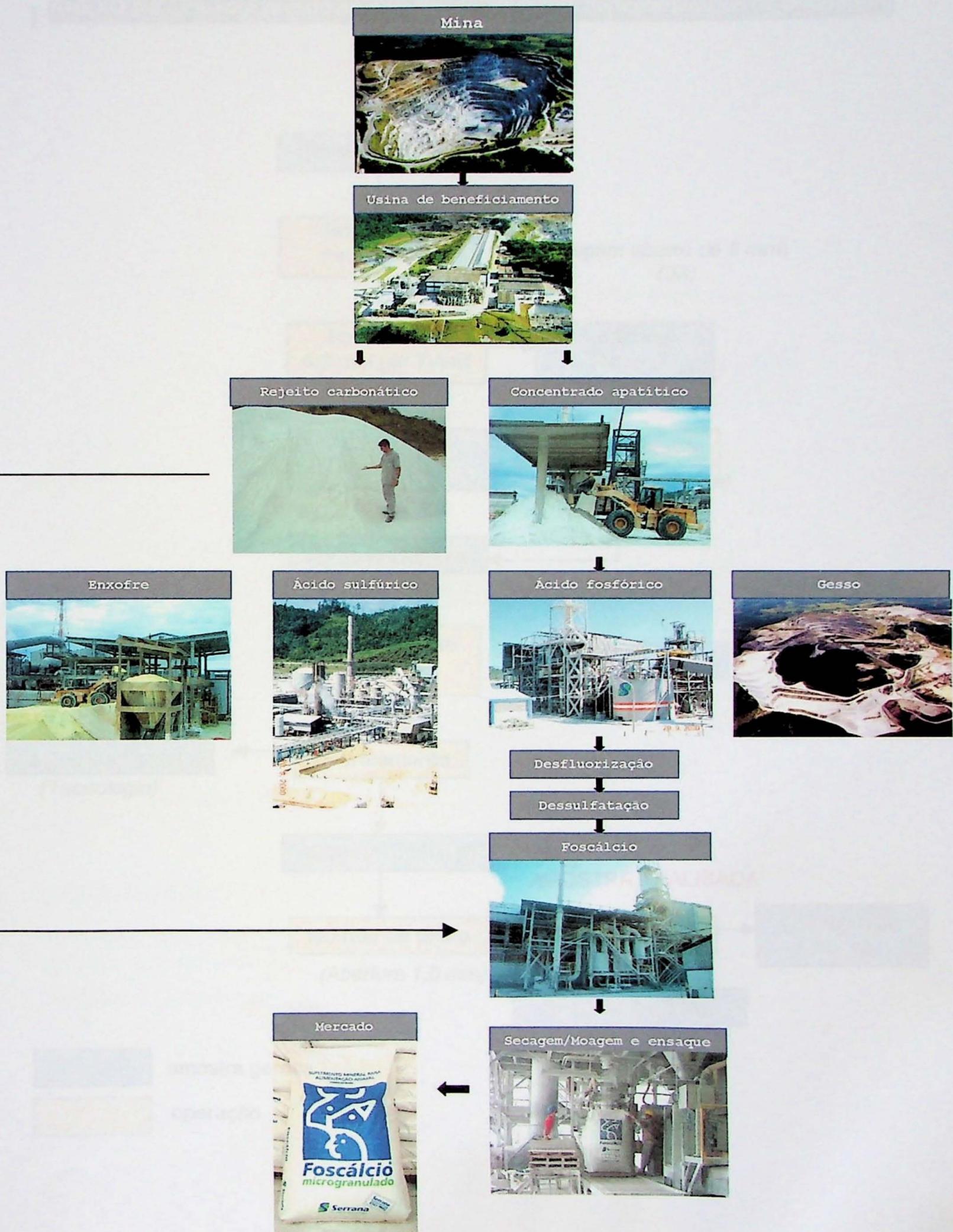
	normal em pequena quantidade. *98,00 a 100,00- Carbonatito calcítico branco, normal, apatita fina em quantidade normal a pouca (3-5%). Pouca flogopita normal; pouca magnetita normal (4-5%); sulfeto (pirita e pirrotita) presente em quantidade normal como vênulas ou amebóides. Prosseguem acessórios esfarrapados (angulosos e orientados incipientemente). Foliação de fluxo com mergulho 60°.
	Fraturas. 96, 10- 40° 96, 40- 10°; ambas com sulfeto.

105	110	Carbonatito calcítico levemente creme fino a normal; apatita fina a normal quantidade (4-5%); pouca magnetita normal (esfarrapada e/ou corroida); pouca flogopita anedral verde normal (2-3%); sulfeto associada à apatita (microcristalina) e também vênular (pirrotita). 108,10 a 108,20 m- Zona de cisalhamento sem brecha 30°.
110	115	Carbonatito calcítico creme, fino com apatita fina, localmente normal em pouca quantidade, por vezes concentrada em pequenos bolsões (mm – cm), com formato irregular; magnetita normal, localmente grossa (espetada, algumas com seção triangular) em quantidade normal; flogopita normal, por vezes grossa verde, enédrica, algumas com seção triangular, em pouca quantidade; sulfeto associado à apatita, magnetita, localmente preenchendo vênulas (<1%). Localmente apatita com crescimento radial. 113,40 m - fratura com mergulho 45°.
115	120	Carbonatito calcítico creme semelhante ao descrito anteriormente. Por vezes apatita em quantidade normal, concentrada em bolsões (mm – cm) com formato irregular, localmente friável, algumas com crescimento radial. De 116,15 a 116,65 m ocorrem vênulas finas, localmente preenchidas por sulfeto, por vezes com carbonato recristalizado. 116,85 m – fratura com mergulho 45°.

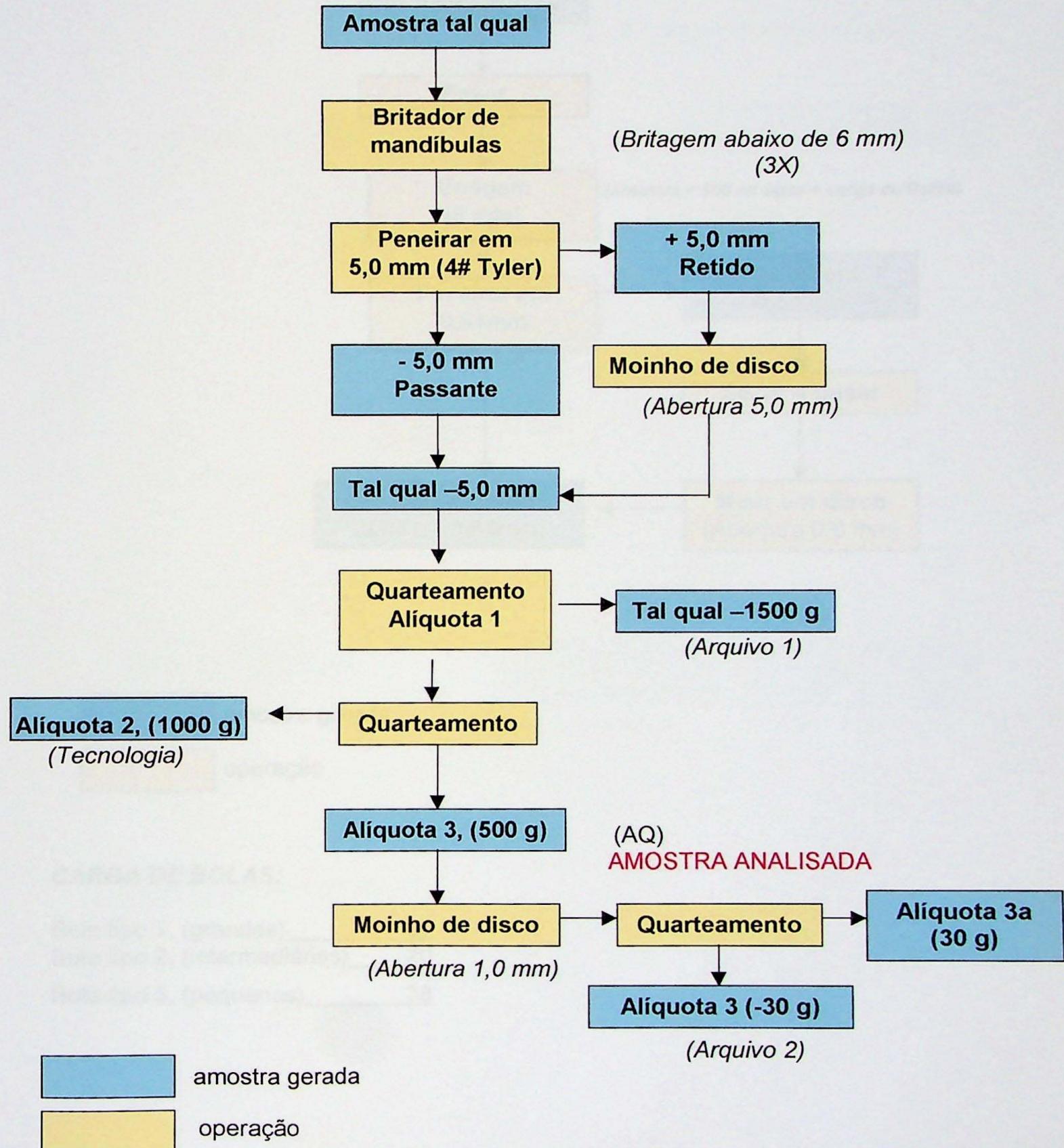
**ANEXO 5 – Fluxogramas de etapas de fabricação do foscálcio e de caracterização**



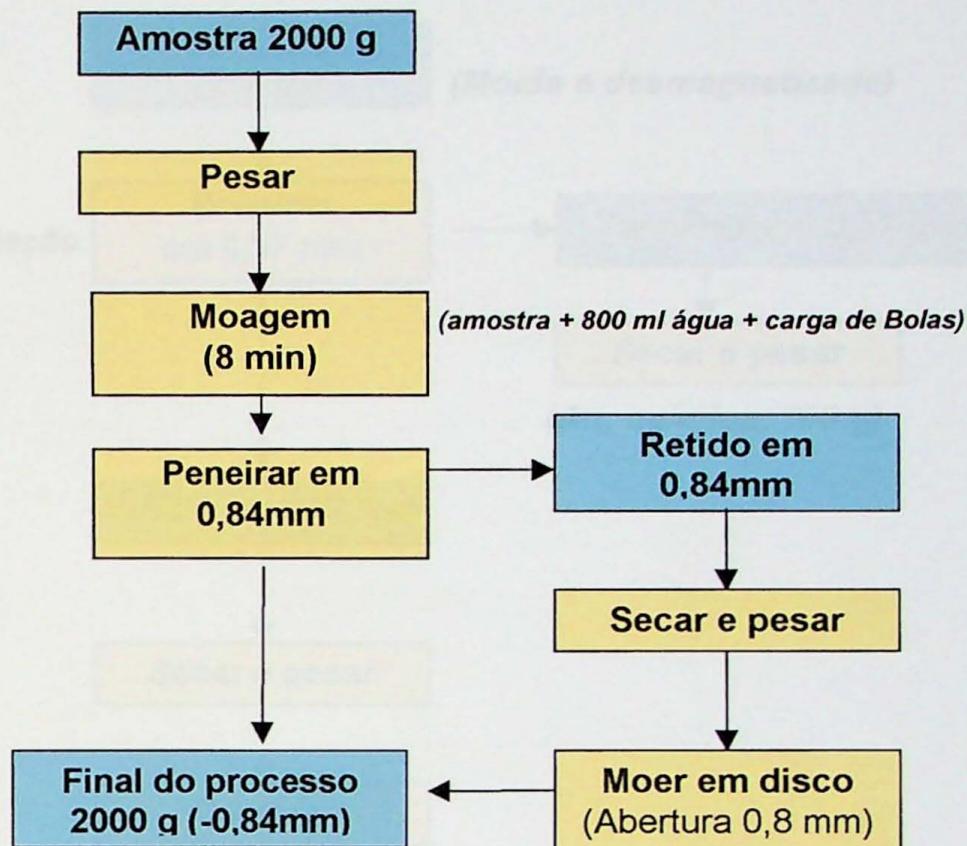
## Anexo 5.1 - Etapas de fabricação do foscálcio



**ANEXO 5.2 - Fluxograma de preparação de amostras de testemunhos de sondagem**



## ANEXO 5.3 - Fluxograma da etapa de moagem



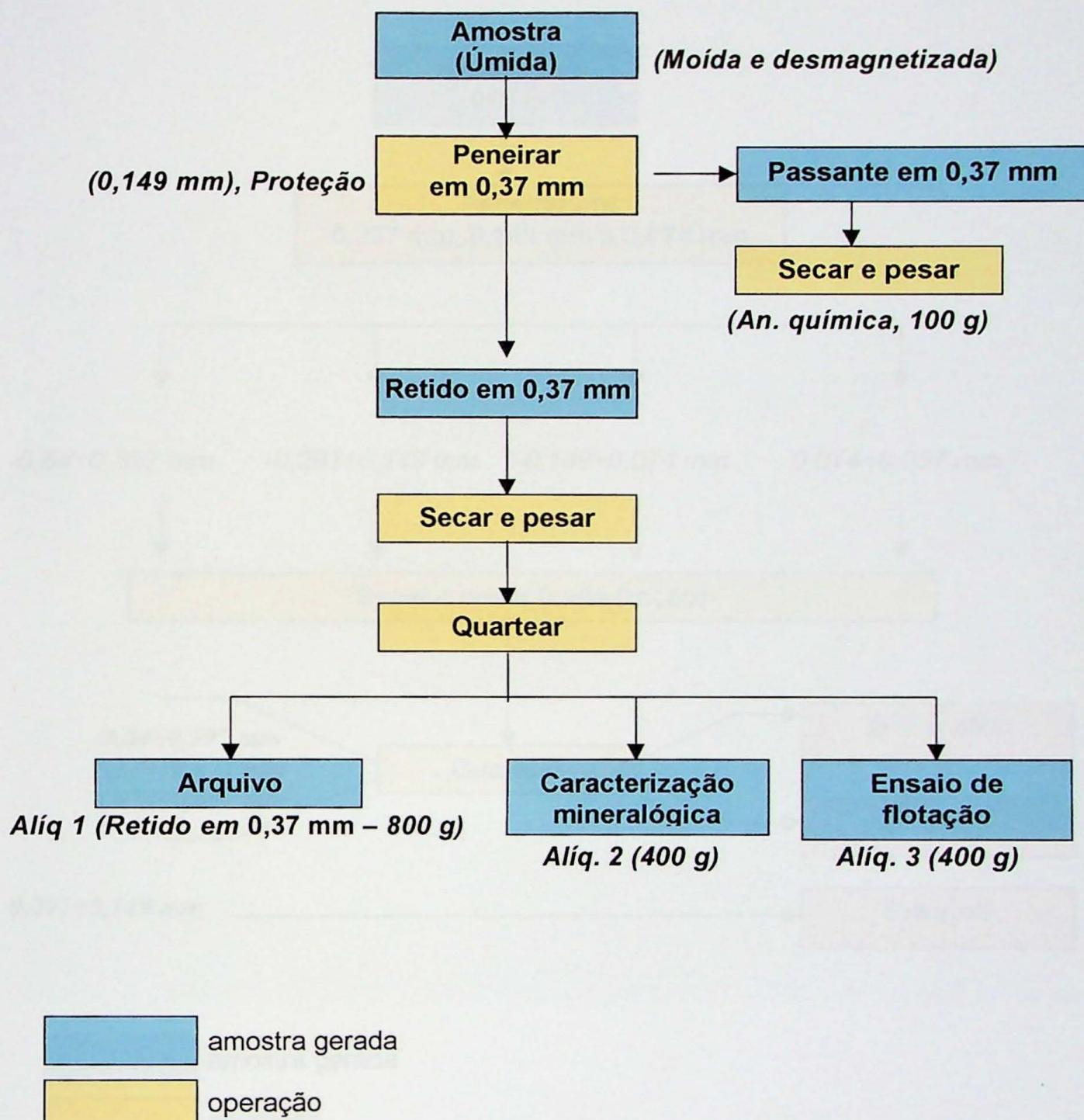
amostra gerada

operação

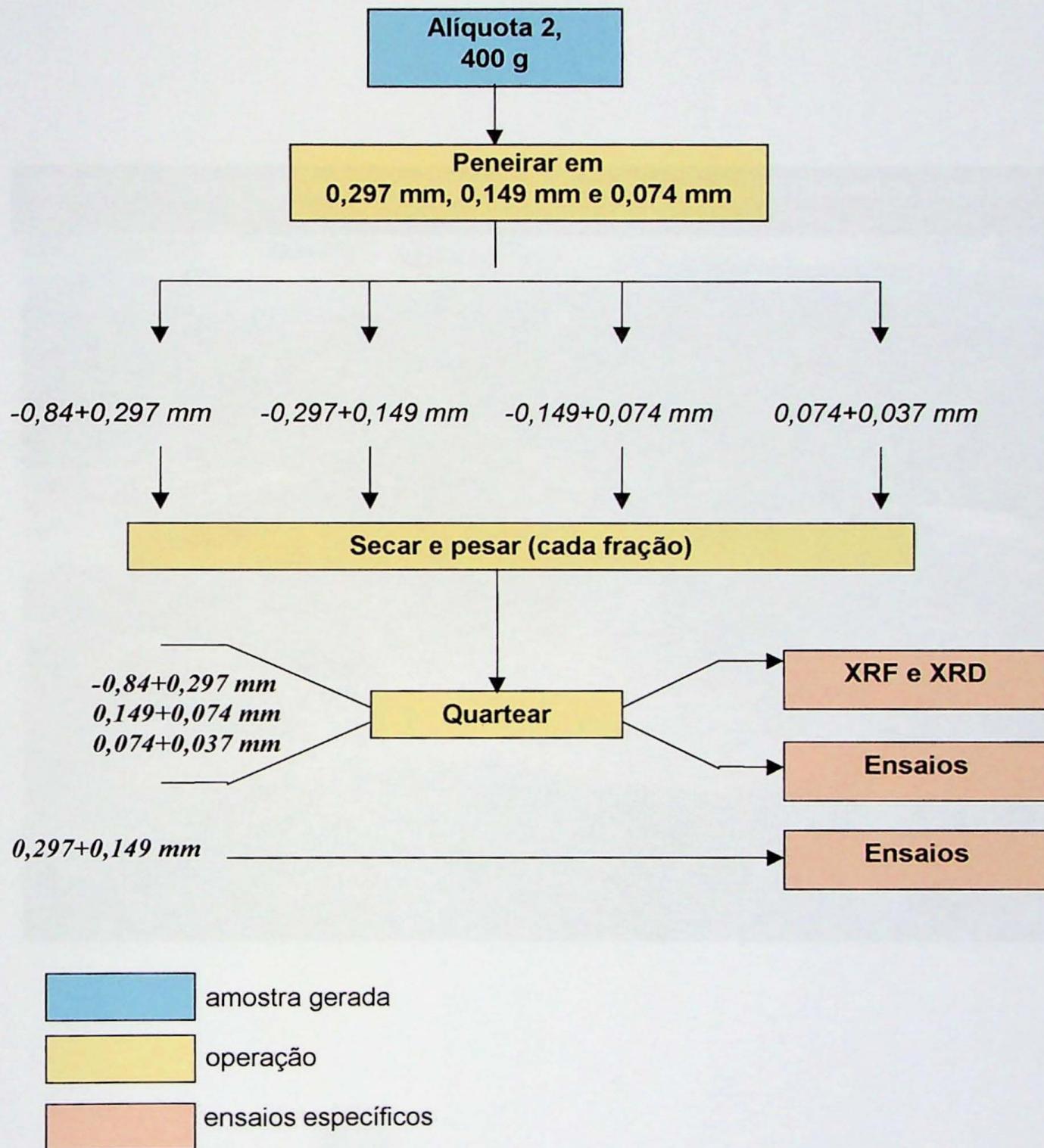
### CARGA DE BOLAS:

Bola tipo 1, (grandes) 07  
Bola tipo 2, (intermediárias) 20  
Bola tipo 3, (pequenas) 38

**ANEXO 5.4 - Fluxograma da etapa de deslamagem**



**ANEXO 5.5 - Fluxograma de classificação granulométrica**



**ANEXO 6 – Descrição em estereomicroscopia dos produtos flutuados magnéticos e  
não magnéticos**



## ANEXO 6.1 – Produto fluído não magnético

<b>AMOSTRA</b>	<b>MINERAIS</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>SP41-02</b>	<b>Carbonatos</b>	<p>Este produto é composto essencialmente por partículas de carbonato, predominantemente branco e subordinadamente incolor. Os grãos variam de xenomórficos subangulosos à idiomórfico com hábitos romboédrico e prismático; possuem brilho vítreo a leitoso e são transparentes</p> <p>Cerca de 1% destes carbonatos estão impregnados por óxidos de ferro e possuem coloração laranja e amarelo. Pontualmente pode-se observar um mineral cinza chumbo de brilho metálico, provavelmente magnetita, associado como uma fina película em torno do carbonato.</p> <p>Observam-se pouquíssimos grãos liberados de flogopita (&lt;1%) transparente a levemente esverdeada.</p>
<b>SP36-02</b>	<b>Carbonatos</b>	<p>Produto semelhante ao anterior com pouquíssimos agregados microcristalino de coloração amarela ora associado a carbonato e ora liberado. Aparentemente não há flogopita.</p>
<b>SP41-01</b>	<b>Carbonatos</b>	<p>Produto semelhante ao SP41-02 FLNM</p> <p>Produto constituído predominantemente por carbonato incolor a branco, brilho vítreo principalmente (alguns grãos com brilho leitoso), normalmente xenomórficos com alguns cristais idiomórficos com hábito romboédrico.</p>
<b>SP36-01</b>	<b>Carbonatos</b>	<p>Há também uma quantidade significativa de agregado microcristalino de coloração laranja ora liberado ora associado ao carbonato branco. Além destes, há pouquíssimos grãos de carbonato alterado com coloração vermelha, rosa, amarela e laranja. Todo esse material compõem aproximadamente 5 a 7%, que é o suficiente para conferir ao produto uma coloração mais alaranjada que os produtos descritos anteriormente.</p> <p>Ocorre também pouquíssima quantidade de material metálico, cinza chumbo em torno dos grãos de carbonato. Observou-se uma quantidade mínima de flogopita incolor (menor que 0,5%).</p>
<b>SP37-02</b>	<b>Carbonato (96%), apatita (3%) e flogopita (1%).</b>	<p>Produto constituído por 95% de partículas de carbonato liberado predominantemente branco e subordinadamente incolor. As partículas variam de xenomórficos subangulosos a idiomórfico com hábitos romboédrico e prismático e ocorrem também na forma de agregados microcristalinos; possuem brilho vítreo a leitoso e são transparentes. Cerca de 1% dos carbonatos não estão liberados, apresentando-se associados a magnetita ora como fina camadas recobrindo as partículas e ora com inclusões. Há também partículas de carbonato alterados com impregnações</p>

		de óxidos de ferro com coloração laranja. Ocorre cerca de 3% de grãos e partículas liberadas de apatita incolor, brilho vítreo, transparentes, na maioria das vezes idiomórfica prismática hexagonal. Cerca de 1% deste produto é composto por flogopita verde e incolor, na maioria das vezes liberada e alguma vezes associada ao carbonato. Foi observado um grão de flogopita com inclusões de um mineral branco (provavelmente carbonato).
SP 37-01	Carbonato (96%), apatita (3%) e flogopita (1%).	Produto muito semelhante ao anterior.

#### ANEXO 6.2 – Produto flutuado magnético

AMOSTRA	MINERAIS	DESCRIÇÃO
SP36-01	Flogopita (51%), carbonato (40%), apatita (7%) e sulfetos (2%).	Aproximadamente 51% deste produto são constituídos por partículas de flogopita. As partículas liberadas (49%) possuem coloração variada (incolor, castanha, verde oliva e verde azulado predominantemente). Observam-se também partículas mistas de flogopita (3%) com inclusões e intercrescimento de apatita e carbonato. Outra associação frequente é magnetita e óxidos de ferro na interface das lameiras.  As partículas de carbonato compõem 40% do volume total da amostra. As partículas liberadas (26%) possuem as mesmas características dos produtos FLMN. As partículas não liberadas (14%), associam-se a magnetita e sulfetos na forma de inclusões e como película de recobrimento no carbonato  As partículas de apatita são predominantemente xenomórfica, incolor e constituem 7% do produto. As partículas não liberadas possuem inclusão de sulfeto e magnetita ou ocorrem como inclusões na flogopita.
SP36-02	Flogopita (70%); carbonato (22%) e apatita (2%).	Cerca de 70% do produto é flogopita, de coloração variada (incolor, verde oliva, verde azulado e castanha), que por vezes apresenta inclusões de magnetita, sulfeto, carbonatos e apatita. Os carbonatos, em geral, compõem 22% do produto. Os carbonatos liberados (11%) são

		<p>essencialmente xenomórficos a hipdiomórficos, incolores a brancos e ora apresentam-se como agregados microcristalinos. Muitas vezes este carbonato apresenta-se alterado com colorações diversas (laranja, amarelo, vermelho, cor de mel). Já os carbonatos não liberados (11%) apresentam-se associados a magnetita e sulfetos, flogopita e apatita, seja na forma de inclusões destes minerais dentro do carbonato, seja como película de recobrimento e até mesmo como intercrescimento.</p> <p>A apatita é pouco comum neste produto (2%); aparece de forma xenomórfica, com pontos pretos inclusos (magnetita e ou sulfetos) e por vazes associada a flogopita.</p> <p>Ocorre também um mineral preto não magnético com brilho não metálico.</p>
SP37-01	<b>Flogopita (72%), carbonato (25%) e sulfeto (3%).</b>	<p>Produto com muita flogopita (72%), normalmente liberada com coloração variada (incolor e verde). As partículas de carbonato compõem cerca de 25% do produto. A maioria destas partículas são mistas (17%), estando associadas a magnetita ou como pontos inclusos e semi-inclusos ou como películas de recobrimento da partícula de carbonato. Já os carbonatos liberados (8%) são normalmente hipdiomórficos brancos e incolores, e quando alterados apresentam-se laranja, amarelo e cor de mel.</p> <p>Aproximadamente 3% do produto é sulfeto. Apatita xenomórfica e mineral preto não identificado ocorrem localmente em pouquíssima quantidade.</p>
SP37-02	<b>Carbonatos (59%), flogopita (36%) e apatita (5%).</b>	<p>Predomina neste produto partículas de carbonato (59%). As partículas liberadas são comumente brancas e incolores, hábito hipdiomórfico a ideomórfico romboédrico. Quando alterados por óxidos de ferro assumem a cor laranja. Já as partículas de carbonato não liberadas apresentam-se associadas preferencialmente a magnetita e sulfetos na forma de finas películas de recobrimento e inclusões destes no carbonato e com flogopita na forma de intercrescimento.</p> <p>A flogopita compõem 36% da rocha, possui cor verde que varia de oliva a verde escuro azulado e raramente é incolor. A grande parte da flogopita está liberada; pouquíssimos grãos de flogopita associam-se ao carbonato.</p> <p>As partículas de apatita compõem 5% do produto e apresentam-se normalmente incolor e xenomórficas.</p> <p>Foram observadas localmente algumas partículas não identificadas de mineral preto não magnético.</p>
SP41-01	<b>Carbonato (80%),</b>	Neste produto predomina carbonato (80%). As partículas liberadas de carbonato (65%) possuem

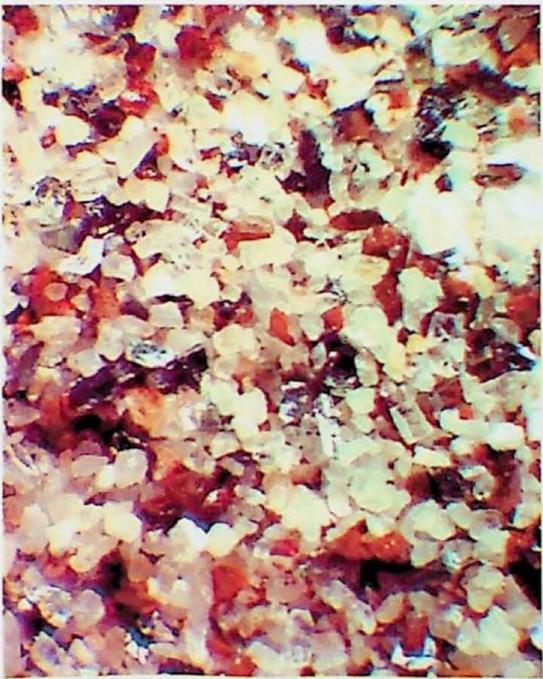
	<p><b>flogopita (17%) e apatita (3%)</b></p> <p>As partículas de flogopita compõem 17% do produto e são normalmente verdes e raramente incolores. A maioria das partículas são ideomórficas lamelares, podendo ser observados poucas partículas xenomórficas. Localmente, observa-se inclusão de magnetita na flogopita.</p> <p>As partículas de apatita chegam a compor 3% do produto, são xenomórficas, incolores e normalmente possuem inclusões de magnetita.</p>
<b>SP41-02</b>	<p><b>Carbonatos (64%), flogopita (33%) e apatita (3%)</b></p> <p>Predomina partículas de carbonato (64%) no produto. As partículas liberadas de carbonato (37%) possuem coloração branca principalmente e subordinadamente incolor. As formas variam de xenomórfica a ideomórfica com hábito romboédrico. As impregnações de óxido de ferro alteram as partículas para tons alaranjado e bege. Já as partículas não liberadas de carbonato (27%) possuem diferentes formas de associação mineralógica: intercrescimento com flogopita e apatita, inclusões de magnetita e sulfetos e recobrimento por magnetita</p> <p>A flogopita é normalmente liberada (pouquíssimas partículas associam-se com carbonato). São verdes e normalmente ideomórficas com hábito lamelar.</p> <p>As partículas de apatita chegam a compor 3% do produto, são xenomórficas e incolores. Localmente observa-se mineral preto não magnético.</p>

**ANEXO 7 –Fotos dos produtos flutuados magnéticos e não magnéticos em estereomicroscópio.**



FLUTUADO MAGNÉTICO

aumento de 1 X



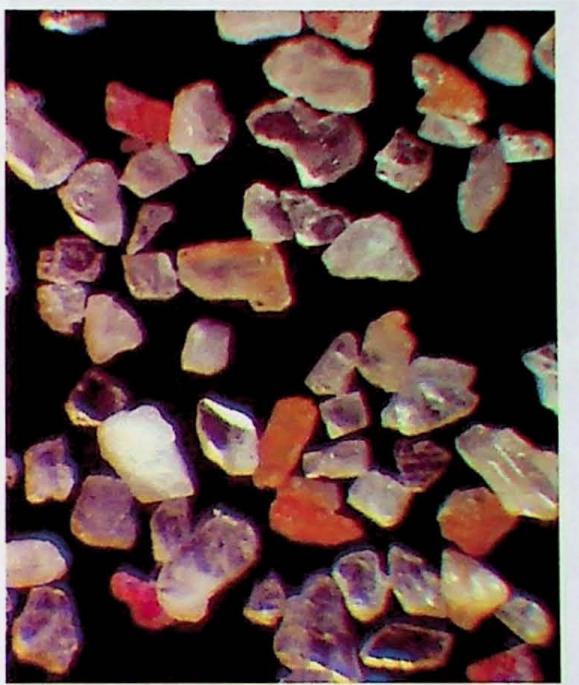
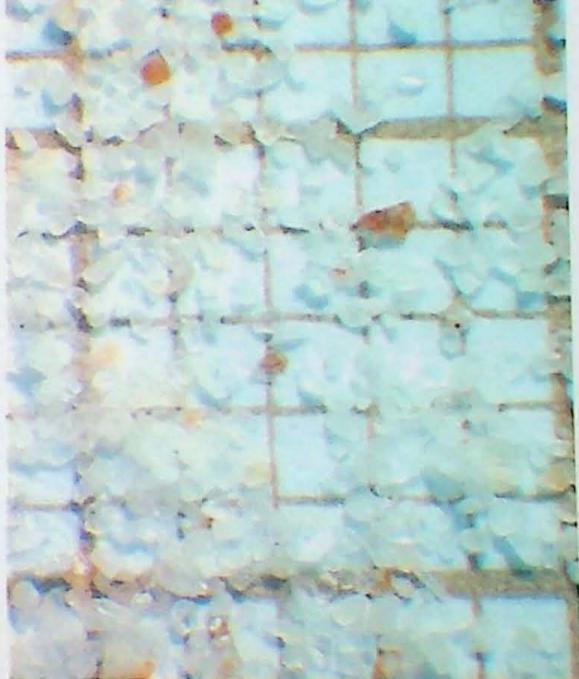
aumento de 2,5 X



aumento de 3,2 X



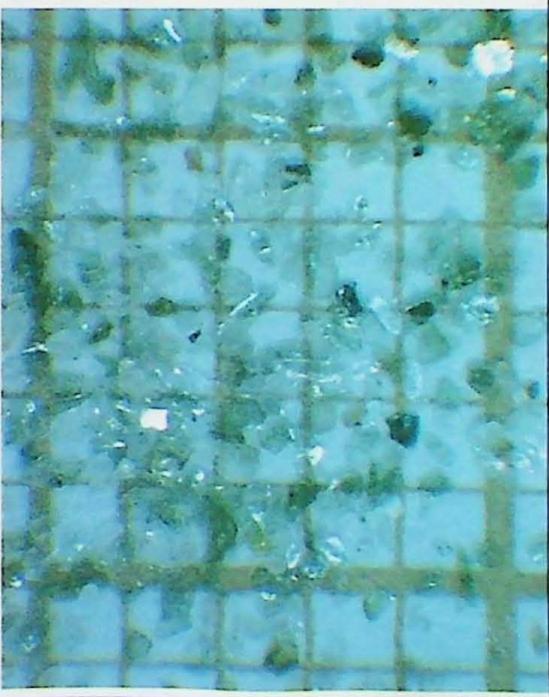
FLUTUADO NÃO MAGNÉTICO



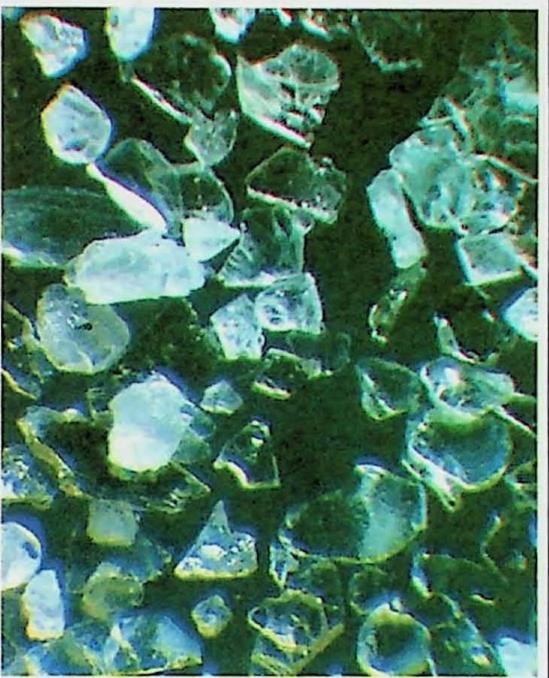
**SP 37 01 – Cl branco a cinza**

**FLUTUADO MAGNÉTICO**

aumento de 1 X



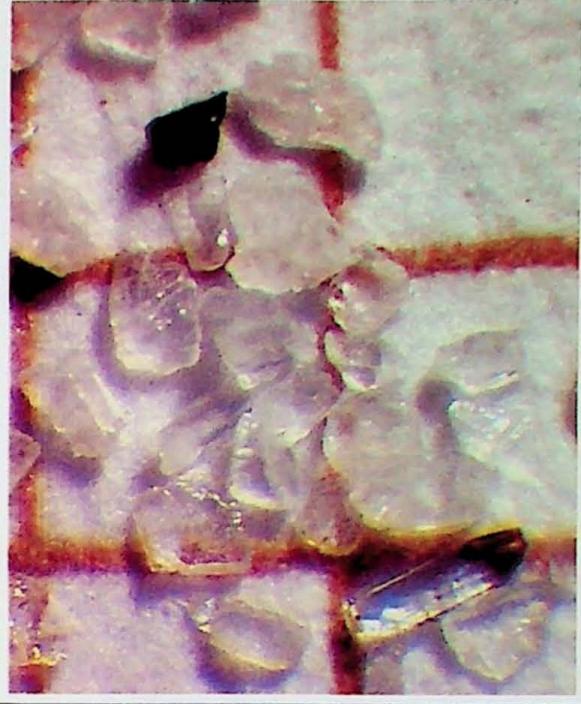
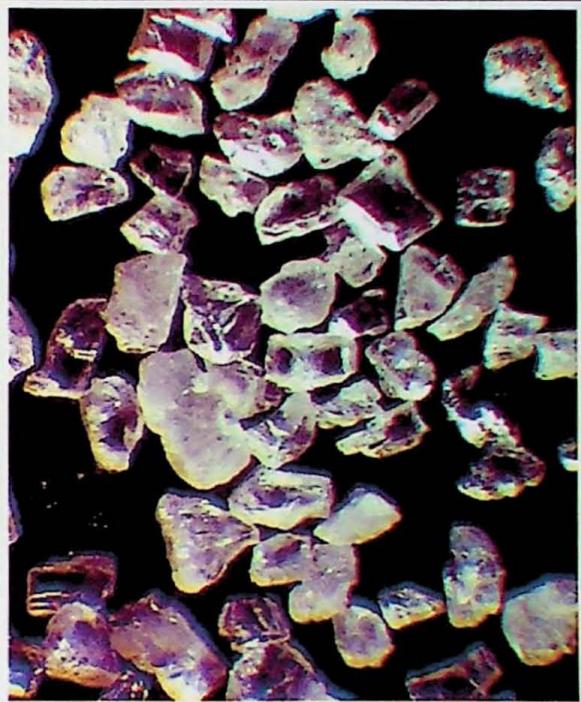
aumento de 2,5 X



aumento de 3,2 X



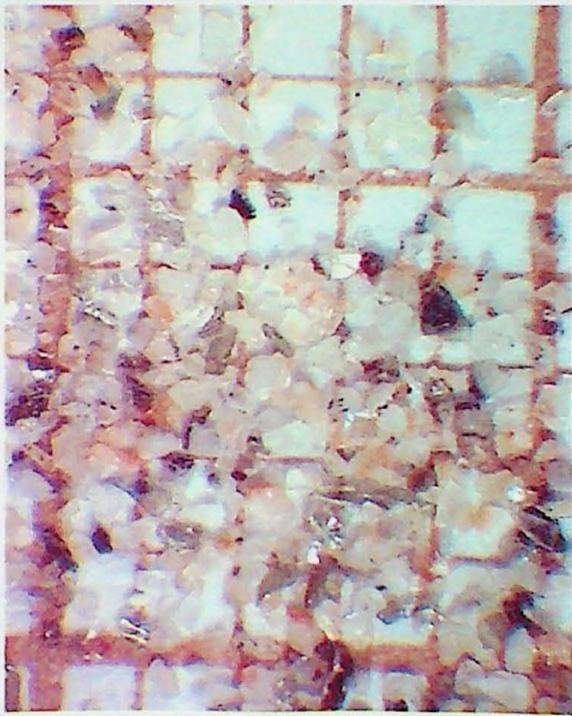
**FLUTUADO NÃO MAGNÉTICO**



**SP 4102 – Cfl creme**

**FLUTUADO MAGNÉTICO**

aumento de 1 X



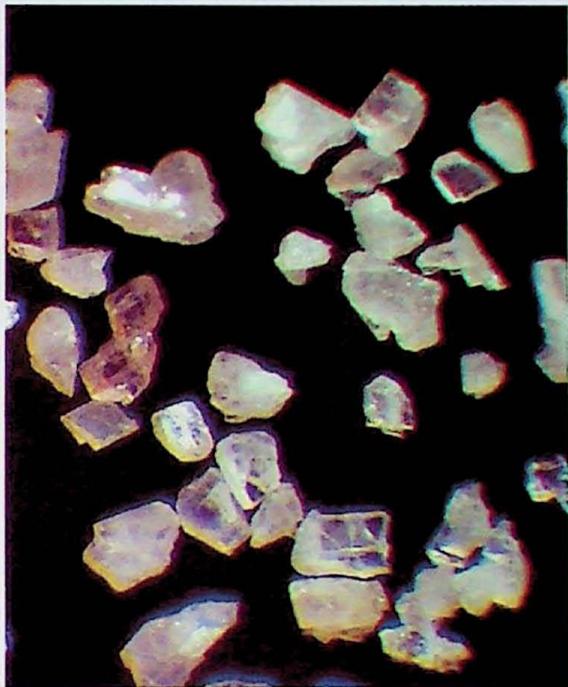
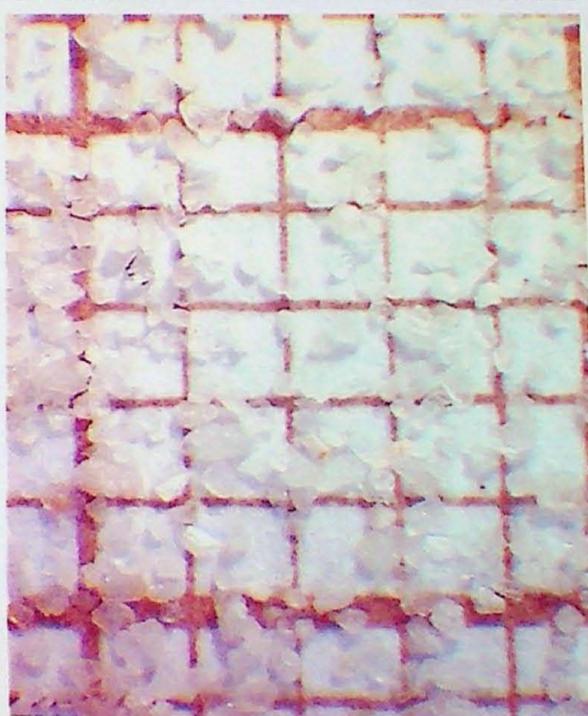
aumento de 3,2 X



aumento de 2,5 X



**FLUTUADO NÃO MAGNÉTICO**



**ANEXO 8 – Contagem de grãos dos produtos flutuados magnéticos.**



## PRODUTO FLUTUADO MAGNÉTICO

FLM 36-01				
	total	% vol	densidade	% peso
APATITA	36,38	6,50	3,17	7,21
CARBONATOS	213,38	38,10	2,72	36,27
SULFETOS+MAG	9,75	1,74	5,00	3,05
FLOGOPITA	276,25	49,33	2,86	49,38
IMPREGNAÇÃO	24,25	4,33	2,70	4,09
TOTAL	560,00	100,00	2,86	100,00
GRAU DE LIBERAÇÃO DA APATITA				90,7%
GRAU DE LIBERAÇÃO DE CARBONATO				75,9%

FLM 36-02				
	total	% vol	densidade	% peso
APATITA	24,50	4,34	3,17	4,70
CARBONATOS	123,75	21,90	2,72	20,38
SULFETOS+MAG	21,50	3,81	5,00	6,51
FLOGOPITA	391,50	69,29	2,86	67,80
IMPREGNAÇÃO	3,75	0,66	2,70	0,61
TOTAL	565,00	100,00	2,92	100,00
GRAU DE LIBERAÇÃO DA APATITA				69,4%
GRAU DE LIBERAÇÃO DE CARBONATO				55,8%

FLM 37-01				
	total	% vol	densidade	% peso
APATITA	22,38	4,26	3,17	4,60
CARBONATOS	62,88	11,98	2,72	11,09
SULFETOS+MAG	19,88	3,79	5,00	6,45
FLOGOPITA	417,00	79,43	2,86	77,36
IMPREGNAÇÃO	2,88	0,55	2,70	0,50
TOTAL	525,00	100,00	2,94	100,00
GRAU DE LIBERAÇÃO DA APATITA				49,2%
GRAU DE LIBERAÇÃO DE CARBONATO				65,2%

FLM 37-02				
	total	% vol	densidade	% peso
APATITA	23,50	4,55	3,17	5,08
CARBONATOS	288,88	55,98	2,72	53,60
SULFETOS+MAG	13,25	2,57	5,00	4,52
FLOGOPITA	159,00	30,81	2,86	31,02
IMPREGNAÇÃO	31,38	6,08	2,70	5,78
TOTAL	516,00	100,00	2,84	100,00
GRAU DE LIBERAÇÃO DA APATITA				46,8%
GRAU DE LIBERAÇÃO DE CARBONATO				52,6%

FLM 41-01				
	total	% vol	densidade	% peso
APATITA	44,75	8,66	3,17	9,78
CARBONATOS	366,88	70,96	2,72	68,79
SULFETOS+MAG	7,00	1,35	5,00	2,41
FLOGOPITA	64,13	12,40	2,86	12,64
IMPREGNAÇÃO	34,25	6,62	2,70	6,37
TOTAL	517,00	100,00	2,81	100,00
GRAU DE LIBERAÇÃO DA APATITA				89,4%
GRAU DE LIBERAÇÃO DE CARBONATO				66,5%

FLM 41-02				
	total	% vol	densidade	% peso
APATITA	30,63	5,92	3,17	6,50
CARBONATOS	301,00	58,22	2,72	54,85
SULFETOS+MAG	21,75	4,21	5,00	7,29
FLOGOPITA	163,63	31,65	2,86	31,35
IMPREGNAÇÃO	0,00	0,00	2,70	0,00
TOTAL	517,00	100,00	2,89	100,00
GRAU DE LIBERAÇÃO DA APATITA				75,1%
GRAU DE LIBERAÇÃO DE CARBONATO				55,8%

