

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA ÁREA DE
PESQUISA DENOMINADA MESQUITA SAMPAIO,
SITUADA NO COMPLEXO ALCALINO DE
JACUPIRANGA, CAJATI, SP**

Saulo Batista de Oliveira

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

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2005/32)

SÃO PAULO
2005

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900018060

**Caracterização Tecnológica da Área de Pesquisa
Denominada Mesquita Sampaio, Situada no
Complexo Carbonatítico de Jacupiranga, Cajati -**

SP

Saulo Batista de Oliveira



Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. Lilia Mascarenhas Sant'Agostino

Prof. Dr. Excelso Ruberti

Prof. Dr. Maria Helena Bezerra Maia de Holanda

São Paulo

2005

TR

D 418

SB C



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA ÁREA DE PESQUISA
DENOMINADA MESQUITA SAMPAIO, SITUADA NO COMPLEXO
ALCALINO DE JACUPIRANGA, CAJATI, SP

S.B. de Oliveira

Saulo Batista de Oliveira



Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lilia Mascarenhas Sant'Agostino

Co-Orientador: Geól. Thiago Bastos Bonás

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2005/32)

São Paulo

2005

Ficha catalográfica preparada pelo Serviço de Biblioteca e Documentação do Instituto
de Geociências da Universidade de São Paulo

Oliveira, Saulo Batista de

Caracterização tecnológica da área de pesquisa
denominada Mesquita Sampaio, situada no Complexo
Alcalino de Jacupiranga, Cajati SP / Saulo Batista
de Oliveira - São Paulo, 2005.

47 fl. : il. + mapa.

=

Monografia de Trabalho de Formatura : IGC/USP -

Orient. : Sant'Agostino, Lilia Mascarenhas
Co-orient: Bonás, Thiago Bastos

1.Cajati (SP): Mineralogia 2. Minério apatítico
3. Rocha fosfática 4. Caracterização tecnológica
I. Título

AGRADECIMENTOS

Foram muitos os que participaram e ajudaram na realização deste trabalho. De uma forma geral gostaria de agradecer a todas as pessoas e entidades que direta ou indiretamente colaboraram para que este se realizasse.

Destaco aqueles com quem passei a maior parte do tempo durante este ano, e que se tomaram mais que simples colegas de trabalho. O Geól. Thiago, por ter acompanhado todas as fases desta pesquisa com atenção e dedicação e por estar sempre disposto a ajudar no que se fizesse necessário; Geól. Daniel, pelo companheirismo e troca de idéias e Agenor, meu professor de mineração.

À empresa Bunge, na pessoa do Eng. Marcelo, por ter fornecido todos subsídios para a realização deste trabalho. Também agradeço a todos os demais da equipe, citando os quais tive maior contato; Geraldo, Walter, Dirce, Andréia, Lonchanei, Robson, Jairo, Vilson, Zé Amado, senhores da topografia, pessoal da piloto, todos sempre tão gentis e prestativos.

À Prof. Lilia, a quem eu muito admiro o profissionalismo e agradeço pela orientação, ensinamentos e críticas, sempre muito enriquecedores.

À toda equipe do LCT, em especial à Geól. Mariane que sempre se dispôs a ajudar e acompanhou muito do que aconteceu nos bastidores deste trabalho.

Aos Profs. Excelso e Bettencourt pelas valiosas discussões e aulas extras de petrografia.

Ao colega geólogo Barry por sua atenção e disposição em revisar o texto em inglês.

Aos moradores de Cajati, Seu Adão, Dona Izabel, Dona Maria e Dona Aurora, pela calorosa acolhida em sua cidade.

À minha família, Ernesto, Lenice, Ana e André, que também se fizeram presentes em mais esta etapa, e em especial à Talita, pelo carinho e apoio.

Também ao camarada Artur (Merdão) pelo que der e vier e pelo estamos aí. À saudosa galera do banco da Geo: Leopoldo (Satan), Rafael (Vivi), Maurício (Pavão), Julio (Capitão), Graziani (Gobatto), Julio (Charlene) e Gustavo (Tampax), pelos comentários pertinentes e críticas incongruentes, e é claro à toda turma 2001. Valeu galera!

E finalmente à toda comunidade do Instituto de Geociências; professores, demais alunos e funcionários, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O complexo alcalino de Jacupiranga é composto por uma suíte de rochas alcalinas e ultrabásicas com manifestações carbonatíticas associadas. Atualmente a empresa Bunge Fertilizantes desenvolve atividade de lavra no corpo carbonatítico principal visando à extração da apatita como mineral de minério para a fabricação de suplemento mineral para alimentação animal, no município de Cajati, SP.

O Mesquita Sampaio constitui uma área, contígua à jazida atual, com ocorrências carbonatíticas associadas que se encontram em atual fase de pesquisa e avaliação. Dada a escassez de dados sobre a geologia e mineralogia da área enfocada, foi desenvolvido um estudo que contribuísse para sanar esta carência, obtendo um melhor conhecimento das características destas rochas e sua utilização como minério.

Para isso foram analisados dados existentes de descrição macroscópica e de composição química de amostras de testemunhos de sondagem, que permitiram a compartimentação das litologias ocorrentes em unidades levando em consideração parâmetros relevantes ao aproveitamento destes recursos na usina de concentração mineral.

Com base nas informações geradas seguiram-se estudos de caracterização mineralógica e tecnológica fundamentados em análises de distribuição granulométrica, determinação do grau de liberação, ensaios de flotação, análises petrográficas e de difração de raios X.

Assim foi possível verificar através das características químicas, comportamento físico e desempenho destes materiais em ensaio de flotação, que as rochas do Mesquita Sampaio são passíveis de enquadramento no processo de produção atual, classificando-as como minério de baixo teor e inserindo as unidades carbonatíticas na tipologia corrente de operação de lavra como *Dolomítico* e a unidade de xenólitos como *Magnesiano*.

ABSTRACT

The Jacupiranga alkaline complex is composed of a suite of alkaline and ultrabasic rocks with associated carbonatitic manifestations. The Bunge Fertilizer Company is currently exploring the main carbonatitic body with the aim of extracting apatite for the manufacture of mineral supplements for animal feed, in the city of Cajati, SP.

The Mesquita Sampaio constitutes an area, contiguous to the current mine, with associated carbonatitic occurrences that are currently in the research and evaluation phase. Given to the scarcity of geologic and mineralogic data in the focus area, a study was developed to help obtain better knowledge of the characteristics of these rocks and their use as ore.

To do this, existing macroscopic descriptive data, along with whole rock chemistry of drilling samples was analyzed, allowing for the classification of the occurring lithologies into units that take into consideration parameters relevant to the exploitation of resources by the mineral concentration plant.

Based on the results of this study, the rocks were characterized mineralogically and technologically by analyzing grain size distribution, determining the release degree, assaying flotation, petrography and through the use of X ray diffraction.

It was thusly possible to verify through the chemical characteristics, physical behavior and performance of these materials in flotation assay, that the rocks of the Mesquita Sampaio are able to fit into the current production process, being classified as ore of low grade and inserting the carbonatitic units in the current typology of mine operation as *Dolomítico* (*Dolomitic*) and the xenolithic unit as *Magnesiano* (*Magnesian*).

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS.....	2
1.2. RELEVÂNCIA DO TRABALHO.....	2
2. O MESQUITA SAMPAIO	2
2.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS.....	2
3. RESUMO GEOLÓGICO.....	4
3.1. GEOLOGIA REGIONAL.....	4
3.2. GEOLOGIA LOCAL	5
4. ESTUDOS ANTERIORES DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	9
5. O COMPLEXO MÍNERO-INDUSTRIAL DE CAJATI.....	10
5.1. FOSCÁLCIO	10
5.2. PROCESSO DE PRODUÇÃO DO FOSCÁLCIO	11
6. METODOLOGIA	12
6.1. RECONHECIMENTO DA PROBLEMÁTICA	12
6.2. DESENVOLVIMENTO DOS TRABALHOS.....	12
6.3. APLICAÇÕES DOS RESULTADOS FINAIS.....	12
7. MATERIAIS E DADOS DISPONÍVEIS	13
7.1. TESTEMUNHOS DE SONDAÇÃO	13
7.2. DESCRIÇÕES MACROSCÓPICAS	14
7.3. ANÁLISES QUÍMICAS.....	14
7.4. MODELAMENTO GEOLÓGICO	14
8. PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS ADOTADAS	15
8.1. AMOSTRAGEM	15
8.2. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	16
8.3. TRATAMENTO DE DADOS	17
8.4. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA	17
8.5. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA	19
9. RESULTADOS OBTIDOS.....	20
9.1. CLASSIFICAÇÃO DE LITO TIPOS.....	20
9.2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS UNIDADES	26
9.3. CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	30
9.4. GRAU DE LIBERAÇÃO.....	35
9.5. ENSAIO DE FLOTAÇÃO	35
9.6. ANÁLISES PETROGRÁFICAS.....	38
9.7. DIFRAÇÃO DE RAIOS X	40
10. CONCLUSÕES	43
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: INSTALAÇÕES DO COMPLEXO QUÍMICO-INDUSTRIAL DA EMPRESA BUNGE, MORRO DA MINA E A ÁREA DE PESQUISA MESQUITA SAMPAIO.....	1
FIGURA 2: MAPA DE ACESSOS E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	3
FIGURA 3: FOTO AÉREA COM A LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	3
FIGURA 4: MAPA GEOLÓGICO DO COMPLEXO ALCALINO DE JACUPIRANGA.....	5
FIGURA 5: MAPA DAS INTRUSÕES CARBONATÍTICAS.....	7
FIGURA 6: MAPA GEOLÓGICO E MODELO TRIDIMENSIONAL DO CORPO CARBONATÍTICO.....	9
FIGURA 7: DISPOSIÇÃO ESPACIAL DOS FUROS DE SONDAÇÃO DO MESQUITA SAMPAIO.....	13
FIGURA 8: MODELO TRIDIMENSIONAL DO CORPO CARBONATÍTICO DO MESQUITA SAMPAIO.....	15
FIGURA 9: DISTRIBUIÇÃO DOS PARÂMETROS DE GRANULAÇÃO NAS UNIDADES DLMF E DLMG.....	26
FIGURA 10: DISTRIBUIÇÃO DOS PARÂMETROS DE COR NAS UNIDADES DLMF E DLMG.....	26
FIGURA 11: GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÃO DOS PARÂMETROS DE DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA PARA A UNIDADE DLMF.....	24
FIGURA 12: GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÃO DOS PARÂMETROS DE DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA PARA A UNIDADE DLMG.....	25
FIGURA 13: DISTRIBUIÇÃO DE LITOLOGIAS NA UNIDADE DLMF.....	27
FIGURA 14: DISTRIBUIÇÃO DE LITOLOGIAS NA UNIDADE DLMG.....	28
FIGURA 15: DISTRIBUIÇÃO DE LITOLOGIAS NA UNIDADE XEM.....	28
FIGURA 16: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE OS TEORES DE Fe_2O_3 E TiO_2 COM LINHA DE TENDÊNCIA.....	29
FIGURA 17: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE OS TEORES DE Al_2O_3 E SiO_2 COM LINHA DE TENDÊNCIA.....	29
FIGURA 18: GRÁFICOS DA DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES NAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS.....	31
FIGURA 19: GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO EM MASSA NO PASSANTE NAS FAIXAS GRANULOMÉTRICAS.....	32
FIGURA 20: GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÃO DOS PRINCIPAIS ÓXIDOS DE INTERESSE POR FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	34
FIGURA 21: GRÃO MISTO DE APATITA E MAGNETITA APRESENTANDO BAIXA LIBERAÇÃO (FRAÇÃO > 200#). GRÃOS DE APATITA APRESENTANDO MELHOR LIBERAÇÃO (FRAÇÃO < 200#).....	35
FIGURA 22: CONCENTRAÇÃO DE APATITA MUITO FINA EM BOLSÃO (NICÓIS CRUZADOS). MINERAL OPACO ENGLOBANDO CARBONATOS (NICÓIS DESCRUZADOS).....	39

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1: AMOSTRAS SUBMETIDAS À CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	18
TABELA 2: PADRÃO DE CRITÉRIOS DE DESCRIÇÃO.....	21
TABELA 3: GUIA LITOLOGICO PARA AS ROCHAS DO MESQUITA SAMPAIO.....	22
TABELA 4: DADOS ESTATÍSTICOS DOS TEORES QUÍMICOS (% PESO) PARA AS UNIDADES DLMF, DLMG E XEM.....	26
TABELA 5: MÉDIA PONDERADA DOS TEORES (% PESO) PARA AS UNIDADES DLMF, DLMG E XEM EM COMPARAÇÃO COM A UNIDADE DOL DO MORRO DA MINA.....	27
TABELA 6: BALANÇO DE MASSA E DISTRIBUIÇÃO DOS PRINCIPAIS ÓXIDOS NAS FRAÇÕES.....	33
TABELA 7: BALANÇO METALÚRGICO DOS CONCENTRADOS DOS ENSAIOS DE FLOTAÇÃO.....	36
TABELA 8: BALANÇO METALÚRGICO DOS MELHORES ENSAIOS DE FLOTAÇÃO OTIMIZADOS.....	37
TABELA 9: PRINCIPAIS FASES MINERAIS IDENTIFICADAS NOS PRODUTOS MAGNÉTICOS.....	40
TABELA 10: PRINCIPAIS FASES MINERAIS IDENTIFICADAS NOS PRODUTOS AFUNDADOS.....	41
TABELA 11: PRINCIPAIS FASES MINERAIS IDENTIFICADAS NOS PRODUTOS FLUTUADOS.....	42

1. INTRODUÇÃO

O Complexo Alcalino de Jacupiranga constitui uma ocorrência brasileira clássica de depósito mineral em província de rochas alcalinas com manifestações de carbonatitos associados, congregando instalações de uma mina e um complexo químico-industrial no município de Cajati, estado de São Paulo.

Tais instalações referem-se à empresa Bunge Fertilizantes S.A. que atualmente desenvolve atividade de lavra no corpo carbonatítico visando à extração da apatita como mineral de minério, e também aproveitando, como subproduto, a matéria-prima carbonática na fabricação de foscálcio, usado como suplemento mineral para alimentação animal.

A área denominada Mesquita Sampaio encontra-se nas adjacências da porção setentrional do Morro da Mina, nome dado à mina de Cajati, e apresenta recursos minerais que se encontram em fase de pesquisa e avaliação, em atual desenvolvimento pela empresa (Figura 1).

Este trabalho está inserido neste contexto e apresenta os resultados obtidos com os estudos de caracterização tecnológica destes recursos.



Figura 1: Em perspectiva as instalações do complexo químico-industrial da empresa Bunge e Morro da Mina, ao fundo a área de pesquisa Mesquita Sampaio.

1.1. Objetivos

O presente trabalho objetivou o estudo detalhado das fases minerais presentes e da química mineral desta região em apoio à caracterização tecnológica em atual desenvolvimento pela equipe da empresa, com a proposta de apresentar um guia de descrição aplicável às rochas da nova ocorrência.

Tais resultados permitiram o confronto dos dados mineralógicos gerados com os resultados de estudos de flotação em escala de bancada, realizados pela empresa, visando otimização do processo de concentração para este tipo de minério o qual difere expressivamente do correntemente explorado na mina.

O comportamento deste material quanto à separação física e a composição química foi também comparado com o comportamento típico de algumas tipologias da mina já conhecidas: *Carbonatito Dolomítico*, *Carbonatito Magnesiano* e *Carbonatito Calcítico* (usados para foscálcio, e com rejeitos destinados à fabricação de cimento).

1.2. Relevância do Trabalho

Por ser essa unidade pouco conhecida, o presente trabalho é de grande importância, não apenas para o desenvolvimento do processo de lavra e beneficiamento como também para fornecer novos dados ao modelamento geológico e genético do corpo carbonatítico.

Esse trabalho obteve um melhor conhecimento das características mineralógicas e químicas dos novos corpos carbonatíticos e seu potencial de aproveitamento na usina de concentração mineral, além de consolidar a assinatura e característica descritiva das rochas da área Mesquita Sampaio.

2. O MESQUITA SAMPAIO

A área objeto de lavra na jazida de Cajati está coberta por dois direitos minerários, um primeiro, referido como “Portaria de Lavra 675”, diz respeito à área onde se inclui o Morro da Mina, a jazida atualmente em lavra. O segundo, citado como “Portaria de Lavra 728”, cobre uma superfície de 255 ha a norte da cava da mina e se refere à área denominada Mesquita Sampaio (Mapa anexo).

Atualmente o Mesquita Sampaio é uma área de pesquisa mineral da empresa Bunge Fertilizantes S.A. e seus recursos encontram-se em estágio de pesquisa e avaliação, contexto no qual esse trabalho se insere, somando informações geológicas e tecnológicas à tais atividades.

2.1. Localização e Acessos

O Mesquita Sampaio está localizado a norte do complexo mérino-industrial, aproximadamente segundo as coordenadas 24° 40' 33.0" S de latitude e 48° 08' 04.0" W de longitude. Seus limites estão inseridos no município de Cajati, na região do Vale do Ribeira

a sudeste do estado de São Paulo, próximo à divisa com o Paraná e dista cerca de 240 km da capital paulista e 180 km de Curitiba, capital paranaense.

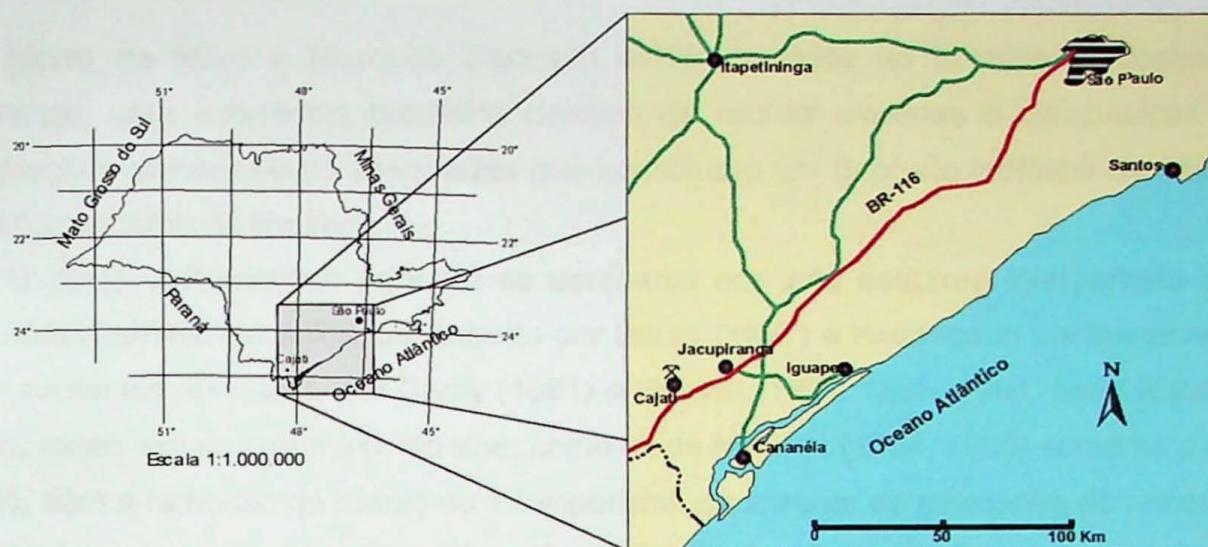


Figura 2: Mapa de acessos e localização da área de estudo.

O acesso principal se faz pela BR-116, rodovia Régis Bittencourt, Km 488,5, que liga o estado de São Paulo aos do sul do país (Figuras 2 e 3).

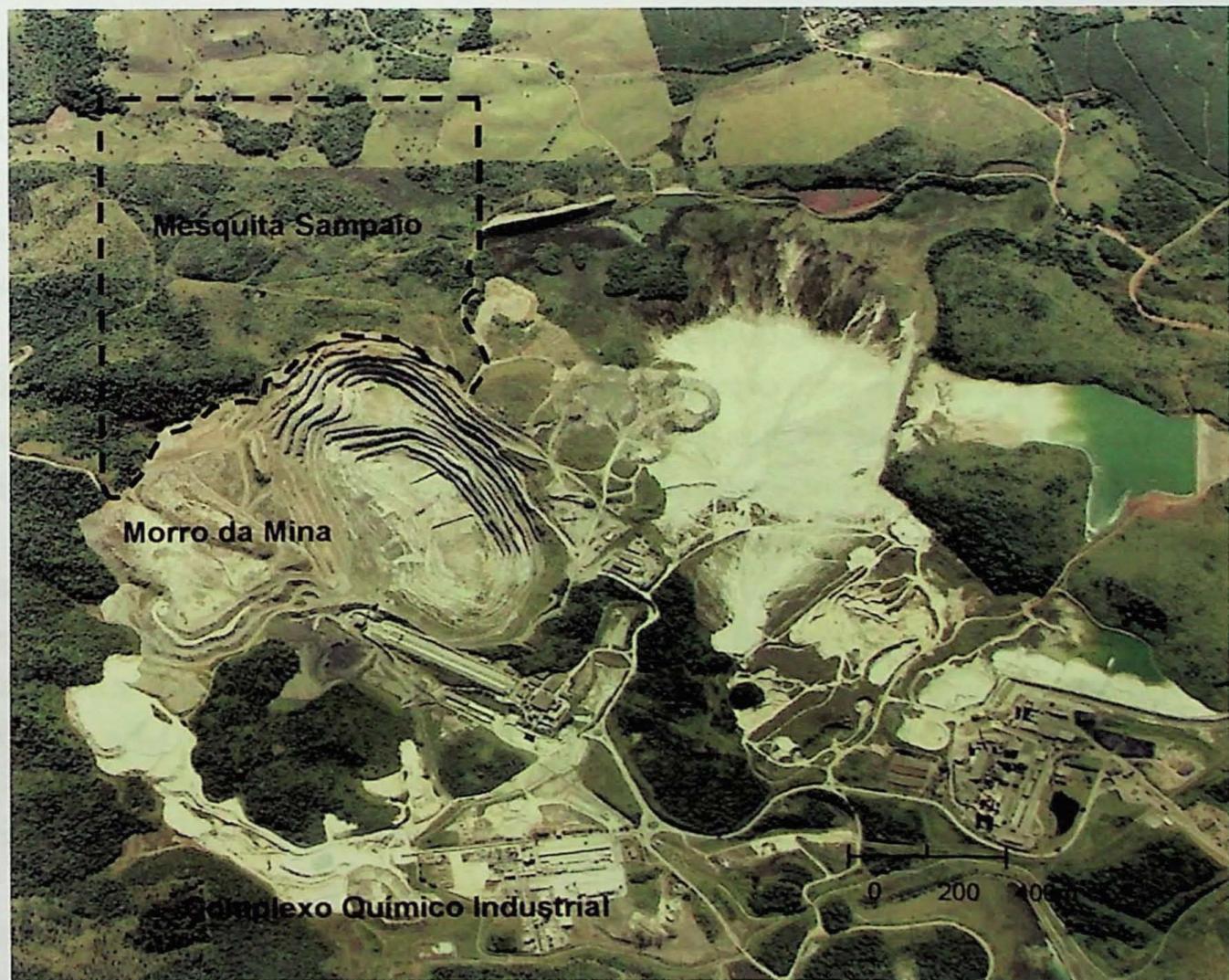


Figura 3: Foto aérea destacando a localização da área de estudo (Escala aproximada).

3. RESUMO GEOLÓGICO

3.1. Geologia Regional

Morro da Mina e Mesquita Sampaio estão inseridos no Complexo Alcalino de Jacupiranga, uma ocorrência brasileira clássica de rochas alcalinas e ultrabásicas com manifestações carbonatíticas associadas que constituem um depósito fosfático de afiniação magmática atualmente em lavra.

O corpo carbonatítico principal se apresenta em uma estrutura interpretada como sendo uma chaminé vulcânica, descoberta por Bauer (1877) e investigado preliminarmente, em fins do século retrasado, por Derby (1891) e Hussak (1892, 1895, 1904, *apud* Ruberti *et al* 1992), tendo estudos de maior detalhe, como os de Melcher (1954, 1965) somente a partir de 1943, com a remoção do manto de intemperismo decorrente de atividades de mineração a céu aberto no corpo carbonatítico do, então denominado, Morro da Mina.

A lavra de minério residual de teores elevados ($>25\% \text{ P}_2\text{O}_5$) perdurou até meados dos anos 60, década a partir da qual a base econômica da jazida começou a sofrer mudanças, iniciando a mineração do corpo carbonatítico subjacente ao manto intempérico mineralizado a apatita, com teores médios ao redor de 5% de P_2O_5 .

Foi possível, então, que trabalhos mais minuciosos sobre a geologia estrutural e mineralogia da área fossem desenvolvidos, a exemplo de Menezes Júnior & Martins (1984) e Gaspar & Wyllie (1983a e 1983b).

Determinações radiométricas K/Ar também foram feitas em carbonatitos do complexo, indicando idade aproximada de $131 \pm 3 \text{ Ma}$ (Amaral, 1978), sendo reafirmadas posteriormente por Rb/Sr em trabalho de Roden *et al* (1985).

Com relação à tectônica, vários autores como Algarte (1972), Ferreira & Algarte (1979) e Almeida (1983), entre outros, admitem associação entre as rochas do complexo e o lineamento de Guapiara, onde a atividade magmática alcalina mesozóica reconhecida nas rochas de Cajati teria sido condicionada pelo Arco de Ponta Grossa.

Germann *et al* (1987) apresenta um mapa geológico onde o complexo exibe forma ovalada de aproximadamente 70 km^2 , segundo NNW, e acha-se inteiramente encaixado em rochas pré-cambrianas do Grupo Açuengui (550 Ma): granodioritos de Fácies Cantareira, Proterozóico Superior, a norte e mica xistos do Complexo Turvo-Cajati, Proterozóico Inferior, ao centro e sul (Figura 4 e Mapa anexo).

As encaixantes do carbonatito são basicamente rochas alcalinas, representadas pelo jacupiranguito e dunitos bordejados por uma zona de assimilação na região setentrional.

Vale realçar que a rocha jacupiranguito definida originalmente nas descrições de Derby (*op. cit*), designa um piroxenito constituído essencialmente por titano-augita, magnetita e nefelina, com biotita e olivina como acessórios, sendo que a presença de tal piroxênio na rocha é a característica fundamental para sua definição.

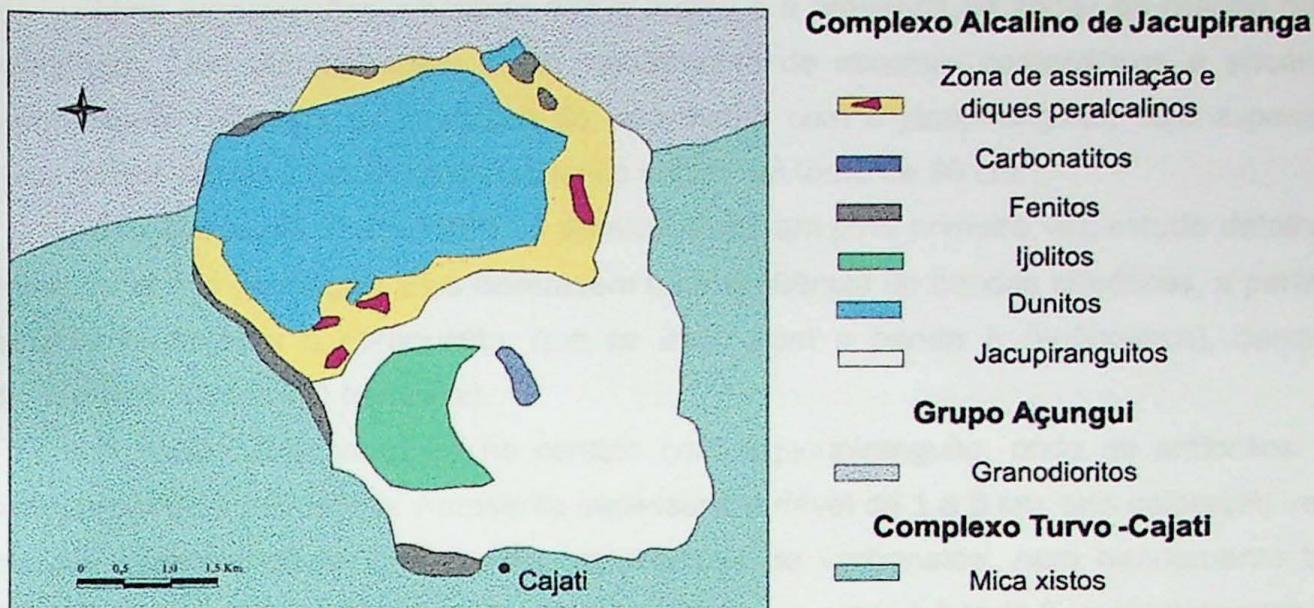


Figura 4: Mapa geológico do Complexo Alcalino de Jacupiranga adaptado de Germann *et al.* (1987).

Com a evolução dos estudos do complexo, surgiu uma situação conflitante em relação ao termo, pois se verificou que o principal piroxênio do jacupiranguito é o diopsídio, e não a titano-augita. Foi proposto então por Gaspar (1989) que o termo fosse evitado. Entretanto, em função do uso do termo estar muito difundido na linguagem da mina, ele será mantido neste trabalho, subentendendo-se que se trata de um magnetita clinopiroxenito, ao se referir ao corpo encaixante do carbonatito.

A intrusão alcalina apresenta também outros piroxenitos, peridotitos serpentinizados, ijolitos, nefelina sienitos, fenitos e, mais ao centro, carbonatitos, objeto deste trabalho, além de outros tipos de rochas alcalinas de menor expressão, que ocorrem principalmente sob a forma de diques, como essexitos, monchiquitos, melteigitos e fonalitos.

Ainda sobre o Complexo Alcalino de Jacupiranga, Reis (1983) e Ruberti *et al.* (1992) apresentaram sínteses das informações disponíveis, sendo tais trabalhos considerados as principais fontes das informações pesquisadas e aqui apresentadas.

3.2. Geologia Local

Considerando o corpo de carbonatito especificamente, porção onde está instalada a mina, talvez o primeiro trabalho de maior importância seja o de Gaspar & Wyllie (*op. cit.*) que identificou cinco fases de intrusões carbonatíticas, e não apenas duas (Melcher, *op. cit.*), e sua seqüência cronológica, tendo como rocha encaixante o chamado jacupiranguito.

Assim esta estrutura magmática é interpretada como sendo uma chaminé vulcânica brechada, com forma cônica estreita e invertida, resultante de explosão subvulcânica de magma carbonatítico rico em voláteis, que ao atingir profundidades rasas da crosta provocou a expansão gasosa súbita como magma fluidizado, envolvendo fragmentos dos dutos, no caso xenólitos de jacupiranguito, e do próprio magma.

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

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

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

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

Menezes Júnior & Martins (*op. cit*) dividiram os minerais da assembléia do depósito em dois grupos: aqueles encontrados no carbonatito e os encontrados no jacupiranguito. A lista completa consiste em 53 espécies. No carbonatito esses autores observaram: ancilita, aragonita (secundária), baddeleyta, barita, brucita, calcita (primária e secundária), calcopirita, titano-clinohumita, dolomita, estroncianita, flogopita, fluorapatita, forsterita, galena, geikielita, magnésio-ilmenita, magnetita, manasseita, pirita, pirrotita, quartzo (secundário), quintinita, minerais do grupo da serpentina, uranopirocloro, valeriita.

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

Com o controle químico e geológico efetuado durante as atividades de mineração e mapeamento de detalhe das frentes de lavra, foi possível a elaboração de mapa com maior detalhamento de feições estruturais (foliação e lineação mineral) destas cinco fases intrusivas e, também, o desenvolvimento de um modelo estrutural do maciço rochoso em termos geométrico e evolutivo (Figura 5). Assim, Gaspar (*op. cit*) dividiu as intrusões em duas porções: a porção Norte e a porção Sul. As intrusões da porção Sul foram denominadas: C₁, C₂, C₃ e as da porção Norte: C₄ e C₅, tendo sido determinado que a seqüência das intrusões carbonatíticas, da mais velha para a mais nova é: C₁, C₂, C₃, C₄ e C₅.

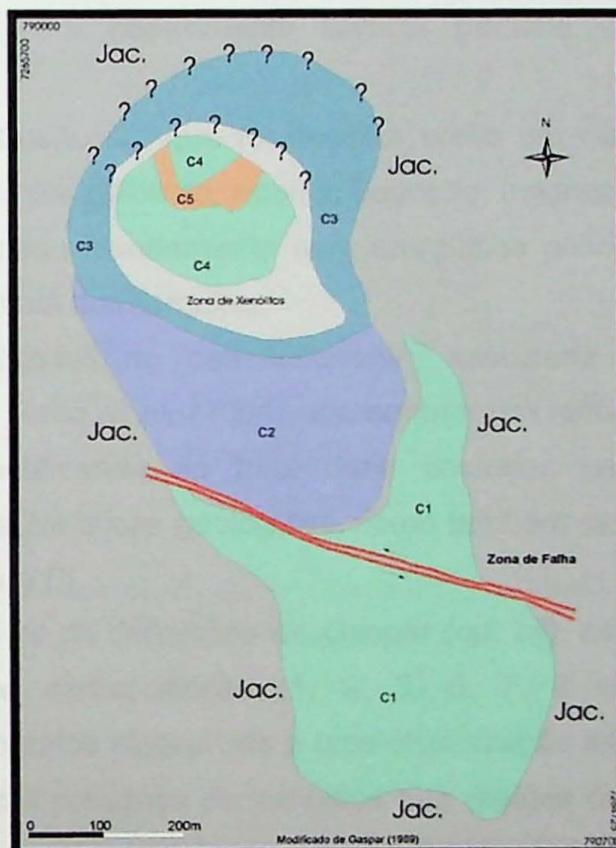


Figura 5: Mapa das intrusões carbonatíticas modificado de Gaspar (1989). Intrusões: C₁, C₃ e C₄- Sovitos calcíticos; C₂- Sovito dolomítico; C₅- Rauhaugito.

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

A intrusão C₂ foi descrita como um sovito dolomítico com granulação fina a média composta por uma rocha finamente bandada, constituída por: calcita, apatita, magnetita, olivina, flogopita, dolomita e sulfetos. Possui mergulho vertical, paralelo ao contato com C₁, e

a lineação da apatita é subhorizontal. No contato entre C₂ e C₃ observou-se sovito e beforsito com bandamento difuso.

A intrusão C₃ também é um sovito com granulação média a grossa, com bandamento menos evidente, sendo composto por: calcita, apatita, magnetita, flogopita, dolomita, olivina e sulfeto. Este corpo tem uma característica diferente dos outros locais, no centro o mergulho é para Norte, entre 20 a 40°, já nas bordas torna-se mais íngreme e em alguns locais, vertical. A lineação da apatita é geralmente paralela ao mergulho.

Na porção Norte o corpo C₄ foi descrito como um sovito com granulação média, composto por: calcita, apatita, magnetita, olivina, flogopita, dolomita e sulfetos, em forma de uma intrusão cilíndrica com bandamento vertical paralelo às bordas com lineação subhorizontal.

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

Devido às dificuldades no beneficiamento, associada com a necessidade de reavaliação do depósito, Saito *et al.* (2004) apresentam um refinamento da divisão para o corpo carbonatítico, identificando no total doze unidades geológicas que levam em consideração não só características geológicas, como também características relevantes da rocha como minério (Figura 6).

Em complemento às definições de Gaspar (*op. cit*), os autores distinguiram sete unidades exclusivamente carbonatíticas (1, 2, 3, 6, 7, 8 e 9), com características petrográficas distintas, contatos mapeáveis e uma organização interna distinta, com foliação de fluxo concêntrico e com presença de xenólitos nas regiões de contato (jacupiranguito e carbonatito mais antigos).

Correlacionando com o mapa de Gaspar (*op. cit*), as unidades carbonatíticas 1 a 3 correspondem à intrusão C₁, as unidades 6 a 8 correspondem à intrusão C₂, a unidade 6 também corresponde à C₃, a unidade 9 corresponde à C₄, e aparentemente o carbonatito dolomítico (11) corresponde à C₅.

Foram diferenciadas ainda lentes métricas isoladas de foscoritos a norte e sul (4 e 10) e um corpo carbonatítico dolomítico (11), de granulação grossa a pegmatóide, em contato transicional, além de relíctos de rocha foliada, aparentemente produtos de alteração carbonática tardia (dolomitização). Além da zona de xenólitos norte mapeada por Gaspar (1989), foram identificadas outras duas regiões a leste e sul, onde os xenólitos centimétricos a métricos são de jacupiranguito com bordas metassomatizadas, ora suportadas por matriz carbonáticas ora por xenólitos.

A zona de falha (5) corresponde a principal falha de um regime de cisalhamento rúptil que produziu um sistema de falhas principais e subsidiárias, com atitude N75W / subvertical

e componente de cisalhamento sinistral. O falhamento produziu uma série de produtos como brechas, cataclasitos e *gouges*, além de permitir a alteração/oxidação pervasiva e fissural do carbonatito, em diferentes intensidades.

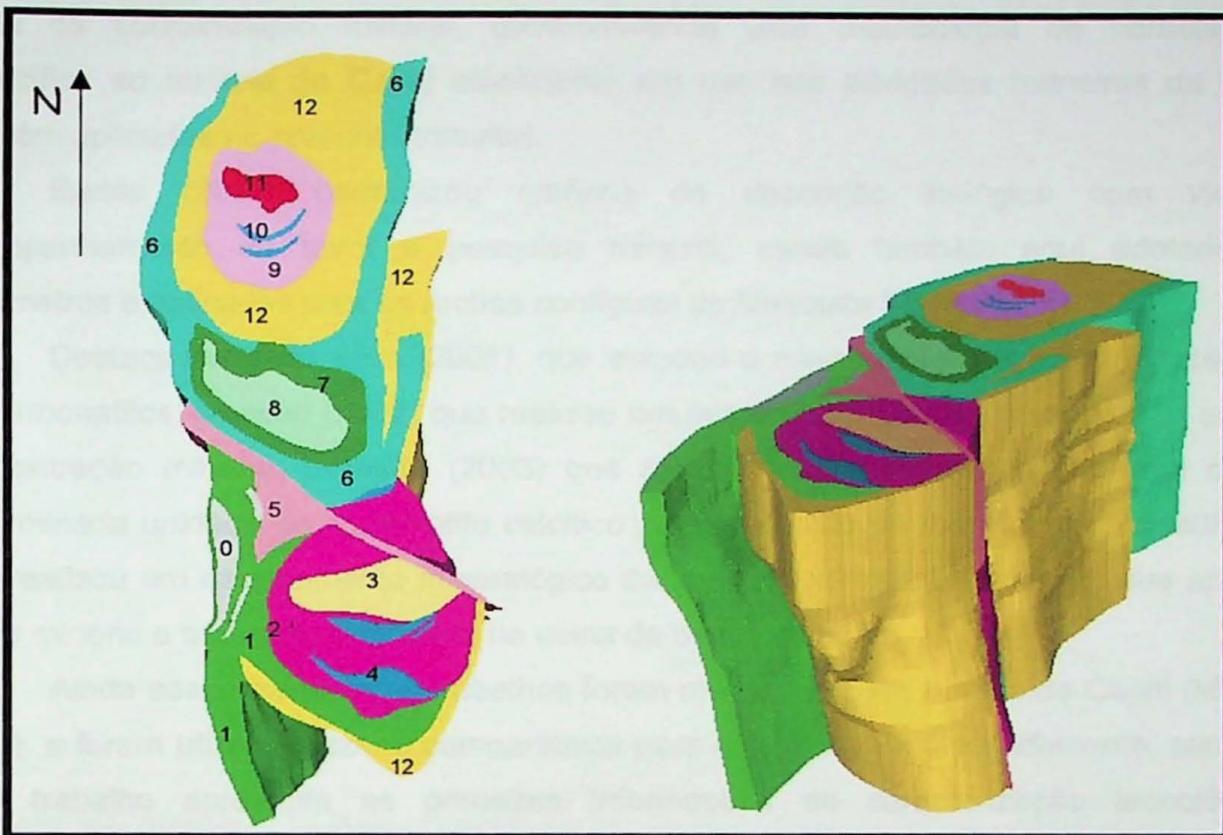


Figura 6: Mapa geológico e modelo tridimensional do corpo carbonatítico (Saito et al., 2004). Unidades geológicas: **1**- Carbonatito Periférico Sul (CPS); **2**- Carbonatito Calcítico Sul (CCS); **3**- Carbonatito Oxidado (COX); **4**- Zonas com Foscortos Sul (FCS); **5**- Zona de Falha (ZFA); **6**-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

4. ESTUDOS ANTERIORES DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Trabalhos de avaliação dos recursos minerais da área Mesquita Sampaio realizados para empresa na década de 70 apontavam a não viabilidade econômica da lavra na região, e, portanto, nunca foram realizados estudos relacionados à tecnologia mineral destas rochas.

Já o minério apatítico do Morro da Mina foi alvo de diversos estudos de caracterização tecnológica desenvolvidos pela equipe da empresa, que formava o Centro de Tecnologia Mineral Serrana. Esta equipe foi dissolvida ainda no final da década de 80 e, devido às significativas mudanças ocorridas na usina de tratamento do minério nos últimos quinze anos, muitos destes trabalhos não trazem grande contribuição a este projeto.

No final da década de 90, a empresa Bunge Fertilizantes, retomou o interesse em tais pesquisas com uma proposta de otimização do aproveitamento de recursos minerais, na

qual se enquadra o presente projeto. Seguiram-se, portanto, estudos de caracterização tecnológica, que vem a ser a base deste trabalho.

Alves (1999) correlacionou os tipos litológicos de minério e seu aproveitamento na usina de concentração mineral, desenvolvendo uma metodologia de caracterização específica ao minério de Cajati atualmente em uso nas atividades rotineiras da mina e também aplicadas no presente trabalho.

Bonás (2001) padronizou critérios de descrição litológica com vista ao acompanhamento de lavra e pesquisa mineral, sendo também aqui adotados tais parâmetros e aplicados para as rochas contíguas do Mesquita Sampaio.

Destaca-se ainda Silva (2001), que estudou a mineralogia dos minerais acessórios de carbonatitos, Raposo (2002) que realizou um estudo mineralógico no rejeito da usina de concentração mineral, Brandão (2003) que avaliou o aproveitamento industrial de uma determinada unidade de carbonatito calcítico para produção de foscálcio e Brumatti (2004) que realizou um detalhamento mineralógico da zona de xenólitos, avaliando sua aplicação como minério e seu comportamento na usina de beneficiamento.

Ainda assim todos estes trabalhos foram realizados para a mina de Cajati (Morro da Mina), e foram utilizados como comparativos para as rochas da área adjacente, sendo que este trabalho apresenta as primeiras informações de caracterização tecnológica e mineralógica das rochas do Mesquita Sampaio.

5. O COMPLEXO MÍNERO-INDUSTRIAL DE CAJATI

No complexo industrial de Cajati está instalada uma estrutura verticalizada do grupo Bunge, sede da antiga Serrana Nutrição Animal, onde se tem desde a extração do minério básico até a expedição do produto final.

A rocha fosfática, da qual são extraídos os componentes básicos, possui características econômicas intrínsecas muito peculiares, pois além de ocorrer mineralizada a apatita apresenta teores de magnésio muito baixos, o que é um aspecto positivo, dado que tal elemento é tido como impureza no processo industrial de fabricação de Foscálcio.

5.1. Foscálcio

Foscálcio é uma marca registrada pela Bunge Fertilizantes S.A. que se refere ao fosfato bicálcico desfluoritizado utilizado como suplemento mineral para alimentação animal com a finalidade de balancear os níveis de cálcio e fósforo nas rações e outros suplementos minerais.

Para sua produção é necessário, não só uma fonte de fósforo, no caso o ácido fosfórico fabricado a partir da apatita, como também uma fonte de cálcio. Devido a pureza do carbonatito calcítico é possível aproveitar o próprio rejeito carbonático da usina de concentração de minério para a produção do foscálcio.

5.2. Processo de Produção do Foscálcio

O processo se inicia com o planejamento de lavra onde são determinados os locais mais indicados para a operação do desmonte, com base em estudos contínuos geológicos e tecnológicos.

Após o desmonte os blocos de rocha são carregados e transportados para a britagem primária, onde este material é triturado até atingir fragmentos de aproximadamente 30 cm, que posteriormente, na britagem secundária, são reduzidas ainda mais, atingindo até 3 cm.

O material britado vai para a pilha de homogeneização onde ocorre a blendagem das diversas unidades geológicas da mina que possuem diferentes concentrações de minério.

Para a produção do foscálcio o carbonatito deve apresentar teor máximo de MgO de 3,74% e mínimo de 3% de P₂O₅.

Da pilha de homogeneização o minério é retomado para alimentar a usina de concentração mineral, onde é cominuido em moinho de barras e vai para o desmagnetizador que, através de uma polia magnética, retira a magnetita da massa carbonática.

Em seguida o minério desmagnetizado passa pelo sistema de flotação, que permite a separação da apatita dos demais minerais componentes do minério. A flotação gera um concentrado com teor em torno de 36%.

O rejeito carbonático gerado na usina também é considerado como subproduto para a indústria de cimento, quando o teor de MgO do minério se encontra entre 3,74 e 4,30%, ou como corretivo para solos quando se trata de minério com teor de MgO maior do que 8%.

Na produção do foscálcio, a única matéria-prima natural que não é extraída no local é o enxofre, que é utilizado no complexo industrial na produção de ácido sulfúrico. Nessa operação ocorre a fusão e filtração do enxofre, filtração e secagem do ar, queima do enxofre purificado, a produção de SO₂ que é transformado em SO₃, que segue então para a torre de absorção, depois para torre final, passa pelo resfriamento e finalmente é estocado.

O concentrado fosfático gerado na usina de beneficiamento é solubilizado com o ácido sulfúrico em reator via úmida, sendo seqüencialmente o produto filtrado, permitindo assim a separação do ácido fosfórico e do gesso como rejeito. O ácido fosfórico segue então para os tanques de armazenagem e para o sistema de evaporação, onde o nível de flúor é adequado ao de fósforo.

O material carbonático, rejeito da usina de concentração da apatita, é aspergido com o ácido fosfórico na geração do fosfato bicálcico, o foscálcio.

A partir daí, o foscálcio vai para o box de cura, passa pelo secador, segue para o sistema de moagem e classificação, é ensacado e encaminhado para a comercialização.

Todo a sequência produtiva é ilustrada nos Anexos 1 a 9.

6. METODOLOGIA

A metodologia proposta e empregada consistiu na aquisição, compilação e geração de dados que trouxessem maiores informações a respeito da área enfocada, sempre com a visão de fornecer material útil para os trabalhos atuais e posteriores de avaliação dos recursos minerais reconhecidos, através do emprego de diversos recursos tecnológicos.

6.1. Reconhecimento da Problemática

A área Mesquita Sampaio se encontra em uma depressão morfológica, em terrenos alagadiços de pântanos e charcos com alta densidade de vegetação, sem a ocorrência de afloramentos de rocha. Tais aspectos dificultam um mapeamento geológico de detalhe, e assim, são escassos dados geológicos e informações mineralógicas que possam ser aplicados ao beneficiamento de minério.

A presente metodologia foi elaborada, não só visando contribuir para sanar esta carência, como também oferecendo alternativas de enquadramento deste material na sequência produtiva atualmente em prática.

6.2. Desenvolvimento dos Trabalhos

Inicialmente os trabalhos abrangeram o tratamento dos dados existentes de ensaios de flotação, descrição macroscópica e análise química dos testemunhos de sondagem, provenientes de onze furos locados na área de estudo.

Destes onze furos foram selecionadas amostras para caracterização, as quais foram submetidas a procedimentos de preparação em escala de bancada, através de britagem, moagem e classificação granulométrica, conforme procedimentos rotineiros da empresa, definidos por Alves (1999). Alguns intervalos de testemunhos de sondagem representativos de feições típicas das litologias, segundo as descrições macroscópicas e dentro dos intervalos amostrados para a caracterização tecnológica, foram coletados para análises petrográficas.

Para os estudos mineralógicos foi feito um reconhecimento dos minerais através das análises petrográficas em lâmina delgada e, em apoio a estes dados e enfocando o tema deste projeto, foram efetuadas análises por difração de raios X para detalhamento mineralógico e químico das fases componentes.

6.3. Aplicações dos Resultados Finais

Esse trabalho teve como escopo a obtenção de dois diferentes resultados seqüenciais e intrínsecos. Primeiramente é apresentado um guia de descrição litológica aplicável à ocorrência carbonatítica presente no Mesquita Sampaio e, com a identificação das principais fases minerais que compõe as rochas enfocadas, apresenta-se um conhecimento mais detalhado das características deste material como minério.

A partir das informações geradas e dos trabalhos e de dados das unidades em lavra atualmente na mina, foi possível estabelecer comparativos e assim prever o desempenho deste material na usina de beneficiamento.

Estes resultados habilitarão as descrições dos mais importantes parâmetros geológicos ligados à composição mineral da rocha de maneira objetiva, fazendo com que estes dados sejam utilizados futuramente, tanto para o estreitamento na relação planejamento de lavra e usina de concentração, como para a atualização do modelo geológico vigente.

7. MATERIAIS E DADOS DISPONÍVEIS

No início deste projeto já se dispunha de amostras de furo de sondagem e algumas informações da área Mesquita Sampaio, dado que esta área se encontra em fase de estudo pela equipe de pesquisa da empresa. Todos esses materiais e dados utilizados são detalhados a seguir.

7.1. Testemunhos de Sondagem

Os estudos se apoiaram em amostras de onze furos de sondagem inclinados 45°, dispostos segundo uma malha de espaçamento de 100 metros e locados na área Mesquita Sampaio conforme mostra a Figura 7.

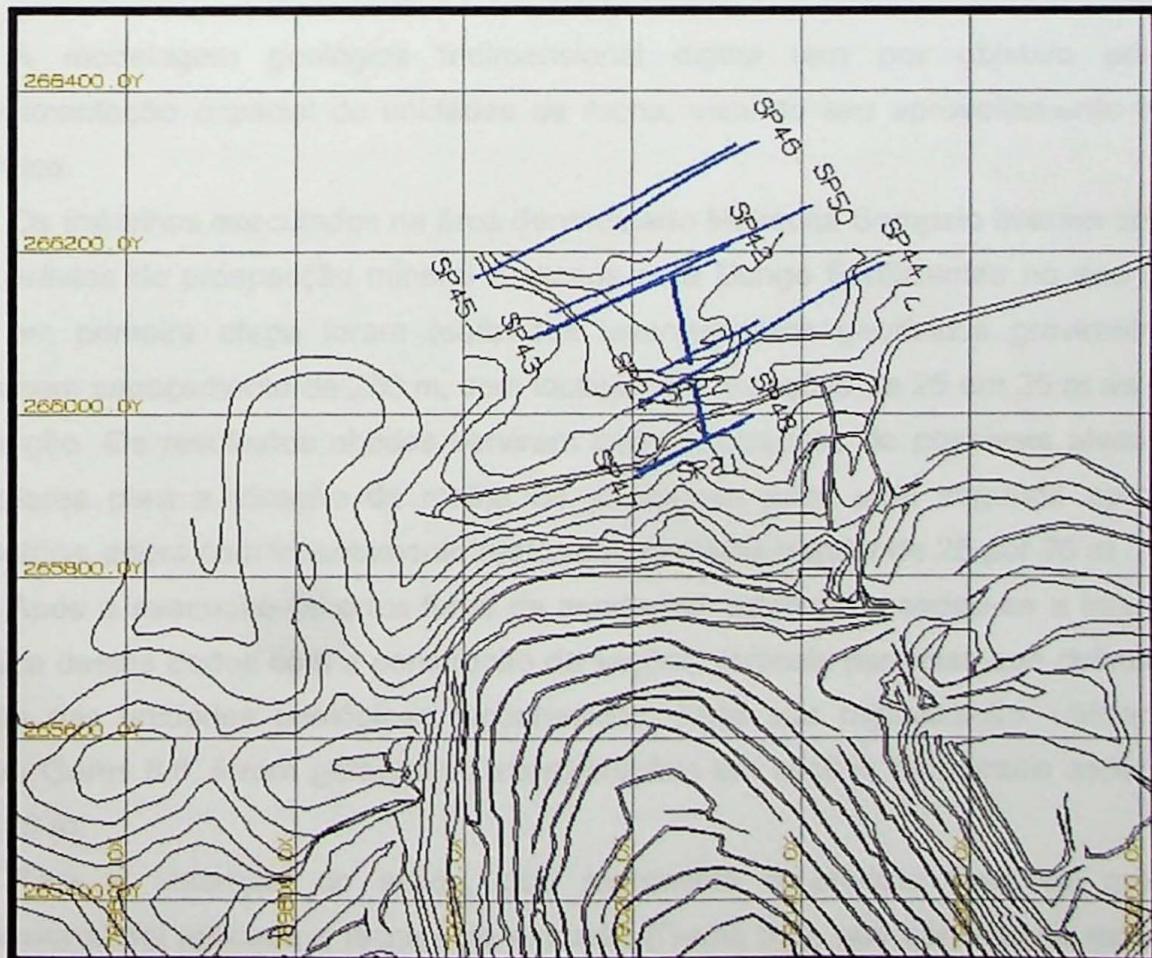


Figura 7: Disposição espacial dos furos de sondagem do Mesquita Sampaio.

Três furos foram realizados em campanha de sondagem no ano de 2000, identificados como SP21, SP22 e SP24, e mais oito furos SP42, SP43, SP44, SP45, SP46, SP47, SP48 e SP50, na campanha de 2003 totalizando 4.428,00 metros de perfuração na área de estudo.

7.2. Descrições Macroscópicas

Os furos de sondagem foram descritos detalhadamente pela equipe de pesquisa seguindo os parâmetros propostos por Bonás (2001) para o Morro da Mina e utilizados atualmente pela empresa, visando as principais características da rocha mais influentes no processo de beneficiamento desta como minério na usina de concentração mineral.

7.3. Análises Químicas

Todos intervalos de furo de sondagem descritos foram serrados, amostrados e levados para laboratório e analisadas por fluorescência de raios X, através de pastilhas fundidas e em casos particulares, por absorção atômica, segundo os óxidos CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Na₂O, K₂O, P₂O₅, TiO₂, SrO, MnO e S e perda ao fogo, seguindo procedimentos rotineiros da empresa.

Da mesma forma que todas frações geradas nos ensaios de granulometria também foram encaminhadas ao laboratório e analisados quimicamente segundo a mesma rotina.

7.4. Modelamento Geológico

A modelagem geológica tridimensional digital tem por objetivo principal a compartimentação espacial de unidades de rocha, visando seu aproveitamento técnico e econômico.

Os trabalhos executados na área denominada Mesquita Sampaio tiveram como base dados prévios de prospecção mineral realizada pela Bunge Fertilizantes no ano de 2003, onde, em primeira etapa foram realizados levantamentos geofísicos gravimétricos em seções com espaçamento de 250 m, com locação das estações de 25 em 25 m ao longo de cada seção. Os resultados obtidos serviram como indicativos de possíveis alvos e como orientadores para a locação da malha de sondagem após uma segunda aproximação gravimétrica, agora com levantamento realizado em malha regular de 25 por 25 m.

Após a execução de onze furos de sondagem rotativa procedeu-se a interpretação geológica destes dados com a construção de seções verticais paralelas que delimitaram os contatos das unidades geológicas reconhecidas. Após sua digitalização, utilizando-se o software Gems 5.5, foram geradas as interpretações em seções horizontais espaçadas de 10 em 10 m.

Para a obtenção do sólido, que representa o produto final da modelagem tridimensional, foi aplicada a técnica de extrusão (Gems 5.5), que consiste na extração das informações geradas em planta e união das mesmas nível a nível, gerando um sólido

contínuo que representa o modelo geológico tridimensional (Figura 8) e torna possível a elaboração um modelo de blocos do depósito, a partir do qual pode ser realizada a estimativa de teores via krigagem ordinária.

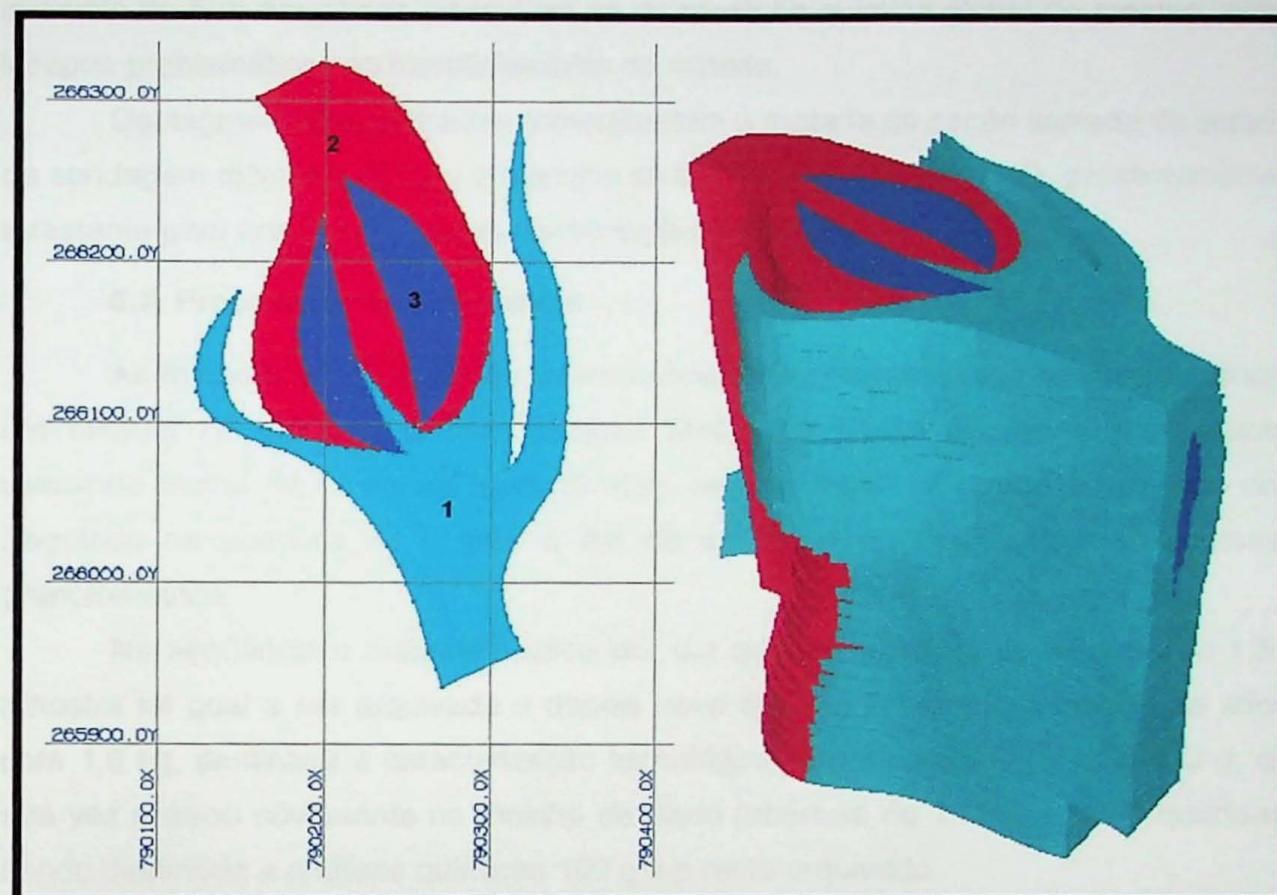


Figura 8: Modelo tridimensional do corpo carbonatítico do Mesquita Sampaio (pela equipe Bunge, atualizado em 2004). Unidades geológicas: 1- Carbonatito Dolomítico Fino (DLMF); 2- Carbonatito Dolomítico Grosso (DLMG) 3- Corpos de Jacupiranguito (JAC).

8. PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS ADOTADAS

Num primeiro estágio o enfoque do trabalho foi a definição de unidades litológicas verificando os atributos de minério relevantes para o beneficiamento e no estágio seguinte houve preocupação em verificar o comportamento deste minério, com características diferenciadas do habitual lavrado, na usina de concentração.

Aqui são descritos, tanto os métodos utilizados em atividades prévias da equipe de estudos, quanto os aplicados nas atividades desenvolvidas neste trabalho.

8.1. Amostragem

A amostragem em testemunhos de sondagem respeitou intervalos individualizados segundo as litologias maiores reconhecidas na jazida, ou seja, intervalos de carbonatito, zona de reação, jacupiranguito e brechas carbonáticas.

Foi estabelecida a sistemática de amostragem a intervalos de profundidade de 5 m para análises químicas, mantendo o suporte amostral historicamente mais adotado nas pesquisas da mina. Introduziu-se uma subdivisão destes intervalos de acordo com os litotipos

supra mencionados, guardando-se, porém, o critério de individualização deles apenas quando representassem intervalos superiores à 1 m de comprimento. Conceitualmente o critério se apoiou na influência que litotipos representando mais de 20% em volume do intervalo de 5 m amostrado podem ter na composição química global do mesmo, sobretudo litotipos problemáticos no beneficiamento do minério.

Os segmentos amostrados correspondem à metade da seção serrada do testemunho de sondagem diâmetro NQ, ou um quarto do testemunho diâmetro HQ, preservando sempre e restante para arquivo ou futuras confirmações de descrição.

8.2. Preparação das Amostras

As metades amostradas de testemunhos de sondagem passaram primeiramente por um britador de mandíbulas com redução abaixo de 6 mm e depois foram peneiradas utilizando malha 4# na escala Tyler (5 mm), onde o retido foi levado ao moinho de disco (regulado na abertura de 5 mm) a fim de se regularizar todo o material nessa faixa granulométrica.

Na seqüência o material passou por um quarteamento, onde se separou 1,5 kg de amostra tal qual a ser arquivada e depois novo quarteamento com geração da alíquota 2 com 1,0 kg, destinada à caracterização tecnológica, e uma alíquota 3 com 500 g, que por sua vez passou novamente no moinho de disco (abertura de 1 mm) e novo quarteamento, sendo destinada a análises químicas 100 g e o resto arquivado.

As amostras destinadas à caracterização tecnológica foram moídas via úmida em moinho de jarros com carga de bolas de vários tamanhos, sendo reduzidas a diâmetro inferior de 0,833 mm (malha 20# na escala Tyler). No caso de restar material retido, este foi levado ao moinho de disco e reduzido até atingir a granulometria necessária, sem que houvesse grande perda de material.

A próxima etapa foi a desmagnetização, onde as amostras foram misturadas em água formando uma polpa que foi diluída e passada por um campo magnético de baixa intensidade (2,5 A) em um tambor magnético gerando produtos não-magnéticos e magnéticos.

O material fino, inferior a 0,037 mm (malha 400# na escala Tyler), foi então retirado da amostra moída e desmagnetizada, na etapa denominada deslamagem.

Do produto retido na malha 400# (0,037 mm) uma alíquota foi arquivada, outra destinada ao ensaio de flotação e a última à separação granulométrica via úmida, onde o material foi peneirado nas malhas 48#, 100#, 200# e 400# na escala Tyler (respectivamente 0,297 mm; 0,149 mm, 0,074 mm e 0,037 mm).

Foram realizadas análises químicas por fluorescência de raios X, em laboratório da Mina, em cada uma das frações obtidas, e também no produto magnético e no passante em malha 0,037 mm.

As etapas de preparação estão resumidas nos fluxogramas dos Anexos 10 a 14.

8.3. Tratamento de Dados

Os diversos intervalos de testemunhos descritos, que possuem em média 1 metro de comprimento, foram analisados segundo as principais litologias da mina e sua disposição espacial na área, através do modelo geológico do terreno.

Depois estes dados foram tabelados e classificados segundo as quatro unidades litológicas provenientes do modelo geológico: carbonatito dolomítico fino (DLMF), carbonatito dolomítico grosso (DLMG), jacupiranguito (JAC), zona de xenólitos (XEM) e solos de alteração, onde em cada uma destas unidades ocorre um predomínio de intervalos descritos segundo a litologia que os denomina, não impedindo que nas demais unidades tais litologias não ocorram em proporções menores. Um exemplo de tabela gerada com os dados de descrição macroscópica dos testemunhos encontra-se no Anexo 15.

Com o objetivo de atestar a classificação utilizada na elaboração do modelo geológico e complementar a descrição existente destas unidades, foram gerados diversos gráficos para cada um dos parâmetros descritivos mais relevantes.

Fazem-se necessárias aqui três observações a serem consideradas neste procedimento.

Uma primeira observação é que, diferentemente do que ocorre no Morro da Mina, as rochas carbonáticas do Mesquita Sampaio são essencialmente não-efervescentes ao ácido clorídrico 50%, sendo portanto denominadas como carbonatitos dolomíticos.

Outra é que ocorrem intervalos de zona brechada em pequeno número e localmente, não sendo possível sua individualização e estando estes portanto distribuídos nas demais unidades.

E por último é que as informações das unidades denominadas como jacupiranguito e solo de alteração não apresentam interesse para maior detalhamento e estudo, por serem consideradas material estéril na mina e, portanto, não foram utilizadas nas etapas de caracterização tecnológica e mineralógica deste trabalho.

Os dados químicos também foram tabulados e analisados posteriormente, levando em consideração a mesma classificação adotada para os dados de descrição. Um exemplo de tabela gerada com os dados químicos encontra-se no Anexo 16.

Deu-se seqüência então ao detalhamento das unidades DLMF, DLMG e XEM tidas como minério potencial, nas etapas de caracterização tecnológica e mineralógica.

8.4. Caracterização Tecnológica

Dos intervalos de testemunhos de sondagens dos furos utilizados na caracterização geológica do Mesquita Sampaio, foram selecionados seis intervalos representativos das três unidades de interesse: DLMF, DLMG e XEM, sendo também considerado a distribuição espacial destes furos a partir de análise de seções verticais do modelo geológico.

Assim foram geradas amostras compostas (Tabela 1) segundo intervalos de amostragem, antes de serem submetidas aos processos de preparação de amostras (descritos no item 8.2).

Tabela 1: Amostras submetidas à Caracterização Tecnológica.

Características das Amostras Selecionadas		
Furos	Unidades Constituintes	Comprimento
SP43-01	DLMF e DLMG	27,45 m
SP43-02	DLMF e DLMG	23,50 m
SP45-01	DLMF	61,85 m
SP46-01	DLMF e DLMG	43,20 m
SP50-01	XEM	41,00 m
SP50-02	DLMG	30,00 m

A caracterização tecnológica consistiu na análise da distribuição granulométrica, determinação do grau de liberação do minério e comportamento deste segundo o ensaio de flotação padrão adotado na empresa.

A classificação granulométrica consiste no peneiramento por via úmida dos materiais, com uso de aberturas de 0,297 mm; 0,149 mm, 0,074 mm e 0,037 mm, respectivamente, 48#, 100#, 200# e 400# na escala Tyler.

As quatro peneiras foram colocadas em peneirador vibratório por 10 minutos, e em seguida todo material foi levado à estufa para secagem e pesagem.

Esta operação é importante porque permite verificar o comportamento das amostras em função de cada faixa granulométrica e a concentração dos óxidos de interesse nestas faixas.

A análise do grau de liberação determina a porcentagem do mineral de minério que se apresenta sob a forma de partículas livres, representadas por grãos monominerálicos. Atribui-se, por exemplo, um índice de liberação 100 para as partículas de minério que se encontram totalmente livres e 50 para partículas mistas onde se verifica igual porcentagem entre minério e ganga.

A estimativa visual de liberação da apatita iniciou-se com as amostras de magnéticos separadas na etapa de desmagnetização. Como estas alíquotas ainda não haviam passado por uma classificação granulométrica, foi necessária sua separação em pelo menos uma faixa. Assim foi escolhida a malha 200# (0,074 mm), gerando portanto 12 amostras.

Tal estudo foi realizado através de análise qualitativa por meio de estimativa visual da liberação de grãos em lupa binocular, modelo Olympus Tokyo com aumento máximo de 40x.

O ensaio de flotação consiste na reprodução, em escala de bancada, do processo utilizado para concentração mineral na usina de beneficiamento. No laboratório ele abrangeu somente as etapas *rougher*, *cleaner* e *recleaner*, sendo realizadas três coletas de material flotado, que consiste na espuma com apatita. Tal restrição justifica-se pelo fato de que todos problemas verificados na usina ocorrem nestas etapas e, desta forma, é possível agilizar o procedimento.

O ensaio de flotação em escala de bancada (*batch*) utilizou uma célula da marca Denver, com rotor em 1100 rpm. Os reagentes, preparados com concentração de 1%, são o chamado fubá, amido de milho usado como depressor; soda (NaOH) usada como regulador de pH em 10,6 e berol usado como coletor de apatita. A dosagem inicial de cada reagente é proporcional àquela aplicada na usina: 75 g/t para o fubá e 100 g/t para o berol.

Para fins comparativos de comportamento como minério do material do Mesquita Sampaio, tanto para as análises de distribuição granulométrica, quanto para as de ensaio de flotação foram utilizados dados da unidade Carbonatito Dolomítico (DOL) do Morro da Mina.

8.5. Caracterização Mineralógica

Dos intervalos compostos, que geraram amostras para a caracterização tecnológica, foram retomados nos testemunhos de sondagem trechos inclusos menores, que fossem representativos para a geração de amostras direcionadas à caracterização mineralógica detalhada.

O estudo de identificação das fases minerais, em complemento às descrições macroscópicas e análises de composição química, se apoiou em análises em microscópio óptico e por difração de raios X.

A análise petrográfica em lâmina delgada (espessura de 0,03 mm) buscou a identificação mineral através de estudos das propriedades ópticas dos minerais em microscópio, no caso, de luz transmitida, dado que os principais minerais esperados das rochas estudadas são transparentes.

Para os estudos de microscopia óptica foram laminadas 6 amostras com a mesma identificação adotada para a caracterização tecnológica: SP43-01; SP43-02; SP45-01; SP46-01; SP50-01 e SP50-02. Também foi analisada uma lâmina representativa da rocha encaixante do carbonatito: o jacupiranguito, identificada como JAC, proveniente de testemunho de sondagem do furo SP46.

A difratometria de raios X é um método empregado para a identificação de fases minerais a partir de suas estruturas cristalinas. Esta técnica também permite a obtenção de valores semiquantitativos através da aplicação de métodos apropriados.

Para os ensaios de difração foi amostrada a fração de magnéticos, utilizada na análise de grau de liberação e a faixa granulométrica entre 0,297 e 0,149 mm (100# na escala Tyler), por conter a maior porcentagem representativa em massa.

Antes de serem levadas ao difratômetro às amostras da faixa 100# passaram por uma etapa de separação mineral em meio denso. Foi utilizado tetrabromoetano como líquido de densidade elevada conhecida ($d = 2,964 \text{ g/cm}^3$), obtendo-se assim para cada amostra inicial um produto flutuado e um afundado.

O objetivo da aplicação desta operação é a identificação do maior número de fases minerais possível, sempre considerando o limite de precisão da técnica empregada.

As 18 amostras (6 provenientes do produto magnéticos e 12 provenientes da separação em meio denso) foram pulverizadas mecanicamente em equipamento Pulverisette 2, marca Fritsh, utilizando recipiente de ágata em condições padronizadas de operação.

As análises de difração de raios X foram realizadas em equipamento Philips-MPD 1880, com controladora PW1710 e software X'Pert Data Collector. As condições de operação foram padronizadas em:

<i>step scan</i>	0,02°
<i>time / step</i>	40 s
intervalo de 2θ	2,5 a 70,0°
tempo de análise por amostra	20 min
radiação	Cu ($K_{\alpha 1} = 1,5405981 \text{ \AA}$)
tensão	45 Kv
corrente	40 mA
<i>spinner</i>	on
monocromador	grafite

A identificação das fases presentes foi realizada mediante o software X'Pert High Score Plus e banco de dados PDF-2 do ICDD (International Centre for Diffraction Data) atualizado até 2003.

9. RESULTADOS OBTIDOS

De acordo com as atividades realizadas e os procedimentos e técnicas apresentados no item 8, são apresentados os resultados seguintes.

9.1. Classificação de Litotipos

A classificação em unidades adotada é originária do modelo geológico elaborado pela equipe de pesquisa da empresa para esta área de estudo, que seguiu os mesmos padrões dos aplicados ao modelo geológico do Morro da Mina (Tabela 2). Sendo assim este trabalho não só comprova os atributos litológicos levados em consideração nas definições das unidades, como completa as descrições das rochas em questão.

Tabela 2: Padrão de critérios de descrição adaptado de Bonás (2001).

CARBONATITO			
Calcítico		Dolomítico	
Efervescente ao ácido clorídrico 50%		Não-efervescente ao ácido clorídrico 50%	
Granulação		Dimensão de Grão	
Grossa		> 5 mm	
Média		2 < d < 5 mm	
Fina		< 2 mm	
APATITA			
Granulação		Quantidade (% em volume)	
Grossa	> 3 mm	Muita	> 10%
Média	3 > d > 1 mm	Normal	10 > q > 5%
Fina	< 1 mm	Pouca	< 5%
MAGNETITA			
Granulação		Quantidade (% em volume)	
Grossa	> 1 cm	Muita	> 15%
Média	1 > d > 0,3 cm	Normal	15 > q > 5%
Fina	< 0,3 cm	Pouca	< 5%
FLOGOPITA			
Granulação		Quantidade (% em volume)	
Grossa	> 1 cm	Muita	> 10%
Média	1 > d > 0,3 cm	Normal	10 > q > 5%
Fina	< 0,3 cm	Pouca	< 5%

d = dimensão

q = quantidade

Por se tratarem das primeiras descrições litológicas da área, é proposto aqui um guia litológico com intuito orientador, classificando as rochas encontradas no Mesquita Sampaio em unidades (Tabela 3). O guia apresenta as principais características das rochas que exercem alguma influência no processo de beneficiamento atual, como granulação da rocha, quantidade das espécies minerais presentes reconhecíveis macroscopicamente e granulação destas. Destacando a apatita e os carbonatos como minerais de minério e magnetita e flogopita como ganga.

Tabela 3: Guia litológico para as rochas do Mesquita Sampaio.

GUIA LITOLÓGICO					
Unidade	Granulação	Mineralogia			Foto
Carbonatito Dolomítico Branco a Cinza Fino (DLMF)	2 mm	Mineral	Granulação	Quantidade	
		Carbonatos	2 mm	70 ~ 90%	
		Apatita	1mm	5 ~ 10%	
		Magnetita	3 mm	5 ~ 15%	
		Flogopita	2 mm	5%	
		Acessórios: Olivina localmente e Sulfeto disseminado associada à magnetita.			
Carbonatito Dolomítico Branco Grosso (DLMG)	4 ~ 7 mm	Mineral	Granulação	Quantidade	
		Carbonatos	3 ~ 5 mm	65 ~ 85%	
		Apatita	1mm	10 ~ 15%	
		Magnetita	5 mm	5%	
		Flogopita	3 mm	5%	
		Acessório: Sulfeto localmente			
Zona de Xenólitos (XEM)	2 ~ 5 mm	Mineral	Granulação	Quantidade	
		Silicatos	1 mm	60 ~ 80%	
		Óxidos de Fe	2 mm	10 ~ 20%	
		Carbonatos	1 ~ 3 mm	20 ~ 30%	
		Apatita	1 mm	5%	
		Acessório: Sulfeto localmente			

O atributo mais notável e que diferencia as duas unidades carbonáticas é a granulação, a Figura 9 evidencia esse aspecto ao mostrar que em 62,12% dos intervalos de descrição a unidade DLMF é definida como granulação fina (F) e em 54,86% dos intervalos que descrevem o DLMG é atribuída granulação grossa (G) para rocha analisada, atestando assim o atual modelo geológico.

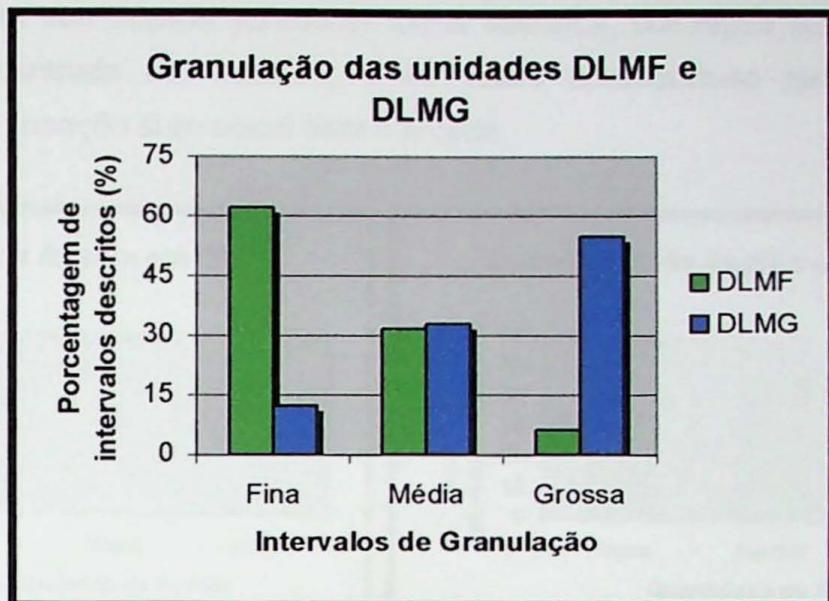


Figura 9: Distribuição dos parâmetros de granulação nas unidades DLMF e DLMG

Além da granulação um outro aspecto distintivo entre estas duas unidades é a coloração, a unidade DLMF apresenta uma cor mais acinzentada em relação a mais grossa DLMG, que se mostra mais branca (Figura 10).

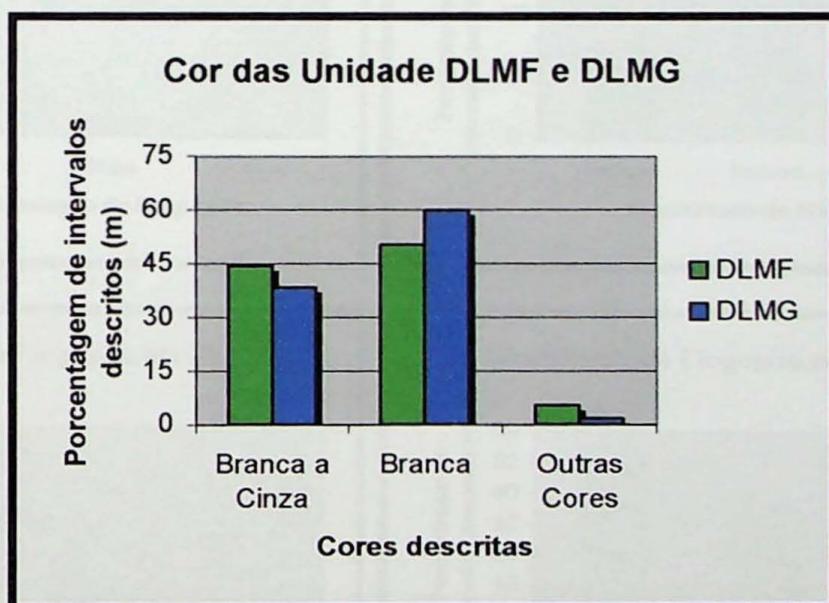


Figura 10: Distribuição dos parâmetros de cor nas unidades DLMF e DLMG.

Dando seqüência a avaliação dos demais parâmetros de descrição de testemunhos (Figuras 11 e 12), foi realizada uma definição detalhada das unidades a partir de características texturais, mineralógicas e estruturais observadas macroscopicamente.

A Unidade Carbonatito Dolomítico Fino (DLMF)

A unidade DLMF compreende um carbonatito dolomítico fino branco a cinza, com apatita fina em quantidade normal, magnetita fina em quantidade normal, flogopita fina em pouca quantidade, localmente com sulfetos associados à magnetita e manchas glimeríticas.

A apatita em sua maioria apresenta forma euédrica, coloração esverdeada, ocorre normalmente concentrada em bolsões, e às vezes apresenta-se juntamente com a magnetita em uma lineação subvertical bem marcada.

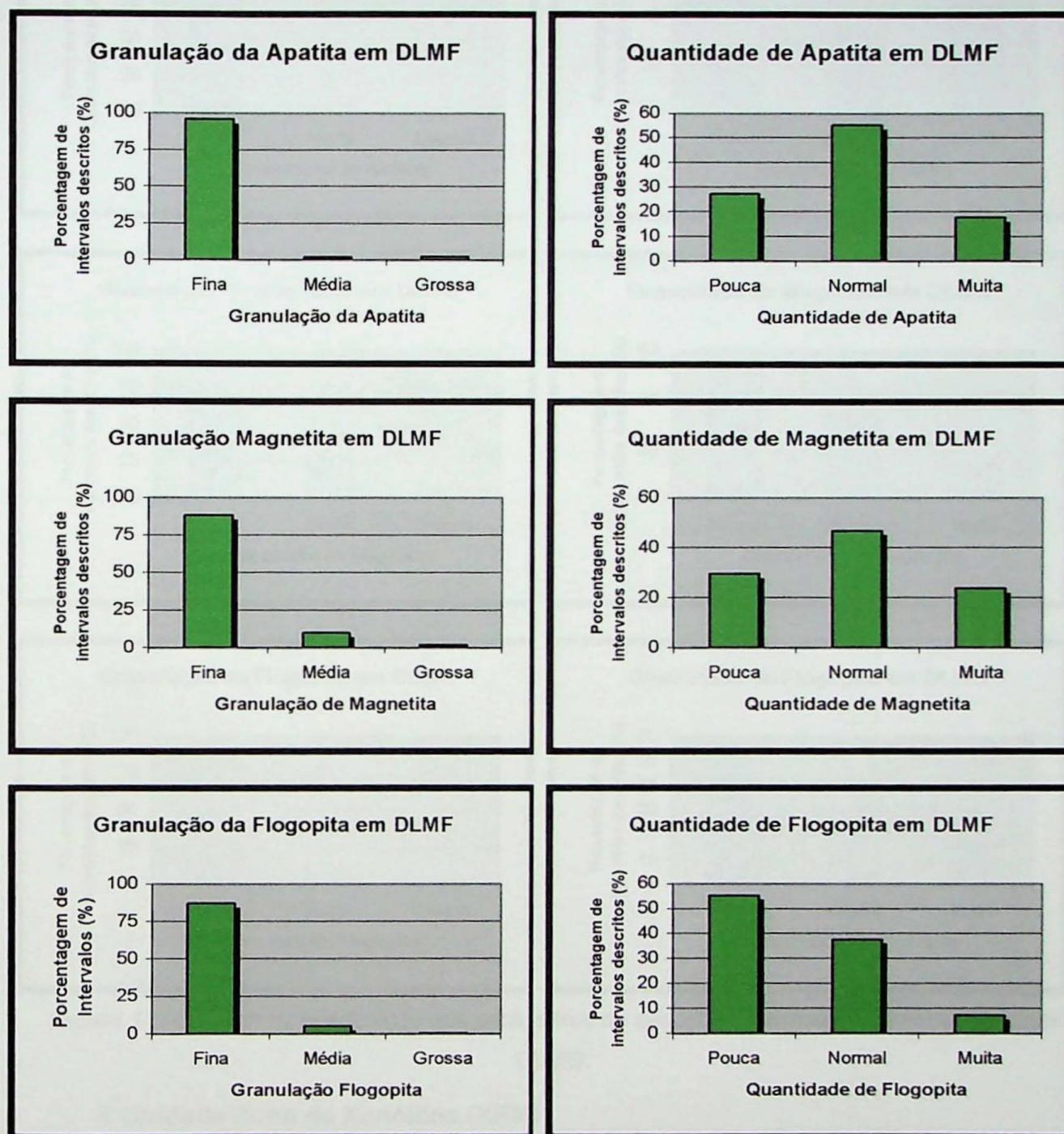


Figura 11: Gráficos de distribuição dos parâmetros de descrição macroscópica para a unidade DLMF.

A Unidade Carbonatito Dolomítico Grosso (DLMG)

A unidade DLMG compreende um carbonatito dolomítico grosso branco, com apatita fina em quantidade normal a muita, magnetita fina em pouca quantidade às vezes esfarrapada, flogopita fina em pouca quantidade, com sulfetos localmente. Ocorrem também bolsões em que se concentra apatita muito fina esverdeada, onde também é comum a associação de cristais grandes de magnetita e a lineação destes minerais não é tão marcante quanto a observada no carbonatito fino.

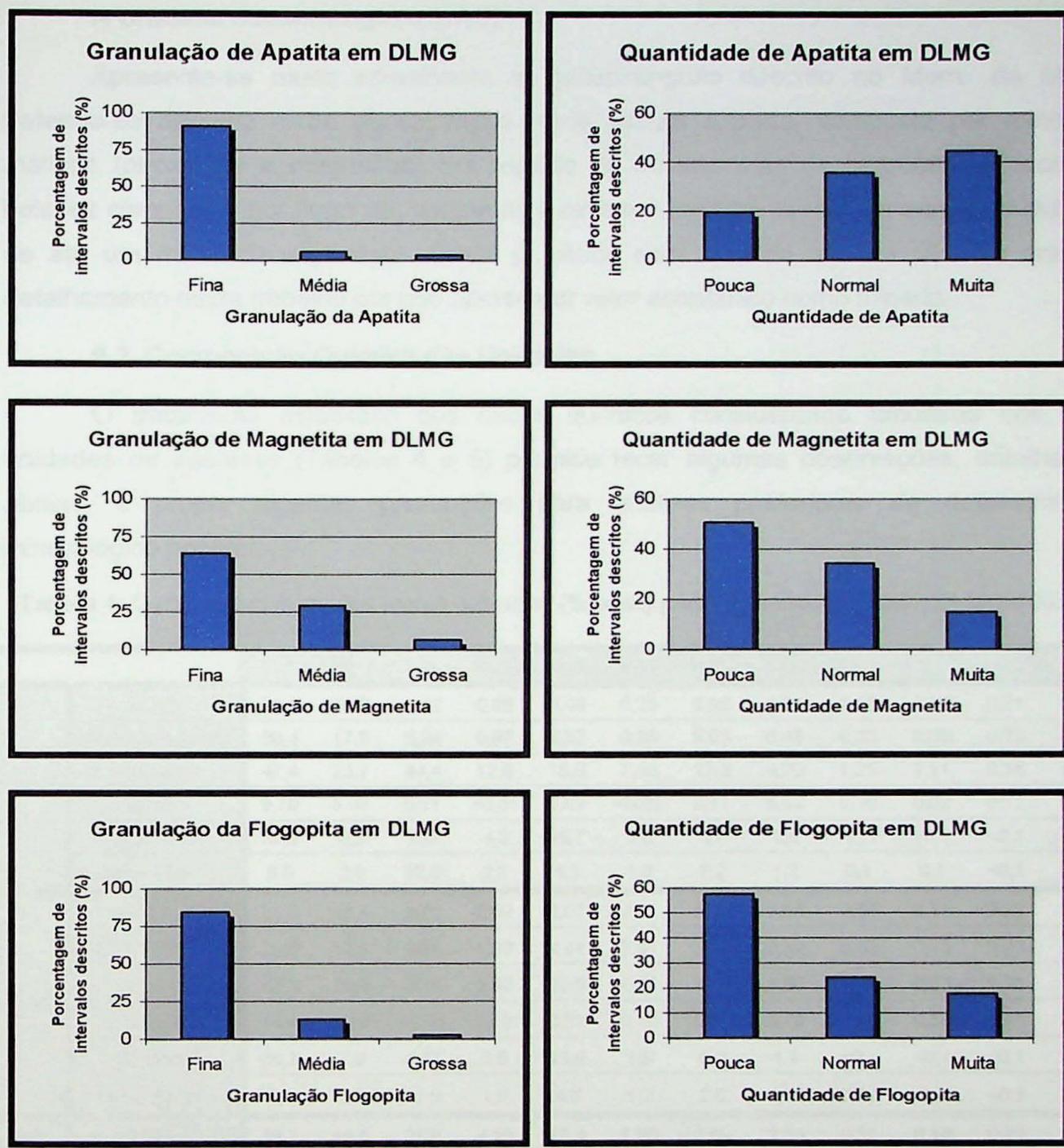


Figura 12: Gráficos de distribuição dos parâmetros de descrição macroscópica para a unidade DLMG.

A Unidade Zona de Xenólitos (XEM)

Esta unidade é caracterizada pela predominância de intercalações decimétricas a métricas de jacupiranguito com bordas de reação (fenitização) ora manchadas ora bandadas, marcadas pela alternância de níveis milimétricos a centimétricos de carbonatito calcítico acinzentado com fases silicáticas glimeríticas, serpentínicas e olivínicas. Sendo que tanto estas fases como intervalos de carbonatito calcítico acinzentado podem ocorrer mais espessas em algumas porções.

A Unidade Jacupiranguito (JAC)

Apresenta-se muito semelhante ao jacupiranguito descrito no Morro da Mina, tratando-se de uma rocha de coloração verde escura a preta, composta por minerais maficos (piroxênios e magnetita). Em regiões de contato com os carbonatitos ocorrem bolsões compostos por flogopita, magnetita e olivina e também apresenta zonas de reação de até um metro de espessura. Como já citado esta unidade não foi alvo de grande detalhamento neste trabalho por não apresentar valor econômico como minério.

9.2. Composição Química das Unidades

O tratamento estatístico dos dados químicos considerando amostras das três unidades de interesse (Tabelas 4 e 5) permitiu tecer algumas observações, detalhadas abaixo, e propor algumas presunções para análises posteriores de detalhamento mineralógico pontual.

Tabela 4: Dados estatísticos dos teores químicos (% peso) para as unidades DLMF, DLMG e XEM.

		CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	SrO	S	MnO	PF
DLMF	Média	31,7	17,8	1,42	0,65	4,48	0,23	5,02	0,21	0,55	0,14	0,21	37,4
	Média Ponderada	30,4	17,5	5,24	0,97	5,37	0,33	5,03	0,43	0,33	0,09	0,13	34,1
	Máximo	47,4	23,7	44,4	12,6	18,5	7,43	12,8	4,20	1,25	1,11	0,34	44,0
	Mínimo	9,70	5,96	0,11	<0,01	0,92	<0,01	0,11	0,02	0,10	0,02	0,11	0,49
	Variância	36,5	6,3	159	4,2	16,7	1,0	4,7	1,5	<0,1	<0,1	<0,1	137
	Desv. Padrão	6,0	2,5	12,6	2,1	4,1	1,0	2,2	1,2	0,1	0,1	<0,1	11,7
DLMG	Média	31,5	18,4	3,72	0,69	3,07	0,82	3,62	0,54	0,54	0,16	0,22	37,2
	Média Ponderada	29,6	17,9	6,61	1,20	4,41	0,61	3,94	0,52	0,53	0,03	0,22	34,2
	Máximo	47,3	23,0	45,8	6,87	22,6	4,87	16,0	4,50	1,55	0,33	0,33	46,6
	Mínimo	14,4	5,15	<0,01	0,10	0,80	0,10	0,29	0,10	0,10	0,10	0,11	0,93
	Variância	36,7	7,8	142	2,5	15,9	1,5	6,2	1,1	<0,1	<0,1	<0,1	125
	Desv. Padrão	6,1	2,8	11,9	1,6	4,0	1,2	2,5	1,04	0,21	0,1	<0,1	11,2
XEM	Média	18,7	18,1	27,9	4,10	12,4	1,90	2,69	2,39	0,31	0,19	0,20	11,8
	Média Ponderada	19,9	16,8	25,4	3,83	12,0	2,04	2,84	2,34	0,22	0,21	0,18	11,8
	Máximo	33,6	22,7	37,3	6,91	18,9	4,62	5,86	3,79	0,64	0,49	0,26	38,0
	Mínimo	12,5	12,1	0,27	1,18	2,83	0,78	0,37	0,11	0,10	0,10	0,16	2,36
	Variância	20,2	10,1	100	1,4	21,4	1,4	2,9	1,1	<0,1	<0,1	<0,1	98,9
	Desv. Padrão	4,5	3,2	10,0	1,2	4,6	1,2	1,7	1,0	0,1	0,1	<0,1	9,95

No geral os dados estatísticos apresentam resultados esperados, destacando somente a grande variância nos teores de SiO₂ e de Fe₂O₃, que está provavelmente relacionada à presença ou ausência de silicatos e também óxidos de ferro. Esse fato reflete a própria heterogeneidade composicional dos carbonatitos, mostrando que embora sejam aplicáveis as classificações a estas rochas em pequena escala, sua mineralogia é bastante complexa, o que dificulta determinações de composição modal e da relação entre os minerais.

Tabela 5: Média ponderada dos teores (% peso) para as unidades DLMF, DLMG e XEM em comparação com a unidade DOL do Morro da Mina.

	DLMF	DLMG	XEM	DOL
CaO	30,4	29,6	19,8	34,6
MgO	17,5	17,9	16,8	14,4
SiO ₂	5,24	6,61	25,4	0,58
Al ₂ O ₃	0,97	1,20	3,83	–
Fe ₂ O ₃	5,37	4,41	12,0	3,47
K ₂ O	0,33	0,61	2,04	0,12
P ₂ O ₅	5,03	3,94	2,84	5,42
TiO ₂	0,43	0,52	2,34	–
SrO	0,33	0,53	0,22	–
S	0,09	0,03	0,21	–
MnO	0,13	0,22	0,18	–
PF	34,1	34,2	14,0	–

As unidades DLMF e DLMG apresentam maiores teores de CaO em média, em relação a XEM. O que já é esperado devido a maior proporção de fases carbonáticas nos carbonatitos e atestado pelos parâmetros de descrição conforme os gráficos a seguir (Figuras 13 e 14) que também apontam elevada porcentagem de intervalos de carbonatito nestas unidades.

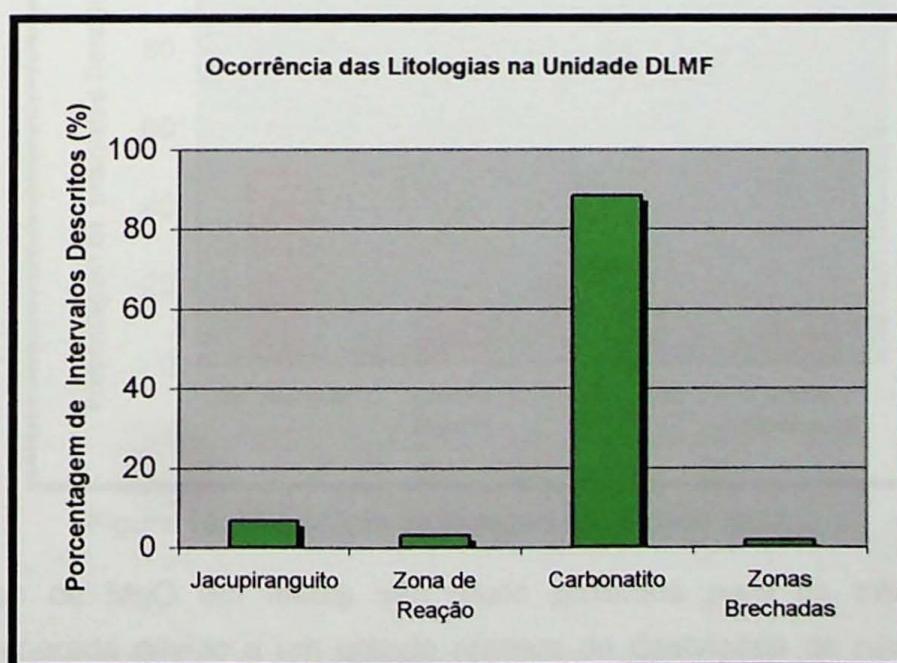


Figura 13: Distribuição de litologias na unidade DLMF.

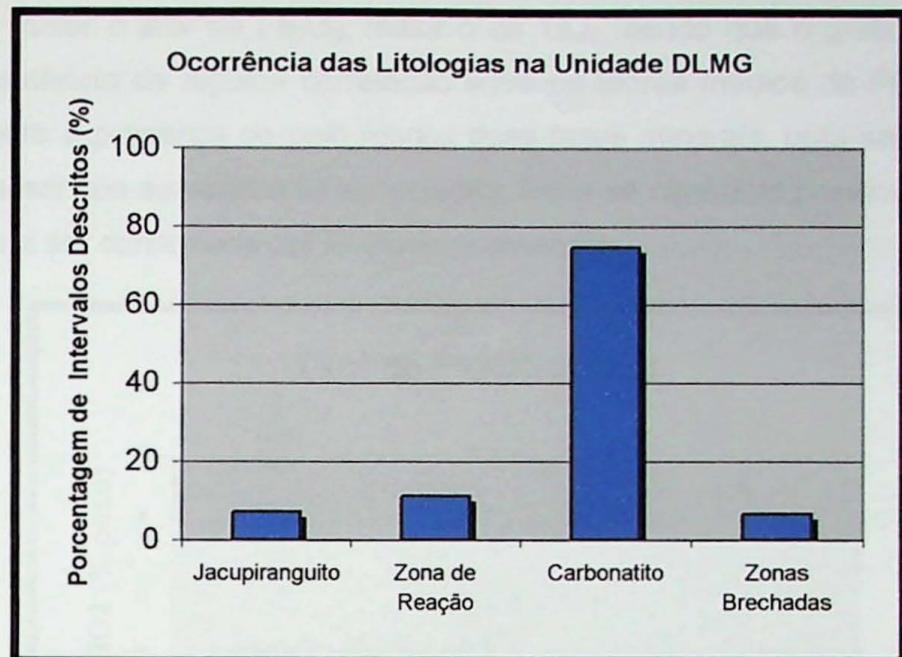


Figura 14: Distribuição de litologias na unidade DLMG.

A predominância de silicatos na unidade XEM, que mostra teores altos de Al_2O_3 e SiO_2 , também é confirmada pelas descrições onde em 52,8% de intervalos são descritos xenólitos de jacupiranguito e em 16% são descritas zonas de reação; ou seja, quase 70% de litologias onde a composição mineralógica predominante é de piroxênios, olivinas, serpentinas e micas (Figura 15).

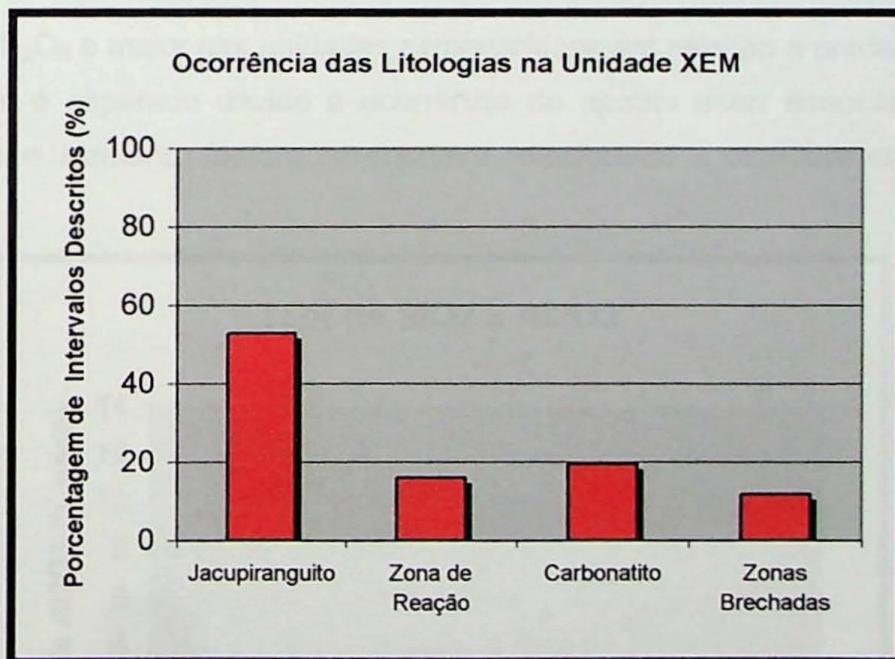


Figura 15: Distribuição de litologias na unidade XEM.

Os teores de MgO em média são muito próximos para os três litotipos. Tal observação é esperada devido a um grande número de descrições de não-efervescente, sugerindo uma alta quantidade de dolomita nos carbonatitos além de todos os silicatos descritos serem magnesianos (serpentinas, olivinas, flogopita).

Quanto maior o teor de Fe_2O_3 , maior o de TiO_2 , sendo que o gráfico da Figura 16 comprova a existência de alguma correlação entre os teores médios de Fe_2O_3 e TiO_2 . Tal correlação sugere a presença de pelo menos duas fases minerais, uma sem a associação de TiO_2 e outra em que se verifica tal associação. Pode-se citar uma provável ocorrência de titanomagnetita a ser confirmada por análises posteriores.

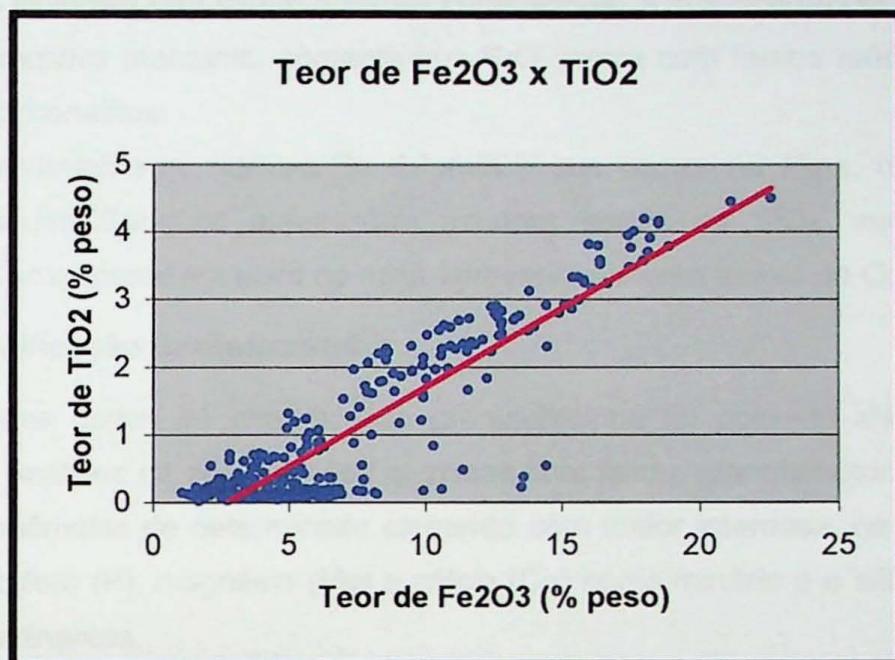


Figura 16: Gráfico da relação entre os teores de Fe_2O_3 e TiO_2 com linha de tendência.

O teor de P_2O_5 é maior nas unidades carbonatíticas em relação à unidade XEM. Este resultado também é esperado devido a ocorrência de apatita estar associada à litologia carbonatito e que o elemento fósforo se encontra relacionado a estrutura cristalina deste mineral.

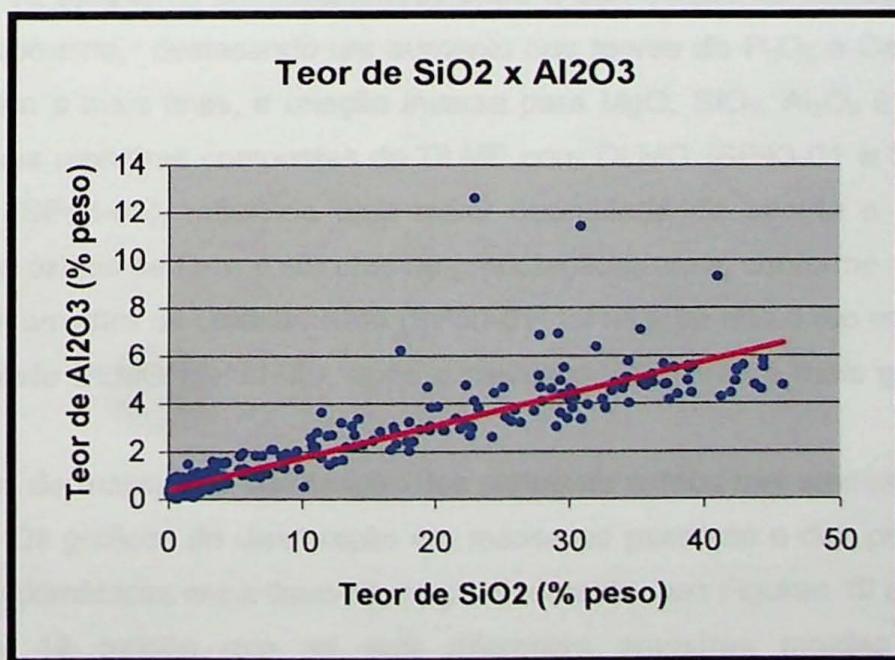


Figura 17: Gráfico da relação entre os teores de Al_2O_3 e SiO_2 com linha de tendência.

Quanto maior o teor de Al_2O_3 , maior o teor de SiO_2 como comportamento geral. No gráfico da Figura 17, se observa estreita correlação entre estes óxidos onde provavelmente a fase mineral portadora de Al_2O_3 seja a flogopita, já que, até então, este é o único aluminosilicato descrito nesta porção do Complexo de Jacupiranga.

O enxofre (S) e os óxidos de estrôncio (Sr) e manganês (Mn) ocorrem com baixos teores em todas litologias não sendo possível correlacionar a sua ocorrência com nenhuma característica descritiva marcante, somente que SrO ocorre com teores médios levemente mais altos nos carbonatitos.

Comparativamente ao carbonatito dolomítico que ocorre na Mina, nota-se que as rochas do Mesquita Sampaio apresentam maiores teores de SiO_2 , enquanto que o carbonatito DOL atualmente em lavra na mina apresenta maiores teores de CaO e P_2O_5 .

9.3. Classificação Granulométrica

A partir dos dados de classificação granulométrica foi possível elaborar gráficos correlacionando análises de composições químicas com faixas granulométricas e prevendo concentrações anômalas de determinado elemento com maior interesse, no caso, os mais visados são o fósforo (P), magnésio (Mg) e cálcio (Ca) como minério e o silício (Si) e ferro (Fe) como contaminantes.

Ao analisar a classificação granulométrica é possível prever alguns procedimentos a serem tomados com determinado tipo de material em termos de otimização de produção no processo de concentração dos elementos de interesse. Como por exemplo, maior ou menor tempo de permanência da rocha no moinho e sua possível blendagem com demais materiais distintos.

A Figura 18 apresenta um comparativo entre a distribuição de teores dos principais óxidos na granulometria, destacando um aumento dos teores de P_2O_5 e CaO das frações mais grossas para a mais finas, e relação inversa para MgO , SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 e TiO_2 , principalmente nas amostras compostas de DLMF com DLMG (SP43-01 e SP43-02) e de somente DLMF (SP44-01), refletindo uma maior quantidade de apatita e carbonatos de granulação fina e óxidos de ferro e silicatos de granulação grossa, conforme descrito nestas unidades. Para a amostra da unidade XEM (SP50-01) tal relação não é tão marcante e para amostra da unidade DLMG (SP50-02), onde o carbonato presente é mais grosso, ela não ocorre.

O balanço de massa e a distribuição dos principais óxidos nas amostras encontram-se na Tabela 6. Os gráficos de distribuição em massa no passante e dos principais óxidos nas frações granulométricas encontram-se, respectivamente, nas Figuras 19 e 20.

A Figura 19 mostra que as seis diferentes amostras moídas segundo um procedimento padronizado apresentam distribuição granulométrica bastante similar. Cerca de 79% do material das amostras se situa abaixo de 0,297 mm.

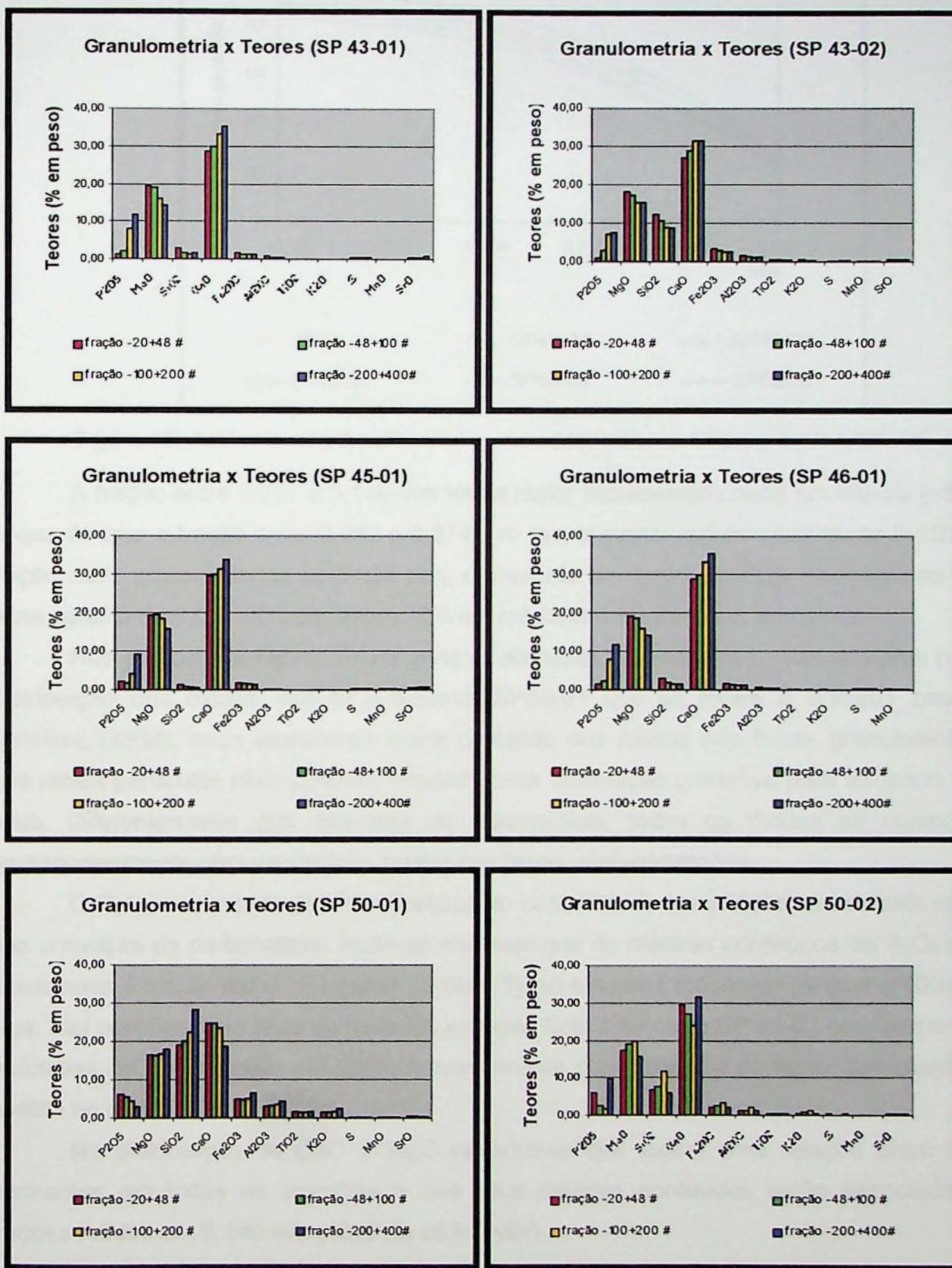


Figura 18: Gráficos da distribuição dos teores nas frações granulométricas.

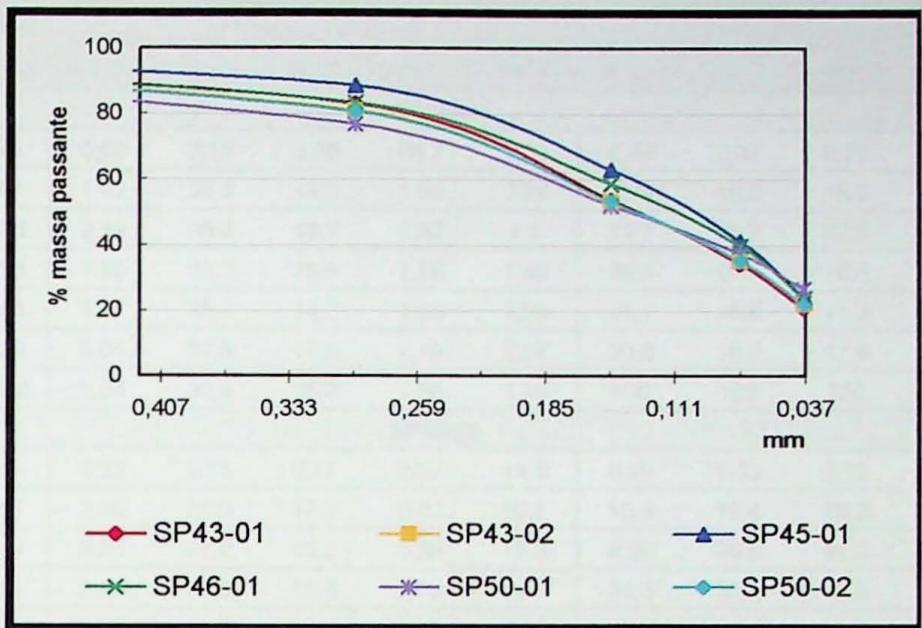


Figura 19: Gráfico de distribuição em massa no passante nas faixas granulométricas.

A fração entre 0,297 e 0,149 mm tem a maior representatividade em massa (~30%), enquanto que a fração entre 0,037 e 0,074 mm tem a menor representatividade (~13%). A fração mais grossa, acima de 0,297 mm, representa em torno de 21%, enquanto as mais finas, abaixo de 0,037 mm, perfazem 22% em média das massas das amostras.

Nos gráficos da Figura 20 em geral as amostras apresentam curvas similares para a distribuição dos óxidos, exceto a amostra SP50-01 que se refere à unidade zona de xenólitos (XEM), onde destaca-se maior conteúdo dos óxidos nas faixas granulométricas que retém partículas mais grossas, havendo uma diminuição gradativa para as faixas mais finas. Diferentemente das amostras de carbonatitos, todos os óxidos se comportam homogeneamente com distribuição similar nas faixas granulométricas.

O P_2O_5 se destaca pelo comportamento contrastante em relação aos demais óxidos nas amostras de carbonatitos. Pode-se observar que os maiores conteúdos de P_2O_5 estão associados à fração 0,037 mm (400# na série Tyler) e à lama (passante na malha 400#), ou seja, nas porções mais finas do material, exceção feita à amostra SP 43-02 com proporções anômalas na fração retida em 200#, provavelmente consequência de maior granulação de apatita no minério.

Na distribuição de CaO e MgO observa-se que existe uma relação entre estes elementos em todas as amostras e que seus maiores conteúdos estão associados às frações retidas em 0,149 mm (100# na série Tyler).

Os teores de Fe_2O e SiO_2 também apresentam um comportamento similar concentrando-se ambos na faixa granulométrica entre 0,149 e 0,074 mm, com exceção da amostra SP 50-02, onde estes óxidos se concentram em uma porção mais fina, no intervalo entre 0,074 e 0,037 mm.

Tabela 6: Balanço de massa e distribuição dos principais óxidos nas frações.

Fração / Produto	% peso no minério	Teores (% em peso)					Distribuição no minério (%)				
		P2O5	CaO	MgO	Fe2O3	SiO2	P2O5	CaO	MgO	Fe2O3	SiO2
SP43-01											
magnetita	3,56	0,62	3,16	3,36	86,7	1,32	0,44	0,37	0,71	68,6	2,36
- 20 + 48 #	16,91	1,42	28,8	19,2	1,55	2,84	4,74	16,0	19,2	5,82	24,1
- 48 + 100 #	29,33	2,19	29,9	18,7	1,32	1,9	12,7	28,7	32,5	8,60	27,4
- 100 + 200 #	19,53	7,89	33,2	15,9	1,16	1,45	30,5	21,3	18,4	5,03	14,2
- 200 + 400 #	13,43	11,7	35,4	14,2	1,18	1,50	31,1	15,6	11,3	3,5	10,1
- 400 #	17,24	6,04	31,9	17,6	2,19	2,51	20,6	18,0	17,9	8,39	21,7
total calculado	100,00	5,06	30,5	16,9	4,50	1,99	100	100	100	100	100
SP43-02											
magnetita	4,59	0,42	8,11	6,17	60,7	13,5	0,49	1,32	1,72	49,2	5,97
- 20 + 48 #	18,89	2,89	28,9	17,2	2,80	10,7	13,9	19,4	19,7	9,44	19,4
- 48 + 100 #	28,04	0,95	27,0	18,2	3,29	12,3	6,80	26,8	31,0	16,3	33,2
- 100 + 200 #	18,01	7,51	31,5	15,4	2,56	8,67	34,5	20,1	16,9	8,14	15,0
- 200 + 400 #	13,14	7,10	31,5	15,3	2,46	8,86	23,8	14,6	12,2	5,71	11,2
- 400 #	17,33	4,61	29,0	17,5	3,66	9,16	20,4	17,8	18,4	11,2	15,3
total calculado	100,00	3,92	28,2	16,4	5,66	10,4	100	100	100	100	100
SP45-01											
magnetita	2,00	0,80	4,01	2,80	85,1	0,87	0,34	0,33	0,32	50,9	1,67
- 20 + 48 #	11,43	2,04	29,6	19,3	1,68	1,32	4,96	13,9	12,5	5,75	14,5
- 48 + 100 #	25,59	1,77	30,0	19,6	1,59	0,78	9,63	31,6	28,3	12,2	19,2
- 100 + 200 #	21,88	4,15	31,4	18,4	1,51	0,60	19,3	28,3	22,7	9,90	12,6
- 200 + 400 #	17,19	9,15	33,8	15,8	1,34	0,58	33,4	23,9	15,3	6,90	9,59
- 400 #	21,91	6,95	2,18	16,8	2,18	2,01	32,4	1,97	20,8	14,3	42,4
total calculado	100,00	4,71	24,3	17,7	3,34	1,04	100	100	100	100	100
SP46-01											
magnetita	1,47	1,09	10,1	5,57	61,0	7,99	0,32	0,47	0,52	26,2	2,75
- 20 + 48 #	16,53	2,08	30,3	16,9	2,72	4,87	6,79	15,8	17,9	13,2	18,9
- 48 + 100 #	24,83	2,81	31,0	16,7	2,37	3,83	13,8	24,3	26,6	17,2	22,3
- 100 + 200 #	18,99	5,78	32,7	15,5	2,08	3,47	21,7	19,6	18,9	11,6	15,5
- 200 + 400 #	15,95	9,25	34,5	13,9	2,03	3,06	29,1	17,4	14,2	9,49	11,5
- 400 #	22,23	6,45	32,0	15,3	3,42	5,58	28,3	22,4	21,8	22,3	29,1
total calculado	100,00	5,06	31,7	15,6	3,41	4,26	100	100	100	100	100
SP50-01											
magnetita	8,20	0,35	4,09	5,49	68,8	9,12	0,61	1,55	2,81	53,9	3,67
- 20 + 48 #	23,09	6,16	24,8	16,4	4,82	19,1	30,4	26,5	23,7	10,6	21,6
- 48 + 100 #	24,71	5,57	24,7	16,3	4,75	20,2	29,5	28,3	25,1	11,2	24,4
- 100 + 200 #	14,71	4,52	23,6	16,6	5,05	22,3	14,2	16,1	15,3	7,09	16,1
- 200 + 400 #	10,75	2,8	18,7	17,8	6,4	28,2	6,60	9,34	12,0	6,59	14,9
- 400 #	18,54	4,70	21,2	18,1	5,99	21,2	18,6	18,2	21,0	10,6	19,3
total calculado	100,00	4,7	21,6	16,0	10,5	20,4	100	100	100	100	100
SP50-02											
magnetita	3,46	0,68	3,62	4,48	77,8	4,9	0,53	0,47	0,88	50,8	2,06
- 20 + 48 #	19,27	5,78	29,3	17,4	2,22	6,61	25,0	21,2	18,9	8,07	15,5
- 48 + 100 #	27,34	2,66	26,9	18,9	2,52	7,72	16,3	27,6	29,1	13,0	25,8
- 100 + 200 #	18,39	1,68	23,8	19,6	3,39	11,7	6,95	16,4	20,4	11,8	26,3
- 200 + 400 #	13,26	9,53	31,4	15,7	2,18	6,10	28,4	15,6	11,8	5,45	9,88
- 400 #	18,29	5,53	27,3	18,3	3,17	9,14	22,7	18,7	18,9	10,9	20,4
total calculado	100,00	4,45	26,7	17,7	5,30	8,19	100	100	100	100	100

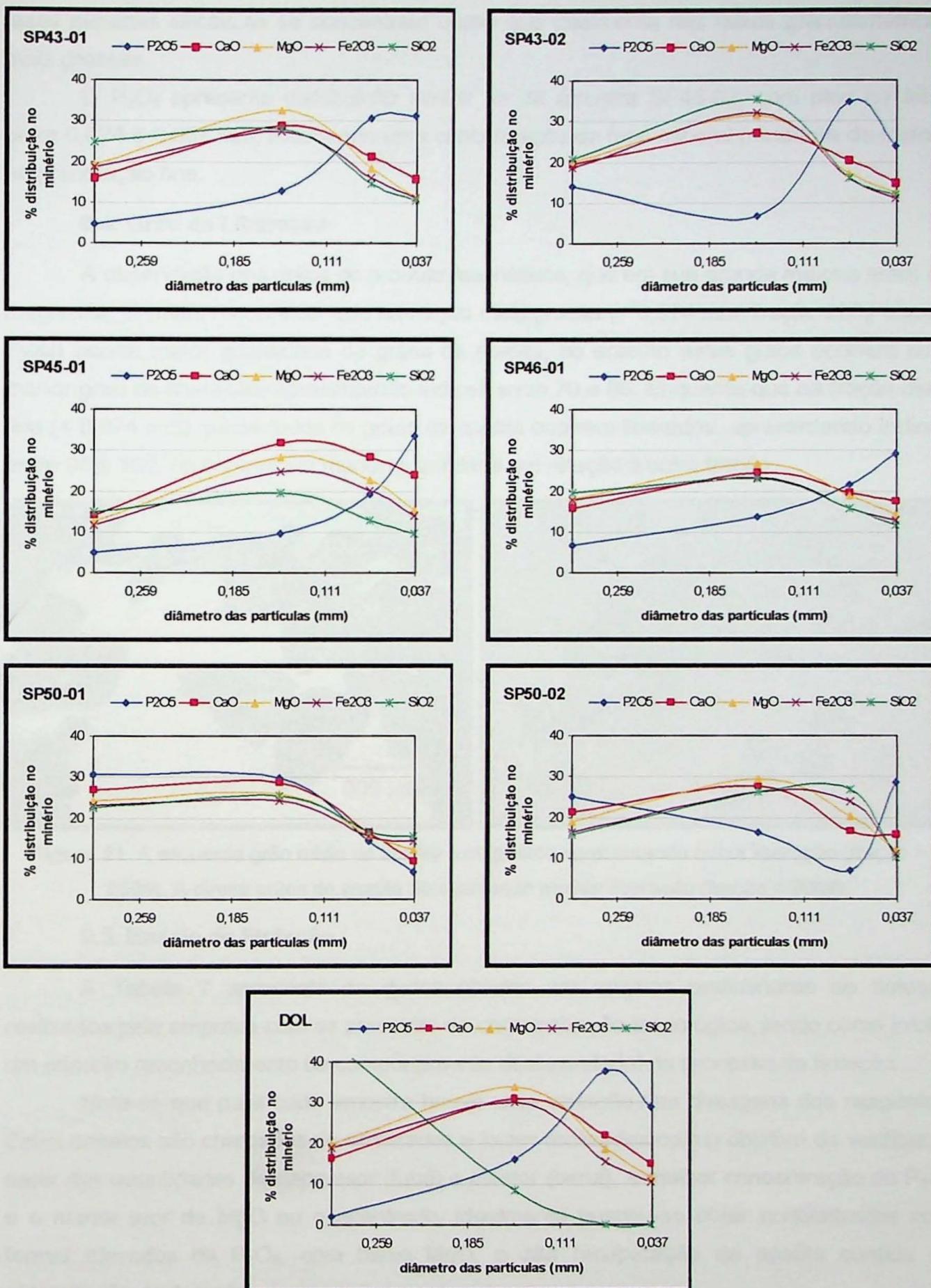


Figura 20: Gráficos de distribuição dos principais óxidos de interesse por fração granulométrica.

Em relação à amostra DOL do carbonatito dolomítico explorado na Mina, a distribuição de CaO, MgO e Fe₂O é muito similar a das amostras de carbonatito do Mesquita. Enquanto que o comportamento de SiO₂ é o mais contrastante, mostrando que as

fases minerais silicáticas se concentram quase que totalmente nas faixas granulométricas mais grossas.

O P₂O₅ apresenta distribuição similar ao da amostra SP43-02, com pico na faixa entre 0,074 e 0,037 mm, mostrando uma concentração da fase mineral portadora de fósforo na granulação fina.

9.4. Grau de Liberação

A observação dos grãos do produto magnéticos, que em sua grande maioria eram de magnetita, permitiu reconhecer que na fração mais grossa (> 0,074 mm, fração 200# escala Tyler) ocorre maior quantidade de grãos de apatita, no entanto estes grãos ocorrem com menor grau de liberação, apresentando índices entre 70 e 80. Enquanto que na fração mais fina (< 0,074 mm) quase todos os grãos de apatita ocorrem liberados, apresentando índices entre 90 e 100, no entanto em menor quantidade em relação à outra fração.

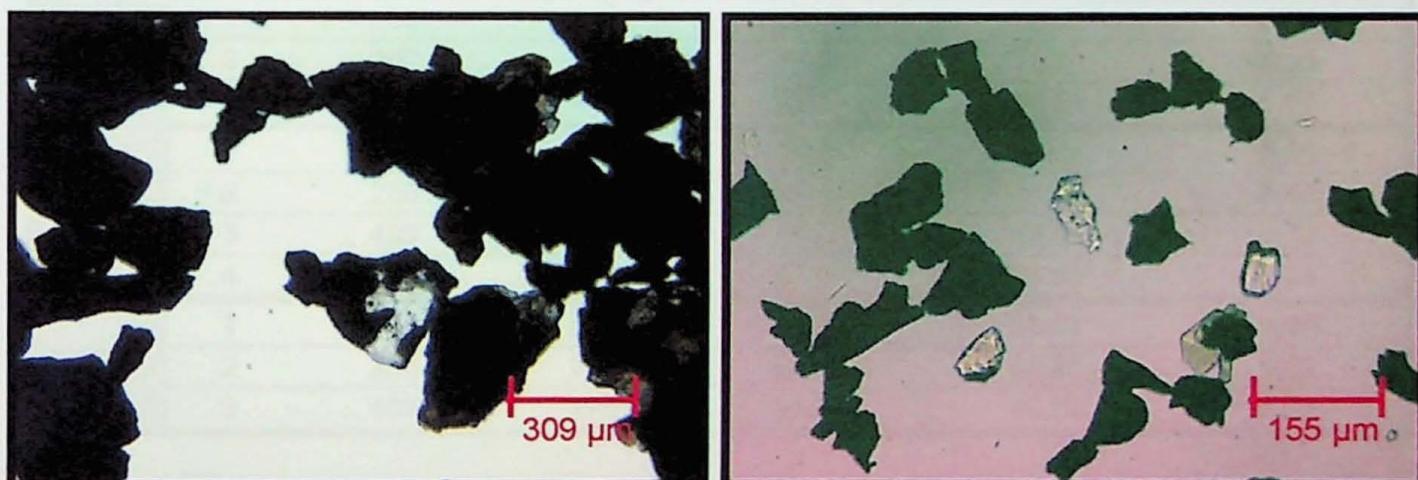


Figura 21: A esquerda grão misto de apatita e magnetita apresentando baixa liberação (fração > 200#). A direita grãos de apatita apresentando melhor liberação (fração < 200#).

9.5. Ensaio de Flotação

A Tabela 7 apresenta os dados obtidos em ensaios preliminares de flotação realizados pela empresa com as amostras da caracterização tecnológica, tendo como intuito um primeiro reconhecimento do comportamento deste material no processo de flotação.

Nota-se que para cada amostra houve uma variação nas dosagens dos reagentes. Estes ensaios são chamados de otimizados e foram realizadas com o objetivo de verificar, a partir das quantidades de depressor (fubá) e coletor (berol), a melhor concentração do P₂O₅ e o menor teor de MgO no concentrado. Idealmente buscou-se obter concentrados com teores elevados de P₂O₅, com baixo MgO, e alta recuperação da apatita contida na alimentação da flotação.

Os melhores resultados estão sempre entre dosagens intermediárias de depressor e coletor, não havendo uma fórmula geral para o processo, já que cada amostra apresenta uma composição mineralógica peculiar.

Tabela 7: Balanço metalúrgico dos concentrados dos ensaios de flotação.

Amostra	Ensaio	Fubá (g/t)	Berol (g/t)	P2O5 (% peso)	Rec P2O5 (%)	Rec MgO (%)
SP43-01	1	300	300	31,51	88,44	8,99
	2	360	270	29,17	89,59	8,35
	3	360	230	37,07	82,94	1,81
	4	300	255	30,52	89,90	6,27
	5	360	270	38,17	73,63	1,28
SP43-02	1	300	300	39,13	45,86	1,04
	2	250	350	28,59	83,32	8,02
	3	300	350	33,10	86,16	3,71
	4	270	320	33,79	86,54	3,55
	5	300	320	37,24	60,56	1,15
SP45-01	1	250	400	21,05	81,47	18,69
	2	250	350	23,55	82,98	13,56
SP46-01	1	120	200	35,72	6,44	1,53
	2	250	400	25,30	79,85	8,27
	3	300	400	26,43	71,66	5,29
	4	250	400	26,89	76,54	5,67
SP50-01	1	250	200	16,84	0,50	6,51
	2	250	400	31,51	84,63	5,78
	3	400	270	37,33	32,55	1,72
	4	250	400	36,94	73,65	2,14
SP50-02	1	350	200	38,72	58,87	1,40
	2	350	250	34,29	82,87	4,02
	3	400	270	39,00	40,67	1,11

A amostra SP45-01 apresenta uma maior concentração de MgO em relação às demais, estes resultados se devem a uma maior proporção de dolomita, tratando-se de uma amostra que não apresenta porções de zona de reação em sua descrição. A recuperação baixa de MgO no concentrado indica sua concentração no rejeito, o que precisa ser controlado quando este material se destina à fabricação de cimento.

Em alguns ensaios verificam-se valores de recuperação de apatita muito abaixo dos praticados na usina industrial, como 6,44% na amostra SP46-01 e até mesmo 0,50% na amostra SP 50-01. Mas no geral as amostras apresentaram bons resultados, com recuperação de fosfato acima de 90% próxima à recuperação final da usina de beneficiamento, que é de aproximadamente 80%.

A Tabela 8 destaca o balanço metalúrgico para os melhores ensaios obtidos com a variação de coletor e depressor, ou seja, aqueles que apresentaram comportamento mais próximo do ideal face aos parâmetros praticados atualmente na usina industrial. Ressalva-se aqui que o fechamento em massa não totaliza 100% devido à perda de material que ficou em circulação durante o ensaio.

É importante realçar que como os ensaios compreenderam as etapas *rougher*, *cleaner* e *recleaner*, o rejeito final apresentado é o rejeito *rougher*, que embora permita uma

análise aproximada, não é o mesmo obtido no processo real. O mesmo é válido para o ensaio com amostra DOL que compreendeu somente a etapa *rougher*, sendo apresentado como comparativo. O concentrado apresentado é o concentrado do *recleaner*, sendo possível com este estabelecer comparativos com os obtidos no processo atual da usina.

Tabela 8: Balanço metalúrgico dos melhores ensaios de flotação otimizados.

Amostra	Ensaio	Produto	% peso	P ₂ O ₅ (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)	Recuperação P ₂ O ₅ (%)
SP43-01	3	concentrado	10,64	37,1	1,81	0,42	82,94
		rejeito	74,21	0,54	20,6	1,44	8,43
SP43-02	4	concentrado	10,44	33,8	3,55	0,93	86,54
		rejeito	77,03	0,49	20,7	8,53	9,26
SP45-01	2	concentrado	14,46	23,5	13,6	0,44	82,98
		rejeito	58,70	0,74	20,4	0,51	10,59
SP46-01	4	concentrado	12,61	26,9	5,67	0,74	76,54
		rejeito	66,24	0,58	18,6	2,74	13,51
SP50-01	4	concentrado	10,07	36,9	2,14	1,98	73,65
		rejeito	79,10	1,26	20,9	23,4	19,73
SP50-02	2	concentrado	10,45	34,3	4,02	1,09	82,87
		rejeito	73,87	0,62	22,1	7,55	10,59
DOL	1	concentrado*	16,40	19,0	10,6	0,06	74,00
		rejeito	83,60	1,31	19,3	0,04	26,00

* Dados de concentrado da etapa *rougher*

Em relação à recuperação em massa de concentrado (% peso), todas amostras apresentam ensaios com resultados acima dos praticados na usina, que são em torno de 10%, sendo esse um aspecto muito positivo.

O mesmo ocorre com a recuperação metalúrgica, onde quatro das amostras apresentaram resultados acima dos 80% esperados, atingindo 86,54% para a amostra SP43-02. Duas amostras, SP46-01 e SP50-01 apresentaram resultados abaixo do praticado, respectivamente 74 e 76% de recuperação final de P₂O₅.

O concentrado gerado é destinado à planta de fabricação de ácido fosfórico. Para atender as exigências desta produção, o material concentrado deve apresentar teores de P₂O₅ entre 35,5 e 36% e teor de MgO abaixo de 1,5%. Embora algumas amostras atinjam a especificação para o P₂O₅, os teores de MgO mostraram-se bastante altos em todos ensaios.

Na prática, esse fato significa que estes materiais não podem alimentar a usina de beneficiamento individualmente, necessitando serem blendados com outros minérios, o que é um procedimento corriqueiro na rotina da mina.

O rejeito como subproduto pode ser destinado a três aplicações. Para a produção de foscálcio o teor de MgO deve ser no máximo 3,6%, para a produção de cimento deve ser no máximo 5,5% com teor de P₂O₅ não superior a 1,3%, e ainda, quando destinado à correção de acidez de solos deve apresentar teor de MgO alto, ao redor de 13 a 14%. Quando fora das especificações é depositado na barragem de rejeitos.

Os teores de MgO nos rejeitos apresentados são bastante altos, na ordem de 20%, mostrando uma característica diferenciada deste material em relação ao atualmente lavrado. Mas vale lembrar que nos ensaios realizados não foi simulada a etapa *scavenger*, onde o rejeito *rougher* é novamente flotado, provavelmente diminuindo consideravelmente estes números no rejeito final, e assim, não descartando este material como minério potencial.

9.6. Análise Petrográfica

As análises petrográficas procuraram verificar características da rocha estudada que influenciam o beneficiamento da mesma como minério, e também o reconhecimento de fases minerais indistintas a olho nu, completando a paragênese desta região. A descrição completa de cada uma das 7 lâminas delgadas analisadas se encontra nos anexos 17 a 23.

Todas amostras são faneríticas, o que permitiu uma descrição prévia macroscópica (item 9.1.) dos testemunhos de sondagem com reconhecimento dos principais minerais constituintes, que é complementada neste item.

As lâminas apresentam cristais bem formados sem presença de vidro, em textura granular hipidiomórfica, indicando que assim como as rochas do Morro da Mina, estas rochas se cristalizaram em subsuperfície, podendo ser consideradas como intrusivas subvulcânicas com possível continuidade expressiva em profundidade.

Considerando um primeiro enfoque na estimativa modal das fases minerais ocorrentes nos carbonatitos dolomíticos do Mesquita Sampaio, reconhece-se que entre 75 e 85% dos minerais que as compõe são carbonatos. O segundo mineral que ocorre em maior quantidade nestas rochas é a apatita (em média 10%), seguida dos minerais opacos (6%), indistintos ao microscópio de luz transmitida, e da flogopita (2%), que apresenta em geral pleocroísmo invertido em tons laranja acastanhados a esverdeados.

Estes são os mais ocorrentes, sendo ainda reconhecidos perovskita e minerais do grupo do pirocloro em pequena quantidade nas lâminas das amostras SP43-01 e SP43-02.

Quanto à granulação, os carbonatos se apresentaram no geral médios com cristalização em duas fases, podendo ser encontrados desde cristais de 0,02 mm até 5 mm. A apatita, mineral de minério, ocorre muito fina em relação à atualmente em lavra, variavelmente se concentra em bolsões (Figura 21) ou também perfazendo uma foliação proveniente de fluxo magmático.

Uma outra característica influente no processo de concentração do minério, principalmente na fase de desmagnetização, é a ocorrência de opacos em estágios de cristalização tardia, englobando cristais de carbonato (Figura 21). As demais fases presentes ocorrem somente como acessórios e não apresentam grande representatividade na sequência de separação mineral em grande escala industrial.

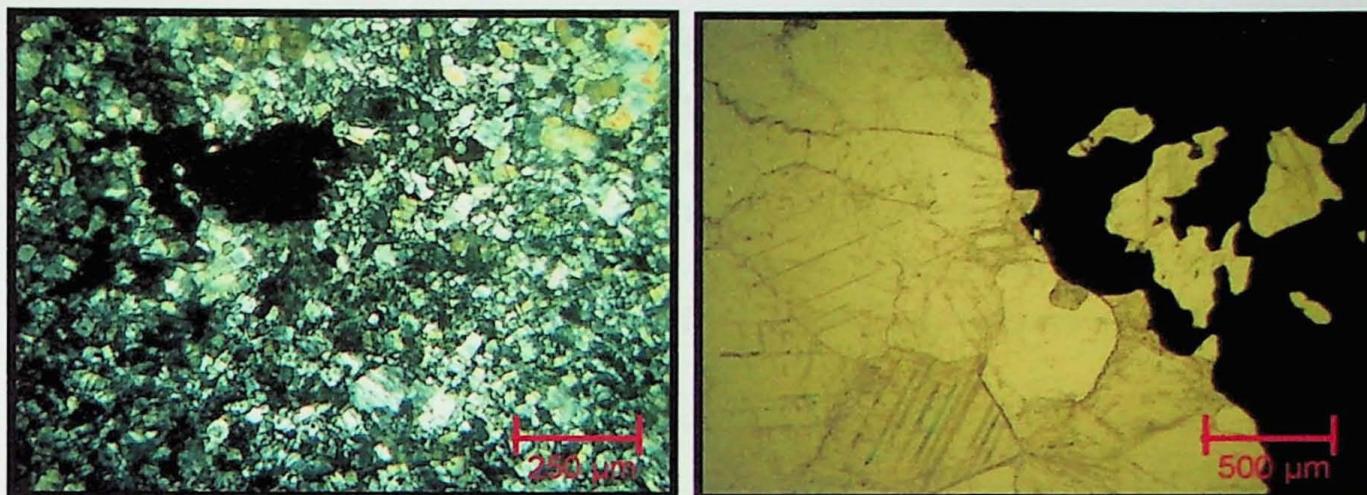


Figura 22: A esquerda concentração de apatita muito fina em bolsão (Nicóis cruzados). A direita mineral opaco englobando carbonatos (Nicóis descruzados).

Quanto à rocha encaixante (amostra JAC), chamada de jacupiranguito, trata-se de um clinopiroxenito em textura granular, onde possivelmente o piroxênio ocorrente seja o diopsídio associado com minerais opacos, e ocorre sem a presença ou com muito pouca apatita em sua composição, sendo considerada como estéril para a lavra atual.

As amostras SP46-01 e SP50-01 são representativas de litologias diferentes dos carbonatitos reconhecidos nas demais amostras.

Em SP46-01 reconhece-se uma brecha magmática semelhante às ocorrentes no Morro da Mina, apresentando fragmentos arredondados centimétricos a milimétricos de calcita predominando sobre matriz dolomítica mais fina, os cristais ocorrem com extinção ondulante mostrando um considerável grau de deformação.

Na lâmina a apatita aparece bordejando os fragmentos maiores de carbonatos juntamente com associações de minerais opacos.

Por se tratar de uma chaminé vulcânica, a origem deste material possivelmente deve ter sido propiciada pela súbita expansão de gases contidos no magma carbonatítico, que ao atingir pressões baixas da crosta rasa, provocou a fragmentação do material já consolidado do duto que ficava envolvido por este magma rico em fluídos. Sendo assim é comum a presença de minerais tardios gerados em estágios pós-magmáticos como quartzo e a própria calcita preenchendo fraturas e interstícios, como observados em lâmina.

Uma outra litologia bastante ocorrente no Morro da Mina e que caracteriza a unidade XEM, são as zonas de reação, produtos da interação do carbonatito intrusivo com o jacupiranguito encaixante. A amostra SP50-01 é representativa desta litologia e apresenta

em sua lâmina texturas que sugerem reações de carbonatização entre flogopita e fases carbonatos posteriores, e pseudomorfos de olivina e anfibólios com geração de serpentina. Ocorrem também porções com bandamento de dolomita com apatita em textura similar à dos carbonatitos acima descritos.

9.7. Difração de Raios X

Em anexo são apresentados os difratogramas obtidos (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondentes às fases identificadas com cada fase apresentada em uma cor distinta (Anexos 24 a 42).

A identificação das 26 espécies minerais, abaixo discriminadas (Tabelas 9, 10 e 11), foi obtida por comparação dos difratogramas das amostras com o banco de dados do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e os resultados são apresentados segundo os produtos de separação mineral.

Magnéticos

As análises por difratometria de raios X revelaram que nos produtos magnéticos a principal fase mineral constituinte é a magnetita, ocorrendo como principal mineral magnético em todas as amostras. Estão também presentes nos seis produtos analisados, associadas à magnetita, os seguintes minerais: fluorapatita, flogopita, diopsídio rico em Fe, dolomita e lizardita.

Tabela 9: Principais fases minerais identificadas nos produtos magnéticos.

ICDD	Mineral	Fórmula Química
01-089-0951	Magnetita	Fe_3O_4
00-036-0426	Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
01-070-0796	Fluorapatita	$\text{Ca}_{4.895}(\text{PO}_4)_{2.995}\text{Cl}_{0.23}\text{F}_{0.77}(\text{OH})_{0.35}$
00-024-0867	Flogopita	$\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}\text{F}_2$
00-050-1606	Lizardita	$(\text{Mg},\text{Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
01-080-0385	Diopsídio stronciano	$\text{Ca}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Mg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$
01-089-0836	Diopsídio ferroso	$\text{Ca}_{1.018}(\text{Mg}_{0.733}\text{Fe}_{0.293})(\text{Si}_{1.67}\text{Fe}_{0.304})\text{O}_6$
00-024-0203	Augita	$\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$
01-084-2027	Enstatita	$\text{Mg}_{1.83}\text{Fe}_{0.17}\text{Si}_2\text{O}_6$
01-086-2348	Magnesita	MgCO_3
00-012-0088	Ankerita	$\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})(\text{CO}_3)_2$
01-081-2027	Calcita	CaCO_3
01-071-1140	Ilmenita	FeTiO_2
01-075-1376	Titanomagnetita	$\text{Fe}_{2.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_4$
00-001-1292	Rutilo	TiO_2

Algumas fases minerais foram identificadas somente em uma das amostras, como rutilo e enstatita, só identificados na amostra SP50-01; augita, identificada na amostra SP43-02, ankerita na amostra SP45-01, magnesita na SP46-01 e ilmenita e titanomagnetita somente na amostra SP50-02.

Afundados

Nos produtos afundados foram identificados um maior número e uma maior diversidade de fases minerais, sendo que somente hidroxilapatita e diopsídio estão presentes em todas as amostras.

Tabela 10: Principais fases minerais identificadas nos produtos afundados.

ICDD	Mineral	Fórmula Química
01-082-1429	Hidroxilapatita	$\text{Ca}_{10.084}(\text{PO}_4)_{5.94}(\text{OH})_{3.39}$
01-070-0796	Fluorapatita	$\text{Ca}_{4.895}(\text{PO}_4)_{2.995}\text{Cl}_{0.23}\text{F}_{0.77}(\text{OH})_{0.35}$
01-073-1728	Cloroapatita	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$
00-036-0426	Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
00-043-0697	Calcita magnesiana	$(\text{Ca},\text{Mg}) \text{CO}_3$
01-089-0836	Diopsídio ferroso	$\text{Ca}_{1.018}(\text{Mg}_{0.733}\text{Fe}_{0.293})(\text{Si}_{1.67}\text{Fe}_{0.304})\text{O}_6$
00-024-0203	Augita	$\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$
01-087-0045	Enstatita com Cu	$\text{Mg}(\text{Mg}_{0.56}\text{Cu}_{0.44})\text{Si}_2\text{O}_6$
00-052-1572	Antigorita	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
00-024-0867	Flogopita	$\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}\text{F}_2$
01-083-1366	Biotita	$\text{K}_2(\text{Fe}_{2.786}\text{Mg}_{2.321}\text{Ti}_{0.550})(\text{Al}_{2.413}\text{Si}_{5.587}\text{O}_2)(\text{OH})_4$
00-034-0166	Vermiculita	$(\text{Mg},\text{Al})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
00-043-1491	Cebollita	$\text{Ca}_2\text{MgSi}_2(\text{O},\text{OH})_7$
01-071-1140	Ilmenita	FeTiO_2
01-075-1376	Titanomagnetita	$\text{Fe}_{2.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_4$
00-048-1873	Microlita	$(\text{Ca},\text{Na})_2(\text{Ta},\text{Nb})_2\text{O}_6(\text{OH},\text{F})$
01-071-0053	Pirita	FeS_2

Fluorapatita foi identificada nas amostras SP43-01, SP43-02 e SP45-01 e cloroapatita também na amostra SP45-01 e em SP50-02. Dolomita está presente nas amostras SP43-01, SP45-01, SP46-01 e SP50-02, com calcita somente em SP43-01. Dentre os piroxênios, ocorre augita na amostra SP43-02 e enstatita em SP46-01, forsterita ocorre em SP45-01. Como minerais micáceos ocorrem biotita em SP43-02 e vermiculita em SP50-02.

Ainda como fases menores nos produtos afundados ocorrem: antigorita em SP46-01, cebollita em SP43-02 e SP50-01, ilmenita em SP50-01 e SP50-02, microlita em SP43-01, pirita em SP43-01 e SP45-01, titanomagnetita em SP45-01 e em SP50-01 e magnetita somente em SP45-01.

Flutuados

Dentre os minerais identificados nos produtos flutuados, as fases cristalinas presentes em todas as amostras são: fluorapatita, dolomita e calcita.

Também foram identificadas em todas amostras a mica de bário: kinoshitalita, que embora seja uma espécie mineral rara, esta já foi descrita nos carbonatitos do Morro da Mina, e a fase cristalina diopsídio-jadeíta, em que a análise realizada não permite a individualização da espécie de piroxênio presente.

Completam a mineralogia identificada dos produtos flutuados a flogopita, presente somente na amostra SP50-01, a hedenbergita e antigorita na amostra SP45-01 e quartzo, identificado nas amostras SP43-01 e SP45-01.

A presença de minerais pesados nos produtos flutuados, assim como a situação inversa para os produtos afundados, são justificadas pela existência de grãos mistos, nos quais a densidade predominante do grão é resultante da fase mineral que ocorre em maior proporção.

Tabela 11: Principais fases minerais identificadas nos produtos flutuados.

ICDD	Mineral	Fórmula Química
00-036-0426	Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
01-081-2027	Calcita	CaCO_3
01-070-0796	Fluorapatita	$\text{Ca}_{4.895}(\text{PO}_4)_{2.995}\text{Cl}_{0.23}\text{F}_{0.77}(\text{OH})_{0.35}$
00-050-1625	Lizardita	$(\text{Mg},\text{Al})_3(\text{Si},\text{Fe})_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
00-052-1573	Antigorita	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
01-080-1866	Diopsídio-Jadeíta	$(\text{Ca}_{0.55}\text{Na}_{0.33}\text{Fe}_{0.07}\text{Mg}_{0.06})(\text{Mg}_{0.59}\text{Fe}_{0.08}\text{Ti}_{0.01}\text{Al}_{0.32})(\text{Si}_2\text{O}_6)$
01-071-1500	Hedenbergita	$\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$
01-089-8941	Quartzo	SiO_2
00-029-0180	Kinoshitalita	$\text{BaMg}_3\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
00-024-0867	Flogopita	$\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}\text{F}_2$

No geral, se considerarmos as seis amostras como amostras totais, ou seja, sem que se analise cada produto da separação mineral, das 26 fases cristalinas identificadas, somente 9 espécies minerais ocorrem em todas amostras. Assim, se tem as seguintes fases como mineralogia principal representativa do Mesquita Sampaio: dolomita, fluorapatita,

flogopita, diopsídio rico em ferro, lizardita, calcita, magnetita, hidroxilapatita e kinoshitalita, sendo estas descritas da maior para a menor abundância.

10. CONCLUSÕES

As rochas da área denominada Mesquita Sampaio se mostraram muito semelhantes às ocorrências contíguas do Morro da Mina, sendo compostas em proporção variada pelos minerais constituintes das quatro litologias reconhecidas no domínio: carbonatito, zona de reação, brecha e jacupiranguito.

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

Comparando-as com as rochas estudadas, a mineralogia principal é muito similar, porém em proporções muito diferentes, destacando principalmente o predomínio de dolomita em relação à calcita, como identificado nas descrições macroscópicas, análises químicas e nos resultados de difratometria de raios X, sendo este o principal mineral da nova ocorrência.

Até então o único carbonatito dolomítico relatado no Complexo Alcalino de Jacupiranga é o presente na mina, denominado unidade DOL, que tem sua gênese relacionada a processos tardios de dolomitização. A ocorrência do Mesquita Sampaio é a primeira descrição de um beforsito franco, possivelmente relacionado a um estágio mais tardio de manifestação carbonática do que os até então conhecidos, podendo também estar relacionado à gênese do próprio carbonatito dolomítico do Morro da Mina.

Associando os teores de MgO com a mineralogia e os resultados de difratometria de raios X, nota-se que todos os principais minerais constituintes de rocha destas unidades contêm esse óxido em sua composição química teórica. Dentre os filossilicatos ocorrem as micas flogopita e kinoshitalita, e lizardita e antigorita como minerais do grupo da serpentina. Diopsídio é o principal piroxênio ocorrente e foi detectado em todas amostras como uma variedade rica em ferro. Magnetita também ocorre em grande quantidade sendo o principal óxido e mineral magnético da nova ocorrência.

Os silicatos identificados, piroxênios, serpentinas e eventuais olivinas, estão relacionados principalmente aos xenólitos de jacupiranguito e às zonas de reação bordejantes. Flogopita, kinoshitalita e magnetita ocorrem tanto nos carbonatitos quanto nas zonas de reação. Quartzo e calcita quando presentes são secundários, ocorrem preenchendo fraturas e provavelmente estão relacionados aos intervalos de brechas magmáticas, como observado em análise petrográfica.

Nota-se portanto que a sílica está presente em todas as litologias ocorrentes e, como mostram os dados químicos, sua porcentagem em peso, além de apresentar grande variância, é maior do que a das unidades vizinhas da mina.

A apatita presente no Mesquita Sampaio, identificada como fluorapatita e hidroxilapatita, pode ser avaliada quanto a sua granulometria e concentração em função dos teores de P₂O₅ e de suas distribuições nas frações granulométricas. Dessa forma, observou-se que a granulometria do mineral nas rochas estudadas é comumente fina, assim como nas unidades de carbonatito oxidado (COX), carbonatito foliado (CBF), carbonatito branco (CBR) e carbonatito norte (CBN), do Morro da Mina, onde a granulação varia de fina a média, porém a quantidade de apatita nas três unidades do Mesquita é pequena se comparada a unidade carbonatito dolomítico (DOL).

Para a usina de concentração mineral, essa característica é importante, pois apatita de granulação grossa leva a necessidade de uma diminuição na alimentação dos moinhos para não sobrecarregá-los, prejudicando a ação dos ciclones na classificação granulométrica. O fato de a apatita ser mais fina também permite uma maior aderência nas bolhas de flotação e assim uma melhor recuperação metalúrgica.

É importante ressaltar que boa parte da apatita presente no Mesquita Sampaio é proveniente das unidade carbonatito dolomítico fino (DLMF), pois quando as unidades são analisadas separadamente observa-se que dentre estes os teores de P₂O₅ nos carbonatitos são mais altos que as médias das outras duas unidades.

As unidades carbonatíticas (DLMF e DLMG) e a unidade zona de xenólitos (XEM) do Mesquita Sampaio apresentam teores de P₂O₅ que as caracterizam como minério de baixo teor, inserindo as unidades carbonatíticas na tipologia corrente de operação de lavra como *Dolomítico* e a unidade de xenólitos como *Magnesiano*, no qual os teores de MgO são elevados devido à presença de dolomita e silicatos de magnésio.

Além das características químicas, o comportamento físico do material é favorável ao seu processamento na usina de concentração mineral, com liberação dos minerais (carbonatos e apatita) similar a do minério atual na cominuição aplicada. Porém a elevada quantidade de intervalos de jacupiranguito na unidade zona de xenólitos (XEM) pode ser problemática para o beneficiamento, sendo necessário um conhecimento mais detalhado desses segmentos para evitar que muito material estéril entre na alimentação, embora esta unidade ocorra em maior profundidade e só será lavrada em estágios tardios de avanço de cava.

Quanto ao desempenho destes materiais nas células de flotação, reconhece-se que são passíveis de enquadramento no processo de produção atual, mediante a blendagem com outras matérias primas provenientes das unidades do Morro da Mina. Sugere-se limites de até 40% de blendagem deste material quando com rejeitos destinados à fabricação de corretivos de solo. Tal sugestão tem como base somente analogias empíricas com tipologias atuais da mina e ensaios de flotação em escala de bancada, sendo necessário considerar que este material nunca abasteceu a usina, e que para demais considerações serão necessários maiores estudos futuros.

Com relação ao planejamento de lavra, o guia litológico proposto permitirá o mapeamento de frentes planejadas para desmonte e a obtenção dos parâmetros químicos inerentes a cada uma delas, possibilitando que se realize uma otimização do planejamento de pilhas de homogeneização e uma maximização no aproveitamento do recurso mineral. Pretende-se ainda que este tipo de atividade, quando implantada como rotina, passe a atualizar o modelo geológico vigente a partir de novas campanhas de sondagem e dos avanços de lavra realizados.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Algarte, J.P. 1972. A influência dos arqueamentos cratônicos no condicionamento das alcalinas nos Estados de São Paulo e Paraná. In: Congr. Bras. Geol., 26. Belém, 1972. *Anais...* Belém, SBG, v.1, 65-69 p.
- Almeida, F.F.M. 1983. Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da plataforma sul-americana. *Rev. Bras. Geoc.*, 13, 139-158 p.
- Alves, P.R.P.C. 1999. Estudos de caracterização tecnológica no minério apatítico do Complexo Alcalino de Jacupiranga, SP. Monografia de trabalho de formatura, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 59 p+anexos.
- Amaral, G. 1978. Potassium-argon age studies on the Jacupiranga alkaline district, State of São Paulo, Brazil. In: First Int. Symp. Carbonatites, 1. Poços de Caldas, 1978. *Proceedings...* Poços de Caldas. 297-302 p.
- Amaral, A.J.R. 1988. Geologia do fosfato. In: Principais Depósitos Minerais do Brasil, vol. IV-C, DNPM, Brasília, 1994, 3-16 p.
- Bauer, H.E. 1877. As minas de ferro de Jacupiranga. *Rev. Eng.*, Rio de Janeiro, 213 p.
- Bonás, T.B. 2001. Consolidação de critérios de descrição litológica para o minério apatítico do Complexo Alcalino de Jacupiranga. Monografia de Trabalho de Formatura, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 48 p + anexos.
- Brandão, A.G.P. 2003. Investigações mineralógicas em matéria-prima carbonática de uma determinada unidade litológica da Mina de Cajati (SP), visando novas aplicações industriais. Monografia de Trabalho de Formatura, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 39 p + anexos.
- Brumatti, M. 2002.⁴ Detalhamento mineralógico da zona de xenólitos a norte e a leste da mina de Cajati, SP. Monografia de Trabalho de Formatura, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 44 p + anexos.
- Derby, O.A. 1891. The magnetite ore districts of Jacupiranga and Ipanema, São Paulo, Brazil. *American Journal of Science*, Series 3, 41: 311-321 p.

- Ferreira, F.J.F. & Algarte, J.P. 1979. O comportamento aeromagnetométrico-cintilométrico das principais rochas alcalinas dos Estados de São Paulo e Paraná. In: Simp. Reg. Geol., 2. Rio Claro, 1979. Atas... Rio Claro, v.2, 195-208 p.
- Gaspar, J.C. 1989. Géologie et mineralogie du complexe carbonatitique de Jacupiranga, Brésil. França, Tese de Doutoramento U.E.R. de Science Fundamentales et Appliquées, Université d'Orléans, 344 p.
- Gaspar, J.C. & Wyllie, P.J., 1983a. Magnetite in the carbonatites from the Jacupiranga complex, Brazil. *Amer. Mineral.* 68, 195-213 p.
- Gaspar, J.C. & Wyllie, P.J., 1983b. Ilmenite (high Mg, Mn, Nb) in the carbonatites from the Jacupiranga complex, Brazil. *Amer. Mineral.* 68, 960-971 p.
- German, A.; Marker, A.; Friedrich, G. 1987. The alkaline complex of Jacupiranga, São Paulo, Brazil. Petrology and genetic consideration. *Zbl. Geol. Paleont. Teil I*, 7/8, 807-818 p.
- Melcher, G.C. 1954. Nota sobre o distrito alcalino de Jacupiranga, Estado de São Paulo. *Notas Preliminares*, Est., DNPM, Bol. 80, Rio de Janeiro
- Melcher, G.C. 1965. O Carbonatito de Jacupiranga. Boletim FFCLUSP 282, Geologia nº 21, Universidade de São Paulo, São Paulo
- Menezes, Jr., L.A.D; Martins, J. M. 1984. The Jacupiranga mine. São Paulo, Brasil. *The Mineralogical Record*, 15 (5): 261-270 p.
- Morbidelli, L.; Beccaluva, L.; Brotzu, P.; Conte, A.; Garbarino, C.; Gomes, C. B.; Macciotta, G.; Ruberti, E.; Scheibe, L. F. e Traversa, G. 1986. Petrological and geochemical studies of alkaline rocks from continental Brazil. Fenitization of jacupiranguite by carbonatite magmas in the Jacupiranga Complex, SP 3. In: *Congresso Brasileiro de Geoquímica*, Porto Alegre, 1987. Per. Mineral, 55, 261-295 p.
- Raposo, D.B. 2002. Investigação tecnológica em minério carbonatítico de Cajati-SP, utilizado como matéria-prima na produção de foscálcio. Monografia de Trabalho de Formatura, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 28 p + anexos.
- Reis, J.R. 1983. Depósito de fosfato de Jacupiranga, São Paulo. In: Principais Depósitos Minerais do Brasil, vol. IV-C, DNPM, Brasília, 1994, 31-39 p.
- Roden, M.F., Murthy, V.R., Gaspar, J.C. 1985. Sr and Nd isotopic composition of the Jacupiranga carbonatite. *J. Geol.*, 93, 212-220 p.
- Ruberti, E.; Marguti, R.L.; Gomes, C.B. 1992. O Complexo carbonatítico de Jacupiranga, SP: Informações gerais. Roteiro das excursões do 37º Congresso Brasileiro de Geologia – SBG/SP, São Paulo, 4, 16 p.

Saito, M.M.; Barros, G.; Bonás, T.B.; Bettencourt, J. S. 2004. Mapeamento geológico de detalhe da mina de Cajati (SP): modelo conceitual e aplicação à lavra, produção e beneficiamento. In: CONGR. BRAS. GEOL., 42. Araxá, 2004. *Anais...Araxá*, SBG. CD-ROM.

Silva, J.F. 2001. Detalhamento da mineralogia em apoio à caracterização tecnológica do minério de fosfato da mina de Cajati, São Paulo. Monografia de trabalho de formatura, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 59 p + anexos.

Anexo 4: Materiais e Recursos

Anexo 5: Documentos

Anexo 6: Documentos de Apoio

Anexo 7: Documentos de Apoio

Anexo 8: Documentos

Anexo 9: Documentos da Pauta da Reunião

Resolução nº 001/2019 - Conselho de Desenvolvimento Sustentável - 2/20

Anexo 10: Documentos de Apoio

Anexo 11: Documentos de Apoio

Anexo 12: Documentos de Apoio

Anexo 13: Documentos de Apoio

Resolução nº 001/2019 - Conselho de Desenvolvimento Sustentável

ANEXOS

Anexo 14: Documentos de Apoio

Anexo 15: Documentos de Apoio

Anexo 16: Documentos de Apoio

Anexo 17: Documentos de Apoio

Anexo 18: Documentos de Apoio

Anexo 19: Documentos de Apoio

Anexo 20: Documentos de Apoio

Anexo 21: Documentos de Apoio

Anexo 22: Documentos de Apoio

Anexo 23: Documentos de Apoio

Anexo 24: Documentos de Apoio

Anexo 25: Documentos de Apoio

Anexo 26: Documentos de Apoio

Anexo 27: Documentos de Apoio

Anexo 28: Documentos de Apoio

Anexo 29: Documentos de Apoio

Anexo 30: Documentos de Apoio

Anexo 31: Documentos de Apoio

Anexo 32: Documentos de Apoio

Anexo 33: Documentos de Apoio

Anexo 34: Documentos de Apoio

Anexo 35: Documentos de Apoio

Anexo 36: Documentos de Apoio

Anexo 37: Documentos de Apoio

Anexo 38: Documentos de Apoio

Anexo 39: Documentos de Apoio

Anexo 40: Documentos de Apoio

Anexo 41: Documentos de Apoio

Anexo 42: Documentos de Apoio

Anexo 43: Documentos de Apoio

Anexo 44: Documentos de Apoio

Anexo 45: Documentos de Apoio

Anexo 46: Documentos de Apoio

Anexo 47: Documentos de Apoio

Anexo 48: Documentos de Apoio

Anexo 49: Documentos de Apoio

Anexo 50: Documentos de Apoio

Anexo 51: Documentos de Apoio

Anexo 52: Documentos de Apoio

Anexo 53: Documentos de Apoio

ANEXOS

Processo de Produção do Foscálcio (De 1 a 9)

- Anexo 1:** Mina – Britagem Primária
- Anexo 2:** Britagem Secundária
- Anexo 3:** Empilhamento e Retomagem
- Anexo 4:** Moagem e Condicionamento
- Anexo 5:** Flotação
- Anexo 6:** Produção de Ácido Fosfórico
- Anexo 7:** Filtragem e Desfluoritização
- Anexo 8:** Secagem
- Anexo 9:** Produção de Fosfato Bicálcico

Sequência de Preparação de Amostras (De 10 a 14)

- Anexo 10:** Fluxograma de preparação de amostras de testemunhos de sondagem
- Anexo 11:** Fluxograma do processo de moagem
- Anexo 12:** Fluxograma da operação de desmagnetização
- Anexo 13:** Fluxograma da operação de deslamagem
- Anexo 14:** Fluxograma de classificação granulométrica

Dados de Descrição dos Testemunhos de Sondagem

- Anexo 15:** Exemplo de tabela de dados de descrição dos testemunhos de sondagem

Dados de Análises Químicas

- Anexo 16:** Exemplo de tabela de dados de análises químicas

Ficha das Análises Petrográficas (De 17 a 23)

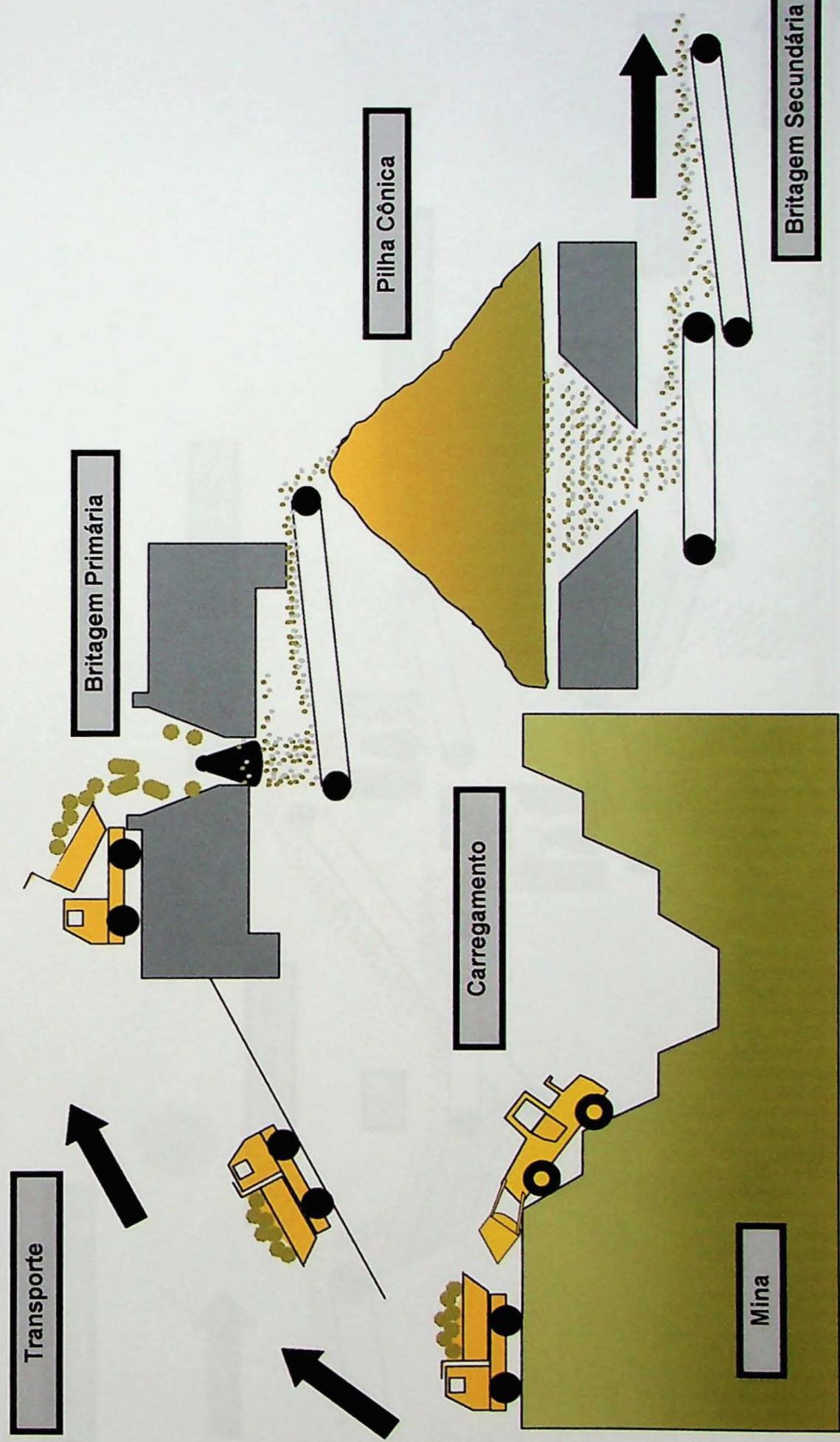
- Anexo 17:** Ficha de descrição petrográfica amostra SP 43-01
- Anexo 18:** Ficha de descrição petrográfica amostra SP 43-02
- Anexo 19:** Ficha de descrição petrográfica amostra SP 45-01
- Anexo 20:** Ficha de descrição petrográfica amostra SP 46-01
- Anexo 21:** Ficha de descrição petrográfica amostra SP 50-01
- Anexo 22:** Ficha de descrição petrográfica amostra SP 50-02
- Anexo 23:** Ficha de descrição petrográfica amostra JAC

Difratogramas (De 24 A 42)

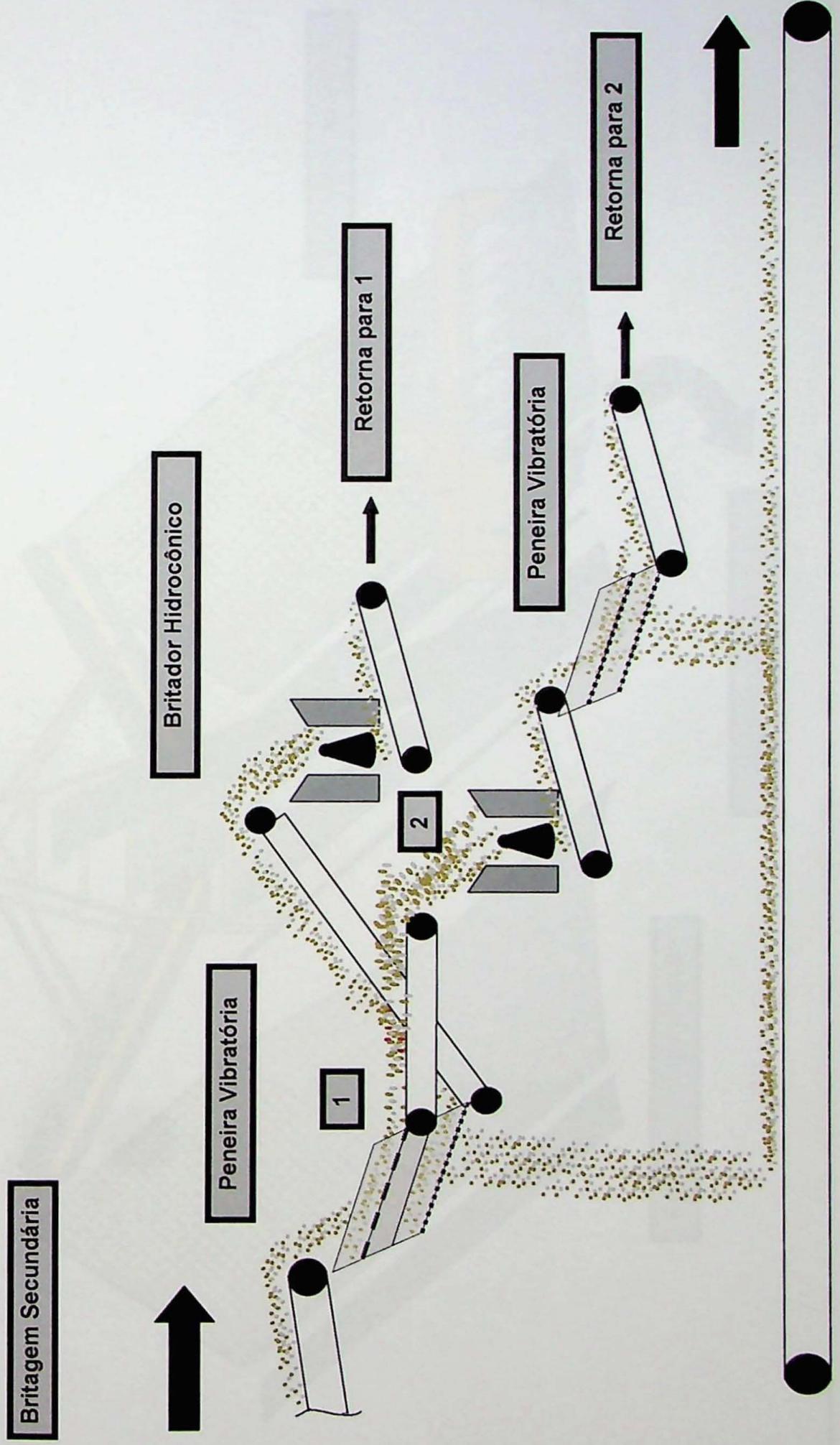
- Anexo 24:** Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP43-01 magnéticos
- Anexo 25:** Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP43-01 afundados
- Anexo 26:** Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP43-01 flutuados
- Anexo 27:** Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP43-02 magnéticos
- Anexo 28:** Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP43-02 afundados
- Anexo 29:** Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP43-02 flutuados
- Anexo 30:** Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP45-01 magnéticos
- Anexo 31:** Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP45-01 afundados
- Anexo 32:** Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP45-01 flutuados
- Anexo 33:** Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP46-01 magnéticos
- Anexo 34:** Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP46-01 afundados
- Anexo 35:** Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP46-01 flutuados
- Anexo 36:** Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP50-01 magnéticos
- Anexo 37:** Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP50-01 afundados
- Anexo 38:** Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP50-01 flutuados
- Anexo 39:** Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP50-02 magnéticos
- Anexo 40:** Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP50-02 afundados
- Anexo 41:** Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP50-02 flutuados

MAPA: Planta da Localização e Geologia da Intrusão Alcalina de Jacupiranga

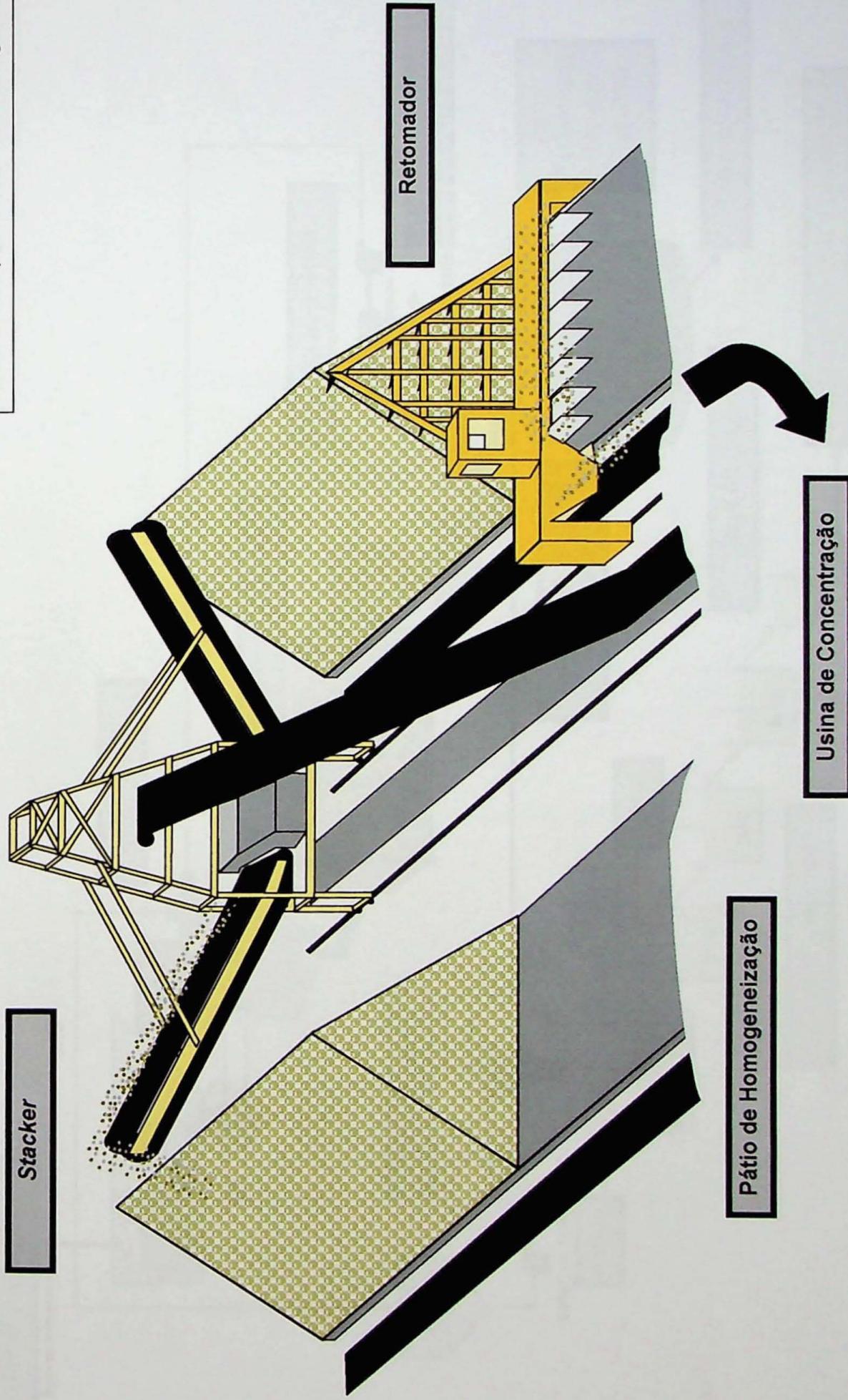
Anexo 1: Mina – Britagem Primária



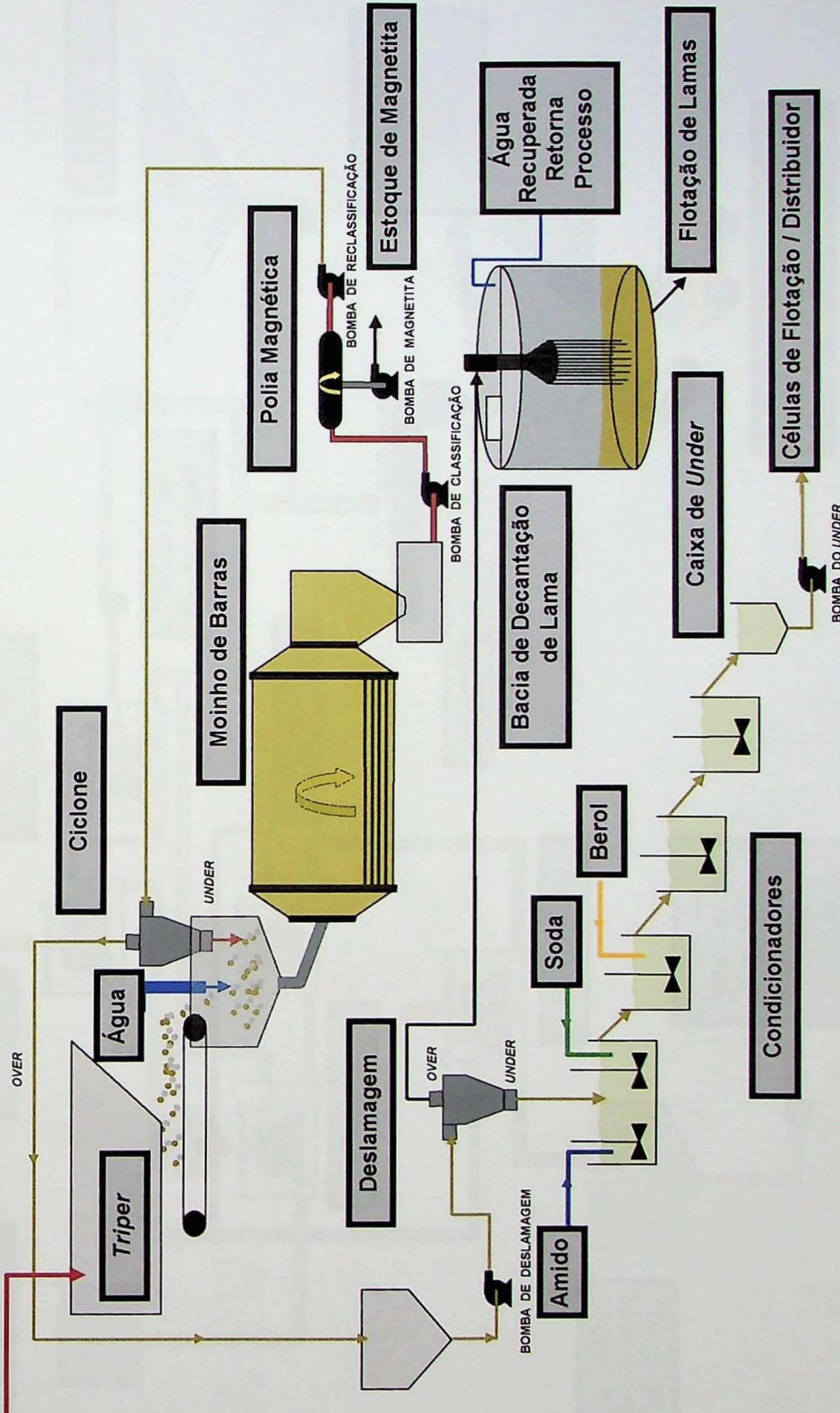
Anexo 2: Britagem Secundária



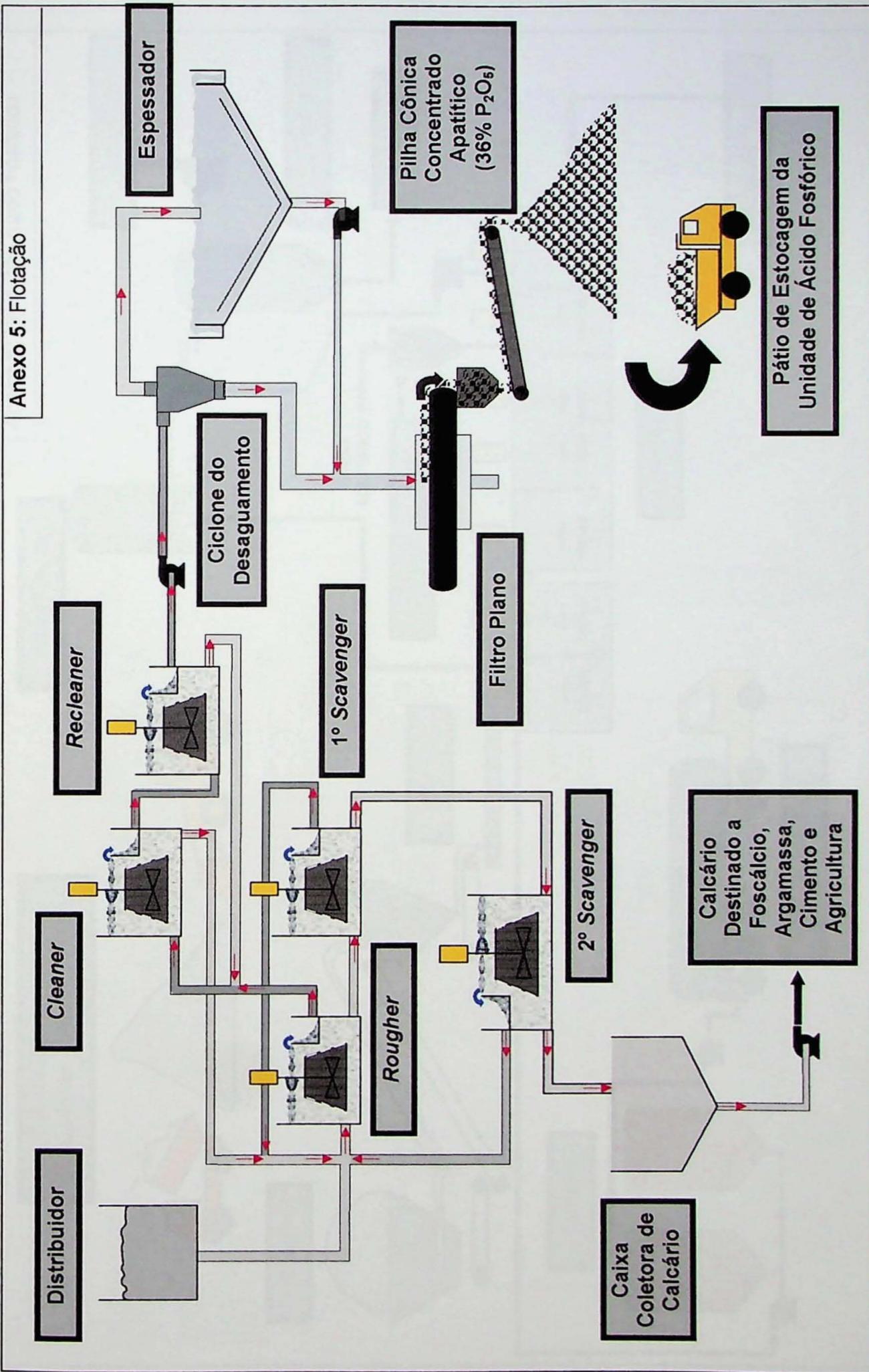
Anexo 3: Empilhamento e Retomagem



Anexo 4: Moagem e Condicionamento



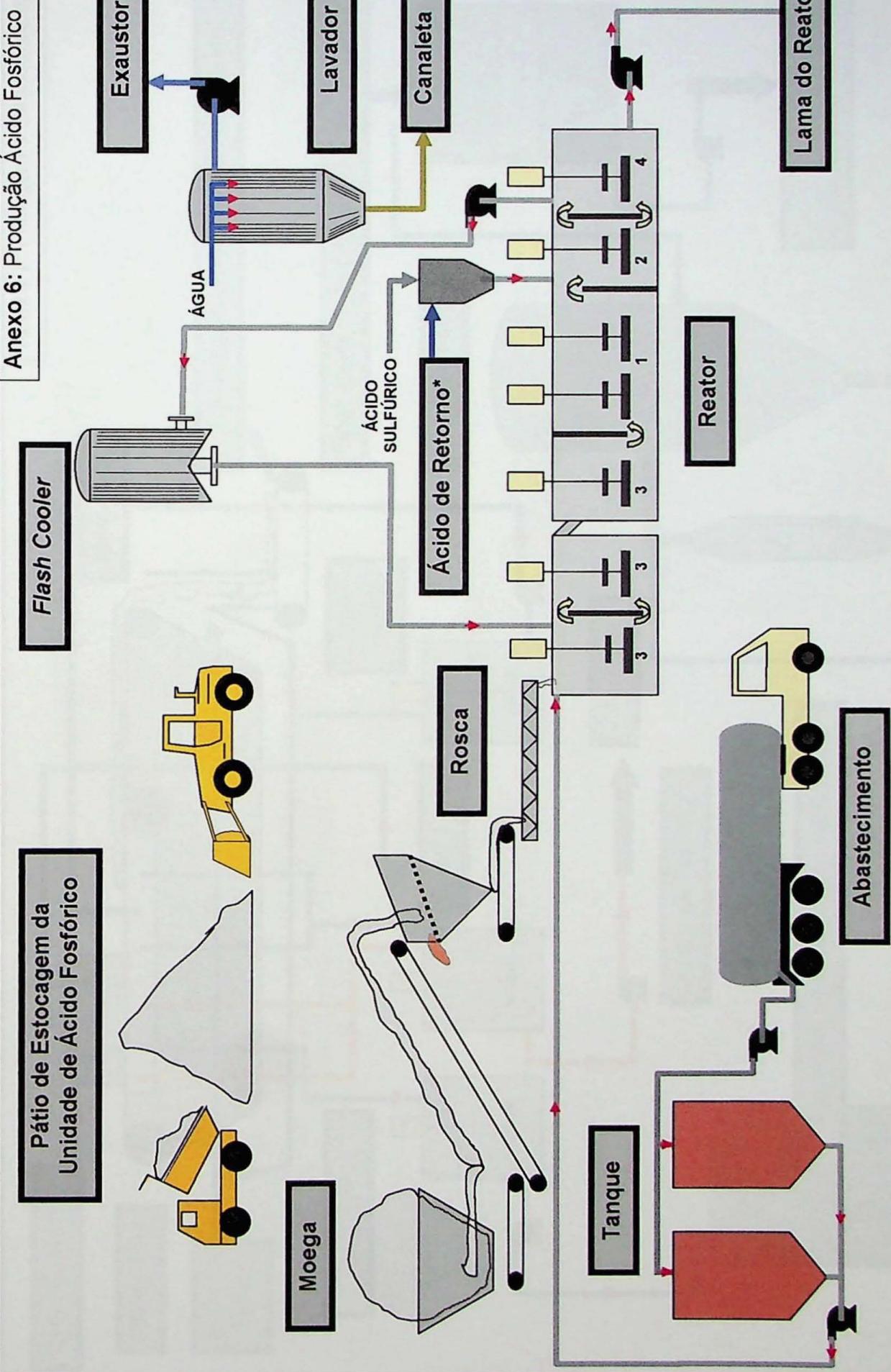
Anexo 5: Flotação



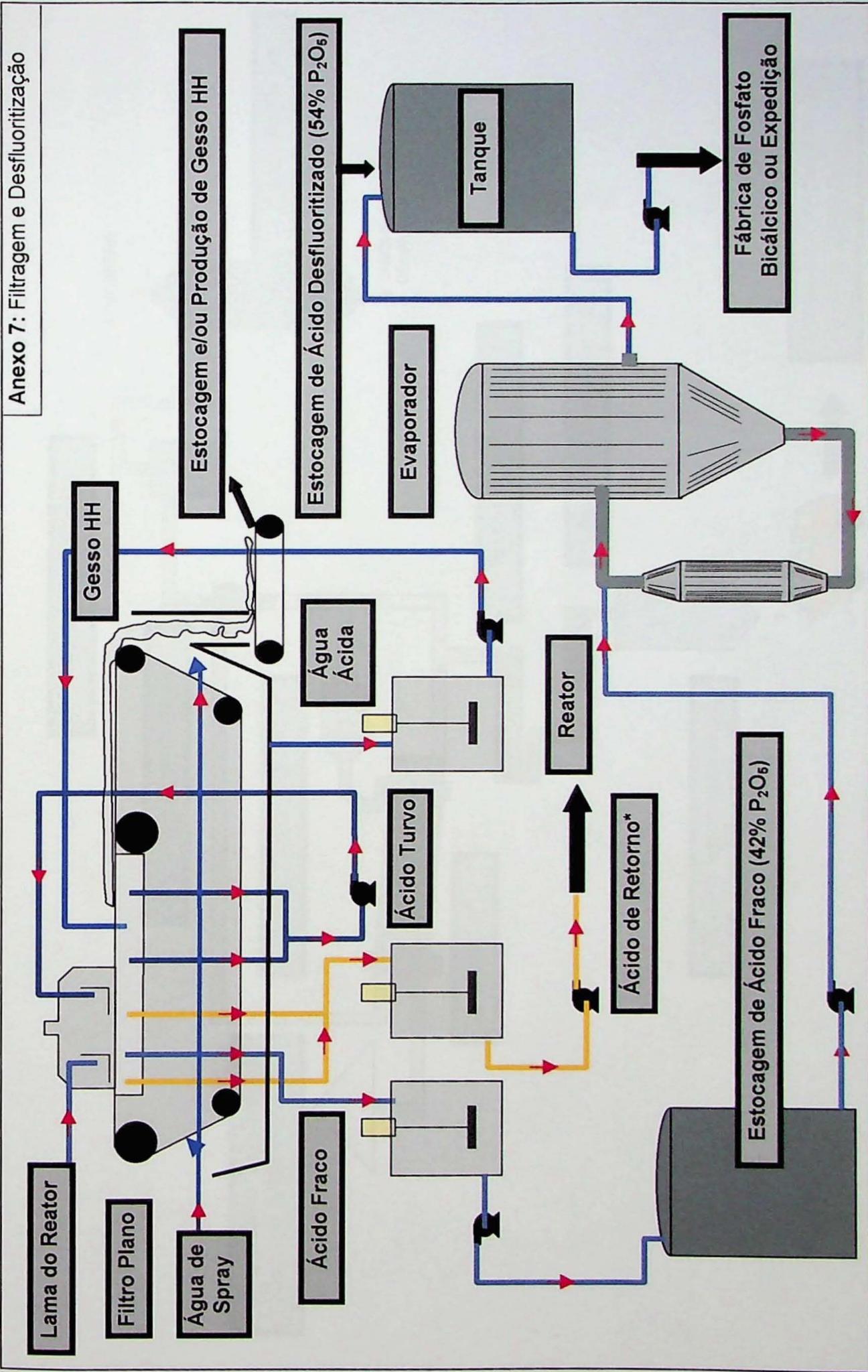
**Pátio de Estocagem da
Unidade de Ácido Fosfórico**

Anexo 6: Produção Ácido Fosfórico

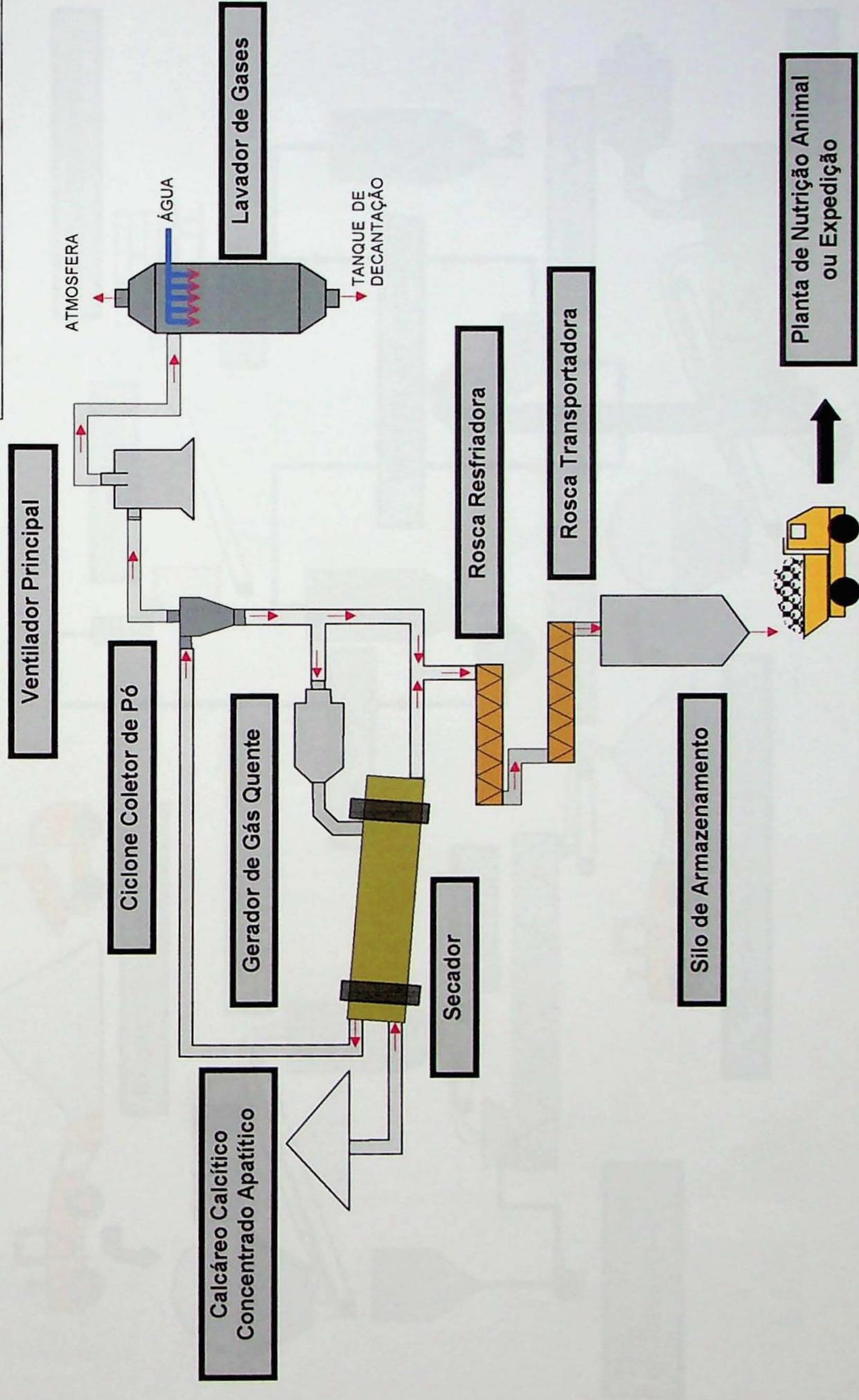
Flash Cooler



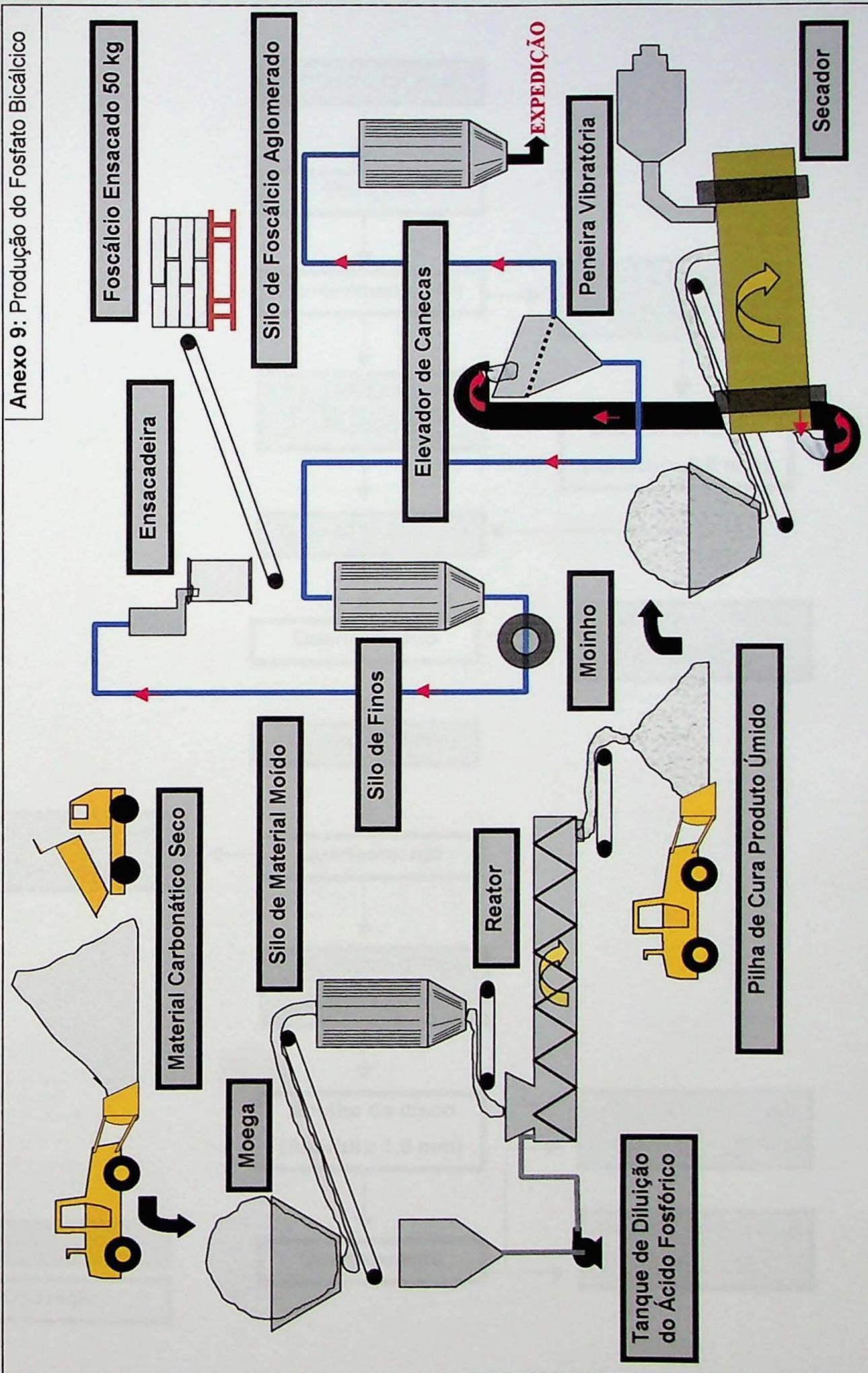
Anexo 7: Filtragem e Desfluoritização



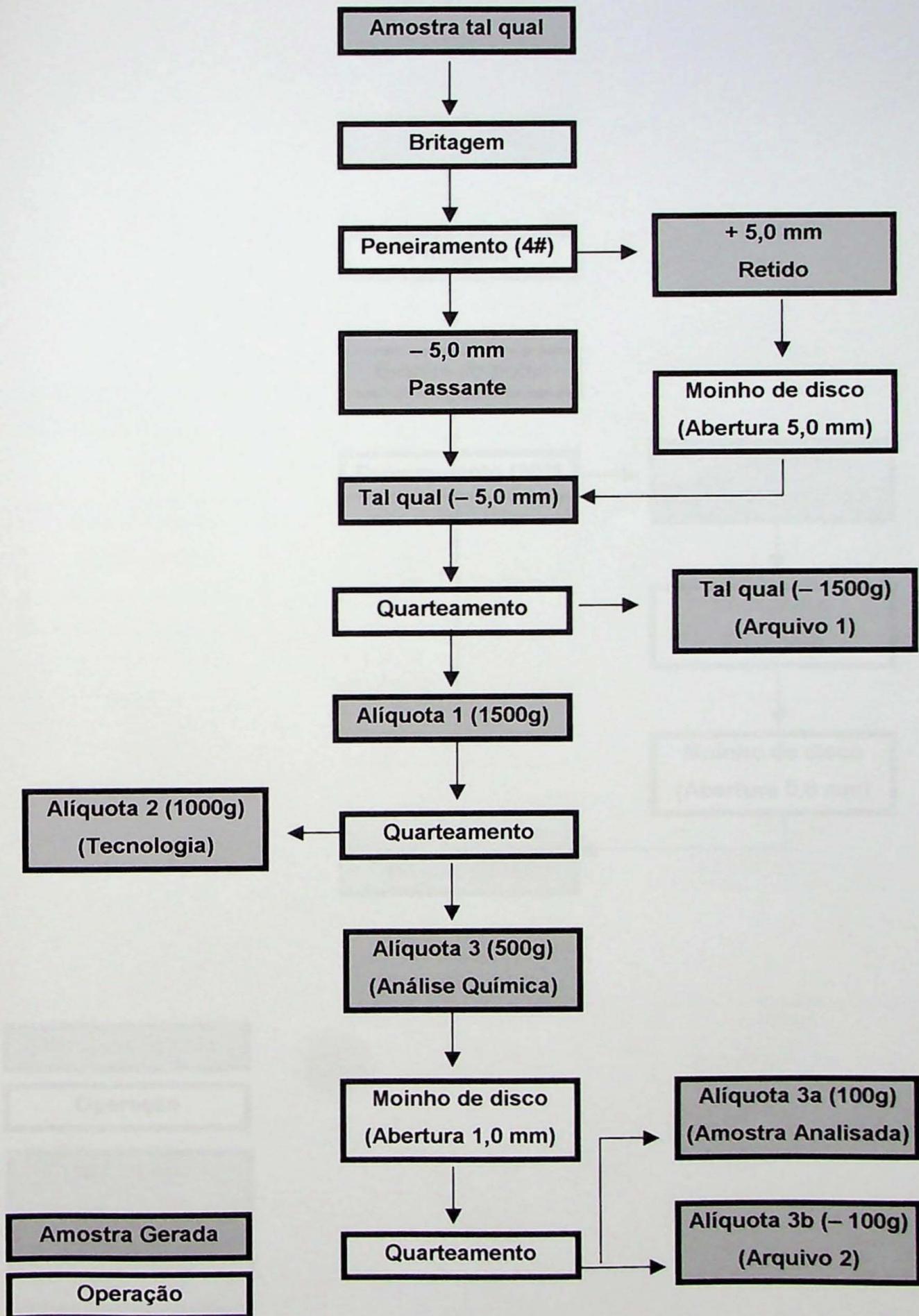
Anexo 8: Secagem



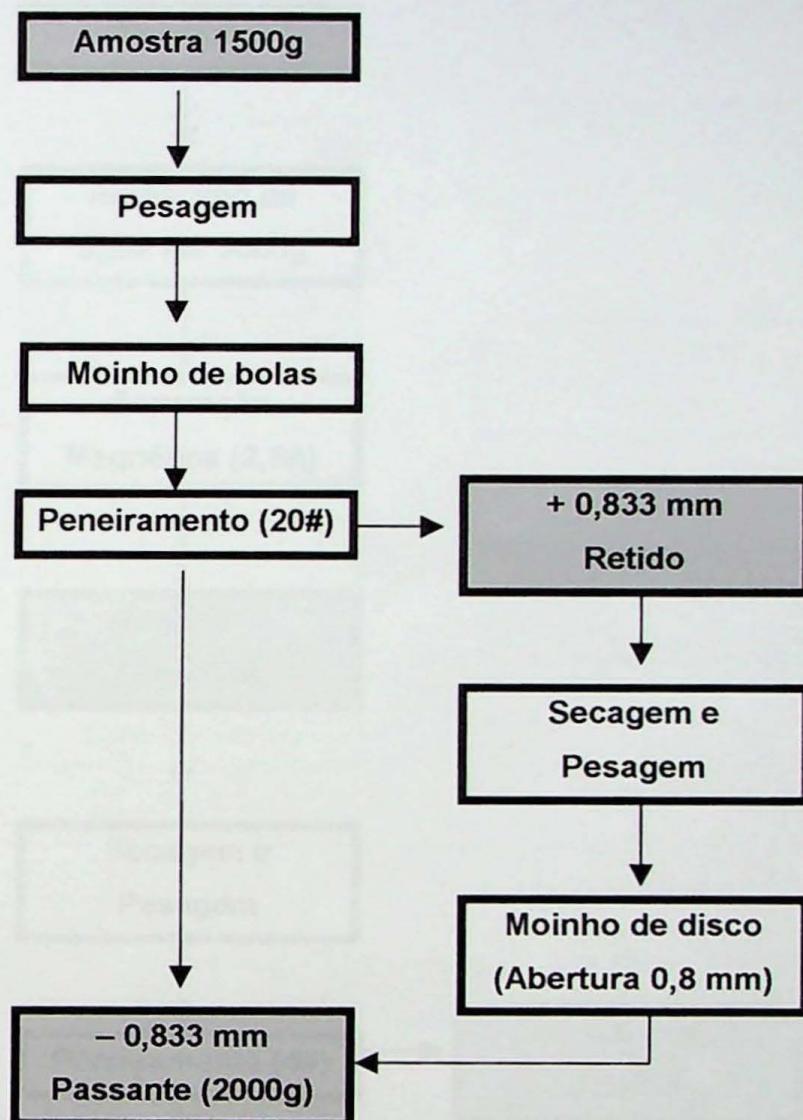
Anexo 9: Produção do Fosfato Bicálcico



Anexo 10: Fluxograma de preparação de amostras de testemunhos de sondagem



Anexo 11: Fluxograma do processo de moagem



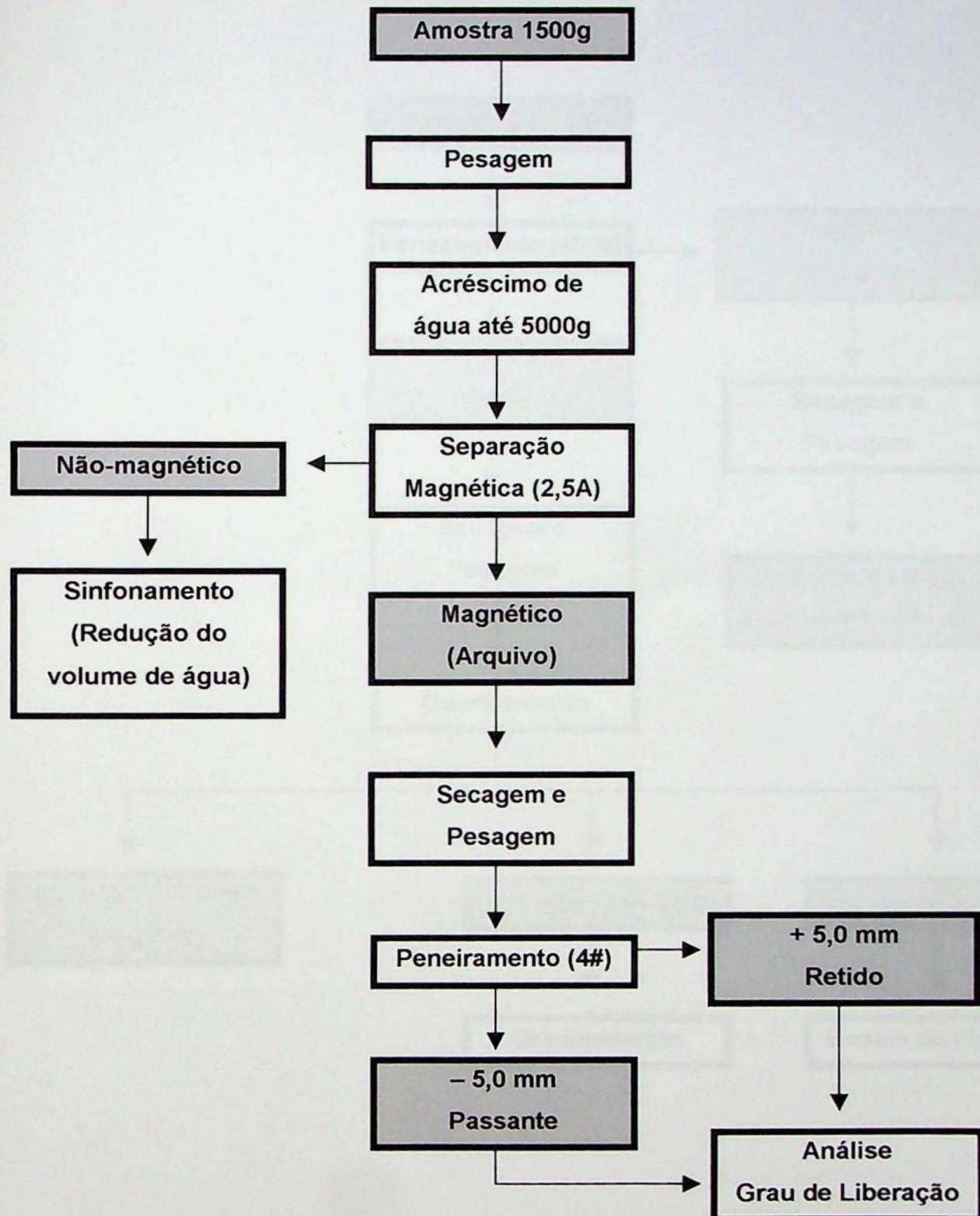
Amostra Gerada

Operação

Carga de bolas:

Grandes	01
Intermediárias	20
Pequenas	38

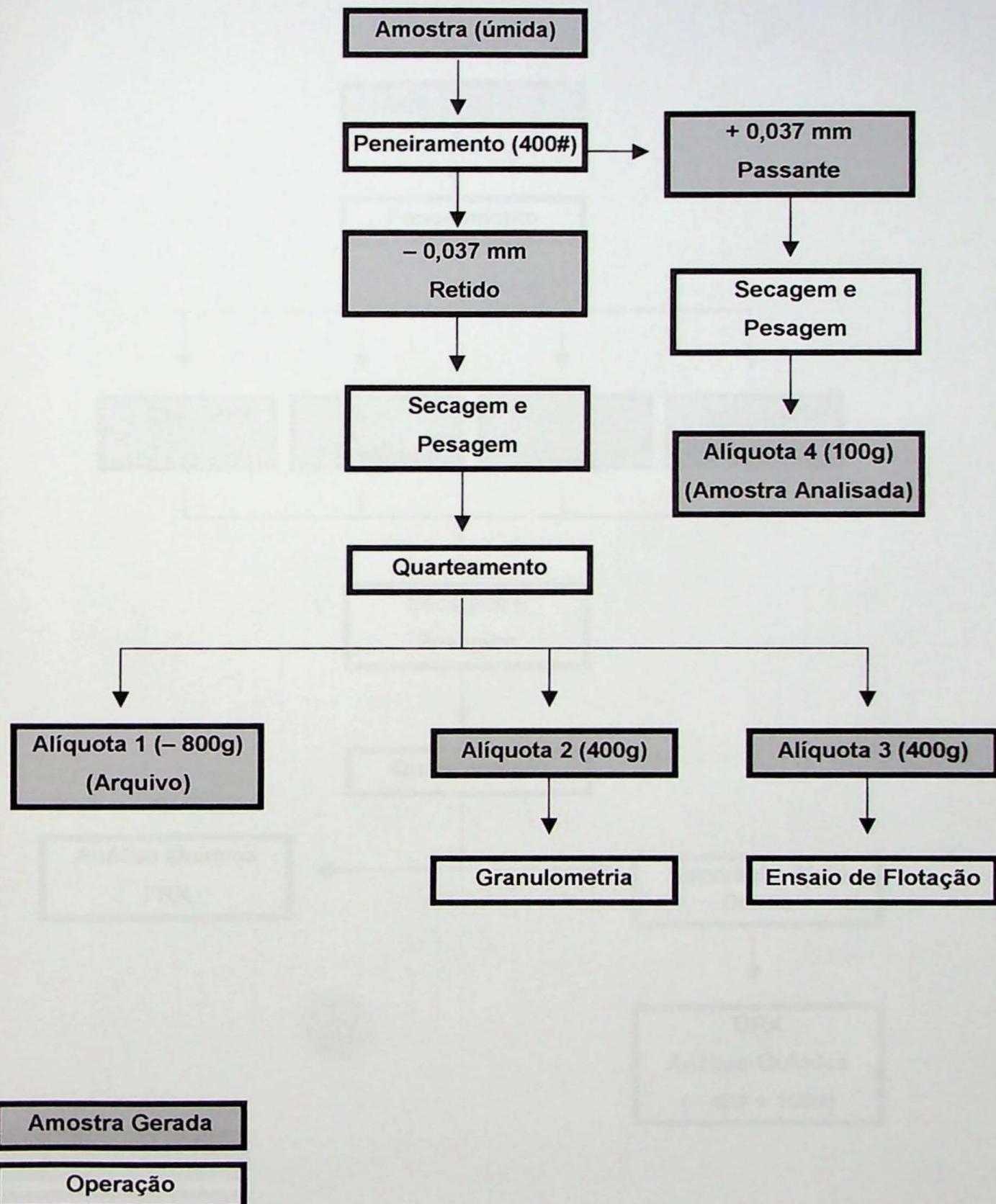
Anexo 12: Fluxograma do processo de desmagnetização



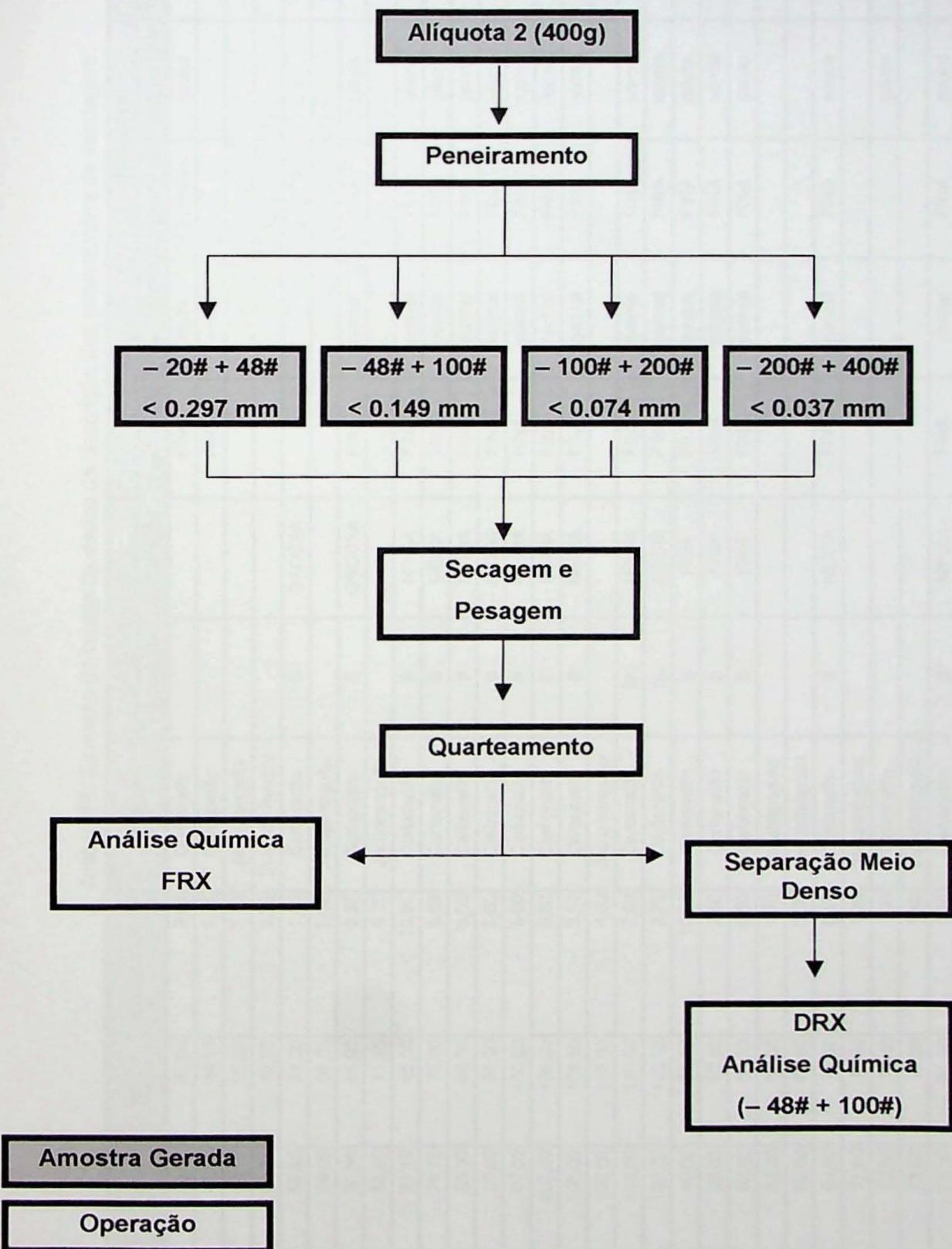
Amostra Gerada

Operação

Anexo 13: Fluxograma da operação de deslamagem



Anexo 14: Fluxograma da classificação granulométrica



Anexo 15: Exemplo de tabela de dados de descrição dos testemunhos de sondagem

Furo	De	Até	Comprimento	Litologia	Carbonatos		Apatita	Magnetita	Quantidade	Flogopita
					Coloração	Granulação				
SP 21	30,06	40,00	9,94	Carbonatito			FINA	muita	NORMAL	pouca
SP 21	40,00	49,15	9,15	Carbonatito			FINA	muita		
SP 21	49,15	52,25	3,10	Jacupiranguito						
SP 21	52,25	52,55	0,30	Zona de Reação						
SP 21	52,55	54,00	1,45	Carbonatito	B	GROSSA				
SP 21	54,00	59,55	5,55	Jacupiranguito						
SP 21	59,55	65,90	6,35	Carbonatito	B	GROSSA	FINA	normal	FINA	POUCA
SP 21	65,90	71,15	5,25	Jacupiranguito						
SP 21	71,15	85,00	13,85	Carbonatito	B	MEDIA	FINA	normal	FINA	NORMAL
SP 21	71,15	75,00	3,85	Carbonatito	B	MEDIA	FINA	normal	FINA	NORMAL
SP 21	85,00	90,00	5,00	Carbonatito	B	MEDIA	FINA	normal	FINA	NORMAL
SP 21	90,00	95,00	5,00	Carbonatito	B	MEDIA	FINA	normal	FINA	NORMAL
SP 21	95,00	100,00	5,00	Carbonatito	B	MEDIA	FINA	normal	FINA	NORMAL
SP 21	100,00	105,00	5,00	Carbonatito	B	MEDIA	FINA	normal	FINA	NORMAL
SP 21	105,00	108,50	3,50	Carbonatito	B	MEDIA	FINA	normal	FINA	NORMAL
SP 21	108,50	113,00	4,50	Jacupiranguito						
SP 21	113,00	120,00	7,00	Carbonatito	BC	MEDIA	FINA	normal	FINA	NORMAL
SP 21	120,00	122,75	2,75	Carbonatito	BC	MEDIA	FINA	normal	FINA	NORMAL
SP 22	40,00	50,00	10,00	Carbonatito	B	FINA	FINA	normal	FINA	POUCA
SP 22	50,00	52,50	2,50	Carbonatito	B	FINA	FINA	normal	FINA	NORMAL
SP 22	52,50	58,30	5,80	Carbonatito	B	FINA	FINA	normal	FINA	POUCA
SP 22	58,30	60,00	1,70	Jacupiranguito						
SP 22	60,00	63,50	3,50	Jacupiranguito						
SP 22	63,50	71,60	8,10	Carbonatito	B	MEDIA	FINA	normal	FINA	MUITA
SP 22	71,60	72,80	1,20	Jacupiranguito						
SP 22	72,80	73,80	1,00	Carbonatito						
SP 22	73,80	77,20	3,40	Jacupiranguito						
SP 22	77,20	81,30	4,10	Carbonatito	B	MEDIA	FINA	normal	FINA	NORMAL
SP 22	81,30	83,70	2,40	Jacupiranguito						
SP 22	83,70	90,00	6,30	Carbonatito						
SP 22	90,00	107,00	17,00	Carbonatito	B	MEDIA	FINA	normal	FINA	NORMAL
SP 22	107,00	111,00	4,00	Jacupiranguito						
SP 22	111,00	113,20	2,20	Carbonatito	B					

Anexo 16: Exemplo de tabela de dados de análises químicas

Furo	De	Alé	Comprimento	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	SrO	S	MnO	PF
SP42	4,20	6,25	2,05	27,1	14,8	7,49	2,55	6,96	3,31	1,00	0,45		0,27		36,9
SP42	6,25	8,10	1,85	22,9	16,8	15,3	2,86	9,38	0,29	2,39	1,86	0,36	0,14	0,26	28,2
SP42	8,10	10,00	1,90	31,1	20,9		0,42	1,69	0,96		0,58		0,26	43,2	
SP42	10,00	10,90	0,90	24,0	20,2	7,27	1,82	6,71	0,31	1,56	0,84	0,45		0,34	37,5
SP42	10,90	13,90	3,00	20,0	12,3	38,8	4,86	18,0	0,11	0,18	3,80		0,17	1,60	
SP42	13,90	15,35	1,45	28,6	19,5	4,38	1,24	4,22		3,26	0,63	0,51		0,23	38,0
SP42	15,35	17,95	2,60	23,2	17,7	9,70	2,14	9,54		3,91	1,15	0,43		0,31	32,3
SP42	17,95	20,00	2,05	19,4	17,4	13,4	2,89	12,8	0,13	3,43	1,31	0,38		0,26	29,0
SP42	20,00	22,80	2,80	32,3	18,0	2,48	0,71	2,52		4,20		0,58		0,23	37,1
SP42	22,80	23,70	0,90	20,7	16,9	15,6	2,99	10,9	0,18	2,38	1,58	0,37		0,26	28,4
SP42	23,70	24,90	1,20	20,7	12,9	40,8	5,03	13,6	0,17	0,38	3,03			0,15	2,78
SP42	24,90	26,00	1,10	18,7	16,4	20,3	3,23	11,7	0,16	1,93	1,64	0,27		0,22	26,5
SP42	26,00	28,27	2,27	18,8	12,2	36,4	4,92	16,8	0,13	0,70	3,36			0,20	6,72
SP42	28,27	30,00	1,73	29,1	17,1	4,79	1,24	6,69		3,74	0,42	0,45		0,21	35,7
SP42	30,00	31,75	1,75	26,3	15,5	12,1	2,43	6,51	0,11	5,82	0,69	0,48		0,21	30,0
SP42	31,75	34,30	2,55	20,1	12,1	39,9	5,63	15,5	0,41	0,31	3,69			0,16	1,85
SP42	34,30	37,00	2,70	33,3	18,5		0,51	2,26		5,39		0,55		0,21	36,9
SP42	37,00	40,00	3,00	33,2	18,2		0,46	2,80		5,69		0,55		0,20	37,3
SP42	40,00	41,30	1,30	25,0	17,4	9,64	2,02	6,12		3,61	0,53	0,48		0,23	35,6
SP42	41,30	42,30	1,00	22,0	14,4	20,2	3,87	9,98	0,17	3,15	1,70	0,26		0,19	22,8
SP42	42,30	45,00	2,70	31,8	19,3		0,54	1,32		3,54		0,48		0,22	40,3
SP42	45,00	50,00	5,00	31,2	20,2		0,49	2,12		1,99		0,52		0,23	41,1
SP42	50,00	55,00	5,00	31,3	20,4		0,47	1,35		1,29		0,5		0,26	43,6
SP42	55,00	57,15	2,15	32,5	19,2		0,52	1,26		3,84		0,55		0,22	40,1
SP42	57,15	60,00	2,85	30,6	20,7		0,58	1,50		0,75		0,49		0,24	44,0
SP42	60,00	65,00	5,00	30,9	20,2	0,21	0,62	1,10	0,13	2,23		0,53		0,21	41,3
SP42	65,00	66,70	1,70	30,5	18,4	1,10	0,92	3,36	0,29	4,99	0,15	0,51	0,11	0,20	36,6
SP42	66,70	70,00	3,30	27,2	20,3	8,46	1,80	3,13	1,44	5,36	0,43	0,51		0,20	32,3
SP42	70,00	71,05	1,05	25,1	20,1	10,7	2,56	3,21	2,27	6,07	0,36	0,43		0,17	28,4
SP42	71,05	75,00	3,95	31,3	19,1	2,24	1,13	1,43	0,53	5,55	0,10	0,54		0,19	36,2
SP42	75,00	78,02	3,02	21,6	12,7	43,7	4,77	12,6	0,27		2,74			0,15	1,08
SP42	78,02	80,07	2,05	21,5	20,8	14,0	2,69	5,60	3,02	4,69	1,23	0,37		0,19	25,4
SP42	80,07	81,95	1,88	32,9	18,2	1,09	0,75	1,25	0,32	6,53		0,58		0,19	35,1

Anexo 17: Ficha de descrição petrográfica amostra SP 43-01

DESCRÍÇÃO PETROGRÁFICA

SP 43-01

Resumo

Furo: SP 43 **Caixa:** 54 **Campanha:** 2003

Intervalo amostrado: 178,70 ~ 178,90 m

Cor: Branca **IC (M') = < 3%**

Grau de visibilidade: Fanerítica

Cristalinidade: Holocristalina

Tamanho relativo de cristais: Inequigranular

Granulação: Carbonatos de 0,5 ~ 2,0 mm

Relação geométrica dos cristais: Hipidiomórfica

Mineralogia principal: Dolomita (80%)

Minerais acessórios: Opacos (4%) Apatita (13%)

Flogopita (2%) Pirocloro (1%)

Síntese textural:

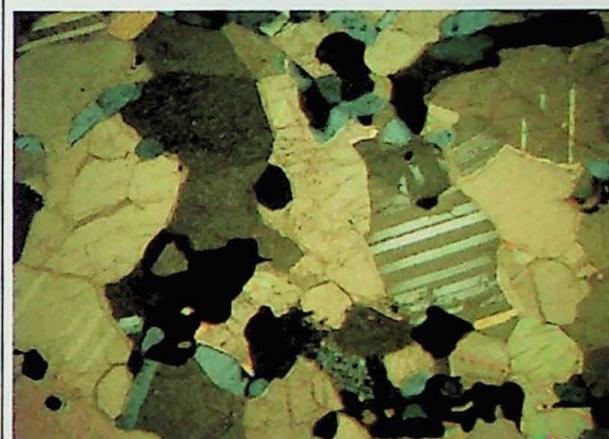
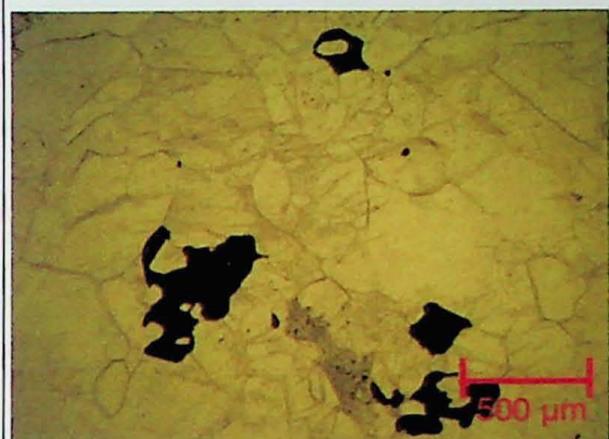
- A flogopita ocorre acastanhada euédrica com hábito pseudohexagonal, sugerindo um estágio de cristalização primária

- Apatita ocorre alongada, ora em uma foliação de fluxo local ora concentrada em bolsões sem orientação preferencial

- Tanto a apatita quanto os carbonatos parecem ter se cristalizado simultaneamente, desde estágios iniciais até mais tardios

- Opacos ocorrem envolvendo carbonatos e preenchendo interstícios, sugerindo que sejam posteriores a estes

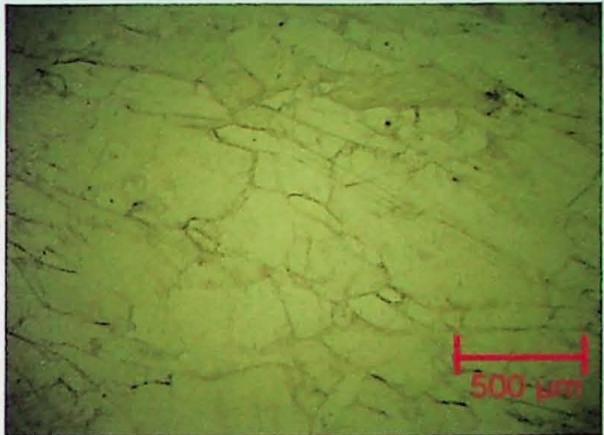
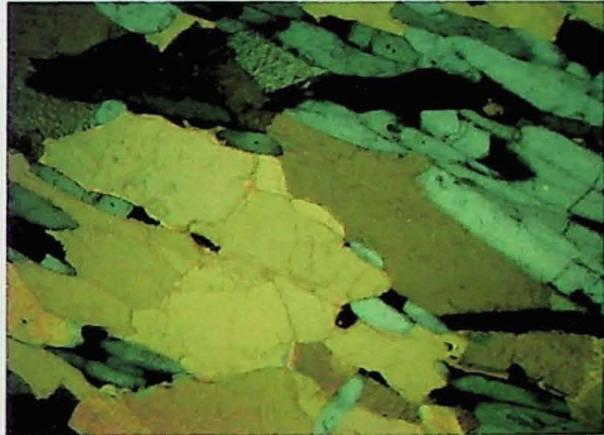
Fotos



Carbonatito com carbonatos (cores de interferência bege a cinza) geminados e opacos tanto envolvendo carbonatos quanto intersticiais a estes.

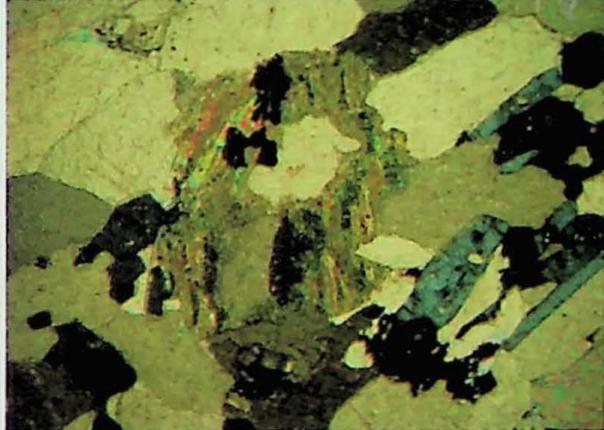
Anexo 18: Ficha de descrição petrográfica amostra SP 43–02

DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

SP 43–02	
Resumo	Fotos
Furo: SP 43 Caixa: 63 Campanha: 2003	
Intervalo amostrado: 296,03 ~ 296,11 m	
Cor: Branca IC (M') = 5 ~7%	
Grau de visibilidade: Fanerítica	
Cristalinidade: Holocristalina	
Tamanho relativo de cristais: Inequigranular	
Granulação: Carbonatos de 0,05 ~ 0,8 mm	
Relação geométrica dos cristais: Hipidiomórfica	
Mineralogia principal: Dolomita (70%)	
Minerais acessórios: Opacos (6%) Apatita (10%) Flogopita (12%) Pirocloro (2%)	
Síntese textural:	Carbonatito com carbonatos (cor de inerferência bege) e apatita (cor de inerferência cinza) em foliação de fluxo magmático.
- Flogopita e apatita euédricas, indicando que provavelmente os cristais destas fases minerais foram os primeiros a se desenvolver	
- Apatita ocorre alongada e juntamente com os carbonatos desenvolve um bandamento de fluxo magmático	
- Tanto a apatita quanto os carbonatos parecem ter se cristalizado simultaneamente, desde estágios iniciais até mais tardios	
- Opacos ocorrem englobando carbonatos e preenchendo interstícios, provavelmente tardios	

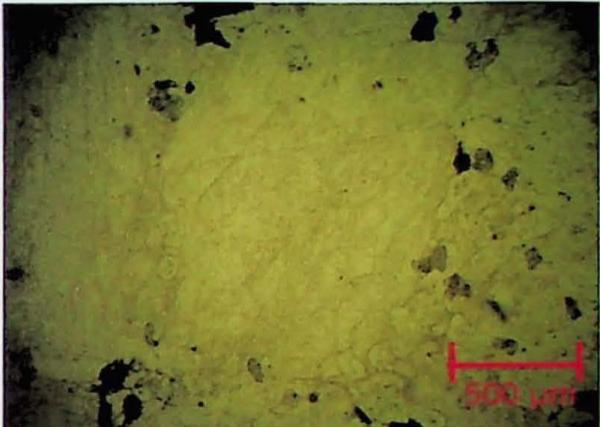
Anexo 19: Ficha de descrição petrográfica amostra SP 45–01

DESCRÍÇÃO PETROGRÁFICA

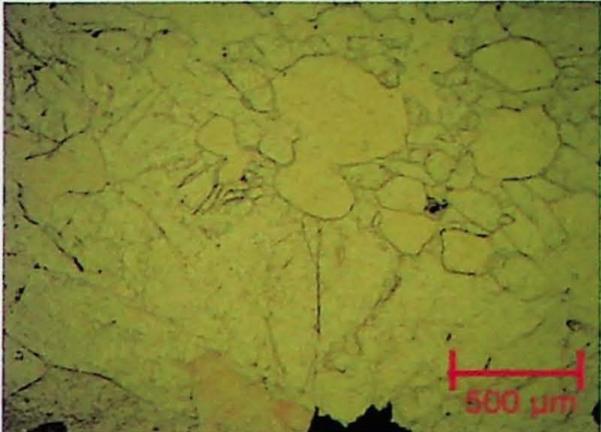
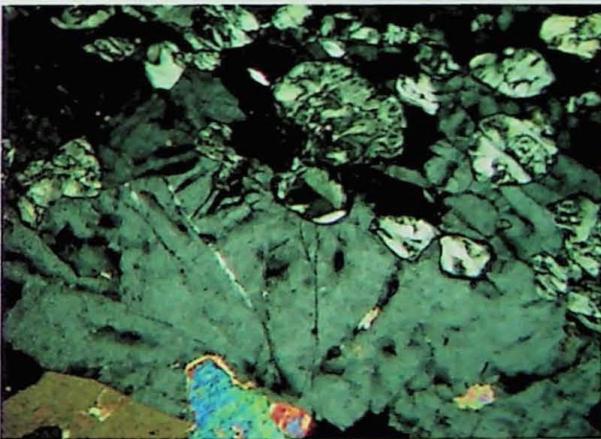
SP 45–01	
Resumo	Fotos
Furo: SP 45 Caixa: 120 Campanha: 2003	
Intervalo amostrado: 442,95 ~ 443,08 m	
Cor: Branca IC (M') = 2%	
Grau de visibilidade: Fanerítica	
Cristalinidade: Holocristalina	
Tamanho relativo de cristais: Inequigranular	
Granulação: Carbonatos de 0,05 mm	
Relação geométrica dos cristais: Hipidiomórfica	
Mineralogia principal: Dolomita (75%)	
Minerais acessórios: Opacos (8%) Apatita (12%) Flogopita (5%) Outros (<1%)	
Síntese textural:	Carbonatito com flogopita corroída em reação com carbonatos (cor de inerferência bege) e com opacos associados, em meio a massa de carbonatos e apatita (cor de inerferência cinza) em foliação de fluxo magmático.
- Flogopita ocorre desde marrom-alaranjada até esverdeada com carbonatos e opacos inclusos, apresenta feições que sugerem uma reação pós-magmática de carbonatização, gerando um material agregado na forma de manchas verde claro	
- Opacos às vezes ocorrem quase totalmente corroídos sugerindo estágios posteriores de cristalização em relação aos carbonatos e apatita	
- Apatita ocorre em fase simultânea de cristalização com a dolomita em textura de foliação de fluxo magmático	

Anexo 20: Ficha de descrição petrográfica amostra SP 46–01

DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

SP 46–01	
Resumo	Fotos
Furo: SP 46 Caixa: 60 Campanha: 2003	
Intervalo amostrado: 216,12 ~ 216,27 m	
Cor: Branca a cinza IC (M') = < 1%	
Grau de visibilidade: Fanerítica	
Cristalinidade: Holocristalina	
Tamanho relativo de cristais: Inequigranular	
Granulação: Carbonatos com até 3 mm	
Relação geométrica dos cristais: Hipidiomórfica	
Mineralogia principal: Calcita e Dolomita (87%)	
Minerais acessórios: Opacos (4%) Apatita (7%) Quartzo (1%) Outros (<1%)	
Síntese textural:	Brecha carbonática com calcita bordejada por apatita (cor de interferência cinza) e opacos em matriz carbonática de dolomita (cor de interferência bege)
- Concentração de quartzo microcristalino preenchendo cavidades e apatita muito fina, ambos provavelmente de estágios pós-magmáticos	
- Carbonatos ocorrem com extinção ondulante mostrando uma deformação marcante na geração deste material brechado	
- Apatita muito mais fina que carbonatos e bordejando estes, mostrando um rearranjo dos cristais devido à brechação magmática	

Anexo 21: Ficha de descrição petrográfica amostra SP 50–01

DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA	
SP 50–01	
Resumo	Fotos
Furo: SP 50 Caixa: 102 Campanha: 2003	
Intervalo amostrado: 380,20 ~ 380,35 m	
Cor: Preta esverdeada IC (M') = < 1%	
Grau de visibilidade: Fanerítica	
Cristalinidade: Holocristalina	
Tamanho relativo de cristais: Inequigranular	
Granulação: Carbonatos com até 3 mm	
Relação geométrica dos cristais: Hipidiomórfica	
Mineralogia principal: Dolomita (48%)	
Minerais acessórios: Opacos (16%) Apatita (14%) Pseudomorfos de Olivina (9%) Anfibólitos (7%) Serpentina (6%)	
Síntese textural:	Zona de reação com manchas esverdeadas de reação entre carbonatos e flogopita (porção sul da foto) e pseudomorfos de olivina incolor (porção norte da foto)
- Flogopita em pequenos grãos com bordas e manchas verde claro de material agregado sem extinção; produto de reação com os carbonatos	
- Pseudomorfos de olivina incolor serpentinizados e também anfibólitos com aspecto fibroso destacando relação de reação gerando serpentina	
- Bandas de dolomita associada com apatita em granulação mais grossa que da zona de reação com textura similar à dos carbonatitos	

Anexo 22: Ficha de descrição petrográfica amostra SP 50-02

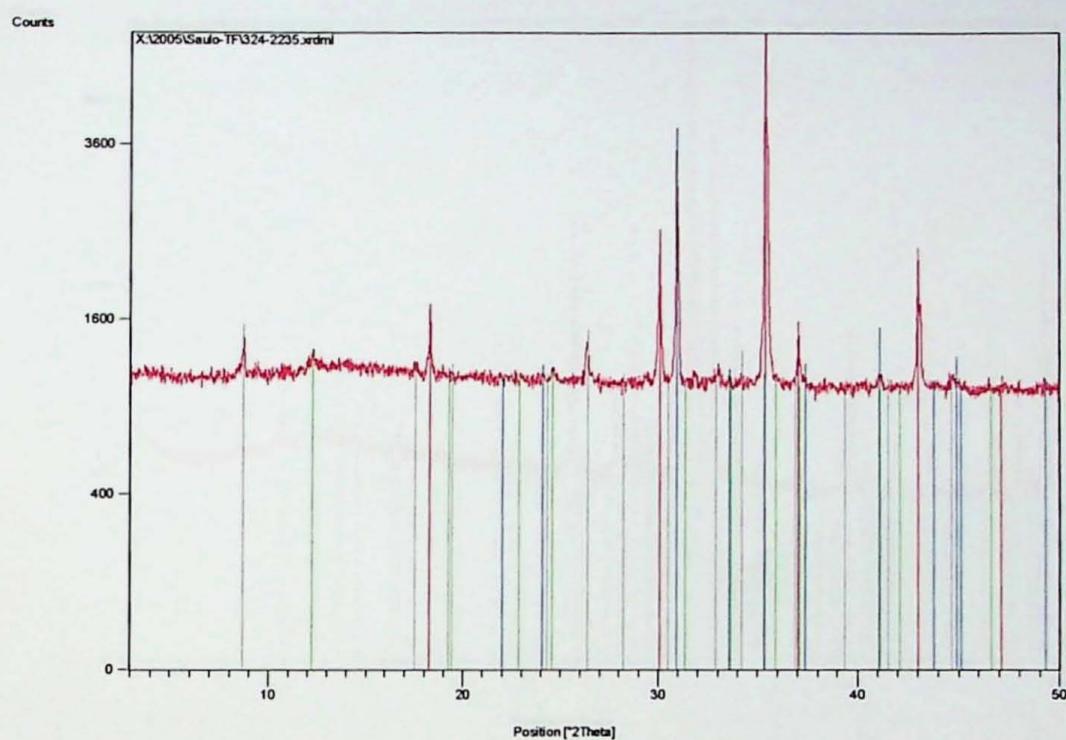
DESCRÍÇÃO PETROGRÁFICA

Anexo 23: Ficha de descrição petrográfica amostra JAC

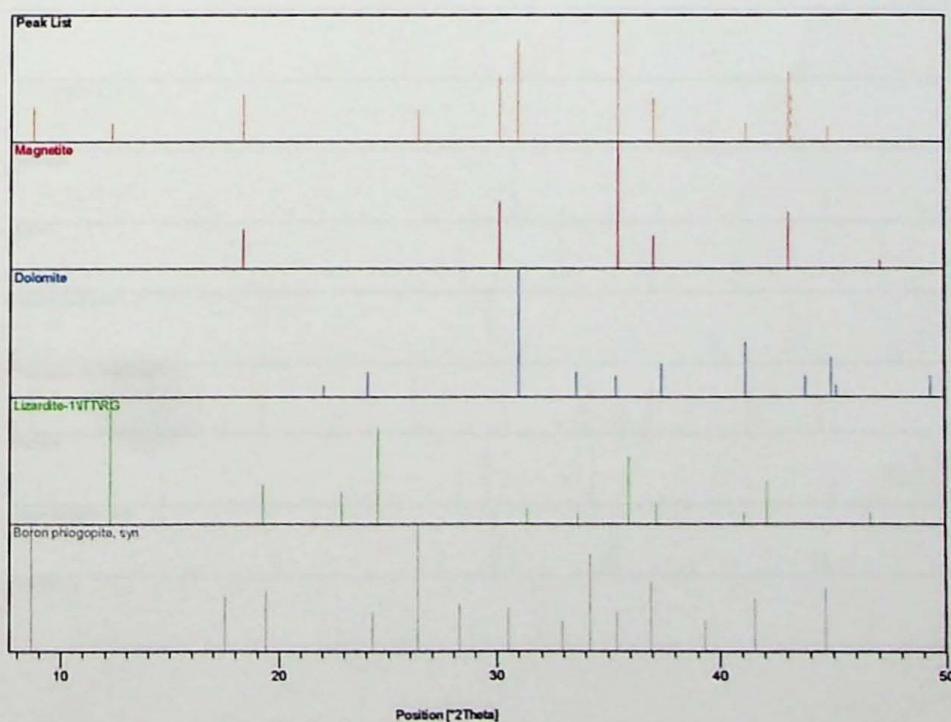
DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Anexo 24: Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP43-01 magnéticos

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

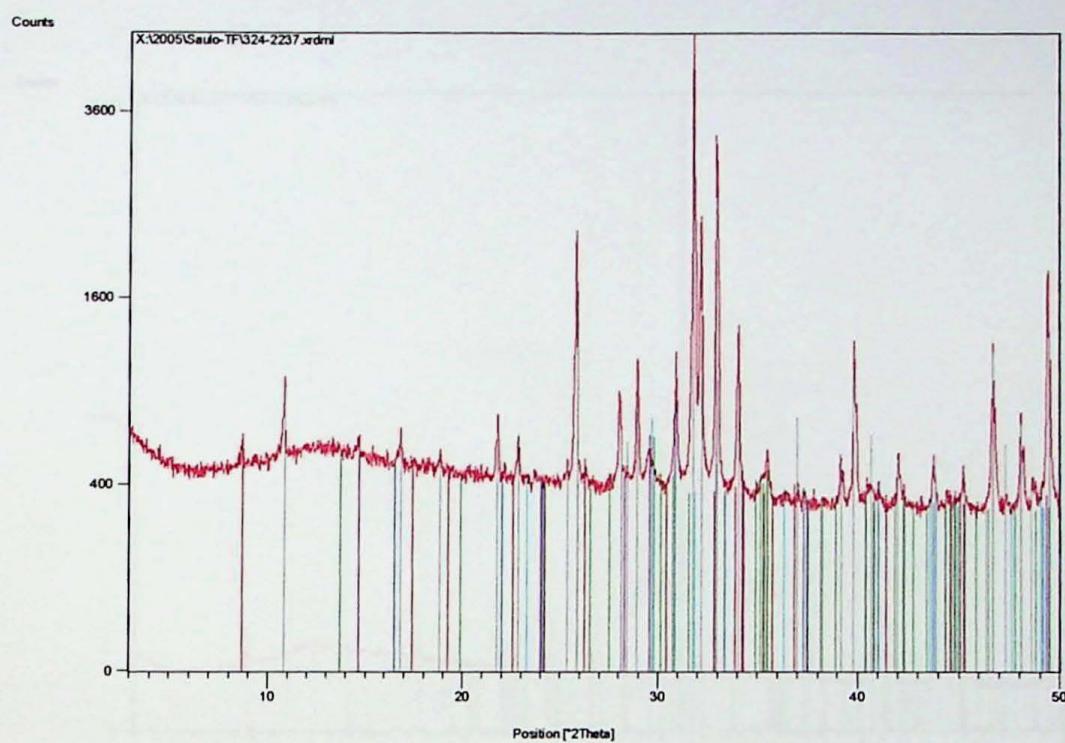


FASES IDENTIFICADAS

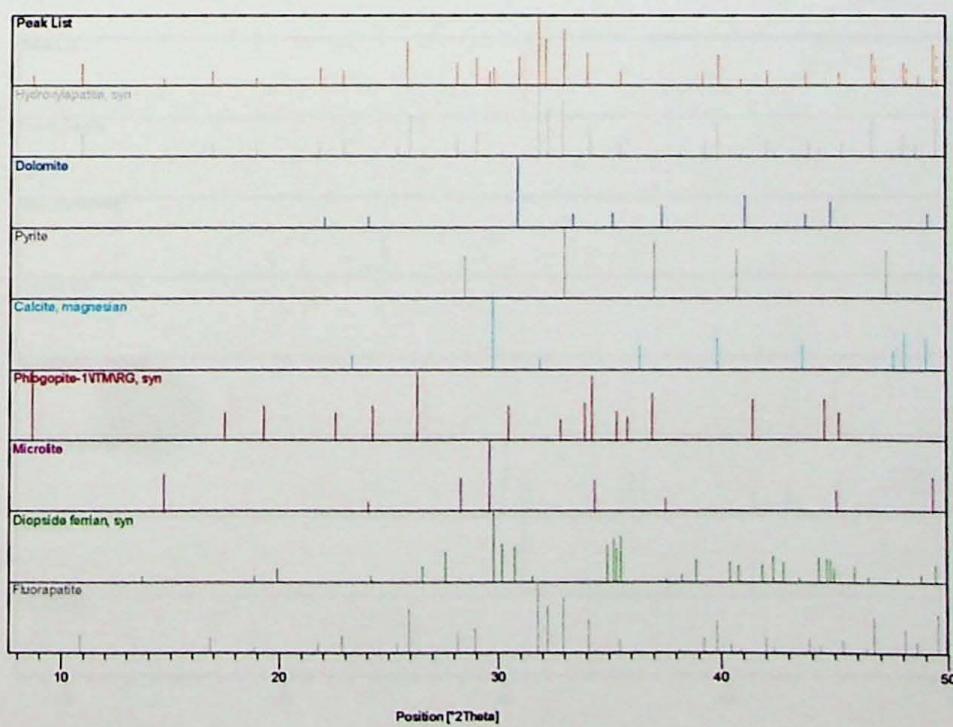


Anexo 25: Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP43-01 afundados

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

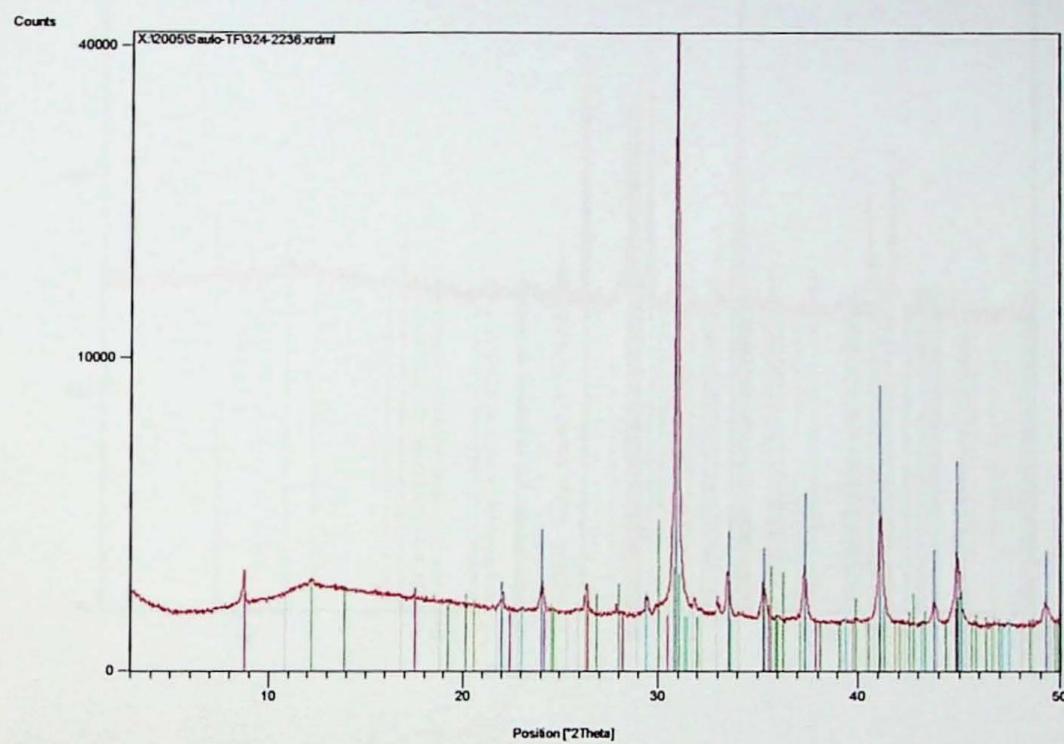


FASES IDENTIFICADAS

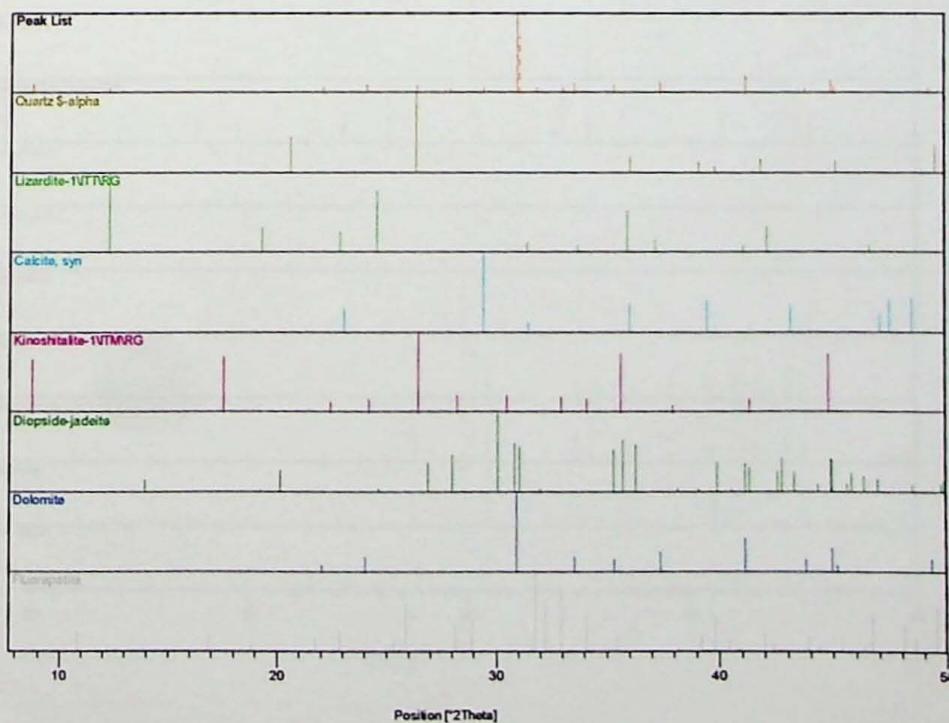


Anexo 26: Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP43-01 flutuados

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

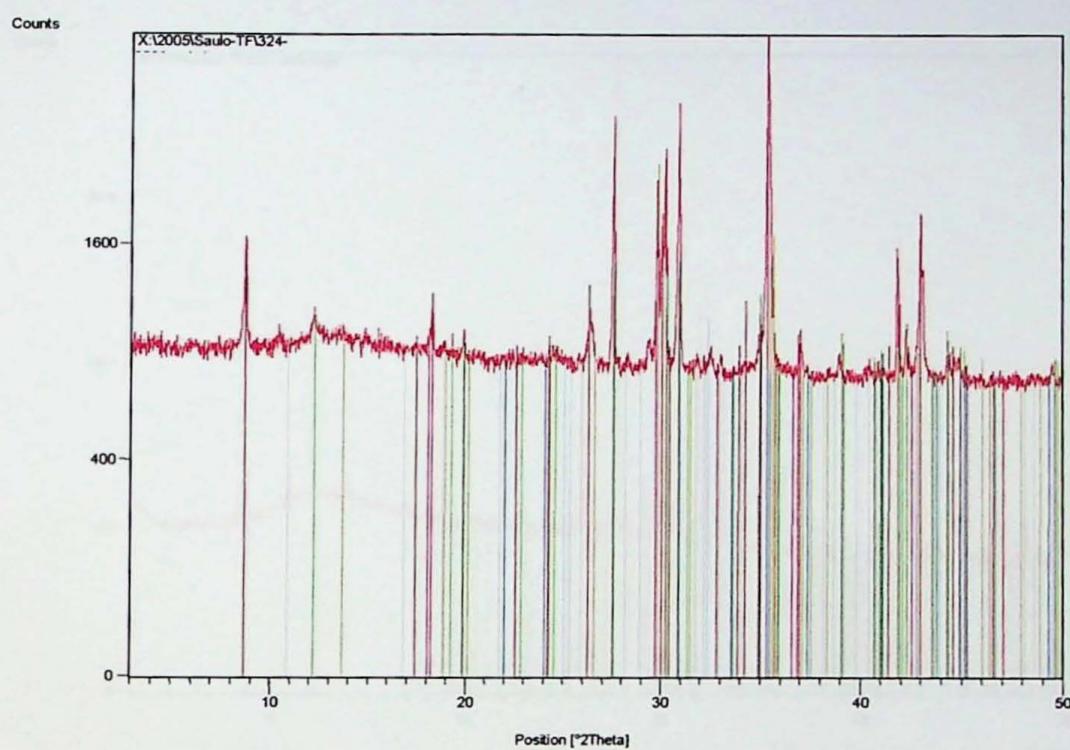


FASES IDENTIFICADAS

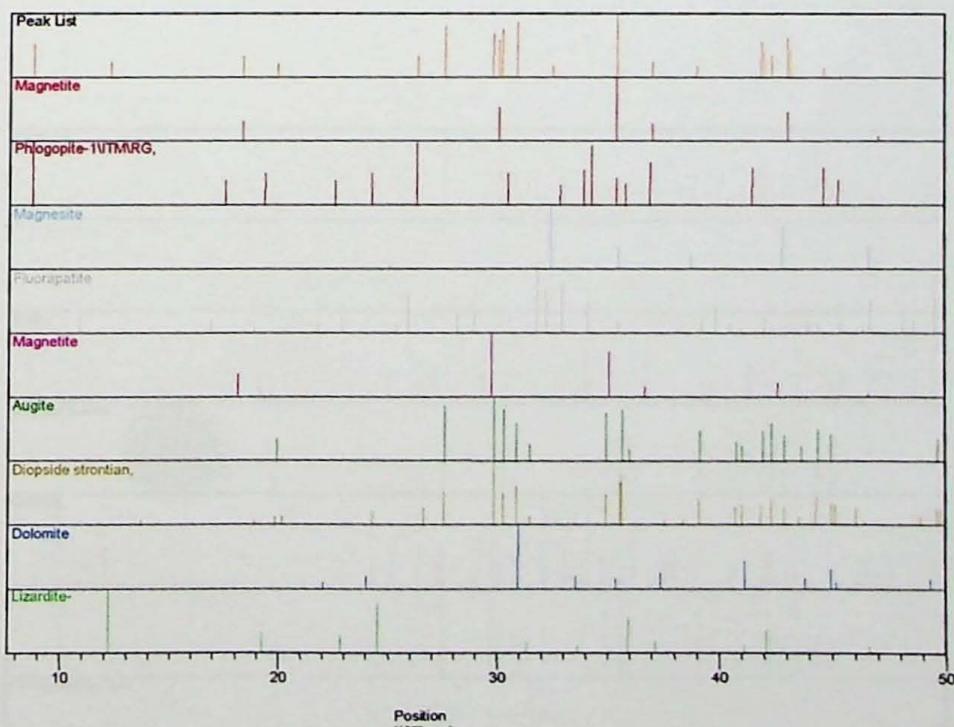


Anexo 27: Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP43-02 magnéticos

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

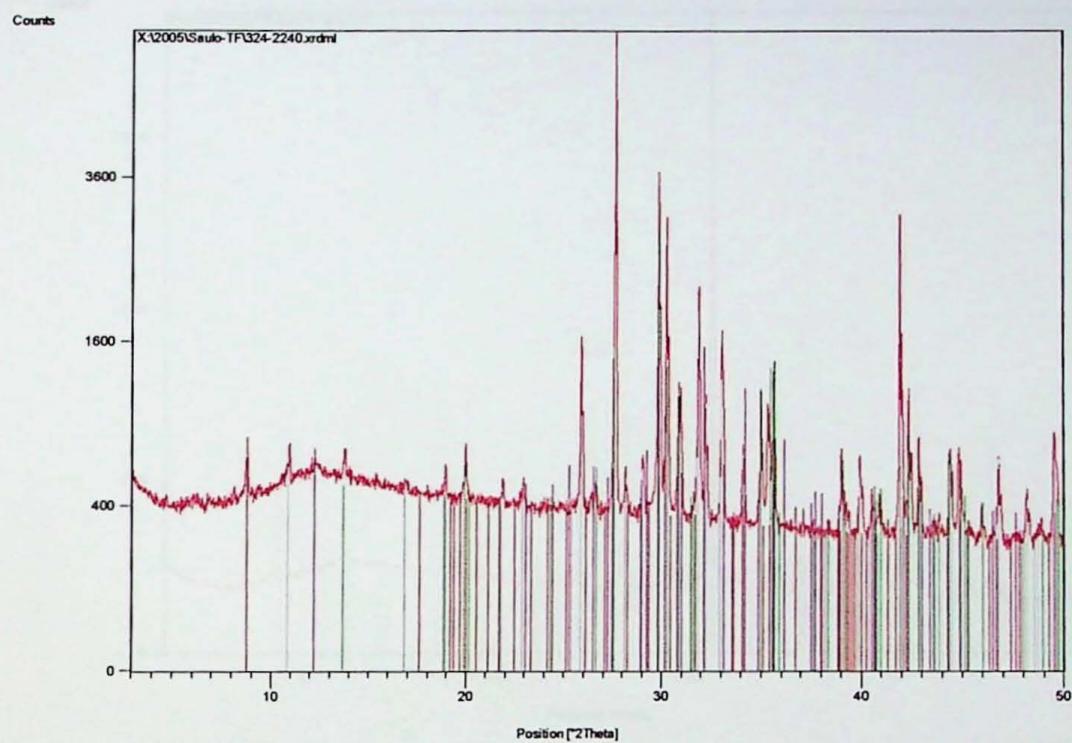


FASES IDENTIFICADAS

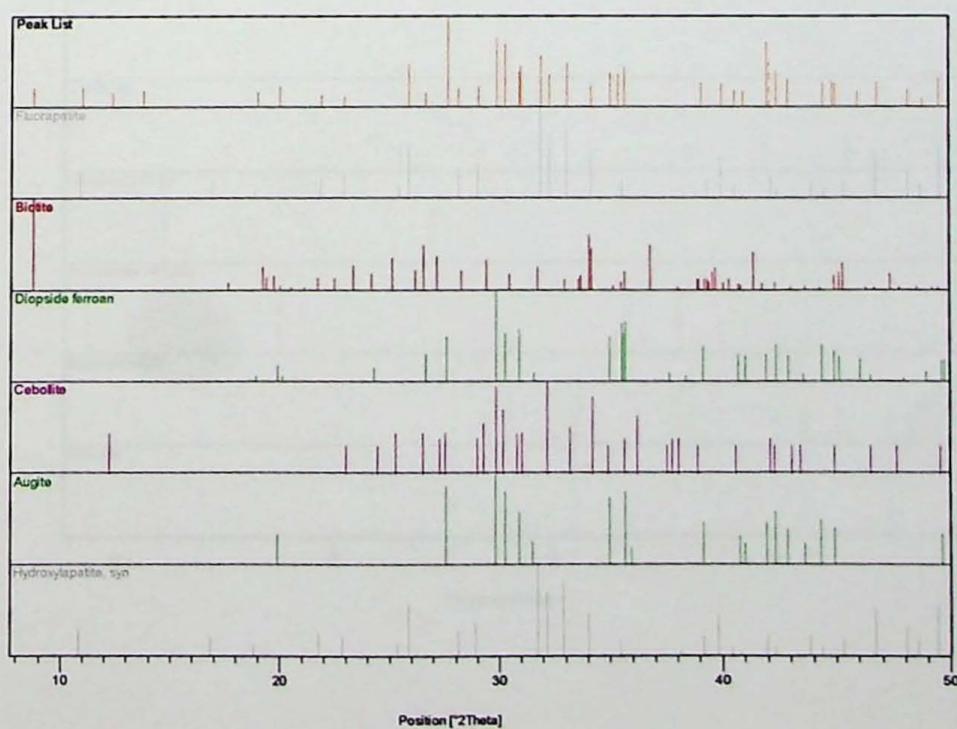


Anexo 28: Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP43-02 afundados

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

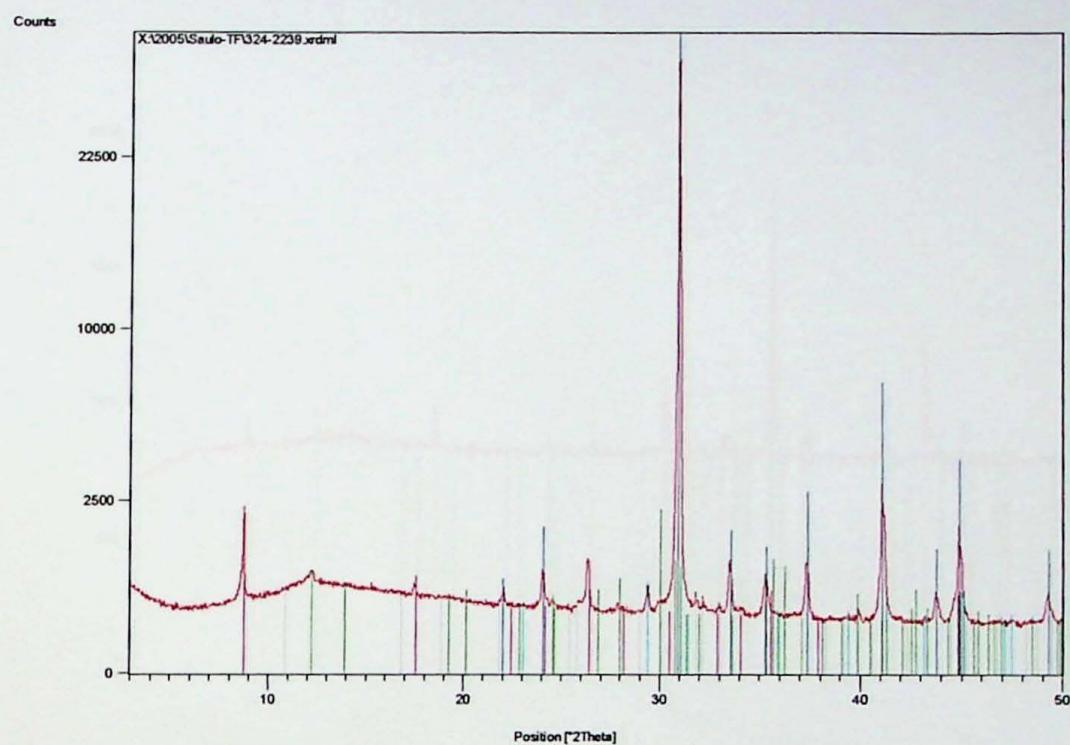


FASES IDENTIFICADAS

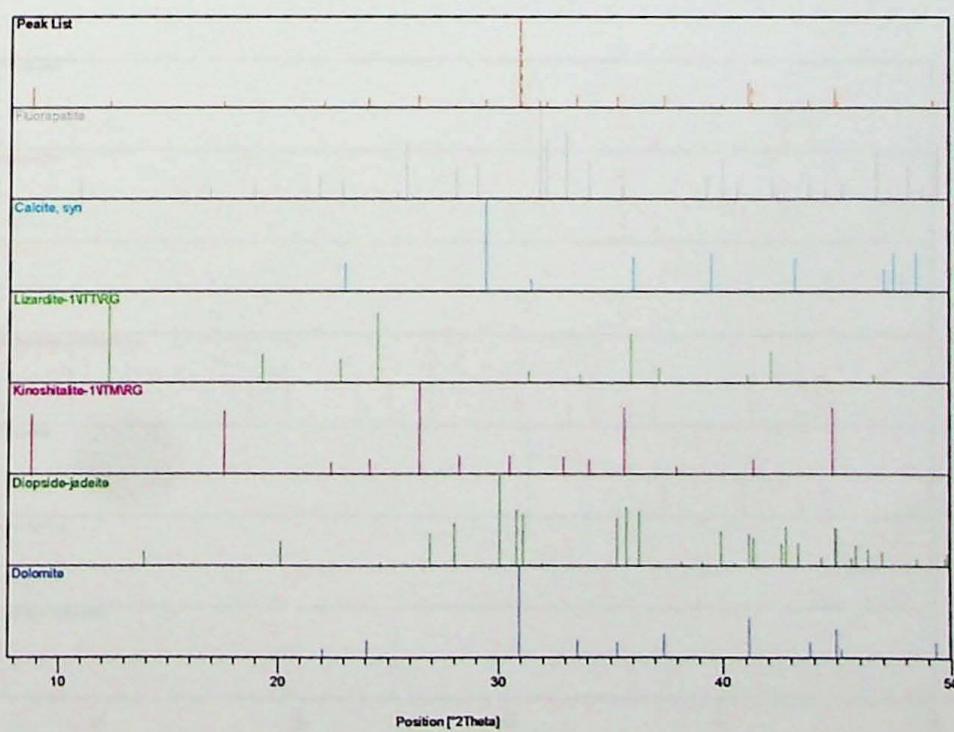


Anexo 29: Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP43-02 flutuados

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

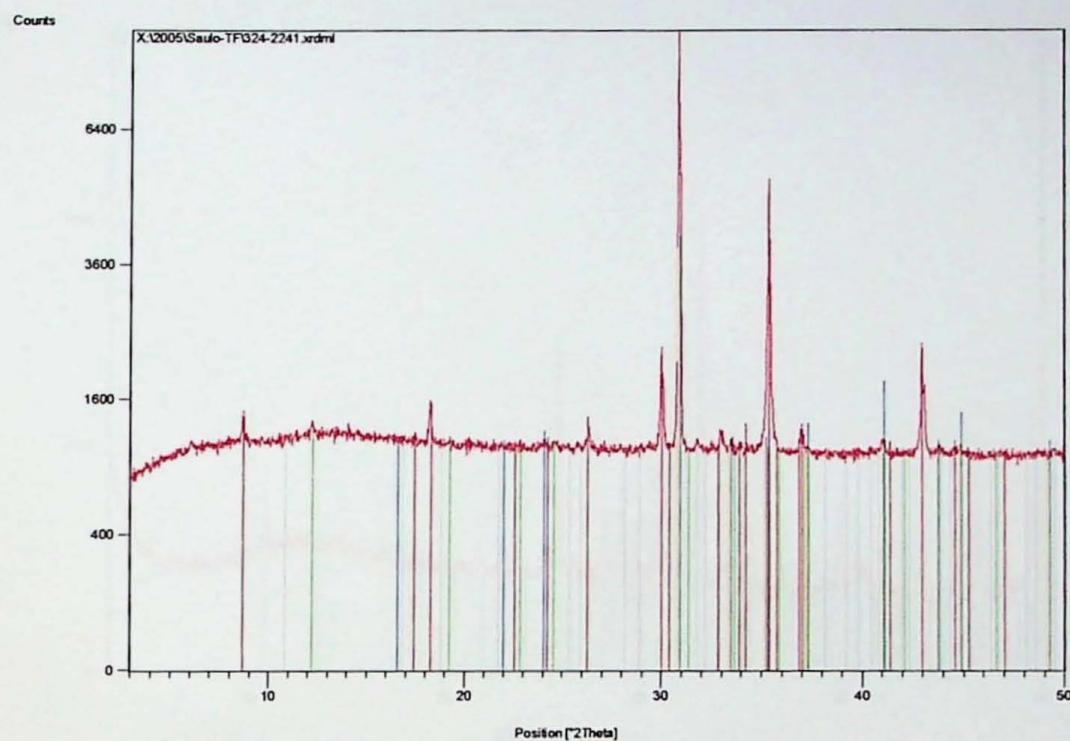


FASES IDENTIFICADAS

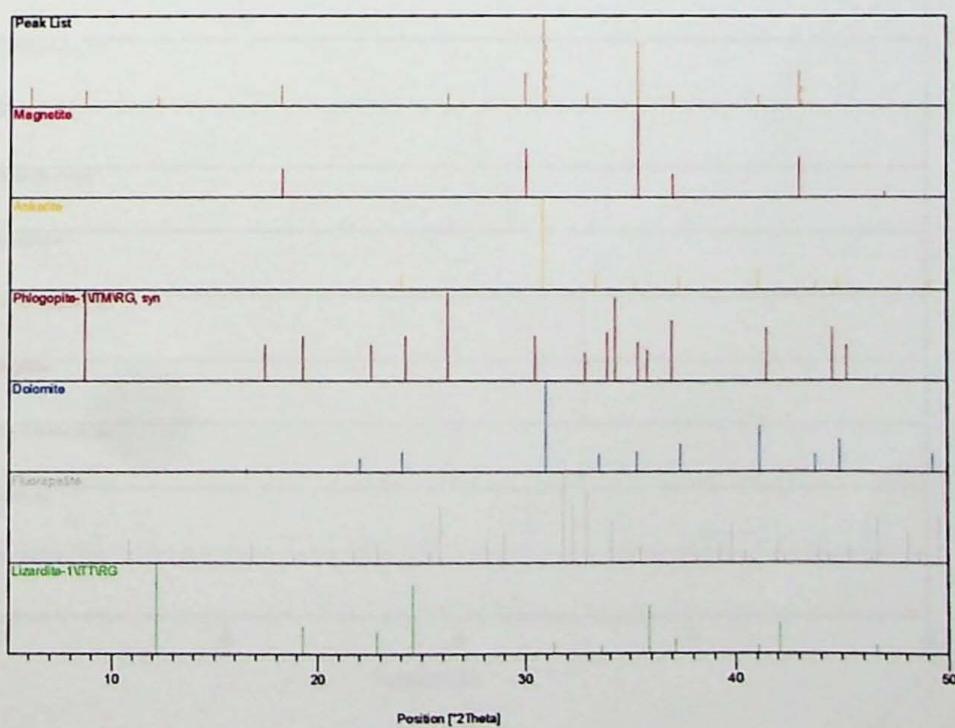


Anexo 30: Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP45-01 magnéticos

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

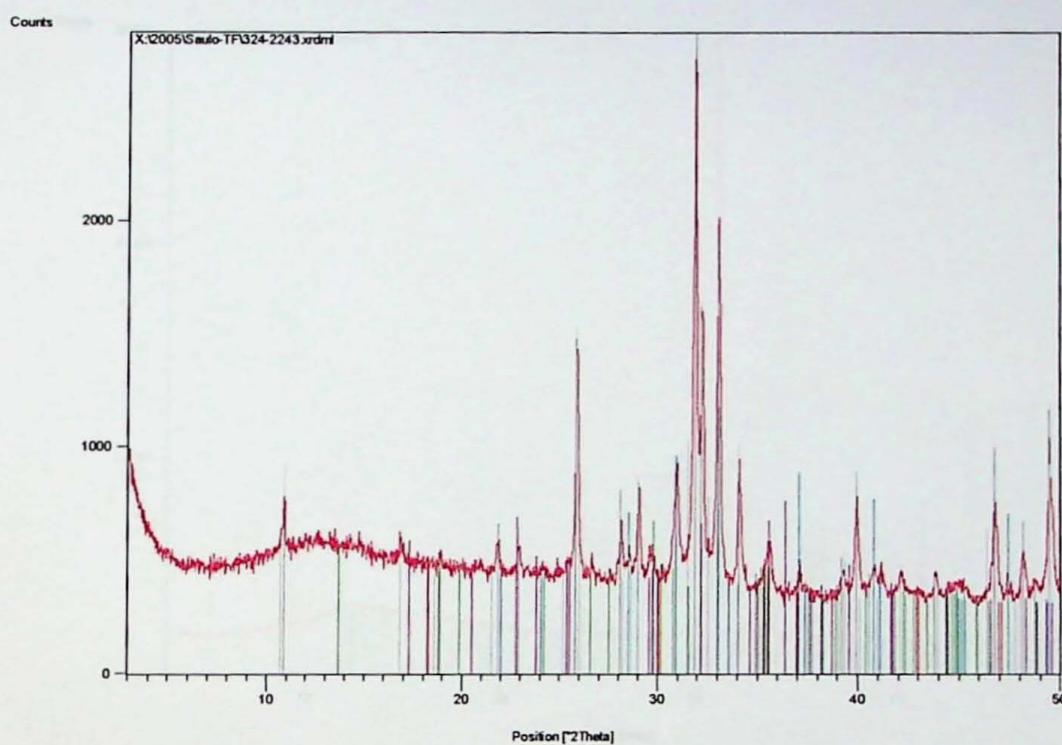


FASES IDENTIFICADAS

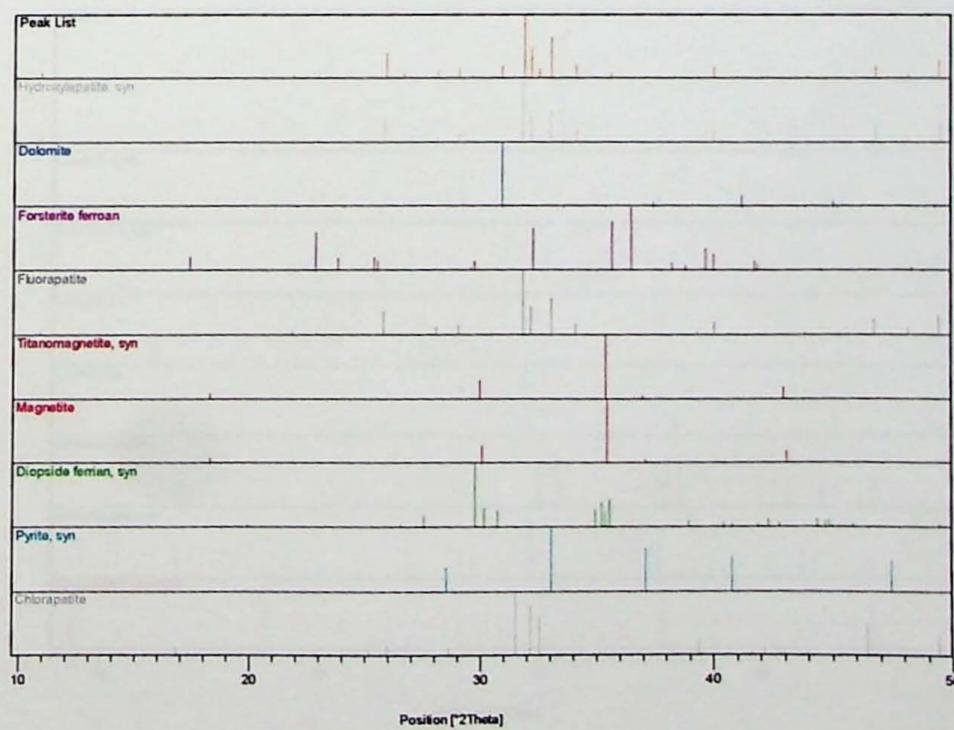


Anexo 31: Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP45-01 afundados

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

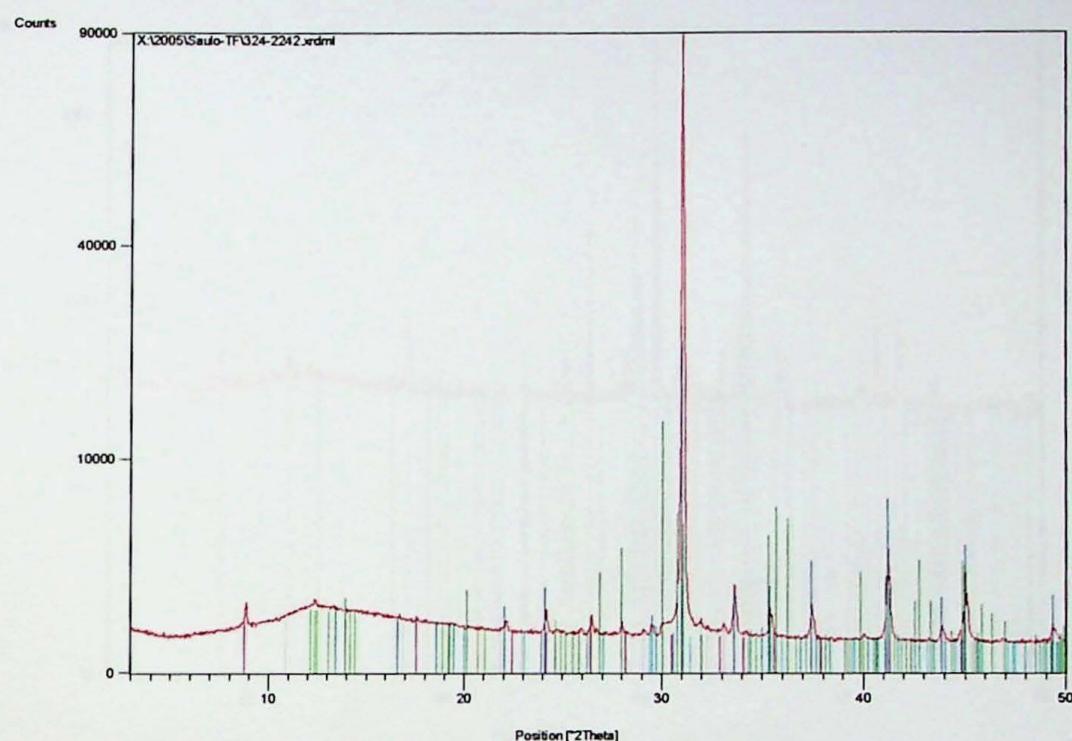


FASES IDENTIFICADAS

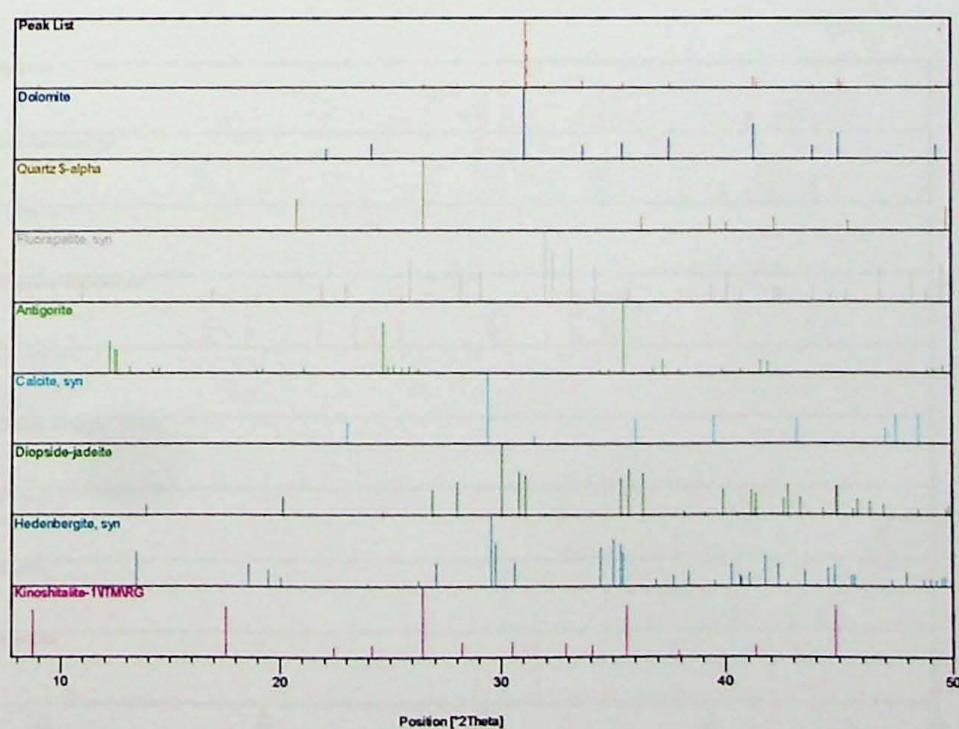


Anexo 32: Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP45-01 flutuados

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

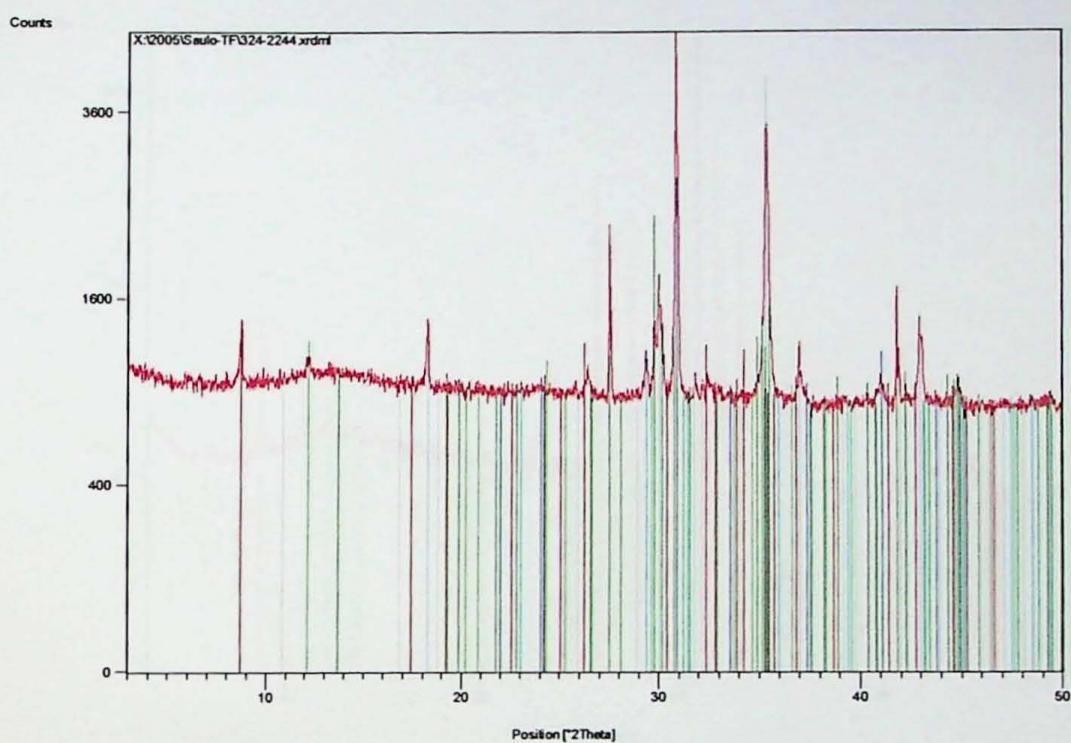


FASES IDENTIFICADAS

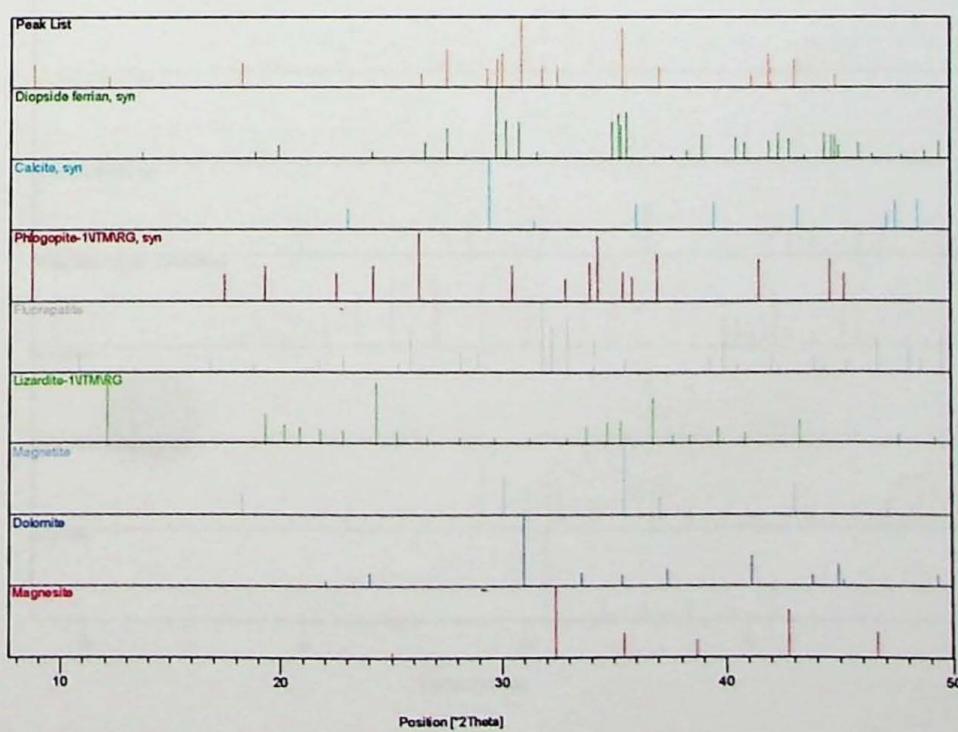


Anexo 33: Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP46-01 magnéticos

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

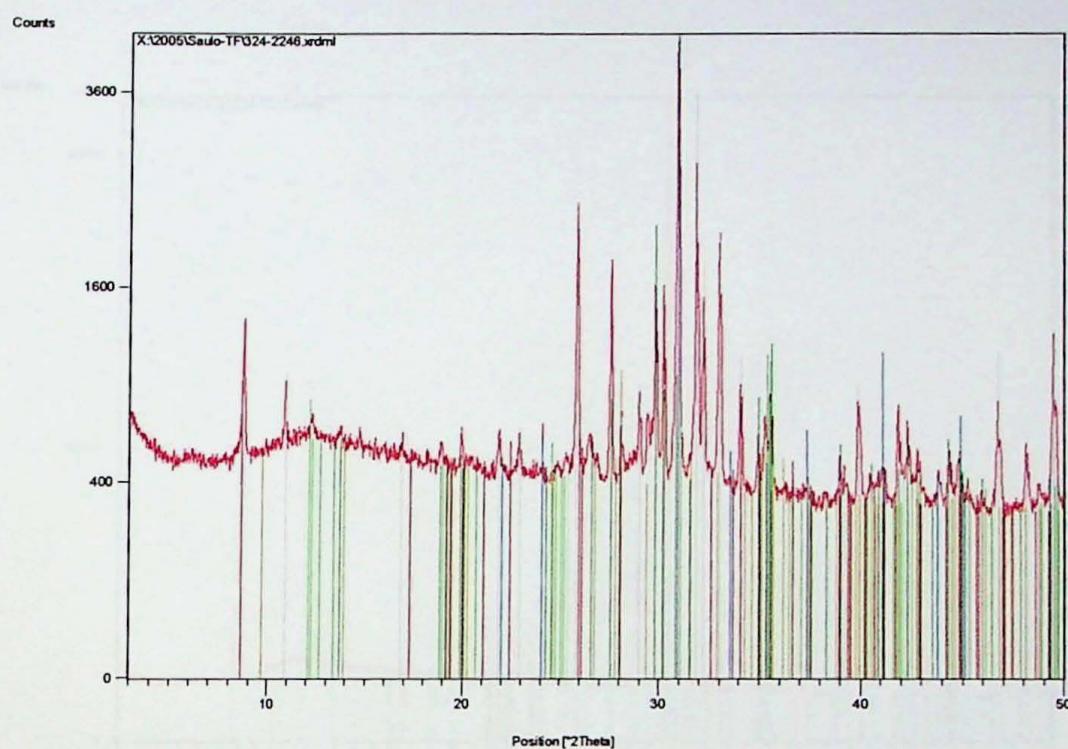


FASES IDENTIFICADAS

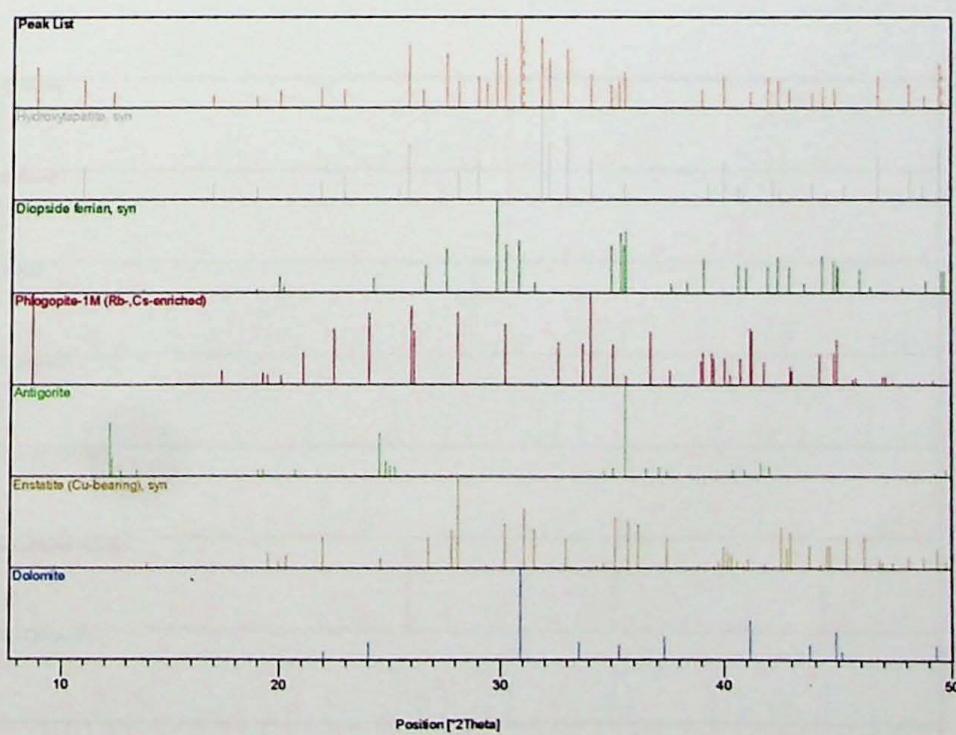


Anexo 34: Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP46-01 afundados

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

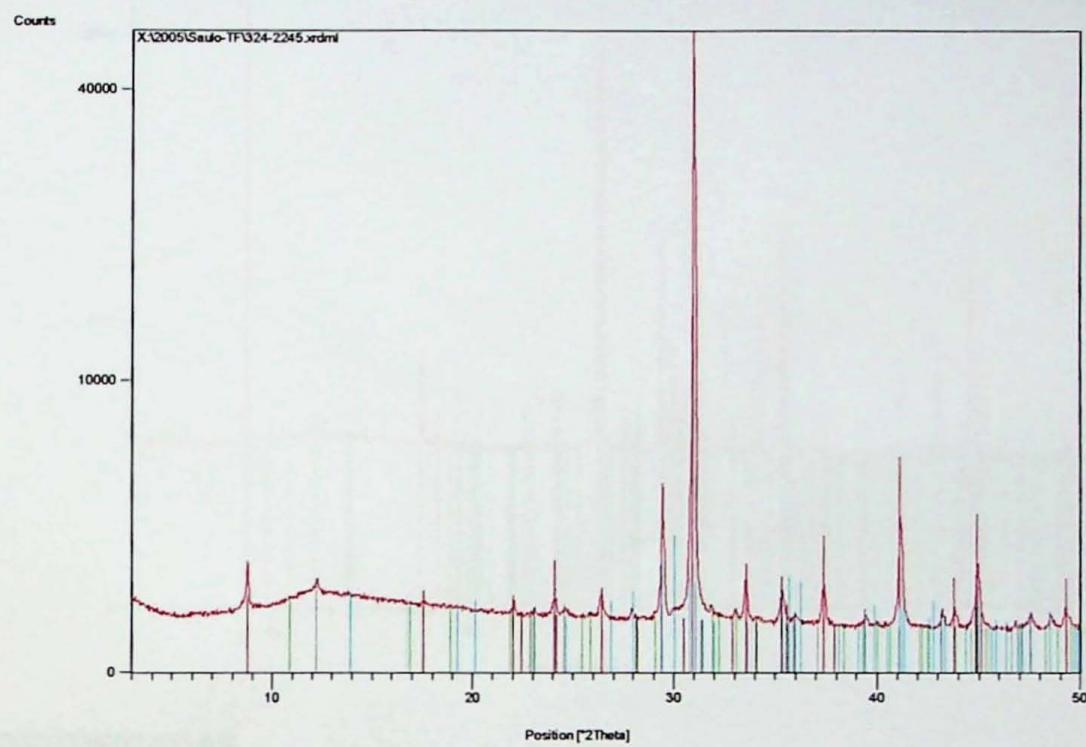


FASES IDENTIFICADAS

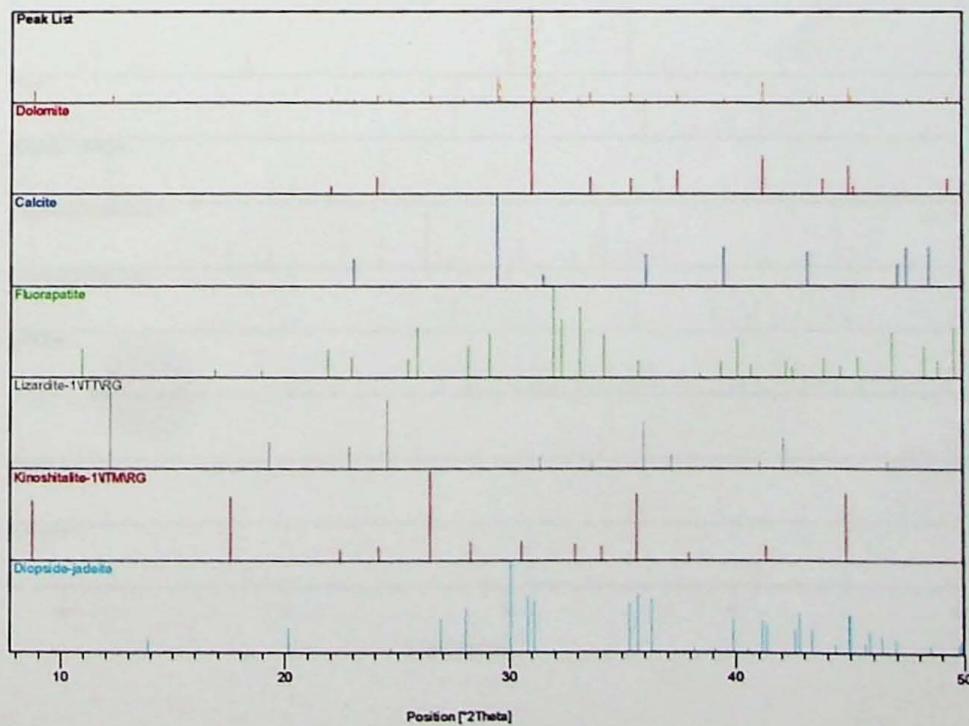


Anexo 35: Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP46-01 flutuados

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

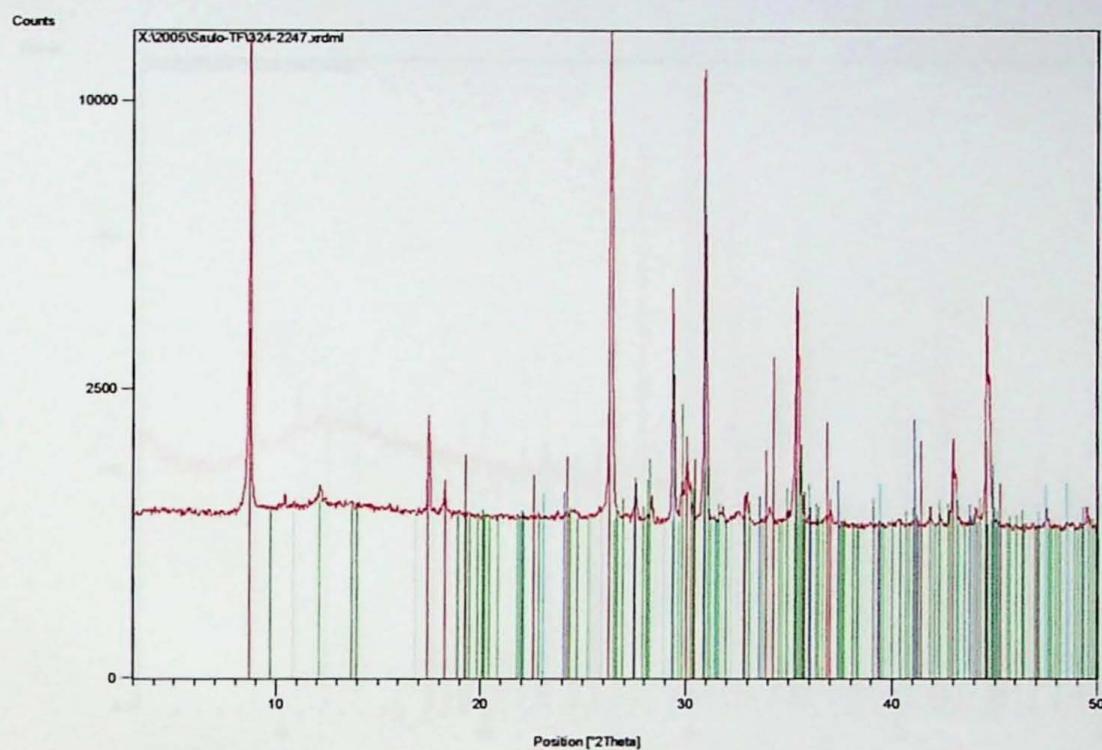


FASES IDENTIFICADAS

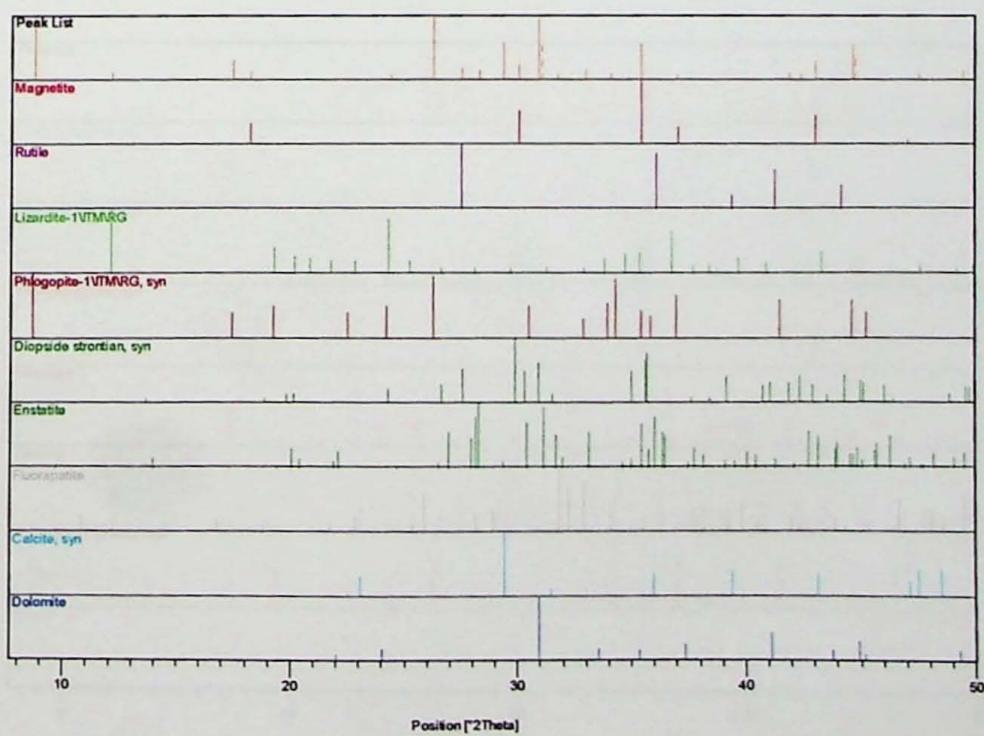


Anexo 36: Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP50-01 magnéticos

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

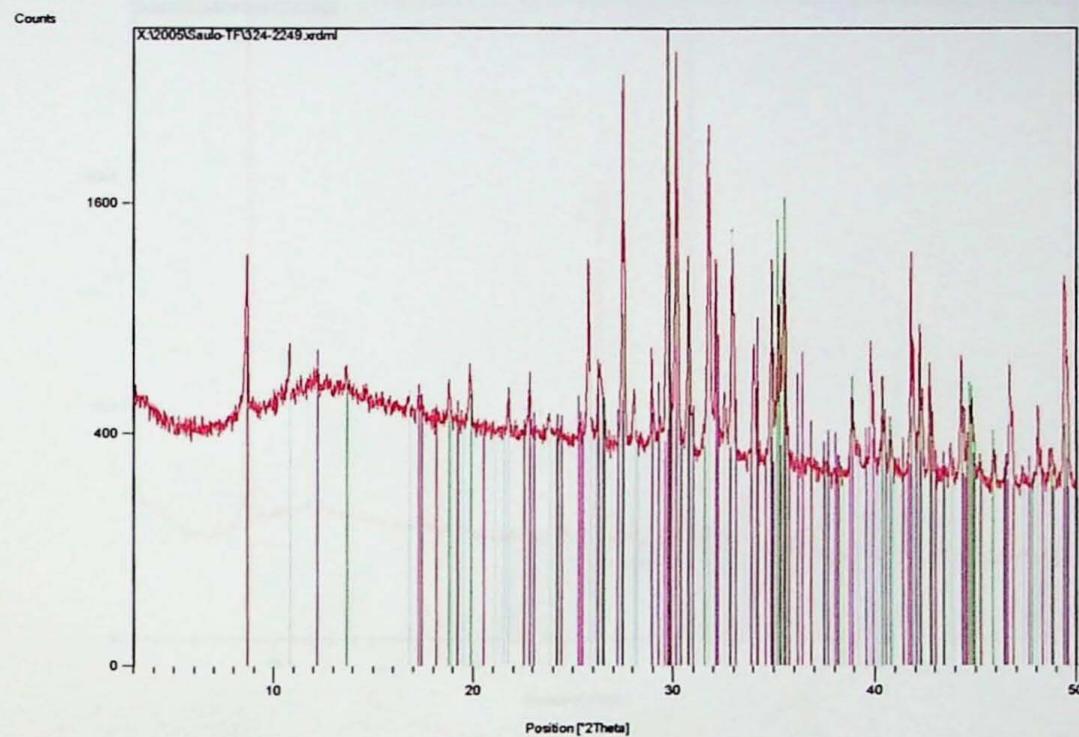


FASES IDENTIFICADAS

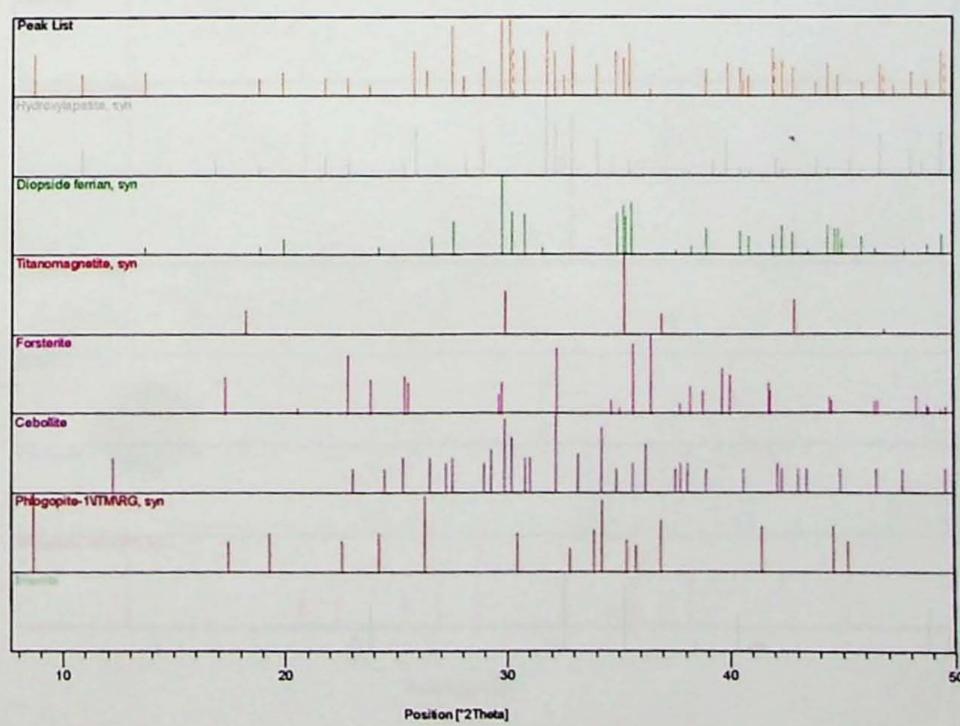


Anexo 37: Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP50-01 afundados

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

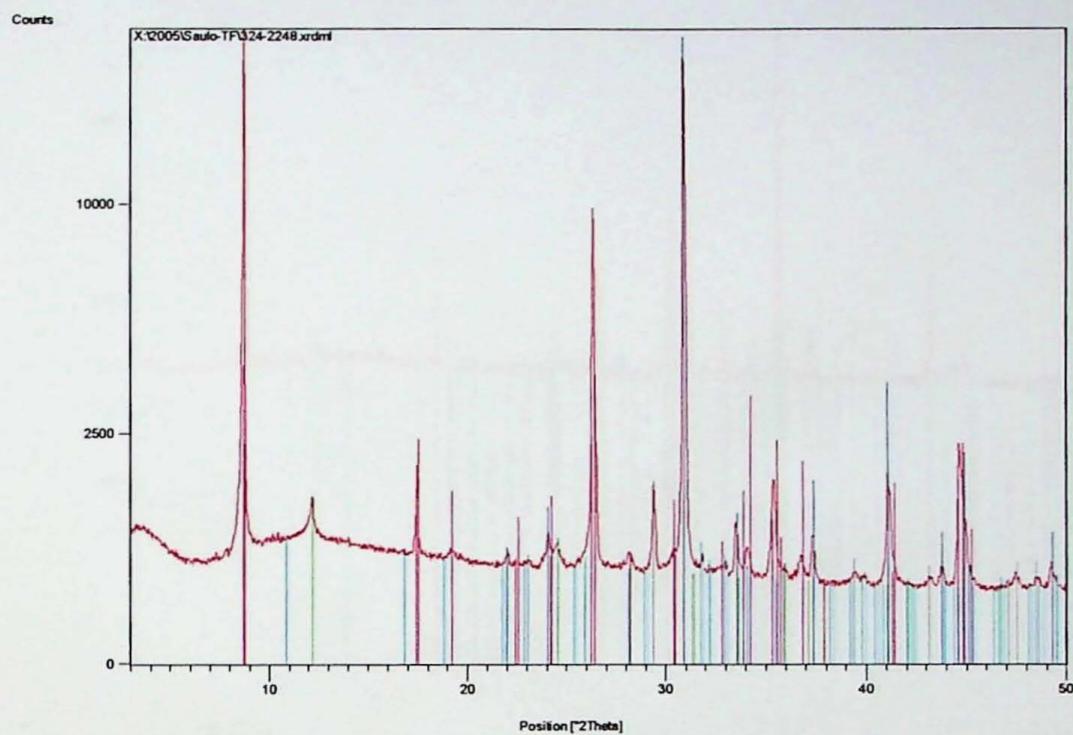


FASES IDENTIFICADAS

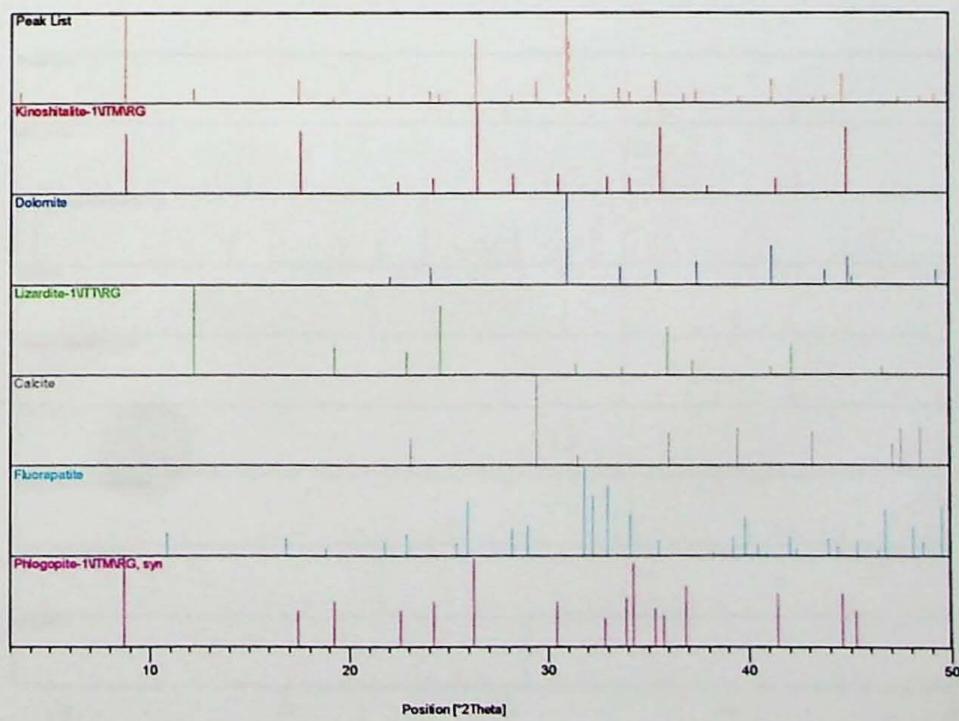


Anexo 38: Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP50-01 flutuados

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

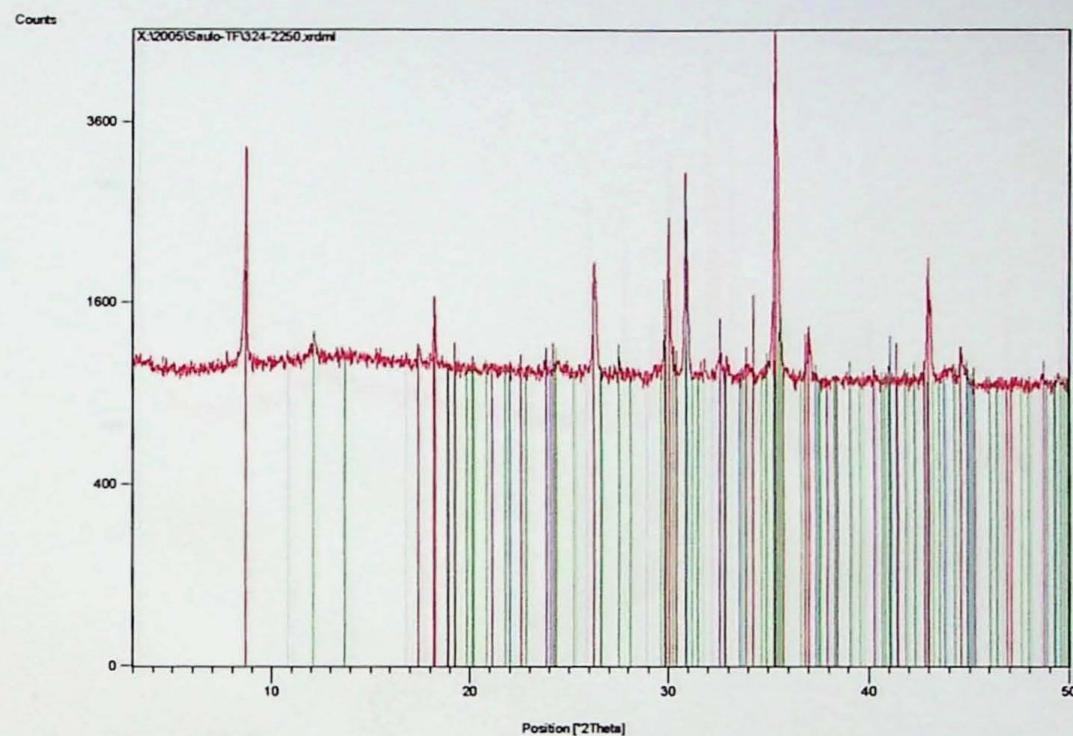


FASES IDENTIFICADAS

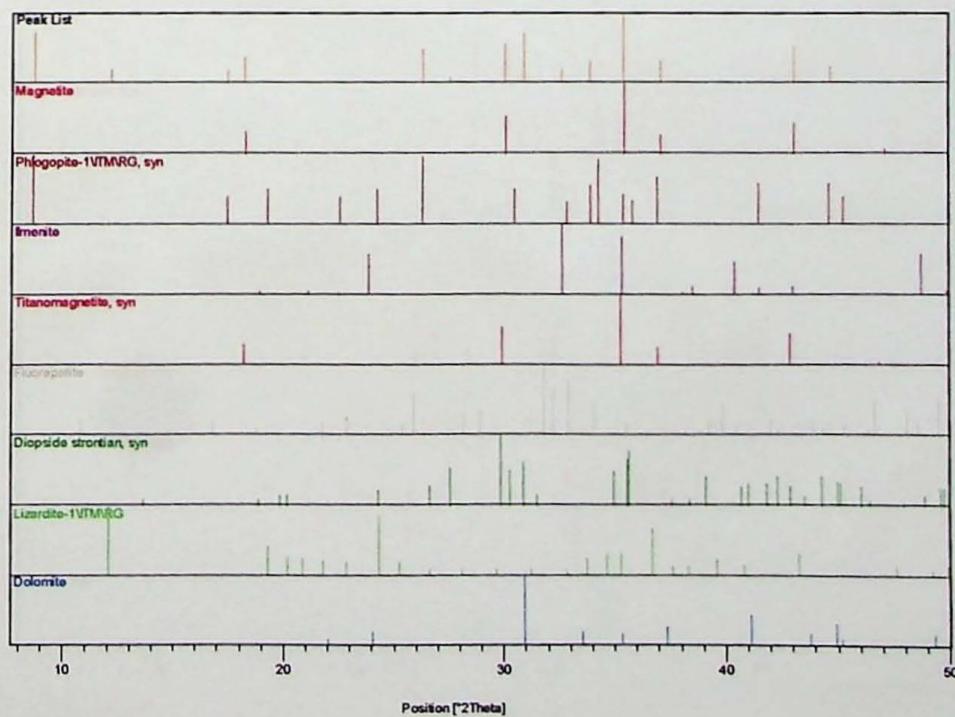


Anexo 39: Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP50-02 magnéticos

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

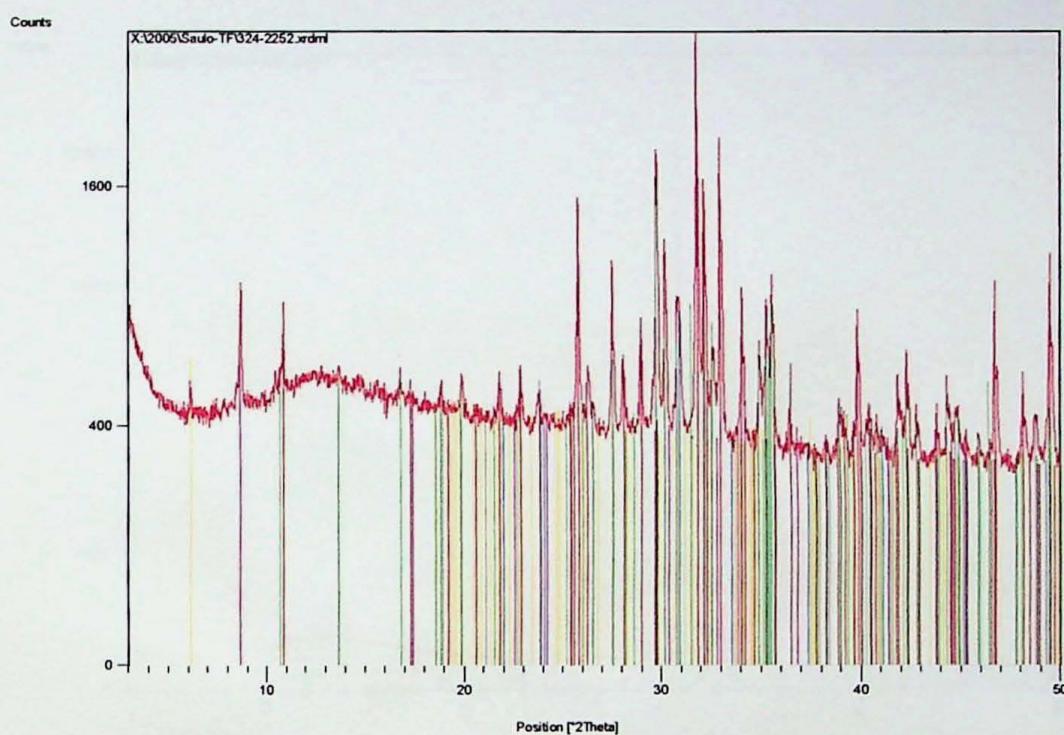


FASES IDENTIFICADAS

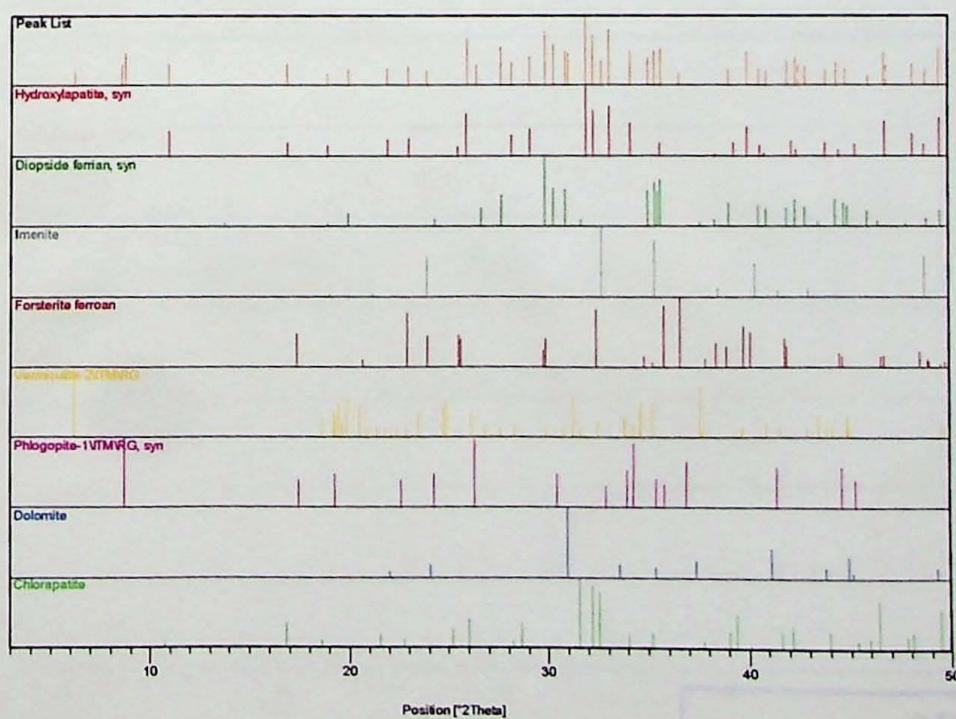


Anexo 40: Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP50-02 afundados

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X

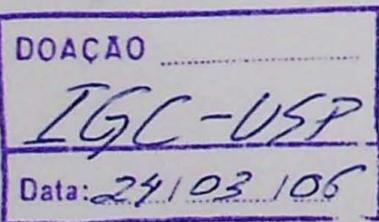


FASES IDENTIFICADAS



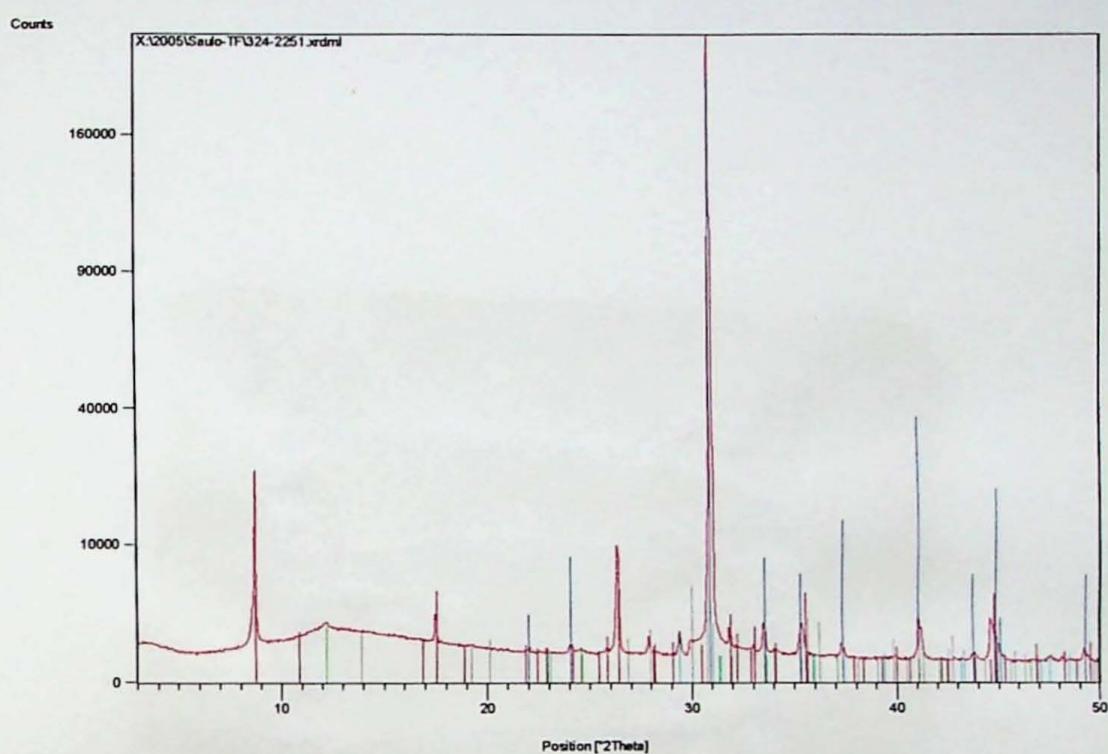
X 20 ANOS DE AMAROTAPRI

RAZES IDENTIFICADAS

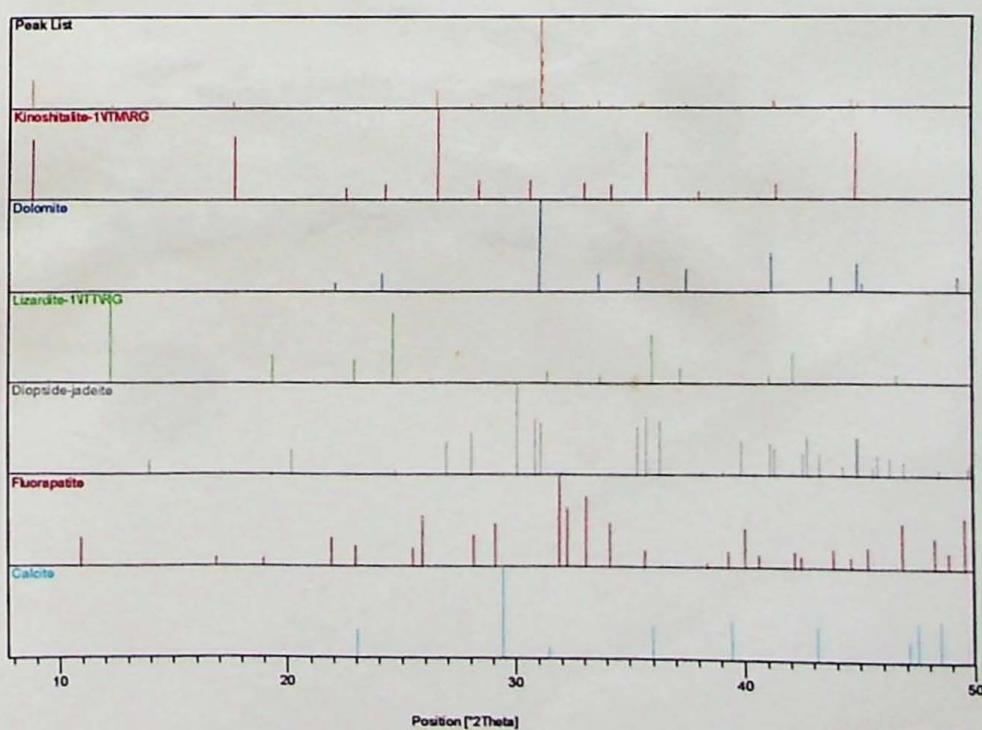


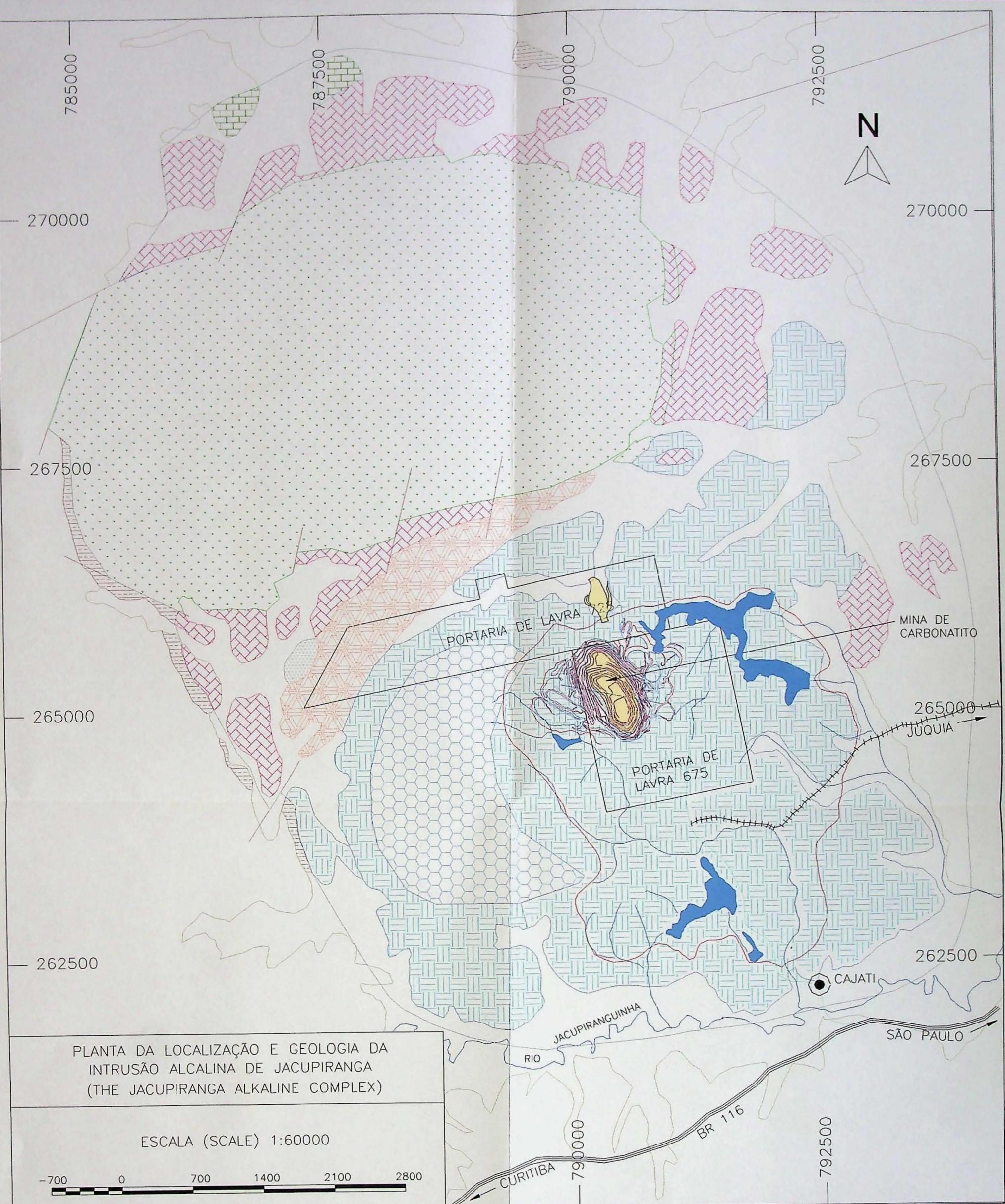
Anexo 41: Difratograma e fases minerais identificadas na amostra SP50-02 flutuados

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X



FASES IDENTIFICADAS





LEGENDA (LEGEND)
LITOLOGIA (LITHOLOGY)

	DUNITO (DUNITE)
	JACUPIRANGUITO (JACUPIRANGUISTE)
	IJOLITO (IJOLITE)
	CARBONATITO (CARBONATITE)
	MELTEIGITOS/PIROXENITOS (MELTEIGITES/PIROXENITES)

	SIENITOS (SIENITES)
	SILEXITOS (SILEXITES)
	OLIVINA MONZONITOS (OLIVINE MONZONITES)
	FENITOS (FENITES)
	COBERTURAS RECENTES (RECENT SEDIMENTS)
	EMBASAMENTO (CRISTALINE BASEMENT)

- PORTARIA DE LAVRA (MINING CONCESSION)
- ÁREA INDUSTRIAL (INDUSTRIAL ZONE)
- INTRUSÃO ALCALINA (ALKALINE INTRUSION)
- FALHA (FAULT)
- DRENAGEM (DRAINAGES)
- ACESSO À MINA (MINE ACCESS)

