

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**DETALHAMENTO MINERALÓGICO DA ZONA DE  
XENÓLITOS A NORTE E A LESTE DA MINA DE  
CAJATI, SP**

Mariane Brumatti

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

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF - 2004/21)

SÃO PAULO  
2004



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Detalhamento Mineralógico da Zona de Xenólitos a  
Norte e a Leste da Mina de Cajati, SP**

**Mariane Brumatti**

Monografia de Trabalho de Formatura

**Banca Examinadora**

Profa. Dra. Lilia Mascarenhas Sant'Agostinho \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Ian McReath \_\_\_\_\_

Profa. Dra. Gianna Maria Garda \_\_\_\_\_

São Paulo

2004



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**DETALHAMENTO MINERALÓGICO DA ZONA DE  
XENÓLITOS A NORTE E A LESTE DA MINA DE  
CAJATI, SP**

**Mariane Brumatti**



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

Co-Orientador: Geólogo Thiago Bastos Bonás  
Bunge Fertilizantes S/A

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF/2004-21)

SÃO PAULO  
2004

DEDALUS - Acervo - IGC



30900016338



TF  
\$893  
M.d

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DETALHAMENTO MINERALÓGICO DA ZONA DE  
XENÓLITOS A NORTE E A LESTE DA MINA DE  
CALATI, SP



Mariane Brumatti

Orientador: Prof. Dr. Lício Mascarenhas Gonçalves  
Instituto de Geociências - USP

Co-Orientador: Geólogo Técnico Marcos Soares  
Rua F. de Almeida, 21A

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(1996)

SÃO PAULO  
1996



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais, Ana Maria e José Roberto, pelo amor e compreensão em todos os momentos da minha vida. Agradeço ao meu irmão Paulo, à minha tia Meiga e ao meu vô Ermelindo, e a todos meus familiares que sempre me deram muito apoio.

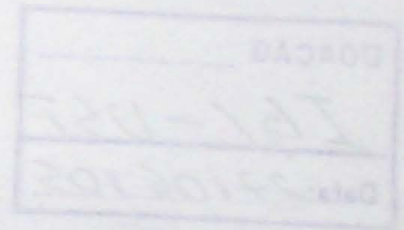
Obrigada ao Carlos, meu amor e melhor amigo, por tanto amor e paciência, principalmente nesse último ano que passamos tanto tempo longe.

Agradeço a todos da minha turma, principalmente a Polegar (Letícia) e Transformer (Jaqueline). Foram ótimos momentos que passamos nesses últimos 5 anos, e muito obrigada pela paciência, carinho, atenção, alegrias e amizade.

Ao Seu Adão, Izabel, Gerseu e Cauê, minha família cajatiense.

Agradeço às minhas amigas Paula e Mayara, que me deram tanta força para conseguir chegar até aqui. À Andréia, Dirce, Agenor e Walter, amigos que fiz nesse ano que me ajudaram a espantar a solidão.

A Lília e Thiago, pela orientação e excelente oportunidade de trabalho, e a Daniel, pelas dicas e ajuda. Agradeço a todos a colaboração para a realização desse trabalho.





## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais, José Roberto e Maria Rosa, por serem o meu primeiro e maior exemplo de vida. Agradeço também aos meus irmãos, especialmente ao meu irmão mais velho, por sempre me apoiar e me encorajar.

Obrigado ao Carlos, meu amigo e colega de trabalho, por sempre estar ao meu lado e me ajudar em todas as dificuldades. Agradeço também ao meu amigo e colega de trabalho, por sempre estar ao meu lado e me ajudar em todas as dificuldades.

Agradeço a todos os meus amigos, especialmente ao meu amigo e colega de trabalho, por sempre estar ao meu lado e me ajudar em todas as dificuldades. Agradeço também ao meu amigo e colega de trabalho, por sempre estar ao meu lado e me ajudar em todas as dificuldades.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos, especialmente ao meu amigo e colega de trabalho, por sempre estar ao meu lado e me ajudar em todas as dificuldades. Agradeço também ao meu amigo e colega de trabalho, por sempre estar ao meu lado e me ajudar em todas as dificuldades.

DOAÇÃO
<i>IGL-USP</i>
Data: <i>27/06/05</i>



## RESUMO

A mina de carbonatito de Cajati é mineralizada a apatita, utilizada para a fabricação de ácido fosfórico, que é aplicado a matéria-prima carbonática para obtenção de foscálcio, suplemento mineral em rações animais.

Dentro das unidades litológicas em lavra, destacam-se as Zonas de Xenólitos, formadas pela assimilação da encaixante pelo magma carbonatítico e constituídas de fragmentos do jacupiranguito distribuídos caoticamente na massa carbonatítica mais zonas de reação, compostas por minerais carbonáticos e silicáticos neoformados. Essas regiões apresentam apatita, e representam significativa parcela dos recursos minerais da jazida, porém devida a características diversas dos carbonatitos interferem no processo de beneficiamento corrente na mina.

O presente trabalho objetivou o estudo detalhado desse domínio no âmbito da química mineral, com a coleta de amostras em diferentes pontos da mina, visando otimizar seu aproveitamento.

Apesar do carbonatito ser o componente litológico predominante, os teores de  $P_2O_5$  das Zonas de Xenólitos, próximos ou acima do teor de corte praticado na mina (3% de  $P_2O_5$ ), recebem importante contribuição das zonas de reação.

A mineralogia principal é calcita e flogopita, similar à das unidades calcíticas; a apatita, de granulação fina, também se assemelha a algumas unidades. Teores elevados de MgO correspondem a minerais silicáticos que contêm o elemento em sua composição química, tendo sido identificados: flogopita, biotita, forsterita, diopsídio e richterita, além de outras fases minerais menores.

Os resultados permitiram caracterizar a Zona de Xenólitos como minério de baixo teor do tipo *Magnesiano*, segundo classificação da operação de lavra.



## ABSTRACT

The Cajati carbonatite mine produces apatite used for phosphoric acid manufacturing, which is applied to carbonates raw material to obtain phoscalcium (*foscálcio*) used as mineral supply for animal feeding.

Among the exploited lithological units there are the Xenolithic Zone, generated by host rock assimilation by the carbonatitic magma, constituted by jacupiranguite boulders (sized from decimeters to meters), randomly distribute in carbonatitic matrix, and by the reaction zones, composed by neoformed carbonatic and silicate minerals. These regions present apatite mineralization representing a significant part of the mineral recourses of the deposit, however they have distinct characteristics form carbonatites and interfere on the concentration plant process.

The present work aimed the detailed study of this unit, using bulk samples collected from different parts of the Xenolithic Zone, in order to optimize its application in the plant.

The Zenolithic Zones have  $P_2O_5$  grades near or higher the cut off of the mine (3%  $P_2O_5$ ), and, despite the carbonatite is the main lithological component, the phosphate grades have an important contribution of the reaction zones.

The main mineralogy is calcite and flogopite, similar to the calcitic units; apatite has fine texture, also similar to some calcitic units. High MgO grades correspond to silicate minerals that were identified as: flogopite, biotite, forsterite, diopside and richterite, among others small phases.

The results allowed to characterize the Xenolithic Zones as low grade ore *Magnesiano* type, according to the current mine classification.



## ÍNDICE

1- INTRODUÇÃO .....	1
2- OBJETIVOS .....	2
3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
3.1. GEOLOGIA REGIONAL .....	3
3.2. GEOLOGIA LOCAL.....	4
3.3. TRABALHOS ANTERIORES DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA .....	7
3.4. CARACTERÍSTICAS DA ZONA DE XENÓLITOS.....	7
4- MATERIAIS E MÉTODOS.....	9
5- DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES .....	10
6- RESULTADOS OBTIDOS E INTERPRETAÇÕES .....	11
6.1- AMOSTRAGEM.....	11
6.1.1. <i>Individualização das litologias por catação</i> .....	12
6.1.2. <i>Considerações sobre amostragem da Zona de Xenólitos</i> .....	19
6.1.3. <i>Discussão dos resultados de amostragem e catação</i> .....	20
6.2. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA .....	21
6.2.1. <i>Preparação das amostras</i> .....	21
6.2.2. <i>Seleção das amostras para caracterização</i> .....	24
6.2.3. <i>Separações minerais</i> .....	29
a) <i>Meio denso</i> .....	29
b) <i>Frantz isodinâmico</i> .....	34
6.2.4. <i>Análises por difratometria de raios X</i> .....	36
6.2.5. <i>Discussão dos resultados da caracterização tecnológica</i> .....	37
7- CONCLUSÕES .....	40
8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
ANEXOS .....	45



- I – Registro fotográfico das frentes de lavra amostradas**
- II – Registro fotográfico das litologias separadas por catação nas frações granulométricas -44,45+12,7 mm, -12,7+9,525 mm e -9,525+6,35 mm**
- III – Descrição mineralógica dos produtos da separação em meio denso**
- IV – Composição mineralógica relativa dos produtos da separação em meio denso**
- V – Fluxogramas de separações em Frantz isodinâmico**
- VI – Composição mineralógica relativa dos produtos da separação em Frantz isodinâmico**
- VII – Resultados das análises por difratometria de raios X**



## 1- INTRODUÇÃO

O presente estudo refere-se às rochas carbonatíticas mineralizadas a fosfato situadas na região centro-sul do Complexo Ultramáfico-Alcalino de Jacupiranga, na cidade de Cajati, SP, a cerca de 240 Km da capital, com acesso pela Rodovia Régis Bittencourt – BR 116 (Figura 1).

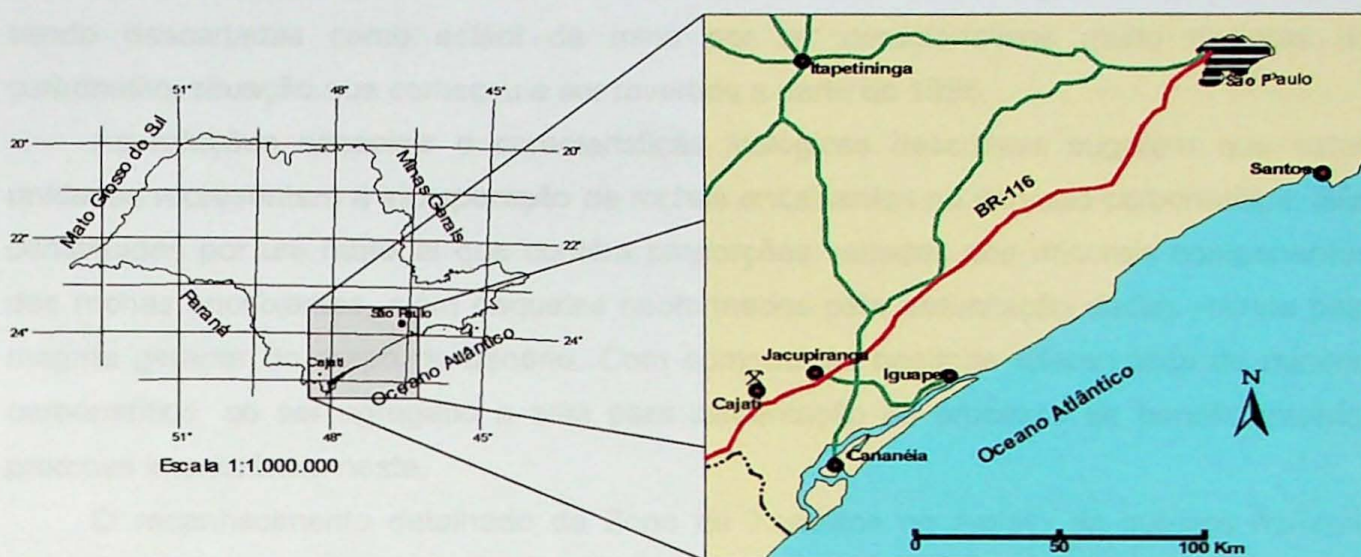


Figura 1. Mapa de localização da área e acessos.

A exploração do minério residual, constituído basicamente de apatita, iniciou-se em 1943 no local denominado Morro da Mina, com o minério era beneficiado por lavagem e separação magnética gerando concentrados com cerca de 40% de  $P_2O_5$  e um máximo de 2,5% de  $Fe_2O_3$ , o qual era utilizado na fabricação de fertilizantes.

No início da década de 70, com a exaustão do minério residual, começou a ser lavrada rocha sã (carbonatito) com teores de  $P_2O_5$  em torno de 5%. A apatita deixou de ser a única base econômica da mina, passando a ser aproveitada a massa carbonática como matéria-prima para fabricação de cimento. Com a crise na indústria de fertilizantes no final da década de 80, iniciou-se o desenvolvimento de várias aplicações para os produtos e subprodutos da mina: indústria alimentícia, corretivos agrícolas e agregados graúdos para construção civil.

Atualmente o principal produto da mina continua sendo a apatita. Com o concentrado desse mineral é produzido ácido fosfórico, que é aplicado em matéria-prima carbonática para a obtenção de foscálcio (fosfato bicálcico), suplemento mineral para alimentação animal com a função de balancear níveis de cálcio e fósforo em rações. A mina de Cajati opera hoje com teor médio de 12% de apatita (cerca de 5% de  $P_2O_5$ ) e produz em média 52.000t/mês de concentrado com 36% de  $P_2O_5$ .



A Zona de Xenólitos, alvo de estudo desse trabalho, é de ampla extensão e representa significativa parcela dos recursos minerais da jazida, fato que, devido aos teores de fosfato a ela associados, torna crescente a sua incorporação ao minério carbonatítico rotineiramente lavrado, tornando-se relevante a determinação de suas feições mais importantes. Trata-se de uma unidade litológica bem definida em campo e representada por três porções ou massas individualizadas na mina que, embora apresentem mineralização de apatita, vinham sendo descartadas como estéril da mina por ter características muito distintas do carbonatito, situação que começou a ser revertida a partir de 1995.

As relações espaciais e características litológicas descritivas sugerem que estas unidades representem a incorporação de rochas encaixantes na intrusão carbonatítica. São constituídas por um material que contém proporções variadas dos minerais componentes das rochas encaixantes, além daqueles neoformados pela assimilação destas rochas pelo magma gerador do corpo de minério. Com composição bastante diferenciada do minério carbonatítico, ao ser agregado a este para alimentação do processo de beneficiamento, promove interferência neste.

O reconhecimento detalhado da Zona de Xenólitos no âmbito da química mineral, através de dados químicos e mineralógicos, assim como o comportamento do material quando submetido à britagem e aos processos de separação física, permitirá qualificar este material como matéria-prima para os produtos e os subprodutos desenvolvidos pela empresa. Desse modo, espera-se otimizar a utilização da unidade na alimentação da usina de concentração mineral, maximizando o aproveitamento do recurso mineral e reduzindo o volume de estéril gerado na mina. O presente trabalho é de grande importância, não apenas para o desenvolvimento do processo de beneficiamento, como também para fornecer subsídios para o modelamento geológico do corpo carbonatítico.

## **2- OBJETIVOS**

As Zonas de Xenólitos são formadas pela interação entre jacupiranguito e carbonatito, e constitui-se de fragmentos da rocha encaixante, de dimensões decimétricas a métricas, distribuídos de maneira caótica em uma massa carbonatítica. A região de principal ocorrência dessa zona é na porção Norte da mina.

Trabalhos de caracterização tecnológica realizados em amostras de testemunhos de sondagens da Zona de Xenólitos Norte revelaram que o corpo pode ser em parte aproveitável economicamente. Os teores de  $P_2O_5$  chegam até a ultrapassar o teor de corte da mina (3% de  $P_2O_5$ ), porém tem um valor médio próximo (2,87% de  $P_2O_5$ ). Os resultados mostram também que o comportamento do material em relação à moagem é muito similar ao comportamento de um carbonatito tipo.



Com base nessas informações, elaborou-se um programa que objetiva o estudo detalhado das fases minerais presentes e da química mineral típica das Zonas de Xenólitos, em apoio à caracterização tecnológica. Foram enfocadas a porção Norte e a porção Leste, outra zona de xenólitos recentemente individualizada no contato com a encaixante.

Os resultados obtidos foram comparados com os já existentes, correlacionando dados em superfície (amostras de frente de lavra, base do estudo atual) com dados em subsuperfície (amostras de testemunho, base do estudo já realizado). O comportamento deste material quanto à separação física e de composição química também foi comparado com o comportamento típico de algumas tipologias da mina já caracterizadas a partir dos teores de  $P_2O_5$  e MgO: Carbonatito Dolomítico, Carbonatito Magnesiano e Carbonatito Calcítico (para foscálcio, e com rejeitos destinados à fabricação de cimento).

### **3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. GEOLOGIA REGIONAL**

O Complexo Ultramáfico-Alcalino de Jacupiranga foi primeiro mencionado por Bauer (1877) como uma jazida de ferro, em artigo na revista Engenharia do Rio de Janeiro denominado "As mina de ferro de Jacupiranga". Foi Derby (1891) quem realizou as primeiras descrições do Complexo e propôs o termo jacupiranguito para as rochas alcalinas piroxeníticas compostas essencialmente por titano-augita e magnetita, tendo flogopita, olivina e nefelina como minerais acessórios.

Esse mesmo autor interpretou a mineralização como produto de metamorfismo de contato entre jacupiranguito e carbonatito. Porém Melcher (1965) conclui em seu trabalho que o minério residual era produto de alteração dos carbonatitos, e sugeriu também a origem magmática dessas rochas.

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, geiquelita, magnésio-ilmenita, magnetita, quintinita, flogopita, pirita, pirrotita, quartzo (secundário), serpentina, estroncianita, uranopirocloro, vallerita.

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



O mapa geológico apresentado por Germann *et al.* (1987) mostra que o Complexo compõem-se de dois corpos intrusivos principais: dunitos na região setentrional e jacupiranguitos na meridional. Rochas de composição insaturada ocupam geograficamente duas áreas expressivas dentro do jacupiranguito: na porção SW, ijolitos (rocha contendo entre 30-70% de nefelina) em forma de meia lua, e mais ao centro carbonatitos, ocorrendo como um corpo alongado aproximadamente segundo NNW (Figura 2). Como pode ser observado no mapa e conforme Ruberti *et al.* (1992), o Complexo de Jacupiranga exibe forma ovalada (10,5 x 6,7 Km) segundo NNW e encontra-se inteiramente encaixado em rochas Pré-Cambrianas do Grupo Açungui (550 Ma.): granodioritos ao Norte e mica-xisto ao Sul.

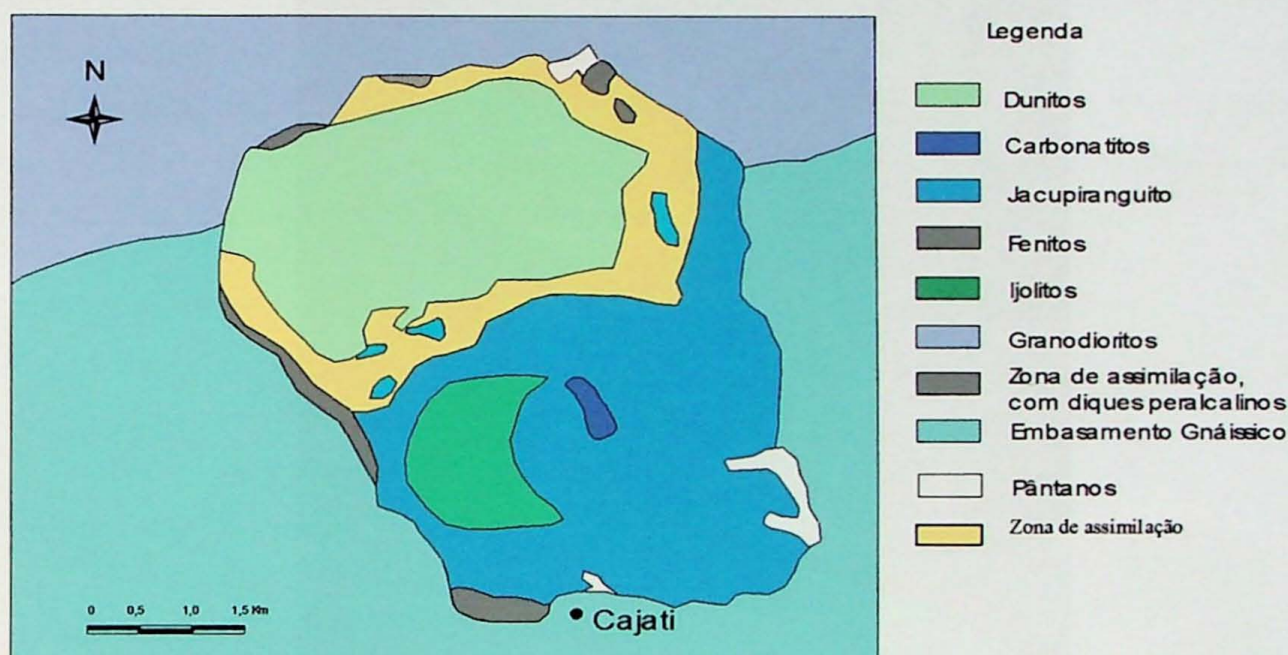


Figura 2. Mapa geológico do Complexo Alcalino de Jacupiranga (adaptado de Germann *et al.*, 1987, *apud* Raposo, 2002).

Através dos métodos de datação K/Ar e Rb/Sr, determinou-se uma idade aproximada para o complexo de  $131 \pm 3$  Ma. (Amaral, 1978 e Roden *et al.*, 1985, *apud* Ruberti *et al.*, 1992), situando o complexo entre as diversas intrusões alcalinas cretáceas que acompanham as bordas da Bacia do Paraná. Ainda segundo Ruberti *et al.* (1992), essas ocorrências estão associadas à abertura do Oceano Atlântico Sul, condicionada tectonicamente pelo Arco de Ponta Grossa.

### 3.2. GEOLOGIA LOCAL

O corpo carbonatítico do Complexo Ultramáfico-Alcalino de Jacupiranga tem forma alongada na direção NNW, com diâmetros aproximados de 1.000 m e 400 m. A elevação



denominada “Morro da Mina” originalmente alcançava 225 m. Hoje, com a lavra a céu aberto, a cava atinge uma profundidade de 70 m abaixo do nível do mar.

Gaspar (1989) após efetuar um mapeamento de detalhe, com suporte de petrografia e determinação em microsonda eletrônica, revelou a ocorrência de cinco intrusões carbonatíticas distintas, divididas em duas porções: a porção Norte, com C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub>, e a porção Sul, com C<sub>4</sub> e C<sub>5</sub> (Figura 3). Dada essa conclusão, determinou que a seqüência das intrusões carbonatíticas, da mais velha para a mais nova é: C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> e C<sub>5</sub>.

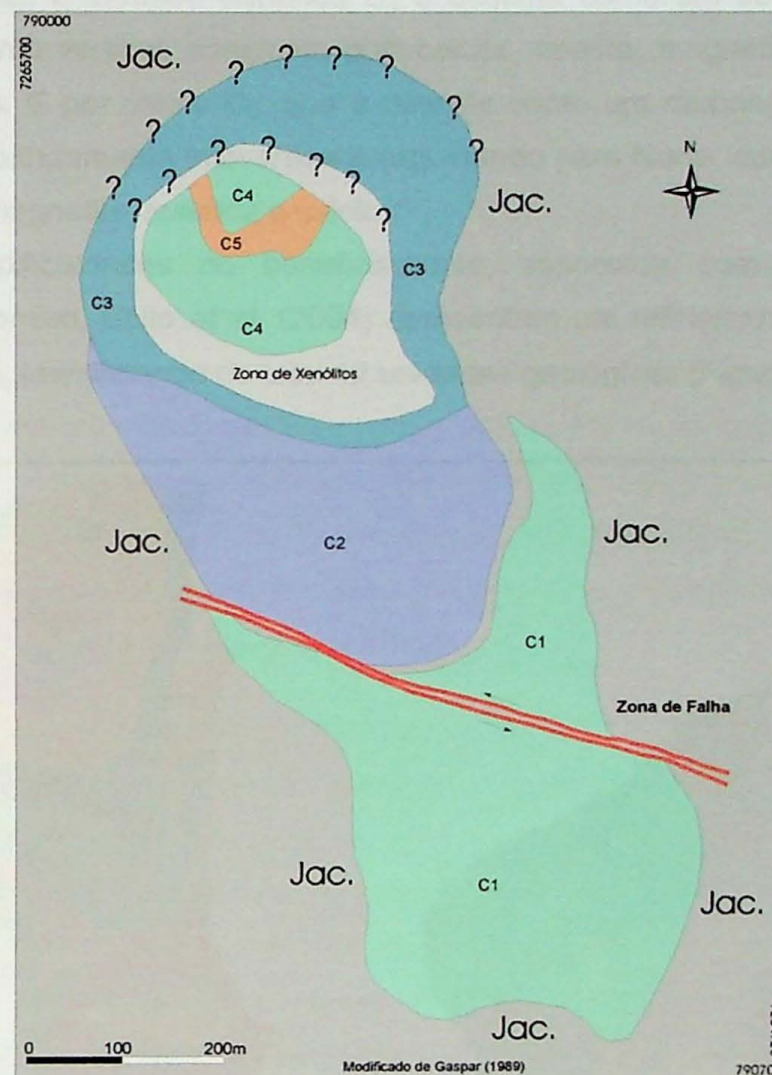


Figura 3. Mapa das intrusões carbonatíticas segundo Gaspar 1989 (*apud* Raposo, 2002). Intrusões: C<sub>1</sub>, C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>- sovitos calcíticos; C<sub>2</sub>- sovito dolomítico; C<sub>5</sub>- rauhaugito.

Segundo o autor, C<sub>1</sub> é descrito como um sovito, com granulação grossa e bandamento subvertical mergulhando para Norte, composto por calcita, apatita, magnetita, olivina, flogopita, dolomita e sulfetos (toda a mineralogia é descrita pelo autor na ordem de maior para menor abundância). A intrusão C<sub>2</sub> é descrita como um sovito dolomítico com granulação fina a média, finamente bandado com mergulho vertical (paralelo ao contato com



C<sub>1</sub>), composto por: calcita, apatita, magnetita, olivina, flogopita, dolomita e sulfetos. No contato entre C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub> observa-se sovito e beforsito com bandamento difuso.

A intrusão C<sub>3</sub> também é um sovito com granulação média a grossa, com bandamento menos evidente e composto por: calcita, apatita, magnetita, flogopita, dolomita, olivina e sulfeto. 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 Sul, a intrusão cilíndrica C<sub>4</sub> é descrita como um sovito com granulação média e bandamento vertical, composta por: calcita, apatita, magnetita, olivina, flogopita, dolomita e sulfetos. E por último C<sub>5</sub>, que é descrita como um rauhaugito, com granulação média a grossa e bandamento subvertical mergulhando para Norte, composta por dolomita, apatita, flogopita, magnetita, sulfetos e calcita.

Devido às dificuldades no beneficiamento, associada com a necessidade de reavaliação do depósito, Saito *et al.* (2004) apresentam um refinamento da divisão para o corpo carbonatítico, identificando no total 12 unidades geológicas (Figura 4).

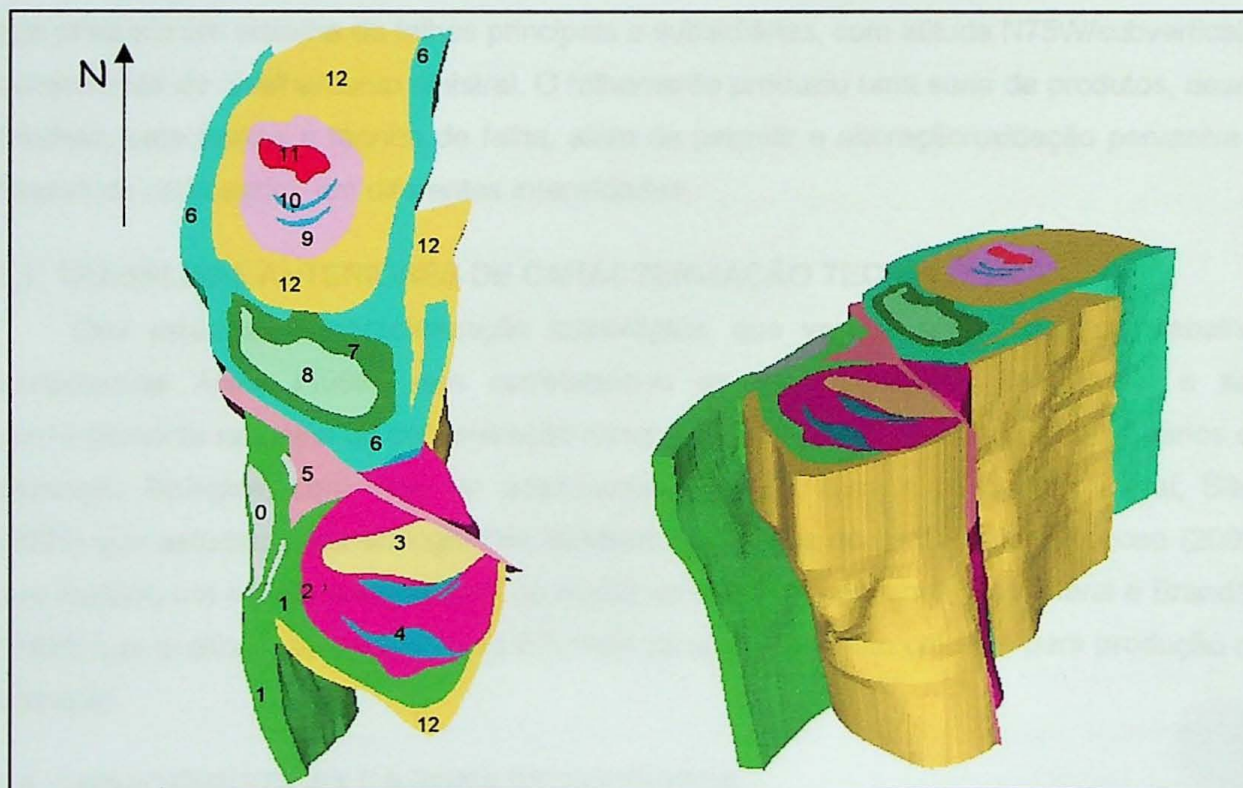


Figura 4. Mapa geológico e modelo tridimensional do corpo carbonatítico (Saito *et al.*, 2004). Unidades geológicas: 1- Carbonatito Periférico Sul (CPS); 2- Carbonatito Calcítico Sul (CCS); 3- Carbonatito Oxidado (COX); 4- Zonas com Foscoritos Sul (FCS); 5- Zona de Fallha (ZFA); 6- Carbonatito Intermediário (CBI); 7- Carbonatito Foliado (CBF); 8- Carbonatito Branco (CBR); 9- Carbonatito Norte (CBN); 10- Zonas com Foscoritos Norte (FCN); 11- Carbonatito Dolomítico (DOL); 12- Zonas de Xenólitos (XENorte, XELeste, XESul); 0- Corpos de Jacupiranguito (JAC).



Em complemento às de definições de Gaspar (1989), os autores distinguiram 7 unidades exclusivamente carbonatíticas (1, 2, 3, 6, 7, 8 e 9), com características petrográficas distintas, contatos mapeáveis e uma organização interna distinta, com foliação de fluxo concêntrico, com presença de xenólitos nas regiões de contato (jacupiranguito e carbonatito mais antigos). Correlacionando com o mapa de Gaspar (1989), as unidades carbonatíticas 1 a 3 correspondem a intrusão C<sub>1</sub>, as unidades 6 a 8 correspondem a intrusão C<sub>2</sub>, a unidade 6 também corresponde a C<sub>3</sub>, a unidade 9 corresponde a C<sub>4</sub>, e aparentemente o carbonatito dolomítico (11) corresponde a C<sub>5</sub>.

Foram diferenciadas ainda lentes métricas isoladas de foscoritos a Norte e Sul (4 e 10) e um corpo carbonatítico dolomítico (11), de granulação grossa a pegmatóide, contato transicional, além de relíctos de rocha foliada, aparentemente produtos de alteração carbonática tardia (dolomitização). Além da Zona de Xenólitos (12- XENorte) a Norte mapeada por Gaspar (1989), foram identificadas outras duas regiões a Leste e Sul (12- XELeste e XESul); os xenólitos centimétricos a métricos são de jacupiranguito com bordas metassomatizadas, ora suportados por matriz carbonáticas, ora por xenólitos.

A Zona de Falha (5) corresponde a principal falha de um regime de cisalhamento rúptil que produziu um sistema de falhas principais e subsidiárias, com atitude N75W/subvertical e componente de cisalhamento sinistral. O falhamento produziu uma série de produtos, desde brechas, cataclasitos a farinha de falha, além de permitir a alteração/oxidação pervasiva e fissural do carbonatito, em diferentes intensidades.

### **3.3. TRABALHOS ANTERIORES DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA**

Dos estudos de caracterização tecnológica, que vem a ser a base do trabalho, destacam-se Alves (1999), que correlacionou os tipos litológicos de minério e seu aproveitamento na usina de concentração mineral; 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 de carbonatitos; Raposo (2002) que realizou um estudo mineralógico no rejeito da usina de concentração mineral e Brandão (2003) que avaliou o aproveitamento industrial de um carbonatito calcítico para produção de foscálcio.

### **3.4. CARACTERÍSTICAS DA ZONA DE XENÓLITOS**

A Zona de Xenólitos ocorre em duas regiões principais: Norte (XENorte) e Leste (XELeste) (Figura 5). Ela caracteriza-se pela presença de fragmentos de jacupiranguito de tamanhos variados, que chegam a atingir alguns metros, distribuídos de maneira caótica em uma massa carbonatítica. A proporção entre essas duas fases varia amplamente, sendo que



em alguns locais pode haver 70% de jacupiranguito em 30% de carbonatito. Sua área de maior abrangência é ao Norte da mina.

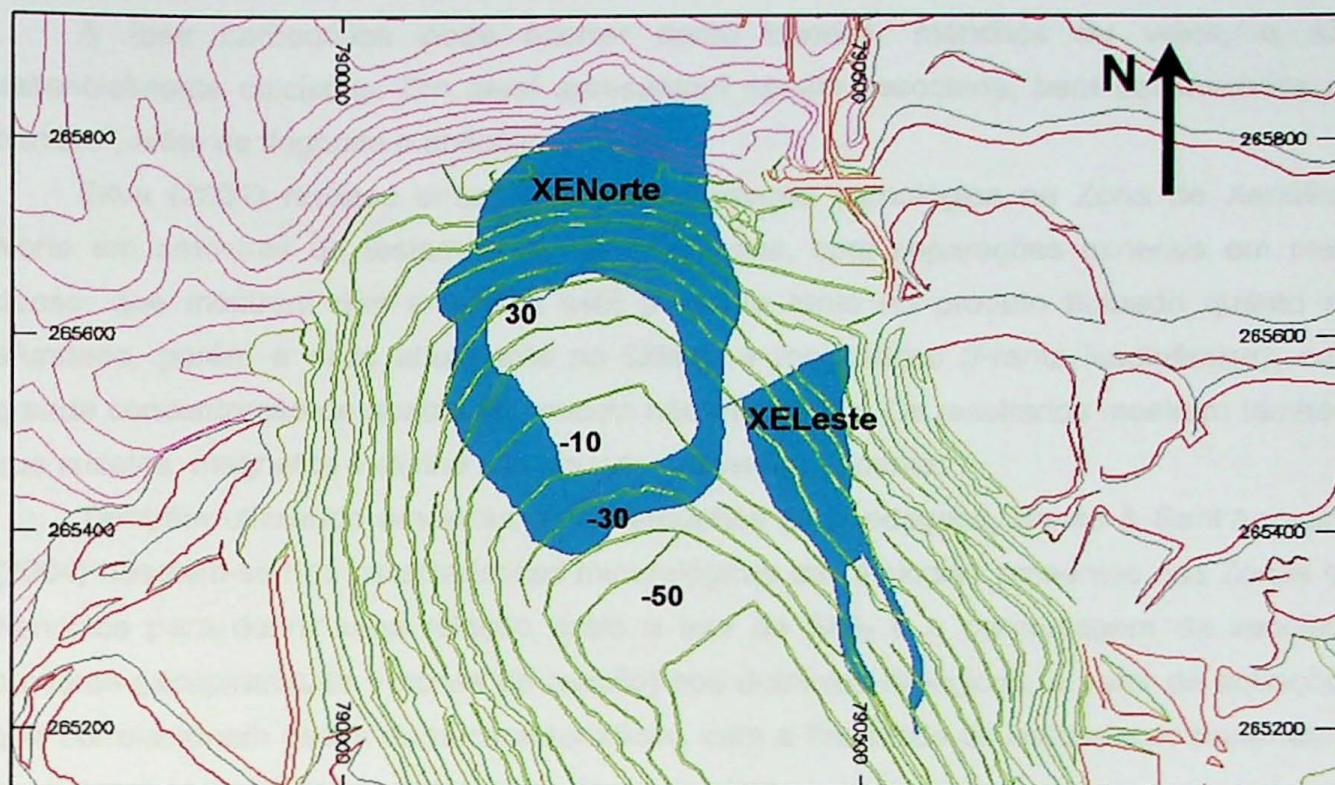


Figura 5. Mapa das porções Norte (XENorte) e Leste (XELeite) da Zona de Xenólitos.

Uma característica marcante dessa região é a presença de zonas de reação, que correspondem a um bandamento de minerais carbonáticos e silicáticos neoformados, geradas da interação do carbonatito com o jacupiranguito, cuja espessura varia de milímetros a centímetros, podendo atingir em torno de 30cm.

Em Morbidelli *et al.* (1986, *apud* Ruberti *et al.*, 1992) os autores elaboram pela primeira vez estudo detalhado sobre as zonas de reação. Eles descrevem uma sequência de bandas silicáticas, a partir do jacupiranguito para o carbonatito, que se inicia com a banda A (anfíbolítica), banda F (flogopítica) e banda O (olivínica).

A banda A encontra-se no contato com o jacupiranguito, onde os anfíbólios são pseudomorfos de piroxênio. Apresenta espessura variável de 1 a 5 cm, tem coloração verde escura, intercalando-se com bandas milimétricas de carbonatos, num bandamento bem definido; ocorrem ainda flogopita e magnetita remanescente. A banda F, mais desenvolvida, é composta essencialmente por flogopita, além de ilmenita e magnetita, a estrutura bandada não é tão regular, ora ocorrendo como manchas, apresenta espessura variável de poucos centímetros a 1 m e coloração vermelho vinho. A banda O, mais externa, contém, além de olivina abundante, flogopita, magnetita e ilmenita, a espessura das bandas é de dimensões centimétricas a decimétricas, e a coloração é muito escura, quase preta sendo que a estrutura bandada é menos regular que das fases anteriores, deformação essa causada por



veios carbonatíticos; comumente relictos de olivina encontram-se fortemente afetados por serpentinização.

A fase carbonática pode ocorrer como bandas, manchas ou veios, e são essencialmente calcíticas. Em geral apresentam apatita associada, bem desenvolvida na banda F, além de flogopita e anfibólio.

Silva (2001) realizou ensaios de caracterização tecnológica na Zona de Xenólitos Norte em amostras de testemunhos de sondagens, com separações minerais em meio denso, que mostram que a apatita está presente tanto no produto flutuado quanto no afundado, porém é mais abundante no último, e magnéticas (Frantz isodinâmico), com grande concentração de apatita no produto não-magnético. Os resultados mostram também que sulfetos, magnetita e olivina são abundantes nesse domínio.

Também utilizando amostras de testemunhos de sondagens, Bonás & Sant'Agostino (2004) baseiam-se nas características mineralógicas das litologias presentes nas Zonas de Xenólitos para definir uma relação entre o teor de  $\text{SiO}_2$  e a porcentagem de xenólitos presente (jacupiranguito + zonas de reação) nos domínios litológicos, a partir de equações que correlacionam essas duas características, com a finalidade de estabelecer parâmetros para a recuperação do minério associado ao domínio.

#### **4- MATERIAIS E MÉTODOS**

Os estudos se apoiaram em cinco amostras volumétricas coletadas em frentes de lavra: quatro na Zona de Xenólitos Norte e uma na Zona de Xenólitos Leste.

Após o desmonte da frente de lavra, as amostras foram submetidas a cominuição primária e secundária. Em escala de bancada, a preparação das amostras se dá através de britagem, moagem, desmagnetização, deslamagem e classificação granulométrica, conforme procedimentos rotineiros da empresa.

Seguiu essa etapa a separação dos minerais com base em suas propriedades densitárias, através de líquidos densos, e magnéticas, utilizando imã de mão e o aparelho Frantz isodinâmico. Em apoio a estes dados e enfocando o tema deste trabalho, foram efetuadas análises estereomicroscópicas e por difratometria de raios X para detalhamento mineralógico e químico, como já citado no item 2 (Objetivos).

As etapas laboratoriais de britagem, moagem, separação granulométrica, deslamagem, separação mineral (por densidade e magnetismo) e classificação mineral em estereomicroscópio foram realizadas na própria empresa. Aí também foram efetuadas todas as análises químicas de apoio ao projeto, por metodologia de fluorescência de raios X (através de pastilhas fundidas) e, em casos particulares, por absorção atômica, para os



elementos  $P_2O_5$ ,  $MgO$ ,  $SiO_2$ ,  $CaO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $K_2O$ ,  $SO_3$ ,  $Na_2O$ ,  $MnO$ ,  $BaO$ ,  $SrO$  e perda ao fogo.

As análises por difratometria de raios X foram realizadas no Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LCT – EPUSP).

## 5- DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES

A realização do trabalho de formatura vinculado a empresa Bunge Fertilizantes S/A facilitou a elaboração das atividades propostas no cronograma apresentado abaixo.

	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan/ 2005
Pesquisa bibliográfica												
Elaboração do projeto inicial												
Seleção das amostras												
Preparação das amostras												
Caracterização tecnológica												
Relatório de Progresso												
Relatório Final												
Apresentação do T.F.												

Dificuldades foram encontradas na etapa de preparação das amostras devido a problemas nos circuitos de britagem da mina, que, juntamente com a inserção de uma nova atividade a essa etapa, atrasaram a etapa de caracterização tecnológica. Porém esse fato não comprometeu a finalização do trabalho, com todas as atividades sendo realizadas dentro do prazo.



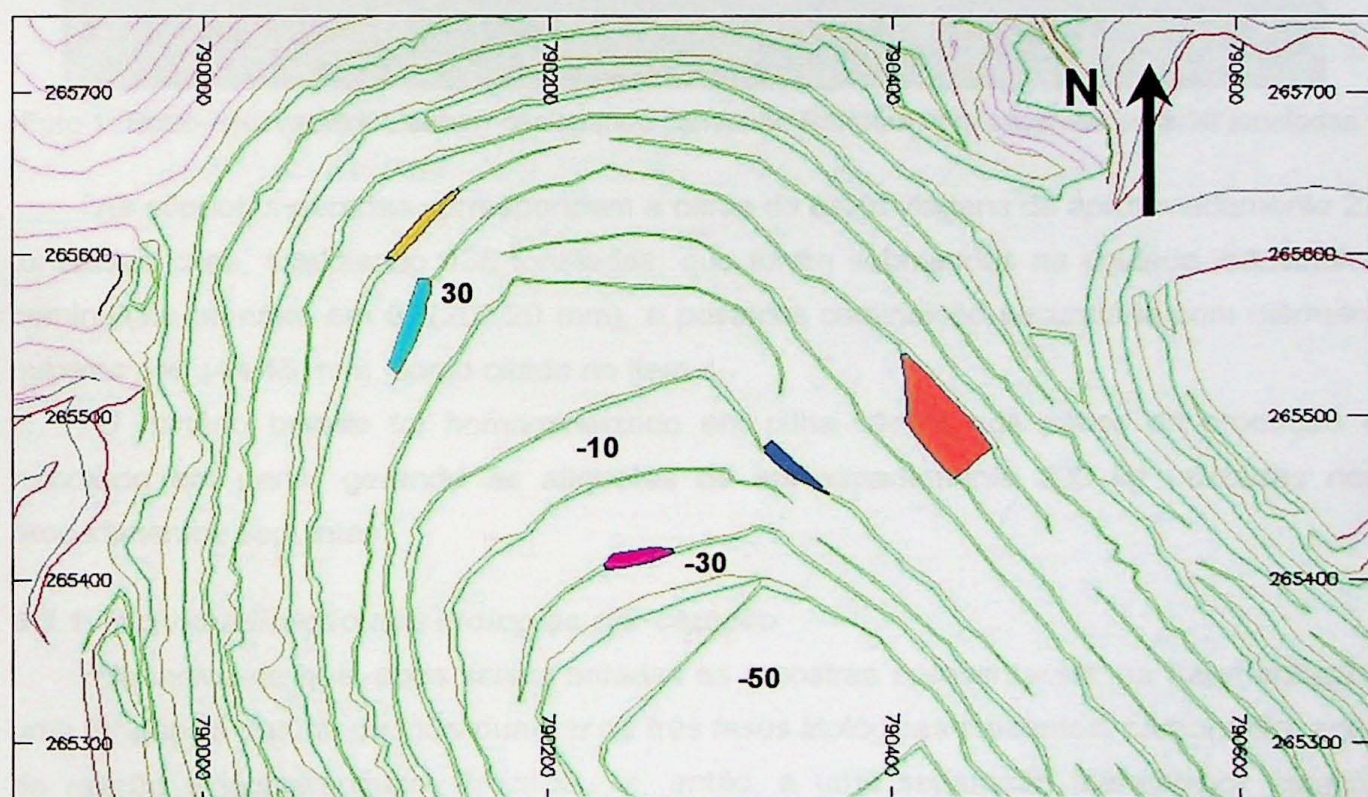
## 6- RESULTADOS OBTIDOS E INTERPRETAÇÕES

### 6.1- AMOSTRAGEM

Para a amostragem foram considerados desmontes de mina posicionados em regiões que abrangessem porções das Zonas de Xenólitos distribuídas ao longo das faixas aflorantes na mina e atualmente em lavra. As amostras foram selecionadas com base nos resultados de análises químicas de pó de perfuratriz, comumente obtidos para o controle químico da lavra.

As três fases litológicas presentes nas Zonas de Xenólitos (carbonatito, jacupiranguito e zona de reação) encontram-se em proporções que podem variar amplamente. Essa feição pode ser observada nas fotos das frentes de lavra das quais foram extraídas as amostras (Anexo I).

O mapa da figura 6 apresenta a localização das amostras coletadas na mina.



#### Legenda

- B30F682/4
- B30F689/4
- B30F688
- B-10F304/3
- B-30F248

30 Cota da bancada

Figura 6. Mapa de localização das frentes de lavra amostradas.



Para a tomada das amostras foram utilizados equipamentos de lavra (Foto 1).



Foto 1. Retro-escavadeira Liebherr carregando caminhão Random com caçamba para 30 toneladas.

As alíquotas geradas correspondem a cerca de cinco viagens de aproximadamente 27 toneladas cada, totalizando 135 toneladas, que foram submetidas na unidade industrial a cominuição primária em 8" (203,20 mm), e posterior cominuição secundária com diâmetro máximo 1¾" (44,45 mm), como citado no item 4.

O minério britado foi homogeneizado em pilha cônica nos pátios de produção e retomado em parte, gerando as alíquotas de aproximadamente 300 kg utilizadas nos procedimentos seguintes.

#### **6.1.1. Individualização das litologias por catação**

Observou-se que, após serem britadas as amostras apresentaram, na fragmentação, uma tendência natural de individualizar as três fases litológicas presentes: carbonatito, zona de reação e jacupiranguito. Procedeu-se, então, a uma separação manual por catação dessas fases em diferentes frações granulométricas: -44,45+12,7 mm, -12,7+9,525 mm e -9,525+6,35 mm. O gráfico da figura 7 apresenta o gráfico de distribuição de massa passante nas três frações.



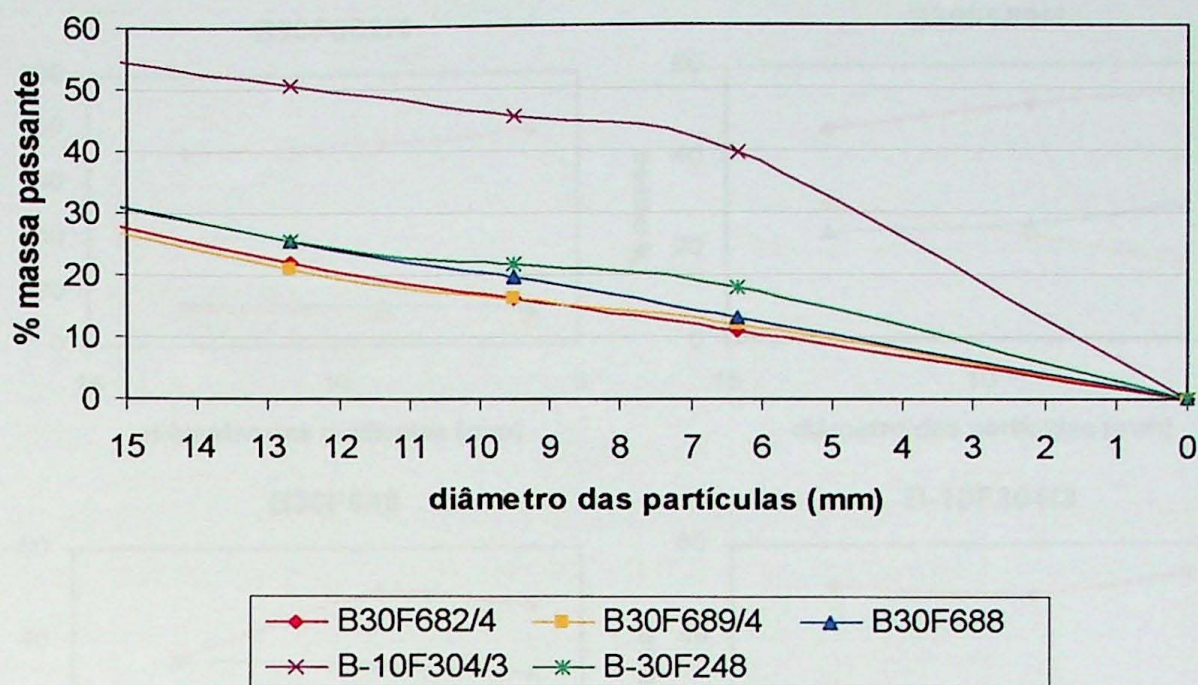


Figura 7. Gráfico de distribuição da massa passante nas frações granulométricas -44,45+12,7 mm, -12,7+9,525 mm e -9,525+6,35 mm.

Como pode ser observado nos registros fotográficos apresentados nos anexos I e II, as três litologias são bastante distintas quanto a coloração, o que facilitou a separação do material: o carbonatito com cor branca, o jacupiranguito com cor preta, e a zona de reação com cores branca e vermelha, geralmente apresentando bandamento.

A tabela 1 apresenta a proporção relativa das litologias nas amostras para as frações maiores que 6,35 mm, que são ilustradas por fração granulométrica submetida à catação nos gráficos da figura 8.

Amostras	peso (%)		
	Carbonatito	Jacupiranguito	Zona de Reação
B30F682/4	72.45	14.62	12.93
B30F689/4	47.06	24.23	28.71
B30F688	38.07	35.55	26.38
B-10F304/3	51.32	21.69	26.99
B-30F248	47.97	19.47	32.56

Tabela 1. Proporção relativa das litologias nas amostras para as frações maiores que 6,35 mm.



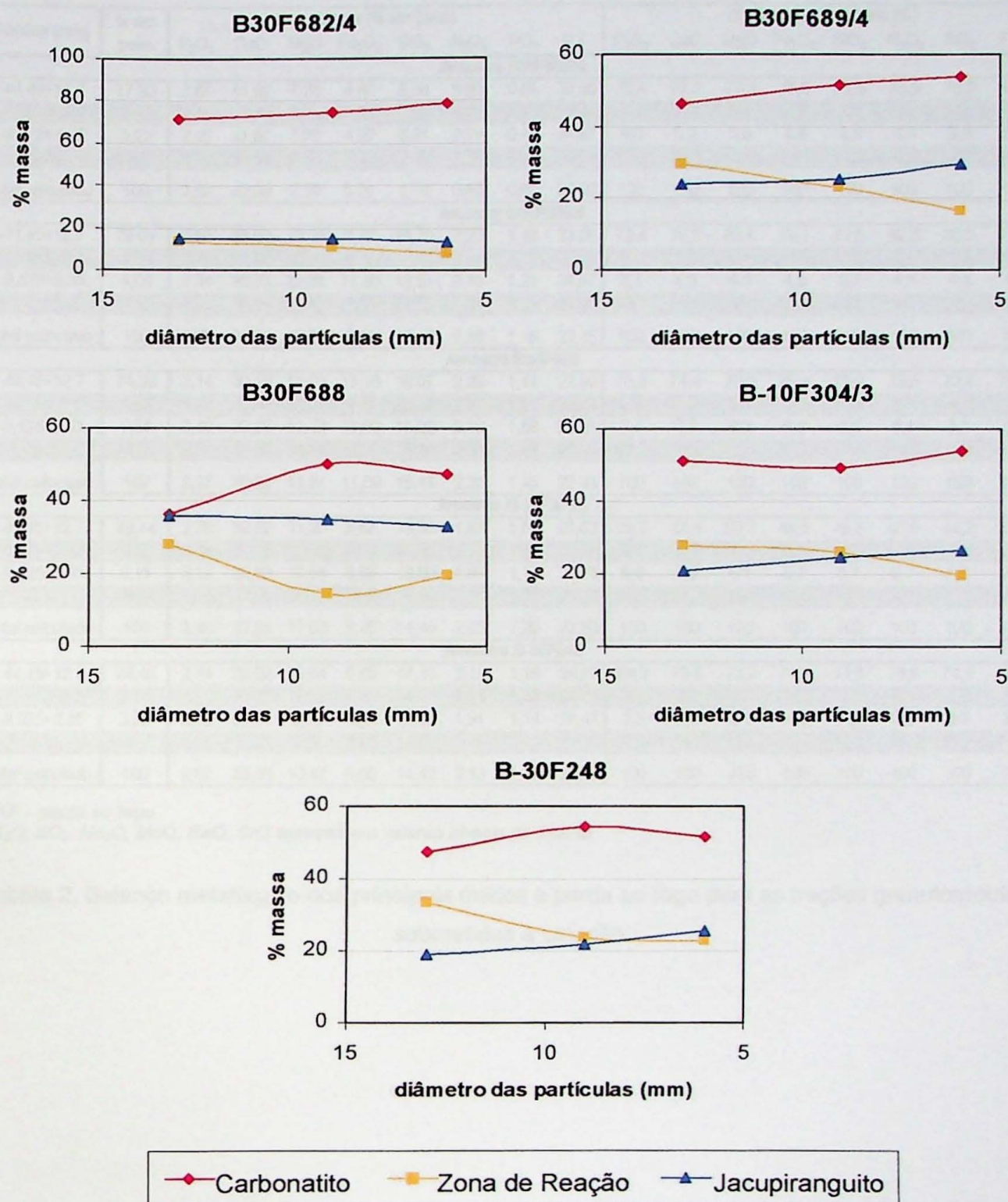


Figura 8. Gráficos de distribuição de massa das três fases litológicas nas frações granulométricas -44,45+12,7 mm, -12,7+9,525 mm e -9,525+6,35 mm.

Os produtos das frações -44,45+12,7 mm, -12,7+9,525 mm, -9,525+6,35 mm e -6,35 mm foram submetidos a análises químicas por fluorescência de raios X. Na tabela 2 encontram-se os balanços de massa, os teores e a distribuição no minério dos principais óxidos, esta também ilustrada nos gráficos da figura 9.



frações (mm)	% em peso	teores (% em peso)								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>	TiO <sub>2</sub>	P.F.	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>	TiO <sub>2</sub>	P.F.
Amostra B30F682/4																	
-44,45+12,7	77,92	2,67	41,92	7,24	4,89	6,58	0,85	0,61	33,95	72,4	77,2	77,3	76,0	75,8	75,5	79,2	80,3
-12,7+9,525	5,99	2,48	51,18	6,79	6,26	7,99	1,08	0,70	22,41	5,2	7,2	5,6	7,5	7,1	7,4	7,0	4,1
-9,525+6,35	5,23	2,55	41,87	7,70	4,22	6,31	0,74	0,44	34,87	4,6	5,2	5,5	4,4	4,9	4,4	3,8	5,5
-6,35	10,87	4,70	40,66	7,78	5,57	7,60	1,03	0,55	30,71	17,8	10,4	11,6	12,1	12,2	12,8	10,0	10,1
total calculado	100	2,87	42,33	7,30	5,01	6,76	0,88	0,60	32,96	100	100	100	100	100	100	100	100
Amostra B30F689/4																	
-44,45+12,7	79,01	2,55	30,50	13,28	9,72	15,79	2,20	1,18	23,06	72,4	76,8	83,4	79,1	82,6	80,5	80,5	77,7
-12,7+9,525	4,95	2,72	34,48	10,30	8,38	13,74	2,01	1,11	25,67	4,8	5,4	4,1	4,3	4,5	4,6	4,7	5,4
-9,525+6,35	4,09	2,34	30,73	12,31	11,30	13,51	2,16	1,24	24,57	3,4	4,0	4,0	4,8	3,7	4,1	4,4	4,3
-6,35	11,95	4,49	35,94	9,02	9,66	11,65	1,94	1,01	24,69	19,3	13,7	8,6	11,9	9,2	10,7	10,4	12,6
total calculado	100	2,78	31,36	12,58	9,71	15,10	2,16	1,16	23,45	100	100	100	100	100	100	100	100
Amostra B30F688																	
-44,45+12,7	74,56	2,14	30,18	11,93	11,16	16,07	2,29	1,41	22,66	70,3	74,4	75,3	75,1	72,9	73,6	72,4	75,6
-12,7+9,525	5,93	2,28	29,60	12,27	9,47	19,39	2,67	1,50	20,88	6,0	5,8	6,2	5,1	7,0	6,8	6,1	5,5
-9,525+6,35	6,51	2,48	30,86	11,33	11,50	16,02	2,16	1,58	22,51	7,1	6,6	6,2	6,8	6,3	6,1	7,1	6,6
-6,35	13,00	2,91	30,52	11,14	11,20	17,46	2,40	1,61	21,04	16,7	13,1	12,3	13,1	13,8	13,5	14,4	12,2
total calculado	100	2,27	30,23	11,81	11,09	16,44	2,32	1,45	22,33	100	100	100	100	100	100	100	100
Amostra B-10F304/3																	
-44,45+12,7	49,44	2,76	32,92	11,20	8,57	13,38	1,87	1,07	24,02	39,7	49,6	52,3	44,8	45,8	45,6	44,2	52,8
-12,7+9,525	4,88	2,19	31,75	9,73	9,63	11,56	1,56	1,09	23,61	3,1	4,7	4,5	5,0	3,9	3,8	4,4	5,1
-9,525+6,35	6,11	3,12	33,83	10,64	8,86	13,50	1,89	1,11	24,74	5,6	6,3	6,1	5,7	5,7	5,7	5,7	6,7
-6,35	39,57	4,48	32,65	9,94	10,63	16,28	2,30	1,38	20,12	51,6	39,4	37,1	44,5	44,6	44,9	45,7	35,4
total calculado	100	3,43	32,81	10,60	9,45	14,45	2,03	1,20	22,50	100	100	100	100	100	100	100	100
Amostra B-30F248																	
-44,45+12,7	74,45	2,44	33,02	10,64	9,65	14,49	2,13	1,18	24,07	64,3	73,8	75,7	74,9	74,8	74,6	74,9	75,4
-12,7+9,525	3,94	2,41	33,37	10,61	9,42	14,14	2,11	1,19	24,15	3,4	4,0	4,0	3,9	3,9	3,9	4,0	4,0
-9,525+6,35	3,55	2,02	32,80	9,83	12,07	12,98	1,91	1,14	24,47	2,5	3,5	3,3	4,5	3,2	3,2	3,5	3,7
-6,35	18,05	4,65	34,52	9,84	8,93	14,49	2,15	1,15	22,33	29,7	18,7	17,0	16,8	18,1	18,3	17,7	17,0
total calculado	100	2,82	33,30	10,47	9,60	14,42	2,13	1,17	23,77	100	100	100	100	100	100	100	100

P.F.- perda ao fogo

K<sub>2</sub>O, SO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, MnO, BaO, SrO apresentam valores abaixo de 1,00%

Tabela 2. Balanço metalúrgico dos principais óxidos e perda ao fogo para as frações granulométricas submetidas à catação.



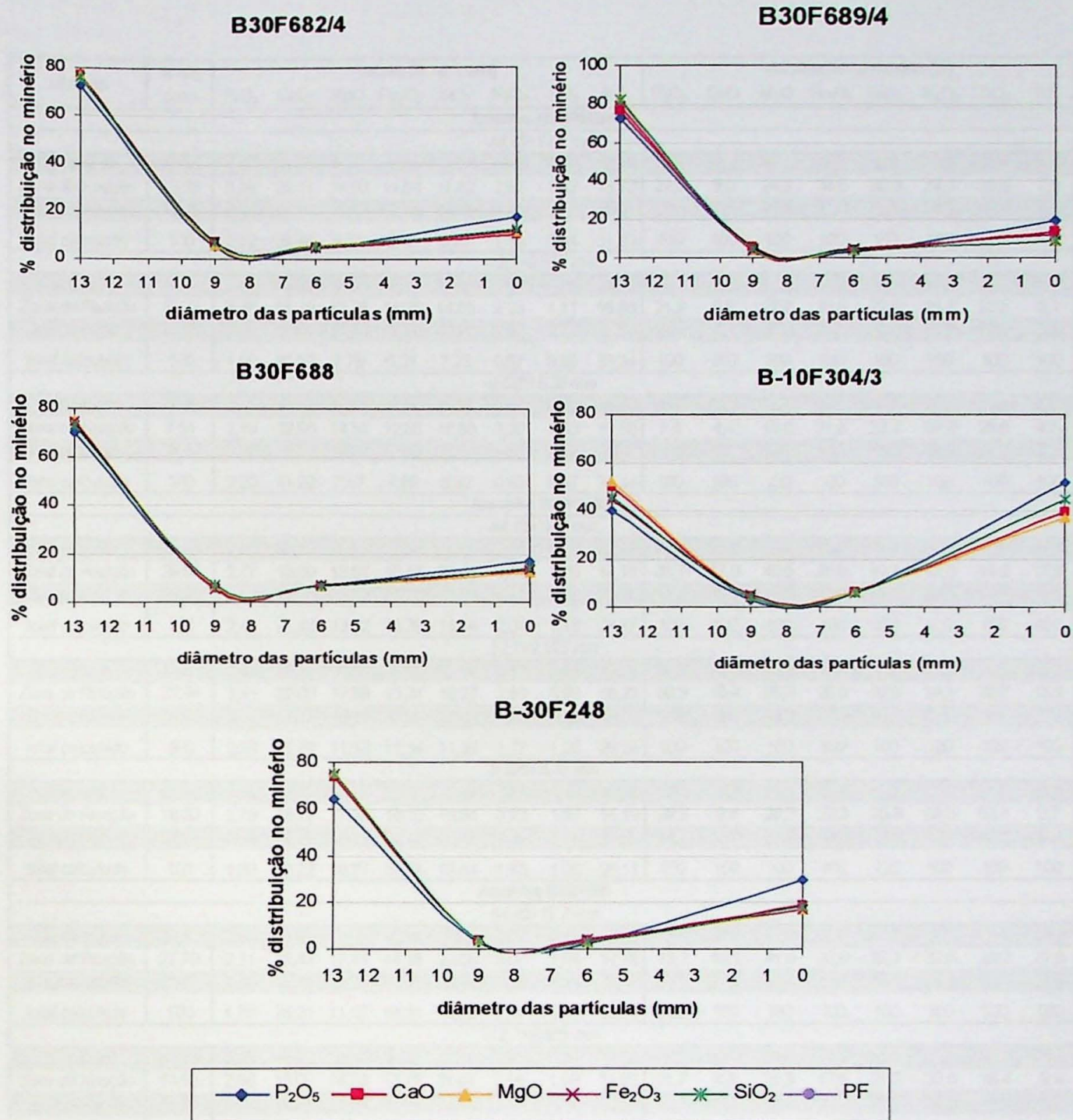


Figura 9. Gráficos de distribuição no minério dos principais óxidos e perda ao fogo para as frações granulométricas -44,45+12,7 mm, -12,7+9,525 mm e -9,525+6,35 mm.

As litologias separadas por catação para as frações maiores que 6,35 mm também foram analisadas por fluorescência de raios X. A tabela 3 apresenta os balanços de massa, os teores e a distribuição no minério dos principais óxidos para esses produtos.



Litologia	% em peso	teores (% em peso)								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>	TiO <sub>2</sub>	P.F.	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>	TiO <sub>2</sub>	P.F.
Amostra B30F682/4																	
-44,45+12,7 mm																	
Carbonatito	71,94	2,18	46,05	5,30	4,22	0,37	0,08	0,09	39,88	74,1	84,0	47,0	47,0	3,2	5,0	10,1	90,2
Zona de Reação	13,36	3,48	25,11	14,70	11,84	17,82	2,92	1,42	18,73	22,0	8,5	24,2	24,5	28,9	34,1	29,5	7,9
Jacupiranguito	14,70	0,56	20,22	15,89	12,55	37,99	4,75	2,64	4,27	3,9	7,5	28,8	28,5	67,8	60,9	60,4	2,0
total calculado	100	2,12	39,46	8,11	6,46	8,23	1,15	0,64	31,82	100	100	100	100	100	100	100	100
-12,7+9,525 mm																	
Carbonatito	74,44	1,63	45,99	5,44	3,70	0,35	0,07	0,08	40,83	71,7	85,9	52,2	44,3	3,6	5,4	10,2	91,2
Zona de Reação	10,73	3,45	25,39	12,76	14,79	14,85	2,23	1,11	18,83	21,9	6,8	17,7	25,5	22,0	24,7	20,5	6,1
Jacupiranguito	14,82	0,74	19,59	15,79	12,63	36,27	4,57	2,72	6,24	6,5	7,3	30,2	30,1	74,4	69,9	69,3	2,8
total calculado	100	1,69	39,87	7,76	6,21	7,23	0,97	0,58	33,34	100	100	100	100	100	100	100	100
-9,525+6,35 mm																	
Carbonatito	78,76	2,43	46,97	5,37	2,21	0,38	0,07	0,02	40,57	86,9	89,6	55,1	37,9	4,7	6,2	3,3	92,8
Zona de Reação	7,91	2,16	22,96	14,51	12,66	18,89	3,30	1,53	19,50	7,8	4,4	15,0	21,8	23,7	29,3	25,6	4,5
Jacupiranguito	13,32	0,88	18,52	17,20	13,89	33,94	4,31	2,52	7,09	5,3	6,0	29,9	40,3	71,6	64,5	71,0	2,7
total calculado	100	2,20	41,28	7,67	4,59	6,32	0,89	0,47	34,44	100	100	100	100	100	100	100	100
Amostra B30F689/4																	
-44,45+12,7 mm																	
Carbonatito	46,55	2,86	47,92	4,31	2,94	0,26	0,07	0,11	39,67	54,8	71,0	16,7	13,2	0,9	1,6	4,4	77,7
Zona de Reação	29,54	2,77	18,09	18,51	16,48	21,13	3,31	1,75	14,18	33,7	17,0	45,5	46,9	44,1	47,9	44,5	17,6
Jacupiranguito	23,91	1,17	15,70	19,03	17,36	32,51	4,31	2,48	4,68	11,5	12,0	37,8	40,0	55,0	50,5	51,1	4,7
total calculado	100	2,43	31,40	12,02	10,39	14,14	2,04	1,16	23,77	100	100	100	100	100	100	100	100
-12,7+9,525 mm																	
Carbonatito	51,62	2,48	48,23	4,22	2,73	0,34	0,11	0,05	40,25	54,7	75,9	19,6	12,4	1,5	3,2	2,5	79,2
Zona de Reação	22,94	3,71	22,03	17,86	13,31	18,27	2,63	0,95	18,22	36,3	15,4	36,9	26,9	36,9	34,1	20,7	15,9
Jacupiranguito	25,45	0,83	11,17	18,95	27,02	27,43	4,35	3,18	5,07	9,0	8,7	43,5	60,6	61,5	62,6	76,9	4,9
total calculado	100	2,34	32,79	11,10	11,34	11,35	1,77	1,05	26,24	100	100	100	100	100	100	100	100
-9,525+6,35 mm																	
Carbonatito	53,76	2,16	48,12	4,39	2,37	0,38	0,09	0,10	40,86	61,1	77,9	21,9	12,4	1,6	2,8	5,1	84,1
Zona de Reação	16,60	2,78	18,72	17,10	18,10	19,34	3,22	1,87	15,19	24,3	9,4	26,3	29,3	25,8	54,5	52,1	9,7
Jacupiranguito	29,64	0,94	14,32	18,81	20,15	30,45	4,50	2,74	5,47	14,7	12,8	51,7	58,3	72,6	42,7	42,8	6,2
total calculado	100	1,90	33,22	10,77	10,25	12,44	1,75	1,06	26,11	100	100	100	100	100	100	100	100
Amostra B30F688																	
-44,45+12,7 mm																	
Carbonatito	36,43	2,35	45,49	5,46	4,34	1,27	0,07	0,18	39,06	49,1	58,7	17,0	11,9	2,4	1,0	3,4	74,9
Zona de Reação	27,79	2,71	19,43	17,44	14,38	22,06	3,07	1,94	14,78	43,2	19,1	41,5	30,0	32,1	32,6	28,2	21,6
Jacupiranguito	35,77	0,38	17,44	13,51	21,61	35,02	4,86	3,65	1,86	7,8	22,1	41,4	58,1	65,5	66,4	68,3	3,5
total calculado	100	1,75	28,21	11,67	13,31	19,12	2,62	1,91	19,00	100	100	100	100	100	100	100	100
-12,7+9,525 mm																	
Carbonatito	50,33	2,66	45,22	6,04	3,92	0,71	0,05	0,14	39,64	67,0	72,0	28,8	17,2	2,4	1,2	4,4	85,6
Zona de Reação	14,62	2,96	19,00	18,30	13,75	21,61	2,96	1,99	14,92	21,7	8,8	25,3	17,5	21,0	20,0	18,4	9,4
Jacupiranguito	35,05	0,65	17,27	13,83	21,39	32,94	4,88	3,49	3,32	11,4	19,2	45,9	65,3	76,6	78,9	77,2	5,0
total calculado	100	2,00	31,59	10,56	11,48	15,06	2,17	1,58	23,29	100	100	100	100	100	100	100	100
-9,525+6,35 mm																	
Carbonatito	47,45	2,87	45,42	6,25	2,29	1,78	0,09	0,05	39,42	66,3	70,2	25,9	9,6	5,6	2,1	1,6	79,9
Zona de Reação	19,33	2,28	20,53	17,40	13,66	19,53	2,89	1,78	17,34	21,5	12,9	29,3	23,4	25,2	27,5	23,9	14,3
Jacupiranguito	33,21	0,76	15,62	15,46	22,70	31,16	4,30	3,23	4,06	12,3	16,9	44,8	66,9	69,1	70,4	74,5	5,8
total calculado	100	2,06	30,71	11,46	11,27	14,97	2,03	1,44	23,41	100	100	100	100	100	100	100	100



Litologia	% em peso	teores (% em peso)								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>	TiO <sub>2</sub>	P.F.	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>	TiO <sub>2</sub>	P.F.
Amostra B-10F304/3																	
-44,45+12,7 mm																	
Carbonatito	51,16	2,92	45,44	4,25	7,11	0,82	0,11	0,19	38,25	62,3	70,8	21,3	34,5	3,4	3,2	8,3	76,9
Zona de Reação	28,09	2,64	20,99	17,28	11,71	18,98	2,79	1,46	17,74	30,9	18,0	47,5	31,2	43,8	44,5	34,9	19,6
Jacupiranguito	20,75	0,78	17,70	15,33	17,44	30,95	4,43	3,21	4,34	6,8	11,2	31,2	34,3	52,8	52,3	56,8	3,5
total calculado	100	2,40	32,82	10,21	10,55	12,17	1,76	1,17	25,45	100	100	100	100	100	100	100	100
-12,7+9,525 mm																	
Carbonatito	49,32	3,67	46,55	4,86	3,18	0,83	0,07	0,12	38,58	67,6	68,6	23,7	17,4	3,3	2,1	5,1	76,9
Zona de Reação	26,21	2,87	22,69	14,57	14,15	16,90	2,51	1,51	17,32	28,1	17,8	37,8	41,1	35,7	39,1	33,8	18,3
Jacupiranguito	24,47	0,47	18,61	15,87	15,35	30,91	4,04	2,93	4,86	4,3	13,6	38,5	41,6	61,0	58,8	61,2	4,8
total calculado	100	2,68	33,46	10,10	9,03	12,40	1,68	1,17	24,76	100	100	100	100	100	100	100	100
-9,525+6,35 mm																	
Carbonatito	54,02	2,94	46,39	4,82	2,97	0,74	0,08	0,05	38,88	61,2	74,2	24,8	18,8	3,3	2,6	2,6	81,6
Zona de Reação	19,48	3,34	21,69	17,19	14,28	17,95	2,49	1,34	17,45	25,1	12,5	31,9	32,6	28,6	28,8	25,6	13,2
Jacupiranguito	26,50	1,34	16,89	17,13	15,65	31,39	4,36	2,76	5,06	13,7	13,3	43,3	48,6	68,1	68,6	71,7	5,2
total calculado	100	2,59	33,76	10,49	8,53	12,21	1,68	1,02	25,74	100	100	100	100	100	100	100	100
Amostra B-30F248																	
-44,45+12,7 mm																	
Carbonatito	47,44	2,29	46,48	4,29	4,77	0,44	0,11	0,19	39,64	51,6	67,5	19,6	21,0	1,7	2,7	6,0	75,1
Zona de Reação	33,51	2,71	21,71	17,83	12,48	18,36	2,72	2,05	17,28	43,1	22,3	57,4	38,9	48,8	47,5	45,4	23,1
Jacupiranguito	19,04	0,58	17,66	12,57	22,65	32,74	5,02	3,86	2,35	5,2	10,3	23,0	40,1	49,5	49,8	48,6	1,8
total calculado	100	2,11	32,69	10,40	10,76	12,60	1,92	1,51	25,05	100	100	100	100	100	100	100	100
-12,7+9,525 mm																	
Carbonatito	54,44	2,60	46,23	4,94	3,74	0,42	0,10	0,04	39,65	63,9	72,5	27,1	26,4	1,8	2,9	2,2	82,0
Zona de Reação	23,56	2,98	21,85	17,32	11,16	18,80	2,91	1,29	17,22	31,7	14,8	41,1	34,1	33,9	36,6	30,5	15,4
Jacupiranguito	22,00	0,44	19,96	14,31	13,85	38,13	5,14	3,05	3,05	4,4	12,7	31,7	39,5	64,3	60,4	67,3	2,6
total calculado	100	2,21	34,71	9,92	7,71	13,05	1,87	1,00	26,31	100	100	100	100	100	100	100	100
-9,525+6,35 mm																	
Carbonatito	51,73	2,37	47,11	4,84	2,04	0,66	0,12	0,04	40,25	58,9	71,9	24,0	13,8	2,5	3,2	1,9	82,0
Zona de Reação	22,70	3,06	20,82	16,71	13,62	19,22	3,07	1,77	15,88	33,4	13,9	36,4	40,5	31,6	36,1	37,4	14,2
Jacupiranguito	25,57	0,63	18,82	16,12	13,66	35,64	4,59	2,55	3,74	7,7	14,2	39,6	45,7	66,0	60,7	60,7	3,8
total calculado	100	2,08	33,91	10,42	7,64	13,82	1,93	1,07	25,38	100	100	100	100	100	100	100	100

P.F.- perda ao fogo

K<sub>2</sub>O, SO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, MnO, BaO, SrO apresentam valores abaixo de 1,00%

Tabela 3. Balanço metalúrgico dos principais óxidos e perda ao fogo das três fases litológicas para as frações granulométricas -44,45+12,7 mm, -12,7+9,525 mm, -9,525+6,35 mm e -6,35 mm.

Com o balanço de massa e os dados químicos da tabela 3 foi possível calcular o teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> obtido para duas situações: considerando a zona de reação como minério, e considerando a zona de reação como estéril (tabela 4).



frações (mm)	% em peso					
	A			B		
	Carbonatito + Zona de Reação	Jacupiranguito	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Carbonatito	Zona de Reação + Jacupiranguito	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
<b>Amostra B30F682/4</b>						
-44,45+12,7	85,30	14,70	2,38	71,94	28,06	2,18
-12,7+9,525	85,18	14,82	1,86	74,44	25,56	1,63
-9,525+6,35	86,68	13,32	2,41	78,76	21,24	2,43
<b>Amostra B30F689/4</b>						
-44,45+12,7	76,09	23,91	2,83	46,55	53,45	2,86
-12,7+9,525	74,55	25,45	2,86	51,62	48,38	2,48
-9,525+6,35	70,36	29,64	2,31	53,76	46,24	2,16
<b>Amostra B30F688</b>						
-44,45+12,7	64,23	35,77	2,51	36,43	63,57	2,35
-12,7+9,525	64,95	35,05	2,73	50,33	49,67	2,66
-9,525+6,35	66,79	33,21	2,70	47,45	52,55	2,87
<b>Amostra B-10F304/3</b>						
-44,45+12,7	79,25	20,75	2,82	51,16	48,84	2,92
-12,7+9,525	75,53	24,47	3,39	49,32	50,68	3,67
-9,525+6,35	73,50	26,50	3,05	54,02	45,98	2,94
<b>Amostra B-30F248</b>						
-44,45+12,7	80,96	19,04	2,46	47,44	52,56	2,29
-12,7+9,525	78,00	22,00	2,71	54,44	45,56	2,60
-9,525+6,35	74,43	25,57	2,58	51,73	48,27	2,37

Tabela 4. Composições de teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> considerando a zona de reação como minério (A) e como estéril (B) para as frações granulométricas -44,45+12,7 mm, -12,7+9,525 mm, e -9,525+6,35 mm.

### 6.1.2. Considerações sobre amostragem da Zona de Xenólitos

Como já citado anteriormente, a Zona de Xenólitos é heterogênea, com grande variação de porcentagem das fases litológicas presentes e também da espessura das zonas de reação e das dimensões dos blocos de jacupiranguito, tomando sua amostragem complexa. Para garantir a representatividade do domínio e a qualidade dos resultados obtidos a amostragem deve ser volumétrica (frentes de lavra), de modo a determinar as características médias da região com maior precisão. Os dados existentes para as Zonas de Xenólitos são relativos a furos de sondagem rotativa, porém amostras desse tipo são lineares e não possuem adequada representatividade face ao seu pequeno volume quando comparado à heterogeneidade de distribuição espacial das litologias componentes desta unidade.

A delimitação em campo das amostras volumétricas foi baseada em análises químicas obtidas a partir de pó de perfuratriz (malha de perfuração 3 x 4,5 m), sendo que as amostras desse tipo são lineares, coletadas por sondagem roto-percussiva, podendo haver grandes perdas durante a amostragem (liberação de pó para o ambiente). Desse modo os teores medidos são incompatíveis com a real situação do domínio, e devem ser confrontados com



os resultados obtidos nas amostras volumétricas. A tabela 5 compara as médias ponderadas das análises químicas de pó de perfuratriz com as médias ponderadas das amostras volumétricas totais, que geralmente apresentam teores mais baixos de  $P_2O_5$ .

Amostragem	Teores - médias ponderadas (%)				
	$P_2O_5$	CaO	MgO	$Fe_2O_3$	$SiO_2$
<b>Amostra B30F682/4</b>					
Pó de perfuratriz	3.13	31.87	10.88	9.19	15.59
Volumétrica	3.09	40.20	7.84	5.10	7.68
<b>Amostra B30F689/4</b>					
Pó de perfuratriz	4.05	34.25	9.89	8.94	12.87
Volumétrica	3.16	33.36	10.45	9.85	13.41
<b>Amostra B30F688</b>					
Pó de perfuratriz	3.88	26.30	14.03	11.03	18.00
Volumétrica	2.70	30.24	12.15	10.17	17.26
<b>Amostra B-10F304/3</b>					
Pó de perfuratriz	4.61	32.26	10.32	10.77	14.60
Volumétrica	3.60	33.09	10.64	9.29	15.14
<b>Amostra B-30F248</b>					
Pó de perfuratriz	2.55	10.52	13.88	9.50	32.25
Volumétrica	2.35	32.21	10.52	10.32	16.01

Tabela 5. Comparação entre as médias ponderadas dos principais teores das amostras de pó de perfuratriz com os das amostras volumétricas.

### 6.1.3. Discussão dos resultados de amostragem e catação

- ✓ O peneiramento realizado nas cinco amostras volumétricas britadas nas frações granulométricas 12,7 mm, 9,525 mm e 6,35 mm mostrou uma alta concentração de material de granulação grossa (70-75%), com exceção da amostra B-10F304/3, que apresenta em torno de 40% de material passante em 6,35 mm;
- ✓ Os teores de  $P_2O_5$  são maiores no material de -6,35 mm. A distribuição no minério apresenta comportamento semelhante para quase todas as amostras, com pico para  $P_2O_5$  em -44,45+12,7 mm. Porém a amostra B-10F304/3 apresenta dois picos de  $P_2O_5$ : um maior em -6,35 mm e outro, menor, em -44,45+12,7 mm, sugerindo uma sobremagem do material ou uma outra geração mais fina de cristalização da apatita;
- ✓ A separação por catação evidenciou que a distribuição das três litologias nas Zonas de Xenólitos é heterogênea, porém o carbonatito é a fase predominante;
- ✓ Na distribuição das litologias nas frações granulométricas observa-se que a concentração de carbonatito pouco altera com a granulometria, ou a porcentagem é um pouco mais alta na fração -9,525+6,35 mm, assim como o jacupiranguito, e a zona de reação tende a se



concentrar na fração -44,45+12,7 mm. Já na amostra B30F688 há grande variação de carbonatito e zona de reação ao longo das faixas granulométricas, enquanto o jacupiranguito permanece sem alterações em sua porcentagem. A zona de reação comumente apresenta teores de  $P_2O_5$  mais elevados que do carbonatito;

- ✓ As análises químicas para as frações granulométricas e para as litologias individualizadas apresentaram diferenças devido a alguns problemas no processo de catação: liberação moderada das litologias e textura grossa de determinados minerais;
- ✓ Considerando a zona de reação como minério associada com o carbonatito, as composições de teores de  $P_2O_5$  apresentam, em geral, valores mais elevados que no caso de considerar a zona de reação como estéril, juntamente com o jacupiranguito. Porém os valores de uma situação para a outra pouco variam entre si, e são próximos ao teor de corte da mina, não ultrapassando o mesmo;
- ✓ A comparação dos dados de análises químicas de pó de perfuratriz das frentes de lavra com das amostras volumétricas revela um enriquecimento das primeiras em  $P_2O_5$ , o que torna esse meio de seleção de amostras questionável.

## 6.2. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

A caracterização mineralógica visa, através de diversos ensaios laboratoriais, concentrar fases minerais para sua quantificação e detalhamento de suas características intrínsecas, avaliando possíveis associações entre as espécies presentes.

### 6.2.1. Preparação das amostras

- *Moagem em laboratório*: as amostras foram moídas via úmida em um moinho de bolas, sendo reduzidas a diâmetro inferior a 0,833 mm (malha 20# na escala Tyler). No caso de restar material retido, este é reduzido em pelo moinho de disco até atingir o tamanho necessário.
- *Desmagnetização*: as amostras foram misturadas em água, formando uma polpa de peso total igual a 5 kg. Essa polpa passa por um campo magnético de baixa intensidade (2,5A), em um tambor magnético, gerando produtos não-magnéticos e magnéticos.
- *Deslamagem*: este procedimento visa a retirada do material fino, inferior a 0,038 mm (malha 400# na escala Tyler), da amostra moída e desmagnetizada.
- *Separação Granulométrica*: no produto retido na malha 400# (0,038 mm) foi realizada a classificação por granulometria via úmida, onde o material foi peneirado nas malhas 48#, 100#, 200# e 400# na escala Tyler (respectivamente 0,295 mm; 0,147 mm, 0,074 mm e 0,038 mm).



A figura 10 apresenta a distribuição da massa passante para as frações utilizadas no processo de separação granulométrica, em comparação com o comportamento de um carbonatito tipo.

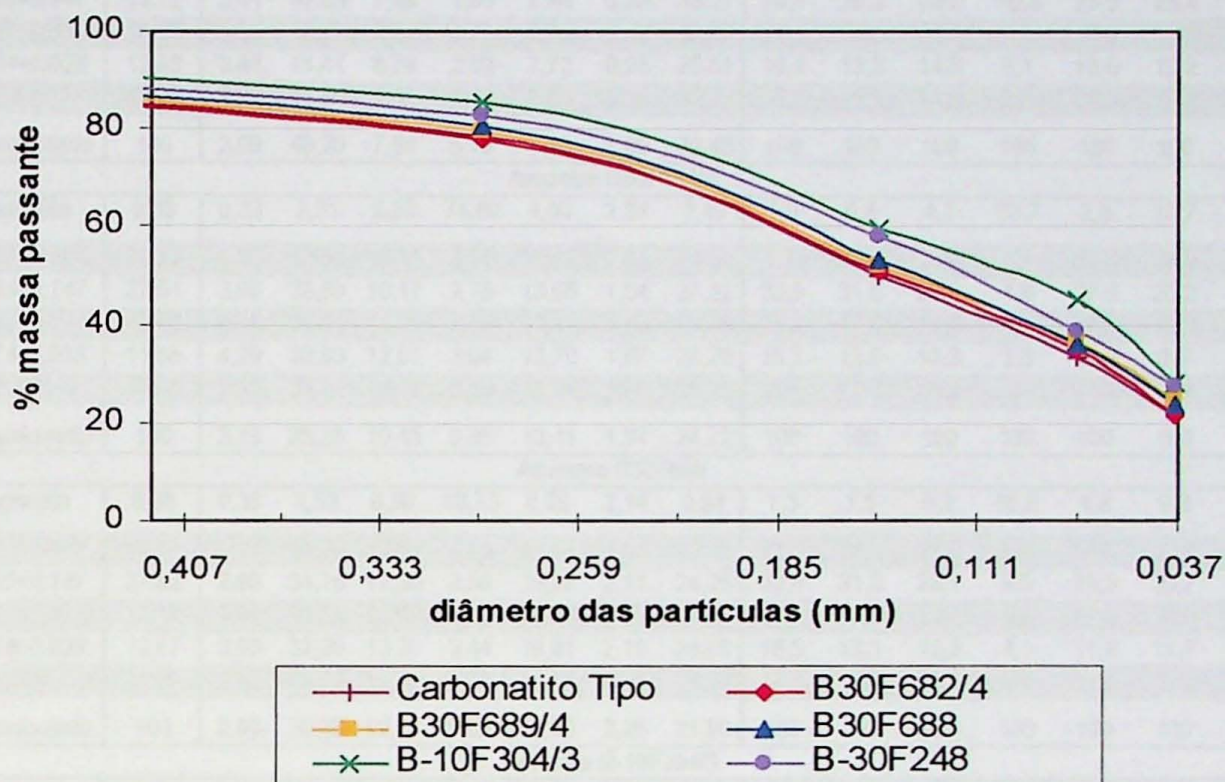


Figura 10. Gráfico de distribuição da massa passante nas frações granulométricas -0,833+0,295 mm, -0,295+0,147 mm, -0,147+0,074 mm e -0,074+0,038 mm para as amostras totais, em comparação com o comportamento de um carbonatito tipo.

Foram realizadas análises químicas por fluorescência de raios X em cada uma das frações obtidas, e também no produto magnético e no passante em malha 0,038 mm. A tabela 6 apresenta os balanços de massa, os teores e a distribuição no minério dos principais óxidos para esses produtos, também ilustrada nos gráficos da figura 11.



frações (mm)	% em peso	teores (% em peso)							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>	P.F.	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>	P.F.
Amostra B30F682/4															
magnetita	4,38	0,45	4,63	5,73	70,12	6,73	1,61	1,52	0,6	0,5	3,2	60,2	3,8	7,0	0,2
-0,833+0,295	22,02	2,18	40,67	8,33	2,46	9,44	1,24	35,47	15,5	22,3	23,4	10,6	27,1	27,2	24,1
-0,295+0,147	26,72	3,41	42,63	7,49	1,98	7,44	0,88	33,27	29,5	28,3	25,5	10,4	25,9	23,4	27,4
-0,147+0,074	16,56	4,16	42,27	8,01	1,78	7,37	0,90	34,07	22,3	17,4	16,9	5,8	15,9	14,8	17,4
-0,074+0,038	12,93	3,84	41,41	8,76	2,00	7,72	0,95	33,51	16,1	13,3	14,5	5,1	13,0	12,2	13,3
-0,038	17,39	2,85	41,96	7,42	2,35	6,33	0,88	32,97	16,0	18,2	16,5	8,0	14,3	15,3	17,7
total calculado	100	3,09	40,20	7,84	5,10	7,68	1,00	32,48	100	100	100	100	100	100	100
Amostra B30F689/4															
magnetita	9,33	0,33	2,21	5,30	74,69	4,00	2,24	2,49	1,0	0,6	4,7	70,7	2,8	10,7	0,9
-0,833+0,295	20,34	1,52	32,88	12,11	3,81	19,27	2,93	24,59	9,8	20,0	23,6	7,9	29,2	30,6	20,2
-0,295+0,147	27,51	3,90	38,60	10,17	2,78	13,55	1,64	27,22	33,9	31,8	26,8	7,8	27,8	23,2	30,3
-0,147+0,074	15,68	4,88	37,53	11,07	2,85	13,11	1,52	26,86	24,2	17,6	16,6	4,5	15,3	12,3	17,0
-0,074+0,038	11,55	4,29	36,03	12,01	3,04	13,70	1,67	26,70	15,7	12,5	13,3	3,6	11,8	9,9	12,5
-0,038	15,60	3,13	37,22	10,09	3,53	11,21	1,65	30,13	15,4	17,4	15,1	5,6	13,0	13,2	19,0
total calculado	100	3,16	33,36	10,45	9,85	13,41	1,94	24,72	100	100	100	100	100	100	100
Amostra B30F688															
magnetita	9,88	0,36	4,53	6,89	68,73	8,39	2,14	0,84	1,3	1,5	5,6	66,8	4,8	9,3	0,4
-0,833+0,295	19,17	1,77	30,39	13,52	4,44	23,08	2,95	20,70	12,6	19,3	21,3	8,4	25,6	25,0	18,2
-0,295+0,147	27,62	2,98	34,18	12,35	3,50	18,07	2,11	24,25	30,5	31,2	28,1	9,5	28,9	25,7	30,8
-0,147+0,074	17,44	3,81	33,38	13,02	3,42	17,38	2,11	23,97	24,6	19,3	18,7	5,9	17,6	16,3	19,2
-0,074+0,038	12,07	3,68	32,90	13,39	3,44	16,81	2,19	24,09	16,5	13,1	13,3	4,1	11,8	11,7	13,4
-0,038	13,83	2,82	34,22	11,45	3,98	14,14	1,97	28,24	14,5	15,7	13,0	5,4	11,3	12,0	18,0
total calculado	100	2,68	30,38	12,16	9,83	17,32	2,26	21,90	100	100	100	100	100	100	100
Amostra B-10F304/3															
magnetita	8,55	0,28	4,01	6,11	72,47	7,21	2,02	nd	0,7	1,0	4,9	66,7	4,1	8,4	nd
-0,833+0,295	14,53	2,18	33,60	11,40	4,03	20,22	2,71	22,72	8,8	14,8	15,6	6,3	19,4	19,1	14,5
-0,295+0,147	25,68	4,05	37,13	10,40	3,13	15,62	1,88	24,71	28,9	28,8	25,1	8,7	26,5	23,4	27,9
-0,147+0,074	14,52	5,01	36,37	11,42	2,94	15,31	1,88	24,27	20,2	16,0	15,6	4,6	14,7	13,2	15,5
-0,074+0,038	17,14	4,83	35,15	12,16	3,19	15,76	2,07	23,82	23,0	18,2	19,6	5,9	17,8	17,2	18,0
-0,038	19,58	3,39	35,88	10,44	3,71	13,52	1,97	27,98	18,4	21,2	19,2	7,8	17,5	18,7	24,1
total calculado	100	3,60	33,09	10,64	9,29	15,14	2,06	22,73	100	100	100	100	100	100	100
Amostra B-30F248															
magnetita	10,01	0,31	4,33	6,46	70,04	7,44	2,65	0,01	1,3	1,3	6,1	67,9	4,7	11,0	0,0
-0,833+0,295	17,10	1,32	33,50	10,93	4,64	20,02	2,84	22,57	9,6	17,8	17,8	7,7	21,4	20,2	16,9
-0,295+0,147	25,10	2,48	36,09	10,59	3,62	17,86	2,36	25,32	26,5	28,1	25,3	8,8	28,0	24,6	27,8
-0,147+0,074	19,32	3,48	35,50	11,76	3,34	16,97	2,30	24,69	28,7	21,3	21,6	6,3	20,5	18,5	20,9
-0,074+0,038	11,23	3,37	34,41	12,06	3,30	15,96	2,30	24,82	16,1	12,0	12,9	3,6	11,2	10,7	12,2
-0,038	17,24	2,41	36,35	9,98	3,44	13,29	2,10	29,35	17,7	19,5	16,4	5,7	14,3	15,0	22,2
total calculado	100	2,35	32,21	10,52	10,32	16,01	2,41	22,83	100	100	100	100	100	100	100

P.F.- perda ao fogo

nd- valores abaixo do limite de detecção

TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, SO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, MnO, BaO, SrO apresentam valores abaixo de 1,00%

Tabela 6. Balanço metalúrgico dos principais óxidos e perda ao fogo para os produtos magnéticos e para as frações -0,833+0,295 mm, -0,295+0,147 mm, -0,147+0,074 mm, -0,074+0,038 mm e -0,038 mm das amostras totais.



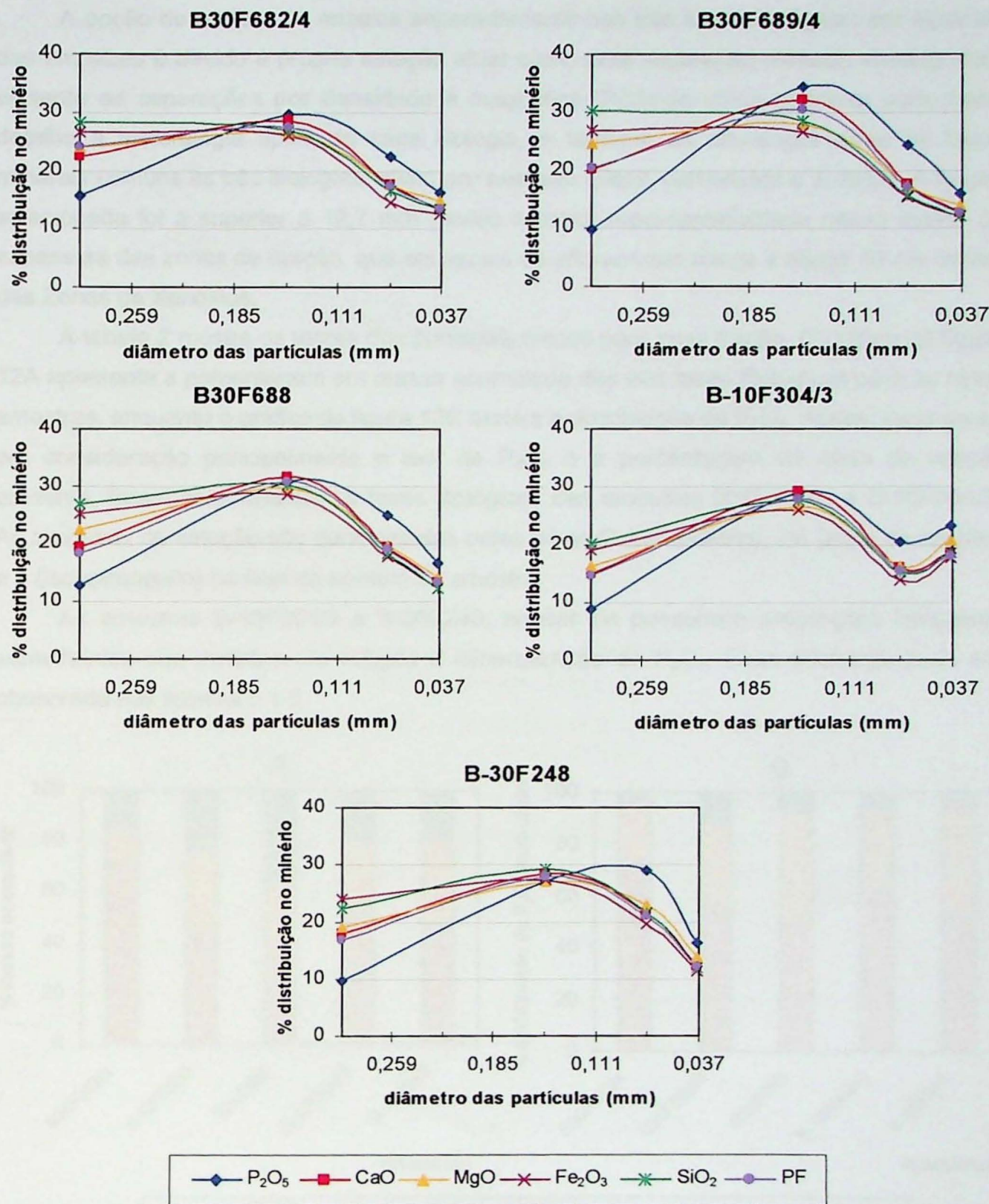


Figura 11. Gráficos de distribuição no minério dos principais óxidos e perda ao fogo para as frações -0,833+0,295 mm, -0,295+0,147 mm, -0,147+0,074 mm e -0,074+0,038 mm das amostras totais.

### 6.2.2. Seleção das amostras para caracterização

Das cinco amostras preparadas, foram selecionadas três para realização dos ensaios de caracterização em amostra total, e duas para ensaios apenas nos produtos de catação.



A opção de realizar os ensaios separadamente nas três fases litológicas em algumas das amostras é devido à própria catação atuar como uma separação mineral, tornando mais eficiente as separações por densidade e magnética. Pôde-se ainda observar com maior detalhe a mineralogia típica de cada litologia, e também as diferenças entre as fases minerais comuns às três litologias, como por exemplo micas, carbonatos e sulfetos. A fração selecionada foi a superior a 12,7 mm devido a maior representatividade nessa malha da espessura das zonas de reação, que em escala de afloramento chega a atingir 30 cm dentro das Zonas de Xenólitos.

A tabela 2 mostra os teores dos principais óxidos para essa fração. O gráfico da figura 12A apresenta a porcentagem em massa acumulada das três fases litológicas para as cinco amostras, enquanto o gráfico da figura 12B mostra a distribuição de  $P_2O_5$ . Assim, levando-se em consideração principalmente o teor de  $P_2O_5$  e a porcentagem de zona de reação presente, foram selecionadas as fases litológicas das amostras B30F689/4 e B-10F304/3. As amostras de catação são denominadas pelas letras C (carbonatito), ZR (zona de reação) e J (jacupiranguito) no final do número da amostra.

As amostras B-10F304/3 e B-30F248, apesar de possuírem proporções litológicas semelhantes são distintas em relação à mineralização de  $P_2O_5$ . Essa diferença pode ser observada nas tabelas 5 e 6.

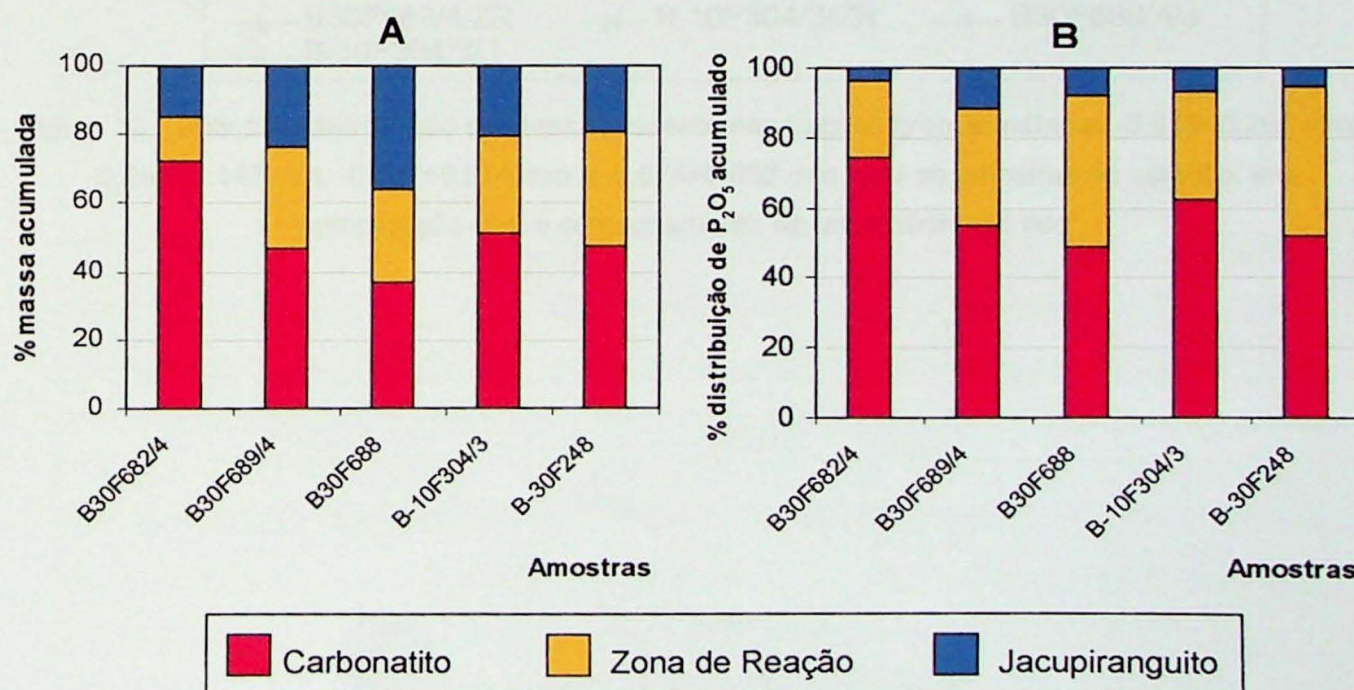


Figura 12. Gráficos de massa acumulada (A) e de distribuição de  $P_2O_5$  acumulada (B) para as três fases litológicas na fração maior que 12,7 mm.

Essas amostras seguiram o mesmo esquema de preparação que as amostras totais (item 6.2.1), e também tiveram seus produtos da separação granulométrica, o produto



magnético, e o produto passante em malha 0,038 mm analisados por fluorescência de raios X. O gráfico da figura 13 apresenta a distribuição de massa passante para as frações utilizadas no processo de separação granulométrica. A tabela 7 apresenta os balanços de massa, os teores e a distribuição no minério para os principais óxidos, e a figura 14 apresenta os gráficos dessa distribuição.

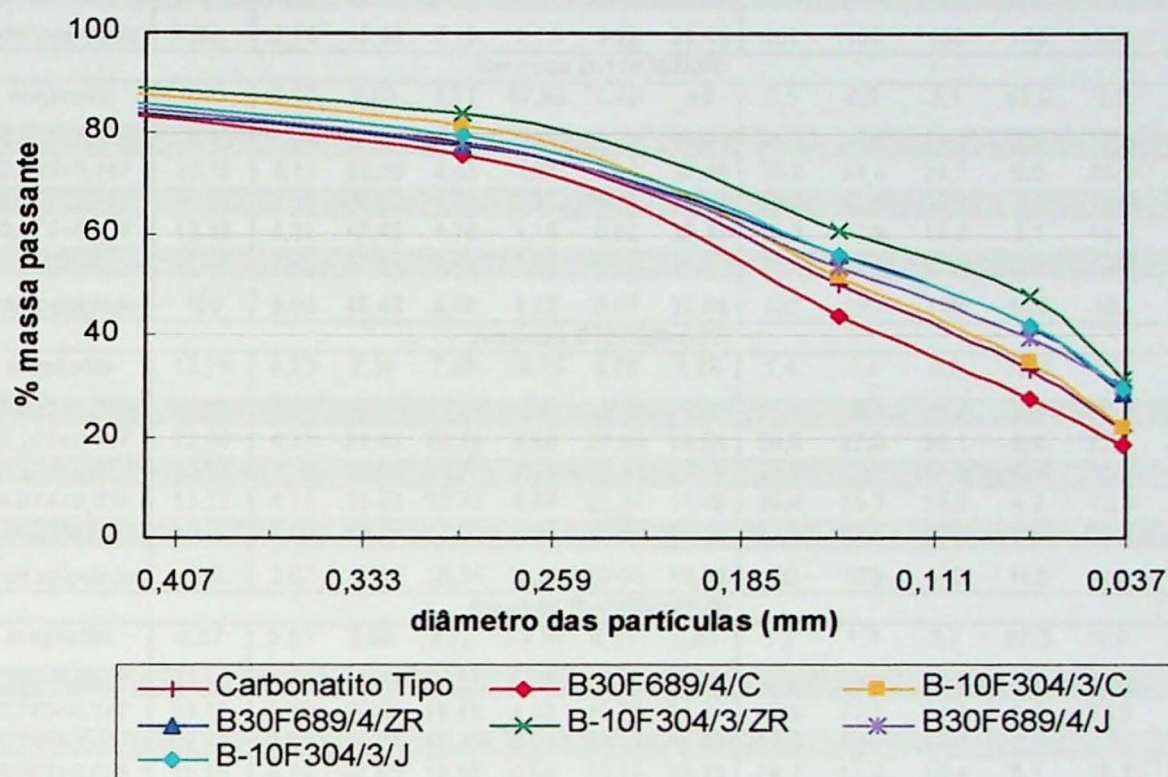


Figura 13. Gráfico de distribuição da massa passante nas frações granulométricas -0,833+0,295 mm, -0,295+0,147 mm, -0,147+0,074 mm e -0,074+0,038 mm para as amostras de catação, em comparação com o comportamento de um carbonatito tipo.



fração (mm)	% em peso	teores (% em peso)						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>	P.F.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P.F.
Amostra B30F689/4/C													
magnetita	2,32	0,43	1,87	3,48	88,19	0,25	0,12	0,4	0,1	1,9	74,1	2,3	nd
-0,833+0,295	24,14	1,53	48,93	4,11	0,80	0,40	41,85	13,3	24,7	23,8	7,0	38,1	25,3
-0,295+0,147	31,67	3,33	49,01	4,13	0,65	0,21	40,38	37,9	32,5	31,3	7,5	26,3	32,1
-0,147+0,074	16,80	4,47	48,98	4,30	0,69	0,20	39,29	27,0	17,2	17,3	4,2	13,3	16,5
-0,074+0,038	8,92	3,33	48,68	4,54	0,61	0,17	40,49	10,7	9,1	9,7	2,0	6,0	9,1
-0,038	16,16	1,84	48,72	4,13	0,91	0,22	41,96	10,7	16,5	16,0	5,3	14,0	17,0
total calculado	100	2,78	47,82	4,18	2,76	0,25	39,88	100	100	100	100	100	100
Amostra B-10F304/3/C													
magnetita	3,73	0,49	2,93	3,71	87,95	0,46	nd	0,5	0,2	3,1	69,9	2,5	nd
-0,833+0,295	18,19	1,98	47,35	4,74	2,29	1,01	40,25	10,2	18,5	19,2	8,9	26,6	19,3
-0,295+0,147	30,16	4,11	48,39	4,43	1,40	0,60	39,00	35,2	31,4	29,7	9,0	26,2	31,1
-0,147+0,074	16,64	5,55	48,92	4,41	1,17	0,58	37,57	26,2	17,5	16,3	4,1	14,0	16,5
-0,074+0,038	13,32	4,32	48,40	4,78	1,10	0,60	38,85	16,3	13,9	14,2	3,1	11,6	13,7
-0,038	17,96	2,26	47,77	4,41	1,30	0,74	40,83	11,5	18,5	17,6	5,0	19,2	19,4
total calculado	100	3,52	46,48	4,50	4,70	0,69	37,84	100	100	100	100	100	100
Amostra B30F689/4/ZR													
magnetita	12,78	0,33	2,19	7,09	74,85	5,78	0,28	1,4	1,4	4,9	70,8	3,5	0,2
-0,833+0,295	22,06	1,96	17,34	21,53	5,33	28,40	15,02	14,1	19,2	25,9	8,7	29,9	20,9
-0,295+0,147	22,00	4,31	24,41	20,15	3,92	21,00	18,84	30,9	27,0	24,1	6,4	22,1	26,2
-0,147+0,074	14,03	3,36	24,99	19,24	3,96	21,33	20,10	15,4	17,6	14,7	4,1	14,3	17,8
-0,074+0,038	13,25	4,73	23,53	20,70	4,27	21,77	17,49	20,4	15,7	14,9	4,2	13,8	14,6
-0,038	15,88	3,44	23,89	17,86	4,98	21,57	20,19	17,8	19,1	15,4	5,8	16,4	20,2
total calculado	100	3,07	19,89	18,37	13,52	20,93	15,84	100	100	100	100	100	100
Amostra B-10F304/3/ZR													
magnetita	9,67	0,51	2,88	6,72	73,16	6,01	0,61	1,7	1,3	3,7	62,3	2,9	0,3
-0,833+0,295	15,82	1,77	20,47	19,37	5,50	24,93	18,39	9,6	15,0	17,3	7,7	20,0	16,2
-0,295+0,147	23,19	3,15	25,61	18,65	4,43	19,61	21,27	25,0	27,5	24,5	9,0	23,0	27,4
-0,147+0,074	12,92	3,96	24,60	19,52	4,11	20,34	19,35	17,5	14,7	14,3	4,7	13,3	13,9
-0,074+0,038	16,86	4,19	22,88	19,82	4,50	21,17	18,23	24,2	17,9	18,9	6,7	18,1	17,1
-0,038	21,54	2,99	23,70	17,48	5,09	20,79	20,97	22,0	23,6	21,3	9,6	22,7	25,1
total calculado	100	2,92	21,60	17,67	11,36	19,75	17,99	100	100	100	100	100	100
Amostra B30F689/4/J													
magnetita	18,42	0,48	2,95	7,03	70,64	6,34	nd	6,2	3,5	7,1	70,2	3,8	nd
-0,833+0,295	21,93	0,95	18,02	19,85	7,11	39,82	3,94	14,7	25,1	24,0	8,4	28,1	17,3
-0,295+0,147	24,55	1,48	19,59	19,87	6,76	37,30	5,49	25,6	30,5	26,8	8,9	29,5	27,0
-0,147+0,074	13,89	1,75	18,54	21,98	6,42	36,24	6,25	17,1	16,4	16,8	4,8	16,2	17,4
-0,074+0,038	9,61	2,55	17,73	23,21	6,14	34,75	7,07	17,3	10,8	12,3	3,2	10,8	13,6
-0,038	11,59	2,34	18,65	20,36	7,18	31,25	10,58	19,1	13,7	13,0	4,5	11,7	24,6
total calculado	100	1,42	15,75	18,17	18,55	31,06	4,99	100	100	100	100	100	100
Amostra B-10F304/3/J													
magnetita	17,47	0,14	5,98	6,93	62,41	12,03	nd	2,8	5,6	7,8	66,4	6,3	nd
-0,833+0,295	20,05	0,38	21,84	16,55	7,31	42,01	3,91	8,8	23,5	21,3	8,9	25,3	15,7
-0,295+0,147	23,95	0,55	22,04	16,61	6,52	39,47	5,45	15,2	28,4	25,5	9,5	28,4	26,1
-0,147+0,074	13,78	1,19	21,05	18,38	6,11	36,04	5,92	18,9	15,6	16,2	5,1	14,9	16,3
-0,074+0,038	12,87	1,98	20,49	19,27	6,10	35,02	6,76	29,3	14,2	15,9	4,8	13,5	17,4
-0,038	11,89	1,83	19,85	17,40	7,36	32,16	10,38	25,0	12,7	13,3	5,3	11,5	24,6
total calculado	100	0,87	18,60	15,59	16,43	33,27	5,01	100	100	100	100	100	100

P.F.- perda ao fogo

nd- valores abaixo do limite de detecção

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, SO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, MnO, BaO, SrO apresentam valores abaixo de 1,00%

Tabela 7. Balanço metalúrgico dos principais óxidos e perda ao fogo para os produtos magnéticos e para as frações -0,833+0,295 mm, -0,295+0,147 mm, -0,147+0,074 mm, -0,074+0,038 mm e -0,038 mm das amostras de catação.



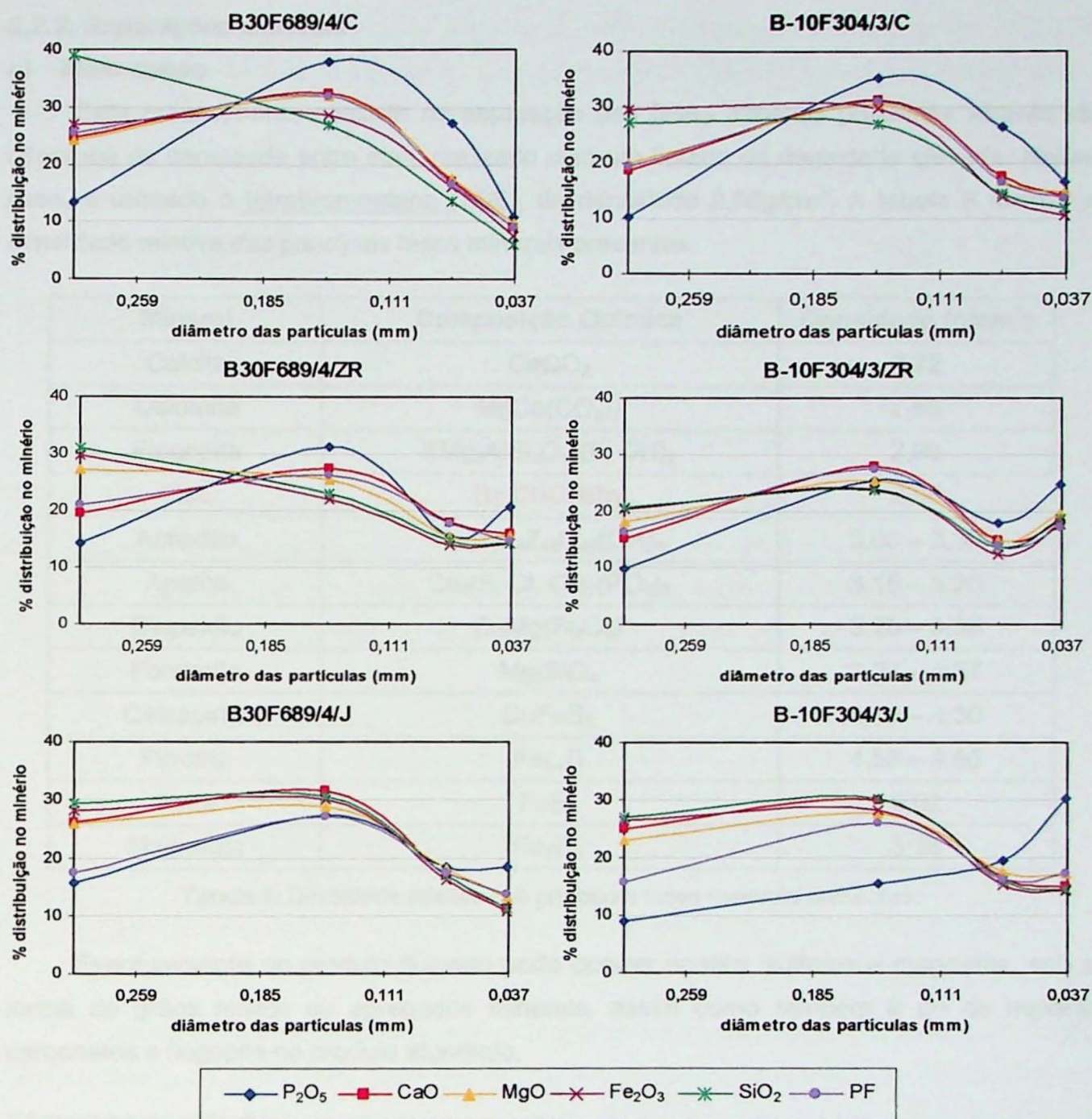


Figura 14. Gráficos de distribuição no minério dos principais óxidos e perda ao fogo para as frações -0,833+0,295 mm, -0,295+0,147 mm, -0,147+0,074 mm e -0,074+0,038 mm das amostras de catação.

No total, foram geradas nove amostras para realização dos ensaios de separação mineral: três amostras totais (B30F682/4, B30F688 e B-30F248) e seis amostras da catação (B30F689/4/C, B30F689/4/ZR, B30F689/4/J, B-10F304/3/C, B-10F304/3/ZR e B-10F304/3/J). Para todas elas, selecionou-se a fração granulométrica -0,295+0,147 mm para as separações minerais por ser essa a utilizada na rotina da mina e devido à maior representatividade em peso desta fração.



### 6.2.3. Separações minerais

#### a) Meio denso

Este procedimento consiste na separação das fases minerais presentes através da diferença de densidade entre elas, realizado com um líquido de densidade elevada. Nesse caso, é utilizado o tetrabromoetano (TBE), de densidade  $2,96\text{g/cm}^3$ . A tabela 8 mostra a densidade relativa das principais fases minerais presentes.

Mineral	Composição Química	Densidade ( $\text{g/cm}^3$ )
Calcita	$\text{CaCO}_3$	2,72
Dolomita	$\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$	2,85
Flogopita	$\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{F}, \text{OH})_2$	2,86
<b>TBE</b>	<b><math>\text{Br}_2\text{CHCHBr}_2</math></b>	<b>2,96</b>
Anfibólio	$\text{X}_{0-7}\text{Y}_{7-14}\text{Z}_{16}\text{O}_{44}(\text{OH})_4$	3,00 – 3,30
Apatita	$\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})(\text{PO}_4)_3$	3,15 – 3,20
Diopsídio	$\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$	3,20 – 3,30
Forsterita	$\text{Mg}_2\text{SiO}_4$	3,27 – 4,37
Calcopirita	$\text{CuFeS}_2$	4,10 – 4,30
Pirrotita	$\text{Fe}_{1-x}\text{S}$	4,58 – 4,65
Pirita	$\text{FeS}_2$	5,02
Magnetita	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	5,18

Tabela 8. Densidade relativa das principais fases minerais presentes.

Eventualmente no produto flutuado pode ocorrer apatita, sulfetos e magnetita, sob a forma de grãos mistos ou agregados minerais, assim como também é de se esperar carbonatos e flogopita no produto afundado.

#### - Amostras da catação

A primeira amostra submetida à separação foi o jacupiranguito B30F689/4/J. Devido a alta porcentagem de minerais pesados, principalmente piroxênio, magnetita e sulfetos, grande parte do material afundava rapidamente quando a amostra era colocada no funil, carregando junto a ele minerais leves; dessa etapa gerou-se o produto Flutuado 1.

No produto afundado o procedimento teve de ser realizado mais uma vez; o produto flutuado (Flutuado 2) dessa separação apresentou maior quantidade de micas que o Flutuado 1. Porém observou-se, ao filtrar o material afundado, que neste ainda restavam minerais leves. Numa tentativa de otimizar uma nova separação em meio denso, optou-se por retirar o excesso de material magnético do produto afundado com um ímã de mão. A terceira etapa de separação em meio denso não resultou em grande quantidade de produto



flutuado, porém observou-se que a retirada dos minerais magnéticos e de minerais associados a eles facilitou a separação dos minerais leves, mesmo que presentes em pouca quantidade. A tabela 9 apresenta o balanço de massa para a amostra.

Amostra B30F689/4/J						
Peso (%)						
Produto	Afundado	Flutuado 1	Flutuado 2	Flutuado 3	Magnético (imã de mão)	Total
Fração -0,295+0,147 mm	63,38	19,08	2,30	0,27	14,96	100
Amostra global	15,56	4,68	0,56	0,07	3,67	24,55

Tabela 9. Balanço de massa dos produtos da separação em meio denso para fração -0,295+0,147mm e amostra global do jacupiranguito B30F689/4/J.

Para verificar a eficiência da retirada do material magnético com imã de mão, optou-se por separá-lo na segunda amostra de jacupiranguito, a B-10F304/3/J, antes de iniciar o meio denso. A resposta ao procedimento foi muito melhor que da primeira amostra, sem necessidade de nova separação do material afundado (Tabela 10).

Amostra B-10F304/3/J				
Peso (%)				
Produto	Magnético (imã de mão)	Afundado	Flutuado	Total
Fração -0,295+0,147 mm	15,16	70,28	14,57	100
Amostra global	3,63	16,83	3,49	23,95

Tabela 10. Balanço de massa dos produtos da separação em meio denso para a fração -0,295+0,147 mm e amostra global do jacupiranguito B-10F304/3/J.

A separação em meio denso para as amostras de carbonatitos e de zonas de reação (B30F689/4/C, B-10F304/3/C, B30F689/4/ZR e B-10F304/3/ZR) mostrou-se muito eficiente. Para as amostras de carbonatito o resultado foi o esperado: uma ótima resposta à separação, com porcentagem elevada de produto flutuado. Para a amostra de zona de reação observou-se o mesmo comportamento: boa separação com porcentagem maior de produto flutuado em relação ao afundado. A tabela 11 mostra o balanço de massa para essas amostras.



Amostras	Peso (%)			
	Produto	Afundado	Flutuado	Total
B30F689/4/C	Fração -0,295+0,147 mm	7,90	92,10	100
	Amostra global	2,50	29,17	31,67
B-10F304/3/C	Fração -0,295+0,147 mm	10,59	89,41	100
	Amostra global	3,19	26,97	30,16
B30F689/4/ZR	Fração -0,295+0,147 mm	34,97	65,03	100
	Amostra global	7,69	14,31	22,00
B-10F304/3/ZR	Fração -0,295+0,147 mm	33,22	66,78	100
	Amostra global	7,70	15,49	23,19

Tabela 11. Balanço de massa dos produtos da separação em meio denso para a fração -0,295+0,147 mm e amostra global nas amostras de carbonatito e zona de reação.

- Amostras totais

As amostras B30F682/4 e B30F688 apresentaram dificuldades na separação: o procedimento teve que ser repetido no produto afundado das duas amostras, apesar de ambas apresentarem porcentagens mais elevadas de produto flutuado (Tabela 12). Após essa segunda etapa de separação, foi realizada a retirada do material magnético com imã de mão para conhecer sua porcentagem de participação nas amostras.

Amostras	Peso (%)					Total
	Produto	Afundado	Flutuado 1	Flutuado 2	Magnético (imã de mão)	
B30F682/4	Fração -0,295+0,147 mm	14,7	80,29	1,75	3,26	100
	Amostra global	3,93	21,45	0,47	0,87	26,72
B30F688	Fração -0,295+0,147 mm	33,79	57,63	2,45	6,13	100
	Amostra global	9,33	15,92	0,68	1,69	27,62

Tabela 12. Balanço de massa dos produtos da separação em meio denso para a fração -0,295+0,147 mm e amostra global em B30F682/4 e B30F688.

A primeira amostra contém grande quantidade de produto flutuado, devido à alta porcentagem de carbonatito presente (Tabela 1), enquanto a segunda amostra, apesar de apresentar maior porcentagem de produto flutuado, este é menor que da amostra anterior, uma vez que a soma de jacupiranguito e zona de reação da amostra é mais elevada que a quantidade de carbonatito.

Já para a terceira amostra total, a B-30F248 (tabela 13), foi realizado o mesmo procedimento usado para a amostra de jacupiranguito B-10F304/3/J para otimizar a separação: primeiramente o material magnético foi retirado com um imã de mão, para depois a amostra ser separada em meio denso. Do mesmo modo que para o jacupiranguito, a separação foi mais eficiente, sem necessidade de uma nova etapa de separação.



Amostra B-30F248				
Peso (%)				
Produto	Magnético (imã de mão)	Afundado	Flutuado	Total
Fração -0,295+0,147 mm	8,21	29,14	62,65	100
Amostra global	2,06	7,31	15,73	25,10

Tabela 13. Balanço de massa dos produtos da separação em meio denso para a fração -0,295+0,147 mm e amostra global em B-30F248.

#### - Estereomicroscopia

Todos os produtos gerados da separação em meio denso foram descritos por estereomicroscopia visando o detalhamento mineralógico e a posterior seleção das amostras para separação magnética em Frantz isodinâmico. No anexo III encontra-se a descrição mineralógica dos produtos gerados na separação, e o anexo IV apresenta uma tabela da composição relativa das fases minerais presentes em cada produto.

Para os produtos afundados dos carbonatitos e das zonas de reação foi realizada contagem de grãos para estabelecer o grau de liberação da apatita (tabelas 14 e 15).

Minerais	Amostras (produtos afundados) - % em peso			
	B30F689/4/C	B-10F304/3/C	B30F689/4/ZR	B-10F304/3/ZR
Apatita	85,77	81,41	59,60	62,36
Carbonatos	0,11	0,47	4,85	4,27
Olivina	1,10	1,39	6,20	6,01
Magnetita	12,44	15,46	19,62	18,70
Sulfetos	0,21	0,52	---	0,67
Flogopita	0,05	0,27	0,40	0,53
Serpentina	---	0,08	1,41	0,14
Anfibólio	---	---	5,49	4,18
Piroxênio	---	---	0,36	0,16
Outros	0,32	0,40	2,07	2,98
TOTAL	100	100	100	100

Tabela 14. Porcentagem das diversas fases minerais para os produtos afundados das amostras de carbonatito e zona de reação.



Amostras (produtos afundados)	Grau de liberação da apatita (%)
B30F689/4/C	95,77
B-10F304/3/C	96,21
B30F689/4/ZR	88,46
B-10F304/3/ZR	89,88

Tabela 15. Grau de liberação da apatita para as amostras de carbonatito e zona de reação.

### - Análises químicas

Nos produtos afundados e flutuados foram realizadas análises químicas por fluorescência de raios X, com exceção dos produtos flutuados das amostras de jacupiranguito por não haver massa suficiente desses materiais, e os produtos magnéticos (imã de mão) foram analisados por absorção atômica. Os resultados encontram-se nas tabelas 16 e 17.

produto	teores (% em peso)								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>	SO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P.F.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P.F.
<b>Amostra B30F682/4</b>																
flutuado	0,72	44,97	6,81	0,89	3,13	0,49	0,64	41,10	20,28	87,16	72,65	39,68	34,38	49,15	49,93	97,78
afundado	15,63	33,25	10,93	4,12	25,20	0,86	2,71	4,59	78,88	11,54	20,89	32,91	49,59	15,45	37,88	1,96
magnético (imã de mão)	0,75	16,85	15,23	15,47	36,74	8,88	3,93	2,79	0,84	1,30	6,46	27,41	16,03	35,39	12,18	0,26
total calculado	2,91	42,33	7,69	1,84	7,47	0,82	1,05	34,48	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Amostra B30F688</b>																
flutuado	0,39	40,69	8,88	1,27	6,18	0,43	1,42	39,00	8,16	72,15	43,77	22,51	20,68	39,60	37,25	96,18
afundado	7,67	25,09	16,49	5,58	34,99	0,60	3,56	2,47	90,25	25,02	45,72	55,64	65,87	31,08	52,53	3,43
magnético (imã de mão)	0,75	15,66	20,90	12,08	39,41	3,12	3,82	1,58	1,60	2,83	10,51	21,85	13,46	29,32	10,22	0,40
total calculado	2,87	33,88	12,19	3,39	17,95	0,65	2,29	24,36	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Amostra B-30F248</b>																
flutuado	0,29	44,38	6,73	0,80	4,54	0,44	1,11	40,17	8,02	75,83	41,39	14,42	17,45	31,60	30,96	98,01
afundado	7,05	25,78	15,40	5,96	36,16	0,85	4,10	1,28	90,68	20,49	44,06	49,98	64,65	28,40	53,19	1,45
magnético (imã de mão)	0,36	16,42	18,05	15,07	35,56	4,25	4,34	1,70	1,30	3,68	14,55	35,60	17,91	40,00	15,86	0,54
total calculado	2,27	36,66	10,19	3,48	16,30	0,87	2,25	25,68	100	100	100	100	100	100	100	100

P.F.- perda ao fogo

nd- valores abaixo do limite de detecção

TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, MnO, BaO, SrO apresentam valores abaixo de 1,00%

Tabela 16. Teores e distribuição no minério dos principais óxidos e perda ao fogo para os produtos flutuados, afundados e, eventualmente, magnéticos das amostras totais.



produto	teores (% em peso)								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>	SO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P.F.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P.F.
<b>Amostra B30F689/4/C</b>																
flutuado	0,37	48,83	4,49	0,29	0,59	0,44	0,23	43,44	10,9	92,4	95,9	38,0	78,7	44,9	94,0	99,8
afundado	35,41	47,11	2,24	5,52	1,86	6,30	0,17	1,04	89,1	7,6	4,1	62,0	21,3	55,1	6,0	0,2
total calculado	3,14	48,69	4,31	0,70	0,69	0,90	0,23	40,09	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Amostra B-10F304/3/C</b>																
flutuado	0,37	48,50	4,62	0,26	0,75	0,44	0,25	43,36	8,8	90,4	91,8	17,8	68,4	37,9	87,9	99,7
afundado	32,40	43,40	3,47	10,15	2,93	6,08	0,29	1,07	91,2	9,6	8,2	82,2	31,6	62,1	12,1	0,3
total calculado	3,76	47,96	4,50	1,31	0,98	1,04	0,25	38,88	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Amostra B30F689/4/ZR</b>																
flutuado	0,43	29,40	14,71	2,51	15,66	0,46	3,47	29,99	9,9	78,1	50,4	40,6	48,2	44,7	77,5	94,8
afundado	7,31	15,34	26,94	6,84	31,33	1,06	1,87	3,07	90,1	21,9	49,6	59,4	51,8	55,3	22,5	5,2
total calculado	2,84	24,48	18,99	4,02	21,14	0,67	2,91	20,58	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Amostra B-10F304/3/ZR</b>																
flutuado	0,43	30,58	13,57	2,72	14,71	0,43	3,00	31,19	9,6	80,1	49,5	42,8	50,3	33,6	77,5	94,9
afundado	8,13	15,23	27,88	7,32	29,17	1,71	1,75	3,39	90,4	19,9	50,5	57,2	49,7	66,4	22,5	5,1
total calculado	2,99	25,48	18,32	4,25	19,51	0,86	2,58	21,96	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Amostra B30F689/4/J</b>																
afundado	1,29	20,57	18,05	6,62	42,27	0,39	4,58	1,46	73,9	68,7	58,0	57,1	63,8	52,8	67,8	55,1
magnético (ímã de mão)	0,33	12,25	26,84	10,45	40,68	0,80	3,02	2,61	4,5	9,7	20,4	21,3	14,5	25,6	10,6	23,2
total calculado	1,11	18,98	19,73	7,35	41,97	0,47	4,28	1,68	78,3	78,3	78,3	78,3	78,3	78,3	78,3	78,3
<b>Amostra B-10F304/3/J</b>																
afundado	0,63	21,83	16,57	6,54	43,84	0,43	5,30	1,52	8,4	13,6	15,8	20,2	14,2	34,0	14,5	25,0
magnético (ímã de mão)	0,32	19,14	17,38	9,36	40,53	1,32	5,04	2,91	77,0	71,8	69,7	65,3	71,2	51,4	70,9	60,5
total calculado	0,57	21,35	16,71	7,04	43,25	0,59	5,25	1,77	85,4	85,4	85,4	85,4	85,4	85,4	85,4	85,4

P.F.- perda ao fogo

nd- valores abaixo do limite de detecção

TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, MnO, BaO, SrO apresentam valores abaixo de 1,00%

Tabela 17. Teores e distribuição no minério dos principais óxidos e perda ao fogo para os produtos flutuados, afundados e, eventualmente, magnéticos das amostras de catação.

## b) Frantz isodinâmico

O aparelho Frantz isodinâmico separa as fases minerais conforme sua susceptibilidade magnética, aplicando-se diferentes ângulos de inclinações frontais e laterais e diferentes valores de amperagens.

Esta etapa da caracterização visou a concentração de quatro espécies minerais reconhecidas nas análises por estereomicroscopia: flogopita, nas cores verde e castanha, olivina, piroxênio e anfibólio, com o intuito de caracterização dessas fases por meio de difratometria de raios X.

Quatro amostras foram selecionadas com base em observações estereomicroscópicas, como citado no item anterior, levando-se em consideração a abundância das fases minerais presentes e quantidade de massa disponível para cada amostra. A tabela 18 apresenta quais as amostras selecionadas e os respectivos minerais para concentração.



Amostras	Produtos	Minerais
B30F682/4	Flutuado	Flogopita castanha
B30F689/4/J	Flutuado	Flogopita castanha e verde
B-10F304/3/ZR	Afundado	Olivina e anfibólio
B-10F304/3/J	Afundado	Piroxênio e anfibólio

Tabela 18. Amostras selecionadas e respectivas fases minerais visadas para concentração em Frantz isodinâmico.

Todas as amostras foram submetidas a diversas etapas de separações, eventualmente sendo também utilizado imã de mão, devido a dificuldades de diferentes naturezas, como por exemplo excesso de magnetita ou flogopita, e pouca liberação dos minerais. Os parâmetros adotados para as separações (ângulos de inclinações e amperagens; imã de mão) estão indicados nos fluxogramas do anexo V. A tabela 19 apresenta o balanço de massa dessas separações.

Amostras	Peso (%)									
	Produto	S1		S2		S3		S4		Total
		mg	nmg	mg	nmg	mg	nmg	mg	nmg	
B30F682/4	Flutuado	88,23		1,31			2,06	5,51	2,89	100
	Amostra global	19,34		0,29			0,45	1,21	0,63	21,92
B30F689/4/J	Flutuado			6,74	34,28	23,86	35,12			100
	Amostra global			0,36	1,82	1,27	1,87			5,32
B-10F304/3/ZR	Afundado	20,73		13,75			2,41	31,50	31,60	100
	Amostra global	1,60		1,06			0,19	2,43	2,43	7,70
B-10F304/3/J	Afundado	3,29		71,02	25,69					100
	Amostra global	0,55		11,95	4,32					16,83

Tabela 19. Balanço de massa dos produtos da separação em Frantz isodinâmico para os produtos flutuado/afundado e amostra global. Espaços em branco correspondem a produtos que foram submetidos a nova separação. S1- etapa de separação; mg- magnético; nmg- não-magnético.

Todos os produtos gerados foram observados por estereomicroscopia (Anexo VI), porém os concentrados selecionados para análises por difratometria de raios X foram descritos mais detalhadamente (tabela 20).



AMOSTRA	PRODUTO	DESCRIÇÃO MINERALÓGICA
B30F682/4 Flutuado	Magnético de S4	Predominam partículas de flogopita castanha, com poucas inclusões, e há também, em menor quantidade, partículas de flogopita verde. Ocorrem muitas partículas de carbonatos, alaranjado e incolor, muito impuras e com incrustações de magnetita; geralmente formam associações com magnetita, olivina e anfibólio. Há poucas partículas liberadas de serpentina.
B30F689/4/J Flutuado	Não-magnético de S2	Predominam partículas liberadas de flogopita de cor castanha, e também partículas liberadas de flogopita verde; há poucas partículas com inclusões, e associadas a carbonatos. Ocorrem poucas partículas de carbonatos, predominantemente de cor alaranjada, às vezes associadas a apatita e flogopita.
B-10F304/3/ZR Afundado	Magnético de S4	Predominam partículas liberadas de anfibólio, mas há muitas partículas com inclusões; raramente formam associações com apatita. Há muitas partículas de olivina verde-oliva. Ocorrem partículas liberadas de apatita incolor e alaranjada, geralmente muito impuras; freqüentemente formando agregados com magnetita e olivina, e estão incrustadas por magnetita. Há poucas partículas liberadas de magnetita e serpentina.
B-10F304/3/J Afundado	Magnético de S2	Predominam partículas liberadas de piroxênio castanho, raramente associado a magnetita e com inclusões. Há muitas partículas liberadas de anfibólio, verde a castanho, freqüentemente com inclusões, e há também muitas partículas de olivina verde-oliva. Ocorrem ainda pouca apatita incolor, algumas partículas muito impuras, e por vezes associadas a magnetita. Há algumas poucas partículas liberadas de magnetita e de flogopita.

Tabela 20. Descrição mineralógica dos produtos selecionados para análise por difratometria de raios X.

#### 6.2.4. Análises por difratometria de raios X

As análises de difratometria de raios X foram realizadas pelo método do pó. Os resultados encontram-se no Anexo VII, e a tabela 21 apresenta as principais fases minerais presentes e suas fórmulas químicas.



AMOSTRAS	MINERAIS	FÓRMULA QUÍMICA
B30F682/4 Flutuado Magnético (certificado 01/04)	Diopsídio	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$
	Forsterita	$\text{Mg}_2\text{SiO}_4$
	Biotita	$\text{K}(\text{Mg}_{1.46}\text{Fe}_{1.34}\text{Ti}_{.20})(\text{Al}_{1.24}\text{Si}_{2.76}\text{O}_{10})(\text{OH})_{1.84}\text{O}_{.16}$
	Lizardita	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
B30F689/4/J Flutuado Não-magnético (certificado 02/04)	Calcita	$(\text{Mg}_{0.03}\text{Ca}_{0.97})(\text{CO}_3)$
	Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
	Flogopita	$\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}\text{F}_2$
	Clinocrisotila	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
B-10F304/3/ZR Afundado Magnético (certificado 03/04)	Forsterita	$\text{Mg}_2\text{SiO}_4$
	Richterita	$\text{Na}(\text{Ca},\text{Na})(\text{Mg},\text{Al})\text{SiO}(\text{OH})$
	Dolomita	$\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$
	Diopsídio ferroso	$(\text{Mg}_{0.992}\text{Fe}_{0.008})(\text{Ca}_{0.97}\text{Mg}_{0.022}\text{Fe}_{0.008})(\text{Si}_2\text{O}_6)$
B-10F304/3/J Afundado Magnético (certificado 04/04)	Diopsídio ferroso	$(\text{Mg}_{0.992}\text{Fe}_{0.008})(\text{Ca}_{0.97}\text{Mg}_{0.022}\text{Fe}_{0.008})(\text{Si}_2\text{O}_6)$
	Richterita	$\text{Na}(\text{Ca},\text{Na})(\text{Mg},\text{Al})\text{SiO}(\text{OH})$
	Forsterita	$\text{Mg}_2\text{SiO}_4$
	Clinocrisotila	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

Tabela 21. Principais fases minerais identificadas por difratometria de raios X.

#### 6.2.5. Discussão dos resultados da caracterização tecnológica

- ✓ O comportamento das amostras totais quanto à moagem foi bastante similar, inclusive quando comparado ao de um carbonatito tipo. Os teores de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , bastante variáveis entre as amostras, são mais elevados na fração  $-0,147+0,074$  mm, porém a distribuição no minério é maior na fração  $-0,295+0,147$  mm (média de 30%) devido à alta porcentagem de massa contida nessa faixa, com exceção da amostra B-30F248, com pico em torno de 30% na fração  $-0,147+0,074$  mm. Já amostra B-10F304/3 apresenta comportamento diferenciado na distribuição no minério, com maior valor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  em  $-0,074+0,038$  mm, o que sugere, como já citado anteriormente, sobremoagem do material ou outra geração mais fina de cristalização de apatita;
- ✓ As amostras de catação também apresentaram comportamentos quanto à moagem semelhantes entre si e ao de um carbonatito tipo. Como observado nas análises químicas por frações granulométricas, os teores de  $\text{P}_2\text{O}_5$  dos carbonatitos e das zonas de reação são próximos ou acima do teor de corte da mina. Em relação à distribuição de teores no minério o comportamento das amostras de catação é muito diferente mesmo entre litologias, com exceção dos carbonatitos que são semelhantes às amostras totais. As zonas de reação apresentam maior conteúdo de fosfato em  $-0,295+0,147$  mm, embora se



destaque importante conteúdo também na fração  $-0,074+0,038$  mm, e os jacupiranguitos tendem a concentrar  $P_2O_5$  nas frações mais finas.

- ✓ Em relação a apatita, observa-se, nas amostras totais, uma tendência desta a apresentar granulação mais fina, uma vez que os teores mais altos de  $P_2O_5$  (em torno de 3,5-5,0%) encontra-se entre  $-0,147+0,074$  mm. As amostras de carbonatito apresentam comportamento similar entre si e às amostras totais, porém com teores de  $P_2O_5$  e distribuições no minério mais elevados (entre 4-6% e em torno de 40%, respectivamente);
- ✓ As zonas de reação tem comportamento muito diferente em relação à granulometria: a amostra B30F689/4/ZR tem dois picos de teores de  $P_2O_5$  ( $-0,295+0,147$  mm e  $-0,074+0,038$  mm), e a amostra B-10F304/3/ZR tem um comportamento linear (com teor máximo em  $-0,074+0,038$  mm), com valores entre 4-5%;
- ✓ As amostras de jacupiranguito têm comportamento de granulometria similar, com apatita de granulação fina ( $-0,074+0,038$  mm), o que era esperado por ser o jacupiranguito uma rocha de granulação afanítica a fanerítica fina;
- ✓ Em comparação com dados de processo já existentes para as Zonas de Xenólitos, em amostras de sondagens, nota-se que realmente a tendência dos teores de  $P_2O_5$  é de ser mais elevada na fração  $-0,147+0,074$  mm, com pico de distribuição na fração  $-0,295+0,147$  mm na qual os valores variam de 20 a 40% (média de 30%), apesar da distribuição ao longo das faixas granulométricas ser mais homogênea que nas amostras volumétricas. Em algumas amostras o teor médio é muito baixo (em torno de 2%), porém a média das amostras encontra-se em torno de 2,5%; poucos teores estão próximos ou acima do teor de corte. Assim como no caso da amostra B-10F304/3, algumas amostras de testemunho de sondagens apresentam comportamento diferenciado, com maior porcentagem de material nas frações mais finas.
- ✓ Na separação mineral em meio denso, a magnetita é a fase de maior interferência nas amostras totais e de jacupiranguito, para os quais o processo de separação em tambor magnético não atingiu eficiência adequada, tendo de ser retirada com um ímã de mão antes do processo de separação a fim de otimizá-lo.
- ✓ As diferenças entre produtos flutuados e afundados nas amostras totais refletem as diferenças litológicas das mesmas, sempre com maior porcentagem de produto flutuado, pois a soma de massa de carbonatito e zona de reação (composta basicamente por flogopita e carbonatos) é muito mais elevada que a porcentagem de jacupiranguito. A composição mineralógica dessas amostras não difere entre elas, apenas variando nas porcentagens das fases minerais presentes;
- ✓ As amostras de catação mostraram que os produtos flutuados das amostras de carbonatito e de zona de reação são compostos essencialmente por carbonatos e



flogopita, e os produtos afundados por apatita. O jacupiranguito é constituído principalmente por piroxênio, com pouca porcentagem de produto flutuado essencialmente flogopítico;

- ✓ Todos os minerais silicáticos observados nas amostras contêm MgO em sua composição química teórica, o que se reflete nos elevados teores desse óxido observados em todas as análises químicas realizadas;
- ✓ As análises químicas dos produtos afundados das amostras totais destacam a B30F682/4, com alto teor de  $P_2O_5$ , e o calculado sendo muito próximo ao teor de corte da mina, assim como da amostra B30F688;
- ✓ Das amostras de catação, a litologia carbonatito apresenta altos teores de  $P_2O_5$  (em torno de 35%) no produto afundado em meio denso, porém devido a pouca massa o teor calculado é relativamente baixo (média de 3,45%) e próximo ao teor calculado para a zona de reação (média de 2,91%), pois sua massa de produto afundado é maior.
- ✓ A concentração mineral utilizando o Frantz isodinâmico foi complicada para as amostras B30F682/4-FL e B-10F304/3/ZR-AF devido às fases minerais estarem muito impregnadas, ao contrário das duas amostras de jacupiranguito, B30F689/4/J-FL e B-10F304/3/J-AF, que responderam muito bem ao processo.
- ✓ Em relação às fases minerais visadas para detalhamento, as análises por difratometria de raios X revelaram que, além flogopita, mais comum no jacupiranguito, ocorre também biotita, como observou na amostra total B30F682/4 e na amostra de zona de reação B-10F304/3/ZR. Confirmou-se que a olivina presente é forsterita, o principal piroxênio é o diopsídio rico em Fe, podendo ocorrer clinohiperstênio, e o principal anfibólio é a richterita, porém também ocorre actinolita, aparentemente restrita ao jacupiranguito;
- ✓ As serpentinas identificadas são a clinocrisotila e lizardita, e foram identificadas também magnetita e hidroxilapatita. Foram identificadas outras fases minerais constituintes menores: kinoshitalita e fassaita.



## 7- CONCLUSÕES

As Zonas de Xenólitos são compostas em proporção variada pelos minerais constituintes dos três componentes litológicos do domínio: carbonatito, zona de reação e jacupiranguito.

A mineralogia das unidades carbonatíticas compartimentadas na mina é basicamente carbonatos (predominantemente calcita), flogopita, magnetita e apatita, presentes em quantidade variável, além de poucos sulfetos e às vezes olivina.

Comparando-a às Zonas de Xenólitos, a mineralogia principal é muito similar, porém em proporções muito diferentes, e é proveniente dos carbonatitos e das zonas de reação. O principal mineral carbonático é a calcita, como identificado com base nas análises químicas e nos resultados das difratometrias de raios X.

Associando os teores de MgO com a mineralogia e os resultados das difratometrias de raios X, nota-se que todos os minerais silicáticos da unidade contêm esse óxido em sua composição química teórica. Dentre os minerais micáceos ocorrem micas (flogopita e biotita) e serpentinas (clinocristotila e lizardita). Olivina (forsterita) e magnetita estão presentes no domínio em quantidades muito elevadas, e ainda ocorrem piroxênio (predominantemente diopsídio e subordinadamente clinohiperstênio) e anfibólio (predominantemente richterita e subordinadamente actinolita). Todos esses minerais são provenientes dos blocos de jacupiranguito, porém a forsterita e a richterita são constituintes importantes das bandas silicáticas das zonas de reação. Os sulfetos presentes ocorrem essencialmente nos carbonatitos.

A apatita presente nas Zonas de Xenólitos pode ser avaliada quanto a sua granulometria e concentração em função dos teores de  $P_2O_5$  e de suas distribuições nas frações granulométricas. Dessa forma, observou-se que a granulometria do mineral nas Zonas de Xenólitos é comumente fina, assim como nas unidades de Carbonatito Oxidado, Carbonatito Foliado, Carbonatito Branco e Carbonatito Norte, onde a granulação varia de fina a média, porém a quantidade de apatita nas Zonas de Xenólitos é menor. Já nas outras três unidades carbonatíticas Carbonatito Periférico Sul, Carbonatito Calcítico Sul e Carbonatito Intermediário a apatita é predominantemente grossa.

Para a usina de concentração mineral, essa característica é importante, pois apatita de granulação grossa leva a necessidade de uma diminuição na alimentação dos moinhos para não sobrecarregá-los, prejudicando na ação dos ciclones na classificação granulométrica.

É importante ressaltar que boa parte da apatita presente nas Zonas de Xenólitos é proveniente das zonas de reação, pois quando as litologias são analisadas separadamente



observa-se que os teores de  $P_2O_5$  nos carbonatitos são mais baixos que as médias das unidades carbonatíticas.

Entre as duas porções estudadas da Zona de Xenólitos observaram-se poucas diferenças. Sendo que apenas uma das cinco amostras abrange a porção Leste (a amostra B30F688), e levando-se em consideração a variabilidade natural do domínio, destaca-se que:

- ✓ A amostra é mais pobre em carbonatito, sendo que a relação carbonatito:jacupiranguito é aproximadamente 1:1;
- ✓ Devido a elevada porcentagem de jacupiranguito, a mineralogia dessa amostra apresenta grande quantidade de piroxênio e magnetita;
- ✓ Os teores de  $P_2O_5$  obtidos para os diversos produtos são em média mais baixos que para as outras amostras.

Para que se estabeleça com maior certeza se existem diferenças entre as várias porções da Zona de Xenólitos, é necessário realizar um estudo com mais amostras da porção Leste.

Comparando os dados obtidos nesse trabalho com os dados já existentes em testemunhos de sondagens para as Zonas de Xenólitos, nota-se que há pequenas diferenças entre eles. Assim como para as porções Norte e Leste da Zona de Xenólitos, as variações observadas (quanto à moagem e aos teores) podem ser atribuídas à variabilidade natural do domínio.

Porém, utilizar apenas amostras de testemunhos de sondagens para o estudo das Zonas de Xenólitos pode conduzir a resultados pouco satisfatórios, principalmente quanto a relação entre as fases litológicas presentes, por não apresentar volume adequado, considerando que os blocos de jacupiranguito podem chegar a atingir dimensões métricas. Esse tipo de amostra deve ser utilizado apenas para conhecimento em profundidade de regiões ainda não aflorantes.

Além disso, com as amostras volumétricas foi possível conhecer o comportamento do material na planta de britagem (cominuição primária e secundária) e também o comportamento na unidade das três litologias presentes, estabelecendo proporções, realizando análises químicas individualizadas e detalhando, através da caracterização tecnológica, cada uma das fases, tanto química quanto mineralogicamente.

Quando analisadas separadamente, observa-se que, apesar de apresentar alta variabilidade na proporção das fases litológicas presentes (carbonatito, zona de reação e jacupiranguito), a litologia predominante é o carbonatito, sendo este mineralizado e por vezes com baixo teor; a zona de reação também apresenta teores elevados, próximos ao teor de corte da mina, enquanto o jacupiranguito tem teores inferiores.



As Zonas de Xenólitos apresentam teores de  $P_2O_5$  que a caracterizam como minério de baixo teor, inserindo-a na tipologia corrente de operação de lavra como *Magnesiano*, no qual os teores de MgO são elevados devido à presença dos silicatos diversos. Vale ressaltar que, apesar dos teores de MgO serem elevados, a fase carbonatítica e as bandas carbonáticas das zonas de reação são tipicamente calcíticas, estando esse óxido está associado aos minerais silicáticos micáceos, forsterita, piroxênios e anfibólios; os teores dos carbonatitos o caracterizam no tipo de minério *Cimento*.

Além das características químicas, o comportamento físico do material é favorável ao seu processamento na usina de concentração mineral, com boa liberação dos minerais (carbonatos e apatita) na cominuição aplicada. Porém a elevada quantidade de blocos de jacupiranguito pode ser problemática para o beneficiamento, sendo necessário um conhecimento prévio do comportamento desses blocos para evitar que muito material estéril entre na alimentação.

BRASIL. Comissão Interministerial de Minas de Ouro (CIM). 1994. Minérios e suas aplicações industriais. Ministério do Trabalho da Indústria, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 200p.

DEBYE, P.A. 1954. The composition and structure of jacupiranga and urucum. São Paulo, Brazil. American Journal of Science, 251: 215-221 (Series 2).

GASPARI, J.C. 1998. Geologia e mineralogia do jacupiranga (cataplexite) do jacupiranga, SP, Brasil. Tese de Doutorado (D.R.), da Escola de Engenharia de Aplicação, Universidade de Orléans, França.

GERMAN, A., WARNER, A., FRIEDRICH, G. 1987. The structure of jacupiranga. São Paulo, Brazil. Petrology and mineralogy. 22. Geol. Magaz. 124: 578-597-618.

MELCHER, G.D. 1995. O Cataplexite de Jacupiranga. Bol. 232, Geologia n° 21. São Paulo, Brasil.

MENEZES JR, L.A.D., MARTINS, J.M. 1994. The jacupiranga area. São Paulo, Brazil. The Mineralogical Record, 13(Pt. 2): 261-270.

PAROZZO, D.B. 2002. Investigação tecnológica em mineração cataplexite de Ouro Preto, visando como matéria-prima na produção de fertilizantes. Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 250p.

RUBERTI, E., MARGUTI, W.L., OLIVEIRA, G.B. 1992. O Cataplexite de jacupiranga, SP. Informações gerais. Tópicos em Geologia do 3º Congresso Brasileiro de Geologia - SBG-3P, São Paulo, SP, V. 4, 18 p.



## 8- 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, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 59p+anexos.
- BAUER, H.E. 1877. As minas de ferro de Jacupiranga. *Rev. Eng.*, Rio de Janeiro, 213 p.
- BONÁS, T.B. 2001. Consolidação de critérios de descrição litológica para o minério apatítico do Complexo Alcalino de Jacupiranga. Monografia de Trabalho de Formatura, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 48p+anexos.
- BONÁS, T.B. & SANT'AGOSTINO, L.M. 2004. Aplicação de índice mineralógico como apoio a avaliação de reserva e lavra da mina de fosfato de Cajati-SP. In: CONGR. BRAS. GEOL., 42. Araxá, 2004. *Anais...Araxá*, SBG. CD-ROM.
- BRANDÃO, A.G.P. 2003. Investigações mineralógicas em matéria-prima carbonática de uma determinada unidade litológica da Mina de Cajati (SP), visando novas aplicações industriais. Monografia de Trabalho de Formatura, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 39p+anexos.
- DERBY, O.A. 1891. The magnetite ore districts of Jacupiranga and Ipanema, São Paulo, Brazil. *American Journal of Science*, **141**: 311-321 (Series 3).
- GASPAR, J.C. 1989. Geologie el mineralogie du complexe carbonatitique de Jacupiranga, Brésil. França, Tese de Doutorado U.E.R. de Science Fundamentales et Appliquées, Université d'Orleans, 344 p.
- GERMAN, A.; MARKER, A.; FRIEDRICH, G. 1987. The alkaline complex of Jacupiranga, São Paulo, Brazil. Petrology and genetic consideration. *Zbl. Geol. Paleont. Teil I*, **718**: 807-818.
- MELCHER, G.C. 1965. O Carbonatito de Jacupiranga. 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*, **15**(5): 261-270.
- 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, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 28p+anexos.
- 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. V. 4, 16 p.



- SAITO, M.M.; BARROS, G.; BONÁS, T.B.; BETTENCOURT, J. 2004. Mapeamento geológico de detalhe da mina de Cajati (SP): modelo conceitual e aplicação à lavra, produção e beneficiamento. In: CONGR. BRAS. GEOL., 42. Araxá, 2004. *Anais...Araxá*, SBG. CD-ROM.
- 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, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 33p+anexos.

ANEXOS



## ANEXOS



## **ANEXO I**

### **Registro fotográfico das frentes de lavra amostradas**



Amostra B30F682/4

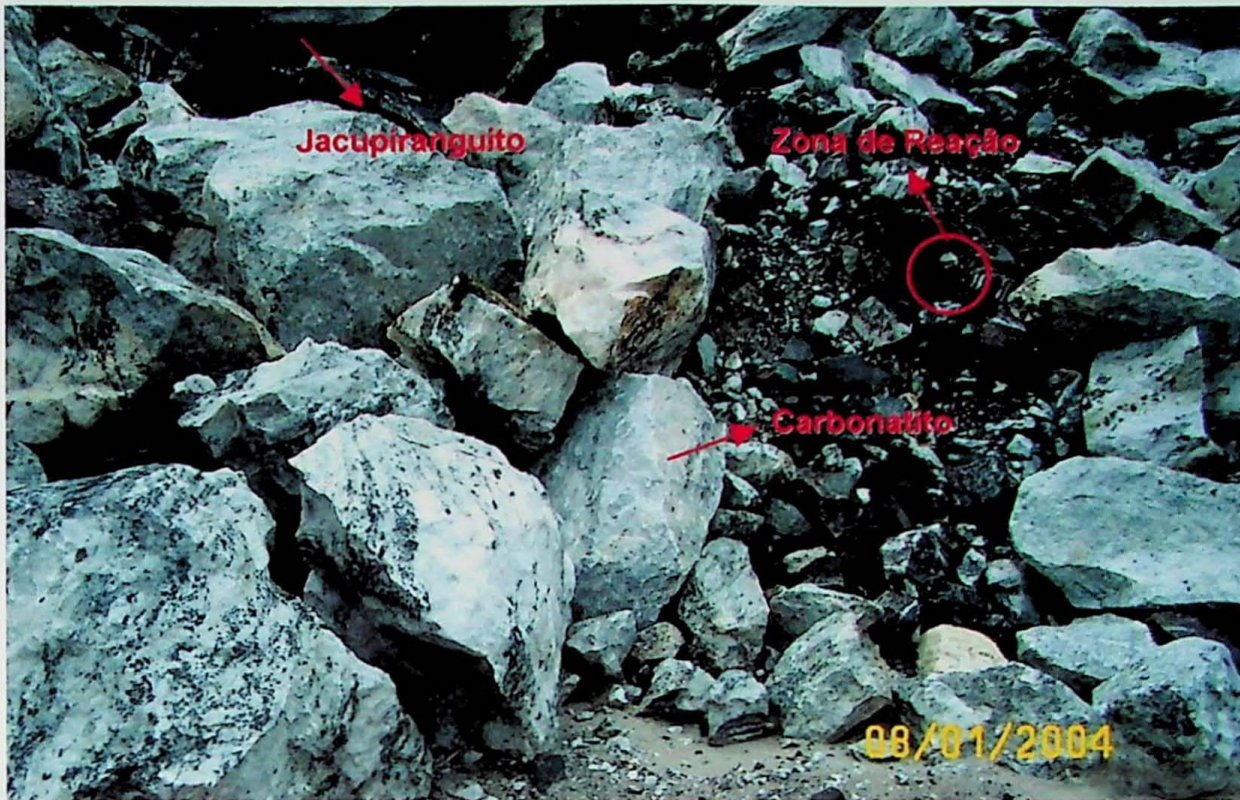


Frente de lavra mostrando contraste entre cores das litologias: carbonatito (branco) e jacupiranguito (preto).



Detalhe de zona de reação: bandas carbonáticas (claras) e bandas silicáticas (escuras).





Blocos das três litologias, prontos para o carregamento.

#### Amostra B30F689/4



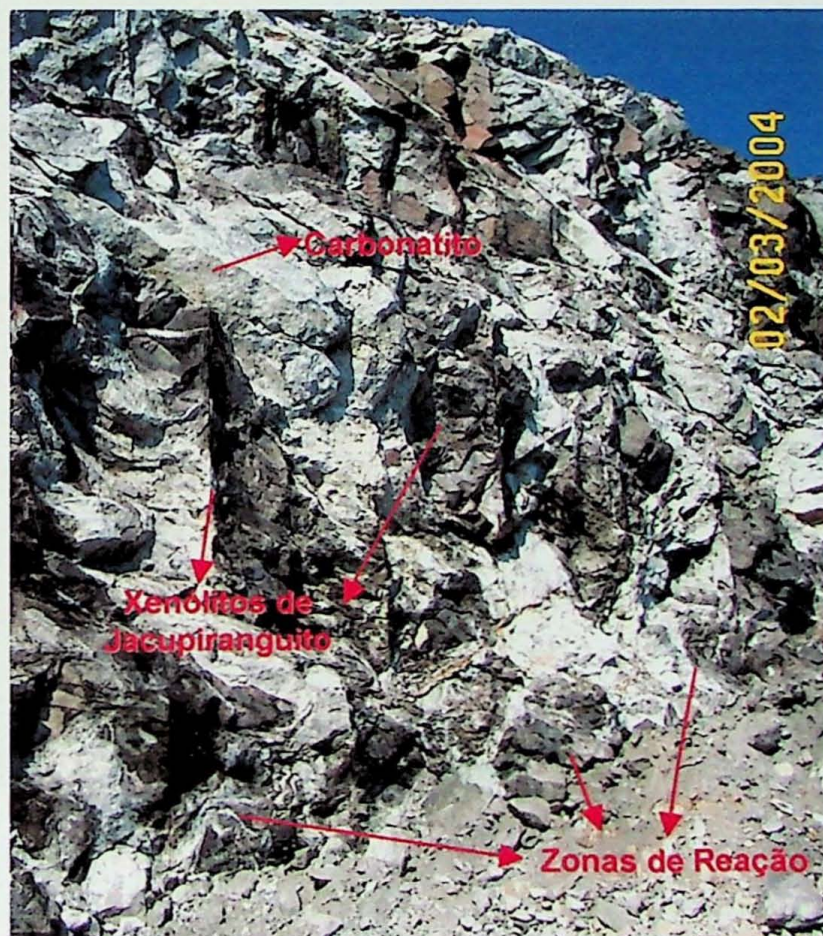
Frente de lavra mostrando contraste entre cores das litologias: carbonatito (branco) e jacupiranguito (preto).





Blocos desmontados mostrando contraste entre cores das litologias: carbonatito (branco) e jacupiranguito (preto).

#### Amostra B30F688



Frente de lava mostrando contraste entre cores das litologias.





Blocos desmontados mostrando contraste entre cores das litologias: carbonatito (branco) e jacupiranguito (preto).



Blocos das três litologias, prontos para o carregamento.

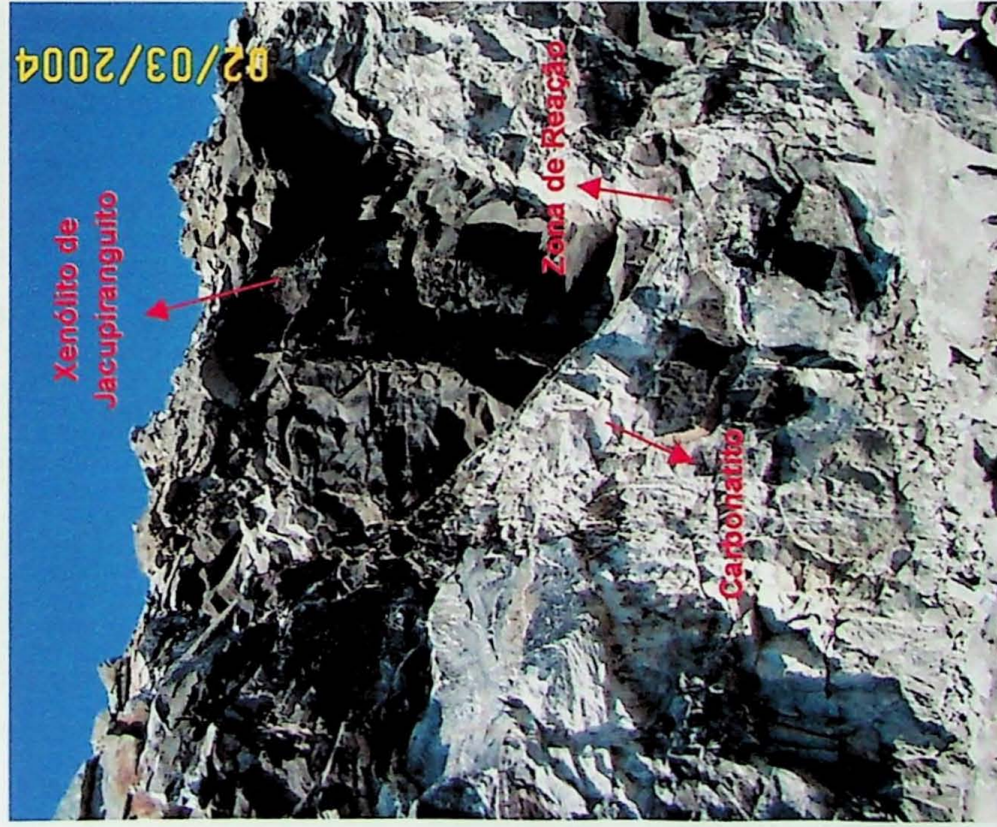




Blocos das três litologias, prontos para o carregamento.



B-10F304/3

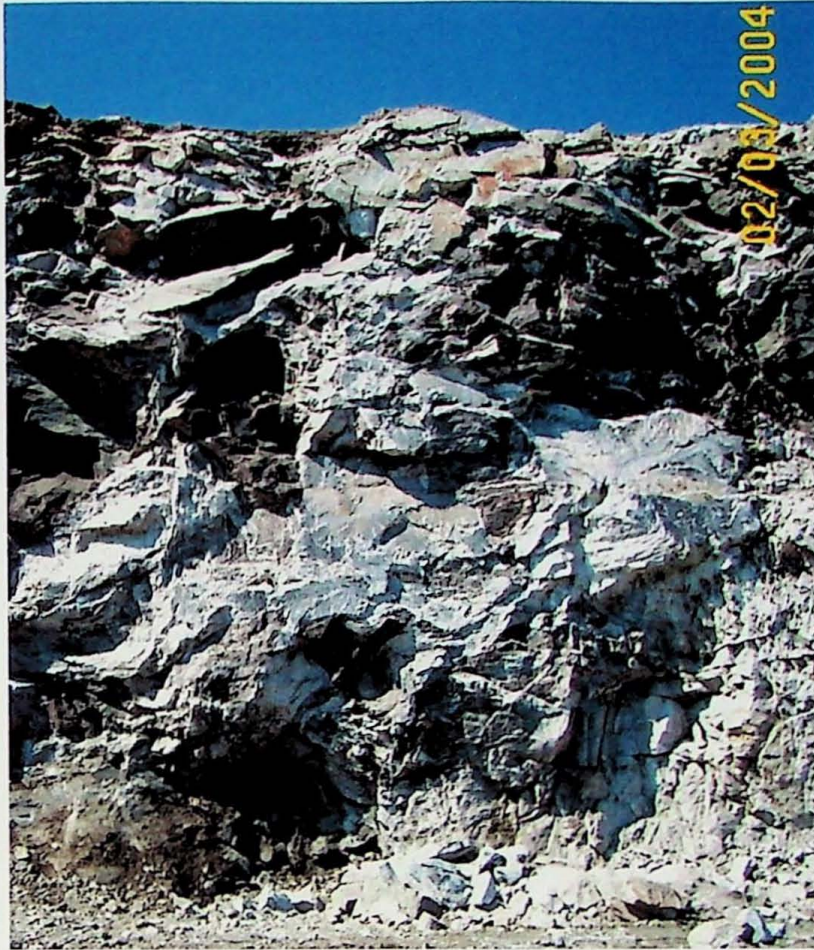


Frente de lava mostrando contraste entre cores das litologias.



Frente de lava mostrando contraste entre cores das litologias.





Frente de lavra mostrando contraste entre cores das litologias: carbonatito (branco), jacupiranguito (preto) e zona de reação (bandamento branco e vermelho).



Blocos desmontados mostrando contraste entre cores das litologias: carbonatito (branco) e jacupiranguito (preto).

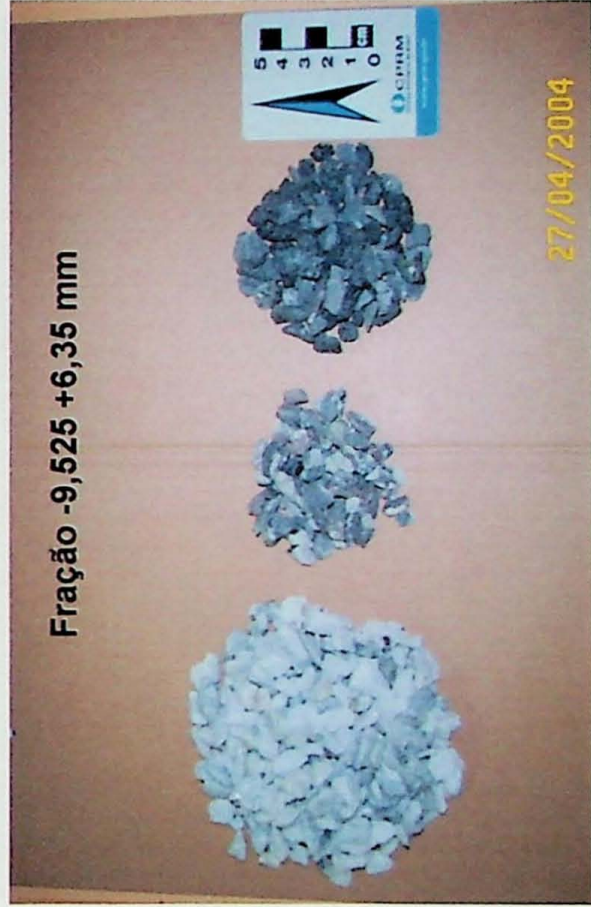


## **ANEXO II**

**Registro fotográfico das litologias separadas  
por catação nas frações granulométricas  
-44,45+12,7 mm, -12,7+9,525 mm e  
-9,525+6,35 mm**

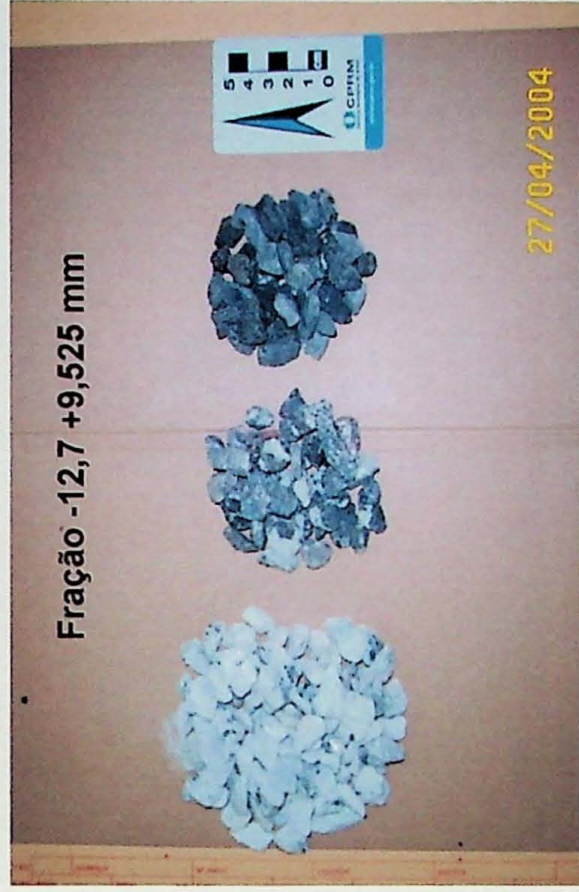


Amostra B30F682/4 – da esquerda para a direita: carbonatito, zona de reação e jacupiranguito





Amostra B30F689/4 – da esquerda para a direita: carbonatito, zona de reação e jacupiranguito





Amostra B30F688 – da esquerda para a direita: carbonatito, zona de reação e jacupiranguito



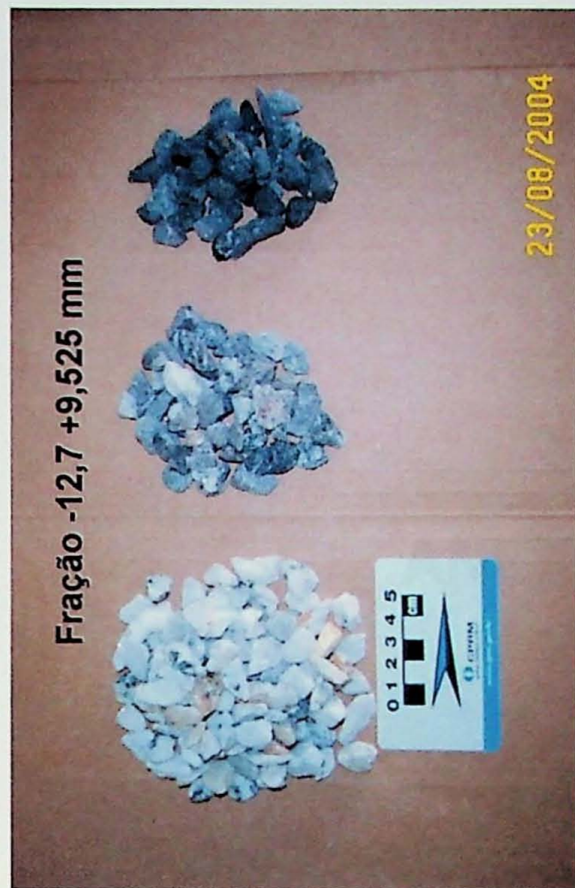


Amostra B-10F304/3 – da esquerda para a direita: carbonatito, zona de reação e jacupiranguito





Amostra B-30F248 – da esquerda para a direita: carbonatito, zona de reação e jacupiranguito





## **ANEXO III**

### **Descrição mineralógica dos produtos da separação em meio denso**



AMOSTRAS	PRODUTOS	DESCRIÇÃO MINERALÓGICA
B30F689/4/C	Flutuado	Predominam partículas liberadas e limpas de carbonatos, formando algumas associações principalmente com magnetita, e também com flogopita e apatita; há partículas de carbonatos com inclusões de sulfetos e outros. Presença de pouca flogopita liberada nas cores verde e castanha clara. Há poucas partículas liberadas de magnetita e apatita.
	Afundado	Predominam partículas liberadas de apatita, incolor a verde-clara, com poucas incrustações de magnetita e sulfetos; há também agregados de apatita com magnetita e carbonatos. Ocorre ainda magnetita liberada, sulfetos liberados, pouca flogopita na cor castanha e carbonatos liberados, e raras olivinas na cor amarelada a verde.
B-10F304/3/C	Flutuado	Predominam partículas liberadas de carbonatos, por vezes associadas a magnetita, sulfetos e apatita verde-clara, e com inclusões. São abundantes as partículas liberadas de flogopita nas cores verde e castanho-claro. Há ainda partículas liberadas de apatita verde-clara com inclusões.
	Afundado	Predominam partículas liberadas de apatita incolor e verde-clara, às vezes alaranjada, por vezes com incrustações de magnetita e sulfetos e formando associações com magnetita, carbonatos e flogopita; alguns partículas aparentam estar oxidadas. Há partículas liberadas de magnetita, ora com sulfetos associados, de olivina verde-oliva e de sulfetos.
B30F689/4/ZR	Flutuado	Predominam partículas liberadas de carbonatos, incolores e alaranjados, por vezes com inclusões, e incrustações de magnetita e sulfetos, e formando agregados principalmente com magnetita e sulfetos, e às vezes com apatita, flogopita e olivina. Ocorre flogopita abundante, nas cores castanha e verde, frequentemente com inclusões, e algumas partículas agregadas a magnetita, olivina e apatita. Observa-se também pouca olivina liberada, na cor verde-oliva, por vezes alterada para serpentina; e pouca apatita verde-clara liberada, comumente com inclusões e às vezes associada a olivina.
	Afundado	Predominam partículas liberadas de apatita, nas cores verde-clara, incolor e alaranjada, com algumas inclusões, e incrustações de magnetita e olivina, e raramente associadas a carbonatos, magnetita, olivina e flogopita. A magnetita ocorre liberada e associada a carbonatos, apatita e sulfetos. Ocorre olivina verde-oliva a verde-escura liberada, com inclusões e formando associações com carbonatos. Há ainda poucas partículas de carbonatos liberados, de serpentina, e anfibólio e piroxênio frequentemente com magnetita associada.
B-10F304/3/ZR	Flutuado	Predominam partículas liberadas de carbonatos, incolores e alaranjados, com inclusões e ora associadas a magnetita, apatita, olivina e anfibólio. São abundantes as partículas liberadas de flogopita castanha e verde-clara, com poucas inclusões. Há ainda poucas partículas liberadas de anfibólio verde e de apatita verde-clara, com inclusões.
	Afundado	Predominam partículas liberadas de apatita, incolor, verde-clara e alaranjada, com poucas inclusões, e com incrustações de carbonatos, e às vezes associadas com magnetita, olivina e carbonatos. Ocorrem partículas de magnetita associadas a carbonatos alaranjados, apatita, anfibólio e sulfetos. Há ainda partículas liberadas de olivina verde-oliva e de anfibólio verde a castanho. Há poucas partículas de serpentina, sulfetos e flogopita liberados.
B30F689/4/J	Flutuado	Predominam partículas liberadas de flogopita, nas cores castanha e verde, frequentemente com inclusões, e por vezes associadas a magnetita, olivina e carbonatos. Há partículas liberadas de carbonatos muito impuras, com incrustações de magnetita e apatita (verde-clara, muito impura), ora formando agregados com magnetita, apatita e piroxênio; algumas partículas apresentam cor alaranjada. Ocorrem ainda partículas liberadas de feldspato na cor branca, olivina verde-oliva, e magnetita.



B30F689/4/J (continuação)	Afundado	Predominam partículas liberadas de piroxênio, nas cores castanho-claro e verde, com inclusões e raramente associadas a magnetita, carbonatos, apatita e flogopita. Ocorre magnetita geralmente associada a piroxênio, apatita e carbonatos, com poucas partículas liberadas. Presença de olivina verde-oliva liberada. Há apatita liberada, verde-clara e incolor, muito impura, com incrustações de magnetita e piroxênio. Ocorrem ainda poucas partículas de anfíbólio verde-escuro a castanho-escuro, geralmente associadas a piroxênio, de serpentina, de carbonatos (com incrustações de magnetita) e de flogopita castanha.
	Afundado magnético (imã de mão)	Predominam partículas mistas de magnetita com diversos minerais (carbonatos, piroxênio, apatita e olivina), e há também partículas liberadas de magnetita. Ocorre bastante flogopita liberada castanha, às vezes com inclusões. Há ainda piroxênio liberado, comumente com inclusões.
B-10F304/3/J	Magnético (imã de mão)	Predominam partículas mistas de piroxênio com magnetita, e também há associações de magnetita com anfíbólio, carbonatos e apatita. São abundantes as partículas liberadas de magnetita. Ocorrem também algumas partículas liberadas de piroxênio, anfíbólio, carbonatos e apatita, frequentemente com inclusões. Há ainda partículas liberadas de flogopita castanha, freqüentemente com inclusões.
	Flutuado	Predominam partículas liberadas de carbonatos, alaranjados e incolores, em geral com inclusões; às vezes formam agregados com olivina verde-escuro, magnetita, piroxênio e apatita, e estão parcialmente recobertas por sulfetos. Há partículas liberadas de flogopita castanha e verde, com poucas inclusões. Ocorrem ainda algumas partículas liberadas de anfíbólio, de apatita verde-clara e incolor, de piroxênio e de olivina.
	Afundado	Predominam partículas liberadas de piroxênio, castanho-claro e verde-claro, algumas partículas associadas com magnetita, carbonatos, apatita e flogopita. Há partículas liberadas de anfíbólio, comumente com inclusões; raramente formam agregados com magnetita. Ocorrem partículas de apatita incolores, alaranjados e verdes, muito impuras e pouco liberadas, associadas a magnetita e piroxênio. Há ainda magnetita liberada e olivina (verde-oliva) liberada. Ocorrem algumas partículas liberadas de carbonatos, geralmente alaranjados e muito impuras. Há também pouca serpentina, e sulfetos associados a piroxênio e magnetita.
	Flutuado	Predominam partículas liberadas de carbonatos, comumente incolores, raramente associadas a olivina e magnetita, com inclusões e incrustações de magnetita e apatita. Ocorrem partículas liberadas de flogopita castanha, sem inclusões. Há ainda pouquíssimas partículas de apatita verde-clara e alaranjada, muito impuras, e de anfíbólio e de olivina.
B30F682/4	Afundado	Predominam partículas liberadas de piroxênio, castanho a verde, algumas parcialmente recobertas por sulfetos e com poucas inclusões; formam alguns agregados com magnetita e anfíbólio. Há partículas liberadas de apatita, incolor e verde-clara, com poucas inclusões, e por vezes associadas a carbonatos. Ocorrem partículas de anfíbólio verde-escuro a castanho, com inclusões e às vezes formando agregados com piroxênio. Ocorre ainda olivina verde-escuro e magnetita (às vezes formando agregados com apatita), e algumas partículas de carbonatos alaranjados, flogopita, sulfetos e serpentina liberadas.
	Afundado magnético (imã de mão)	Predominam agregados e incrustações de magnetita com piroxênio, anfíbólio, apatita e carbonatos; há também partículas liberadas de magnetita, às vezes recobertas parcialmente por sulfetos. Há ainda partículas liberadas de piroxênio, apatita, carbonatos, anfíbólio e olivina, com inclusões. Ocorrem poucas partículas liberadas de flogopita.
B30F688	Flutuado	Predominam partículas liberadas de carbonatos, raramente associadas a apatita, magnetita, olivina e anfíbólio e com inclusões; são incolores e alaranjados. Há muita flogopita, castanha e verde, liberada, raramente associada a olivina e com inclusões. Ocorrem poucas partículas liberadas de apatita alaranjada e verde-clara, com inclusões, e pouca serpentina e olivina liberadas, e piroxênio liberado com inclusões.



B30F688 (continuação)	Afundado	Predominam partículas liberadas de piroxênio castanho-claro, com muitos agregados formados com magnetita, alguns com carbonatos, e há poucas partículas com inclusões. Há partículas liberadas de apatita incolor, verde-clara e alaranjado, com poucas associações e incrustações de magnetita. Ocorrem partículas de olivina com inclusões, e às vezes associadas a carbonatos; partículas liberadas de magnetita e com algumas associações com carbonatos; partículas de anfíbólio, verde a castanho. Há poucas partículas de carbonatos alaranjados, associadas a apatita, e com incrustações de magnetita, serpentina e flogopita castanha.
	Afundado magnético (imã de mão)	Predominam agregados e incrustações de magnetita com piroxênio, apatita, carbonatos e olivina. Ocorre olivina liberada e pouquíssima flogopita liberada. Há algum sulfeto recobrimo parcialmente a magnetita.
	Magnético (imã de mão)	Predominam agregados de magnetita com apatita, piroxênio, carbonatos e sulfetos, a há também partículas de magnetita liberadas. Ocorrem muitas partículas de apatita, verde-clara, incolor e alaranjada, piroxênio castanho-claro, e carbonatos com inclusões. Há partículas de flogopita e de sulfetos liberadas.
B-30F248	Flutuado	Predominam partículas liberadas de carbonatos, incolores e alaranjados, ora com inclusões e associadas a magnetita, apatita e olivina. Ocorre muita flogopita, verde e castanha, às vezes formando agregados com magnetita e carbonatos. Há ainda algumas partículas liberadas de apatita verde-clara e alaranjada, às vezes com inclusões, olivina verde-oliva, anfíbólio castanho-claro e piroxênio verde a castanho.
	Afundado	Predominam partículas de piroxênio, verde a castanho, frequentemente associadas a magnetita, anfíbólio e carbonato. Há partículas liberadas de apatita incolor e verde-claro, às vezes associadas a magnetita e com inclusões. Ocorrem partículas liberadas de olivina verde-oliva, de anfíbólio e de magnetita. Há poucas partículas liberadas de carbonatos alaranjados, de flogopita e de sulfetos.



## **ANEXO IV**

**Composição mineralógica relativa dos produtos da separação em meio denso**



AMOSTRAS	PRODUTOS	MINERAIS											
		Apatita incolor	Apatita verde	laranja	Carbonatos	Olivina	Magnetita	Sulfetos	Flogopita castanha	verde	Serpentina	Anfibólio	Piroxênio
B30F689/4/C	Flutuado	>>	>>		>>>>		>>	>	>>>	>>>			
	Afundado	>>>>	>>>>		>>	>>	>>	>>	>				
B-10F304/3/C	Flutuado	>>	>>		>>>>		>	>	>>>	>>>			
	Afundado	>>>>	>>>>	>>>	>	>>	>>>>	>>	>				
B30F689/4/ZR	Flutuado	>	>		>>>>	>>>>	>	>	>>>	>>>	>		>
	Afundado	>>>>	>>>>	>>>>	>>	>>>>	>>>>	>			>>		
B-10F304/3/ZR	Flutuado	>>	>>		>>>>	>>	>	>>>	>>>	>>>	>>		
	Afundado	>>>>	>>>>	>>>>	>>>>	>>>>	>>	>	>>>	>>>	>>		
B30F689/4/J	Flutuado	>	>		>>>>	>>	>>		>>>>	>>>>	>>		>>
	Afundado	>>	>>		>>	>>>>	>>>>		>>		>>		>>
	Afundado magnético (imã de mão)	>			>	>	>>>>						>>
													>>
B-10F304/3/J	Magnético (imã de mão)	>>			>>		>>>>		>>		>>		>>
	Flutuado	>>	>>		>>>>	>>	>	>	>>		>>		>>
	Afundado	>>>>	>>>>	>>>>	>>	>>>>	>>>>	>		>>	>>		>>
	Flutuado	>>	>>		>>>>	>>	>	>>>	>>		>>		>>
B30F682/4	Afundado	>>>>	>>>>		>>	>>>>	>>>>						>>
	Afundado magnético (imã de mão)	>>	>>		>>	>>	>>>>						>>
	Flutuado	>>>>	>>>>	>>>>	>>>>	>>>>	>>>>	>>	>>				>>
	Afundado	>>>>	>>>>	>>>>	>>	>>>>	>>>>						>>
B30F688	Flutuado	>>	>>		>>>>	>>	>	>>>	>>>	>>	>		>>
	Afundado	>>>>	>>>>	>>>>	>>	>>>>	>>>>	>		>	>>		>>
	Afundado magnético (imã de mão)	>			>	>>>>	>>>>						>>
													>>
B-30F248	Magnético (imã de mão)	>>	>>	>>	>>>		>>>>	>>					>>
	Flutuado	>>>>	>>>>	>>	>>>>	>>	>				>>		>>
	Afundado	>>>>	>>>>		>>	>>>>	>>>>				>>		>>
													>>

#### Legenda

>>>>> - muito >>>> - regular >>> - pouco >> - muito pouco > - somente na forma de inclusões/incrustações/associações

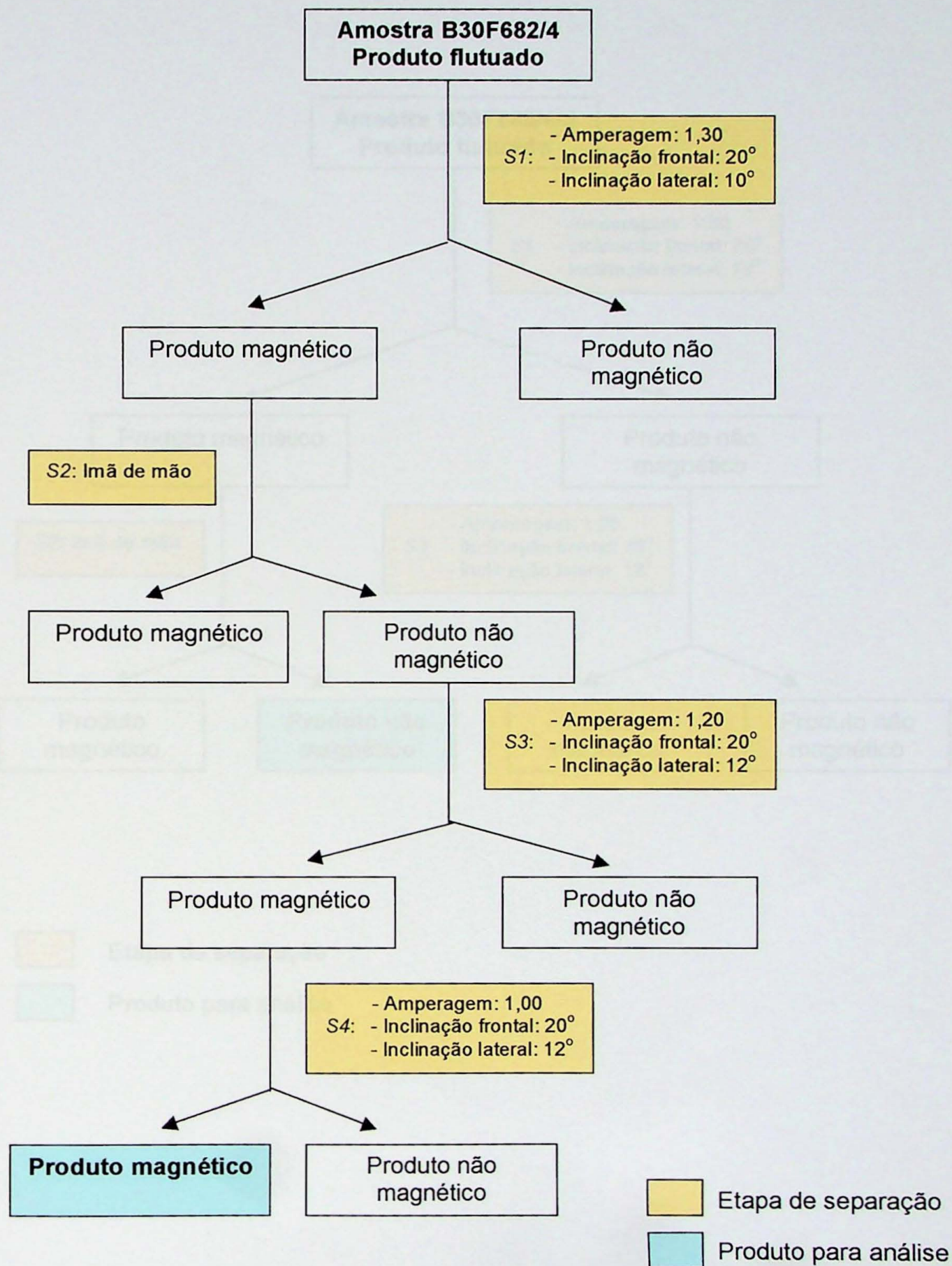
\*Abundância calculada por estimativa visual



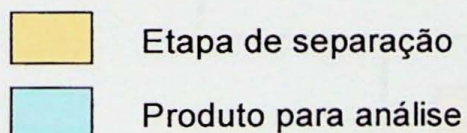
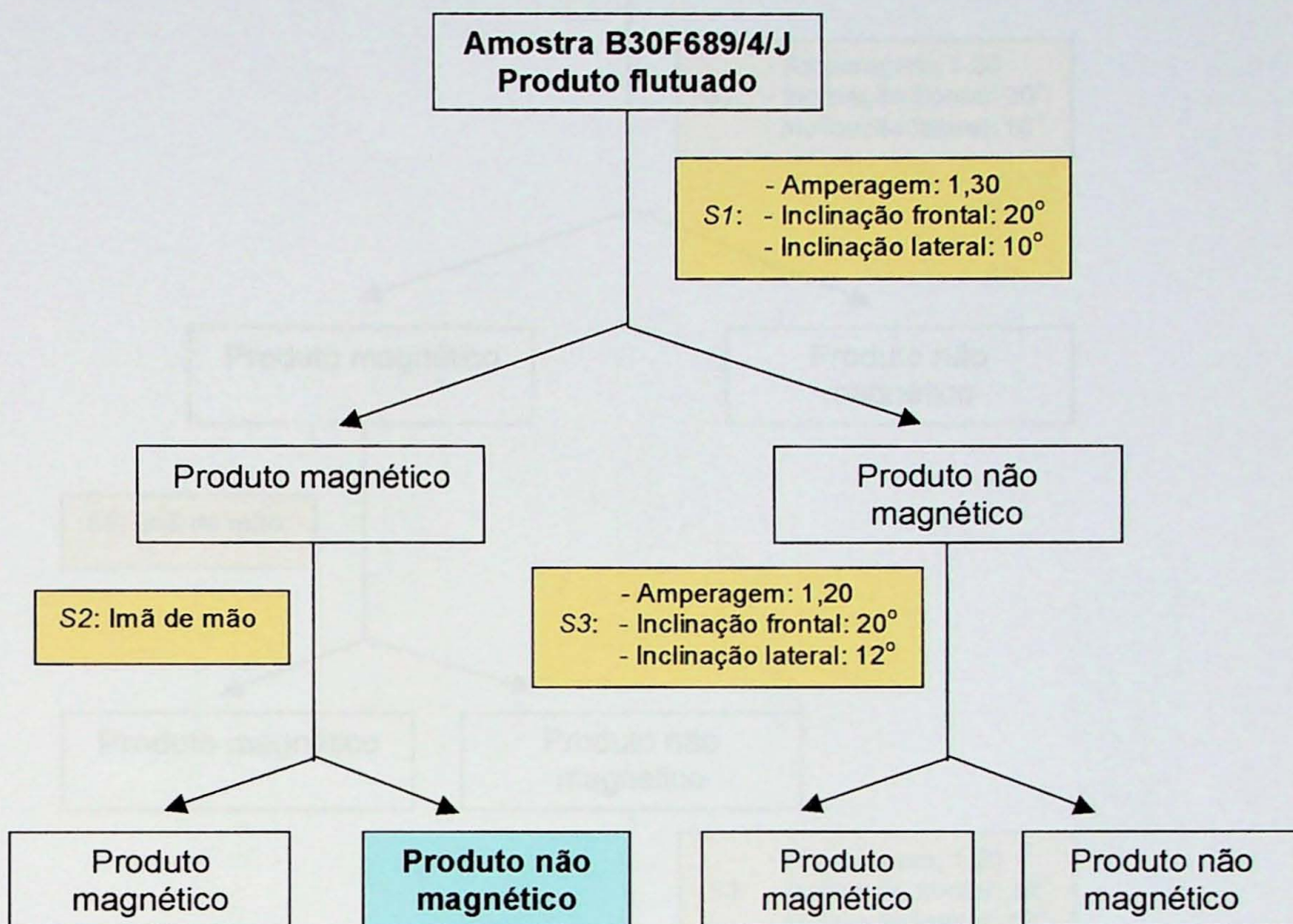
## **ANEXO V**

### **Fluxogramas de separações em Frantz isodinâmico**

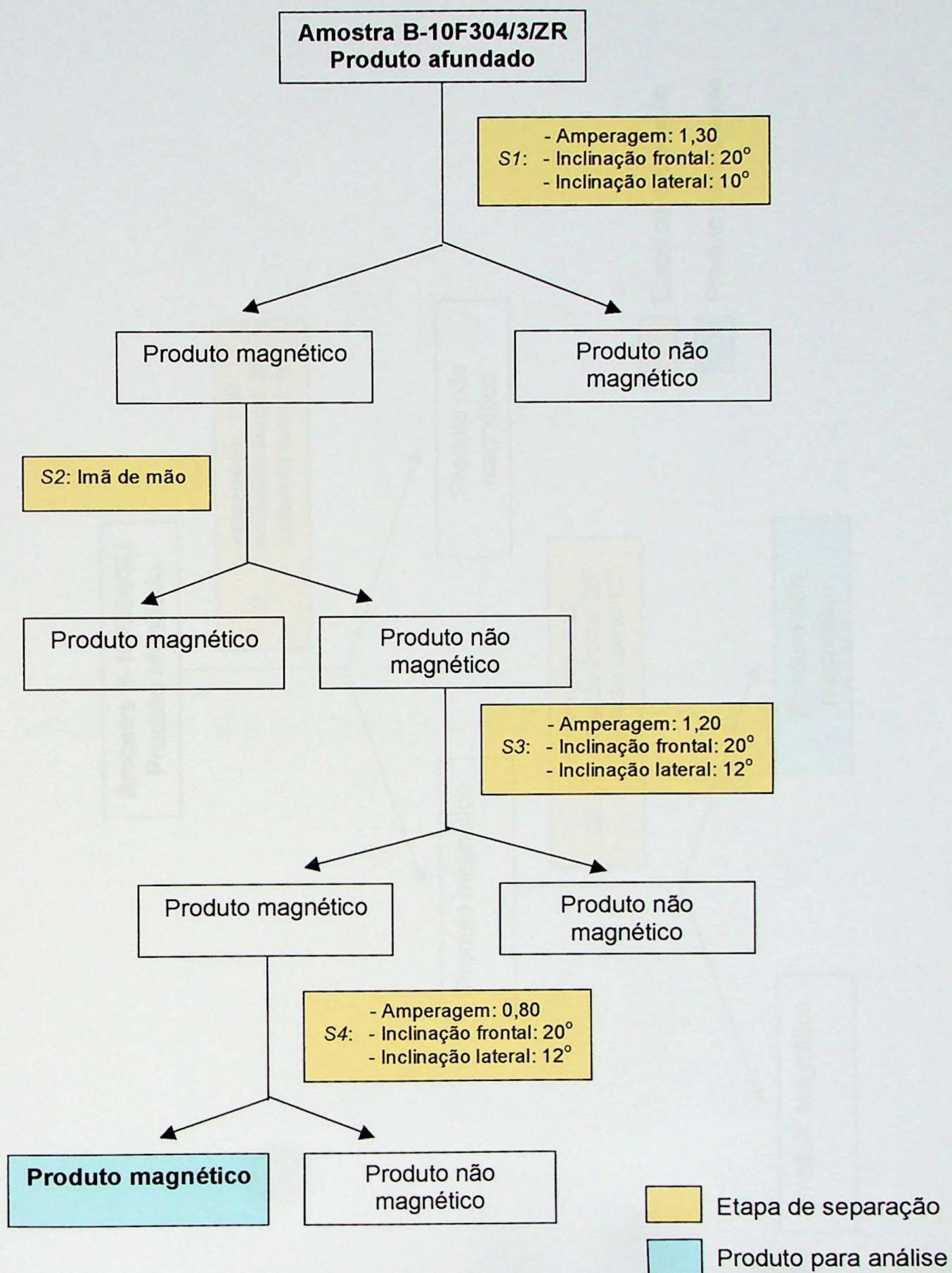




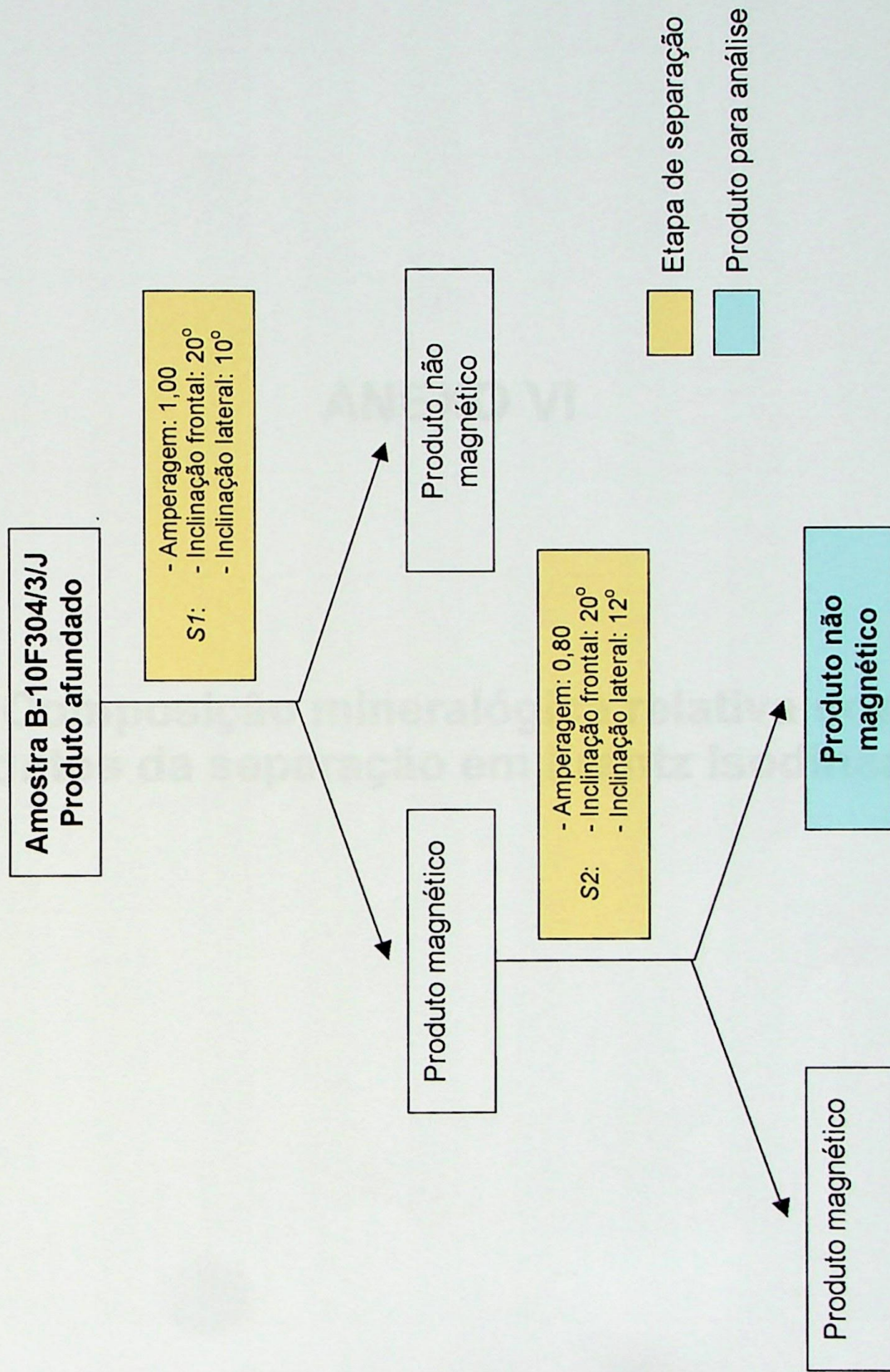














**ANEXO VI**

**Composição mineralógica relativa dos produtos da separação em Frantz Isodinâmico**



AMOSTRAS	PRODUTOS	MINERAIS									
		Apatita verde incolor	Apatita verde laranja	Carbonatos	Olivina	Magnetita	Sulfetos	Flogopita castanha verde	Serpentina	Anfíbólio	Piroxênio
B30F682/4 flutuado	Não-magnético de S1	>	>	>>>>		>		>>			
	Magnético de S2			>>		>>>>	>	>>			
	Não-magnético de S3		>	>>>>	>>		>	>>>>			
	Magnético de S4			>>>>	>	>		>>>>	>>	>	
	Não-magnético de S4			>>>>	>>			>>>>	>>		
B30F689/4/J Flutuado	Não-magnético de S2			>>		>>>>		>>>>		>>	>>
	Magnético de S2		>	>>>>		>	>				
	Não-magnético de S3		>	>>>>				>>>>			
	Magnético de S3			>>		>>>>		>>>>		>>	>>
B-10F304/3/ZR Afundado	Não-magnético de S1	>>>>>	>>>	>>	>		>>	>		>	
	Magnético de S2	>>				>>>>	>			>>	
	Não-magnético de S3	>>>>	>>		>>		>>	>		>>	
	Não-magnético de S4	>>>>>			>>>	>			>>	>>	
	Magnético de S4	>>			>>>>	>>			>>	>>>>	
B-10F304/3/J Afundado	Não-magnético de S1	>>>>>	>>			>		>>		>>	>>
	Não-magnético de S2	>>>>>								>>>>	>>>>
	Magnético de S2	>>			>>>>	>>			>>	>>>>	>>>>

#### Legenda

>>>>> - muito      >>>> - regular      >>> - pouco      >> - muito pouco      > - somente na forma de inclusões/incrustações/associações

\*Abundância calculada por estimativa visual





## RESULTADO DE ANÁLISE POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 01/04

DATA: 19/12/2004

CLIENTE: TF/2004-21

AMOSTRA: B-30F88214 FILM 1,3A  
CAF

IDENT. LCT: 433-2882

### 1. METODOLOGIA

## ANEXO VII

A análise foi elaborada de acordo com o método de difração de raios X, método Philips, modelo X'Pert 1990.

A identificação das fases cristalinas, através da difração de raios X, foi realizada por comparação do difratograma da amostra com o banco de dados do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2000).

## Resultados das análises por difratometria de raios X

Os resultados estão apresentados na tabela:

ICDD	Mineral	Fórmula Química	Obs
01-071-1067	Dioptase	$\text{CaSi}_2\text{O}_6$	
00-021-1280	Forssite	$\text{MgSiO}_3$	
01-088-1906	Basta 1st Ti-rich	$\text{K}_2\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
01-072-1530	Usurda-1977	$\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_7$	
01-085-1760	Richmont	$\text{Na}_2\text{Ca}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	12

Nota: pp = possível presença

Em anexo é apresentada a difratograma obtida (por varredura) onde são evidenciadas as linhas de difração correspondentes às fases identificadas (cada fase em uma cor distinta).





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT  
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-900 São Paulo - SP e-mail: lct@poli.usp.br  
TEL: (0XX11) 3091-5151, 3091-5551 e 3091-5787 FAX (0XX11) 3815-5785

## RESULTADO DE ANÁLISE POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

**CERTIFICADO:** 01/04

**DATA:** 16/12/2004

**CLIENTE:** TF/2004-21

**AMOSTRA:** B-30F682/4 FLM 1,0A  
.CAF

**IDENT. LCT:** 433-2992

### 1. METODOLOGIA

A análise foi efetuada através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca Philips, modelo MPD 1880.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com o banco de dados do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003).

### 2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo:

ICDD	Mineral	Fórmula Química	Obs
01-071-1067	Diopsídio	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$	
00-021-1260	Forsterita	$\text{Mg}_2\text{SiO}_4$	
01-088-1906	Biotita 1M Ti-rich	$\text{K}(\text{Mg}_{1.46}\text{Fe}_{1.34}\text{Ti}_{.20})(\text{Al}_{1.24}\text{Si}_{2.76}\text{O}_{10})(\text{OH})_{1.84}\text{O}_{.16}$	
01-072-1500	Lizardite-1\TT	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	
01-085-1760	Richterita	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	pp

Nota: pp = possível presença

Em anexo é apresentado o difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta).

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari  
Pesquisadora do LCT – EPUSP

Prof. Dr. Henrique Kahn  
Coordenador do LCT



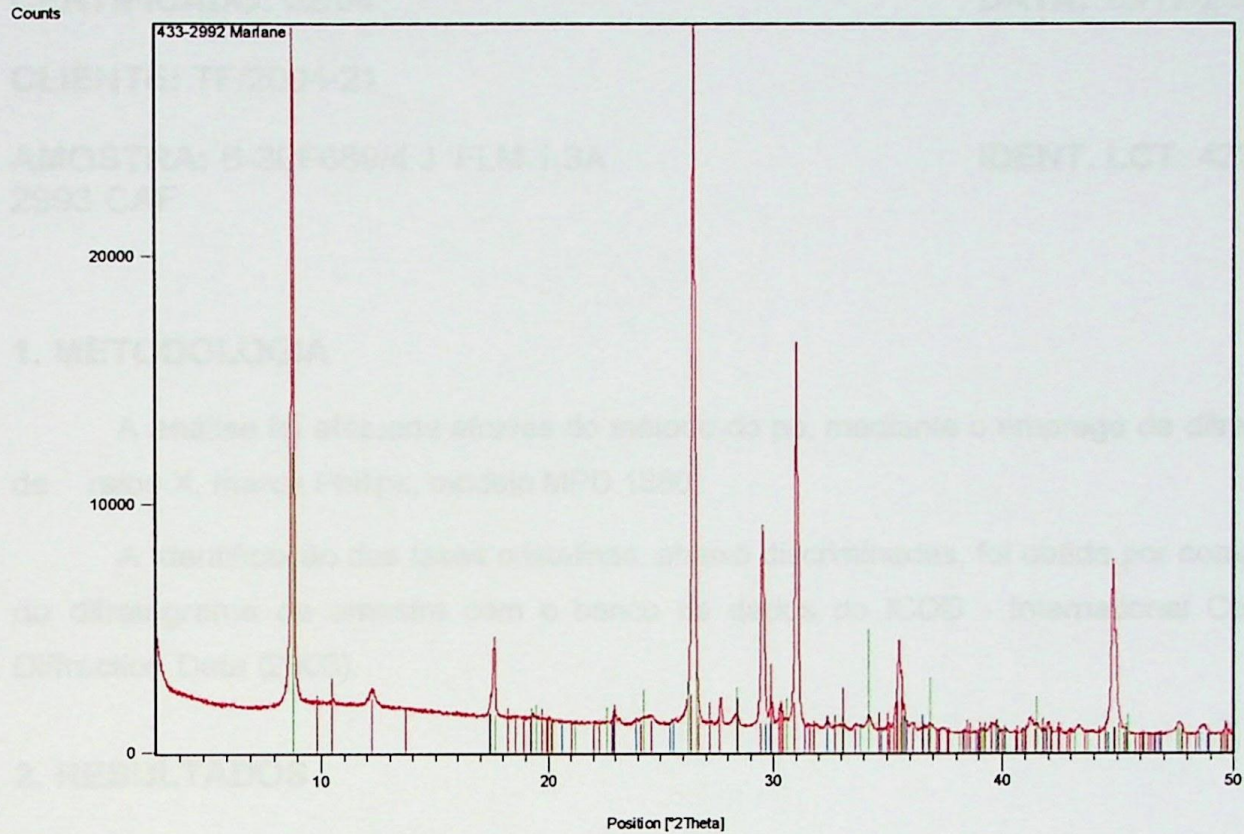


Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

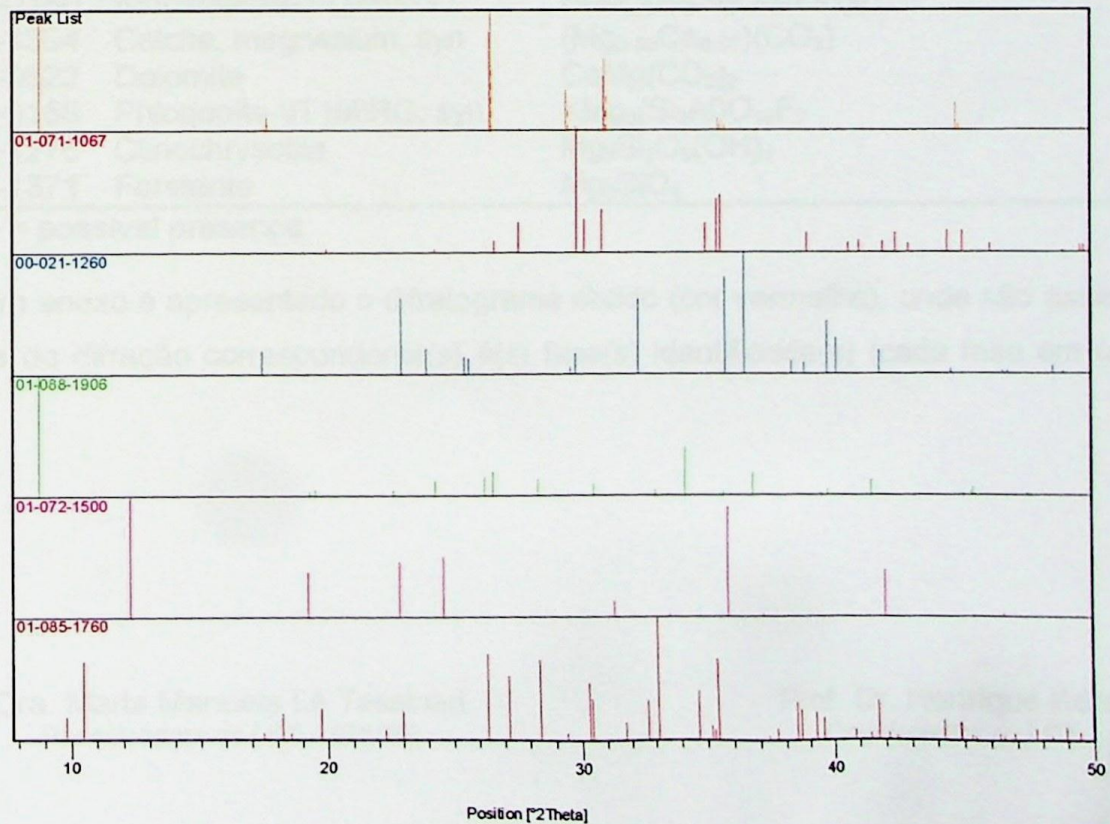
Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-900 São Paulo - SP e-mail: lct@poli.usp.br  
TEL: (0XX11) 3091-5151, 3091-5551 e 3091-5787 FAX (0XX11) 3815-5785

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X



FASES IDENTIFICADAS







Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT  
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-900 São Paulo - SP e-mail: lct@poli.usp.br  
TEL: (0XX11) 3091-5151, 3091-5551 e 3091-5787 FAX (0XX11) 3815-5785

**RESULTADO DE ANÁLISE POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X**

**CERTIFICADO:** 02/04

**DATA:** 16/12/2004

**CLIENTE:** TF/2004-21

**AMOSTRA:** B-30F689/4 J FLM 1,3A  
2993.CAF

**IDENT. LCT:** 433-

**1. METODOLOGIA**

A análise foi efetuada através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca Philips, modelo MPD 1880.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com o banco de dados do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003).

**2. RESULTADOS**

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo:

ICDD	Mineral	Fórmula Química	Obs
00-029-0180	Kinoshitalite-1\ITM\RG	BaMg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	
01-089-1304	Calcite, magnesium, syn	(Mg <sub>0.03</sub> Ca <sub>0.97</sub> )(CO <sub>3</sub> )	
00-005-0622	Dolomite	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	
00-034-0158	Phlogopite-IT1M\RG, syn	KMg <sub>3</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> F <sub>2</sub>	
00-027-1276	Clinochrysotile	Mg <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	
01-078-1371	Forsterite	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	pp

Nota: pp = possível presença

Em anexo é apresentado o difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta).

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari  
Pesquisadora do LCT – EPUSP

Prof. Dr. Henrique Kahn  
Coordenador do LCT



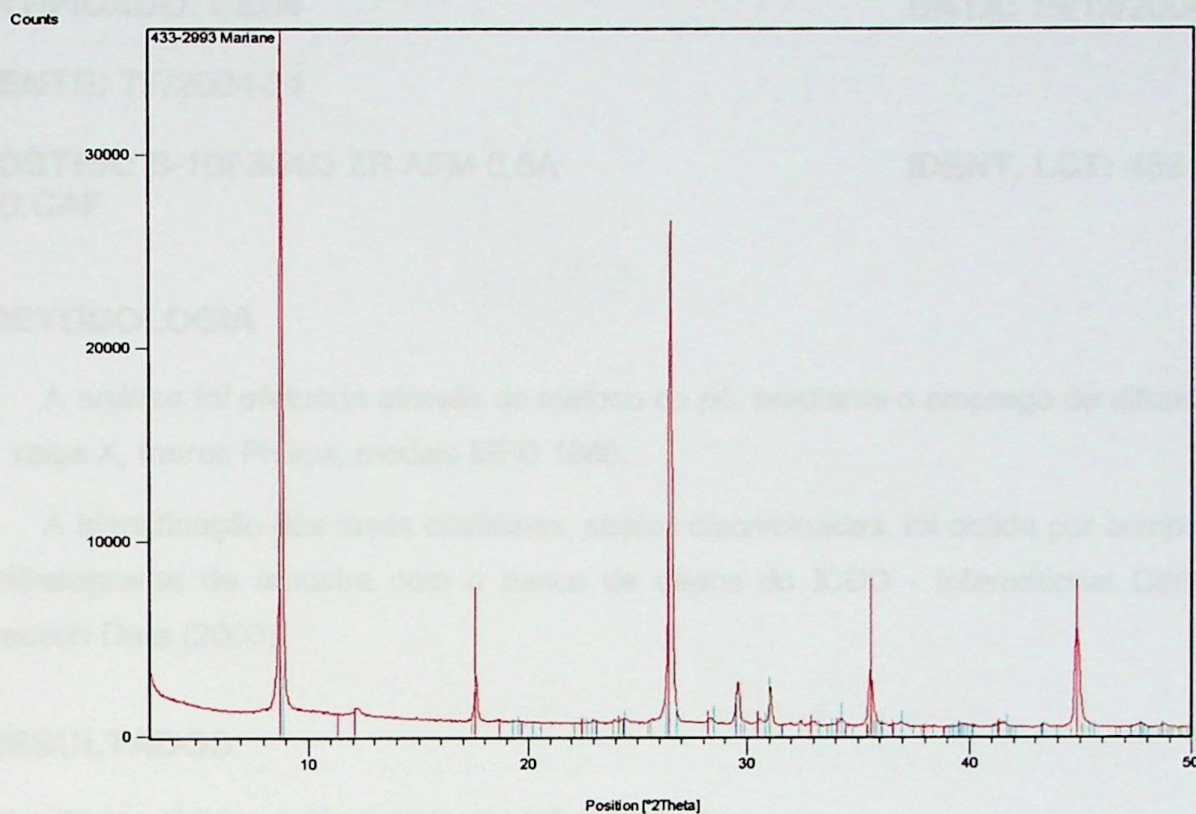


Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

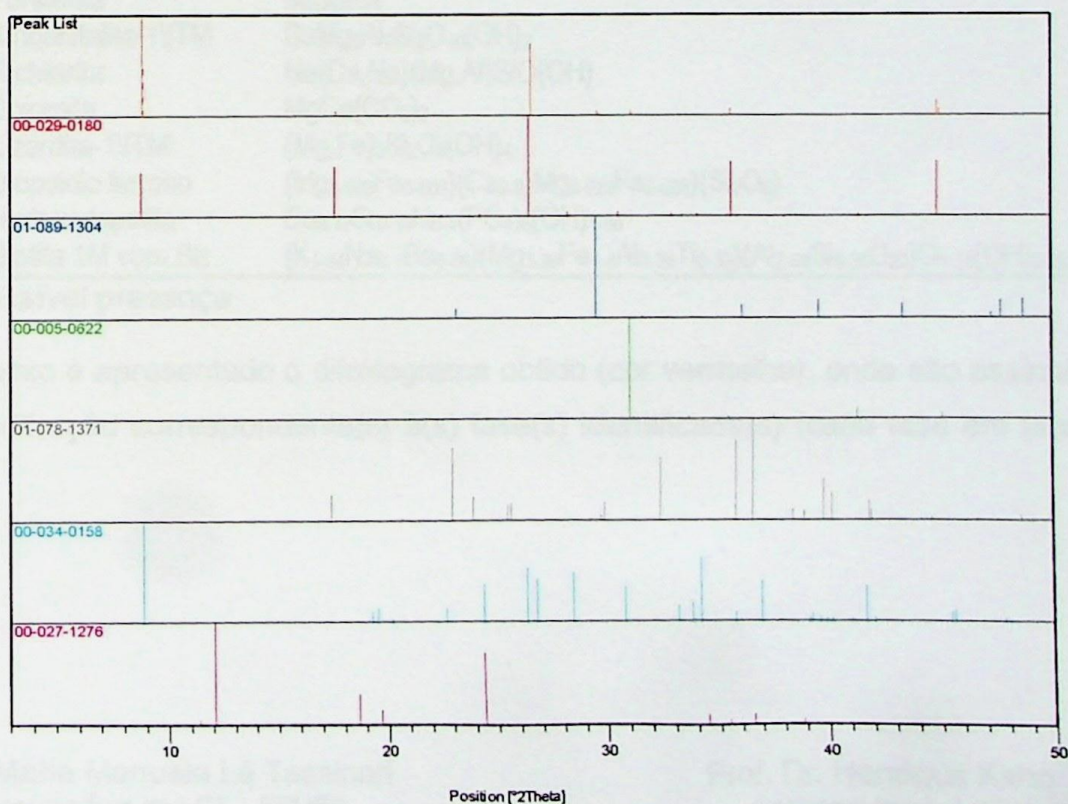
Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-900 São Paulo - SP e-mail: lct@poli.usp.br  
TEL: (0XX11) 3091-5151, 3091-5551 e 3091-5787 FAX (0XX11) 3815-5785

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X



FASES IDENTIFICADAS







Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-900 São Paulo - SP e-mail: lct@poli.usp.br  
TEL: (0XX11) 3091-5151, 3091-5551 e 3091-5787 FAX (0XX11) 3815-5785

**RESULTADO DE ANÁLISE POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X**

**CERTIFICADO:** 03/04

**DATA:** 16/12/2004

**CLIENTE:** TF/2004-21

**AMOSTRA:** B-10F304/3 ZR AFM 0,8A  
2990.CAF

**IDENT. LCT:** 433-

**1. METODOLOGIA**

A análise foi efetuada através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca Philips, modelo MPD 1880.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com o banco de dados do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003).

**2. RESULTADOS**

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo:

ICDD	Mineral	Fórmula Química	Obs
01-078-1371	Forsterita	$Mg_2SiO_4$	
00-029-0180	Kinoshitalita-1\ITM	$BaMg_3Al_2Si_2O_{10}(OH)_2$	
00-023-0667	Richterita	$Na(Ca,Na)(Mg,Al)SiO(OH)$	
01-083-1766	Dolomita	$MgCa(CO_3)_2$	
00-050-1606	Lizardita-1\ITM	$(Mg,Fe)_3Si_2O_5(OH)_4$	pp
01-083-0100	Diopsídio ferroso	$(Mg_{0.992}Fe_{0.008})(Ca_{0.97}Mg_{0.022}Fe_{0.008})(Si_2O_6)$	
01-082-1429	Hydroxylapatita	$Ca_{9.42}Sr_{0.18}H_{0.4}(PO_4)_6(OH)_{1.60}$	pp
01-088-2194	Biotita 1M com Ba	$(K_{1.84}Na_{0.1}Ba_{0.06})(Mg_{3.99}Fe_{1.4}Al_{0.28}Ti_{0.33})(Al_{2.64}Si_{5.36}O_{20})O_{1.14}(OH)_{2.86}$	pp

Nota: pp = possível presença

Em anexo é apresentado o difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta).

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari  
Pesquisadora do LCT – EPUSP

Prof. Dr. Henrique Kahn  
Coordenador do LCT

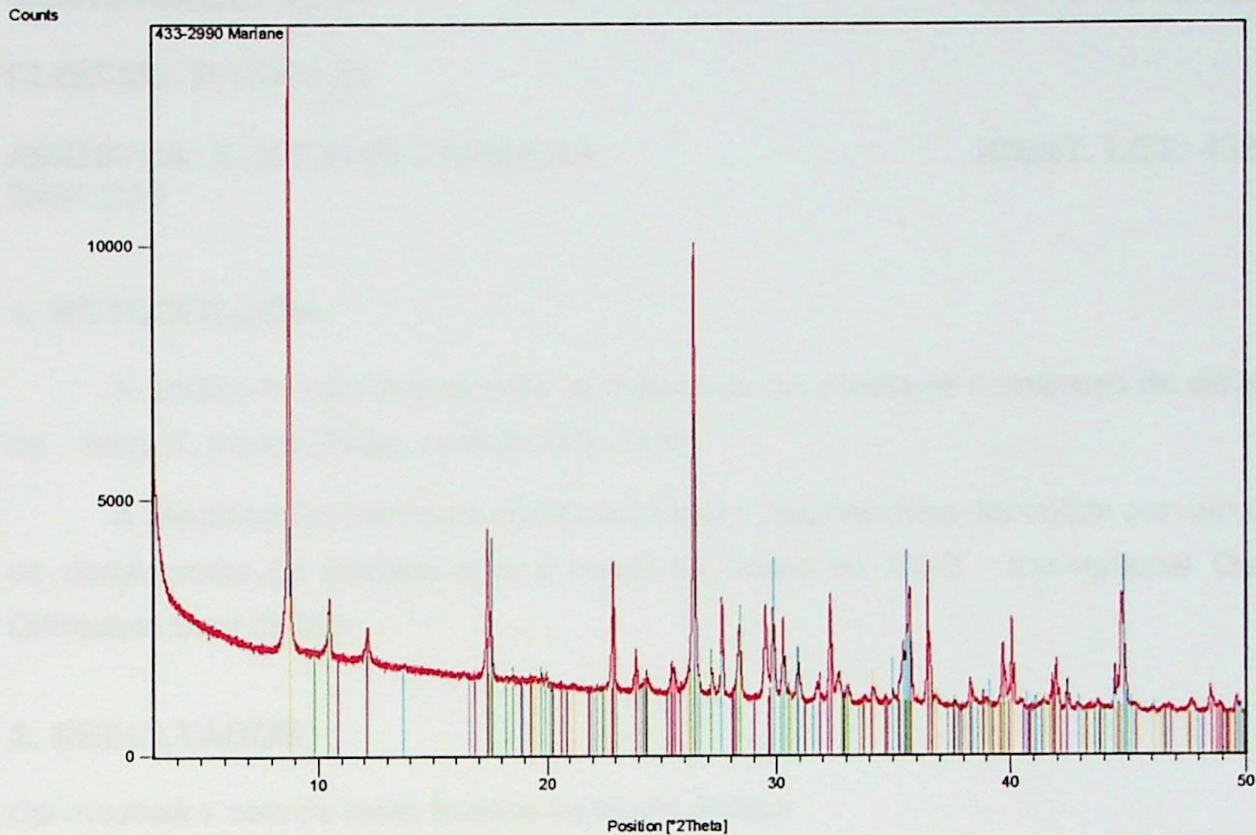




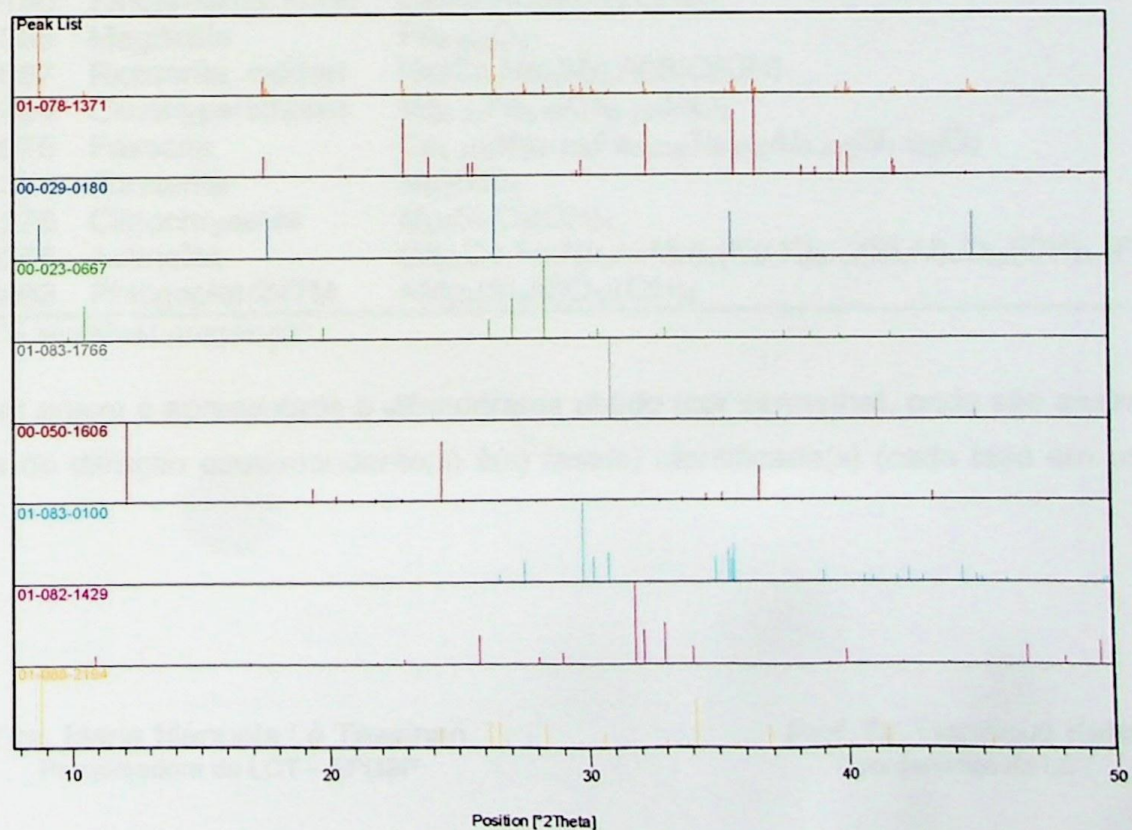
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT  
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-900 São Paulo - SP e-mail: lct@poli.usp.br  
TEL: (0XX11) 3091-5151, 3091-5551 e 3091-5787 FAX (0XX11) 3815-5785

## DIFRATOGRAMA DE RAIOS X



## FASES IDENTIFICADAS







Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-900 São Paulo - SP e-mail: lct@poli.usp.br  
TEL: (0XX11) 3091-5151, 3091-5551 e 3091-5787 FAX (0XX11) 3815-5785

**RESULTADO DE ANÁLISE POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X**

**CERTIFICADO:** 04/04

**DATA:** 16/12/2004

**CLIENTE:** TF/2004-21

**AMOSTRA:** B-10F304/3 J AFM 0,8A  
2991.CAF

**IDENT. LCT:** 433-

**1. METODOLOGIA**

A análise foi efetuada através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca Philips, modelo MPD 1880.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com o banco de dados do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003).

**2. RESULTADOS**

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo:

ICDD	Mineral	Fórmula Química	Obs
01-083-0100	Diopsídio ferroso	$(\text{Mg}_{0.992}\text{Fe}_{0.008})(\text{Ca}_{0.97}\text{Mg}_{0.022}\text{Fe}_{0.008})(\text{Si}_2\text{O}_6)$	
00-029-0180	Kinoshitalita-1\ITM	$\text{BaMg}_3\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	
01-086-1355	Magnetita	$\text{Fe}_{2.942}\text{O}_4$	pp
00-023-0667	Richterita, calcian	$\text{Na}(\text{Ca},\text{Na})(\text{Mg},\text{Al})\text{SiO}(\text{OH})$	
01-070-2284	Clinohypersthenio	$\text{Mg}_{0.31}\text{Fe}_{0.67}\text{Ca}_{0.015}\text{SiO}_3$	pp
01-083-2075	Fassaíta	$\text{Ca}_{0.968}\text{Mg}_{0.578}\text{Fe}_{0.230}\text{Ti}_{0.059}\text{Al}_{0.433}\text{Si}_{1.728}\text{O}_6$	
01-078-1371	Forsterita	$\text{Mg}_2\text{SiO}_4$	
00-027-1276	Clinochrysotila	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	
01-089-5365	Actinolita	$(\text{Mg},\text{Ca},\text{Fe},\text{Na},\text{Al},\text{Mn})_7(\text{Na},\text{K})_{0.11}(\text{Si},\text{Al})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_{1.7}\text{F}_{0.28}$	pp
00-010-0493	Phlogopita-2\ITM	$\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	pp

Nota: pp = possível presença

Em anexo é apresentado o difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta).

Dra. Maria Manuela Lé Tassinari  
Pesquisadora do LCT – EPUSP

Prof. Dr. Henrique Kahn  
Coordenador do LCT

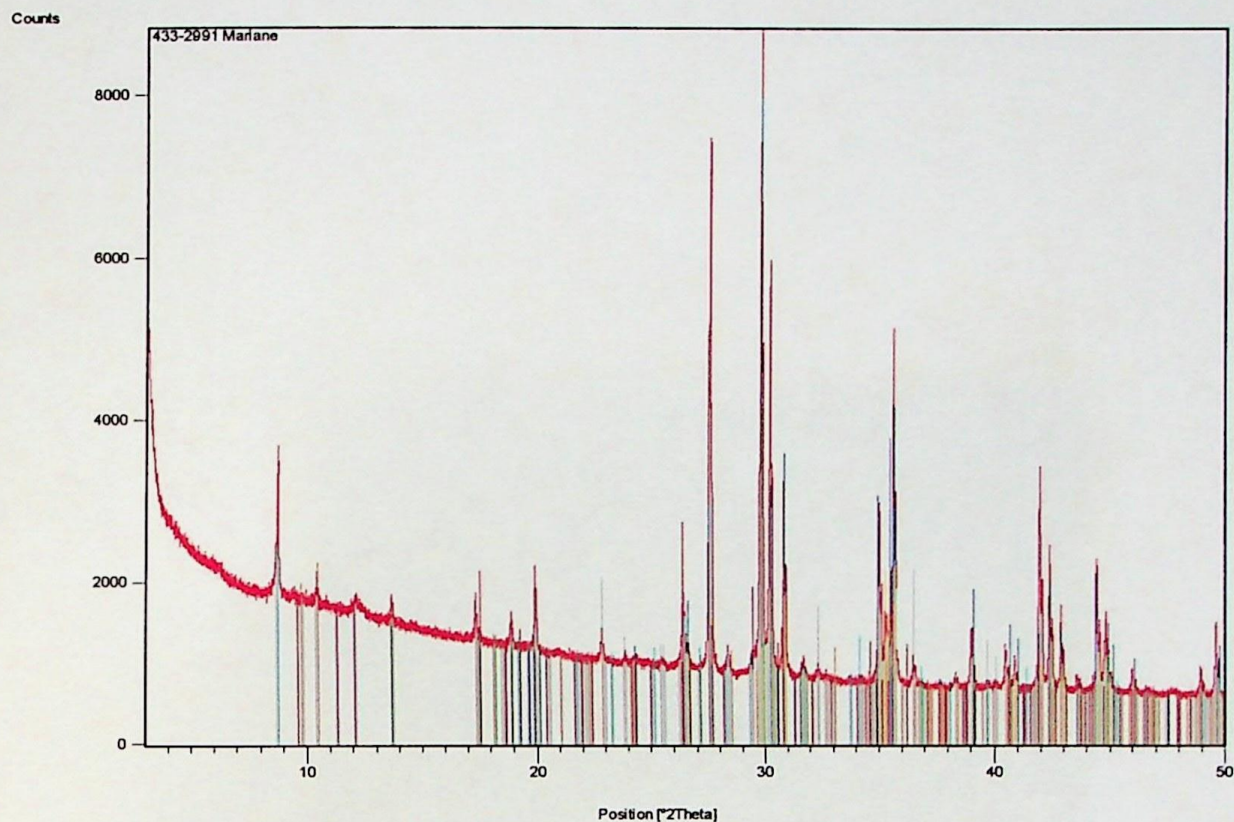




Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT  
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-900 São Paulo - SP e-mail: lct@poli.usp.br  
TEL: (0XX11) 3091-5151, 3091-5551 e 3091-5787 FAX (0XX11) 3815-5785

## DIFRATOGRAMA DE RAIOS X



## FASES IDENTIFICADAS

