

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**“DETALHAMENTO DA MINERALOGIA EM APOIO
À CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO MINÉRIO
DE FOSFATO DA MINA DE CAJATI, SÃO PAULO.”**

Janaína Faria da Silva

Orientadora: Profa. Dra. Lília Mascarenhas Sant'Agostino

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2001/22)

SÃO PAULO
2001

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**DETALHAMENTO DA MINERALOGIA EM APOIO À
CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO MINÉRIO DE FOSFATO
DA MINA DE CAJATI, SÃO PAULO**

JANAÍNA FARIA DA SILVA



DISCIPLINA 0440500 - TRABALHO DE FORMATURA

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Lília Mascarenhas Sant'Agostino

Profa. Dra. Maria Cristina Motta de Toledo

Prof. Dr. Fábio Ramos Dias de Andrade

DEDALUS - Acervo - IGC



30900009760

SÃO PAULO
2001

TF
5586
JF.d

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

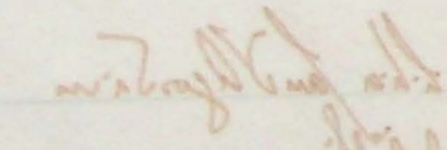
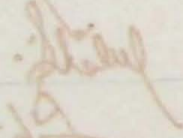
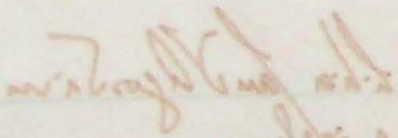
DETALHAMENTO DA MINERALOGIA EM APOIO À
CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO MINÉRIO DE FOSFATO
DA MINA DE CALATI, SÃO PAULO

JANAÍNA FÁRIA DA SILVA



DISCIPLINA D440500 - TRABALHO DE FORMATURA

BANCA EXAMINADORA

	Prof. Dr. Fabiano Francisco das Neves
	Prof. Dr. Maria Cristina Mendes de Toledo
	Prof. Dr. Luis Mascarenhas Sant'Anna

Agradecimentos

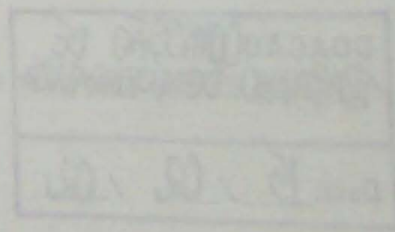
Há muitas pessoas que merecem os meus sinceros agradecimentos após o término de mais uma etapa em minha vida. Porém, não poderia deixar de citar meus maravilhosos pais e minha tia Lourdinha, que estiveram comigo em todos os momentos de minha vida, principalmente no decorrer de minha formação acadêmica e profissional.

A todos os professores de Geologia, em especial a Profa. Dra. Lília Mascarenhas Sant'Agostino pela orientação, amizade e exemplo de profissionalismo, e ao Prof. Dr. Daniel Atencio pelos ensinamentos e dedicação à mineralogia.

Aos grandes amigos, companheiros de trabalho, estudos e "baladas", que de uma forma ou de outra, acrescentaram muitos ensinamentos e momentos agradáveis, principalmente, Eduardo Yamamoto (Kagão), Carlos Henrique G. Carvalho (Guano), Sabrina Macluf (Bifão), Caroline T. Martinho (Braulyo), Eva Kaiser Mori (Kaide), Marisa C. Kakazu (Mykomo), Ana Cristina J. Silva (Engoly), e em especial, Thiago B. Bonás (Aji), pelas dicas, companheirismo e amizade no decorrer de minha estadia na empresa Bunge e na cidade de Cajati.

À empresa Bunge Fertilizantes S/A por fornecer todos os subsídios para a conclusão deste trabalho e pela oportunidade de aprendizagem na área de mineralogia aplicada. Ao laboratório químico Rodes, na pessoa de Rose, por auxiliar nas atividades relacionadas às operações laboratoriais. Sem falar nos inúmeros amigos adquiridos ao longo destes 9 meses de estágio, especialmente Edna, Agenor, Walter, Dirce, Mário, Ézio e Eliza.

A todos, muito obrigada!



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	2
2. OBJETIVOS E RELEVÂNCIA DO PROJETO	3
3. TRABALHOS ANTERIORES	4
3.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	4
3.1.1. Descrição Geral do Município	4
3.2. GEOLOGIA LOCAL	5
3.2.1. Formação da Serra	5
3.2.2. Área de estudo	6
4. MATERIAIS E MÉTODOS	8
5. ATIVIDADES REALIZADAS	9
6. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	10
6.1. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA	10
6.1.1. Descrição das amostras	10
6.1.2. Resultados obtidos	11
6.1.3. Discussão	12
6.2. ANÁLISE DE RISCO DA ATIVIDADE	13
6.2.1. Identificação dos riscos	13
6.2.2. Avaliação dos riscos	14
7. APRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	15
7.1. CARACTERIZAÇÃO DAS ATIVIDADES	15
7.2. ANÁLISE DE RISCO DA ATIVIDADE	16
7.3. ANÁLISE DE RISCO DA ATIVIDADE	17
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	18
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
10. ANEXOS	20

Dedico este trabalho as pessoas mais importantes da minha vida: **MEUS PAIS!**

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	2
2. OBJETIVOS E RELEVÂNCIA DO PROJETO	3
3. TRABALHOS ANTERIORES	4
3.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	4
3.1.1. <i>Complexo Alcalino de Jacupiranga</i>	4
3.2. GEOLOGIA LOCAL	6
3.2.1. <i>Histórico da mina</i>	6
3.2.2. <i>Área de estudo</i>	6
4. MATERIAIS E MÉTODOS	8
5. ATIVIDADES REALIZADAS	9
6. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA VOLTADA À TECNOLOGIA MINERAL	10
6.1. AMOSTRAS DE MINÉRIO	10
6.1.1. <i>Preparação das amostras</i>	10
6.1.2. <i>Separação mineral</i>	12
6.1.3. <i>Mineralogia</i>	13
6.2. AMOSTRAS DE REJEITO DA USINA DE BENEFICIAMENTO	14
6.2.1. <i>Preparação das amostras</i>	14
6.2.2. <i>Separação mineral</i>	15
7. APRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	15
7.1. QUANTIFICAÇÃO DOS MINERAIS CARBONÁTICOS	15
7.2. AMOSTRAS DAS ZONAS DE FALHA E DE XENÓLITOS	19
7.3. AMOSTRAS DE REJEITO DA USINA DE BENEFICIAMENTO	24
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
10. ANEXOS	33

ÍNDICE DE ANEXOS

- I.** Descrição das amostras FL's geradas pela separação magnética
- II.** Resultados das amostras FL's na separação no Frantz
- III.** Balanço de massa das amostras FL's geradas pela separação magnética
- IV.** Assembléia mineralógica dos produtos FL's na separação no Frantz
- V.** Diagrama de blocos das operações da usina de tratamento
- VI.** Resultados das análises químicas do rejeito da usina
- VII.** Descrição das amostras do rejeito na separação por densidade
- VIII.** Mapa de localização das frentes de lavra FL-01, FL-02, FL-04, FL-05, FL-07, FL-12 e FL-14
- IX.** Gráfico 2 (Compilado de Zussman, 1977)
- X.** Mapa de localização do furo SP-01
- XI.** Seção N-S do furo SP-01
- XII.** Resultados das amostras de minério na separação no Frantz
- XIII.** Descrição das amostras de minério geradas pela separação magnética
- XIV.** Balanço de massa das amostras FL's e SP's
- XV.** Assembléia mineralógica das amostras FL's e SP's
- XVI.** Mapa de localização dos minérios que compuseram a pilha P1273
- XVII.** Mapa de localização dos minérios que compuseram a pilha P1274
- XVIII.** Mapa de localização dos minérios que compuseram a pilha P1276
- XIX.** Mapa de localização dos minérios que compuseram a pilha P1281
- XX.** Mapa de localização dos minérios que compuseram a pilha P1283
- XXI.** Porcentagem em peso acumulada nas frações granulométricas das amostras de rejeito
- XXII.** Gráficos de %P₂O₅ x fração e %peso x fração das amostras de rejeito
- XXIII.** Distribuição de P₂O₅ e MgO nas frações granulométricas das amostras de rejeito
- XXIV.** Distribuição de P₂O₅ e MgO nos produtos flutuados e afundados das amostras de rejeito
- XXV.** Fotografias sob microscópio estereoscópio das amostras de rejeito

Resumo

O Complexo Alcalino de Jacupiranga, ocorrência clássica de rochas alcalinas e ultrabásicas no Brasil, acha-se localizado no Vale do Rio Ribeira de Iguape, e nele está incluído, na porção central inferior, um corpo de carbonatito mineralizado à apatita denominado Morro da Mina. A mina de Cajati, aí instalada, está em operação desde a década de 40 e, atualmente, produz foscálcio (ração animal) e ácido fosfórico para indústrias alimentícias, farmacêuticas, etc.

Este trabalho centrou-se na investigação da variabilidade da mineralogia dos minerais acessórios presentes no carbonatito através de ensaios tecnológicos, como seleção e preparação de amostras, separação física dos minerais e técnicas analíticas, utilizando amostras volumétricas de frentes de lavra, de testemunhos de sondagem e de produtos da usina de beneficiamento, com vista a obter maior conhecimento da assembléia mineralógica da jazida.

O conhecimento detalhado das características mineralógicas do minério e dos minerais acessórios está fortemente vinculado não somente ao planejamento de lavra, mas também ao beneficiamento, que por sua vez está atrelado às aplicações do produto final na usina de ácido fosfórico.

Este estudo apresenta a mineralogia, o comportamento e a interação dos minerais, principalmente das áreas consideradas críticas na mina, zona de xenólitos e zona de falha, por apresentarem características geológicas complexas e por não responderem adequadamente aos processos na usina de tratamento. Fornece dados do comportamento e influência dos minerais acessórios no processo de beneficiamento, uma vez que os carbonatos e acessórios presentes no concentrado representam contaminantes no produto final de apatita.

Abstract

The Jacupiranga Complex is located in the southern region of state São Paulo, near a small Cajati city, not far from Registro. A phosphate mine has been developed in carbonatitic portions of the alkaline intrusion, which represented a small hill in the middle of the intrusion, since 1940. The mine has a current phosphatic concentrate production of 48000t/m, applied to fertilizer and bicalcic phosphate production.

This paper presents some characteristic of the apatitic ore and accessories minerals of Mount of Mine, local name of Cajati Mine. The studies performed included some methodological of analytical techniques typical of process mineralogy, as heavy liquid separations, electromagnetic mineral separations and selective lixiviation supported by analytical techniques, as XRD and microscopy.

The applied mineralogy studies were based on volumetric samples obtained from bench fronts of the mine, drilling core samples as well as processing industrial circuit products.

1. INTRODUÇÃO

O Complexo Alcalino de Jacupiranga acha-se localizado no Vale do Rio Ribeira de Iguape, próximo às bordas da Bacia do Paraná, condicionado tectonicamente pelo Arco de Ponta Grossa.

Neste complexo, na sua porção central inferior, está incluído um corpo de carbonatito mineralizado à apatita que apresenta forma oval alongada de aproximadamente 1000 x 400m, que é denominado Morro da Mina. A mina de Cajati, aí instalada, está em operação desde a década de 40 e atualmente produz foscálcio (ração animal) e ácido fosfórico para indústrias alimentícias, farmacêuticas, etc.

Esta mina é integrada ao parque industrial que compreende a mineração a céu aberto, o beneficiamento, o complexo químico (unidades de ácidos sulfúrico e fosfórico) até a produção de foscálcio, e com o rejeito do beneficiamento da apatita: cimento (calcário calcítico, magnetita), argamassa, corretivo de solo (calcário dolomítico) e brita (jacupiranguito e carbonatito estéril).

O minério de fosfato da mina de Cajati, já foi descrito por diversos autores, entretanto houve a necessidade de estudos adicionais, de maior detalhamento da mineralogia, para sua perfeita caracterização em apoio à lavra de minério. Neste sentido, este trabalho apresenta, por técnicas analíticas de mineralogia e químicas, as características do minério apatítico bem como de outros minerais acessórios presentes no carbonatito.

Este trabalho foi desenvolvido em estreita cooperação com a empresa Bunge Fertilizantes S/A, que forneceu todos os subsídios para a realização deste projeto, tanto viabilidade instrumental como financeira, em regime de estágio.

Este estudo de caracterização adequou-se ao programa da empresa, demonstrando sua utilidade e aplicabilidade e foi de suma importância à formação acadêmica da aluna, pois permitiu um maior conhecimento da área de mineralogia aplicada à caracterização tecnológica associada à mineração.

2. OBJETIVOS E RELEVÂNCIA DO PROJETO

Este trabalho consistiu em detalhar a mineralogia dos minerais acessórios presentes no carbonatito do Complexo de Jacupiranga, fornecendo dados precisos à caracterização tecnológica dos mesmos. Os dados obtidos estarão vinculados ao planejamento de lavra bem como à usina de beneficiamento do minério.

Para o estudo de caracterização tecnológica foram utilizadas amostras de minério e da usina de beneficiamento, obtendo amplo conhecimento da assembléia mineralógica nos diversos domínios geológicos reconhecidos na mina. Foram, também, correlacionadas as características mineralógicas do minério com o seu desempenho na usina, e identificadas espécies minerais, como flogopita, sulfetos, magnetita, olivina, etc., junto ao rejeito da usina.

Um procedimento adicional de separação mineral foi colocado em prática e otimizaram-se aqueles já existentes na rotina de caracterização do minério, tais como, seleção e preparação de amostras, separação física dos minerais e técnicas analíticas, habilitando, assim, um maior conhecimento da assembléia mineralógica dos minerais acessórios, tanto no corpo de minério como na usina com vistas a obter maior recuperação da apatita.

A relevância deste estudo reside no fato de obter dados do comportamento e influência dos minerais acessórios no processo de beneficiamento e sua presença no concentrado por representarem contaminantes no produto final de apatita, propiciando a otimização inclusive da fabricação de fertilizantes.

O detalhamento da mineralogia do minério e dos minerais acessórios (flogopita, sulfetos, magnetita, olivina, etc.) permitiu conhecer o comportamento e influência destes na usina de concentração; a interação entre eles: se os acessórios podem ser considerados contaminantes ou não no concentrado final, e se impediam ou não uma melhor recuperação da apatita na usina. Diante destes dados poder-se-á auxiliar o planejamento de lavra e o beneficiamento do minério, visando a maximização do aproveitamento do recurso mineral.

3. TRABALHOS ANTERIORES

3.1. Localização e acessos

O Complexo Alcalino de Jacupiranga localiza-se no Vale do Rio Ribeira, sudoeste do Estado de São Paulo, no município de Cajati, próximo à divisa com o Estado do Paraná.

O município de Cajati dista cerca de 230km da cidade de São Paulo e o acesso é feito através da rodovia Régis Bittencourt (BR 116), km 488,5.

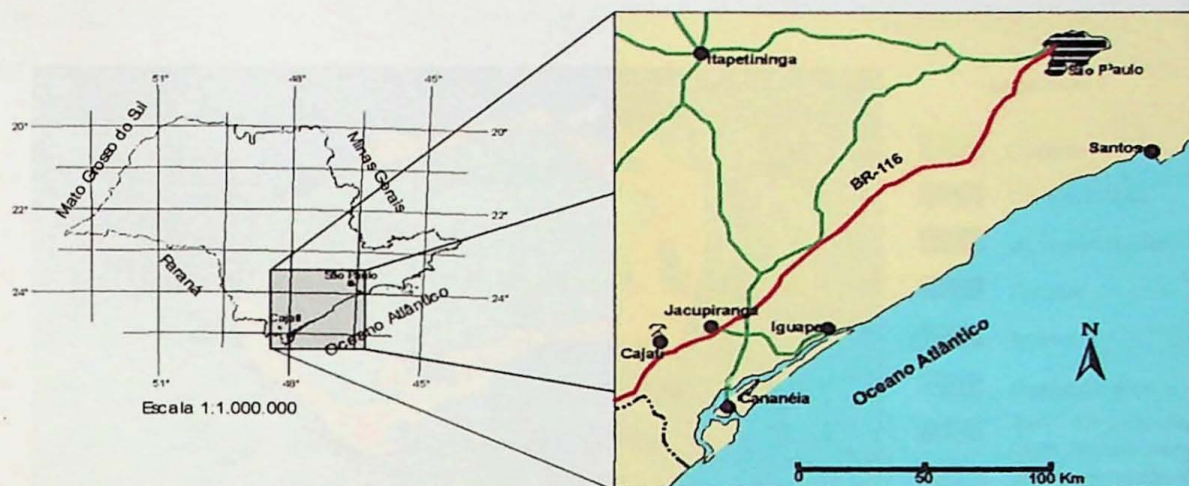


Figura 1: Mapa de acessos e localização da área

3.1.1. Complexo Alcalino de Jacupiranga

O distrito alcalino de Jacupiranga constitui-se em uma ocorrência clássica de rochas alcalinas e ultrabásicas. Mencionado pela primeira vez por Bauer (1877) como jazida de minério de ferro, tornou-se conhecido através da descrição de Derby (1891), que propôs o termo jacupiranguito para as rochas alcalinas piroxeníticas aí ocorrentes, ricas em titanogaugita, com magnetita, biotita, nefelina e olivina como acessórios em quantidade variável.

O Complexo de Jacupiranga é composto por tipos litológicos que exibem grande diversidade textural e mineralógica. Este complexo tem forma ovalada (10,5 x 6,7km) orientado NNW e acha-se encaixado em rochas pré-cambrianas do Grupo Açungui (550 M. a.), sendo a norte granodioritos e ao centro e sul mica xistos. Sua estrutura engloba dois corpos intrusivos principais, dunitos na região setentrional e jacupiranguitos na meridional.

O jacupiranguito por sua vez apresenta dois corpos intrusivos: na porção SW, ijolito na forma de meia lua e, mais ao centro, carbonatito sob a forma alongada, orientado aproximadamente NNW (figura 2). Fenômenos de fenitização podem ser observados nas

encaixantes regionais (rochas do embasamento) próximo às bordas da intrusão e no interior do complexo.

Gaspar (1989) propôs que fosse evitado o uso do termo jacupiranguito, pois não segue a recomendação da IUGS (International Union of Geological Society) para descrições de rochas ígneas. Outro fator relevante foi o fato do principal piroxênio dos piroxenitos de Jacupiranga ser o diopsídio e não titanaugita como foi definido originalmente. O termo jacupiranguito refere-se na verdade a um magnetita clinopiroxenito, que seria a denominação correta para as rochas encaixantes do carbonatito.

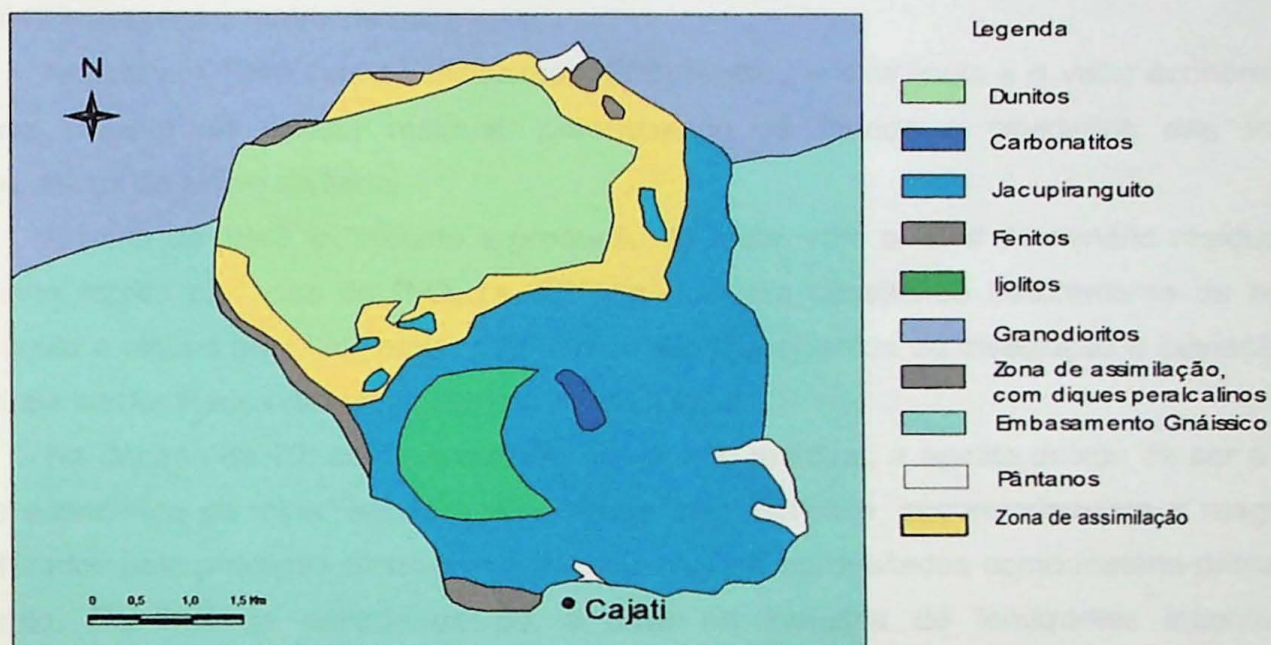


Figura 2: Mapa geológico do Complexo Alcalino de Jacupiranga (adaptado de Germann *et al.*, 1987, *apud* Alves, 1999).

Através dos métodos de datação K/Ar e Rb/Sr, a idade aproximada do complexo alcalino é de 131 ± 3 M. a. (Amaral 1978, Roden *et al.* 1985, *apud* Ruberti *et al.*, 1992), correspondendo à abertura inicial do Atlântico Sul, condicionado tectonicamente pelo Arco de Ponta Grossa. (Ruberti *et al.*, 1992).

O complexo carbonatítico tem um controle tectônico marcante, pois está limitado às zonas marginais das áreas cratônicas que bordejam a bacia do Paraná. Segundo Algarte (*in* C.B.M.M., 1984), as alcalinas do Estado de São Paulo apresentam um controle tectônico de direção NW relacionado ao Arco de Ponta Grossa e ao alinhamento estrutural Guapiara. A região em questão situa-se entre o Arco de Ponta Grossa e o alinhamento estrutural paralelo a este arco, denominado de fissuramento Guapiara.

3.2. Geologia local

3.2.1. Histórico da mina

O Morro da Mina, cujo cume original tinha elevação de 225m, recebeu essa denominação por ser o local das jazidas de minério de ferro analisado em 1874 nas Escolas de Minas de Londres e Paris (Felicíssimo, 1968). Publicações de 1887 da Revista de Engenharia afirmam que a rocha predominante neste local era composta quase que unicamente de augita e magnetita, muitas vezes, titanífera, classificada como pertencente aos piroxenitos, e considerada como a matriz da magnetita.

Knecht em 1940 (*apud* Felicíssimo, 1968) revelou a existência e o valor econômico da grande reserva de apatita residual, preenchendo as fendas e cavidades das massas carbonáticas do Morro da Mina.

A partir de 1943 foi iniciada a produção da mina, com a lavra de minério residual que continha teores elevados de P_2O_5 ($> 20\%$), o qual era constituído basicamente de apatita, magnetita e alguns argilo-minerais, produtos esses provenientes da dissolução e lixiviação dos minerais carbonatados da rocha (Ruberti *et. al.*, 1992).

Na década de 70, com a exaustão do minério residual, a apatita deixou de ser a única base econômica da mina, sendo que a massa carbonática e, secundariamente a magnetita, viabilizados pelo processo tecnológico, passaram a ser aproveitados como matéria-prima para cimento. No final da década de 80, a crise na indústria de fertilizantes incentivou o desenvolvimento de aplicações industriais para os subprodutos da mina, sendo elas variadas: corretivos agrícolas, ácido fosfórico, brita, etc.

Atualmente, o Brasil ocupa o 7º lugar na produção mundial de concentrado de rocha fosfática, estando a empresa Bunge Fertilizantes S/A com uma previsão de aumento em torno de 40% no mercado brasileiro de fertilizantes nos próximos anos (D.N.P.M., 2000). A empresa opera hoje com teor médio de 12% de apatita, correspondendo a cerca de 5% de P_2O_5 , com uma produção média de 48.000t/mês de concentrado com 36% de P_2O_5 .

3.2.2. Área de estudo

O carbonatito de Jacupiranga situa-se no centro sul do distrito de rochas alcalinas e é intrusivo nos jacupiranguitos. Forma um corpo oval alongado com diâmetros aproximados de 1000m e 400m, segundo a direção NNW, aflorando em uma elevação chamada Morro da Mina, cujo cume alcançava inicialmente 225m.

Segundo Gaspar & Wyllie (1983a, *apud* Ruberti, 1992) foram identificadas cinco fases de intrusões carbonáticas em Jacupiranga (em sequência cronológica partindo da mais velha): C1 (sovito), C2 (sovito dolomítico) e C3 (sovito) formando o corpo sul; C4 (sovito) e C5 (rauhaugito) formando o corpo norte. Já Hirano *et al.* (1987, *apud* Ruberti, 1992), reuniram os carbonatitos em quatro grupos com base na mineralogia: calcita carbonatito, calcita carbonatito rico em magnetita, calcita carbonatito rico em apatita e dolomita carbonatito.

O carbonatito é descrito como uma rocha branca, de granulação média a grossa, por vezes apresentando estrutura orientada, evidenciada pelo alinhamento de minerais e sua composição mineralógica é apresentada na tabela 1.

Tabela 1: Composição mineralógica do carbonatito

Mineral	Composição teórica	Proporções médias (% em peso)
Calcita	CaCO_3	57
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	21
Apatita	$\text{Ca}_5(\text{F,Cl,OH})(\text{PO}_4)_3$	12
Magnetita	Fe_3O_4	7
Forsterita	Mg_2SiO_4	2
Flogopita	$\text{KMg}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	2
Sulfetos	pirrotita, pirita, calcopirita e vallerita	2
Outros	baddeleyta, barita, brucita, ilmenita, quartzo (secundário), serpentina, perovskita, richterita, titanita, natrolita, wollastonita, clinohumita.	1

Fonte: Pereira e Marguti (1988, *apud* Alves, 1999)

O carbonatito apresenta feições estruturais como fraturas, juntas, falhas, lineações minerais, diques e estruturas fluidais. Contudo, o elemento estrutural mais expressivo na mina é uma falha de direção WNW-ESE, na porção mediana da cava. Informações obtidas de furos de sondagem, segundo Gaspar (1989), indicam que o bloco sul foi movido para cima em relação ao bloco norte. Esta zona de falha é constituída por materiais de textura cataclástica como brecha avermelhada, brecha cinza e brechas carbonáticas vermelha e bege.

O contato entre o carbonatito e o jacupiranguito pode ser brusco ou formar zonas com xenólitos, diques ou bordas de reação. A zona principal de xenólitos está localizada na porção norte da mina, dividindo o carbonatito sul do norte. Esta região é constituída de corpos de jacupiranguito distribuídos de maneira caótica na massa de carbonatito.

A figura 3 apresenta os tipos litológicos presentes na mina, sendo que a porção cinza

corresponde ao jacupiranguito, que envolve todo o corpo de carbonatito.

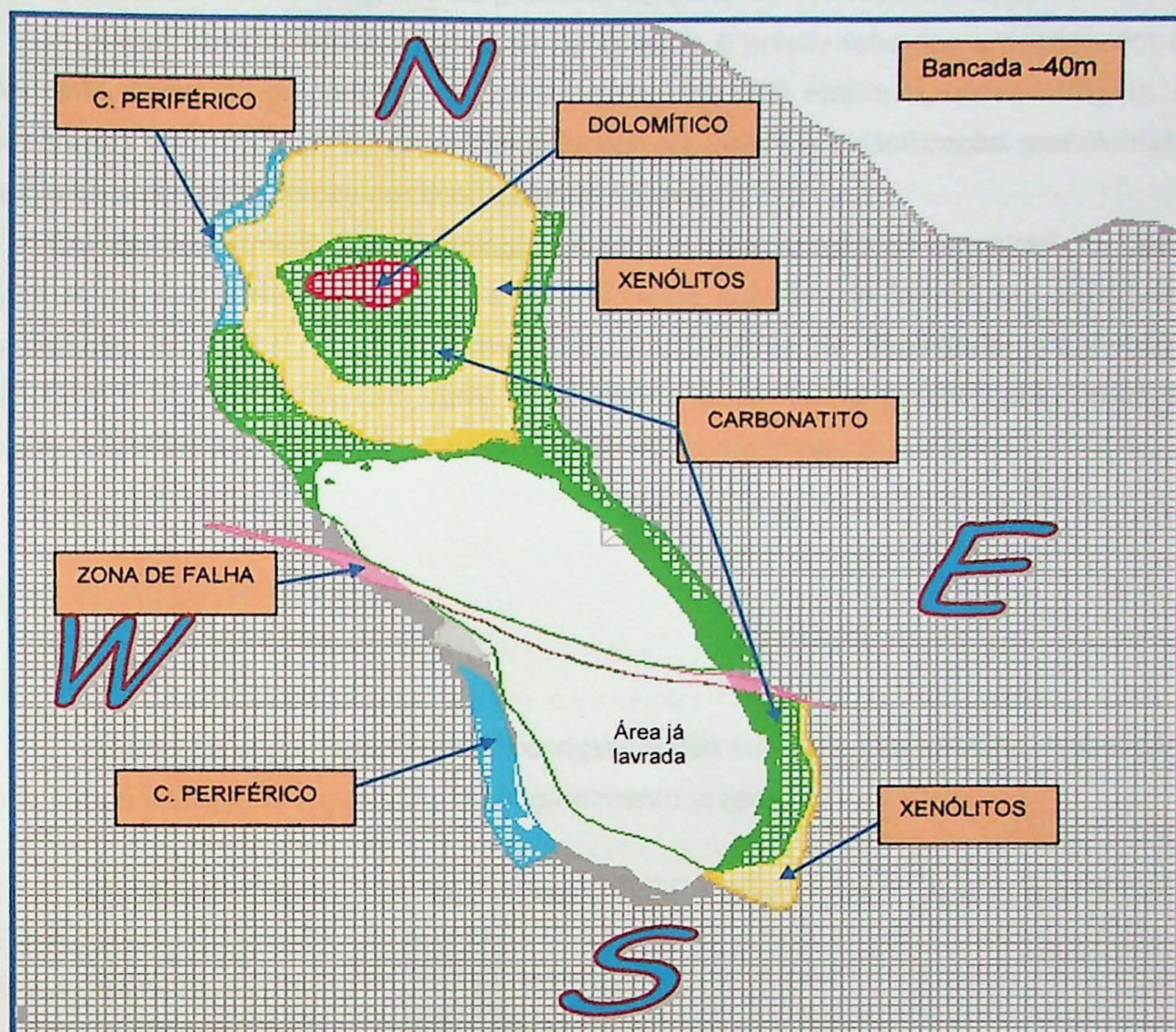


Figura 3: Mapa esquemático com os principais tipos litológicos da mina (compilado da empresa).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Na etapa inicial do projeto, foi realizada uma introdução aos métodos de preparação de amostras e separação de minerais aplicados na mineração e também aos processos utilizados na usina de concentração do minério.

Após a familiarização com a mina e o processo de beneficiamento, passou-se ao estudo mineralógico em amostras selecionadas de forma a atender a caracterização tecnológica do minério "run-of-mine" e otimizações do circuito da usina de beneficiamento. As amostras

utilizadas na caracterização tecnológica foram provenientes das frentes de lavra (volumétricas), dos testemunhos de sondagem e de produtos da usina de beneficiamento do minério.

A metodologia adotada consistiu na seleção e preparação das amostras em escala de bancada, seguindo procedimentos pré-estabelecidos pela empresa, como britagem, moagem, separação magnética de baixa intensidade por via úmida e classificação granulométrica, com apoio de análises químicas por fluorescência de raios X.

Complementarmente à metodologia rotineira de preparação de amostras, foi desenvolvida uma etapa subsequente, a qual é enfocada neste trabalho de formatura, constituindo-se da separação física dos minerais através das propriedades de densidade, magnetismo e seu estudo por técnicas analíticas, como difratometria de raios X e microscopia. Todas as etapas acima descritas foram realizadas nos laboratórios da empresa.

5. ATIVIDADES REALIZADAS

A tabela a seguir apresenta o cronograma das atividades de trabalho desenvolvidas, que não sofreu alterações em relação ao originalmente proposto:

Atividades	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Pesquisa bibliográfica									
Introdução aos métodos da mina									
Elaboração do Projeto Inicial									
Seleção e preparação de amostras									
Caracterização tecnológica e mineralógica									
Elaboração do Relatório de Progresso									
Tratamento dos resultados obtidos									
Elaboração e apresentação do TF									

No geral, não houve dificuldades encontradas no decorrer da execução deste trabalho. Entretanto, entre os problemas deparados, alguns foram associados à viabilidade instrumental, no que diz respeito a problemas técnicos em alguns equipamentos, e outros associados ao laboratório, onde não foi possível realizar algumas análises ocasionadas pela quantidade insuficiente de amostras geradas para tal, tornando o prazo disponível bastante intensivo. Porém, o cronograma de trabalho foi efetivamente realizado.

6. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA VOLTADA À TECNOLOGIA MINERAL

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

As atividades desenvolvidas neste trabalho consistiram na escolha das amostras, no acompanhamento e preparação de amostras e na aplicação de técnicas de separação e de identificação minerais. Posteriormente, quantificação mineral apoiada por análises químicas por fluorescência de raios X (XRF), no qual são analisados os elementos P_2O_5 , CaO , MgO , Fe_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , K_2O , SO_3 e perda ao fogo, através de pastilhas prensadas diretas.

As separações minerais realizadas corresponderam a separação por densidade e separação magnética; a quantificação mineralógica foi feita através de difratometria de raios X (XRD) e a descrição por microscópio estereoscópio. Essas atividades descritas foram realizadas pela autora do relatório nos laboratórios da empresa, salvo as análises químicas e preparação das amostras realizadas por funcionários da empresa.

As amostras utilizadas na caracterização tecnológica são provenientes das frentes de lavra, dos testemunhos de sondagem e da usina de beneficiamento do minério.

6.1. Amostras de minério

6.1.1. Preparação das amostras

As amostras coletadas no Morro da Mina seguem uma metodologia desenvolvida por Alves (1999). De uma forma resumida, serão expostos a seguir, os procedimentos de caracterização de amostras volumétricas de frentes de lavra e de testemunhos de sondagem.

- Amostras de frentes de lavra

As amostras provenientes da mina são marroadas até um diâmetro de 20cm e em seguida passam por um britador de mandíbulas onde são reduzidas a um diâmetro menor que 5mm. Caso as amostras apresentem um diâmetro maior, elas são moídas no moinho de discos até atingirem o tamanho necessário.

- Amostras de testemunhos de sondagem

As amostras tal qual de testemunhos são passadas em um britador de mandíbulas onde são reduzidas a um diâmetro menor que 5,0mm (peneira #4).

A amostra passa por três quarteamentos (respectivamente 1500g, 1000g e 500g), sendo que a alíquota obtida no último quarteamento é subdividida em 50,0g e pré-moída no moinho de anéis, a partir do qual é homogeneizada. Da alíquota pré-moída, separa-se 30,0g à qual se adiciona 1,0g de amido gerando a amostra que é remoída no moinho de anéis e prensada, formando a pastilha para análise por fluorescência de raios X.

Após a etapa de britagem, as amostras volumétricas e de testemunhos são moídas via úmida em moinho de jarros com carga de bolas de vários tamanhos, até serem obtidas partículas com diâmetro que passe na malha 20 (equivale a 0,833mm na escala Tyler). Caso restem partículas com diâmetro maior, elas são moídas no moinho de discos até atingirem o tamanho necessário.

A operação de desmagnetização é aplicada na polpa obtida da moagem, que é diluída e passada por um campo magnético de baixa intensidade (2,5A), em um tambor magnético, gerando os produtos magnético e não magnético. As amostras moídas e desmagnetizadas são peneiradas na malha 400 (equivale a 0,038mm na escala Tyler). Este procedimento é denominado deslamagem, e o material que apresenta um diâmetro maior, ou seja, ficou retido, é classificado por granulometria.

A separação granulométrica consiste no peneiramento a úmido nas malhas 48, 100 e 200 (respectivamente 0,295mm, 0,147mm e 0,074mm na escala Tyler).

O produto magnético da desmagnetização, o passante na malha 400 da deslamagem e os produtos das malhas 48 e 200 e o passante na malha 200 da separação granulométrica, são submetidos à análise química por fluorescência de raios X. No produto da fração -48+100 são realizados os ensaios de separação mineral.

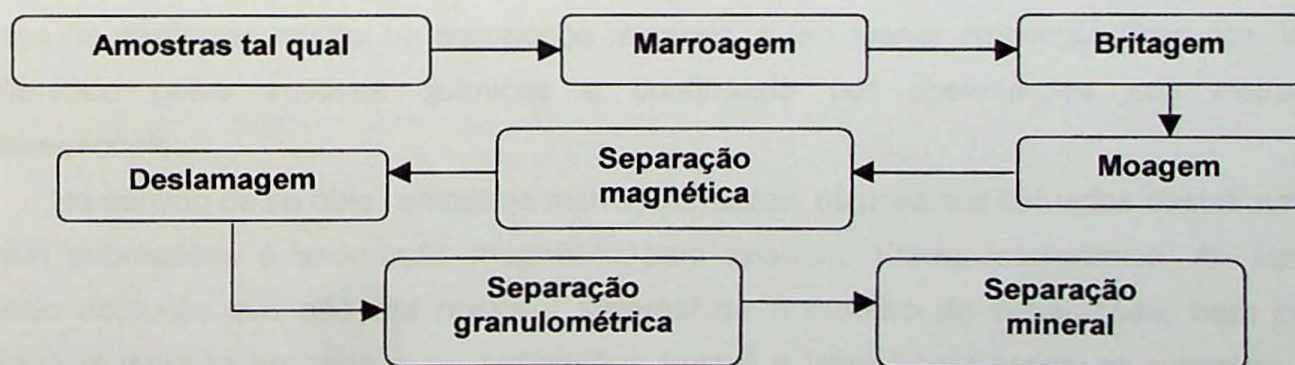


Figura 4: Fluxograma sumário dos ensaios de caracterização tecnológica

6.1.2. Separação mineral

A separação mineral consistiu em ensaios por densidade e separação magnética. Os ensaios por densidade foram realizados em líquido denso. O procedimento é realizado com líquido de densidade elevada, no caso o tetrabromoetano (TBE) de densidade $2,964\text{g/cm}^3$, obtendo como produto flutuado a calcita, a dolomita e a flogopita, e como produto afundado, os sulfetos, a magnetita, a apatita e a olivina.

Tabela 2: Densidade relativa dos minerais presentes no carbonatito

Minerais	Densidade (g/cm^3)
Calcita (CaCO_3)	2,72
Dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)	2,85
Flogopita ($\text{KMg}_3\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$)	2,86
Apatita ($\text{CA}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl},\text{OH})$)	3,15 – 3,20
Olivina (Mg_2SiO_4)	3,27 – 4,37
Magnetita (Fe_3O_4)	5,18
Pirita (FeS_2)	5,02
Pirrotita (Fe_{1-x}S)	4,58 – 4,65
Calcopirita (CuFeS_2)	4,10 – 4,30

A primeira etapa de trabalho foi realizada com amostras de frentes de lava correspondentes a zona de falha, na fração -48+100. Como o objetivo era quantificar os carbonatos, o ensaio por densidade foi realizado para separá-los dos demais minerais.

As amostras de minério além de conterem carbonatos e flogopita no produto flutuado como era de se esperar, apresentaram outros minerais (sulfetos, magnetita, apatita) sob a forma de partículas mistas ou agregados minerais, e em menor proporção liberados. Isso foi observado pelas análises químicas e confirmado por observações sob microscópio estereoscópio.

No sentido de se obter amostras monominerálicas, os produtos flutuados destas amostras foram submetidos à separação magnética pelo aparelho Frantz Isodinâmico. Ao longo do ensaio notou-se que não era possível sistematizar o número de separações, bem como o campo magnético aplicado e as inclinações frontal e lateral para todas as amostras. Cada amostra foi submetida a campos magnéticos e inclinações diferentes (ângulos frontais em torno

de 21 a 23° e laterais em torno de 10 a 12°) de acordo como se comportava na separação. Algumas amostras apresentaram três produtos magnéticos e outras, sete, visto que as amostras representam litotipos diferentes dentro da zona de falha.

A separação magnética das amostras FL's gerou 40 amostras, tendo sido todas descritas ao microscópio estereoscópio. O Anexo I resume as características principais observadas na separação magnética, e o Anexo II apresenta os campos magnéticos e inclinações frontal e lateral aplicados em cada separação.

Os Anexos III e IV, apresentam, respectivamente, o balanço de massa e a assembléia mineralógica obtida em cada separação das amostras FL's.

As amostras de flutuados não magnéticos obtidos com a separação são, principalmente, compostas por carbonatos, demonstrando que a separação magnética é muito eficaz na obtenção de amostras purificadas. Isso é observado na tabela 4 de composição química, onde pode ser comparada a composição do produto flutuado antes e depois da separação magnética.

6.1.3. Mineralogia

Apesar das amostras FL's e SP's referirem a áreas diferentes da mina, a mineralogia não difere muito, e sim a porcentagem mineral presente.

Os critérios de descrições para ambos os tipos de amostras foram semelhantes, apoiando-se nas características das partículas e composição mineralógica, observando a cor, brilho, hábito e porcentagem, e os estados de inclusão, incrustação e agregação de cada mineral. (Estes critérios também foram adotados nas descrições para amostras do rejeito da usina.). A descrição mineralógica foi definida através de microscópio estereoscópio e os critérios usados foram:

- ⇒ cor: segundo Dana (1997);
- ⇒ hábito: segundo Dana (1997);
- ⇒ brilho: segundo Dana (1997);
- ⇒ porcentagem: estimativa visual;
- ⇒ liberação: estimativa visual;
- ⇒ inclusão: fragmento estranho ao mineral em que está contido;
- ⇒ incrustação: revestimento parcial de um mineral por outro;
- ⇒ agregação: mais de um cristal, de mesma espécie mineral ou não;
- ⇒ alteração: presença de óxidos de ferro;
- ⇒ minerais presentes.

As análises por difratometria de raios X realizadas em apoio às identificações mineralógicas por microscopia, enfocaram os produtos flutuados para determinação das proporções relativas de carbonatos.

As amostras dos produtos flutuados FL-01, FL-02, FL-04, FL-05, FL-07, FL-12 e FL-14 foram quarteadas em 50,0g e pré-moídas no moinho de anéis, a partir do que foram homogeneizadas, separadas em 30,0g e remoídas no moinho de anéis até granulometria passante em 200#. Após isso, foram prensadas e compuseram as pastilhas para análise.

6.2. Amostras de Rejeito da usina de beneficiamento

Visando diagnosticar qual a causa de teores remanescentes de P_2O_5 no rejeito da usina de beneficiamento, a qual opera com valores de 5% de P_2O_5 na sua alimentação, foi realizado um levantamento e amostragem destes rejeitos.

A escolha das amostras para caracterização objetivou representar as variações de teores, desde baixos valores (0,6 e 0,8% de P_2O_5) a valores altos (1,0 a 1,4% de P_2O_5), tendo-se procurado compreender estas variações através do detalhamento mineralógico. Observou-se a assembléia mineralógica do rejeito, a relação entre os minerais (associações e inclusões), grau de liberação da apatita e sua distribuição nas faixas granulométricas, estado de alteração e recobrimentos superficiais e a quantificação dos carbonatos no rejeito.

Em apoio a esta caracterização foram relacionados os teores de P_2O_5 gerados a partir do modelo de blocos do planejamento de lavra, da pilha de homogeneização e da alimentação da usina.

6.2.1. Preparação das amostras

A metodologia aplicada em todas as amostras coletadas na usina durante um período de quinze dias de amostragem consistiu na separação granulométrica por peneiramento a úmido nas malhas 48, 100, 200 e 400 (respectivamente 0,295mm, 0,147mm, 0,074mm e 0,038mm na escala Tyler).

As amostras de rejeito correspondentes ao período de interesse para estudo, que excluiu variações operacionais e misturas com minério remanescente da pilha anterior, foram compostas a partir das frações granulométricas, gerando-se amostras representativas das frações de uma única amostra correspondente a uma pilha. O Anexo V fornece o diagrama de blocos das operações da usina de beneficiamento, apresentando os produtos finais gerados (concentrado e rejeito).

6.2.2. Separação mineral

As frações -35+48 e -48+100 foram submetidas a ensaio em líquido denso (procedimento semelhante ao explicado no *item 6.1.2.*) e os produtos gerados (afundados e flutuados) foram descritos ao microscópio estereoscópio e, posteriormente, analisados quimicamente por fluorescência de raios X ou via úmida quando com pouca massa.

As frações -100+200# e -200+400# e a lama foram submetidas somente a análise química por fluorescência de raios X. Os resultados das análises químicas estão no Anexo VI e as descrições ao microscópio estereoscópio no Anexo VII.

7. APRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

7.1. Quantificação dos minerais carbonáticos

Em amostras de frentes de lavra FL-04, FL-05 e FL-07, localizadas a SE da cava, procedeu-se à identificação mineralógica detalhada, utilizando os produtos separados em líquido denso, especificamente as frações -48+100# e -100+200#. Nos flutuados fez-se quantificação de carbonatos e nos afundados descreveu-se a mineralogia dos minerais traço. Já as amostras FL-01, FL-02, FL-12 e FL-14 fez-se apenas a quantificação de carbonatos na fração -48+100.

Os minerais carbonáticos (dolomita e calcita) constituem os principais minerais (em média 70 a 80% em peso) do carbonatito do Morro da Mina.

As amostras selecionadas para a quantificação estão localizadas a SE da cava correspondendo à zona de falha e adjacências. Esta área é considerada problemática na mina, por apresentar características geológicas complexas e por não responder adequadamente aos processos na usina de tratamento. Assim, surgiu a necessidade de maior detalhamento mineralógico dessa área. O Anexo VIII apresenta o mapa de localização das amostras FL's que representam estas frentes de lavra da mina.

As amostras caracterizadas foram: FL-01, FL-02, FL-04, FL-05 e FL-07 da cota -50m, e FL-12 e FL-14 da cota -30m, coletadas em frentes de lavra com amostragem volumétrica. A tabela 3 apresenta as descrições macroscópicas sumárias destas amostras, compiladas do mapeamento realizado em julho de 2000.

Tabela 3: Características litológicas das amostras de frentes de lavra

Amostras	Descrições
FL-01	Carbonatito calcítico, com apatita, magnetita em muita quantidade e sulfetos disseminados.
FL-02	Carbonatito calcítico com apatita levemente amarelada, magnetita e flogopita em muita quantidade.
FL-04	Carbonatito brechado de coloração bege.
FL-05	Carbonatito brechado de coloração cinza.
FL-07	Carbonatito brechado de coloração cinza, com pouca magnetita e flogopita, e apatita em concentrações pontuais.
FL-12	Carbonatito calcítico com magnetita e flogopita, e apatita e olivina presentes pontualmente.
FL-14	Carbonatito calcítico com pouca magnetita e flogopita, e apatita concentrada.

Obs. Mapeamento realizado por Thiago Bastos Bonás (estagiário em Geologia da empresa)

A tabela 4 mostra, através de dados da análise química por FRX, a eficácia da separação magnética posterior à separação por densidade, visto que eram esperadas amostras mais purificadas de carbonatos.

Tabela 4: Composição química dos produtos flutuados e flutuados não magnéticos das FL's

Teor	P ₂ O ₅	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	S	PF	SOMA
Amostra	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
FL-01F	0,47	49,60	2,38	0,54	0,26	0,63	0,10	0,10	0,10	42,7	96,90
FL-01FNM	0,49	51,84	1,58	0,34	0,15	0,02	0,09	0	0	43,9	97,92
FL-02F	4,79	47,80	3,59	0,89	1,73	0,55	<0,10	0,10	0,17	37,9	97,52
FL-02FNM	4,75	52,53	2,11	0,32	0,36	0,02	0,10	0	0,14	39,6	100,14
FL-04F	0,33	51,10	2,04	0,68	0,13	0,59	0,01	0,01	0,01	42,0	96,90
FL-04FNM	0,22	52,05	1,48	0,39	0,11	0,02	0,10	2,08	0,42	43,63	101,12
FL-05F	0,50	44,70	6,49	0,59	3,93	1,18	0,01	0,29	0,01	40,3	98,00
FL-05FNM	0,44	49,26	3,32	0,14	0,71	0,02	0,10	0,01	0	44,03	98,03
FL-07F	0,34	51,30	2,56	0,62	0,01	0,51	0,01	0,01	0,01	43,1	98,47
FL-07FNM	0,19	51,10	1,76	0,41	0,15	0,02	0,10	0	0,28	44,5	98,93
FL-12F	0,33	45,9	2,42	0,54	0,16	0,44	0,01	0,01	0,01	42,1	91,92
FL-12FNM	0,97	51,88	1,84	0,38	0,11	0,02	0,05	0	0,228	43,3	99,12
FL-14F	2,37	48,90	3,41	0,67	1,53	0,35	<0,10	<0,10	0,10	41,0	98,23
FL-14FNM	2,35	51,64	1,61	0,28	0,39	0,02	0,05	0	0	41,53	97,87

FL-01F = amostra de flutuado

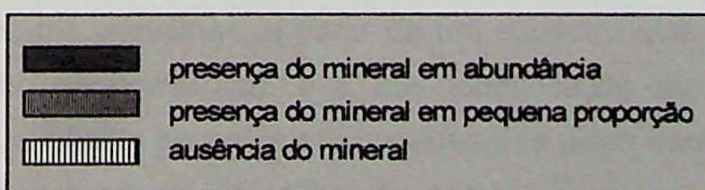
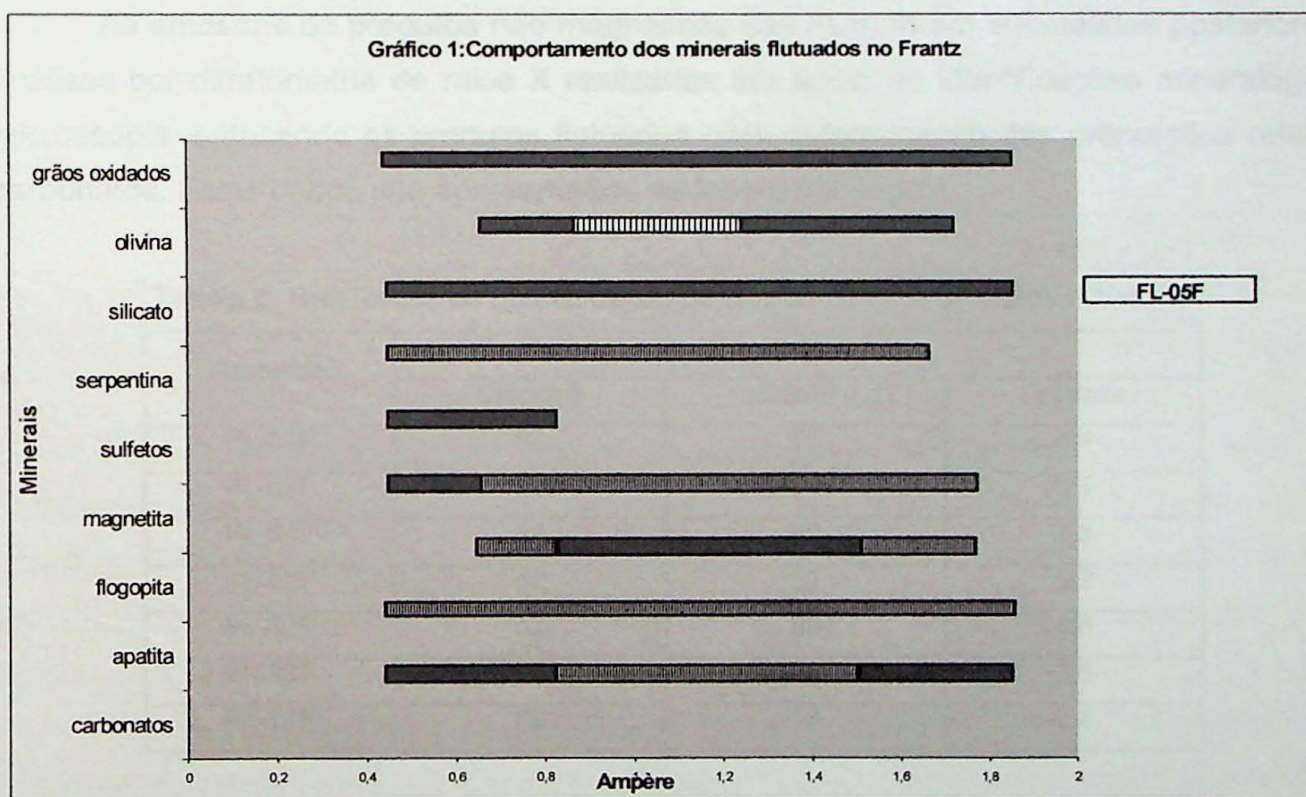
FL-01FNM = amostra de flutuado não magnético

PF = perda ao fogo

A separação magnética fez aumentar em todas as amostras FL's o teor de CaO e diminuir os outros teores. Observou-se também que, as frentes de lavra FL-02, FL-12 e FL-14 apresentam um baixo grau de liberação da apatita na fração estudada, apresentando um teor de P_2O_5 superior a 0,50%.

Em algumas amostras nota-se os altos teores de Fe_2O_3 e S, que indicam que a magnetita e os sulfetos também apresentam baixo grau de liberação na fração -48+100#. Estes dois minerais juntamente com a apatita representam os principais minerais agregados aos carbonatos.

A FL-05 apresenta altos teores de SiO_2 e MgO, indicando a presença de um silicato de magnésio (não foi possível analisar esta amostra por difratometria de raios X, como previa-se anteriormente, ocasionado pela pouca massa). Na descrição por microscópio estereoscópio notou-se a abundância de um mineral de coloração amarelada nesta amostra, provavelmente trata-se desse mineral. No Anexo IV, este mineral desconhecido, apresenta-se em segundo lugar em proporção na amostra FL-05 de produto não magnético. O gráfico 1 apresenta o comportamento dos minerais no Frantz.



Este gráfico mostra que fases como a magnetita e os sulfetos apresentam baixa susceptibilidade magnética. A flogopita é bem representada no intervalo de 0,5 a 1,5A, e, comparando esse dado com o Anexo IV, nota-se a abundância desse mineral nesta faixa de amperagem.

A serpentina e a apatita estão presentes em todo o intervalo do campo magnético, mas não são abundantes. A olivina aparece abundante em determinados intervalos de amperagem.

As partículas oxidadas estão presentes em todo o intervalo do campo magnético e em abundância. Isso se deve ao fato das amostras serem provenientes de zona de falha. Já os carbonatos, também estão presentes em toda faixa de amperagem, mas nem sempre são predominantes.

Relacionando o gráfico 1 com o gráfico 2 do Anexo IX (Zussman, 1977), observa-se que a susceptibilidade magnética dos minerais descrita acima corresponde à da literatura. Esta análise mostra que o sulfeto presente no carbonatito do Morro da Mina trata-se da pirrotita, mineral este com baixa susceptibilidade magnética, e que os outros minerais responderam muito bem ao ensaio.

As amostras de produtos não magnéticos das FL's, foram submetidas posteriormente à análises por difratometria de raios X realizadas em apoio às identificações mineralógicas por microscopia, enfocando os produtos flutuados para determinação das proporções relativas de carbonatos. Estes dados são apresentados na tabela 5 a seguir:

Tabela 5: Resultados de quantificação de carbonatos nos produtos flutuados

Amostra	Concentração		
	Calcita 2	Calcita 4	Dolomita
FL-01F	62	59	3,4
FL-02F	53	51	3,1
FL-04F	53	60	2,3
FL-05F	49	52	5,2
FL-07F	57	59	4,5
FL-12F	59	62	3,6
FL-14F	62	56	2,4

A difração de raios X pelo método do pó é uma metodologia que habilita à identificação de estruturas cristalinas, a partir de um espectro que as traduz através de picos característicos (padrão difratométrico), e a sua identificação se faz por comparação com padrões. A análise quantitativa se apóia em medidas dos picos característicos (altura ou área) que são comparadas com curvas de calibração obtidas a partir de amostras de quantidades

conhecidas das fases a quantificar. As quantificações realizadas neste trabalho visaram dar apoio a um programa de quantificação de carbonatos em desenvolvimento na empresa, e que se apóia em dois picos principais da calcita e um pico principal da dolomita.

Este tipo de análise está em fase de implantação na empresa, portanto os dados são apenas preliminares, mas pode-se observar que a variação entre os dois valores de calcita não ultrapassam 2%, com exceção das amostras FL-04F e FL-14F, com uma variação de aproximadamente, 7%. Assim, a porcentagem de calcita nas amostras, correspondentes a zona de falha e adjacências, atingem a ordem de 49 a 61% de calcita e 2 a 5% de dolomita.

7.2. Amostras das zonas de falha e de xenólitos

A zona de falha é uma área considerada problemática na mina, por apresentar características geológicas complexas e por não responder adequadamente aos processos na usina de tratamento. Assim, as frentes de lavra FL-35 e FL-36, ambas da cota -30m, correspondentes ao flanco SW da cava, foram caracterizadas em apoio aos resultados obtidos pelas amostras das frentes de lavra do flanco SE.

Tabela 6: Características litológicas das amostras de frentes de lavra

Amostras	Localização			
	Bancada	Flanco	Observações	Descrição sumária
FL-35	-30	W	zona de falha	brecha bege (carbonatito)
FL-36	-30	W	zona de falha	zona de falha (material oxidado)

Foram estudadas também amostras de testemunhos de sondagem (SP's) visando detalhar a mineralogia de outra zona crítica da mina face ao beneficiamento, a zona de xenólitos. Esta região está localizada na porção norte da mina, dividindo o carbonatito norte do sul. Corresponde a corpos de jacupiranguitos distribuídos de maneira caótica na massa de carbonatito (ver mapa esquemático, figura 3).

As amostras de testemunhos de sondagem caracterizadas foram: SP-01-04, SP-01-05 e SP-01-06 e referem-se a campanha de sondagem rotativa realizada na mina em 2000. Os Anexos X e XI correspondem, respectivamente, ao mapa de localização do furo SP-01 na bancada 30N e à seção N-S deste furo.

Tabela 7: Características litológicas das amostras de testemunhos de sondagem

Amostras	Região	Furo (m)		Descrição sumária
		Início	Fim	
SP01-04	N	113,00	147,76	Zona de xenólitos com 38% de zona de reação e 62% de carbonatito
SP01-05	N	147,76	157,97	Zona de xenólitos com 71% de zona de reação e 29% de carbonatito
SP01-06	N	157,97	179,50	Carbonatito a calcita intercalado com zona de xenólitos

As amostras de frentes de lavra e de testemunhos de sondagem foram submetidas a ensaio de separação mineral por densidade, procedimento explicado no *item 6.1.2*. Este ensaio foi realizado com frações $-100+200\#$ e gerou bom resultado como havia sido observado para as frações $-48+100\#$. Já o ensaio de separação magnética realizada no aparelho Frantz gerou melhores resultados para a fração $-100+200\#$ do que para a $-48+100\#$.

Ao longo do ensaio com o Frantz Isodinâmico notou-se que era possível sistematizar o número de separações, bem como o campo magnético aplicado e as inclinações frontal e lateral para todas as amostras.

Todas as amostras foram submetidas a campos magnéticos de 0,5, 1,0 e 1,5A e inclinações iguais. As amostras mais máficas separaram melhor com ângulos frontal de 23° e lateral de 10° , enquanto as mais félsicas com ângulos frontal de 21° e lateral de 12° , padrão observado apenas nas frações $-100+200\#$. O Anexo XII mostra os campos magnéticos e inclinações aplicados em cada separação.

A separação magnética das amostras FL-35, FL-36, SP01-04, SP01-05 e SP01-06 gerou 42 amostras, todas na fração $-100+200$, sendo que a amostra estudada do furo SP01-05 correspondeu a fração $-48+100$. Como os produtos flutuados das amostras de frentes de lavra FL-04, FL-05 e FL-07 foram caracterizados quanto à quantificação de minerais carbonáticos e desejava-se conhecer a mineralogia completa dessas frentes, os seus produtos afundados também foram descritos. O Anexo XIII apresenta as descrições sob microscópio estereoscópio dessas amostras acima citadas.

A fim de comparar os dados de análises químicas por XRF dos produtos flutuados da fração 100 (dados obtidos da empresa) com os produtos flutuados não magnéticos da fração 200, confeccionou-se a tabela 8. Por se tratar de frações diferentes e considerando-se, também, possíveis erros de preparação das amostras e analíticos, os resultados não foram semelhantes e muito representativos.

Tabela 8: Resultados da análise química das amostras FL's e SP's

Teor	P ₂ O ₅	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	S	PF	SOMA
Amostra	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
SP01-04F	0,28	44,6	6,68	0,59	5,62	0,82	0,28	0,52	0,03	39,60	99,02
SP01-04FNM	8,83	47,25	3,74	0,24	1,47	0,19	0,21	0,13	0,032	0	62,092
SP01-05F	0,20	43,70	6,39	0,53	6,05	1,30	0,29	0,88	0,03	38,40	97,77
SP01-05FNM	0,50	51,30	3,09	0,18	0,73	0,11	0,22	0,09	0,012	0	56,232
SP01-06F	0,29	48,9	4,26	0,48	2,11	0	0	0	0,05	41,80	97,89
SP01-06FNM	6,81	46,67	4,84	0,30	2,19	0,52	0,22	0,28	0,02	35,20	97,05
FL-35F	2,39	49,34	3,32	0,75	1,56	0	0	0	0,10	39,17	96,63
FL35FNM	1,86	51,26	2,77	0,28	0,53	0,04	0,19	0,04	0,048	42,03	99,048
FL-36F	1,14	46,17	7,85	0,53	0,86	0,10	0,17	0,01	0	42,67	99,50
FL36FNM	6,44	47,37	6,87	0,82	0,61	0,02	0,18	0,01	0	37,10	99,42

SP01-04F = produto flutuado na fração 100

SP01-04FNM = produto flutuado não magnético na fração 200

NM = não magnético

PF = perda ao fogo

Valores em vermelho: não foi possível análise química

Os valores de P₂O₅ nas amostras SP-01-04, SP-01-06 e FL-36 foram muito discrepantes, principalmente no produto não magnético, onde este teor aumentou em valores superiores a 5,0%. Isso não deveria acontecer, visto que a apatita, mineral portador de P₂O₅, concentra-se, principalmente, no produto afundado. Entretanto, para os outros elementos analisados, a diferença não foi tão significativa, salvo o teor de SiO₂ nas amostras SP-01-04 e SP-01-05 (diferença de, aproximadamente, 4,0%) e de K₂O na amostra SP-01-05 (diferença de 0,8%).

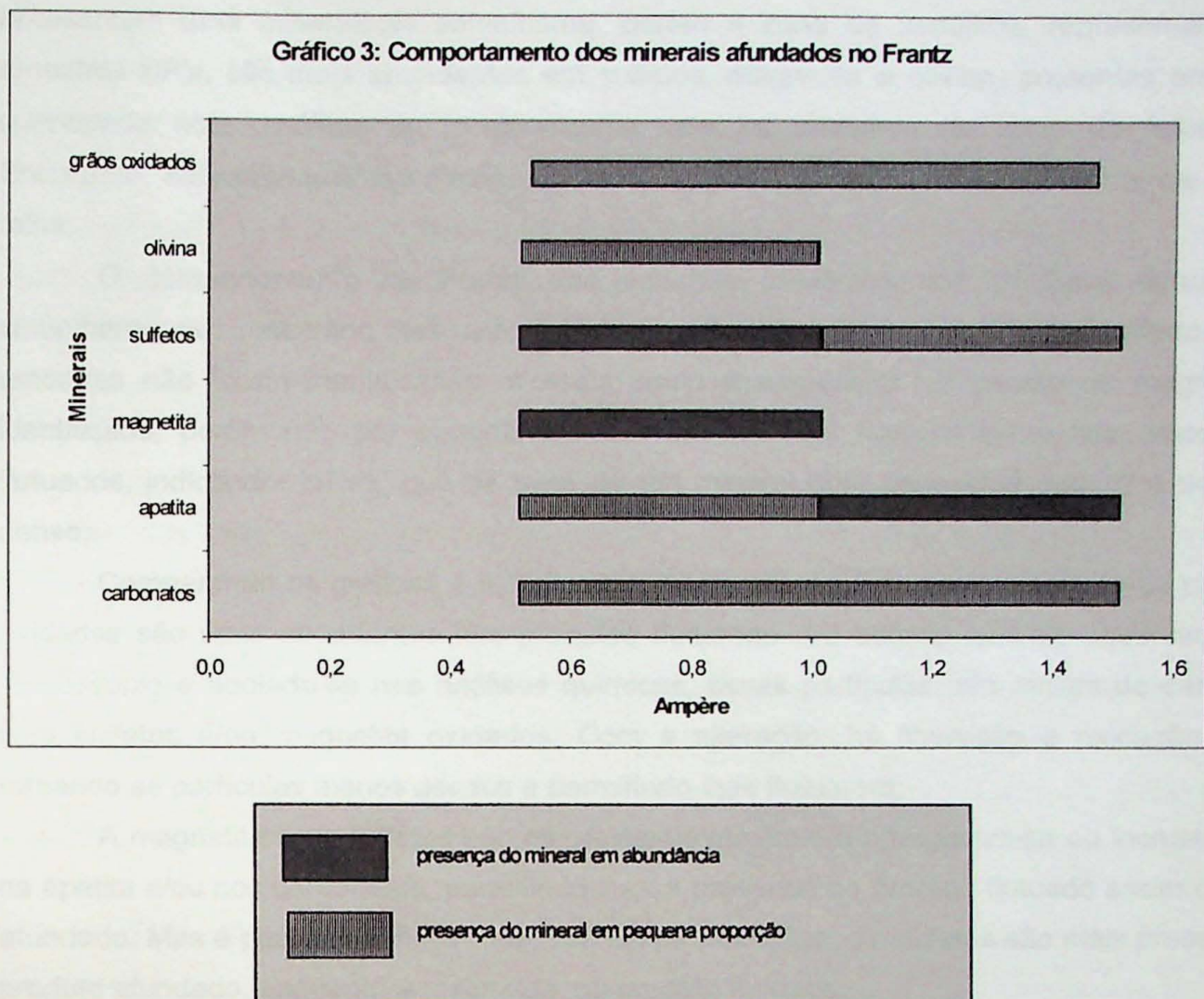
Com a separação magnética, o teor de CaO aumentou em todas as amostras, com exceção da SP-01-06, e o teor de Fe₂O₃ diminuiu em todas também, salvo a FL-36. Este padrão era esperado, pois tratando-se dessa separação, há uma concentração maior de CaO no produto não magnético, enquanto de Fe₂O₃, no magnético.

O MgO e o SiO₂ só aumentaram na amostra SP-01-06. Era aguardado um comportamento diferente em todas as amostras, devido ao fato de os principais minerais que se concentram no produto flutuado (micas e carbonatos) serem portadores destes elementos.

No que diz respeito às amostras de produtos afundados, é apresentado, de forma sumária, a descrição sob microscópio estereoscópio (Anexo XIII), visto que não foi possível um trabalho de maior detalhamento em função do tempo.

Os Anexos XIV e XV, apresentam respectivamente, o balanço de massa e a assembléia mineralógica obtidos em cada separação. A partir da análise da assembléia mineralógica dos produtos afundados foi possível construir o gráfico 3, que demonstra o comportamento dos

minerais com densidade alta no aparelho Frantz.



Verifica-se que, os sulfetos e a magnetita apresentam maior susceptibilidade magnética entre 0,5 e 1,0A, estando os sulfetos também presentes entre 1,0 e 1,5A, porém, em menor quantidade.

Já os carbonatos e as partículas oxidadas estão presentes em toda a faixa de amperagem aplicada, porém, não são abundantes. A presença de carbonatos nos produtos afundados é explicada apoiando-se nas descrições em microscópio, onde se observa partículas mistas de carbonatos com sulfetos e/ou magnetita (ambos com alta susceptibilidade magnética) em grande quantidade ou agregados à apatita. As partículas oxidadas atingem sua maior proporção em 1,5A. A olivina é encontrada entre 0,5 e 1,0A, entretanto não é tão abundante em 1,0A.

A apatita, mineral predominante nos produtos afundados, aumenta sua proporção a medida que aumenta a amperagem, tomando-se ainda mais concentrada no produto não magnético. Sua faixa de maior susceptibilidade magnética é a partir de 1,0A.

A partir desses resultados, verifica-se que as amostras das zonas de xenólitos e de falha apresentam uma mineralogia semelhante, porém a zona de xenólitos, representada pelas amostras SP's, são mais abundantes em sulfetos, magnetita e olivina, presentes em grande quantidade nos xenólitos de jacupiranguito, que as amostras da zona de falha (FL's). Entretanto, são escassas em micas, como a flogopita, que já é mais abundante na zona de falha.

O comportamento no Frantz dos minerais presentes nos produtos flutuados foi semelhante ao observado nas amostras para quantificação de dolomita, contudo, nestas amostras não foram identificados minerais como a serpentina. O silicato de magnésio foi identificado, porém não em abundância. Ele esteve mais representativo nas amostras de flutuados, indicando, talvez, que se trate de um mineral com densidade inferior a do líquido denso.

Comparando os gráficos 1 e 3 de comportamento no Frantz, nota-se que as partículas oxidadas são mais abundantes nos produtos flutuados. De acordo com as observações em microscópio e apoiado-se nas análises químicas, essas partículas são mistas de carbonatos com sulfetos e/ou magnetita oxidados. Com a alteração, há liberação e oxidação de Fe, tornando as partículas menos densos e permitindo-lhes flutuarem.

A magnetita e os sulfetos são os principais minerais a agregarem-se ou incrustarem-se na apatita e/ou nos carbonatos, permitindo-lhes a presença no produto flutuado assim como no afundado. Mas é possível verificar que, sob estas condições, os sulfetos são mais presentes no produto afundado, enquanto a magnetita, no produto flutuado.

A presença de apatita e de carbonatos é constante nos produtos afundados e flutuados, pois estes minerais agregam-se, formando partículas mistas e permitindo aos carbonatos "carregarem" a apatita na separação por densidade e vice-versa. Com isso, explica-se a presença em menor proporção de carbonatos nos produtos afundados e da apatita nos produtos flutuados.

Relacionando o gráfico 3 com o gráfico 2 do Anexo IX (Zussman, 1977), o qual foi comparado com o gráfico 1, verifica-se mais uma vez que a susceptibilidade magnética descrita corresponde à da literatura. Como o gráfico 3 corresponde aos produtos afundados, pode-se fazer uma análise mais completa em relação as propriedades magnéticas dos minerais presentes na mina, e perceber que os dados referentes a apatita (maior susceptibilidade magnética a partir de 1,0A) corresponde à da literatura. Os sulfetos que aparecem em menor proporção e na faixa de 1,0A, devem corresponder, provavelmente, a pirita e a calcopirita, sulfetos estes também encontrados no Morro da Mina.

7.3. Amostras de Rejeito da usina de beneficiamento

Amostras de rejeito foram coletadas no período de 23 de abril a 08 de maio e no intervalo de duas em duas horas, gerando 12 amostras diárias, que englobaram 13 pilhas de homogeneização de minério britado (P1272 a P1284). Os dados de teores de fosfato destas amostras foram tabelados e, a partir de sua avaliação crítica foram selecionadas amostras de rejeitos com teores variados de 0,6 a 1,4% de P_2O_5 , correspondentes a cinco diferentes pilhas de homogeneização de minério de alimentação da usina.

A escolha das amostras para caracterização objetivou representar as variações de teores, desde baixos valores (0,6 e 0,8% de P_2O_5) a valores altos (1,0 a 1,4% de P_2O_5), tendo-se procurado compreender estas variações através do detalhamento mineralógico. Observou-se a assembléia mineralógica do rejeito, a relação entre os minerais (associações e inclusões), grau de liberação da apatita e sua distribuição nas faixas granulométricas, estado de alteração e recobrimentos superficiais e a quantificação dos carbonatos no rejeito.

As 5 pilhas escolhidas para representar estes teores foram: P1273, P1274, P1276, P1281 e P1283. Os Anexos XVI a XX correspondem aos mapas de cada pilha (respectivamente, P1273, P1274, P1276, P1281 e P1283) com seus respectivos tipos de minério e localização dentro da mina. A composição das amostras é apresentada na tabela 9.

Tabela 9: Relação de amostras de rejeito caracterizadas

Pilhas (amostras)	Data	Amostras (horas)	Total de amostras*	Teor P_2O_5 (%) (aproximado)
P1273	24/04/01	16, 18, 20, 22, 24	8	0,8
	25/04/01	2, 4, 6		
P1274	25/04/01	24	8	0,6
	26/04/01	2, 4, 10, 16, 18, 20, 22		
P1276	28/04/01	24	7	1,2
	29/04/01	2, 4, 6, 8, 10, 12		
P1281	05/05/01	4, 6, 8, 10, 12	5	1,0
P1283	07/05/01	16, 18, 20	3	1,4

*total de amostras selecionadas que compuseram as amostras representativas de cada pilha

A pilha P1273 é um exemplo de como foram preparadas as amostras de rejeito: esta pilha teve o início de retomada para a usina às 8h do dia 24 de abril e terminou às 10h do dia 25 de abril, gerando 14 amostras neste período. Entre estas 14 amostras algumas se referiram a misturas com minério remanescente da pilha anterior, tendo-se selecionado 8 amostras (das 16h do dia 24/04 às 6h do dia 25/04) que apresentaram teores em torno de 0,8% de P_2O_5 .

Seguindo o esquema de preparação adotado, as frações das malhas 48, 100, 200, 400 e lama de cada amostra foram homogeneizadas compondo a amostra que representou o rejeito da pilha P1273 por faixa granulométrica.

As frações -100+200# e -200+400# e a lama foram submetidas somente a análise química por fluorescência de raios X. As amostras das malhas 48 e 100 foram submetidas ao ensaio por densidade e os produtos gerados (afundados e flutuados) foram descritos ao microscópio estereoscópio e, posteriormente, analisados quimicamente por fluorescência de raios X (os produtos afundados e flutuados apresentaram pouca massa, ou seja, menos que 15,0g, necessitando assim, de análise química por via úmida). Os resultados das análises químicas estão no Anexo VI e as descrições ao microscópio estereoscópio no Anexo VII.

No Anexo XXI (porcentagem de peso acumulada nas frações granulométricas), verifica-se que a fração -48+100 de todas as amostras de rejeito estudadas concentrou o maior percentual em peso, aproximadamente 35%, seguida das frações -35+48, -100+200, -200+400 e, por último a lama. Todas as amostras mantiveram um mesmo padrão de distribuição nas frações, principalmente quanto à lama com massa inferior a 5%. Com exceção à amostra P1276, onde a fração -200+400# apresentou maior peso que na fração -100+200#.

Observa-se também neste Anexo que o teor de P_2O_5 é maior na fração retida em 48# em todas as amostras, decrescendo para as outras malhas e voltando a aumentar na lama. Os teores de Fe_2O_3 e o Al_2O_3 aumentam conforme diminui a granulometria; o MgO está mais concentrado nas malhas -100+200, -200+400 e lama, e o CaO na malha +48, com exceção da pilha P1274, onde se concentra na malha -200+400. Estas observações estão bem evidentes nos gráficos (% P_2O_5 x fração e %peso x fração) que seguem no Anexo XXII.

O Anexo XXIII, apresenta a distribuição de P_2O_5 e MgO nas frações granulométricas. O padrão observado, com exceção da P1281, é de todas as amostras apresentarem maior conteúdo de P_2O_5 na fração +48#, em torno de 40 a 50%. Apenas a amostra P1281 mostrou maior distribuição na fração -48+100#.

Já o conteúdo de MgO é maior na fração -48+100#. Este padrão é observado para todas as amostras, observando-se uma média de 36% de MgO nesta fração e menos de 4% na lama.

Por essas amostras corresponderem a pilhas de homogeneização, elas foram compostas por diferentes tipos de minério, algumas vezes, minérios de zonas críticas da mina, como por exemplo, a zona de xenólitos. A tabela 10 mostra a composição das pilhas.

Tabela 10: Tipos de minério que compuseram as pilhas

Amostras	Tipos de minério (%)					Alimentação da usina	
	Z. xenólitos	Z. falha	Calcítico	Dolomítico	outros*	P ₂ O ₅ (%)	MgO (%)
P1273	79,36	--	--	16,84	3,8	5,00	7,52
P1274	9,52	--	38,94	42,46	9,08	5,14	7,79
P1276	48,14	--	15,51	23,94	12,41	4,68	5,60
P1281	48,40	--	1,61	36,22	13,77	5,17	10,12
P1283	100,00	--	--	--	--	4,62	7,66

Dados calculados de acordo com o banco de dados da empresa. (*estoque)

Essas regiões críticas apresentam características geológicas particulares, variando a granulometria, coloração, textura e grau de liberação da apatita. A apatita por sua vez, pode apresentar-se limpa e liberada ou agregada aos carbonatos; pode ser incolor ou esverdeada, com ou sem incrustações e recobrimentos de óxidos de ferro e sulfetos.

Quando este mineral é submetido a separação por líquido denso como o TBE, ele tende a afundar por apresentar densidade maior que a do líquido. Através da análise do Anexo XXIV, que apresenta a distribuição de P₂O₅ nos produtos desta separação, observa-se o grau de liberação de P₂O₅ nos produtos afundados, e constata-se que na fração -48+100, com exceção da P1274, todas as amostras apresentam apatita liberada, em torno de 73%. Já na fração -35+48, apenas as amostras P1273 e P1276 apresentam alguma apatita liberada, em torno de 60%. As amostras P1274, P1281 e P1283 só apresentam partículas mistas, ou seja, apatita não liberada, pois o teor de P₂O₅ se situa entre 34 e 55%, enriquecendo o produto flutuado. Isto pode ser observado no Anexo VII de descrição do rejeito.

Relacionando o grau de liberação de P₂O₅ nos produtos afundados da malha 48 com o da malha 100, nota-se que o P₂O₅ apresenta menos liberado na malha 48 do que na malha 100. As amostras P1273 e P1274 apresentaram boa distribuição de P₂O₅ em ambas as frações. As amostras P1281 e P1283 só apresentaram grau de liberação alto na fração -48+100. Já a amostra P1274 não apresentou boa distribuição de P₂O₅ em nenhuma das malhas. A solução para tal, talvez fosse uma remoagem da malha 48.

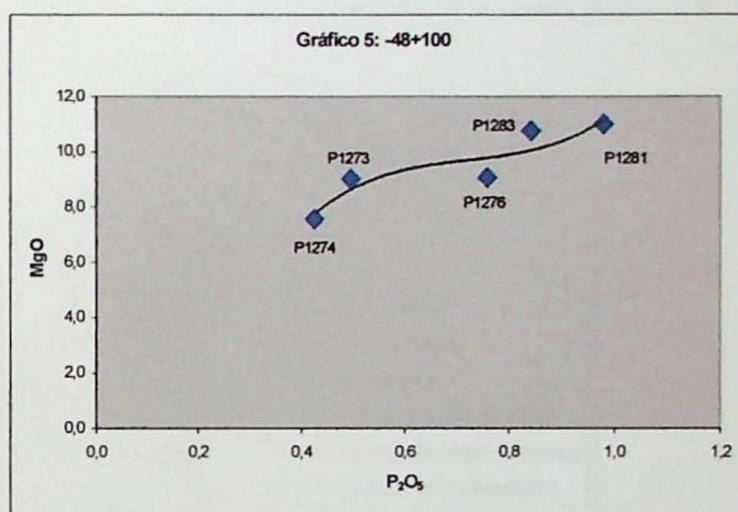
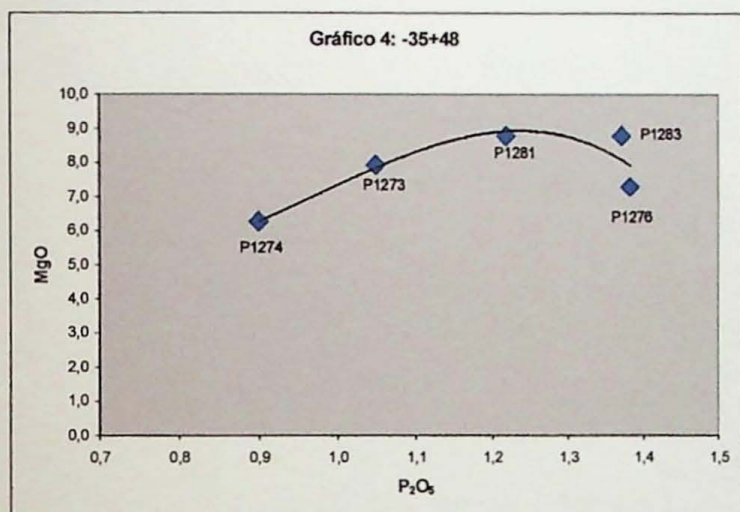
O Anexo XXIV também fornece informações da distribuição de MgO nos produtos afundados e flutuados. Na malha 48, as amostras P1273, P1281 e P1283 apresentaram semelhante distribuição de MgO no produto flutuado, atingindo, aproximadamente 80%, e na amostra P1276 apresentou 75%. A amostra P1274 não obteve dados químicos do produto afundado.

Já na malha 100, as amostras P1273 e P1283 obtiveram uma distribuição de MgO semelhante, em torno de 78% no produto flutuado. Outra distribuição parecida foi entre as amostras P1276 e P1281, com aproximadamente 66% de MgO. Mas a amostra que obteve

maior distribuição de MgO foi a P1274, com 87% no produto flutuado.

Quanto ao MgO, ele obteve melhor distribuição na malha 48. No caso da malha 100, só as amostras P1276 e P1281 apresentaram uma baixa distribuição. As amostras que não apresentaram boa distribuição de P_2O_5 , apresentaram boa distribuição de MgO, e vice-versa. Isso se deve a apatita estar agregada às partículas de carbonatos (ver descrição no Anexo VII e fotografias Anexo XXV). Por outro lado, mesmo o MgO sendo em sua maior parte na forma de carbonatos, este pode ser encontrado também na forma de micas (mineral este que também apresenta MgO em sua composição). Estes dois minerais, que apresentam apatita agregada, também podem afundar no ensaio por densidade, mas em menor proporção que no produto flutuado.

Relacionando os teores de P_2O_5 e de MgO dos gráficos 4 e 5, nas frações -35+48 e -48+100, observa-se comportamentos diferentes.



Na malha 100 foi possível traçar uma reta média ascendente entre os teores de P_2O_5 e MgO, onde os teores de P_2O_5 variaram de 0,4 a 1,0% e o de MgO de 7,0 a 11,0%, mostrando que, o aumento do teor de P_2O_5 é diretamente proporcional ao aumento de MgO, e vice-versa. Já na malha 48 não foi possível traçar uma reta média, pois a amostra P1276 não seguiu o padrão observado na malha 100, com isso, traçou-se uma semi parábola.

O Anexo VI apresenta a tabela completa de análise química das amostras P1273, P1274, P1276, P1281 e P1283 nas malhas 48, 100, 200, 400 e lama, quanto aos elementos P_2O_5 , MgO, SiO_2 , CaO, Fe_2O_3 , TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , SO_3 e perda ao fogo. Algumas amostras de afundados não puderam ser analisadas por não obterem massas suficientes para a análise. É o caso das amostras com resultados em vermelho. Todas as amostras das frações 48 e 100 tiveram seus valores ponderados entre os produtos flutuados e afundados.

Os gráficos 6 e 7, colaboram na observação das variações dos teores de P_2O_5 nas

diversas frações e respectivas pilhas.

Gráfico 6: P_2O_5 x Pilhas

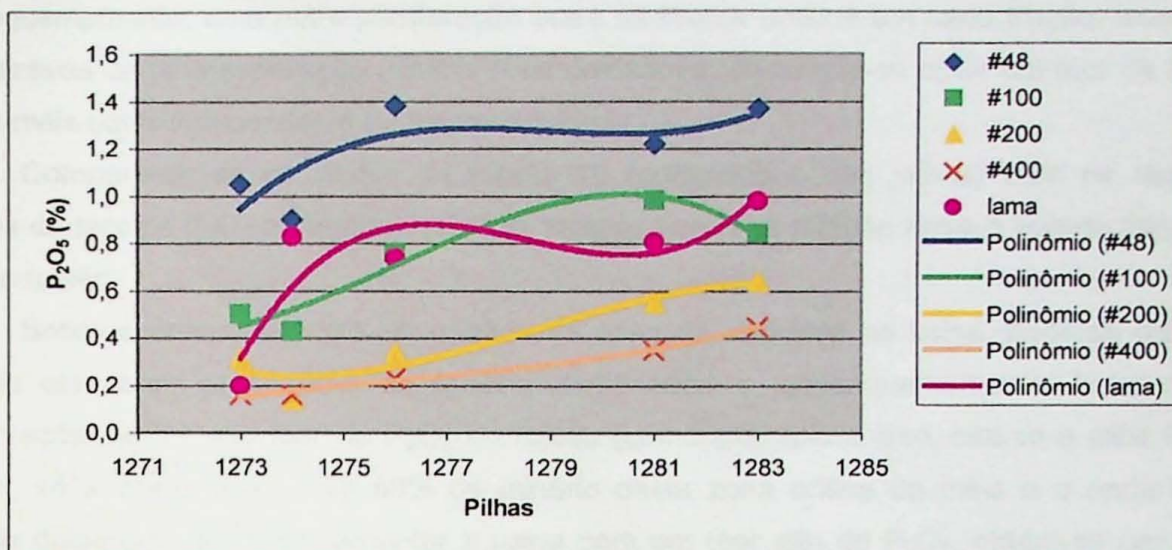
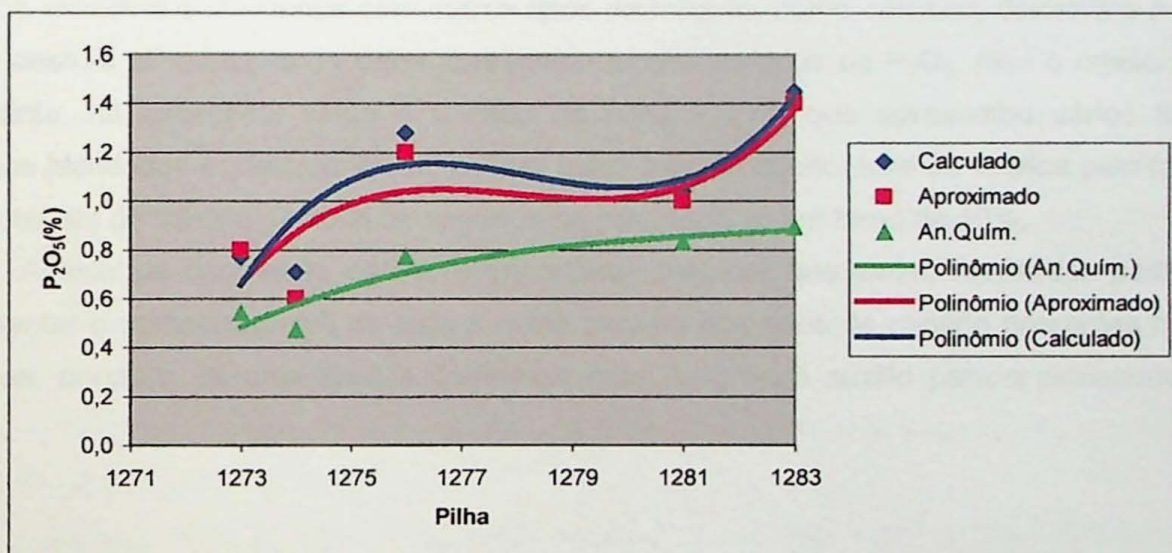


Gráfico 7: P_2O_5 x Pilhas



O gráfico 6 fornece a relação entre o teor de P_2O_5 nas frações 48, 100, 200, 400 e lama *versus* as amostras de pilhas. Através dele pode-se observar com mais nitidez a concentração de P_2O_5 na malha 48, decrescendo para as frações lama, 100, 200 e 400. No caso da lama, o teor de P_2O_5 é alto devido ao fato do material ser muito fino (-400#) impedindo ao coletor a sua recuperação.

Já o gráfico 7 mostra o comportamento dos valores de P_2O_5 aproximado, calculado e o obtido pela análise química *versus* as amostras de pilhas. O teor da análise química é inferior ao do calculado e aproximado por ocorrer, primeiramente, uma ponderação entre os valores do produto flutuado com o afundado (sendo o valor de P_2O_5 do afundado maior que do flutuado), e

consequentemente, uma outra ponderação entre os teores obtidos em cada fração. Isso mostra que, através de uma separação mineral mais cuidadosa, consegue-se obter um teor de P_2O_5 no rejeito mais baixo independente da fração desejada.

Comparando-se os dados da tabela 10 (composição das pilhas) com os resultados obtidos do teor de P_2O_5 na análise química, identifica-se uma relação entre o tipo de minério e o teor do rejeito.

Sobre o comportamento do minério da zona de xenólitos na usina, pode-se dizer que, quando ela opera com 100% de minério desta zona e, consequentemente, baixo teor de alimentação, obtém alto teor de P_2O_5 no rejeito (como exemplo a isso, cita-se a pilha P1283). Porém, se a usina opera com 80% de minério desta zona crítica da mina e o restante com minério dolomítico, além de alimentar a usina com um teor alto de P_2O_5 , obtém-se um teor do rejeito baixo (isso foi observado na pilha P1273).

As pilhas P1276 e P1281 foram compostas com, aproximadamente, 50% de minério da zona de xenólitos e blendadas com outros tipos de minério, como calcítico, dolomítico e outros. Neste caso, a alimentação da usina apresentou teores variados de P_2O_5 , mas o rejeito foi alto. Entretanto, há exceções, como é o caso da pilha P1274, que apresentou vários tipos de minérios blendados e, mesmo assim, obteve baixo teor de rejeito. Isso se explica pelo fato de a porcentagem de minério da zona de xenólitos na pilha ter sido em torno de 10%.

Apesar da correlação obtida, é importante destacar que esses resultados podem não representar o comportamento de toda a usina perante aos tipos de minério presentes na mina. Trata-se, portanto, de uma análise preliminar, mas de grande auxílio para o planejamento de lavra.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho obteve importantes dados sobre os tipos de minério das zonas críticas da mina e do rejeito da usina. Estes dados estarão vinculados ao planejamento de lavra bem como à usina de beneficiamento do minério. Obteve-se um maior conhecimento da assembléia mineralógica da jazida, através da correlação das características mineralógicas do minério e dos minerais acessórios e seu desempenho na usina.

Os resultados do detalhamento mineralógico do minério e sua correlação com o desempenho na usina, fornecerão subsídios para a otimização na usina de ácido fosfórico.

Otimizaram-se os procedimentos de separação mineral já existentes e implementaram-

se novas rotinas importantes à caracterização tecnológica, como a separação magnética no aparelho Frantz.

A comparação entre os flancos SE e NW da zona de falha, mostrou comportamento mineralógico semelhante, sendo constituídos, principalmente, de carbonatos esbranquiçados, translúcidos, com brilho resinoso e hábito granular a romboédrico; apatita incolor a esverdeada, transparente, brilho vítreo, muitas vezes conservando o hábito prismático após a moagem/britagem. A flogopita apresentou-se acastanhada a esverdeada, transparente, com hábito placoso e brilho vítreo. Subordinadamente, foram encontradas serpentina (esbranquiçada, translúcida, com brilho sedoso e hábito fibroso) e olivina (esverdeada, transparente, granular de brilho vítreo), estando, às vezes, com porções serpentizadas.

A magnetita e os sulfetos freqüentemente são encontrados como inclusões/incrustações em partículas de apatita, ou como incrustações em carbonatos. As observações feitas sugerem que a coloração alaranjada mostrada pelos carbonatos e pela apatita seja decorrente de alteração (lixiviação/dissolução) destes minerais. Esse fato é corroborado pela presença de películas superficiais de coloração avermelhada por vezes presentes na magnetita e sulfetos.

Na Zona de Falha, os carbonatos e a apatita encontram-se com esses recobrimentos superficiais de oxidação, apresentando-se com coloração alaranjada ou avermelhada. Os carbonatos e a apatita têm uma relação muito íntima, formando partículas agregadas entre si, que foi observada em todas as amostras, seja de minério ou de rejeito. Partindo-se da premissa que a apatita é a portadora do fosfato e agrega-se aos carbonatos, eles representam um dos principais contaminantes na usina de tratamento, impedindo uma boa recuperação da apatita no processo de concentração. Este comportamento foi observado sob microscópio e interpretado nas análises químicas.

Nas amostras do rejeito da usina verificou-se as mesmas características descritas acima. Contudo, o principal minério que alimentou a usina no período de estudo foi o da Zona de Xenólitos. Além dos minerais acima citados, notou-se a presença de piroxênios e abundância de sulfetos e olivina nas amostras do rejeito. A partir desses resultados, nota-se que a influência dos corpos de jacupiranguitos, que compõem esta Zona, é muito marcante, por ser muito rico em piroxênios, olivina, sulfetos, entre outros minerais, como encontrado nas amostras da usina.

Como desejava-se diagnosticar as causas dos altos teores de P_2O_5 no rejeito da usina, levantou-se vários parâmetros para o entendimento do problema, como a assembléia mineralógica, a relação entre os minerais (associações e inclusões), grau de liberação e distribuição da apatita nas faixas granulométricas, além do estado de alteração e recobrimentos superficiais nos minerais. As observações mesmo preliminares, serão de grande auxílio para a

otimização do beneficiamento do minério.

Os dados obtidos indicam que os procedimentos utilizados para a separação mineral foram excelentes, principalmente com a utilização da separação magnética pelo aparelho Frantz após a separação por densidade. Com esta separação, obtiveram-se amostras purificadas e pode-se estabelecer com exatidão o campo de maior susceptibilidade dos minerais, conseqüentemente, análise química mais representativa para fins de cálculos estequiométricos. Entretanto, esta separação foi melhor com amostras na fração granulométrica -100+200# devido à maior liberação das partículas, onde puderam ser estabelecidas, também, as faixas de amperagem e inclinações frontal e lateral ideais para cada tipo de amostra.

Essas considerações finais são de suma importância à empresa, visto que estarão atreladas diretamente ao processo de tratamento do minério, e auxiliarão, futuramente, na elaboração de um modelo tecnológico da mina.

9. 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, TF99/011. USP. São Paulo.
- C.B.M.M. (1984) – Complexos carbonatíticos do Brasil: geologia. Departamento de Geologia. São Paulo.
- D.N.P.M. (2000) – Sumário Mineral 2000. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral.
- Felicíssimo Jr., J. (1968) – Carbonatitos do Estado de São Paulo. An. Acad. Bras. Ci., vol. 40 (sup), páginas 93-117.
- Gaspar, J.C. (1989) – Geologie et Mineralogie du Complexe Carbonatitique de Jacupiranga, Bresil. França. Tese de doutoramento apresentada a U.E.R. de Sciencies Fondamentales et Apliques de la Universite D'Orleans.
- Gomes, C.B., 1984. Técnicas Analíticas Instrumentais Aplicadas à Geologia. São Paulo, Blücher, Pró- Minério.
- Guia de visita à jazida de minério apatítico de Cajati, SP. (2000). Texto elaborado pela Bunge Fertilizantes S.A.
- Heinrich, E.W. (1980) – The geology of carbonatites. The university of Michigan. New York.

- Hess, H.H., (1966) – Notes on operation of Frantz isodynamic magnetic separator. Princeton University, USA.
- Hutchison, C.S. (1974) – Laboratory handbook of petrographic techniques. University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Klein, C., Hurlbut Jr., C.S. (1997) – Manual of mineralogy. After J. D. Dana. 2ª edição.
- Kapustin, Y.L. (1971) – Mineralogy of carbonatites. Moscow.
- Melcher, G.C. (1965) – O carbonatito de Jacupiranga. Boletim nº282, Geologia nº21, São Paulo.
- Menezes Jr., L.A.D., Martins, J.M. (1984) – The Jacupiranga Mine, São Paulo, Brazil. The Mineralogical Record, september-october, páginas 261 a 270.
- Parfenoff, A., Pomerol, C., Tourenq, J. (1970) – Les minéraux en grains: méthodes d'étude et détermination. Paris.
- Ruberti, E., Marguti, R.L., Gomes, C.B. (1992) – O Complexo Carbonatítico de Jacupiranga, SP: informações gerais. Roteiro de excursão. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37. São Paulo.
- Sant'Agostino, L.M., Kahn, H. (1997) – Metodologia para caracterização tecnológica de matérias-primas minerais. Boletim técnico PMI-37/97 da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Minas.
- Takata, L.A., Assis, J.M.N. Caracterização de minérios aplicada ao planejamento e controle de lavra de fosfato. Relatório interno da empresa Arafertil S.A., Araxá, MG.
- Zussman, J. (1977) – Physical methods in determinative mineralogy. Department of Geology. University of Manchester, England.

10. ANEXOS

- I. Descrição das amostras FL's geradas pela separação magnética
- II. Resultados das amostras FL's na separação no Frantz
- III. Balanço de massa das amostras FL's geradas pela separação magnética
- IV. Assembléia mineralógica dos produtos FL's na separação no Frantz
- V. Diagrama de blocos das operações da usina de tratamento
- VI. Resultados das análises químicas do rejeito da usina
- VII. Descrição das amostras do rejeito na separação por densidade
- VIII. Mapa de localização das frentes de lavra FL-01, FL-02, FL-04, FL-05, FL-07, FL-12 e FL-14
- IX. Gráfico 2 (Compilado de Zussman, 1977)
- X. Mapa de localização do furo SP-01
- XI. Seção N-S do furo SP-01
- XII. Resultados das amostras de minério na separação no Frantz
- XIII. Descrição das amostras de minério geradas pela separação magnética
- XIV. Balanço de massa das amostras FL's e SP's
- XV. Assembléia mineralógica das amostras FL's e SP's
- XVI. Mapa de localização dos minérios que compuseram a pilha P1273
- XVII. Mapa de localização dos minérios que compuseram a pilha P1274
- XVIII. Mapa de localização dos minérios que compuseram a pilha P1276
- XIX. Mapa de localização dos minérios que compuseram a pilha P1281
- XX. Mapa de localização dos minérios que compuseram a pilha P1283
- XXI. Porcentagem em peso acumulada nas frações granulométricas das amostras de rejeito
- XXII. Gráficos de %P₂O₅ x fração e %peso x fração das amostras de rejeito
- XXIII. Distribuição de P₂O₅ e MgO nas frações granulométricas das amostras de rejeito
- XXIV. Distribuição de P₂O₅ e MgO nos produtos flutuados e afundados das amostras de rejeito
- XXV. Fotografias sob microscópio estereoscópio das amostras de rejeito

ANEXO I

DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS FLUTUADOS DAS FL's GERADOS NA SEPARAÇÃO MAGNÉTICA

A separação magnética no aparelho Frantz das sete amostras FL's gerou 40 amostras, que englobam desde produtos magnéticos a não-magnéticos. O procedimento das separações (campo magnético, ângulos frontal e lateral aplicados) encontra-se resumido no Anexo II. Em função destas amostras terem apresentado composição mineralógica semelhantes, esta tabela reflete, de forma sumária, as principais características observadas na descrição microscópica estereoscópica dos campos magnéticos aplicados. No Anexo IV estão os minerais mais abundantes nos produtos das separações.

PRODUTOS	OBSERVAÇÕES RELEVANTES
Não-magnéticos	Predominam os minerais carbonáticos sem inclusões e liberados. Presença de apatita sem inclusões, ora liberada ora agregada aos carbonatos. Há pouquíssimos grãos de magnetita e sulfetos, e estes, encontram-se somente sob a forma de incrustações nos carbonatos e na apatita.
0,25 a 0,5A ¹	Predominam os minerais carbonáticos e apatita com incrustações de magnetita e sulfetos. A magnetita e os sulfetos podem ser encontrados tanto sob a forma liberada como agregada. A apatita apresenta-se agregada aos carbonatos. Alguns grãos de apatita e de carbonatos, estão recobertos por uma fina camada avermelhada de produto de alteração, provavelmente da magnetita, pois este mineral encontra-se medianamente alterado.

0,5 a 0,75A	Sulfetos e magnetita encontram-se, principalmente, sob a forma de incrustações nos carbonatos e apatita. Presença de grãos oxidados não identificados. Predominam os carbonatos limpos e liberados, mas alguns grãos apresentam apatita agregada. Neste intervalo nota-se a presença de flogopita em proporção considerável em relação a outra faixa, às vezes, mais abundante que os carbonatos. Alguns grãos de carbonatos e apatita recobertos por produto de alteração.
0,75 a 1,25A	Predomina a flogopita, que varia da coloração acastanhada a verde escuro. A flogopita e a apatita encontram-se, em menor proporção, agregadas aos carbonatos. Sulfetos e magnetita encontram-se, principalmente, sob a forma de incrustações nos carbonatos. Os carbonatos presentes estão, em maior proporção, sem inclusões e liberados.
1,25 a 1,5A	Pouquíssimos grãos de carbonatos e apatita com incrustações de magnetita e sulfetos. Predomina a flogopita, e há um aumento considerável de apatita não liberada dos carbonatos neste intervalo. Nota-se a presença de serpentina e a abundância do silicato de magnésio na amostra FL-05. Raríssimos grãos de carbonatos oxidados.
1,5 a 1,9A	Predominam os carbonatos sem inclusões e liberados. Poucos grãos de carbonatos com apatita agregada. Pouquíssimos grãos oxidados. Raríssimos grãos de carbonatos e apatita com incrustações de magnetita. Diminui a proporção de flogopita.

Observações:

- 1) Intervalos de campos magnéticos em ampère.

ANEXO II

RESULTADO DA SEPARAÇÃO MAGNÉTICA DAS AMOSTRAS FL's NO FRANTZ

AMOSTRA: **FL-01F**

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,30	12°	25°
2ª	0,70	12°	21°
3ª	1,20	12°	21°
4ª	1,75	12°	21°

Total* = 5 amostras

AMOSTRA: **FL-02F**

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,30	12°	21°
2ª	0,70	15°	23°
3ª	1,25	15°	23°
4ª	1,50	15°	21°
5ª	1,80	12°	21°

Total* = 6 amostras

AMOSTRA: **FL-04F**

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,30	12°	21°
2ª	0,75	12°	21°
3ª	1,20	13°	23°
4ª	1,90	13°	23°

Total* = 5 amostras

AMOSTRA: **FL-05F**

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,25	12°	23°
2ª	0,50	12°	23°
3ª	0,75	12°	23°
4ª	1,00	10°	23°
5ª	1,25	10°	23°
6ª	1,50	10°	23°
7ª	1,85	10°	23°

Total* = 8 amostras

AMOSTRA: **FL-07F**

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,7	15°	23°
2ª	1,2	10°	23°
3ª	1,7	15°	21°

Total* = 4 amostras

AMOSTRA: **FL-12F**

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	12°	21°
2ª	0,75	12°	21°
3ª	1,2	12°	21°
4ª	1,5	12°	21°

Total* = 5 amostras

AMOSTRA: **FL-14F**

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,25	12°	21°
2ª	0,50	12°	21°
3ª	0,75	12°	21°
4ª	1,00	12°	21°
5ª	1,25	12°	21°
6ª	1,50	12°	21°

Total* = 7 amostras

Total de amostras geradas na separação = 40

FL-01F = Amostra de flutuado

Total* = total de amostras geradas na separação no Frantz, contabilizando o produto não-magnético

ANEXO III

BALANÇO DE MASSA DAS AMOSTRAS FL's

RESULTADO DA SEPARAÇÃO NO FRANTZ (AMPERAGEM)																
Amostras	0,25	0,30	0,50	0,70	0,75	1,00	1,20	1,25	1,50	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	NM	%Peso*
FL-01F		1ª 0,23		2ª 0,3			3ª 1,3				4ª 2,04				96,12	86,6
FL-02F		1ª 0,39		2ª 0,28				3ª 1,42	4ª 0,36			5ª 0,46			97,08	84,2
FL-04F		1ª 0,2			2ª 0,86		3ª 0,76							4ª 0,93	97,24	92,72
FL-05F	1ª 0,91		2ª 1,63		3ª 1,42	4ª 3,27	2ª 1	5ª 3,27	6ª 1,6				7ª 0,87		87,03	73,8
FL-07F				1ª 0,67			2ª 1,04			3ª 1,67					96,67	97,56
FL-12F			1ª 0,47		2ª 0,5		3ª 1,04		4ª 2,15						95,84	88,83
FL-14F	1ª 0,63		2ª 0,72		3ª 0,95	4ª 2,09		5ª 0,95	6ª 0,77						93,89	92,1

*% peso do flutuado na amostra inicial (tal qual)

Para cada amperagem:

1ª coluna refere-se as separações da amostra de flutuado

2ª coluna refere-se a % do peso da amostra de flutuado na separação em questão

FL-01F = Amostra de flutuado com as suas respectivas separações magnéticas

NM = Produto não-magnético

ANEXO IV

ASSEMBLEIA MINERALÓGICA DOS PRODUTOS FLUTUADOS DA SEPARAÇÃO NO FRANTZ

RESULTADO DA SEPARAÇÃO NO FRANTZ (AMPERAGEM)									
Amostras	0,25	0,30	0,50	0,70	0,75	1,00	1,20		
FL-01F		1ª	carb, apat, magn, sul	2ª	carb, apat, flog			3ª	flog, carb, apat
FL-02F		1ª	carb, magn, sul	2ª	flog, carb, sul, magn				
FL-04F		1ª	magn, carb, sul					3ª	carb, apat, flog
FL-05F	1ª			2ª	carb, sil, apat			4ª	flog, sil, carb
FL-07F				1ª	carb, flog, sul			2ª	carb, apat, flog
FL-12F				1ª	carb, flog			3ª	carb, flog, apat
FL-14F	1ª	carb, magn, apat, sul	2ª	carb, magn, apat, sul	3ª	apat, magn, carb			

RESULTADO DA SEPARAÇÃO NO FRANTZ (AMPERAGEM)									
Amostras	1,25	1,50	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90		NM
FL-01F				4ª	carb, flog				carb
FL-02F	3ª	carb, apat, flog							carb, apat
FL-04F					5ª	carb, magn, flog			carb
FL-05F	5ª	flog, sil, carb					4ª		carb
FL-07F						7ª	carb, sil, apat		carb, sil
FL-12F			3ª						carb
FL-14F	5ª	carb, flog							carb, apat

Para cada amperagem:

1ª coluna refere-se as separações da amostra de flutuado

2ª coluna refere-se ao mineral predominante na separação em questão

Obs. Os minerais estão em ordem decrescente de proporção

Porcentagem calculada por estimativa visual

FL-01F = Amostra de flutuado com as suas respectivas separações magnéticas

NM = Produto não-magnético

Legenda:

carb = carbonatos

apat = apatita

magn = magnetita

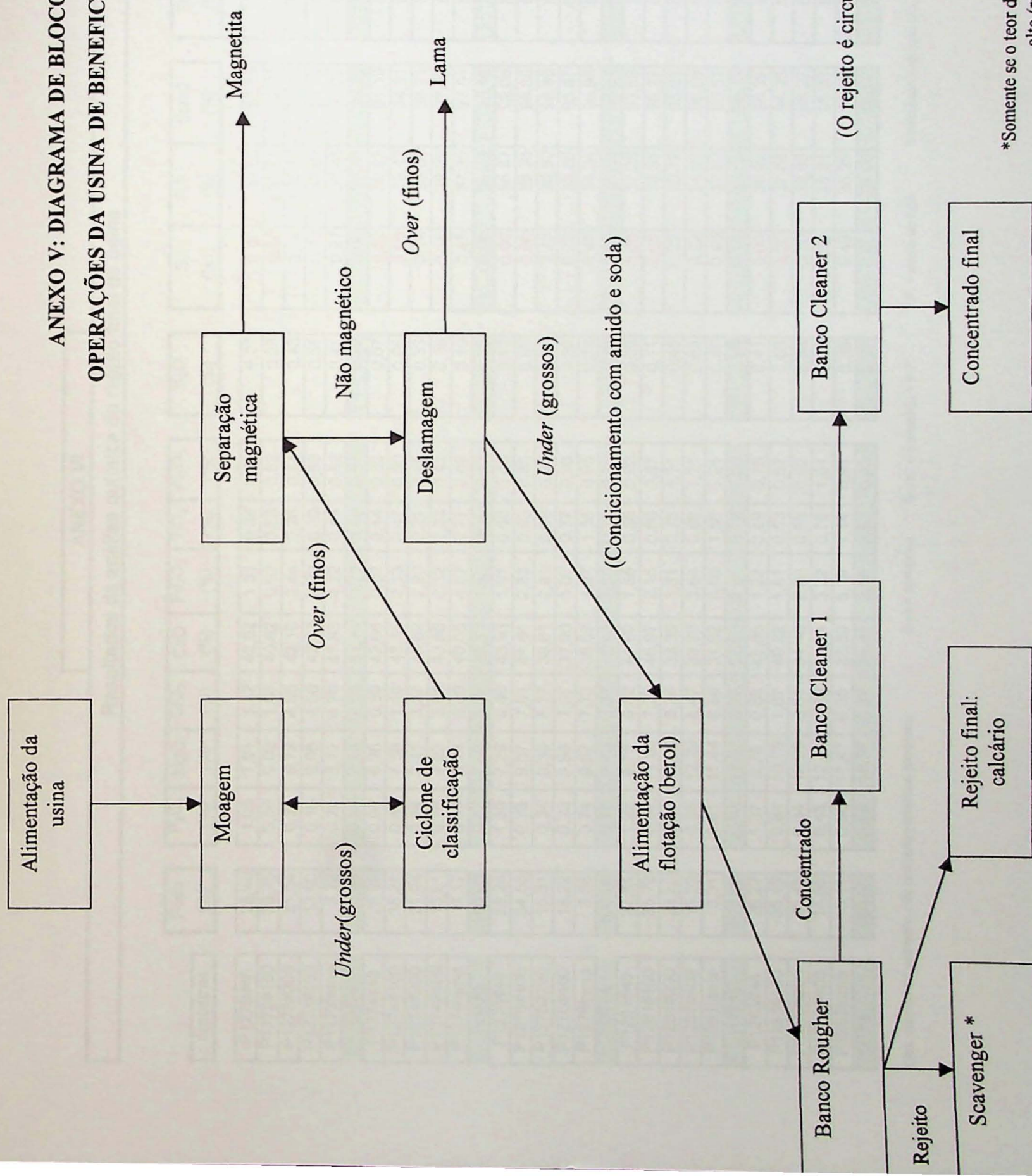
sul = sulfetos

flog = flogopita

sil = silicato Mg

serp = serpentina

ANEXO V: DIAGRAMA DE BLOCOS DAS OPERAÇÕES DA USINA DE BENEFICIAMENTO



*Somente se o teor de P_2O_5 do rejeito estiver alto (reflotação)

ANEXO VI

Resultados da análise química do rejeito final da usina

Amostras	Peso (%)	P ₂ O ₅ (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)	CaO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	S (%)	P.F. (%)	Sum2 (%)	Sum (%)	SO ₃ (%)
P1273#48	25,40	1,05	7,91	1,32	42,62	1,31	0,36	0,54	0,07	0,00	38,66	93,85	55,19	0,00
P1273#100	35,75	0,50	9,02	1,06	40,62	0,92	0,53	0,62	0,08	0,00	38,68	92,02	53,35	0,00
P1273#200	21,54	0,31	9,73	4,85	42,16	2,44	0,26	0,54	0,43	0,14	38,72	99,78	61,06	0,34
P1273#400	13,60	0,16	8,98	4,50	42,37	2,59	0,30	0,53	0,51	0,13	38,52	98,79	60,27	0,33
P1273lama	3,72	0,20	8,72	4,70	41,83	4,22	0,49	0,52	0,41	0,27	37,45	99,22	61,77	0,68
TOTAL	100,00	0,54	8,88	2,55	41,74	1,70	0,40	0,57	0,22	0,06	38,62	95,35	56,73	0,14
P1274#48	26,99	0,90	6,26	0,59	42,66	0,62	0,14	0,32	0,07	0,00	39,63	91,19	51,56	0,00
P1274#100	35,28	0,43	7,56	1,18	43,15	2,13	0,47	0,50	0,05	0,00	39,42	94,91	55,48	0,00
P1274#200	21,04	0,14	8,41	3,27	43,62	2,20	0,21	0,45	0,33	0,19	39,60	98,71	59,11	0,48
P1274#400	13,51	0,16	7,83	2,94	43,80	2,32	0,23	0,42	0,38	0,18	39,29	97,82	58,53	0,45
P1274lama	3,17	0,83	8,74	3,89	40,05	4,07	0,77	0,49	0,19	0,45	37,39	97,54	60,15	1,12
TOTAL	100,00	0,47	7,46	1,78	43,11	1,83	0,31	0,43	0,16	0,08	39,43	95,18	55,75	0,20
P1276#48	28,24	1,38	7,29	0,46	43,93	1,61	0,60	0,83	0,12	0,00	35,87	92,08	56,22	0,00
P1276#100	34,55	0,76	9,07	7,61	41,61	2,53	0,93	0,85	0,08	0,00	35,36	98,80	63,44	0,00
P1276#200	15,31	0,34	9,36	6,77	38,61	2,81	0,68	0,83	0,29	0,20	35,60	95,80	60,20	0,51
P1276#400	18,22	0,23	9,53	7,07	37,90	3,07	0,77	0,90	0,36	0,22	35,50	95,87	60,37	0,54
P1276lama	3,68	0,74	9,32	7,73	36,07	4,97	1,35	0,95	0,33	0,46	34,34	96,94	62,60	1,14
TOTAL	100,00	0,77	8,70	5,37	40,93	2,50	0,79	0,85	0,18	0,09	35,53	95,84	60,31	0,22
P1281#48	22,31	1,22	8,78	0,82	41,90	1,55	0,55	0,92	0,60	0,00	37,25	93,58	56,33	0,00
P1281#100	35,79	0,98	11,00	7,22	40,97	2,15	0,66	0,87	0,11	0,00	35,31	99,27	63,96	0,00
P1281#200	23,20	0,55	12,35	8,24	33,39	3,31	0,75	1,11	0,45	0,22	35,12	95,81	60,69	0,54
P1281#400	15,39	0,35	12,29	8,47	33,30	3,54	0,89	1,21	0,53	0,22	34,92	96,06	61,14	0,56
P1281lama	3,31	0,81	11,44	8,84	31,62	5,59	1,56	1,21	0,48	0,48	32,82	95,57	62,75	1,20
TOTAL	100,00	0,83	11,03	6,27	37,93	2,61	0,72	1,00	0,38	0,10	35,56	96,58	61,02	0,25
P1283#48	26,27	1,37	8,78	0,62	45,85	1,22	0,49	0,75	0,41	0,00	36,92	96,39	59,47	0,00
P1283#100	35,49	0,84	10,75	1,67	40,22	1,81	0,53	0,67	0,08	0,00	37,68	94,25	56,57	0,00
P1283#200	20,45	0,64	12,39	6,61	34,46	2,90	0,58	0,92	0,38	0,20	36,83	96,22	59,39	0,51
P1283#400	14,68	0,45	12,01	6,80	34,24	3,22	0,70	1,01	0,45	0,22	36,61	96,05	59,44	0,56
P1283lama	3,11	0,98	11,47	6,95	33,50	5,19	1,14	0,91	0,35	0,49	35,29	97,01	61,72	1,23
TOTAL	100,00	0,89	10,77	3,32	39,43	2,19	0,57	0,80	0,29	0,09	37,08	95,57	58,49	0,22

Obs. valores em vermelho não obtiveram análises completas

Sum = somatória

Sum2 = somatória + P.F.

P.F. = perda ao fogo

S calculado segundo SO₃

ANEXO VII-A: DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS DO REJEITO DA USINA GERADOS NA SEPARAÇÃO POR DENSIDADE

Produto flutuado

AMOSTRAS	MINERALOGIA*	OBSERVAÇÕES
P1273F#48	carbonatos, apatita, flogopita	Predominam os carbonatos esbranquiçados. Há alguns grãos de carbonatos e apatita com porções recobertas por oxidação de coloração alaranjada. A apatita predominante é incolor e agregada aos carbonatos, mas encontra-se também nas cores esverdeada e avermelhada. Presença de alguns grãos oxidados não identificados de coloração avermelhada e alaranjada e raríssimos grãos de olivina e serpentina. A flogopita apresenta-se nas cores acastanhada e esverdeada. Raríssimos grãos de apatita e carbonatos com incrustações de magnetita. A proporção de carbonatos com apatita agregada é de ~25%.
P1274F#48	carbonatos, apatita, flogopita	Predominam os carbonatos esbranquiçados, mas há alguns grãos de carbonatos com porções recobertas por oxidação de coloração alaranjada. A apatita predominante é incolor e agregada aos carbonatos. Presença de alguns grãos oxidados não identificados de coloração avermelhada e alaranjada e pouquíssimos grãos de olivina e magnetita, esta como incrustações nos carbonatos. A flogopita apresenta-se nas cores acastanhada e esverdeada e, raramente, encontra-se agregada aos carbonatos. Possivelmente banita agregada à flogopita. A proporção de carbonatos com apatita agregada é de ~30%.
P1276F#48	carbonatos, apatita, flogopita	Presença de alguns grãos de apatita incolor intercrecidos em grãos de apatita colorida. Predominam os carbonatos esbranquiçados, mas há alguns grãos de carbonatos com porções recobertas por oxidação de coloração alaranjada. A apatita predominante é incolor e agregada aos carbonatos, mas há também grãos de coloração avermelhada. Raríssimos grãos de magnetita como incrustações na apatita e carbonatos. Poucos grãos de olivina e flogopita e pouquíssimos de serpentina. A proporção de carbonatos com apatita agregada é de ~30%.

P1281F#48	carbonatos, flogopita, apatita, olivina	Presença de alguns grãos de apatita colorida, mas predomina a apatita incolor e agregada aos carbonatos. Nota-se alguns grãos de olivina (às vezes, alterando para serpentina), sulfetos e magnetita, mas esta apenas é encontrada como incrustações ou inclusões na apatita. Há vários grãos de carbonatos alaranjados devido a oxidação e grãos oxidados não identificados. A flogopita apresenta-se nas cores acastanhada e esverdeada. A proporção de carbonatos com apatita agregada é de ~35%.
P1283F#48	carbonatos, apatita, flogopita, olivina	Raríssimos grãos de sulfetos e estão agregados aos carbonatos. Predominam grãos de carbonatos esbranquiçados, mas há grãos alaranjados devido a oxidação. A apatita predominante é incolor e agregada aos carbonatos. A magnetita apresenta-se somente sob a forma de incrustações na apatita. Presença de alguns grãos de flogopita acastanhada e esverdeada e olivina. A proporção de carbonatos com apatita agregada é de ~20%.
P1273F#100	carbonatos, apatita	Raríssimos grãos de apatita com incrustações de magnetita. Pouquíssimos grãos de magnetita, flogopita, olivina e oxidados. Alguns grãos de carbonatos de coloração alaranjada devido a oxidação, mas predomina os carbonatos esbranquiçados. A apatita predominante é incolor e agregada aos carbonatos, mas há também grãos de coloração esverdeada e avermelhada. A proporção de carbonatos com apatita agregada é de ~30%.
P1274F#100	carbonatos, apatita	Pouquíssimos grãos de flogopita e serpentina. A magnetita presente é somente sob a forma de incrustações na apatita. Há alguns grãos oxidados de coloração avermelhada não identificados com magnetita e carbonatos agregados. A apatita predominante é incolor e agregada aos carbonatos, mas há também grãos de coloração esverdeada e alaranjada. A apatita colorida é quase sempre liberada. A proporção de carbonatos com apatita agregada é de ~40%.

P1276F#100	carbonatos, apatita	Poucos grãos de carbonatos recobertos por oxidação de coloração alaranjada. Há alguns grãos oxidados não identificados. Pouquíssimos grãos de flogopita e serpentina. A magnetita presente é somente sob a forma de incrustações na apatita. Muitos grãos de coloração avermelhada não liberados dos carbonatos ou com incrustações de magnetita e medianamente alterados. A apatita predominante é incolor e agregada aos carbonatos. A flogopita presente é esverdeada e acastanhada. A proporção de carbonatos com apatita agregada é de ~35%.
P1281F#100	carbonatos, apatita, flogopita	A apatita apresenta-se nas cores esverdeada, amarelada, avermelhada ou incolor, e predomina agregada aos carbonatos. Há poucos grãos oxidados não identificados. Predominam os carbonatos esbranquiçados, mas há alguns grãos de carbonatos com porções recobertas por oxidação de coloração alaranjada. A magnetita presente é somente sob a forma de incrustações na apatita. A proporção de carbonatos com apatita agregada é de ~25%.
P1283F#100	carbonatos, apatita, flogopita	Pouquíssimos grãos de sulfetos, magnetita e olivina. A magnetita encontra-se tanto liberada como incrustações na apatita. Presença de poucos grãos de flogopita e são encontrados na coloração acastanhada. A apatita predominante é incolor e agregada aos carbonatos. A apatita avermelhada está sempre agregada aos carbonatos e à magnetita. Predominam os carbonatos esbranquiçados, mas há alguns grãos de carbonatos com porções recobertas por oxidação de coloração alaranjada. A proporção de carbonatos com apatita agregada é de ~20%.

*em ordem decrescente de proporção

ANEXO VII-B: DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS DO REJEITO DA USINA GERADOS NA SEPARAÇÃO POR DENSIDADE

Produto afundado

AMOSTRAS	MINERALOGIA*	OBSERVAÇÕES
P1273A#48	olivina, apatita, magnetita, carbonatos	Predomina a olivina limpa, mas há alguns grãos alterando para serpentina. A magnetita encontra-se agregada ou como inclusões na apatita. A apatita apresenta-se principalmente limpa e liberada e nas cores esverdeada, alaranjada ou incolor. Presença de alguns grãos de apatita não liberados dos carbonatos. Há alguns grãos oxidados não identificados.
P1274A#48	olivina, apatita, carbonatos, magnetita, sulfetos	A magnetita encontra-se agregada à apatita, mas predomina a magnetita liberada. A olivina apresenta-se em maior proporção limpa. Há alguns grãos de apatita e carbonatos recobertos por oxidação de coloração alaranjada e apatita não liberada dos carbonatos. A coloração da apatita é amarelada a alaranjada ou incolor. Pouquíssimos grãos de flogopita esverdeada e de uma mica vermelha (biotita ¹) foram observados.
P1276A#48	olivina, apatita, carbonatos, magnetita, sulfetos	Presença de alguns grãos de carbonatos e apatita recobertos por uma fina camada de oxidação de coloração alaranjada e grãos oxidados não identificados. A magnetita encontra-se agregada aos carbonatos ou como inclusões na apatita, mas a maior proporção é de magnetita liberada, assim como os sulfetos. Predomina a olivina limpa, mas há grãos alterando para serpentina. Há alguns grãos de apatita não liberados dos carbonatos.
P1281A#48	carbonatos ² , olivina, apatita, magnetita, sulfetos	A apatita encontra-se nas cores esverdeada e alaranjada ou incolor, e às vezes, não liberada dos carbonatos. Pouquíssimos grãos de carbonatos e apatita com incrustações de magnetita. Alguns grãos de olivina alterando para serpentina. Todos os minerais predominam limpos e liberados.

P1283A#48	olivina, apatita, magnetita, carbonatos	Observa-se alguns grãos de carbonatos e apatita recobertos por uma camada de oxidação de coloração alaranjada. A magnetita predominante é a liberada, mas apresenta-se também como incrustações na apatita e nos carbonatos. A apatita é encontrada na coloração alaranjada ou incolor e predomina limpa e liberada. Alguns grãos de apatita não liberados dos carbonatos. Presença de grãos oxidados de coloração avermelhada não identificados e grãos amorfo alaranjados. Alguns grãos de apatita e carbonatos recobertos por oxidação de coloração alaranjada. A olivina predomina limpa, mas há grãos alterando para serpentina esbranquiçada. Há alguns grãos de magnetita e sulfetos medianamente alterados. A magnetita é encontrada como agregada ou como incrustação na apatita e nos carbonatos. Predomina a apatita limpa e liberada, mas há grãos de apatita não liberada dos carbonatos.
P1273A#100	olivina, apatita, magnetita, sulfetos, carbonatos	Observa-se alguns grãos de carbonatos e apatita recobertos por uma camada de oxidação de coloração alaranjada. Predomina a apatita limpa e liberada e nas cores esverdeada e alaranjada ou incolor, mas há grãos de apatita não liberada dos carbonatos e com incrustações de magnetita. Os sulfetos só aparecem como agregados aos carbonatos. Há alguns grãos oxidados não identificados. A olivina predomina limpa, mas há grãos alterando para serpentina.
P1274A#100	olivina, apatita, magnetita, carbonatos, sulfetos	A apatita encontra-se nas cores alaranjada, esverdeada ou incolor, e principalmente limpa e liberada. Há alguns grãos de apatita não liberados dos carbonatos e com inclusões de magnetita. Há grãos oxidados de coloração avermelhada não identificados, grãos de sulfetos medianamente alterados e grãos amorfo esbranquiçados. A magnetita encontra-se agregada aos carbonatos e à apatita. A olivina predomina limpa, mas há grãos alterando para serpentina.
P1276A#100	olivina, apatita, magnetita, sulfetos, carbonatos	

P1281A#100	olivina, apatita, magnetita, carbonatos	Pouquíssimos sulfetos, que estão medianamente alterados, e grãos oxidados de coloração avermelhada. Há grãos de olivina alterando para serpentina. Predomina apatita limpa e liberada, mas há grãos não liberados dos carbonatos. A magnetita apresenta-se principalmente liberada, mas há incrustações de magnetita nos carbonatos e na apatita. Os minerais predominam limpos e liberados.
P1283A#100	apatita, olivina, magnetita, carbonatos, sulfetos	Presença de muitos grãos de apatita de coloração alaranjada. Poucos grãos de sulfetos e alguns medianamente alterados. Pouquíssimos grãos de apatita com incrustações de magnetita. Maior proporção de apatita limpa e liberada, mas há grãos não liberados dos carbonatos. Alguns grãos de apatita recobertos por oxidação de coloração alaranjada. A magnetita predomina liberada, mas alguns grãos estão medianamente alterados. Há grãos de olivina alterando para serpentina e grãos oxidados não identificados.

*em ordem decrescente de proporção

Obs.

1) biotita: da região de xenólitos

2) carbonatos em maior proporção é problema na separação

**ANEXO VII-C: OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES SOB MICROSCÓPIO ÓPTICO DE LUZ POLARIZADA DOS PRODUTOS GERADOS NA SEPARAÇÃO
POR DENSIDADE DO REJEITO DA USINA**

Produto afundado e flutuado

AMOSTRAS	PRODUTOS*	OBSERVAÇÕES
P1273	Afundado	Observa-se algumas partículas de apatita não liberadas dos carbonatos (FOTOS 1, 3 e 4). Presença abundante de olivina, estando alguns grãos medianamente alterados para serpentina. Há muitas partículas de apatita incolor com incrustações e inclusões de magnetita. As partículas oxidadas não identificadas sob microscópio estereoscópio correspondem a grãos com carbonatos nas bordas e incrustações de magnetita que sofreram oxidação, e são mais abundantes na malha 100. Não foram observadas partículas de piroxênio.
	Flutuado	Partículas de flogopita (FOTOS 5 e 6) de hábito tabular hexagonal liberados e em menor proporção agregados aos carbonatos. Presença de agregados de mineral avermelhado (sem pleocroísmo e baixa birrefringência) com carbonatos e opacos.
P1274	Afundado	Abundância de olivina não alterada, mas há grãos de olivina com porções serpentinizadas. Presença de grãos de coloração avermelhada (pleocróicos e alta birrefringência) agregados com mineral incolor (talvez, apatita) e opacos. Alguns grãos de apatita incolores com porções amareladas (pleocróicos e alta birrefringência). Não foi observado a presença de piroxênio.
	Flutuado	Presença de agregados de mineral avermelhado (sem pleocroísmo e baixa birrefringência) com carbonatos e opacos.
P1276	Afundado	Abundância de olivina, predominando as partículas medianamente alterados com porções serpentinizadas. Grãos de agregados de minerais avermelhados + incolores + opacos. Várias partículas de apatita com incrustações e inclusões de opacos. Observa-se a presença de piroxênio (FOTOS 7 e 8).
	Flutuado	Partículas oxidadas de carbonatos com opacos, e agregados de mineral vermelho (sem pleocroísmo e sem birrefringência) com carbonatos e opacos.

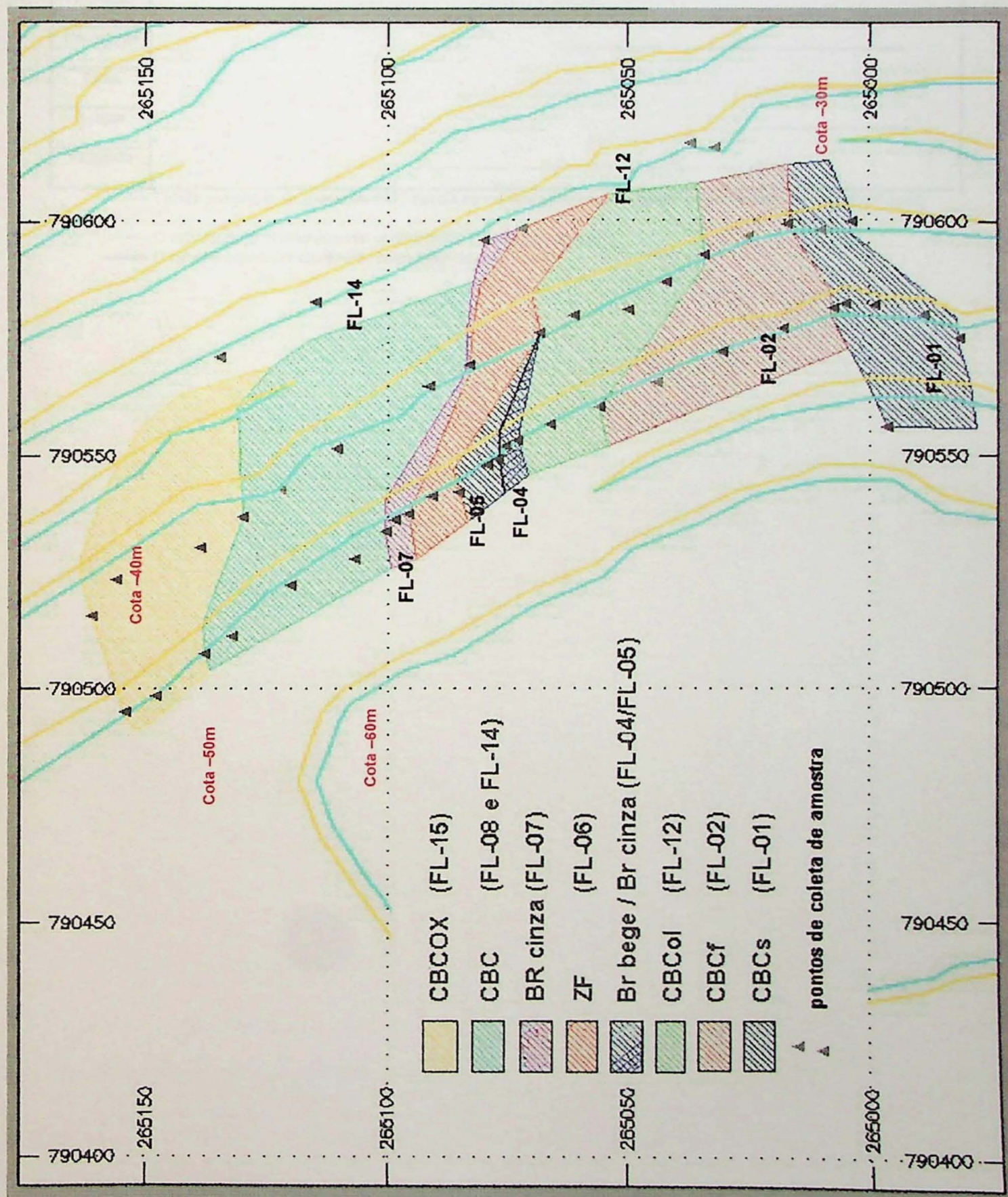
P1281	Afundado	Observa-se a presença de piroxênio, mas menos abundante em relação a olivina, e olivina com bordas serpentinizadas. Alguns grãos de apatita não liberados dos carbonatos. Há muitas partículas oxidadas com minerais opacos e carbonatos agregados, com porções avermelhadas devido a oxidação da magnetita. Na malha 100 há muitas partículas de apatita incolor com bordas de coloração amarelada (pleocróico e alta birrefringência).
	Flutuado	Várias partículas de agregados de coloração avermelhada (sem pleocroísmo e sem birrefringência) com inclusões de opacos (FOTO 2). Alguns grãos de coloração alaranjada com baixa birrefringência e pleocróico com carbonatos nas bordas.
P1283	Afundado	Presença de piroxênio (grãos prismáticos, sem pleocroísmo, com baixa birrefringência, de coloração bege) nas malhas 48 e 100 e de olivina com bordas serpentinizadas. Observa-se grãos de minerais avermelhados sem pleocroísmo e sem birrefringência, com incrustações de minerais opacos.
	Flutuado	Partículas de agregados de coloração avermelhada (sem pleocroísmo e baixa birrefringência) com carbonatos nas bordas e inclusões de opacos.

*Produtos das malhas 48 e 100.

Observações sobre as fotos:

As fotos foram tiradas em microscópio estereoscópio a partir das frações 48 e 100, portanto, partículas. As propriedades ópticas dos minerais não são tão evidentes devido ao fato da espessura das partículas. Com isso, as propriedades observadas foram: cor, hábito, birrefringência, pleocroísmo, relevo, e, quando possível, figuras de interferências. A objetiva 10x foi utilizada em todas as fotos, e apresenta diâmetro de campo equivalente a 2,2mm.

ANEXO VIII: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS FRENTES DE LAVRA



Obs. Mapa compilado de relatório interno da empresa.

ANEXO IX

Gráfico 2: Susceptibilidade magnética dos minerais



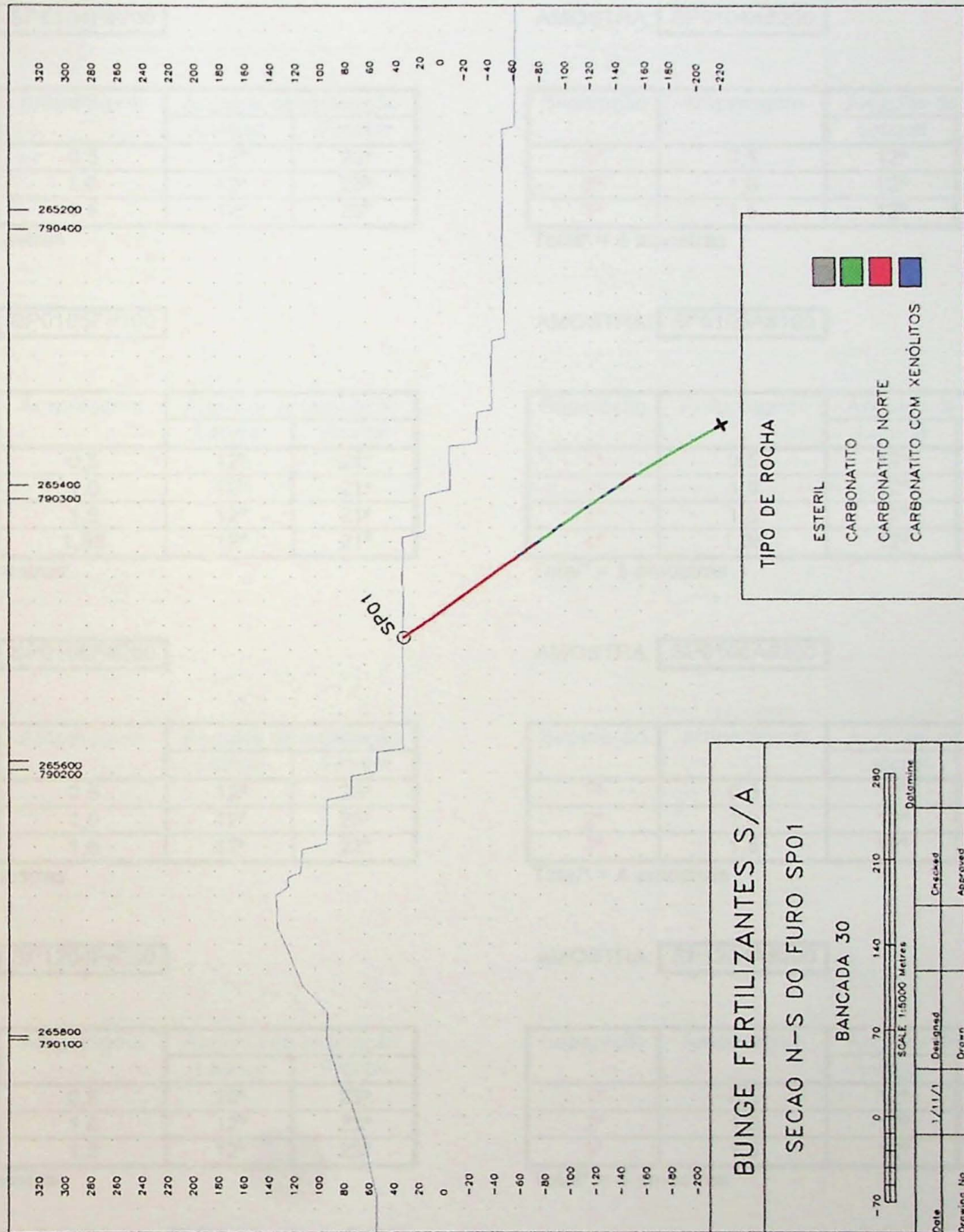
Tabela compilada de Zussman, 1977 (tabela com a susceptibilidade magnética dos minerais no aparelho Frantz)

- O mineral pode ocasionalmente ocorrer nesta faixa de amperagem
- O mineral ocorre principalmente nesta faixa de amperagem

ANEXO X



ANEXO XI



ANEXO XII

RESULTADO DA SEPARAÇÃO MAGNÉTICA DAS AMOSTRAS DE MINÉRIO NO FRANTZ

AMOSTRA: SP0104F#200

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	12°	23°
2ª	1,0	12°	23°
3ª	1,5	12°	23°

Total* = 4 amostras

AMOSTRA: SP0104A#200

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	12°	23°
2ª	1,0	12°	23°
3ª	1,5	12°	23°

Total* = 4 amostras

AMOSTRA: SP0105F#100

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	12°	21°
2ª	1,0	12°	21°
3ª	1,5	12°	21°
4ª	1,85	12°	21°

Total* = 5 amostras

AMOSTRA: SP0105A#100

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	12°	23°
2ª	1,0	12°	23°
3ª	1,5	12°	23°
4ª	1,85	12°	23°

Total* = 5 amostras

AMOSTRA: SP0106F#200

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	12°	23°
2ª	1,0	12°	23°
3ª	1,5	12°	23°

Total* = 4 amostras

AMOSTRA: SP0106A#200

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	12°	23°
2ª	1,0	12°	23°
3ª	1,5	12°	23°

Total* = 4 amostras

AMOSTRA: SP1204F#200

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	10°	23°
2ª	1,0	12°	23°
3ª	1,5	12°	23°

Total* = 4 amostras

AMOSTRA: SP1204A#200

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	12°	21°
2ª	1,0	12°	21°
3ª	1,5	12°	21°

Total* = 4 amostras

FL-01F = Amostra de flutuado

FL-01A = Amostra de afundado

Total* = total de amostras geradas na separação no Frantz, contabilizando o produto não-magnético

AMOSTRA: FL-04F#200

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	10°	23°
2ª	1,0	10°	23°
3ª	1,5	10°	23°

Total* = 4 amostras

AMOSTRA: FL-05F#200

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	10°	23°
2ª	1,0	10°	23°
3ª	1,5	10°	23°

Total* = 4 amostras

AMOSTRA: FL-07F#200

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	12°	21°
2ª	1,0	12°	21°
3ª	1,5	12°	21°

Total* = 4 amostras

AMOSTRA: FL-32F#200

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	10°	23°
2ª	1,0	12°	23°
3ª	1,5	12°	23°

Total* = 4 amostras

AMOSTRA: FL-04A#200

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	12°	21°
2ª	1,0	12°	21°
3ª	1,5	12°	21°

Total* = 4 amostras

AMOSTRA: FL-05A#200

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	12°	21°
2ª	1,0	12°	21°
3ª	1,5	12°	21°

Total* = 4 amostras

AMOSTRA: FL-07A#200

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	12°	23°
2ª	1,0	12°	23°
3ª	1,5	12°	23°

Total* = 4 amostras

AMOSTRA: FL-32A#200

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	12°	21°
2ª	1,0	12°	21°
3ª	1,5	12°	21°

Total* = 4 amostras

AMOSTRA: **FL-35F#200**

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	12°	21°
2ª	1,0	12°	21°
3ª	1,5	12°	21°

Total* = 4 amostras

AMOSTRA: **FL-36F#200**

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	12°	21°
2ª	1,0	12°	21°
3ª	1,5	12°	21°

Total* = 4 amostras

AMOSTRA: **FL-37F#200**

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	12°	21°
2ª	1,0	12°	21°
3ª	1,5	12°	21°

Total* = 4 amostras

AMOSTRA: **FL-35A#200**

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	12°	21°
2ª	1,0	12°	21°
3ª	1,5	12°	21°

Total* = 4 amostras

AMOSTRA: **FL-36A#200**

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	12°	21°
2ª	1,0	12°	21°
3ª	1,5	12°	21°

Total* = 4 amostras

AMOSTRA: **FL-37A#200**

Separação	Amperagem	Ângulos de inclinação	
		Lateral	Frontal
1ª	0,5	12°	23°
2ª	1,0	12°	23°
3ª	1,5	12°	21°

Total* = 4 amostras

ANEXO XIII: DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS DE MINÉRIO GERADAS NA SEPARAÇÃO MAGNÉTICA

A separação magnética no aparelho Frantz das amostras da mina (FL's e SP's) gerou 42 amostras, que englobam desde produtos magnéticos a não-magnéticos. O procedimento das separações (campo magnético, ângulos frontal e lateral aplicados) encontra-se resumido na tabela do Anexo XII. Apesar das amostras serem provenientes de áreas distintas da mina, elas apresentam composição mineralógica semelhantes, porém, com porcentagens mineralógicas diferentes. No Anexo XV estão os minerais mais abundantes nos produtos das separações. Esta tabela reflete, de forma sumária, as principais características observadas na descrição microscópica estereoscópica dos campos magnéticos aplicados nestas amostras.

PRODUTOS FLUTUADOS	OBSERVAÇÕES RELEVANTES
Não-magnéticos	Predominam os minerais carbonáticos sem inclusões e liberados. Presença de apatita ora com inclusões ora limpa, predominando a agregada aos carbonatos. Há pouquíssimos grãos de magnetita e sulfetos, e estes, encontram-se somente sob a forma de incrustações nos carbonatos e na apatita. As amostras FL's apresentaram maior proporção de grãos de carbonatos e apatita recobertos por uma película alaranjada de oxidação que as SP's.
0,5A ¹	As amostras submetidas a esta amperagem apresentam um misto de vários minerais, como apatita, carbonatos, magnetita, sulfetos, grãos oxidados e flogopita em proporções variadas. Este comportamento é observado nas FL's e nas SP's. A apatita e os carbonatos, em sua maior parte, encontram-se com inclusões ou incrustações de magnetita e sulfetos, ou agregando-se entre si. Muitas vezes, a apatita e os carbonatos apresentam uma fina camada de oxidação de coloração alaranjada. Raros são os grãos de magnetita e sulfetos liberados.

1,0A	Todas as amostras quando submetidas a esta amperagem apresentam flogopita predominando e sob a forma liberada, nas cores acastanhada e esverdeada. Observa-se pouquíssimos grãos oxidados. Predomina, também, os carbonatos esbranquiçados, limpos e liberados, e subordinadamente, a apatita nessas mesmas condições ou agregada aos carbonatos. Raríssimos grãos de serpentina. Os sulfetos, quando encontrados nas amostra FL's, aparecem medianamente alterados. Nas amostras SP's é observado a presença de um mineral amarelo esverdeado, brilho gorduroso, hábito maciço granular. Predominam os grãos de carbonatos esbranquiçados, limpos e liberados. A presença de flogopita e de apatita diminuem bruscamente, assim como, a dos sulfetos e a da magnetita. A apatita presente, geralmente, está agregada aos carbonatos. Os grãos oxidados aparecem em maior proporção nesta faixa de amperagem. A flogopita presente é de coloração esverdeada clara.
1,5A	

PRODUTOS AFUNDADOS	OBSERVAÇÕES RELEVANTES
Não-magnéticos	Predomina a apatita incolor, sem inclusões ou incrustações e liberada. Raríssimos grãos de magnetita e sulfetos, e quando observados, podem estar incrustados na apatita ou liberados. Alguns grãos de apatita estão agregados nos grãos de carbonatos. Nas amostras FL's observa-se a apatita de coloração mais alaranjada, provavelmente por serem da zona de falha. Já nas amostras SP's identifica-se raríssimos grãos de olivina. Esta faixa pequena de amperagem apresenta muitos grãos de apatita e carbonatos com inclusões e incrustações de sulfetos e magnetita. Predominam os grãos de sulfetos liberados, às vezes, medianamente alterados, e em seguida, de magnetita. Há abundância de olivina amarela esverdeada, às vezes, com porções serpentinizadas. Isto ocorre com mais frequência nas amostras SP's. A apatita principal é incolor e com inclusões.
0,5A	

1,0A	Presença, em menor proporção, de sulfetos liberados, mas não observa-se mais estes grãos alterados. A magnetita presente está sob a forma de inclusões e incrustações. A proporção de apatita incolor (subordinadamente, esverdeada), limpa e liberada aumenta, e diminui, drasticamente, a de carbonatos. Os carbonatos quando presentes, aparecem sempre com incrustações ou recobertos por películas alaranjadas de oxidação. A olivina está mais abundante nesta faixa de amperagem que quando submetida a 0,5A.
1,5A	Nota-se a presença de olivina, mas em menor proporção que nas faixas de 0,5A e 1,0A. Nas amostras SP's a olivina é mais abundante, enquanto nas FL's, os minerais mais abundantes são os sulfetos. A apatita nesta faixa de amperagem é predominante, e é sempre encontrada incolor, limpa e liberada. Os carbonatos quando identificados, formam partículas mistas com a apatita. Raros grãos apresentam incrustações de magnetita e sulfetos em 1,5A.

Observações:

(1) Valores de campos magnéticos em Ampère.

ANEXO XIV

BALANÇO DE MASSA DAS AMOSTRAS DE MINÉRIO

Amostras	Peso (%)									
	Flutuado					Afundado				
	Magnético (separações)		Não magnético			Magnético (separações)		Não magnético		
	1ª	2ª	3ª			1ª	2ª	3ª		Peso(%)*
#200										
SP01-04	4,30	18,94	2,74	74,02	8,55	26,34	2,12	62,99	86,44	13,56
SP01-06	1,10	2,71	7,02	89,18	7,46	16,77	7,18	68,59	94,68	5,32
FL-04	0,30	0,76	1,74	97,20	8,25	1,43	0,59	89,73	86,09	13,91
FL-05	1,95	2,68	3,18	92,19	1,76	1,34	3,38	93,53	72,60	27,40
FL-07	0,44	0,54	1,18	97,84	20,35	3,23	3,75	72,66	99,00	1,00
FL-35	1,32	2,89	1,79	94,01	2,75	2,23	1,98	93,05	82,38	17,62
FL-36	2,37	1,56	1,08	94,99	15,43	2,37	0,92	81,28	95,86	4,14

Amostras	Peso (%)									
	Flutuado					Afundado				
	Magnético (separações)		Não magnético			Magnético (separações)		Não magnético		
	1ª	2ª	3ª	4ª		1ª	2ª	3ª	4ª	Peso(%)*
#100										
SP01-05	4,20	3,44	7,72	0,84	83,80	17,07	41,89	14,60	1,26	80,86
										19,14

*% Peso na amostra inicial (tal qual)

Valores em verde não considerar, pois, as respectivas amostras (fração 200), não foram descritas, e sim na fração 100

ANEXO XV

ASSEMBLÉIA MINERALÓGICA DAS AMOSTRAS DE MINÉRIO NA SEPARAÇÃO NO FRANTZ

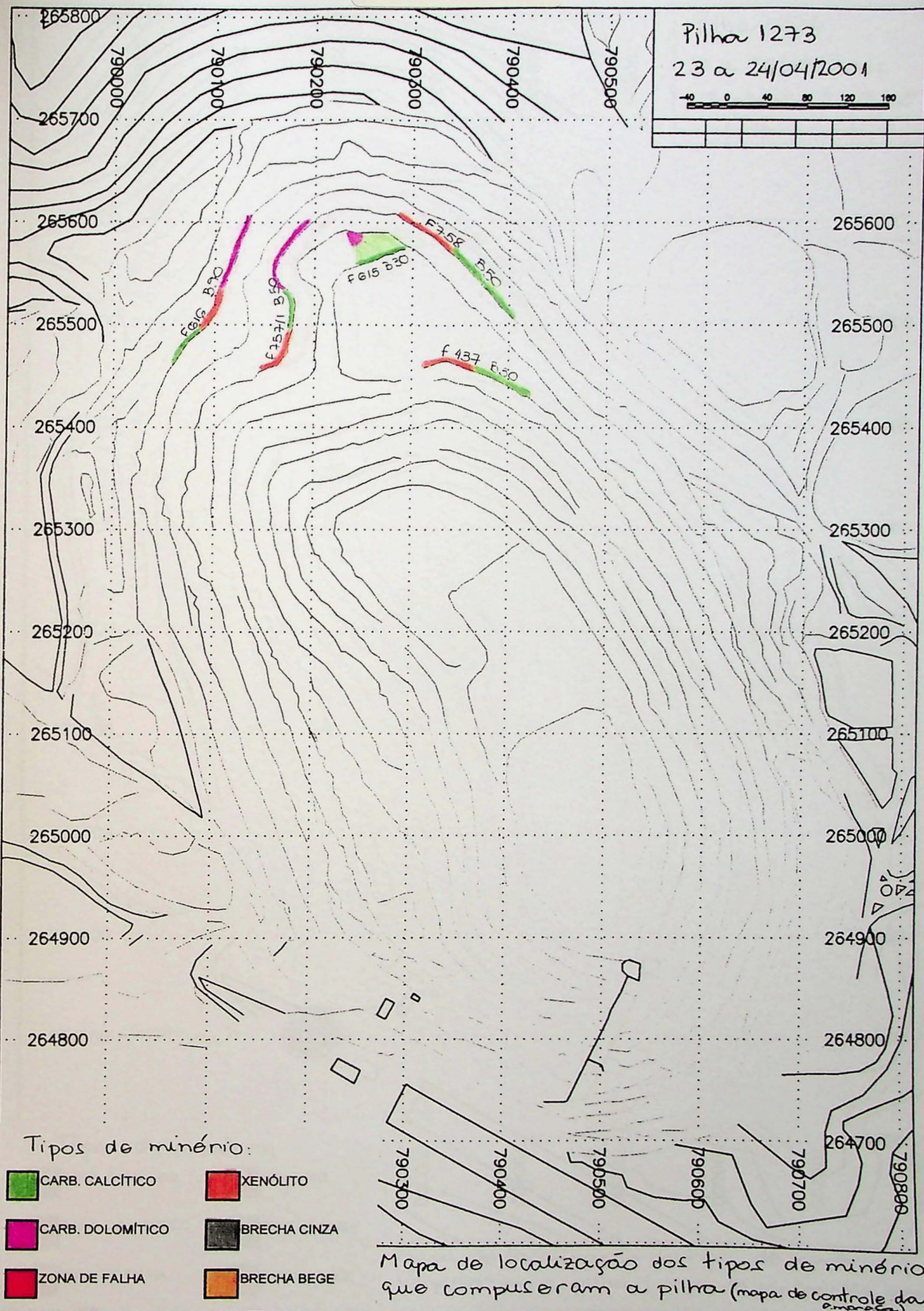
Amostras	Flutuado				Afundado			
	Magnético (separações)		Não magnético		Magnético (separações)		Não magnético	
	1ª	2ª	3ª		1ª	2ª	3ª	
SP01-04	magn, sulf, carb	carb, sil, apat	carb, apat, magn	carb, apat	sulf, apat, oliv	apat, oliv	apat, sulf	apat, carb
SP01-06	sulf, carb, apat	carb, sulf, apat	carb, apat, flog	carb	sulf	apat	apat	apat, carb
FL-04	magn, carb, sulf	flog, carb	carb, apat, flog	carb	sulf	sulf, oxid	sulf, carb	apat
FL-05	carb, sil, apat	flog, sil, carb	sil, carb, flog	carb, sil	magn	apat	apat	apat
FL-07	carb, flog, sulf	carb, apat, flog	carb	carb	sulf	sulf	sulf, carb	apat, carb, sulf
FL-35	carb, flog, sulf	flog	flog, carb	carb	sulf, carb	sulf, magn	apat	apat
FL-36	carb, oxid	carb, flog	carb, flog, apat	carb	sulf, magn	sulf, carb, oliv	apat, sulf	apat, carb

Amostras	Flutuado				Afundado			
	Magnético (separações)		Não magnético		Magnético (separações)		Não magnético	
	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª
SP01-05	carb, sil, flog	carb, flog, apat	carb, flog, apat	carb	sulf, apat	oliv, apat	apat	apat

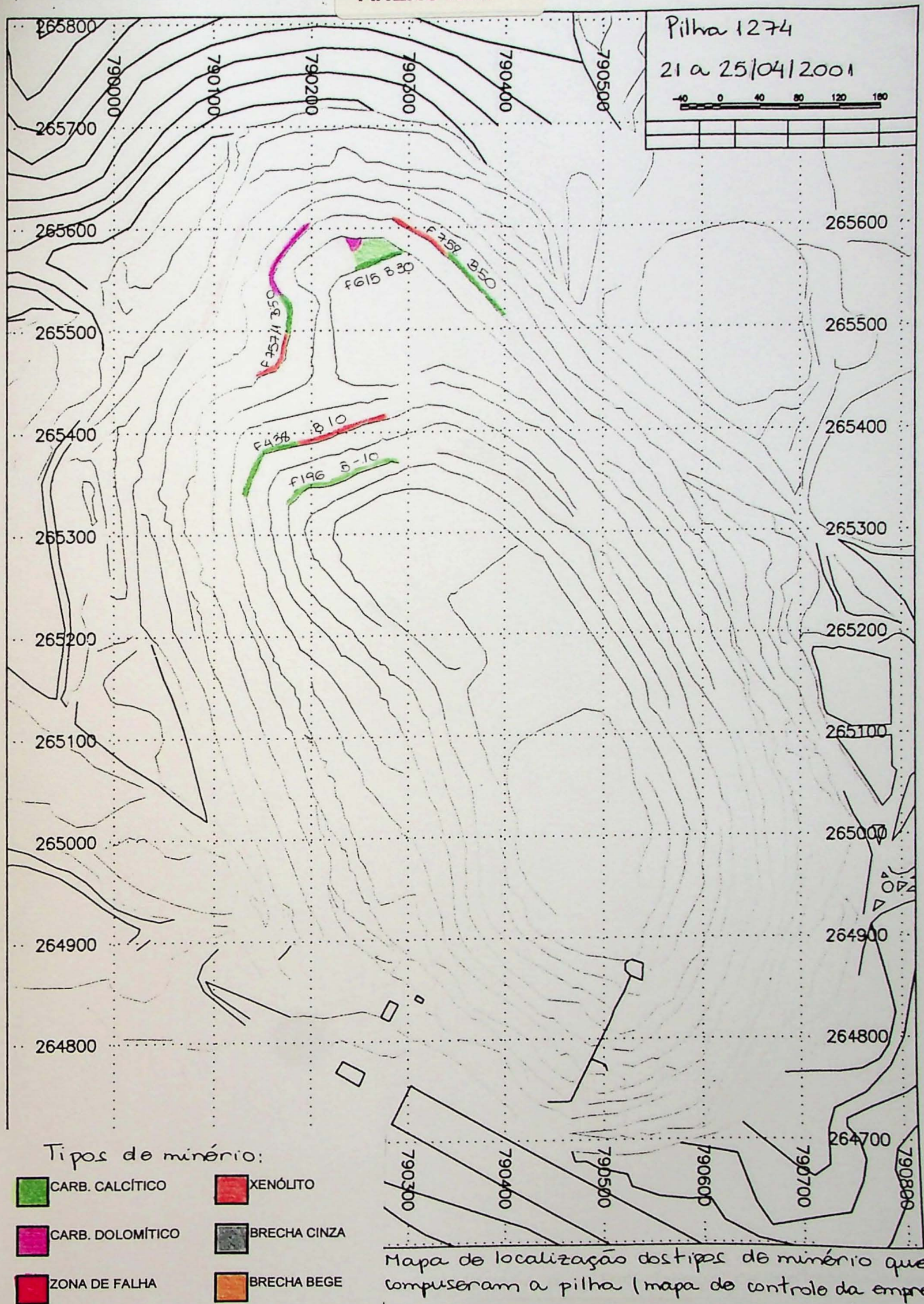
Obs. Os minerais estão em ordem decrescente de proporção
Porcentagem calculada por estimativa visual

Legenda:
carb = carbonatos
apat = apatita
sulf = sulfetos
magn = magnetita
flog = flogopita
oliv = olivina
oxid = grãos oxidados
sil = silicato Mg

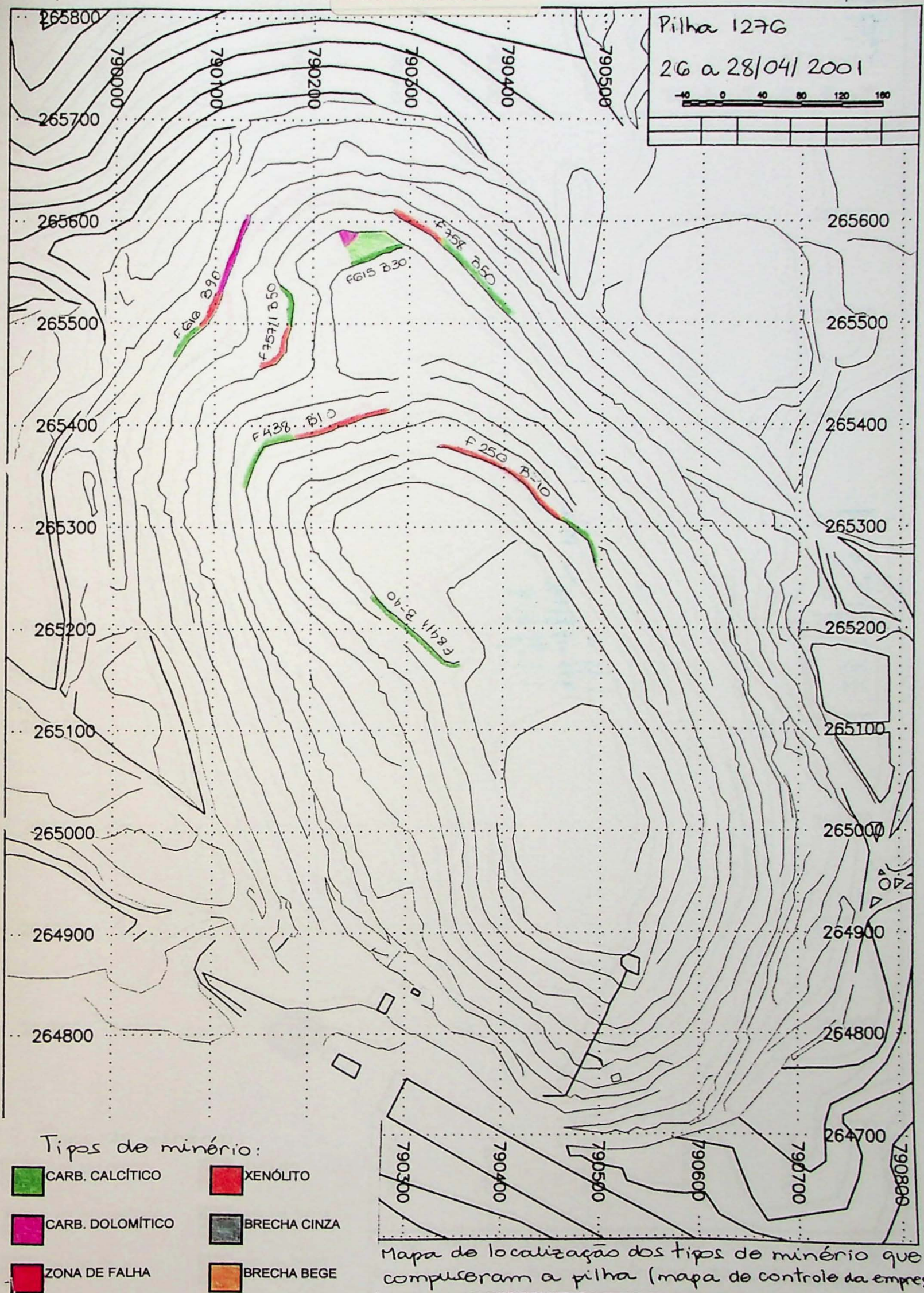
ANEXO XVI



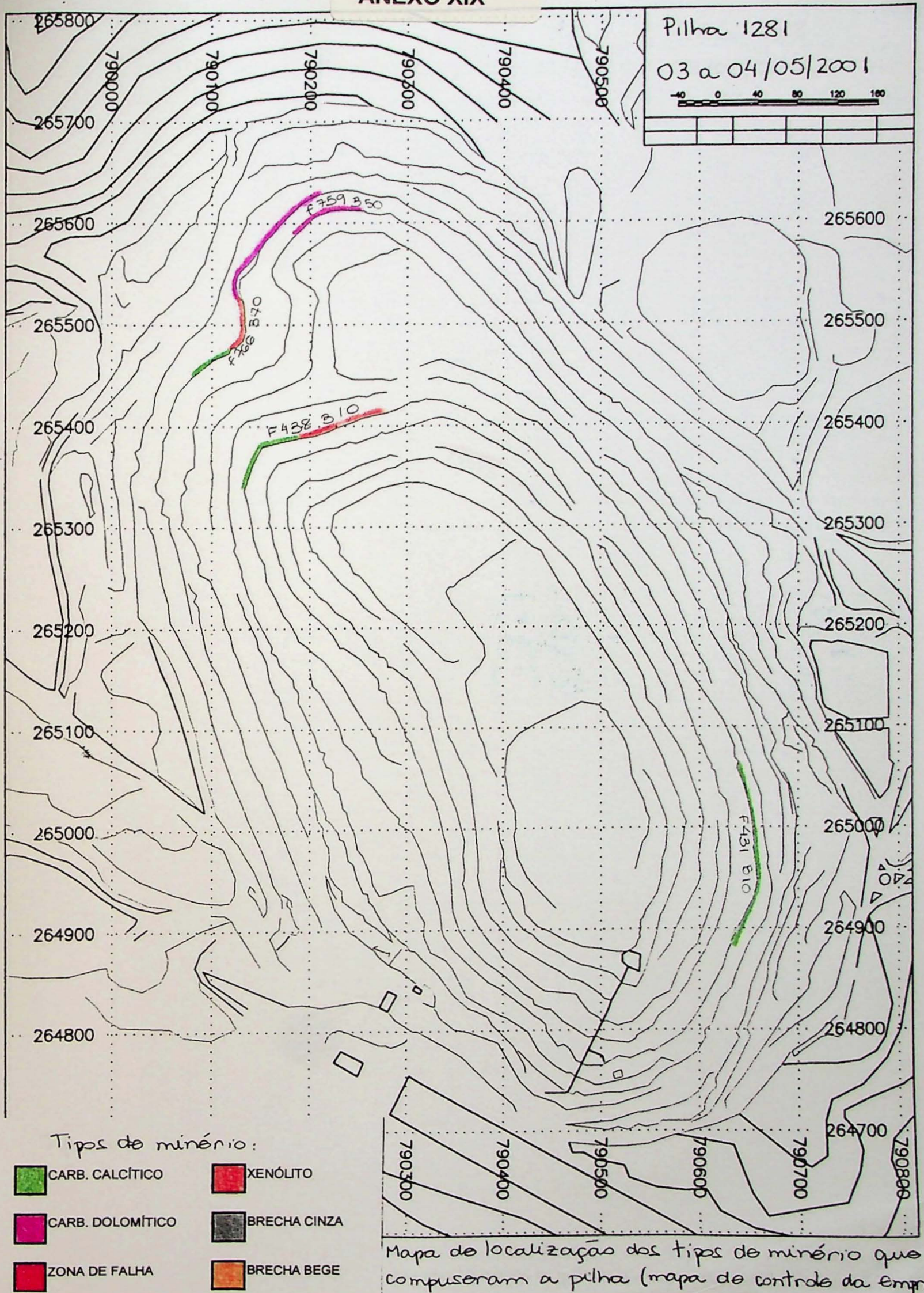
ANEXO XVII



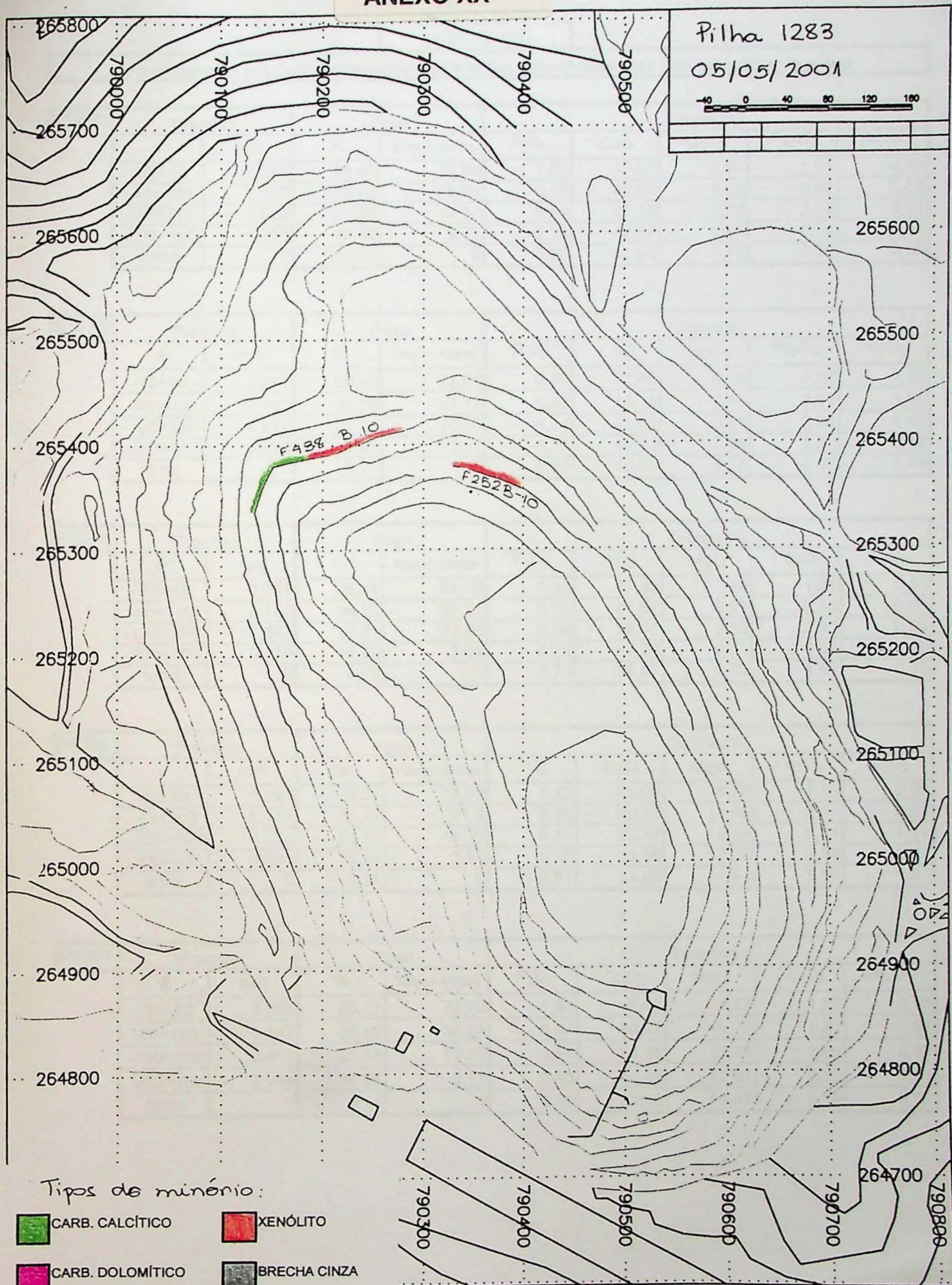
ANEXO XVIII



ANEXO XIX



ANEXO XX



Mapa de localizações dos tipos de minério que compuseram a pilha (mapa de controle da empresa)

ANEXO XXI

Porcentagem em peso acumulada nas frações granulométricas das amostras da usina

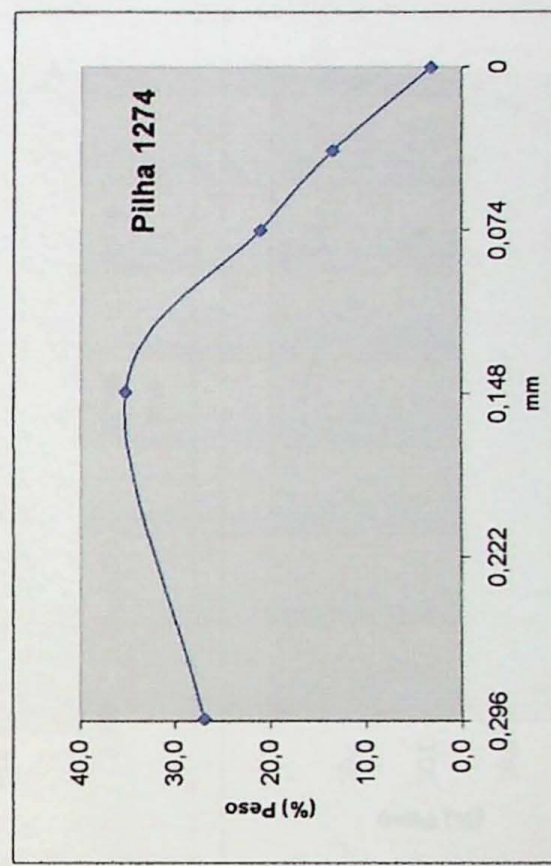
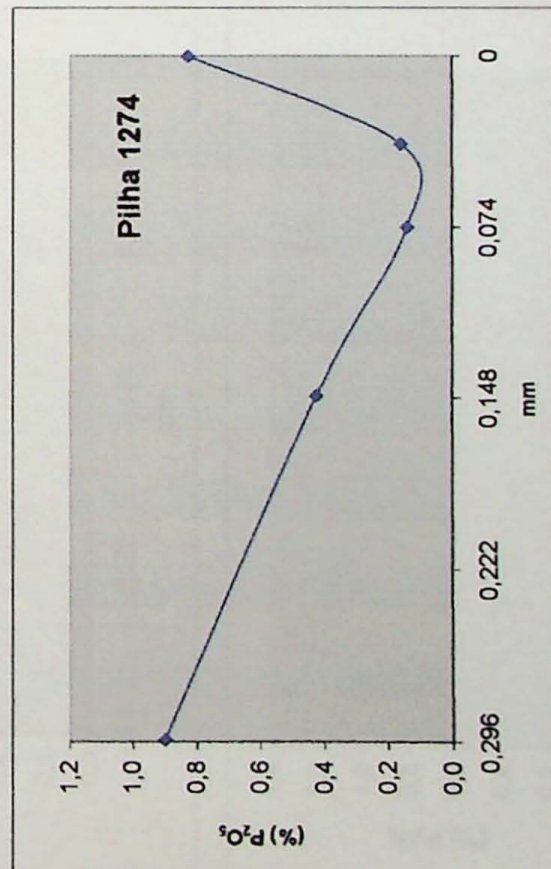
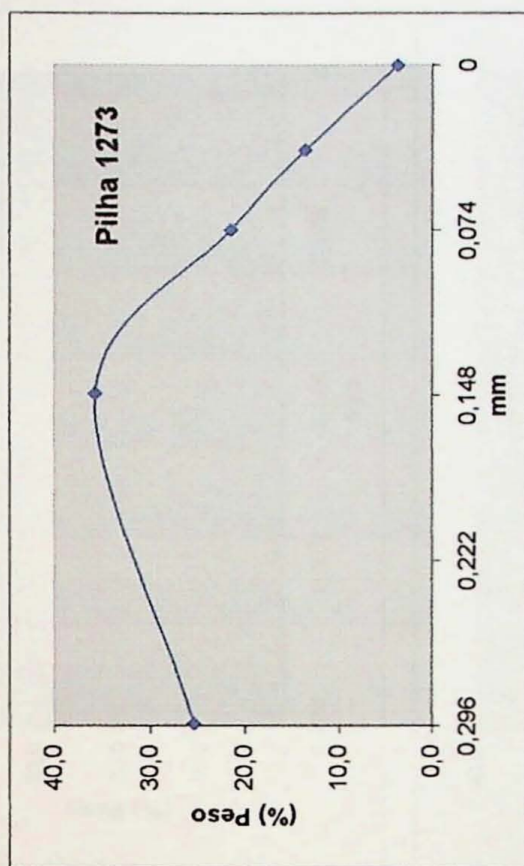
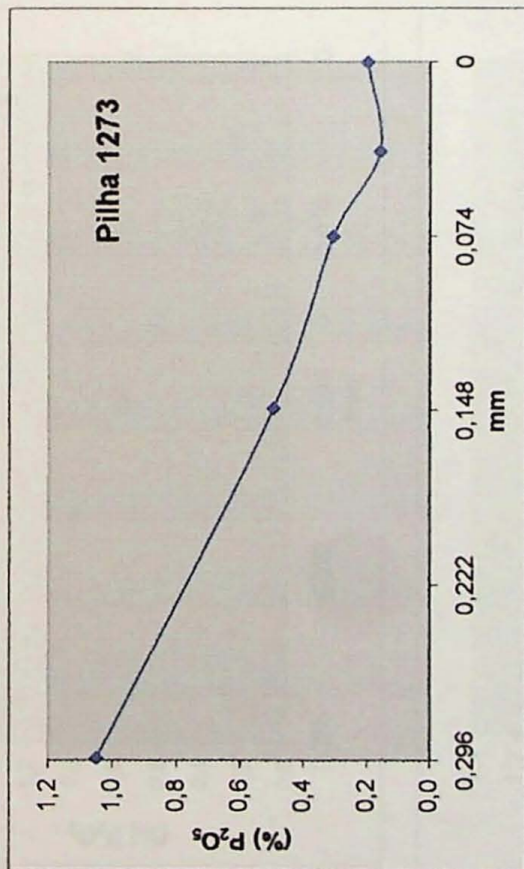
P1273	Frações		Peso		Teores(%)				
	#	mm	%	%acum.abaixo	P ₂ O ₅	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
	-35+48	0,295	25,40	74,60	1,05	42,62	7,91	1,31	0,54
	-48+100	0,147	35,75	38,85	0,50	40,62	9,02	0,92	0,62
	-100+200	0,074	21,54	17,32	0,31	42,16	9,73	2,44	0,54
	-200+400	0,038	13,60	3,72	0,16	42,37	8,98	2,59	0,53
	lama	0	3,72	0	0,20	41,83	8,72	4,22	0,52

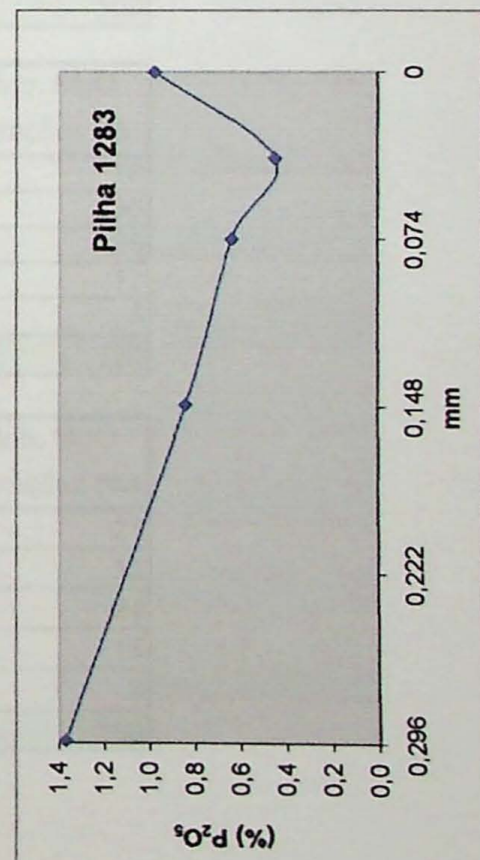
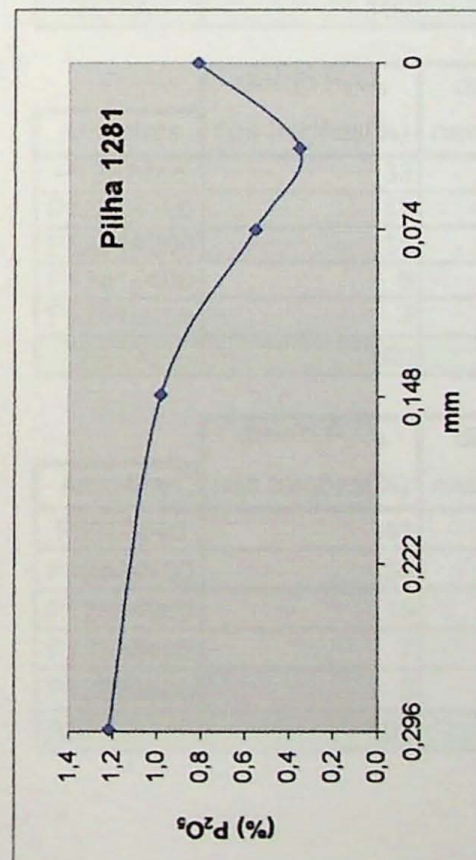
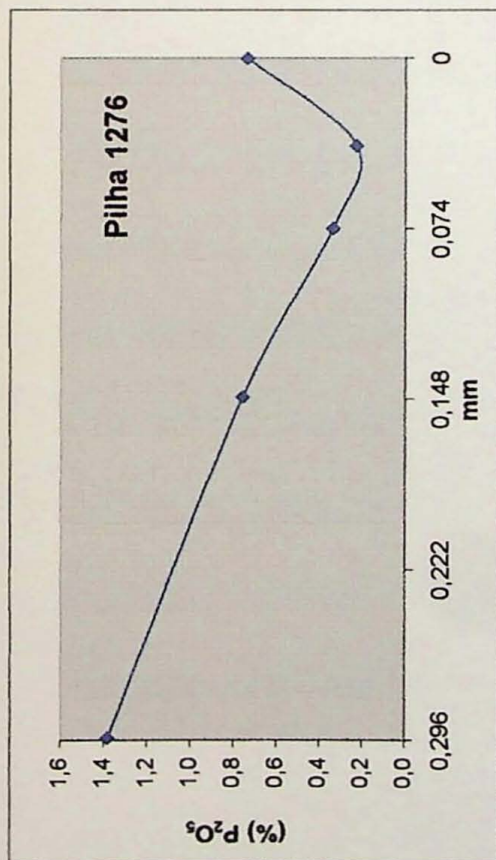
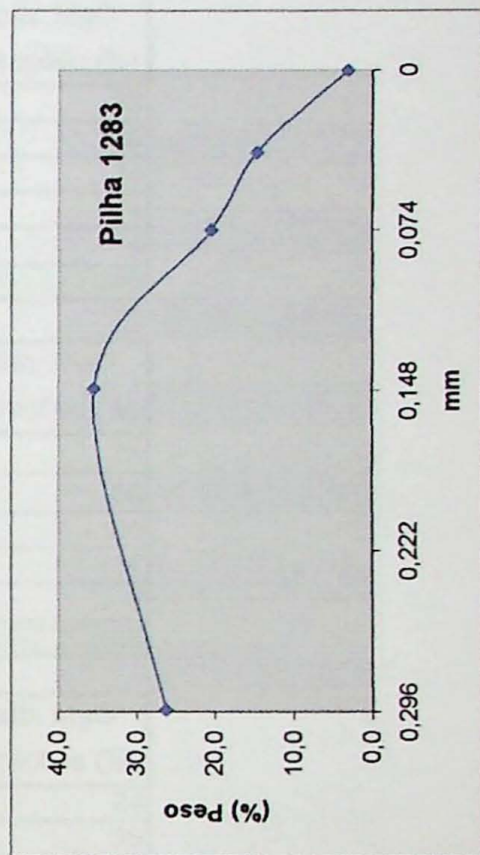
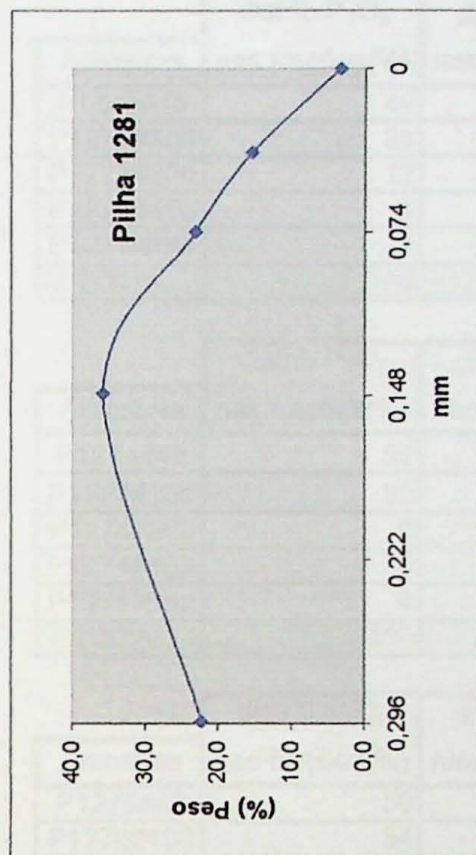
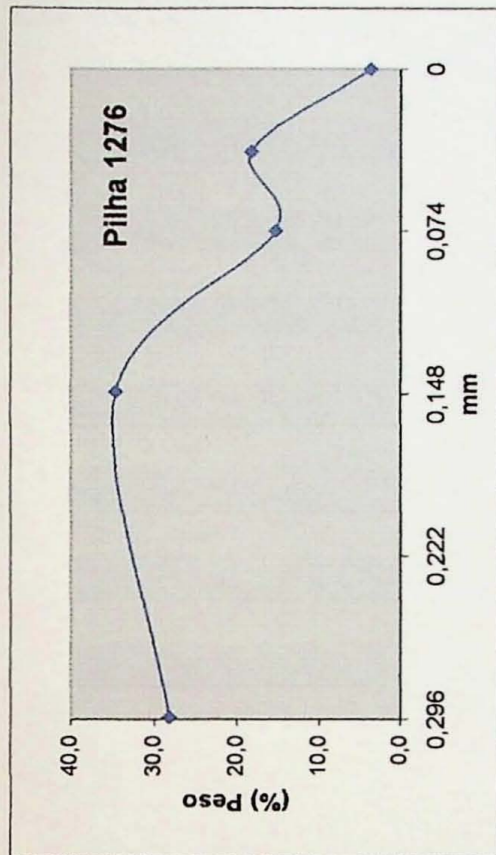
P1274	Frações		Peso		Teores(%)				
	#	mm	%	%acum.abaixo	P ₂ O ₅	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
	-35+48	0,295	26,99	73,01	0,90	42,66	6,26	0,62	0,32
	-48+100	0,147	35,28	37,73	0,43	43,15	7,56	2,13	0,50
	-100+200	0,074	21,04	16,69	0,14	43,62	8,41	2,20	0,45
	-200+400	0,038	13,51	3,17	0,16	43,80	7,83	2,32	0,42
	lama	0	3,17	0	0,83	40,05	8,74	4,07	0,49

P1276	Frações		Peso		Teores(%)				
	#	mm	%	%acum.abaixo	P ₂ O ₅	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
	-35+48	0,295	28,24	71,76	1,38	43,93	7,29	1,61	0,83
	-48+100	0,147	34,55	37,21	0,76	41,61	9,07	2,53	0,85
	-100+200	0,074	15,31	21,90	0,34	38,61	9,36	2,81	0,83
	-200+400	0,038	18,22	3,68	0,23	37,90	9,53	3,07	0,90
	lama	0	3,68	0	0,74	36,07	9,32	4,97	0,95

P1281	Frações		Peso		Teores(%)				
	#	mm	%	%acum.abaixo	P ₂ O ₅	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
	-35+48	0,295	22,31	77,69	1,22	41,90	8,78	1,55	0,92
	-48+100	0,147	35,79	41,9	0,98	40,97	11,00	2,15	0,87
	-100+200	0,074	23,20	18,70	0,55	33,39	12,35	3,31	1,11
	-200+400	0,038	15,39	3,31	0,35	33,30	12,29	3,54	1,21
	lama	0	3,31	0	0,81	31,62	11,44	5,59	1,21

P1283	Frações		Peso		Teores(%)				
	#	mm	%	%acum.abaixo	P ₂ O ₅	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
	-35+48	0,295	26,27	73,73	1,37	45,85	8,78	1,22	0,75
	-48+100	0,147	35,49	38,24	0,84	40,22	10,75	1,81	0,67
	-100+200	0,074	20,45	17,79	0,64	34,46	12,39	2,90	0,92
	-200+400	0,038	14,68	3,11	0,45	34,24	12,01	3,22	1,01
	lama	0	3,11	0	0,98	33,50	11,47	5,19	0,91





ANEXO XXIII

Distribuição de P_2O_5 e MgO nas frações granulométricas nas amostras de rejeito

Amostras	distrib. P_2O_5 nas frações(%)	distrib. MgO nas frações (%)
P1273#48	49	23
P1273#100	33	36
P1273#200	12	24
P1273#400	4	14
P1273lama	1	4
TOTAL	100	100

Amostras	distrib. P_2O_5 nas frações(%)	distrib. MgO nas frações (%)
P1274#48	52	23
P1274#100	32	36
P1274#200	6	24
P1274#400	5	14
P1274lama	6	4
TOTAL	100	100

Amostras	distrib. P_2O_5 nas frações(%)	distrib. MgO nas frações (%)
P1276#48	50	24
P1276#100	34	36
P1276#200	7	16
P1276#400	5	20
P1276lama	4	4
TOTAL	100	100

Amostras	distrib. P_2O_5 nas frações(%)	distrib. MgO nas frações (%)
P1281#48	33	18
P1281#100	42	36
P1281#200	15	26
P1281#400	6	17
P1281lama	3	3
TOTAL	100	100

Amostras	distrib. P_2O_5 nas frações(%)	distrib. MgO nas frações (%)
P1283#48	41	21
P1283#100	34	35
P1283#200	15	24
P1283#400	7	16
P1283lama	3	3
TOTAL	100	100

ANEXO XXIV

Distribuição de P_2O_5 e MgO nos produtos flutuados e afundados das amostras de rejeito da usina

P ₂ O ₅									
#48									
Amostras	Afundado			Flutuado			distribuição de P ₂ O ₅		
	Peso(g)	Peso(%)	P ₂ O ₅ (%)	Peso(g)	Peso(%)	P ₂ O ₅ (%)	total(g)	P ₂ O ₅ total	afundado flutuado
P1273	2,67	8,81	7,25	27,62	91,19	0,45	30,29	1,05	61 39
P1274	1,51	4,97	6,25	28,80	95,03	0,62	30,31	0,90	35 65
P1276	4,16	13,78	6,72	26,02	86,22	0,53	30,17	1,38	67 33
P1281	2,24	7,87	5,07	26,24	92,13	0,89	28,48	1,22	33 67
P1283	2,82	9,28	8,13	27,58	90,72	0,68	30,40	1,37	55 45

Amostras	#100								distribuição de P ₂ O ₅	
	Afundado			Flutuado						
	Peso(g)	Peso(%)	P ₂ O ₅ (%)	Peso(g)	Peso(%)	P ₂ O ₅ (%)	total(g)	P ₂ O ₅ total	afundado	flutuado
P1273	3,30	11,01	3,30	26,66	88,99	0,15	29,96	0,50	73	27
P1274	2,43	8,11	3,45	27,54	91,89	0,16	29,97	0,43	66	34
P1276	5,20	17,39	3,75	24,71	82,61	0,13	29,91	0,76	86	14
P1281	5,08	16,82	5,04	25,11	83,18	0,16	30,19	0,98	86	14
P1283	3,55	11,91	5,60	26,25	88,09	0,20	29,80	0,84	79	21

Amostras	#48										distribuição de MgO	
	Afundado			Flutuado								
	Peso(g)	Peso(%)	MgO(%)	Peso(g)	Peso(%)	MgO(%)	total(g)	MgO total	afundado	flutuado		
P1273	2,67	8,81	15,83	27,62	91,19	7,15	30,29	7,91	18	82		
P1274	1,51	4,97	0,00	28,80	95,03	6,59	30,31	6,26	0	100		
P1276	4,16	13,78	13,10	26,02	86,22	6,36	30,17	7,29	25	75		
P1281	2,24	7,87	13,68	26,24	92,13	8,36	28,48	8,78	12	88		
P1283	2,82	9,28	17,35	27,58	90,72	7,90	30,40	8,78	18	82		

Amostras	#100										distribuição de MgO	
	Afundado			Flutuado								
	Peso(g)	Peso(%)	MgO(%)	Peso(g)	Peso(%)	MgO(%)	total(g)	MgO total	afundado	flutuado		
P1273	3,30	11,01	19,06	26,66	88,99	7,78	29,96	9,02	23	77		
P1274	2,43	8,11	12,35	27,54	91,89	7,14	29,97	7,56	13	87		
P1276	5,20	17,39	18,70	24,71	82,61	7,04	29,91	9,07	36	64		
P1281	5,08	16,82	20,66	25,11	83,18	9,05	30,19	11,00	32	68		
P1283	3,55	11,91	18,60	26,25	88,09	9,69	29,80	10,75	21	79		

ANEXO XXV : Fotografias dos minerais presentes nas amostras de rejeito da usina

Estas fotos complementam a tabela 8C de observações sob microscópio estereoscópio dos produtos flutuados e afundados gerados na separação por densidade. O objetivo dessas observações foi identificar, através das propriedades ópticas, alguns minerais que porventura viessem a causar dúvidas na descrição, e serviram de base para outras identificações.

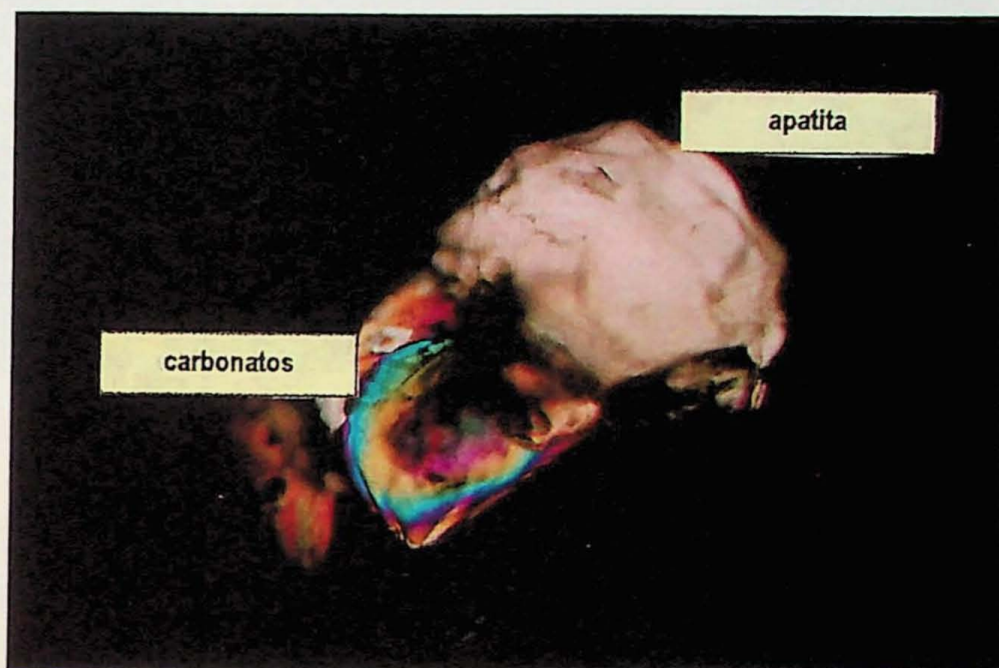


FOTO 1: grão de apatita agregada ao carbonato. Amostra P1273 de produto afundado, fração 48, nicóis cruzados e objetiva 10x.



FOTO 2: grão misto avermelhado (opacos + carbonatos + apatita). Amostra P1281 de produto flutuado, fração 48, nicóis cruzados e objetiva 10x.

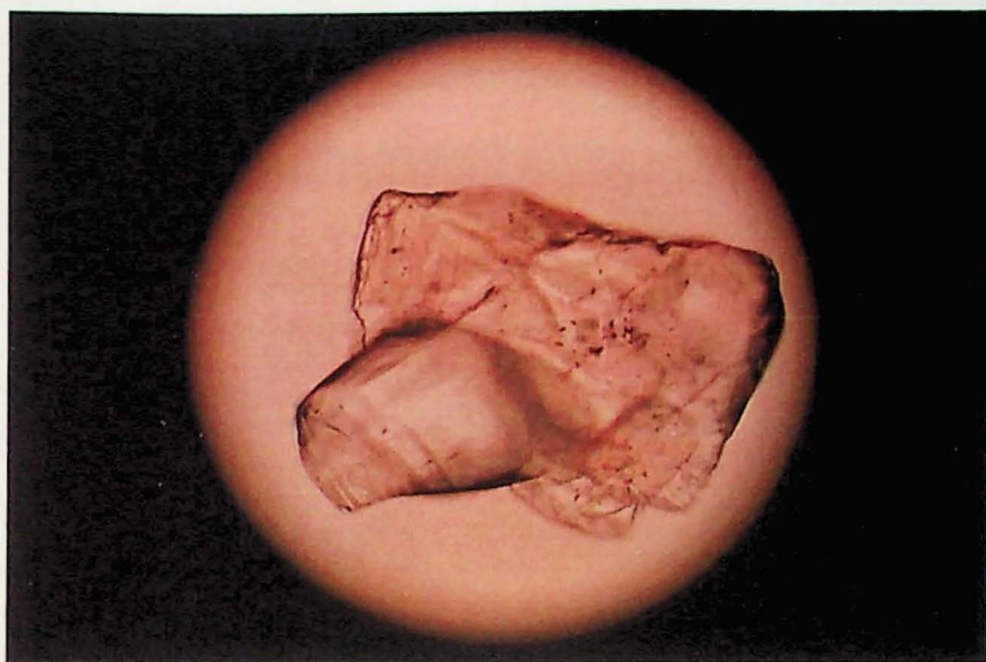


FOTO 3: grão de apatita agregada ao carbonato. Amostra P1273 de produto afundado, fração 48, nicóis descruzados e objetiva 10x.

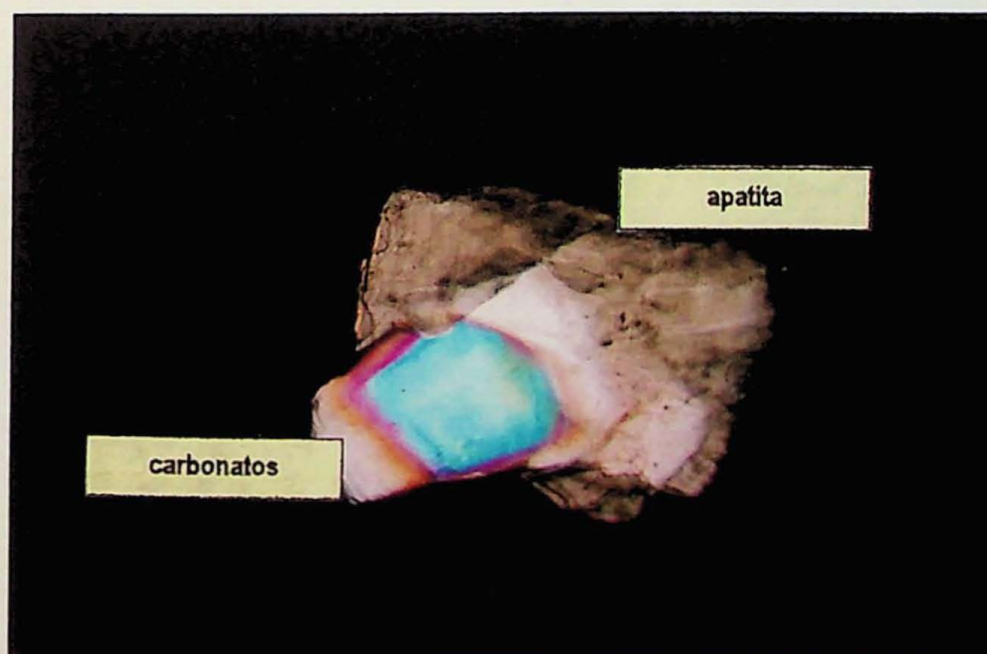


FOTO 4: grão de apatita agregada ao carbonato. Amostra P1273 de produto afundado, fração 48, nicóis cruzados e objetiva 10x.

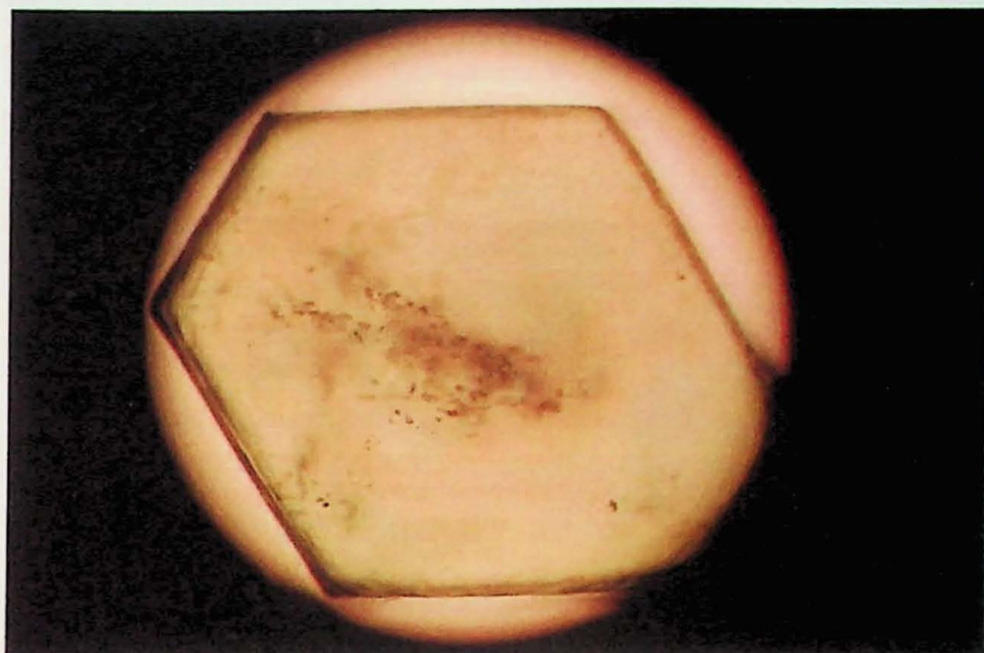


FOTO 5: grão de flogopita hexagonal. Amostra P1273 de produto flutuado, fração 48, nicóis descruzados e objetiva 10x.



FOTO 6: grão de flogopita hexagonal. Amostra P1273 de produto flutuado, fração 48, nicóis cruzados e objetiva 10x.

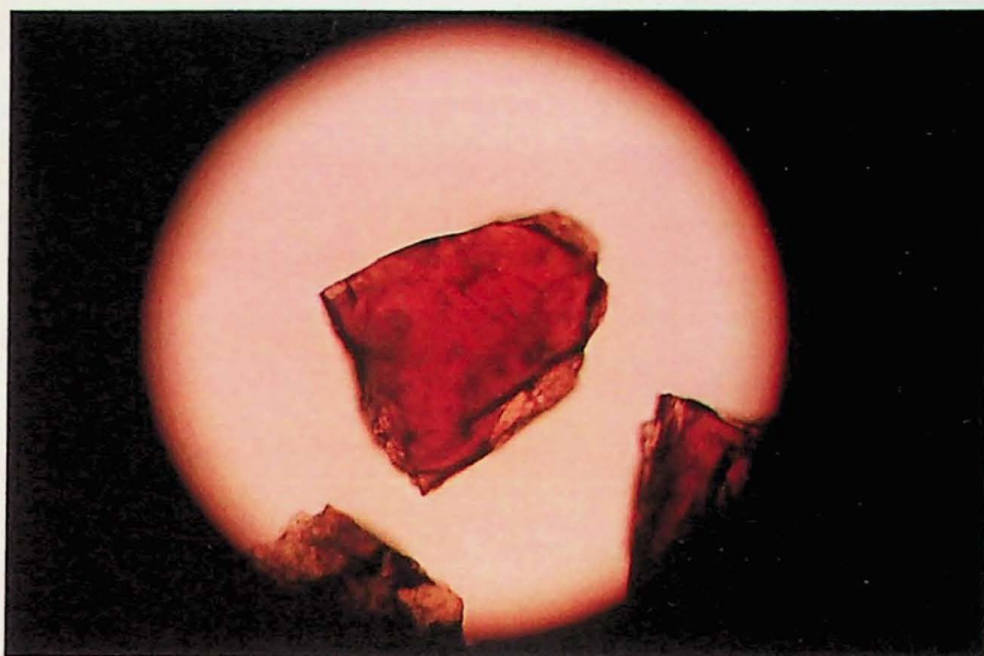


FOTO 7: grão de piroxênio. Amostra P1276 de produto afundado, fração 100, nicóis descruzados e objetiva 10x.

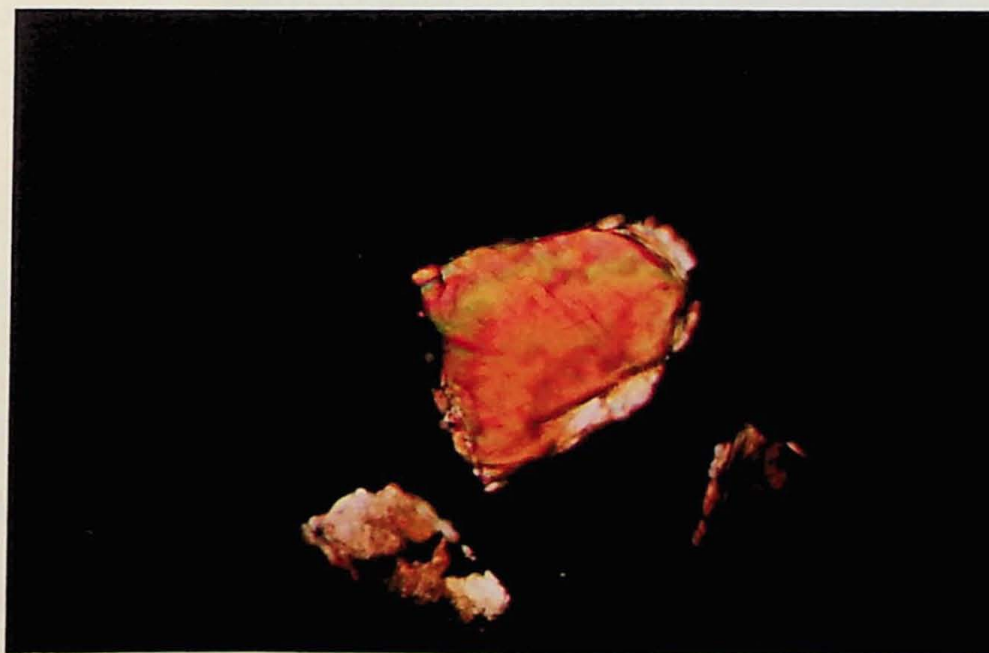


FOTO 8: grão de piroxênio. Amostra P1276 de produto afundado, fração 100, nicóis cruzados e objetiva 10x.

