

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E TECNOLÓGICA DO
FOSFATO DO COMPLEXO ALCALINO DE SALITRE,
MG - ÁREA FOSFERTIL**

Daniel Uliana

**Orientador: Prof.Dr.Henrique Kahn
Co-orientadora: Profa.Dra. Maria Cristina M.de Toledo**

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2006/13)**

**SÃO PAULO
2006**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Caracterização Mineralógica e Tecnológica do Fosfato
do Complexo Alcalino de Salitre, MG – Área Fosfertil**

Daniel Uliana



Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. Henrique Kahn

Profa. Dra. Viviane Ferrari

Prof. Dr. Lilia Mascarenhas Sant'Agostino

São Paulo

2006

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900024342

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E
TECNOLÓGICA DO FOSFATO DO COMPLEXO
ALCALINO DE SALITRE, MG – ÁREA FOSFERTIL**

Daniel Uliana



Orientador: Prof.Dr. Henrique Kahn

Co-orientadora: Prof^a. Dra. Maria Cristina M. de Toledo

**Monografia de Trabalho de Formatura
(TF/2006–13)**

SÃO PAULO

2006

TF
U39
D.0

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E
TECNOLÓGICA DO FOSFATO DO COMPLEXO
ALCALINO DE SALES - ÁREA FOSFATÍFICA



Daniel Uggas

Orientador: Prof. Dr. Henrique Rêgo

Co-orientador: Prof. Dr. André Chaves M. de Toledo

Monografia de Trabalho de Formatura

(171005-13)

SÃO PAULO

2005

Às vezes a busca torna-se mais importante que a conquista.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Henrique Kahn, pela orientação, incentivo e reconhecimento, fatores os quais me nortearam ao longo de todo o trabalho.

A minha co-orientadora, Prof^a. Dra. Maria Cristina M. de Toledo, por ter me orientado e acompanhado meu desenvolvimento desde o primeiro ano na Universidade.

Ao colega e amigo André B. Braz, pela paciência, boa vontade e inestimável ajuda.

A todos os colegas, mestres e doutores do LCT, Liz, Mariane, Carina, Manuela, Lília, Giuliana, Luciano, Ilda, Valtair e Freud pelo companheirismo e atenção, e também aos funcionários Juscelino, Carlos, Edvaldo, Ângelo, Ailton, Wesley, Rafael, Rafael Neto, Douglas e também aos funcionários do LTM, Alfredo e Tico, pela força e experiência dispensadas nos ensaios laboratoriais.

À empresa Fosfertil por ter possibilitado a realização deste estudo.

À Fusp – Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo pela bolsa de iniciação científica.

A toda a turma da Geo 2002 e agregados, pelos bons momentos vividos nestes cinco anos de vida universitária.

A todos aqueles que me ajudaram direta ou indiretamente durante o curso de Geologia, pessoas sem as quais não seria possível a conclusão deste trabalho de formatura.

À minha família, pela confiança e motivação aos estudos.

Por fim e não menos importante, à Marcela J. Corsini, minha namorada, pelo amor, carinho e apoio incansáveis.

A todos vocês meu sincero OBRIGADO!

SUMÁRIO

pág.

ÍNDICE DE FIGURAS	I
ÍNDICE DE TABELAS	II
RESUMO	III
ABSTRACT	IV
1 IDENTIFICAÇÃO	1
2 INTRODUÇÃO	2
3 METAS E OBJETIVOS	3
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	4
4.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	4
4.4 CARACTERIZAÇÃO DE MATÉRIAS PRIMAS MINERAIS	8
4.4.1 Caracterização do minério de fosfato de Salitre	12
4.5 A VARIABILIDADE COMPOSICIONAL DA APATITA	13
5 MATERIAIS E MÉTODOS	15
6 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	18
7 RESULTADOS OBTIDOS	19
7.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS AMOSTRAS ESTUDADAS	19
7.2 DISTRIBUIÇÃO DE MASSA E TEORES POR FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA	20
7.3 ANÁLISE GRANULOQUÍMICA DAS AMOSTRAS ESTUDADAS	21
7.4 RESULTADOS DAS SEPARAÇÕES MINERAIS	26
7.5 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA E CARACTERÍSTICAS DA APATITA	29
7.5.1 Amostra APAT	31
7.5.2 Amostra FIT	31
7.5.3 Amostra FST	32
7.5.4 Amostra ZMT	33
7.5.5 Amostra PIT	33
7.5.6 Amostra PXT	34
8 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES	35
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
9.1 REFERÊNCIAS CITADAS	38
9.2 REFERÊNCIAS CONSULTADAS	39

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

pág.

Figura 1 – Mapa de localização do município de Patrocínio (MG) e principais acessos.....	4
Figura 2 – Mapa Geológico dos Complexos de Salitre e Serra Negra	7
Figura 3 – Mapa geológico simplificado do Complexo de Salitre.....	8
Figura 4 – Fluxograma do procedimento experimental adotado.....	17
Figura 5 – Curvas de distribuição de teores e de massa acumulados abaixo para o produto de moagem das seis amostras.....	21

ÍNDICE DE TABELAS

pág.

Tabela 1 – Relação de amostras estudadas	15
Tabela 2 – Composição química das amostras estudadas.....	19
Tabela 3 – Distribuição de teores por fração no produto de moagem – Amostra APAT	22
Tabela 4 – Distribuição de teores por fração no produto de moagem – Amostra FIT	22
Tabela 5 – Distribuição de teores por fração no produto de moagem – Amostra FST	23
Tabela 6 – Distribuição de teores por fração no produto de moagem – Amostra ZMT	24
Tabela 7 – Distribuição de teores por fração no produto de moagem – Amostra PIT	25
Tabela 8 – Distribuição de teores por fração no produto de moagem – Amostra PXT	26
Tabela 9 – Resultados dos produtos de separações minerais (+0,020 mm).....	27
Tabela 10 – Mineralogia observada e fórmulas químicas	30
Tabela 11 – Estimativa da composição mineralógica – amostra APAT	31
Tabela 12 – Estimativa da composição mineralógica – amostra FIT	32
Tabela 13 – Estimativa da composição mineralógica – amostra FST	32
Tabela 14 – Estimativa da composição mineralógica – amostra ZMT	33
Tabela 15 – Estimativa da composição mineralógica – amostra PIT	33
Tabela 16 – Estimativa da composição mineralógica – amostra PXT	34
Tabela 17 – Comparação entre as principais características das amostras estudadas	36

RESUMO

Os principais depósitos brasileiros de fosfato estão associados a complexos alcalino-carbonatíticos, em geral, relacionados a processos de alteração intempérica, como é o caso do Complexo de Salitre (MG). Estes depósitos apresentam baixo teor em relação aos depósitos de origem sedimentar (fosforitos) e uma complexidade mineralógica acentuada, tornando-se indispensável a caracterização geológica e tecnológica do minério, desde a fase de pesquisa até no acompanhamento das operações de lavra.

São abordados os métodos empregados no estudo de seis tipos de minério provenientes do Complexo de Salitre, tendo em vista como resultados a composição mineralógica das amostras e as principais características inerentes à apatita e do minério para fins do beneficiamento mineral.

As amostras estudadas foram compostas a partir de furos de sondagem realizados na porção centro-norte do complexo pela empresa Fosfertil. Estas amostras apresentaram mineralogia semelhante, variando apenas as proporções entre os minerais. São compostas essencialmente por apatita, óxi-hidróxidos de Fe, ilmenita, argilominerais, carbonatos, quartzo, piroxênio, perovskita, alumino-fosfatos, e outros minerais traços.

Os teores médios de P_2O_5 são de 9 a 25%. A proporção de finos (-0,020 mm) situa-se em torno de 20 a 34% em massa, aos quais se associam perdas de 17 a 22% do total de P_2O_5 .

A apatita ocorre predominantemente na forma liberada já abaixo de 0,210 mm representando mais de 97% do total de fósforo contido nas amostras estudadas (fração acima de 0,020 mm). Mostra superfície límpida a fracamente impregnada por óxi-hidróxidos de Fe; a parcela altamente impregnada varia de 6 e 9%. A recuperação potencial estimada de P_2O_5 na etapa de flotação é superior a 90%.

ABSTRACT

The most important Brazilian phosphate deposits are associated to alkaline-carbonatitic complexes and mainly related to lateritic overburden, as observed for the Salitre Complex (MG).

These deposits present low grades regarding sedimentary deposits (fosforites) and a complex mineralogical composition; in this sense, characterization studies are essential to support since the exploration step up to the mining operation. The methodology discussed in this paper was carried out in six different ore types, and aims to determine their mineralogical composition and the major features that are relevant for mineral processing.

Bore holes were collected by Fosfertil in the North-central portion of the complex and later these samples were split and composed for the present study. The mineralogical composition are basically the same for all samples, just varying the proportion between them; they are basically composed of apatite, Fe oxi-hydroxides, ilmenite, clay minerals, carbonates, quartz, pyroxene, perovskite, aluminum-phosphates and other minor minerals.

The average grades of P_2O_5 vary from 9 to 25%. The finest grain size fraction (bellow 20 μm) represents between 20 and 34% (w/w) and the associated phosphorus (fine losses) varies from 17 up to 22% of total P_2O_5 content.

Apatite occurs mostly in free particles bellow 0.210 mm and represents more than 97% of the total phosphorus of the samples for the fraction size above 0.020 mm. It presents none to a weakly surface coating by iron oxi-hydroxides; strongly coated particles corresponds to 6 to 9%. It was also estimated a potential flotation recovery higher than 90% for the phosphorus content.

1 IDENTIFICAÇÃO

Instituto de origem	INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
Nº / Título	13 / Caracterização mineralógica e tecnológica do fosfato do Complexo Alcalino de Salitre, MG – Área Fوسفertil
Autor	Daniel Uliana
Orientador	Prof. Dr. Henrique Kahn (EPUSP – PMI)
Co-orientador	Profª. Dra. Maria Cristina M. de Toledo (IGc – GSA)
Local e ano de conclusão	São Paulo, 2006

2 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem por objetivo a caracterização mineralógica e tecnológica de um conjunto de amostras correspondentes aos tipos de minério de fosfato identificados no Complexo alcalino-carbonatítico de Salitre, MG. As amostras estudadas são referentes a composições de furos de sondagens realizados em uma área sob concessão de pesquisa da empresa Fosfertil - Fertilizantes Fosfatados, a qual está realizando estudos tecnológicos visando à implantação de um empreendimento mineiro para a produção de rocha fosfática (concentrado de apatita).

As rochas do Complexo de Salitre estão relacionadas a eventos intrusivos de pequena profundidade, de natureza ultrabásica, das quais podem ser destacadas mica-peridotitos, piroxenitos e carbonatitos, com tipos transicionais entre elas. Há ainda a presença de coberturas lateríticas às quais estão relacionadas mineralizações de fosfato, titânio e nióbio.

O fósforo representa um elemento estratégico tendo em vista a ausência de substitutos na agricultura, que é a base da nossa alimentação. O Brasil, embora tenha se aproximado da auto-suficiência na produção de derivados de fósforo há poucos anos atrás, hoje, com o crescimento da agricultura no país, não chega a produzir sequer 50% do consumo destes derivados. Dessa forma, esse projeto justifica-se pela importância do estudo detalhado do minério fosfato, através da caracterização mineralógica e tecnológica, de modo a contribuir para o desenvolvimento e a otimização dos processos de concentração objetivando o melhor aproveitamento do recurso mineral, visto a realização de estudos de viabilidade técnico-econômica para a implantação de um novo empreendimento mineiro.

Os principais depósitos brasileiros de fosfato encontram-se associados a complexos alcalino-carbonatíticos estando, em geral, associados a processos de alteração intempérica, como é o caso do Complexo de Salitre. Além de baixo teor, quando comparados com depósitos de origem sedimentar (fosforitos marinhos), apresentam uma complexidade mineralógica acentuada, tornando-se indispensável a caracterização geológica e tecnológica do minério, desde a fase de pesquisa até no acompanhamento das operações de lavra.

Neste trabalho foram realizados ensaios laboratoriais que envolvem cominuição do material, classificação granulométrica e separações minerais seguidos de análises químicas, mineralógicas e texturais dos produtos obtidos. O conjunto desses procedimentos de caracterização permitiu definir a composição mineralógica qualitativa e quantitativa das amostras, bem como as características da apatita relevantes para fins de seu beneficiamento, tais como: granulação de liberação, aspectos de impregnação superficial e a partição do fósforo entre apatita e eventuais fosfatos secundários (alumino-fosfatos).

3 METAS E OBJETIVOS

O presente trabalho teve como principal objetivo a compreensão da metodologia de caracterização tecnológica de matérias-primas minerais, neste caso aplicada ao estudo de um minério de fosfato, avaliando-se as suas variáveis intrínsecas relevantes para fins de seu beneficiamento mineral e as técnicas analíticas empregadas na determinação destes parâmetros.

Como resultados, este estudo teve por meta estabelecer a composição mineralógica qualitativa e estimar a composição quantitativa das amostras, bem como o grau de liberação da apatita e a recuperação potencial do fósforo apatítico (apatita não impregnada), além da partição do P entre a apatita e eventuais fosfatos secundários presentes.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Localização da área de estudo

O estudo proposto aborda como principal foco a caracterização mineralógica e tecnológica de um conjunto de amostras correspondentes aos tipos de minério de fosfato identificados do depósito de Salitre, numa área de interesse da Fosfertil.

Localizado no município de Patrocínio, Estado de Minas Gerais, na região do Triângulo Mineiro, a 245 km a NW de Belo Horizonte e 70 km a N de Araxá, aproximadamente, o Complexo de Salitre dista cerca de 30 km da sede de Patrocínio, dos quais 22 km são percorridos pela rodovia MG-220, com sentido ao povoado de São Benedito, e o restante do trajeto é realizado por estrada de terra. Apenas a 8 km da área sob pesquisa, encontra-se a Viação Férrea Centro-Oeste (VFCO) que passa pela cidade de Patrocínio e oferece acesso até o litoral.

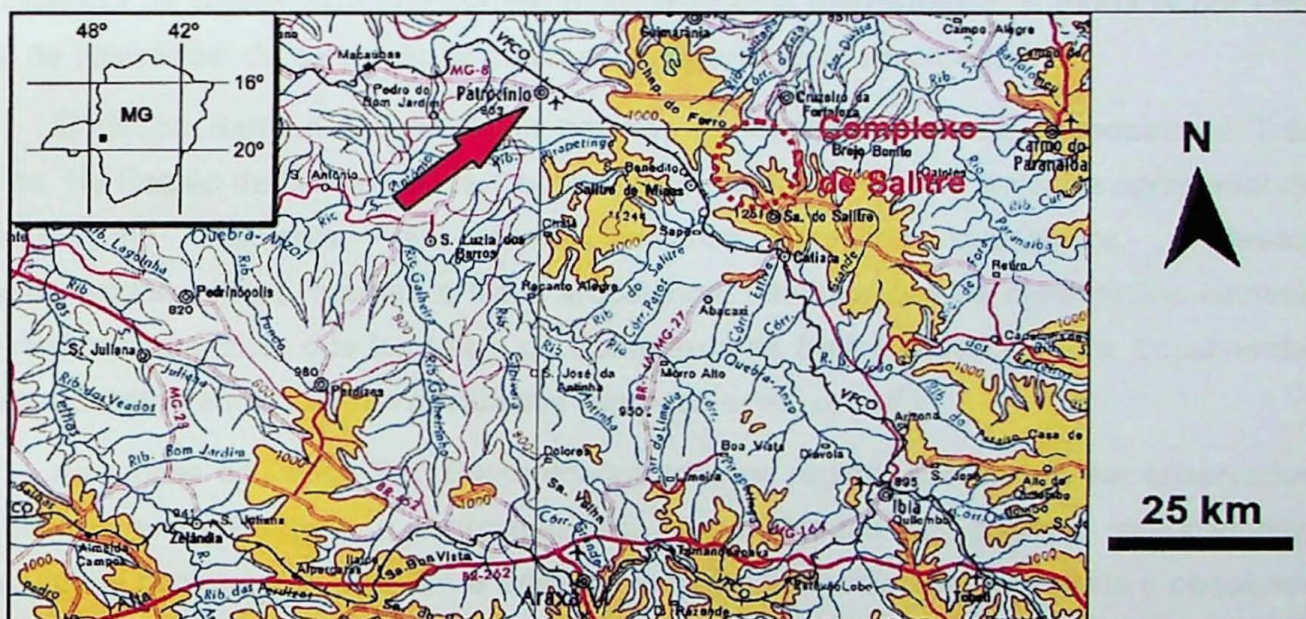


Figura 1 - Mapa de localização do município de Patrocínio (MG) e principais acessos. Adaptado da Carta do Brasil ao milionésimo (IBGE, 1972).

4.2 Contexto geológico regional

Os Complexos de Salitre e Serra Negra, este localizado poucos quilômetros a NW de Salitre, estão encaixados em rochas metassedimentares do Grupo Bambuí, na porção SE do Cráton São Francisco. A estratigrafia da região é brevemente descrita a seguir (Barbosa *et al.*, 1970) sendo esta detalhada no Anexo 1.

Tanto o embasamento quanto os Grupos Araxá, Canastra, Bambuí e a Formação Ibiá, apresentam idade Pré-Cambriana. Já o Grupo São Bento, a Formação Aerado e a Formação Bauru pertencem ao Cretáceo.

O embasamento, de idade Pré-Cambriana, sobre o qual estão depositadas rochas pertencentes ao Grupo Araxá, é formado por granodioritos, granitos e gnaisses.

O Grupo Araxá compreende, em sua maioria, mica-xistos metamorfisados em fácies epidoto-anfibolito, com intercalações de lentes de muscovita quartzitos, quartzitos hematíticos, hematita-sericita xistos e raramente anfibolitos. Nos micaxistos podem ocorrer em quantidades variáveis granada, biotita, estaurolita, rutilo, zircão e turmalina como acessórios (Barbosa *et al.*, *op. cit.*).

O Grupo Canastra é constituído basicamente por quartzo-filitos laminados, com níveis de quartzitos de granulação de areia muito fina a silte. Os filitos são prateados sericíticos, ora grafitosos, ora granatíferos. São raras as camadas de quartzito puro, de modo que ocorrem quartzitos ferruginosos e mesmo itabiritos, localmente milonitizados, tornando-se fibrosos com intensa silicificação e com perda de seu aspecto granular.

A Formação Ibiá não está inserida em nenhum dos grupos aqui mencionados por insuficiência de dados para seu correto posicionamento estratigráfico. É formada por uma faixa de calcixistos de coloração cinza chumbo, ligeiramente esverdeada.

O Grupo Bambuí é subdividido em três Formações: Paranoá, Paraopeba e Três Marias. Na Região de Salitre ocorrem apenas as duas primeiras com litologias apresentando metamorfismo incipiente, tais como calcários, arenitos quartzíticos, arcóseos, conglomerados, siltitos, margas e filitos ardorianos. Intercalações de metassiltitos escuros ocorrem nos quartzitos que bordejam os Complexos de Salitre e Serra Negra. Localmente, esses quartzitos encontram-se fenitizados (Barbosa *et al.*, *op. cit.*).

As rochas do Grupo São Bento encontradas na região, que podem ser observadas na estrada entre Perdizes e Patrocínio, são representadas por basaltos amigdaloidais intercalados com argilitos e siltitos e basaltos também amigdaloidais com veios e pequenos bolsões de material caulinitizado.

A Formação Bauru compreende rochas sedimentares tufáceas na porção a NE dos Complexos de Salitre e Serra Negra e rochas piroclásticas na região de Patos de Minas, mais a leste, que gradam horizontalmente e também verticalmente para tufos.

Os Complexos alcalinos de Salitre e Serra Negra são as maiores ocorrências deste tipo observadas na região. Localizados na porção ESE da cidade de Patrocínio e apresentam-se quase unidos, como extensão da Serra do Salitre. Estes complexos são compostos principalmente por dunitos, peridotitos, serpentinitos, piroxenitos, jacupiranguitos, glimeritos e carbonatitos. Estas rochas apresentam idade Cretáceo Superior (Melo & Chaban, 1997). Estas rochas raramente afloram, pois estão cobertas por um espesso manto laterítico originado a partir de intenso intemperismo ocorrido no período Terciário; estas lateritas constituem os chapadões de ferro observados na região.

A falha de empurrão que coloca o Grupo canastra sobre o Bambuí sofre uma inflexão próxima a Patrocínio, com mudança de direção de NW para NNE, devido às intrusões de Salitre e Serra Negra. As estruturas dômicas são separadas por duas falhas de direção NE. Também ocorre uma série de falhas radiais aos dois Complexos (Melo *et al.*, *op. cit.*), provavelmente resposta rúptil das rochas encaixantes às intrusões. Estas estruturas podem ser observadas na figura 2.

As estruturas circular, no caso de Serra Negra, e elíptica ou tipo "ferradura" em Salitre podem ser observadas em fotos de satélite (Anexo 2), dando uma boa noção da extensão dessas estruturas. Serra Negra apresenta um diâmetro aproximado de 11 a 14 km; já no Complexo de Salitre, nota-se uma extensão de aproximadamente 8 km na direção NNW, de maior alongamento, e cerca de 5 km na direção ENE.

4.3 Geologia do Complexo de Salitre

O Complexo Ultramáfico-alcálico de Salitre é composto predominantemente por mica peridotitos, seguidos por piroxenitos, dunitos e serpentinitos, também ocorrendo jacupiranguitos e shonkinitos de forma mais restrita (mapa geológico apresentado na figura 3). Carbonatitos calcínicos ocorrem basicamente como veios tardios ou diques (Barbosa *et al.*, 1970). Os afloramentos destas rochas são raros na região, devido a uma espessa crosta laterítica que é, por sua vez, recoberta por um solo marrom, essencialmente argiloso (Melo & Chaban, 1997). As rochas menos alteradas podem ser observadas em blocos rolados.

Segundo Melo & Chaban (*op. cit.*) e Barbosa *et al.* (*op. cit.*), as rochas alcalinas, de origem ígnea intrusiva e idade Cretácea Superior, estão encaixadas nos metassedimentos do Grupo Bambuí (Pré Cambriano), sendo que este compreende materiais psamíticos e pelíticos. A formação inferior que está em contato direto com as intrusivas é formada por ortoquartzitos, com granulação fina a média e ocorre muitas vezes de forma descontínua, adelgaçando-se em alguns locais, apresentando fenitização. Os ortoquartzitos apresentam essencialmente quartzo e folhelhos argilosos, também pertencentes a esta formação, apresentam sericita-muscovita. Minerais acessórios como magnetita, turmalina verde e grafita também ocorrem nessas rochas. As estruturas sedimentares não podem ser identificadas devido ao metamorfismo de contato gerado pela intrusão alcalina.

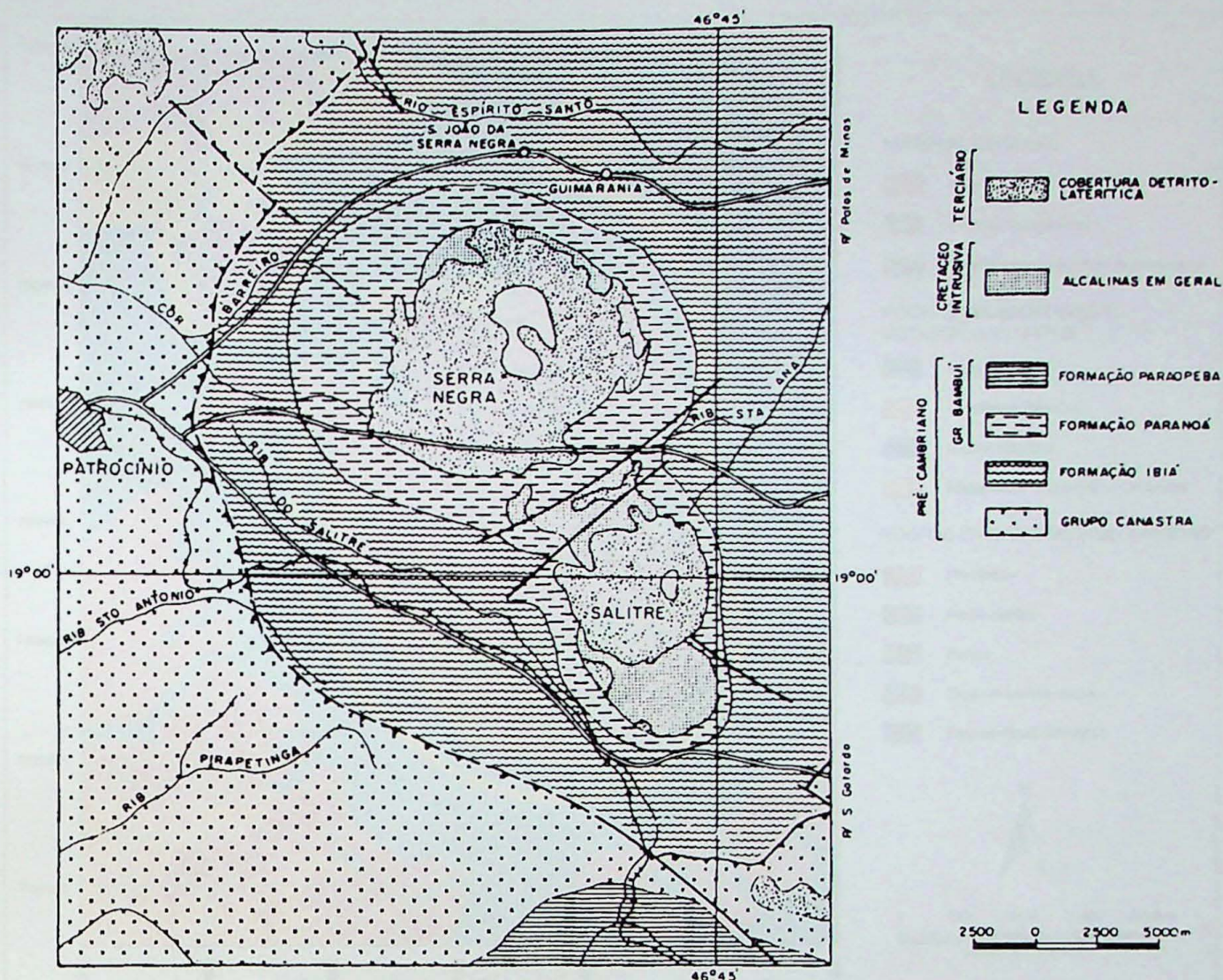


Figura 2 - Mapa Geológico dos Complexos de Salitre e Serra Negra (Melo & Chaban, 1977).

A formação superior apresenta ortoquartzitos e arenitos feldspáticos na base e folhelhos argilosos com significativa proporção de folhelhos sílticos mais acima. Os ortoquartzitos que constituem o anel contínuo que envolve o Complexo e se destaca na topografia, apresenta ortoquartzitos com apreciável proporção de folhelhos feldspáticos, de coloração clara e granulação de 0,5 a 1 mm, com aleitamento nítido. Sobre o material psamítico ocorrem folhelhos argilosos que, por sua vez, apresentam intercalações de bancos centimétricos de folhelhos sílticos, com estratificação nítida, de coloração avermelhada nos níveis mais alterados e verde oliva quando fresco. Há uma série de fraturamentos radiais no pacote metassedimentar que envolve a intrusão e falhamentos nas zonas de contato, com pequenos rejeitos horizontais. As camadas mergulham de forma centrífuga à intrusão, decrescendo à medida que dela se afastam, podendo chegar de 50° a 60° nas proximidades dos contatos.

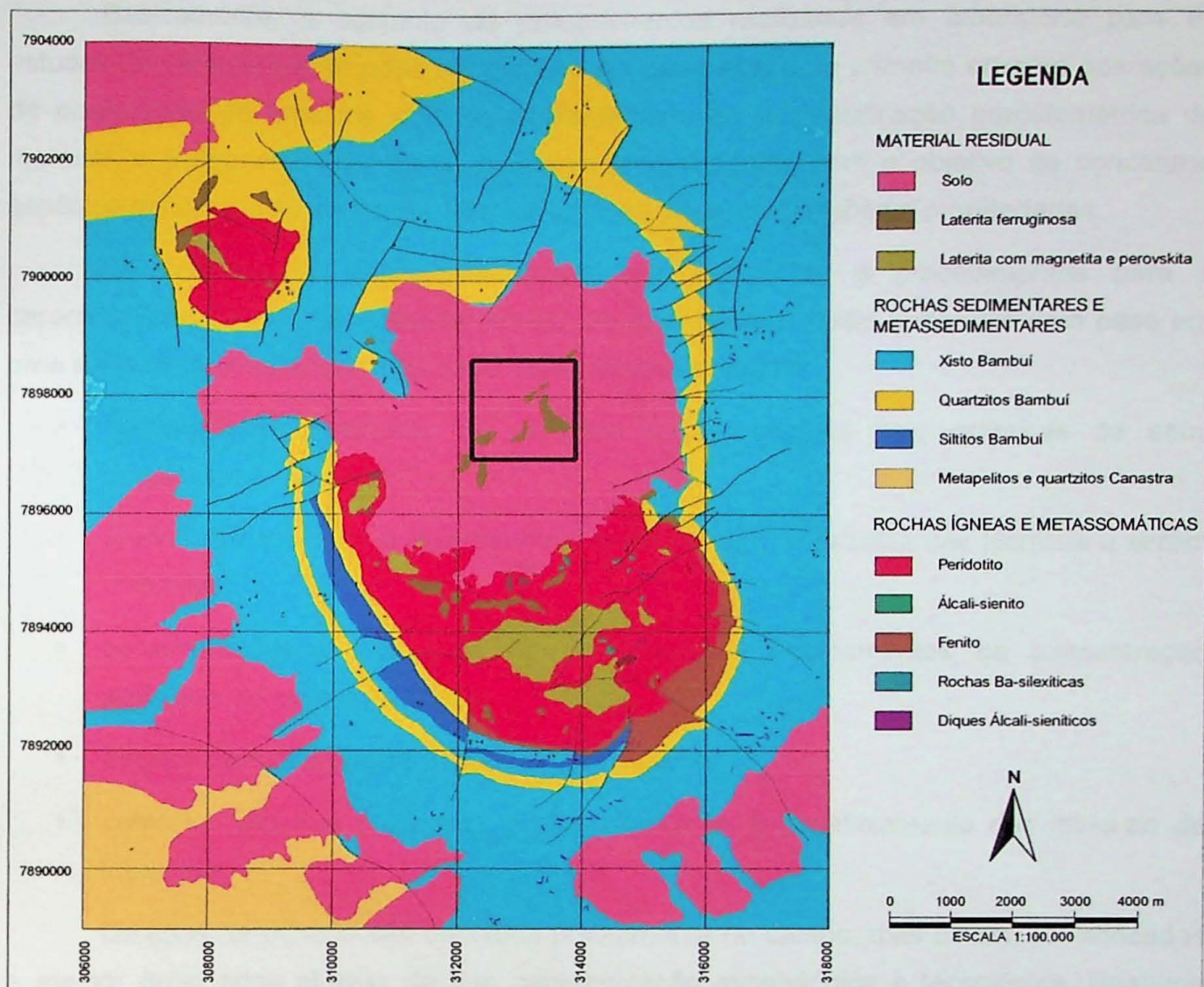


Figura 3 - Mapa geológico simplificado do Complexo de Salitre, com destaque para a área considerada no projeto (Kahn et al., 2004).

4.4 Caracterização de matérias primas minerais

Um conceito fundamental para este estudo é discutido por Sant'Agostino & Kahn (1997), que define a caracterização tecnológica como uma expressão aplicada num sentido amplo para o estudo de minérios e recursos minerais para os quais se vislumbra aproveitamento econômico, abordando também, de forma bastante criteriosa, as diversas etapas da caracterização.

Internacionalmente, a caracterização de minérios voltada para o processo recebe denominações como *ore-dressing mineralogy*, *process mineralogy*, *metallurgical mineralogy*, *technological mineralogy* e *mineralurgie*. Os autores defendem ainda que existam duas abordagens tecnológicas distintas, sendo que uma delas se refere às técnicas em apoio a exploração mineral e a outra diz respeito às técnicas em apoio ao beneficiamento / exploração mineral, ou ainda, adequação para a indústria de transformação. O foco do presente estudo está voltado para o segundo caso.

Basicamente, o conjunto de procedimentos realizados em laboratório para os estudos de caracterização pode ser dividido em duas etapas: a primeira envolve operações de preparação de amostra, que compreende redução e classificação granulométrica do material, e a segunda operações de separações minerais, com o objetivo de concentrar espécies minerais com vistas ao detalhamento de suas associações e propriedades.

Os critérios de abordagem e definição de metas e procedimentos para a caracterização de um determinado recurso ou bem mineral serão norteados com base em uma série de variáveis, algumas delas apresentadas a seguir:

- conhecimento preliminar da natureza e propriedades físico-químicas de seus constituintes minerais;
- prática dos métodos e instrumentos analíticos para a escolha das técnicas a serem utilizadas;
- características e limitações dos processos e equipamentos de concentração passíveis de serem adotados;
- especificações a que se destina o bem mineral;
- compreensão dos processos de transformação e beneficiamento dos minerais de interesse.

Os tipos de minério são definidos previamente no campo, mas devem ser checados e melhor detalhados através de sua caracterização mineralógica e tecnológica. Segundo Born & Kahn (1990), as tipologias de minérios são definidas primeiramente com base em critérios geológico-mineralógicos, numa fase inicial; posteriormente, após realizados estudos tecnológicos para uma avaliação das características do minério frente ao beneficiamento, efetua-se uma revisão dos critérios estabelecidos para a individualização dos tipos de minérios, com a confirmação dos tipos inicialmente estabelecidos ou a combinação entre estes. O reconhecimento da tipologia dos minérios é essencial para orientar a coleta de amostras-tipo representativas destinadas a estudos tecnológicos e auxiliar na definição dos métodos a serem empregados nestes estudos.

De modo geral, os estudos de caracterização obedecem a uma seqüência lógica de procedimentos, iniciando-se pela análise textural, principalmente no caso de rocha fresca, na qual é possível verificar o tamanho dos cristais do mineral de interesse. Após esta fase inicial, deve-se proceder com a cominuição da amostra com o objetivo de adequar a granulação do material aos estudos subsequentes. A seguir é feita a observação do comportamento do material na etapa de preparação, através da distribuições em massa e de elementos/óxidos das frações granulométricas geradas em operações de peneiramento e/ou classificação em ciclones, dentre outros métodos. Este comportamento refletirá nas

características como textura e estrutura, que definem a granulação e forma de associação das fases minerais presentes (Sant'Agostino & Kahn, *op. cit.*).

A distribuição dos elementos/óxidos de interesse na granulometria constitui um parâmetro importante e é obtido através da classificação granulométrica conjugada com análises químicas. Nos materiais em que todo o elemento de interesse esteja contido numa única fase mineral, este parâmetro irá refletir o comportamento do próprio mineral útil na granulometria. No entanto, casos nos quais existam duas ou mais fases que contenham o elemento de interesse são relativamente freqüentes, como por exemplo minérios de titânio e fosfato.

Não é incomum que as fases minerais portadoras do elemento de interesse apresentem comportamentos distintos frente aos processos de beneficiamento, de modo que algumas dessas fases não respondem de forma favorável a esses processos ou não sejam passíveis de uso posterior, constituindo, dessa forma, minerais de ganga. Assim, torna-se importante a determinação dos minerais que contêm o elemento útil, sua partição nas diversas fases e a distribuição destas fases na granulometria.

Com base na distribuição do elemento de interesse, são selecionadas frações granulométricas para a retirada de alíquotas destinadas a análises mineralógicas mais detalhadas.

Após as etapas de preparação da amostra, inicia-se então a etapa de separações minerais. Nesta fase os métodos de separação devem ser definidos de acordo com a granulometria da amostra e propriedades físicas diferenciadoras do(s) mineral(is) de interesse em relação à ganga, que podem ser: peso específico, susceptibilidade magnética, condutibilidade elétrica, hidrofobicidade/hidrofilicidade, cor, solubilidade, etc. Os métodos de separações minerais em laboratório compreendem: métodos densitários, magnéticos, elétricos, flotação, catação manual (*sorting*), dissolução efetiva, etc. Dependendo da composição mineralógica da amostra, pode-se optar pela utilização de um ou mais destes métodos, de forma seqüenciada. Um roteiro básico de procedimento experimental para caracterização de minérios é apresentado no Anexo 3.

Um aspecto a ser destacado durante as etapas de caracterização é a aferição da qualidade de operação, recorrendo-se aos balanços de massa por comparação do peso alimentado nos ensaios e a somatória dos pesos dos produtos, considerando-se as perdas aceitáveis abaixo de 5%, idealmente abaixo de 2% da massa total empregada em cada ensaio (Sant'Agostino & Kahn, *op. cit.*).

Análises químicas são realizadas em todos os produtos gerados: amostra inicial, frações granulométricas e produtos das separações minerais. Este é um outro aspecto importante, pois é através da comparação da análise química da amostra inicial (valores

dosados) e dos teores médios calculados a partir das análises dos produtos gerados a partir de sua preparação e processos de separação é que se procede à aferição da qualidade do conjunto manuseio de amostras / análises químicas (teores calculados através de ponderação com as massas de cada produto). O limite máximo aceitável para variação entre os valores dosados e calculados é da ordem de 10% relativos.

A difração de raios X constitui uma ferramenta extremamente importante para identificação de espécies minerais e é amplamente utilizada na caracterização de matérias primas minerais. Neste trabalho foi adotado o método do pó, adequado para determinação de maiores constituintes da assembléia mineral, sendo tanto mais conclusivo na identificação quanto menor o número de espécies presentes. As amostras são pulverizadas numa granulometria abaixo de 0,037 mm e prensadas em porta amostras apropriados.

A microscopia óptica é o recurso básico e tradicional de observação direta e identificação de minerais. Na caracterização, são observadas essencialmente montagens de partículas minerais classificadas por fração granulométrica com ou sem separações minerais; as análises de fragmentos de rocha são efetuadas previamente à etapa de cominuição da amostra → análise textural.

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) também pode ser utilizada como identificação mineral. As imagens produzidas num microscópio eletrônico são resultantes da interação de um feixe de elétrons com a amostra permitindo magnificações usuais de 30 a 100.000 vezes. Para utilização desta técnica analítica as amostras observadas podem estar na forma de grãos ou partículas coladas a um suporte, ou então, em lâminas delgadas polidas ou ainda seções polidas. Na preparação destas amostras, faz-se necessário o seu recobrimento por uma película condutora (usualmente C, Au ou Pt). Podem ser obtidas imagens que destacam diferentes características do material analisado, conforme a necessidade. As imagens geradas com detector de elétrons retroespalhados (*backscattered electrons* - BSE) permitem a distinção entre as espécies minerais pela diferença de número atômico médio dos elementos constituintes, através de tons de cinza. Já o detector de elétrons secundários gera imagens que trazem informações sobre a topografia das partículas do material analisado. Nas imagens obtidas através do detector de catodoluminescência é possível observar diferenças na composição de uma mesma partícula de um determinado mineral. Com um espectrômetro por dispersão de energia (EDS) acoplado ao MEV é possível ainda analisar pontualmente ou em uma determinada área a composição da(s) fase(s) mineral(is) observada(s).

Após a identificação dos minerais, obtêm-se na literatura suas composições teóricas e as propriedades físicas inerentes a eles, assim como substituições por elementos menores constituintes. A quantificação dos minerais presentes possui caráter estimativo e é efetuada através da conjugação de identificações das fases com os dados de ensaios de separações

minerais e respectivas análises químicas. Entretanto, não é incomum a situação em que esses recursos não sejam suficientes para caracterizar adequadamente ou quantificar os minerais de interesse e/ou ganga associada, recorrendo-se, então, a técnicas específicas (Sant'Agostino & Kahn, *op. cit.*).

4.4.1 Caracterização do minério de fosfato de Salitre

Braz (2001) foi um dos pioneiros a realizar estudos de caracterização mineralógica e tecnológica do minério fosfato de Salitre, em amostras provenientes de furos de sondagem, numa área ainda em fase pesquisa mineral naquela época, nas porções oeste e sudoeste do complexo, em áreas de interesse do Grupo Galvani.

Braz (2003) em sua dissertação de mestrado detalha estes estudos e discute que o conjunto de amostras estudadas podem ser consideradas como um tipo único de minério para fins de processamento mineral, visto que estas não apresentaram diferenças relevantes entre si.

Braz *et al.* (2004) apresentam resultados de estudos por microscopia eletrônica de varredura e óptica, indicando a presença de duas fases distintas de apatitas, uma considerada primária, relacionada à intrusão do complexo alcalino, e outra secundária associada a eventos hidrotermais e/ou alteração supergênica. Imagens de elétrons retroespalhados (BSE) e de catodoluminescência (CL) aliadas a microanálises químicas permitiram distinguir facilmente estas duas fases, sendo que a apatita primária possui teores mais elevados de SrO e de ETR, enquanto que a apatita secundária mostra maiores conteúdos de F, Fe₂O₃ e Al₂O₃.

Araújo *et al.*, (2004) apresentam resultados de caracterização tecnológica realizada em minério de fosfato localizado na porção central do Complexo de Salitre em área de interesse da Fosfertil. O estudo teve como objetivo estudar amostras compostas de furos de sondagem referentes às médias previstas para o primeiro e os dez anos de exploração, conforme o plano de aproveitamento econômico preliminar então elaborado pela empresa Fosfertil. As amostras estudadas apresentaram teores médios de P₂O₅ na faixa de 12 a 15% e entre 36 e 40% para os concentrados obtidos a partir de separações minerais. Os autores verificaram ainda que o comportamento tecnológico das amostras é muito semelhante, apresentando somente diferenças mais expressivas no que tange aos menores constituintes (anatásio, fosfatos secundários, feldspato, holandita, perovskita e pirocloro0. Destaca-se que para a amostra de 10 anos foi detectada ainda a presença de carbonatos (calcita e/ou dolomita) e piroxênio/anfibólio.

Kahn *et al.*, (2004) realizaram um trabalho de pesquisa que exemplifica bem a aplicação dos estudos de caracterização visando à otimização dos processos de

beneficiamento mineral. Neste trabalho os autores efetuaram estudos de caracterização tecnológica de um foscorito, que é um dos tipos de minério encontrado na porção central do Complexo de Salitre, com enfoque para a avaliação de uma alternativa de processamento através de separação magnética a seco. Devido ao seu alto teor de P e sua mineralogia singular, essencialmente apatita e magnetita, além de minerais acessórios como ilmenita, perovskita, argilominerais e goethita, esses estudos permitiram sugerir um estágio de produção inicial via separação magnética a seco, enquanto pesquisas detalhadas e estudos de viabilidade para uma mineração de larga escala eram realizados.

4.5 A variabilidade composicional da apatita

A apatita é um dos minerais não silicatados mais abundantes na crosta e, atualmente, o único mineral de minério de fosfato com interesse econômico. Os depósitos de fosfato podem ser de origem magmática (complexos alcalino-carbonatíticos), sedimentar (fosforitos marinhos) ou de acumulação orgânica (guano). Através do intemperismo, estes materiais podem enriquecer-se de maneira significativa, formando assim os depósitos de acumulação laterítica. No Brasil, os complexos alcalino-carbonatíticos são responsáveis pelos maiores depósitos; já os fosfatos de origem sedimentar compreendem recursos de pequena expressão e de difícil exploração.

A flúor-hidroxi-apatita é o mineral do grupo da apatita mais freqüentemente associado aos carbonatitos, e como acessório nas rochas ígneas em geral, de fórmula simplificada $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{F}, \text{OH})_2$. Entretanto, muitos substituintes têm sido encontrados, em todos os sítios cristaloquímicos, não somente em apatita de carbonatitos, mas de todos os ambientes geológicos e mesmo em materiais orgânicos de estrutura apatítica (Toledo & Pereira, 2001).

A composição da apatita depende do meio de formação, mas é também influenciada pela necessidade de compensação de cargas quando ocorrem substituições entre íons de carga diferente em relação à apatita ideal. Entre os ânions substituintes para o fosfato, destaca-se o carbonato, cuja entrada provoca modificações estruturais e exige mecanismos de compensação de cargas. A fluorapatita cristaliza no sistema hexagonal, no entanto, as substituições podem modificar muito sua estrutura. Quando se enriquece em CO_3^{2-} , pode tornar-se monoclínica ou mesmo triclínica, como resultado de deformações provocadas pela substituição.

A variabilidade de composição, admitindo várias substituições, resulta em diferenças de densidade, índice de refração, birrefringência, susceptibilidade magnética, solubilidade etc. No sítio XO_4^{3-} o conteúdo aniônico pode incluir: SiO_4^{4-} , SO_4^{4-} , VO_4^{3-} , AsO_4^{3-} , CrO_4^{2-} e ainda outros (Toledo & Pereira, *op. cit.*).

O sítio do ânion monovalente F^- pode também ser ocupado principalmente por OH^- , Cl^- ou CO_3^{2-} . Os principais minerais do grupo da apatita de ocorrência natural, com fórmulas simplificadas, além de combinações destes tipos, em proporções muito variadas, são:

- fluorapatita $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$ e flúor-hidroxi-apatita $Ca_{10}(PO_4)_6(F, OH)_2$ - ocorre principalmente como apatita de origem ígnea, com substituições importantes do F^- por OH^- , e com teores variados em CO_3^{2-} (em substituição ao PO_4^{3-} e não ao F^-), mais baixos que em apatita sedimentar.
- hidroxiapatita $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ - tem ocorrência típica na alteração supérgena de materiais sob influência de guano (excrementos de aves) e, junto com carbonato-hidroxiapatita, constitui a matéria mineral de ossos e dentes atuais.
- clorapatita $Ca_{10}(PO_4)_6Cl_2$ - menos comum que as outras variedades, pode ocorrer em rochas ígneas básicas, em rochas afetadas por metassomatismo com cloro, e ainda em alguns ambientes sedimentares.
- carbonato-fluorapatita $(Ca,Na,Mg)_{10}(PO_4,CO_3)_6(F,OH)_2$ - típica de ambientes sedimentares, com F^- e CO_3^{2-} acima de 1% em peso (a antiga denominação francolita não é mais válida).
- carbonato-hidroxiapatita $Ca_{10}(PO_4,CO_3)_6(OH)_2$ - ocorre principalmente como a matéria mineral de ossos e dentes. Para esse tipo de ocorrência de origem sedimentar, são citadas principalmente substituições por Na, Mg e Sr.

No conteúdo catiônico o Ca^{2+} pode ser substituído por Na^+ , Mg^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , U^{4+} , U^{6+} , K^+ , Cd^{2+} , ETR^{2+} , ETR^{3+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Be^{2+} e ainda outros. Al^{3+} poderia substituir tanto Ca^{2+} como P^{5+} . O ânion CO_3^{2-} pode ocupar tanto a posição dos ânions F^- ou OH^- (tipo A) como a posição do PO_4^{3-} (tipo B). (Toledo & Pereira, *op. cit.*).

Além do flúor, que é o ânion mais comum no sítio monovalente, podem ocupar esta posição os ânions OH^- e Cl^- , formando membros de solução sólida.

Na apatita de carbonatitos, a substituição por ETR é muito importante, refletindo a composição do magma e sua evolução. A substituição do Ca por ETR na apatita ocorre sempre associada a outras substituições, para que haja compensação das cargas.

Entre outros elementos que podem ocupar o sítio do Ca, Sr é um dos principais. O Ba também pode estar presente, mas em quantidades muito menores que o Sr (Toledo & Pereira, *op. cit.*).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram estudadas amostras compostas de furos de sondagem representativas de tipos de minério existentes na área de interesse da Fosfertil no Complexo de Salitre.

Trata-se de um conjunto de seis amostras compostas segundo critérios da própria Fosfertil, cada qual com massa total em torno de 5 kg, identificadas neste relatório como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Relação de amostras estudadas

Amostra	Tipologia
APAT	Apatitito
FIT	Foscorito intemperizado
FST	Foscorito silicificado
ZMT	Zona de mistura
PIT	Piroxenito intemperizado
PXT	Piroxenito

Os principais equipamentos utilizados no procedimento experimental adotado podem ser observados no Anexo 4.

As atividades de caracterização desenvolvidas neste projeto compreenderam:

- Amostragem secundária, através de pilhas de homogeneização ou amostrador Jones, para coleta de alíquotas representativas destinadas aos ensaios de caracterização.
- Cominuição do material em moinho de rolos em circuito fechado com peneira de abertura 0,595 mm (28 malhas), até a obtenção de todo o material passante nessa peneira. Na seqüência, cada amostra foi cominuída em moinho de barras até obtenção de cerca de 7% de material retido em 0,210 mm (condição especificada para beneficiamento mineral).
- Classificação granulométrica, através de peneiramento a úmido do produto da moagem simulada ("*produto de moagem*") em 0,210 mm (65 malhas Tyler), 0,149 mm (100 malhas), 0,074 mm (200 malhas), 0,037mm (400 malhas) e 0,020 mm (635 malhas);
- Separações minerais através de líquido denso, tetra-brometano (TBE), e separador magnético Frantz, modelo de barreiras, de modo a individualizar as várias espécies minerais presentes. Apenas para as frações superiores a 0,020 mm, foram objeto de separações minerais em escala de bancada,

utilizando TBE com densidade de $2,95 \text{ g/cm}^3$; as separações em Frantz restringiram-se aos produtos pesados em líquido denso, empregando-se duas intensidades distintas. Desta forma, foram gerados os seguintes produtos:

- flutuado, com densidade inferior a $2,95 \text{ g/cm}^3$;
 - afundado magnético $+0,0 \text{ A}$ (1 KGauss);
 - afundado fracamente magnético $+0,3 \text{ A}$ (4 kGauss);
 - afundado não magnético $-0,3 \text{ A}$;
- Análises químicas com determinações de P_2O_5 , CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , TiO_2 , BaO , através da técnica de fluorescência de raios X (FRX) de todos os produtos obtidos mediante pérolas fundidas (granulometria e separações minerais), além de perda ao fogo.
 - Identificação da assembléia mineral presente nas amostras, através de difratometria de raios X (DRX) dos produtos de separações minerais.
 - Identificação e caracterização das diversas fases minerais presentes, através de microscopias óptica (MO) e eletrônica de varredura com microanálise acoplada (MEV/EDS), com particular interesse na forma de ocorrência e associações minerais da apatita.
 - Quantificação estimativa das fases minerais por fração granulométrica através da interação de resultados de análises químicas e mineralógicas (DRX, MO e MEV/EDS) para os produtos de separações minerais.
 - Cálculo da partição do fósforo entre a apatita e fosfatos secundários (quando existentes).

A seqüência das principais atividades relacionadas à caracterização do material em estudo descritas anteriormente podem ser ilustradas através do fluxograma da figura 4.



Figura 4 - Fluxograma de trabalho para a caracterização mineralógica e química de amostras.

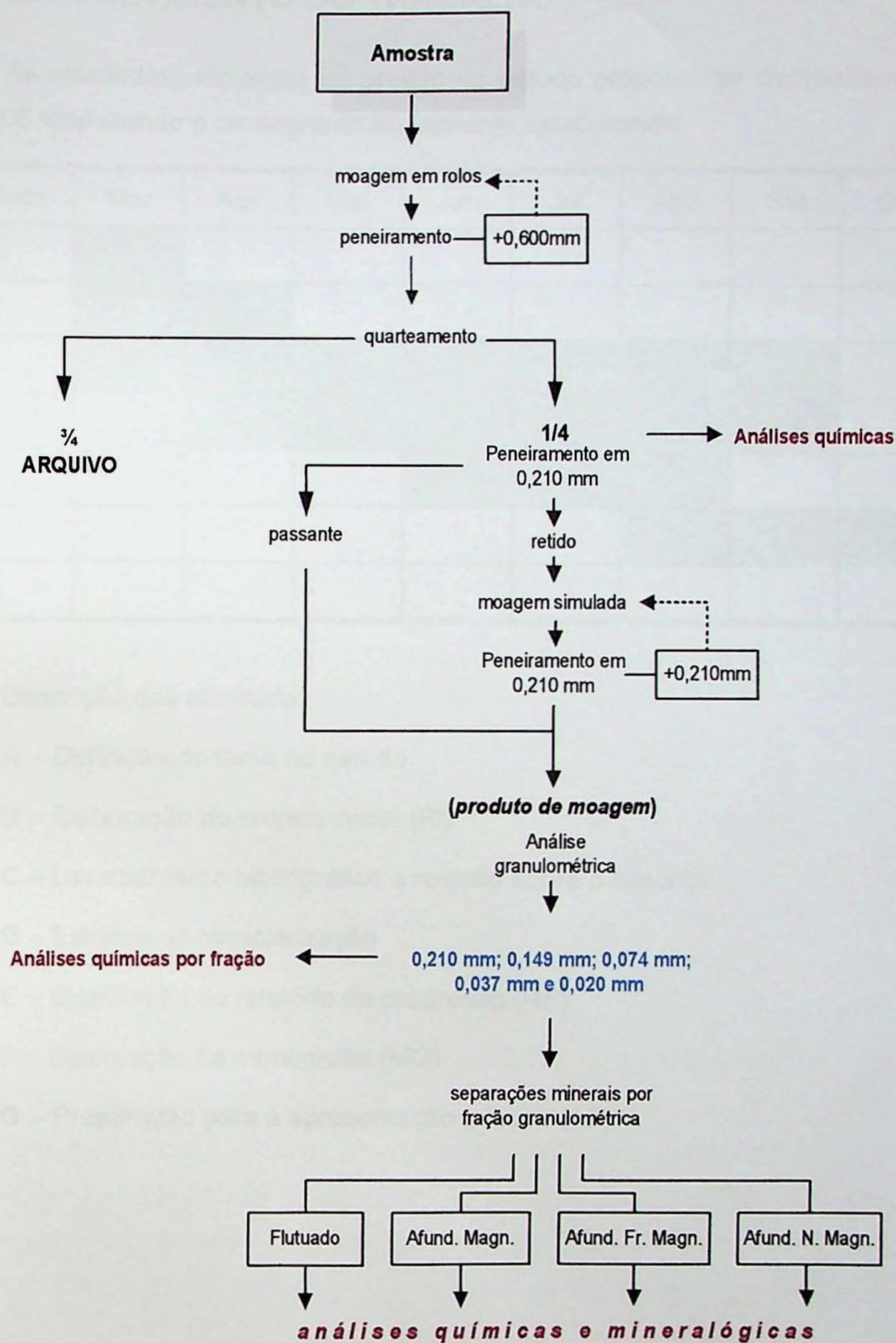


Figura 4 - Fluxograma do procedimento experimental adotado.

6 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

As atividades referentes ao projeto de estudo proposto se distribuíram ao longo do ano 2006 respeitando o cronograma inicialmente estabelecido:

Atividade	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
A									
B									
C									
D									
E									
F									
G									

Descrição das atividades

A – Definição do tema de estudo

B – Elaboração do projeto inicial (PI)

C – Levantamento bibliográfico e revisão sobre o assunto

D – Estudos de caracterização

E – Elaboração do relatório de progresso (RP)

F – Elaboração da monografia (MG)

G – Preparação para a apresentação pública (AP)

7 RESULTADOS OBTIDOS

7.1 Composição química das amostras estudadas

As análises químicas globais das seis amostras estudadas revelam características importantes sobre os diferentes tipos de minério relacionados com a variação litológica / intempérica desta área do Complexo, como mostra a tabela 2, a seguir:

Tabela 2 - Composição química das amostras estudadas.

Amostra	Teores (% em peso)									Relação CaO/P ₂ O ₅
	P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	BaO	PF	
APAT	25,2	33,3	1,73	0,81	27,2	1,36	1,45	0,96	3,19	1,32
FIT	16,0	19,8	3,79	2,44	41,0	2,86	4,10	1,18	4,06	1,24
FST	13,5	20,7	19,5	2,85	23,2	5,00	5,48	0,83	6,30	1,53
ZMT	14,7	21,3	13,2	3,33	26,9	3,48	6,35	0,92	6,91	1,44
PIT	11,7	14,6	21,7	4,58	28,6	1,41	8,45	1,06	5,82	1,25
PXT	9,0	19,6	24,1	2,57	18,2	11,1	5,28	0,68	8,56	2,18

A amostra APAT apresenta o maior teor de P₂O₅ (25,2%) e também de CaO (33,3%), devido à grande quantidade de apatita nela contida (foscorito ou apatitito).

A amostra FIT apresenta uma composição química bastante peculiar: o mais alto teor de Fe₂O₃ (41,0%) observado e teores expressivos de P₂O₅ (16,0%) e CaO (19,8%). Quando comparada com a amostra FST, o teor de P₂O₅ (13,5%) desta última, assim como de Fe₂O₃ (23,2%), são menores, enquanto que o teor de CaO (20,7%) é maior. Estas diferenças podem ser explicadas pelo fato de que a amostra FIT encontra-se mais intemperizada que a amostra FST, pois como se sabe, o Fe é um elemento pouco móvel na natureza, por isso se acumula, assim como o P e ao contrário do Ca, que é um elemento mais facilmente lixiviado. Os altos teores de P₂O₅ e Fe₂O₃ presentes nestas duas amostras confirmam a mineralogia essencial dos foscoritos – apatita e magnetita. O valor de SiO₂ (19,5%) na amostra FST é o motivo pelo qual esta amostra foi definida como um foscorito silicificado.

De maneira análoga à comparação feita anteriormente, pode-se fazer o mesmo com as amostras PIT e PXT. A amostra PXT é a que apresenta o mais baixo teor de P₂O₅ (9,0%) e os maiores teores de SiO₂ (24,1%), MgO (11,1%) e significativo teor de CaO (19,6%). Isto nos remete a composição de uma rocha piroxenítica. Já a amostra PIT, mais intemperizada, apresenta teores mais altos de P₂O₅ (11,7%) e Fe₂O₃ (28,6%), e teores mais baixos de CaO (14,6%) e SiO₂ (21,7%), em relação a amostra anterior. A amostra PIT é a que apresenta o maior teor de Al₂O₃ (4,58%), o que pode indicar presença de argilominerais secundários;

também é nessa mostra que se observa o maior teor de TiO_2 (8,45%), sugerindo a presença de minerais como ilmenita e/ou perovskita, dentre outros.

A amostra ZMT apresenta valores intermediários em relação às demais amostras, pois se trata de um tipo de minério que é uma mistura dos outros tipos definidos na amostragem.

As amostras APAT, FIT e PIT apresentam relação $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ abaixo do valor estequiométrico teórico para a apatita, que é 1,33. Os valores dessa relação para as amostras citadas anteriormente são, respectivamente, 1,32, 1,24 e 1,25. Esta característica pode indicar a presença de fosfatos secundários, provavelmente da série gorceixita-goyasita, já que nessas amostras também se verificam os maiores teores de BaO. Não se pode hoje precisar se o Ba contido nas demais amostras está associado à presença de barita ou eventuais fosfatos secundários.

7.2 Distribuição de massa e teores por fração granulométrica

As distribuições de massa e dos teores de P_2O_5 , SiO_2 e Fe_2O_3 para as seis amostras estudadas são mostradas graficamente na figura 5.

As amostras apresentam comportamento geral muito semelhante, principalmente em relação aos teores de P_2O_5 e SiO_2 . Em média cerca de 90 a 95% em massa bem como do conteúdo dos diversos óxidos analisados associam-se ao passante em 0,210 mm.

Notam-se também distribuições distintas com relação às massas e teores de Fe_2O_3 . Como evidenciado no gráfico de distribuição de massas, as amostras FST, ZMT, PIT e PXT apresentam valores da ordem de 30 a 34% passantes em 0,020 mm. Já para APAT e FIT apenas 20-24% da massa total é passante nesta mesma abertura.

Os teores de P_2O_5 têm comportamento semelhante ao da distribuição das massas, porém com conteúdos da ordem de 91 a 97% dos totais contidos abaixo de 0,210 mm, enquanto que as porções contidas nas lamas (-0,020 mm) representam de 17 a 22%.

A distribuição de SiO_2 para todas as amostras é da ordem de 90 a 95% dos totais, contidos abaixo de 0,210 mm; já para a fração -0,020 mm esses conteúdos representam 30 a 33% nas amostras PXT e FST, elevando-se nas demais para 36 a 42%.

A distribuição do Fe_2O_3 é muito semelhante para as amostras FIT e APAT, com conteúdos da ordem de 21-23% dos totais contidos sendo carregados pelas lamas (-0,020 mm), enquanto que nas demais amostras estes valores se elevam para 35 a 40%.

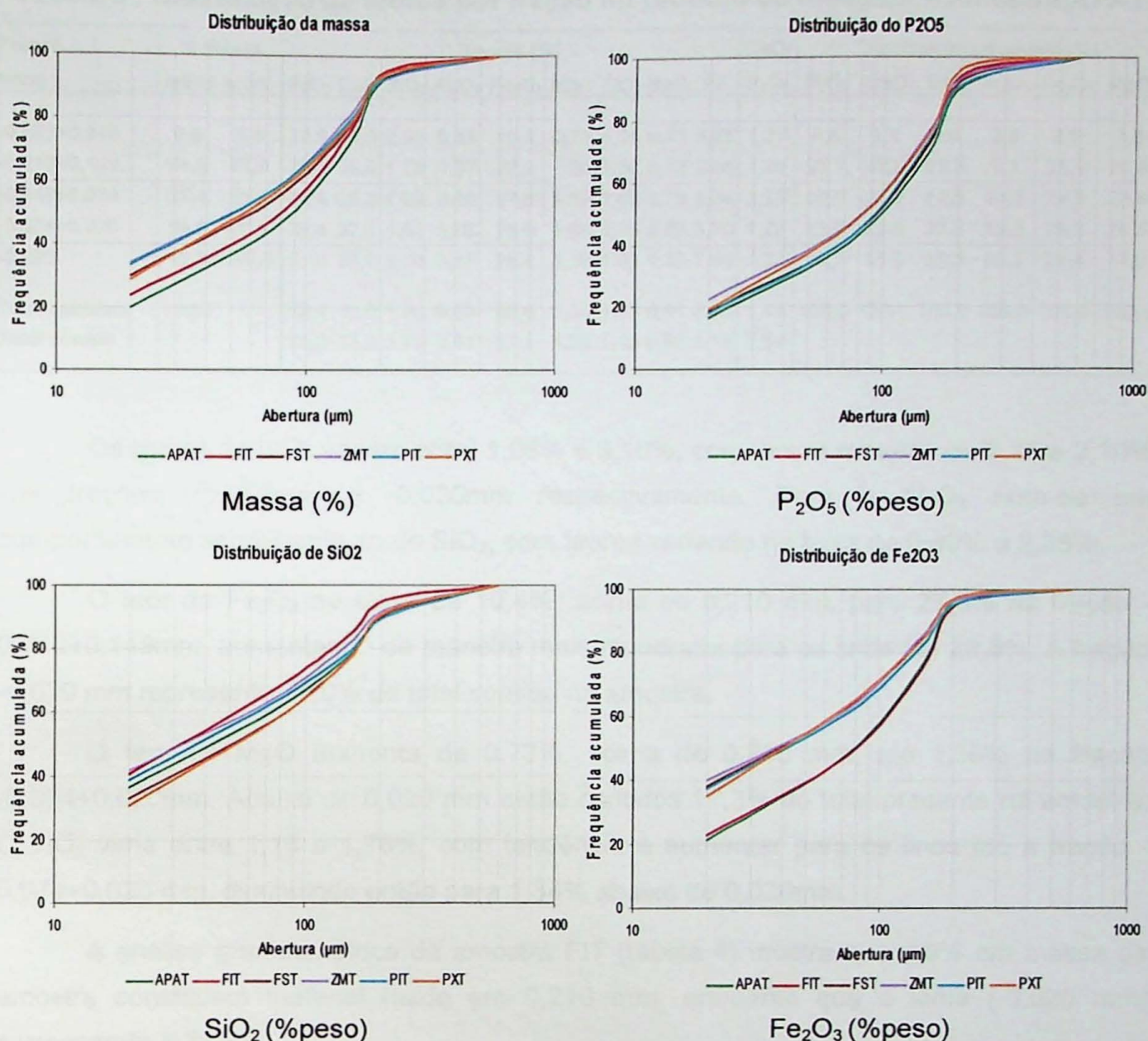


Figura 5 - Curvas de distribuição de teores e de massa acumulados abaixo para o produto de moagem das seis amostras.

7.3 Análise granuloquímica das amostras estudadas

A seguir são expostas as tabelas 2 a 7 com as distribuições dos teores por fração granulométrica e também a análise destes dados, para cada amostra.

Os resultados de análise granulométrica da amostra APAT (tabela 3) indicam que 6,8% em massa da amostra constituem material retido em 0,210 mm, enquanto que a lama (-0,020 mm) corresponde a 19,9%.

Os teores de P₂O₅ situam-se entre 21,3% e 32,5%, com tendência geral a diminuir em direção aos finos. Na fração -0,020 mm (teor de 21,3% de P₂O₅) são carregados 16,7% do total de P₂O₅ contido da amostra. A relação CaO/P₂O₅ está compreendida entre 1,23 (fração -0,020 mm) e 1,37, com tendência geral à diminuição para os finos, mantendo-se, no entanto, igual ou superior a 1,33 nas frações acima de 0,074 mm.

Tabela 3 - Distribuição de teores por fração no produto de moagem – Amostra APAT

Fração (mm)	% Massa retida acum.		Teores (%)										CaO/	Distribuição no ensaio (%)						
			P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	BaO	PF	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO		
-0,595+0,210	6,8	6,8	32,5	44,5	2,25	0,49	10,4	0,73	1,15	0,71	3,81	1,37	8,8	9,1	9,0	3,9	2,6	3,8		
-0,210+0,149	21,0	27,9	26,7	36,0	1,08	0,37	27,0	1,32	1,58	0,73	2,58	1,35	22,1	22,6	13,3	9,1	21,1	20,8		
-0,149+0,074	27,4	55,3	26,4	35,2	1,09	0,44	27,6	1,39	1,60	0,79	2,04	1,33	28,5	28,9	17,5	14,3	28,2	28,6		
-0,074+0,020	24,8	80,1	24,4	32,1	1,63	0,66	28,8	1,59	1,76	0,88	3,70	1,32	23,9	23,8	23,8	19,3	26,7	29,5		
-0,020	19,9	100,0	21,3	26,2	3,10	2,28	28,8	1,16	1,34	1,35	7,44	1,23	16,7	15,6	36,3	53,3	21,4	17,3		
Total calculado	100,0		25,4	33,5	1,70	0,85	26,8	1,34	1,55	0,91	3,76	1,32	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
Total dosado			25,2	33,3	1,73	0,81	27,2	1,36	1,45	0,96	3,19	1,32								

Os teores de SiO₂ variam entre 1,08% e 3,10%, com teores maiores de 2,25 e 3,10% nas frações +0,210mm e -0,020mm respectivamente. Para o Al₂O₃ nota-se um comportamento semelhante ao do SiO₂, com teores variando na faixa de 0,49% a 2,28%.

O teor de Fe₂O₃ se eleva de 10,4%, acima de 0,210 mm, para 27,0% na fração - 0,210+0,149mm, aumentando de maneira mais moderada para os finos até 28,8%. A fração -0,020 mm representa 21,0% do total contido na amostra.

O teor de MgO aumenta de 0,73%, acima de 0,210 mm, até 1,59% na fração -0,074+0,020mm. Abaixo de 0,020 mm estão contidos 17,3% do total presente na amostra. O TiO₂ varia entre 1,15 e 1,76%, com tendência à aumentar para os finos até a fração - 0,074+0,020 mm, diminuindo então para 1,34% abaixo de 0,020mm.

A análise granulométrica da amostra FIT (tabela 4) mostra que 4,8% em massa da amostra constituem material retido em 0,210 mm, enquanto que a lama (-0,020 mm) corresponde a 23,6%.

Tabela 4 - Distribuição de teores por fração no produto de moagem – Amostra FIT

Fração (mm)	% Massa retida acum.		Teores (%)										CaO/ P ₂ O ₅	Distribuição no ensaio (%)						
			P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	BaO	PF	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO		
-0,595+0,210	4,8	4,8	17,8	24,4	3,40	0,92	36,5	2,93	5,42	0,84	3,60	1,37	5,3	5,9	4,5	2,0	4,4	5,1		
-0,210+0,149	19,7	24,5	17,8	23,6	2,08	0,91	41,7	2,80	4,72	0,94	2,02	1,33	21,9	23,5	11,4	8,0	20,5	20,0		
-0,149+0,074	27,6	52,2	17,8	23,4	2,30	0,94	40,0	2,89	4,53	0,92	2,80	1,31	30,7	32,7	17,6	11,5	27,5	28,9		
-0,074+0,020	24,3	76,4	15,7	19,8	3,85	1,66	40,8	3,27	4,80	1,02	4,35	1,26	23,8	24,3	25,9	17,9	24,7	28,7		
-0,020	23,6	100,0	12,5	11,4	6,23	5,77	39,2	2,03	3,51	1,74	10,2	0,92	18,3	13,6	40,7	60,6	23,0	17,3		
Total calculado	100,0		16,0	19,8	3,61	2,25	40,2	2,76	4,43	1,14	4,81	1,23	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
Total dosado			16,0	19,8	3,79	2,44	41,0	2,86	4,10	1,18	4,06	1,24								

Os teores de P₂O₅, para o material deslamado (+0,020 mm), situam-se entre 15,7% e 17,8%; abaixo dessa fração esse teor diminui para 12,5%, o que corresponde a 18,3% do total de P₂O₅ contido na amostra.

A relação $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ acima de 0,149 mm situa-se entre 1,33 e 1,37; para o intervalo -0,149+0,020 mm diminui para valores entre 1,26 e 1,31, atingindo 0,92 na fração -0,020 mm.

Os teores de SiO_2 acima de 0,020 mm estão compreendidos entre 2,08 e 3,85% com tendência geral a aumentar em direção aos finos, a partir da fração -0,210+0,149 mm; abaixo dessa fração, esse teor eleva-se para 6,23%, o que corresponde a cerca de 41% do total presente na amostra. Os teores de Al_2O_3 acima de 0,020 mm estão entre 0,92 e 1,66%, elevando-se para 5,8% abaixo dessa fração (~61% do total presente na amostra).

Os teores de Fe_2O_3 oscilam entre 36,5% e 41,7%, com maior teor na fração -0,210+0,149 mm (41,7%) e menor teor acima de 0,210 mm. Abaixo de 0,020 mm estão contidos 23,0% do total de Fe_2O_3 da amostra.

O MgO acima de 0,020 mm apresenta teores variando entre 2,80 e 3,27%, com maior teor na fração -0,074+0,020 mm, e menor valor abaixo de 0,020 mm; teores de TiO_2 acima de 0,020 mm variam entre 4,80% e 5,42%, diminuindo abaixo dessa fração para 3,51%. Já os teores de BaO estão compreendidos entre 0,84 e 1,74%, diminuindo em direção aos finos.

Para a amostra FST (tabela 5) a análise granulométrica indica que 6,5% em massa da amostra constituem produto retido em 0,210 mm e 30,0% é produto passante em 0,020 mm.

Tabela 5 - Distribuição de teores por fração no produto de moagem – Amostra FST

Fração (mm)	% Massa retida acum.		Teores (%)										CaO/ P ₂ O ₅	Distribuição no ensaio (%)						
			P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	BaO	PF	P ₂ O ₅		CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO		
-0,595+0,210	6,5	6,5	14,0	24,3	27,9	2,69	8,16	7,28	6,19	0,55	4,77	1,73	6,7	7,7	9,3	6,0	2,3	9,6		
-0,210+0,149	15,9	22,4	18,0	27,8	16,9	1,23	18,8	3,97	6,14	0,63	3,76	1,54	21,3	21,6	13,8	6,7	13,1	12,9		
-0,149+0,074	23,6	46,0	16,9	25,8	16,2	1,33	21,4	4,22	6,48	0,68	3,51	1,53	29,6	29,6	19,7	10,7	22,0	20,3		
-0,074+0,020	24,2	70,1	13,4	20,7	19,7	1,99	23,3	5,35	6,91	0,75	4,60	1,55	23,9	24,3	24,4	16,4	24,6	26,3		
-0,020	29,9	100,0	8,32	11,6	21,4	5,88	29,2	5,10	3,92	0,96	12,3	1,39	18,5	16,8	32,9	60,2	38,0	31,0		
Total calculado	100,0		13,5	20,5	19,5	2,92	22,9	4,91	5,75	0,76	6,52	1,52	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
Total dosado			13,5	20,7	19,5	2,85	23,2	5,00	5,48	0,83	6,30	1,53								

Os teores de P_2O_5 acima de 0,020 mm variam de 13,4 a 18,0%, com tendência a diminuir em direção aos finos, a partir da fração -0,149+0,074 mm. A fração -0,020 mm representa 18,5% do total de P_2O_5 contido na amostra, com teor 8,32%. A relação $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ é elevada para todo o intervalo granulométrico, estando compreendida entre 1,39 na fração -0,020 mm e 1,73 na fração -0,595+0,210 mm.

Os teores de SiO_2 para o intervalo -0,210+0,074 mm são da ordem de 16,0 a 17,0% elevando-se a 21,4% nos finos (-0,020 mm), sendo esta fração responsável por 32,9% do

total de SiO_2 na amostra. Acima de 0,210 mm atinge 27,9%. Os teores de Al_2O_3 , para o material acima de 0,020 mm estão compreendidos entre 1,23 e 2,69%, atingindo 5,88% abaixo dessa fração, o que corresponde a 60,2% do total de Al_2O_3 presente na amostra.

O teor de Fe_2O_3 acima de 0,210 mm é de 8,16% elevando-se consideravelmente abaixo dessa fração para valores compreendidos entre 18,8% e 29,2%, com tendência geral a aumentar para os finos; abaixo de 0,020 mm estão contidos 38,0% do total de Fe_2O_3 da amostra.

Os teores de MgO abaixo de 0,210 mm variam entre 3,97 e 5,35%, elevando-se para 7,28% acima dessa fração; abaixo de 0,020 mm estão contidos 31% do total de MgO da amostra com teor de 5,10%. Teores de TiO_2 acima de 0,020 mm variam pouco, situando-se entre 6,14 e 6,91%, diminuindo para 3,92% abaixo dessa fração.

A análise granulométrica da amostra ZMT (tabela 6) indica que 5,5% em massa da amostra constituem material retido em 0,210 mm, enquanto que a lama (-0,020 mm) corresponde a 34,3%.

Tabela 6 - Distribuição de teores por fração no produto de moagem – Amostra ZMT

Fração (mm)	% Massa		Teores (%)										CaO/ P ₂ O ₅	Distribuição no ensaio (%)						
	retida	Acum.	P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	BaO	PF	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO		
-0,595+0,210	5,5	5,5	16,1	27,1	18,4	1,58	15,8	3,99	8,87	0,64	4,29	1,68	6,0	7,0	7,8	2,6	3,2	6,5		
-0,210+0,149	13,5	18,9	19,3	29,1	10,1	1,28	22,5	2,94	7,31	0,74	4,72	1,51	17,6	18,5	10,5	5,2	11,4	11,7		
-0,149+0,074	23,8	42,8	18,5	27,7	9,65	1,37	25,8	3,16	7,49	0,77	3,98	1,49	29,9	31,1	17,7	10,0	23,1	22,3		
-0,074+0,020	23,0	65,7	15,5	23,0	12,5	1,95	25,6	3,85	7,91	0,83	6,14	1,48	24,1	24,9	22,1	13,6	22,1	26,2		
-0,020	34,3	100,0	9,63	11,5	15,8	6,56	31,3	3,29	4,71	1,10	14,6	1,19	22,4	18,5	41,9	68,5	40,2	33,4		
Total calculado	100,0		14,7	21,2	13,0	3,28	26,6	3,38	6,68	0,89	8,22	1,44	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
Total dosado			14,7	21,3	13,2	3,33	26,9	3,48	6,35	0,92	6,91	1,44								

Os teores de P_2O_5 acima de 0,020 mm estão compreendidos entre 15,5 e 19,3%, diminuindo abaixo dessa fração para 9,6%, o que corresponde a 22,4% do total de P_2O_5 contido da amostra. A relação $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ acima de 0,020 mm é elevada e está compreendida entre 1,48 e 1,68, tendendo a diminuir em direção aos finos; abaixo dessa fração diminui para 1,19.

Os teores de SiO_2 para o intervalo -0,210+0,020 mm situam-se entre 9,65 e 12,5%, elevando-se para 18,4% acima dessa fração e para 15,8% na fração -0,020 mm que corresponde a 41,9% do total contido na amostra. Os teores de Al_2O_3 acima de 0,020 mm estão compreendidos entre 1,28 e 1,95%, elevando-se para 6,56% abaixo dessa fração, o que representa 68,5% do total presente na amostra.

Os teores de Fe_2O_3 aumentam para os finos e estão compreendidos entre 18,8% e 31,3%. A fração -0,020 mm corresponde a 40,2% do total de Fe_2O_3 na amostra.

O teores de MgO situam-se entre 2,94 e 3,99%, sem tendência definida; a fração - 0,020 mm é responsável por 33% do total de MgO da amostra. Já os teores de TiO₂ estão compreendidos entre 4,71 e 8,87%, com tendência geral à diminuição para os finos.

Para a amostra PIT a análise granulométrica (tabela 7) indica que 7,1% em massa da amostra constituem produto retido em 0,210 mm e 33,3% é produto passante em 0,020 mm.

Tabela 7 - Distribuição de teores por fração no produto de moagem – Amostra PIT

Fração (mm)	% Massa		Teores (%)										CaO/	Distribuição no ensaio (%)						
	retida	Acum.	P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	BaO	PF	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO		
-0,595+0,210	7,1	7,1	13,7	19,7	29,8	1,58	17,4	1,48	11,3	0,74	2,52	1,43	8,4	9,7	9,9	2,5	4,4	7,4		
-0,210+0,149	13,6	20,7	15,6	20,9	17,6	1,51	27,0	1,16	10,8	0,84	2,68	1,34	18,4	19,9	11,3	4,5	13,1	11,3		
-0,149+0,074	22,0	42,7	16,2	21,4	15,3	1,76	27,5	1,32	10,5	0,83	2,51	1,32	30,8	33,0	15,8	8,6	21,6	20,8		
-0,074+0,020	24,0	66,7	11,8	15,2	21,7	3,32	27,3	1,72	10,8	0,91	4,10	1,29	24,4	25,4	24,5	17,6	23,4	29,4		
-0,020	33,3	100,0	6,26	5,19	24,6	9,10	31,5	1,31	5,42	1,03	13,4	0,83	18,0	12,1	38,6	66,9	37,5	31,1		
Total calculado	100,0		11,6	14,3	21,3	4,53	28,0	1,40	8,97	0,91	6,54	1,24	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
Total dosado			11,7	14,6	21,7	4,58	28,6	1,41	8,45	1,06	5,82	1,25								

Os teores de P₂O₅ acima de 0,020 mm estão compreendidos entre 11,8% e 16,2%, diminuindo na fração -0,020 mm para 6,26%, o que corresponde a 18,0% do total de P₂O₅ contido na amostra. A relação CaO/P₂O₅ acima de 0,020 mm varia entre 1,29 e 1,43, diminuindo em direção aos finos; abaixo de 0,020 mm essa relação diminui consideravelmente, chegando a 0,83.

Os teores de SiO₂ diminuem de 29,8% na fração acima de 0,210 mm até 15,3% na fração -0,149+0,074 mm e aumentam em direção aos finos. A fração -0,020 mm, com teor de 24,6%, contém 38,6% do total de SiO₂ da amostra.

Acima de 0,020 mm, os teores de Al₂O₃ estão compreendidos entre 1,51% e 3,32%, elevando-se para 9,10% abaixo dessa fração, que representa 66,9% do total de Al₂O₃ contido na amostra.

Os teores de Fe₂O₃ aumentam de 17,4% acima de 0,210 mm, mantendo-se constantes em torno de 27,0% no intervalo -0,210+0,020 mm, chegando a 31,5% abaixo de 0,020 mm, que corresponde a 37,5% do total de Fe₂O₃ contido na amostra.

Os teores de MgO variam entre 1,16 e 1,72%, enquanto que os de TiO₂ acima de 0,020 mm variam pouco, situando-se entre 10,5% e 11,3% e diminuem para 5,42% abaixo dessa fração.

Os resultados de análise granulométrica da amostra PXT (tabela 8) revelam que 5,6% em massa da amostra constituem material retido em 0,210 mm, enquanto que a lama (-0,020 mm) corresponde a 28,7%.

Tabela 8 - Distribuição de teores por fração no produto de moagem – Amostra PXT

Fração (mm)	% Massa retida acum.		Teores (%)										CaO/ P ₂ O ₅		Distribuição no ensaio (%)						
			P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	BaO	PF	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO			
-0,595+0,210	5,6	5,6	4,87	17,8	35,5	4,78	7,41	15,8	5,19	0,48	5,55	3,66	3,1	5,2	8,3	10,2	2,3	7,9			
-0,210+0,149	16,1	21,7	11,9	25,8	22,3	2,08	14,9	9,13	5,78	0,59	5,46	2,16	21,7	21,6	15,0	12,8	13,3	13,2			
-0,149+0,074	22,4	44,1	11,5	24,0	21,0	2,09	17,0	9,16	6,26	0,62	5,29	2,09	29,0	27,8	19,6	17,8	21,0	18,4			
-0,074+0,020	27,2	71,3	8,90	19,1	23,6	2,46	19,0	11,2	5,98	0,61	7,23	2,14	27,1	26,8	26,7	25,4	28,4	27,2			
-0,020	28,7	100,0	5,95	12,5	25,5	3,11	22,1	12,9	3,14	0,72	14,1	2,11	19,2	18,6	30,5	33,9	35,0	33,1			
Total calculado	100,0		8,90	19,3	24,0	2,63	18,1	11,1	5,15	0,63	8,39	2,17	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0			
Total dosado			9,00	19,6	24,1	2,57	18,2	11,1	5,28	0,68	8,56	2,18									

Os teores de P₂O₅ variam entre 4,87% e 11,9%, com tendência a diminuir em direção aos finos a partir da fração -0,210+0,149 mm. Na fração -0,020 mm, com teor de 5,95%, são carregados 19,2% do total de P₂O₅ contido na amostra. A relação CaO/P₂O₅ é elevada, oscilando de 2,09 a 2,16 abaixo de 0,210 mm, chegando até 3,66 acima dessa fração.

Os teores de SiO₂ abaixo de 0,210 mm variam entre 21,0% e 25,5%, elevando-se para 35,5% acima dessa fração, sendo que 30,5% do total de SiO₂ situa-se abaixo de 0,020 mm.

O Al₂O₃ apresenta teores entre 2,08% e 4,78%, aumentando para os finos, a partir da fração -0,210+0,149 mm; na fração -0,020 mm estão contidos 33,9% do total da amostra.

Os teores de Fe₂O₃ estão compreendidos entre 7,41% e 22,1%, com tendência a aumentar em direção aos finos; abaixo de 0,020 mm estão contidos 35,0% do total da amostra.

O MgO abaixo de 0,210 mm varia entre 9,13 e 12,9%, aumentando em direção aos finos; na fração -0,020 mm estão contidos 33% do total de MgO da amostra. Teores de TiO₂ acima de 0,020 mm estão compreendidos entre 5,19 e 6,26%, diminuindo para 3,14% abaixo de 0,020 mm.

7.4 Resultados das separações minerais

O sumário dos resultados das separações minerais das amostras estudadas são apresentados na tabela 9. As tabelas com os resultados de todos os produtos gerados são apresentadas no Anexo 6.

Os produtos flutuados das amostras APAT e FIT representam entre 2,32 e 4,81% em massa no ensaio (1,86 e 3,67% na amostra). Já a amostra ZMT apresenta cerca de 18,6% de produto flutuado no ensaio (12,2% na amostra). Os produtos flutuados das amostras FST

e PIT estão entre 25,6 e 27,3% no ensaio (17,1 e 19,2% na amostra); já a amostra PXT é a que mostra o maior conteúdo de produto flutuado, por volta de 34,8% no ensaio (24,8% na amostra).

Tabela 9 - Resultados dos produtos de separações minerais (+0,020 mm)

Amostra	Produto	% Massa		Teores (%)										CaO/ P ₂ O ₅	Distr. P ₂ O ₅	
		ensaio	amostra	P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	BaO	PF	ensaio		amostra	
APAT	Flutuado	2,32	1,86	2,36	9,28	44,3	5,18	5,89	10,6	0,63	0,39	...	3,94	0,21	0,17	
	Afund. Mag 0,0A	22,9	18,3	1,25	1,49	0,41	...	87,7	3,73	3,25	1,02	...	1,19	1,08	0,90	
	Afund. FRM 0,3A	14,4	11,5	17,4	21,7	1,59	1,68	35,4	1,47	4,54	1,40	8,07	1,25	9,45	7,87	
	Afund. NMAG 0,3A	60,5	48,4	39,0	52,2	...	0,22	1,80	...	0,32	0,58	2,16	1,34	89,3	74,4	
	Total calculado	100,0	80,1	26,4	35,2	...	...	26,3	...	1,60	0,80	...	1,34	100,0	83,3	
FIT	Flutuado	4,81	3,67	1,22	7,12	42,7	6,53	7,26	14,1	0,80	0,42	...	5,86	0,34	0,28	
	Afund. Mag 0,0A	37,3	28,5	0,70	0,76	0,34	...	86,2	4,26	4,39	1,00	...	1,09	1,53	1,25	
	Afund. FRM 0,3A	19,4	14,8	10,3	10,7	2,54	3,72	39,0	2,84	12,8	1,63	8,67	1,04	11,6	9,49	
	Afund. NMAG 0,3A	38,5	29,4	38,6	51,1	...	...	1,02	0,45	1,45	0,63	1,79	1,33	86,5	70,7	
	Total calculado	100,0	76,4	17,1	22,4	...	...	40,5	2,99	4,72	0,95	...	1,30	100,0	81,7	
FST	Flutuado	27,3	19,2	1,11	6,81	55,9	4,93	7,66	11,2	0,83	0,41	9,70	6,16	1,93	1,57	
	Afund. FRM 0,3A	29,8	20,9	3,31	7,44	5,80	...	58,2	3,88	14,6	0,97	...	2,25	6,29	5,13	
	Afund. NMAG 0,3A	42,9	30,1	33,5	47,3	3,81	0,32	1,96	1,41	4,56	0,65	1,85	1,41	91,8	74,8	
	Total calculado	100,0	70,1	15,7	24,3	18,6	...	20,3	4,83	6,53	0,68	...	1,56	100,0	81,5	
ZMT	Flutuado	18,6	12,2	1,21	11,5	48,1	4,46	6,99	10,8	0,91	0,44	15,4	9,51	1,29	1,00	
	Afund. Mag 0,0A	16,4	10,8	0,85	1,34	...	...	87,9	2,22	5,46	1,05	...	1,56	0,80	0,62	
	Afund. FRM 0,3A	18,1	11,9	6,87	11,7	5,24	1,93	39,2	3,06	22,4	1,16	5,70	1,71	7,13	5,53	
	Afund. NMAG 0,3A	47,0	30,9	33,7	46,5	3,09	0,84	3,02	1,08	5,54	0,67	2,19	1,38	90,8	70,5	
	Total calculado	100,0	65,7	17,4	26,3	...	...	24,2	3,42	7,71	0,78	...	1,51	100,0	77,6	
PIT	Flutuado	25,6	17,1	1,80	2,02	71,3	4,92	10,3	2,26	1,50	0,49	4,84	1,12	3,24	2,66	
	Afund. Mag 0,0A	13,4	8,93	0,45	0,59	1,13	...	87,2	2,06	7,56	1,04	...	1,30	0,43	0,35	
	Afund. FRM 0,3A	24,0	16,0	4,20	4,93	2,84	2,63	46,7	2,38	27,2	1,45	5,13	1,17	7,08	5,80	
	Afund. NMAG 0,3A	37,0	24,7	34,3	46,2	1,48	0,98	2,07	...	7,66	0,65	1,75	1,35	89,3	73,2	
	Total calculado	100,0	66,7	14,2	18,9	19,6	...	26,3	...	10,8	0,85	...	1,33	100,0	82,0	
PXT	Flutuado	34,8	24,8	0,68	8,66	38,3	6,52	9,48	19,8	1,01	0,47	14,1	12,7	2,35	1,90	
	Afund. FRM 0,3A	28,2	20,1	2,77	13,0	17,1	...	43,4	6,61	12,2	0,81	...	4,69	7,74	6,25	
	Afund. NMAG 0,3A	37,0	26,4	24,5	41,5	14,2	0,15	2,62	4,58	5,83	0,55	2,18	1,69	89,9	72,7	
	Total calculado	100,0	71,3	10,1	22,0	23,4	...	16,5	10,4	5,96	0,60	...	2,18	100,0	80,8	

Obs: (...) = abaixo do limite de detecção.

O produto afundado fortemente magnético na amostra APAT compreende 22,9% em massa no ensaio (18,3% na amostra), enquanto que nas amostras PIT e ZMT varia entre

13,4 e 16,4% no ensaio (8,93 e 10,8% na amostra). A amostra FIT é a que apresenta maior conteúdo de material contido no produto afundado fortemente magnético, com cerca de 37,3% em massa no ensaio (28,5% na amostra). Uma característica importante a ser observada é que as amostras FST e PXT não apresentaram massa suficiente de material contido no produto afundado fortemente magnético para análise química; dessa forma, o material contido nesse produto foi composta com o produto fracamente magnético.

Nas amostras APAT, FIT e ZMT, o produto afundado fracamente magnético representa entre 14,4 e 19,4% em massa no ensaio (11,5 e 14,5% na amostra). Já nas amostras FST, PIT e PXT, este produto varia entre 24,0 e 29,8% em massa no ensaio (16,0 e 20,9% na amostra).

A amostra APAT é a que apresenta maior proporção de material contido no produto afundado não magnético, com cerca de 60,5% em massa no ensaio (48,4% na amostra), seguida pelas amostras FST e ZMT variando 42,9 e 47,0% em massa no ensaio (30,1 e 30,9 na amostra), respectivamente. Para as amostras FIT, PIT e PXT, o produto afundado não magnético varia em torno de 37,0 a 38,5% em massa no ensaio (24,7 a 29,4% na amostra).

No produto afundado não magnético os teores de P_2O_5 para as amostras APAT e FIT são de 39,0 e 38,6%, os quais representam 89,3 e 86,5% de P_2O_5 contido no ensaio (74,4 e 70,7% na amostra), respectivamente. As amostras FST, ZMT e PIT apresentam teores de P_2O_5 variando de 33,5 a 34,3%, representando de 83,0 a 90,6% do total de P_2O_5 contido no ensaio (70,5 a 74,8% na amostra). A amostra PXT é a que apresenta menor teor de P_2O_5 neste mesmo produto, com cerca de 24,5%, correspondendo a aproximadamente 69,7% de P_2O_5 contido no total do ensaio (72,7% na amostra). Neste mesmo produto os teores de CaO variam numa faixa de 41,5 a 52,2%.

A relação CaO/P_2O_5 inferior a 1,33 indica a presença de fosfatos secundários (alumino-fosfatos) apenas nos produtos afundados fortemente magnético e fracamente magnético das amostras APAT, FIT e PIT. Nas amostras FST, ZMT e PXT, essa relação é sempre maior que 1,33, portanto não sugerindo a presença de fosfatos secundários nessas amostras. Teores consideráveis de CaO são observados nos produtos flutuados, variando desde 2,02% na amostra PIT, chegando até 11,5% na amostra ZMT.

Os teores de SiO_2 mais elevados associam-se preferencialmente aos produtos flutuados. O flutuado da amostra PIT é a que apresenta o maior teor de SiO_2 , por volta de 71,3%. Nas demais amostras este produto mostra teores de SiO_2 variando de 38,3% na amostra PXT até 55,9% na amostra FST.

O Al_2O_3 também se concentra preferencialmente no produto flutuado, com teores entre 4,46% na amostra ZMT até 6,53% na amostra FIT.

Os teores de Fe_2O_3 mais elevados estão relacionados aos produtos afundados magnéticos, diminuindo em direção aos não magnéticos. No produto afundado fortemente magnético das amostras APAT, FIT, ZMT e PIT, os teores de Fe_2O_3 variam de 86,2 a 87,9%, enquanto que nas amostras FST e PXT estes caem para valores 58,2 e 43,4%, respectivamente. No produto afundado fracamente magnético das amostras APAT, FIT e ZMT os teores de Fe_2O_3 são da ordem de 35,4 a 39,2% ao passo que para as amostras FST, PIT e PXT estes estão compreendidos entre 43,9 e 58,2%.

Os maiores teores de MgO são observados principalmente no produto flutuado, com exceção da amostra PIT que apresenta teores baixos de MgO (cerca de 2,06% no produto flutuado e entre 2,26 e 2,38% nos produtos afundados fraca e fortemente magnéticos, respectivamente). No produto flutuado das amostras APAT, FIT, FST e ZMT os teores de MgO variam entre 10,6 e 14,1%; já para a amostra PXT o teor de MgO no produto flutuado é de 19,8%. Apenas na amostra PXT os produtos afundados fracamente magnético e não magnético apresentam valores consideráveis, com cerca de 6,61 e 4,58%, respectivamente. Para as demais amostras, o produto não magnético apresenta teores de MgO inferiores a 1,50%.

Os teores de TiO_2 apresentam grande variabilidade, apresentando valores mais expressivos no produto fracamente magnético das amostras ZMT e PIT com 22,4 e 27,2%, respectivamente. Nas amostras FIT, FST, PXT, neste mesmo produto, os teores de TiO_2 variam de 12,2 a 14,6%.

Os teores de BaO não ultrapassam 2,0% em nenhum produto de separação das amostras.

7.5 Composição mineralógica e características da apatita

A identificação das diversas fases minerais encontradas no conjunto de amostras estudado teve como base os resultados de análises por DRX dos diversos produtos de separações minerais (Anexo 5), bem como das observações realizadas ao MEV de todas as frações granulométricas acima de 0,0020 mm, utilizando-se detector de elétrons retroespalhados (BSE) com auxílio de microanálise por EDS (Anexo 7).

A mineralogia observada (tabela 10) compreende: apatita como mineral de interesse e minerais de ganga como fosfatos secundários do grupo da gorceixita-goyasita, magnetita e outros óxi-hidróxidos de Fe (principalmente hematita e goethita), ilmenita, argilominerais (vermiculita, micas interestratificadas e illita), carbonatos (calcita e/ou dolomita), quartzo, piroxênio (diopsídio e/ou augita), perovskita, entre outros (zirconolita, calzirtita, badeleíta e niobatos) como traços.

Tabela 10 – Mineralogia observada e fórmulas químicas

Mineral	Fórmula química
apatita	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$
goyasita	$\text{SrAl}_3(\text{PO}_4)(\text{PO}_3\text{OH})(\text{OH})$
gorceixita	$\text{BaAl}_3(\text{PO}_4)(\text{PO}_3\text{OH})(\text{OH})$
perovskita	CaTiO_3
calcita	CaCO_3
dolomita	$(\text{Mg}, \text{Ca})\text{CO}_3$
piroxênio (diopsídio ou augita)	$\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ ou $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti})[(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6]$
vermiculita	$(\text{Mg}, \text{Ca})_{0,3}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_{3,0-}(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
nontronita	$\text{Fe}_2(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{Na}_{0,3} \cdot n\text{H}_2\text{O}$
goethita	$\alpha\text{FeO}(\text{OH})$
magnetita	Fe_3O_4
hematita	Fe_2O_3
ilmenita	FeTiO_3
quartzo	SiO_2
anatásio	TiO_2
barita	BaSO_4

A composição mineralógica estimada para o conjunto de amostras estudado foi calculada para o material deslamado, isto é, para o intervalo acima de 0,020 mm.

Nos ensaios de separações minerais a apatita ocorre preferencialmente no produto afundado não magnético, já que não é um mineral diamagnético. Ocorre predominantemente na forma de partículas livres e com a superfície límpida ou ligeiramente recoberta por películas argilo-limoníticas. Já nos demais produtos, a apatita ocorre como partículas mistas ou com a superfície altamente impregnada por películas de oxi-hidróxidos de ferro, o que acaba interferindo no seu comportamento frente ao processo de separação magnética. Detalhes a cerca das características de superfície da apatita podem ser observadas nas fotomicrografias ao microscópio óptico (Anexo 8).

A magnetita concentra-se preferencialmente no produto fortemente magnético, enquanto que outros óxi-hidróxidos de Fe e também a ilmenita associam-se principalmente ao produto fracamente magnético.

O quartzo associa-se preferencialmente ao produto flutuado. Os argilominerais estão presentes em todos os produtos à exceção do produto afundado magnético.

Carbonatos concentram-se preferencialmente no produto afundado não magnético e em menor proporção no produto flutuado.

Quando presentes, os fosfatos secundários associam-se preferencialmente ao produto afundado fracamente magnético.

Os piroxênios estão associados ao produto afundado não magnético e em menor proporção ao fracamente magnético, enquanto que a perovskita associa-se ao não magnético.

Difratogramas dos produtos de separação magnética no intervalo -0,210+0,149 mm podem ser observados no Anexo 5 e as imagens obtidas ao MEV com as associações minerais presentes no Anexo 7.

Nos subitens a seguir são expostas as tabelas de 8 a 13 com a estimativa da composição mineralógica de cada uma das amostras estudadas.

7.5.1 Amostra APAT

A amostra APAT é a mais rica em apatita, com cerca de 62%; subordinadamente contém em torno de 26% de oxi-hidróxidos de ferro, 5% de argilominerais, 3% de ilmenita, 1,2% de carbonatos, 1,0% de barita, 0,7% de quartzo, 0,5% de fosfatos secundários e outros (0,4%).

Tabela 11 - Estimativa da composição mineralógica – amostra APAT

Fração (mm)	% massa retida	% Minerais									
		apatita	quartzo	óx-hidro	Fe	magnetita	ilmenita	argilomin	carbon	fosf. sec.	barita outros
-0,595+0,210	6,9	77	1,4	7	3	2	5	3	0,0	1,1	0,2
-0,210+0,149	21,0	63	0,6	5	22	3	3	1,8	0,2	1,0	tr
-0,149+0,074	27,4	63	0,5	5	22	3	4	1,3	0,4	1,0	0,3
-0,074+0,020	24,8	57	0,8	7	22	3	7	0,2	1,0	0,9	0,8
Total +0,020	80,1	62	0,7	6	20	3	5	1,2	0,5	1,0	0,4

Cerca de 90% da apatita contida nesta amostra está associada ao produto afundado não magnético. Nesta amostra, a parcela de apatita mista e/ou altamente impregnada por oxi-hidróxidos de ferro é da ordem de 9% em todo intervalo granulométrico. O grau de liberação da apatita é de 89% já na fração -0,595+0,210 mm. Estima-se ainda que 99% do fósforo presente no material acima de 0,020 mm estejam contidos na forma de apatita.

7.5.2 Amostra FIT

Esta amostra é constituída predominantemente por apatita e óxi-hidróxidos de Fe (principalmente magnetita), com 40 e 39%, respectivamente. Subordinadamente contém aproximadamente 8% de argilominerais, 8% de ilmenita, 1,6% de fosfatos secundários, 1% de quartzo, 0,9% de barita e outros (1%).

Tabela 12 - Estimativa da composição mineralógica – amostra FIT

Fração (mm)	% massa Retida	% Minerais											
		apatita	fosf	sec	quartz	óx-hidro	x Fe	magnetita	ilmenita	perovsk	argilomin	barita	carbon
-0,595+0,210	4,8	42	tr	1,6	8	27	8	1,2	9	0,9	0,6	2	
-0,210+0,149	19,7	42	0,9	0,8	5	35	8	tr	6	1,0	0,4	0,9	
-0,149+0,074	27,6	42	1,2	0,8	5	34	8	tr	6	0,9	0,4	2	
-0,074+0,020	24,3	35	3	1,4	7	32	8	tr	12	0,7	0,3	Tr	
Total +0,020	76,4	40	1,6	1,0	6	33	8	0,1	8	0,9	0,4	1,0	

Cerca de 90% do total de apatita contida ocorre preferencialmente junto ao produto afundado não magnético e o restante no produto afundado fracamente magnético. Nesta amostra, a parcela de apatita mista e/ou altamente impregnada por oxi-hidróxidos de ferro é da ordem de 10%; apresenta liberação da ordem de 88% já na fração -0,595+0,210 mm. Estima-se que, de todo o fósforo presente no material acima de 0,020 mm, 97% estejam contidos na forma de apatita.

7.5.3 Amostra FST

Aproximadamente 37% desta amostra são compostos por apatita. O restante compreende por volta de 15% de oxi-hidróxidos de ferro, 14% de argilominerais, 11% de quartzo, 8% de ilmenita, 7% de piroxênio, 3% de perovskita, 3% de carbonatos, 0,5% de barita e outros minerais traços.

Tabela 13 - Estimativa da composição mineralógica – amostra FST

Fração (mm)	% massa retida	% Minerais											
		apatita	quartz	óx-hidro	fe	magnetita	ilmenita	argilomin	perovsk	carbon	pirox	barita	Outros
-0,595+0,210	6,5	33	14	0,9	3	4	24	6	2	12	0,6	Tr	
-0,210+0,149	15,9	43	10	3	12	8	11	3	2	8	0,4	Tr	
-0,149+0,074	23,6	40	10	3	14	9	10	3	3	7	0,4	tr	
-0,074+0,020	24,2	31	12	4	13	9	17	4	3	6	0,7	tr	
Total +0,020	70,1	37	11	3	12	8	14	3	3	7	0,5	tr	

Cerca de 92% do total de apatita contida ocorre junto ao produto afundado não magnético e o restante preferencialmente no produto afundado fracamente magnético. Nesta amostra, a parcela de apatita mista e/ou altamente impregnada por oxi-hidróxidos de ferro é da ordem de 7,0%; apresenta liberação da ordem de 92% já na fração -0,595+0,210 mm. Estima-se que todo o fósforo presente no material acima de 0,020 mm esteja presente na forma de apatita.

7.5.4 Amostra ZMT

Esta amostra é constituída predominantemente por apatita, com cerca de 41%. Subordinadamente contém cerca de 19% oxi-hidróxidos de ferro, 9% de ilmenita, 9% de quartzo, 9% de carbonatos, 7% de argilominerais, 5% de perovskita, 1,2% de barita e outros minerais traços.

Tabela 14 - Estimativa da composição mineralógica – amostra ZMT

Fração (mm)	% massa retida	% Minerais									
		apatita	quartzo	óx-hidro	fe	magnetita	ilmenita	argilomin	perovk	barita	carbon
-0,595+0,210	5,5	38	14	2	7	11	12	5	1,0	10	tr
-0,210+0,149	13,5	46	7	4	13	9	7	4	1,1	8	tr
-0,149+0,074	23,8	44	7	6	15	10	7	4	1,2	6	tr
-0,074+0,020	23,0	37	10	8	13	9	5	5	1,3	11	tr
Total +0,020	65,7	41	9	6	13	9	7	5	1,2	9	tr

Cerca de 91% do total de apatita contida ocorre junto ao produto afundado não magnético e o restante preferencialmente no produto afundado fracamente magnético. Nesta amostra, a parcela de apatita mista e/ou altamente impregnada por oxi-hidróxidos de ferro é da ordem de 9,0%; apresenta liberação da ordem de 89% já na fração -0,595+0,210 mm. Estima-se que todo o fósforo presente no material acima de 0,020 mm esteja contido na forma de apatita.

7.5.5 Amostra PIT

Esta amostra é constituída predominantemente por apatita (da ordem de 33%) e subordinadamente por oxi-hidróxidos de ferro (magnetita, hematita, goethita; cerca de 21%), quartzo (17%), ilmenita (14%), argilominerais (9%), anatásio (3%), carbonatos (1,5%; calcita e/ou dolomita), barita (0,9%), fosfatos secundários e outros minerais traços.

Tabela 15 - Estimativa da composição mineralógica – amostra PIT

Fração (mm)	% massa retida	% Minerais											
		apatita	quartzo	óx-hidro	fe	magnetita	ilmenita	argilomin	anatásio	carbon	barita	fosf	sec
-0,595+0,210	7,06	32	28	6	5	14	6	4	5	1,1	tr	tr	
-0,210+0,149	13,6	37	16	8	13	14	5	3	1,5	1,1	0,4	tr	
-0,149+0,074	22,0	38	13	8	13	14	7	3	1,2	1,0	0,6	tr	
-0,037+0,020	24,0	27	18	13	9	15	13	3	0,9	0,6	0,6	1,1	
Total +0,020	66,68	33	17	10	11	14	9	3	1,5	0,9	...	...	

Cerca de 92% do total de apatita contida ocorre junto ao produto afundado não magnético e o restante preferencialmente no produto afundado fracamente magnético. Nesta amostra, a parcela de apatita mista e/ou altamente impregnada por oxi-hidróxidos de ferro é da ordem de 7,0%; apresenta liberação da ordem de 92% já na fração -0,595+0,210 mm. Estima-se que 99% do fósforo presente no material acima de 0,020 mm estejam contidos na forma de apatita.

7.5.6 Amostra PXT

Esta amostra é constituída predominantemente por argilominerais (25%), apatita (da ordem de 24%) e piroxênio (20%), além de oxi-hidróxidos de ferro (magnetita, hematita, goethita; cerca de 9%), quartzo (5%), ilmenita (5%), carbonatos (5%; calcita e/ou dolomita), perovskita (4%), outros minerais (1,3%; zirconolita, calzirtita, badeleíta e niobatos) e barita (0,9%).

Tabela 16 - Estimativa da composição mineralógica – amostra PXT

Fração (mm)	% massa retida	% Minerais										
		apatita	quartzo	óx-hidro	fe magnetita	ilmenita	perovsk	argilomin	barita	carbon	pirox	outros
-0,595+0,210	5,60	12	7	0,3	0	5	3	36	0,5	4	32	1,1
-0,210+0,149	16,1	28	4	0,3	9	5	4	22	0,9	3	22	1,3
-0,149+0,074	22,4	27	4	0,2	11	5	4	23	0,9	4	20	1,2
-0,074+0,020	27,2	21	6	0,4	10	5	4	26	0,9	9	16	1,4
Total +0,020	71,3	24	5	0,3	9	5	4	25	0,9	5	20	1,3

Cerca de 90% do total de apatita contida ocorre junto ao produto afundado não magnético e o restante preferencialmente ao produto afundado fracamente magnético. Nesta amostra a parcela de apatita mista e/ou altamente impregnada por oxi-hidróxidos de ferro é da ordem de 8,0%; apresenta liberação da ordem de 89% já na fração -0,595+0,210 mm. Estima-se que a totalidade do fósforo presente no material acima de 0,020 mm esteja presente sob a forma de apatita.

8 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

A caracterização mineralógica e tecnológica mostra-se uma ferramenta importante e indispensável para estudo de matérias primas minerais, as quais se vislumbra aproveitamento econômico. Com este trabalho e através das técnicas de caracterização utilizadas foi possível definir as características relevantes para o processamento mineral dos tipos de minério de fosfato estudados.

Com base nos resultados de composição química e análises mineralógicas (DRX, MEV e MO) de produtos de separações minerais por fração granulométrica, pode-se estabelecer as principais características relevantes para fins de suporte ao beneficiamento mineral. Estas características são apresentadas comparativamente na Tabela 17.

Observa-se que a amostra APAT é a que apresenta teor de P_2O_5 total mais elevado (25,2%), com relação CaO/P_2O_5 de 1,32, enquanto que a PXT o mais baixo. Esta amostra, por sua vez, mostra a maior relação CaO/P_2O_5 (2,18), enquanto que a FIT a mais baixa (1,24).

Para todas as amostras, o teor total de BaO é inferior a 1,2%. A amostra FIT apresenta o teor mais elevado, enquanto que a PXT o mais baixo, com apenas 0,7%.

As amostras apresentam basicamente a mesma composição mineralógica, variando apenas a proporção relativa dos minerais presentes. Todas as amostras são constituídas por apatita, oxi-hidróxidos de ferro, ilmenita, argilominerais, quartzo, carbonatos, entre outros (zirconolita, calzirtita, badeleíta e niobatos) representando cerca de 1 a 1,3% para as amostras FIT e PXT, respectivamente, e traços para as demais. Piroxênio ocorre somente nas amostras FST (7%) e PXT (20%) e anatásio apenas na amostra PIT (3%). A barita está presente em todas as amostras em proporções compreendidas entre 1 e 1,2%, à exceção da amostra FST, onde representa traço. Fosfatos secundários (gorceixita e/ou goyasita) representam 1,6% na amostra FIT e traços nas amostras PIT e APAT. A perovskita constitui entre 3 e 5% para as amostras FST, PXT e ZMT e traço na FIT.

Os menores conteúdos de apatita são observados para as amostras PXT (~24%) e PIT (~33%). O maior conteúdo é encontrado na amostra APAT (62%), enquanto que nas demais se situam entre 37 e 41%.

A apatita ocorre normalmente na forma liberada, apresentando-se com superfície límpida à fracamente impregnada por oxi-hidróxidos de ferro. A parcela altamente impregnada (não flotável) é da ordem de 6% para as amostras FST, PIT e PXT e por volta de 8 a 9% nas amostras APAT, FIT e ZMT. A recuperação potencial de apatita, considerando a flotação como processo de concentração, está compreendida entre 90 e 93% para todas as amostras.

Tabela 17 - Comparação entre as principais características das amostras estudadas

	AMOSTRA					
	APAT	FIT	FST	ZMT	PIT	PXT
Composição química (% em massa; teores dosados)						
P ₂ O ₅	25,2	16,0	13,5	14,7	11,7	9,00
CaO	33,3	19,8	20,7	21,3	14,6	19,6
SiO ₂	1,73	3,79	19,5	13,2	21,7	24,1
Al ₂ O ₃	0,81	2,44	2,85	3,33	4,58	2,57
Fe ₂ O ₃	27,2	41,0	23,2	26,9	28,6	18,2
MgO	1,36	2,86	5,00	3,48	1,41	11,1
CaO/P ₂ O ₅	1,32	1,24	1,53	1,44	1,25	2,18
Parcela de fósforo apatítico						
acima de 0,020 mm (%)	99	97	100	100	99	100
Composição mineralógica estimada (% em massa)						
apatita	62	40	37	41	33	24
fosfatos secundários	tr	1,6	-	-	tr	-
quartzo	0,7	1,0	11	9	17	5
carbonato	1,2	tr	3	9	1,5	5
argilominerais	5	8	14	7	9	25
piroxênio	-	-	7	-	-	20
barita	1,0	0,9	tr	1,2	0,9	0,9
oxi-hidróxidos de ferro	6	6	3	6	10	tr
magnetita	20	33	12	13	11	9
ilmenita	3	8	8	9	14	5
anatásio	-	-	-	-	3	-
perovskita	-	tr	3	5	-	4
outros	tr	1,0	tr	tr	tr	1,3
Características da apatita para fins de concentração por flotação (-0,210 +0,020 mm)						
Malha de liberação da apatita (≥85%)	-0,210 mm	-0,210 mm	-0,210 mm	-0,210 mm	-0,210 mm	-0,210 mm
Apatita impregnada (%)	9	10	5	8	6	4
Recuperação potencial na flotação (%)	91	90	93	91	92	94
Finos (-0,020 mm), % em massa	20	24	30	34	33	29
Perdas de P ₂ O ₅ nos finos (%)	17	18	18	22	18	19

Nota: tr = fases com até 0,5% em massa

As perdas de P₂O₅ associados à fração fina (-0,020 mm) são de 17 a 19% para todas as amostras, à exceção da amostras ZMT na qual chega a 22%. Esta fração representa 20 e 24% em massa para as amostras APAT e FIT, respectivamente, e de 29 a 34% para as demais.

Os fosfatos secundários (principalmente gorceixita e/ou goyasita), atualmente não aproveitados no beneficiamento mineral, ocorrem apenas nas amostras APAT e FIT como traços e na amostra PIT chegam a 1,6% em peso.

Considerando-se a assembléia mineralógica das amostras estudadas e as características da apatita presente nas mesmas, não devem ser esperados maiores problemas em termos de concentração da apatita por flotação. No entanto, os seguintes aspectos devem ser adequadamente avaliados:

- seletividade entre a apatita e outros minerais portadores de cálcio, tais como a perovskita nas amostras FST, ZMT e PXT e carbonatos, principalmente nas amostras ZMT, PXT e FST em menor proporção nas amostras APAT e PIT;
- impregnação superficial da apatita por oxi-hidróxidos de ferro nas amostras APAT, FIT e ZMT, eventualmente implicando em maiores perdas na flotação, tornando-se necessária uma etapa prévia de atrição para limpar a superfície das partículas.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

9.1 Referências citadas

- _____, 1972. Carta do Brasil ao Milionésimo. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. Fundação IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia. Edição comemorativa do sesquicentenário. Pág. 35, folha SE-23.
- ARAUJO, E.N.C.; KAHN, H; RATTI, G. 2004. Caracterização tecnológica do minério de fosfato de Salitre, MG. Semana Ibero-Americana de Engenharia de Minas. São Paulo, p. 15-20.
- BARBOSA, O.; BRAUN, O.P.G.; DYER, R.; CUNHA, C.A.R. 1970. Geologia da região do Triângulo Mineiro. Boletim de Fomento. Divisão da Produção Mineral, Rio de Janeiro, n. 136, p. 7-141.
- BORN, H.; KAHN, H. 1990. Caracterização geológica e mineralógica voltada ao aproveitamento de jazimentos fosfáticos. V Encontro Nacional de Rocha Fosfática, São Paulo, p.213-233.
- BRAZ, A. B. 2001. Caracterização mineralógica e tecnológica de minério de fosfato de Salitre, MG. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Trabalho de Formatura, São Paulo, 80p.
- BRAZ, A. B. 2003. Caracterização tecnológica e mineralógica do minério de fosfato de Salitre, MG. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Dep. de Minas e Petróleo. Dissertação de Mestrado, São Paulo, 138p.
- BRAZ, A. B., E. S. MANO, KAHN, H. 2004. Caracterização da apatita primária e secundária de Salitre, MG. Semana Ibero-Americana de Engenharia de Minas. São Paulo, p. 21-25.
- MELO, M.T.V & CHABAN, N. 1997. Depósitos de fosfato, titânio e nióbio de Salitre, Minas Gerais. In: DNPM (ed). Principais depósitos minerais do Brasil. V.4-C. Cap. 5. Brasília.
- KAHN, H.; RATTI, G.; TASSINARI, M.M.L.; MANO, E.S.; BARROS, L.A.F. 2004. Process mineralogy studies of a "foscorite" ore from Salitre alkaline carbonatitic complex. International Congress of Applied Mineralogy 8. Águas de Lindóia. In: Applied mineralogy – developments in science and technology: proceedings. São Paulo: ICAM.

SANT'AGOSTINO, L.M.; KAHN, H. 1997. Metodologia para a caracterização tecnológica de matérias primas minerais. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. BT/PMI/069, 29p.

TOLEDO, M. C. M.; PEREIRA, V. P. 2001. A variabilidade de composição da apatita associada a carbonatitos. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, v. 22, n. 1/2, p. 27-64.

9.2 Referências consultadas

APATI, S. 1997. Mineralogia, micromorfologia e distribuição granulométrica dos materiais alterados de uma topossequência da Lagoa Campestre, complexo alcalino-carbonatítico de Salitre II, MG. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Dissertação de mestrado, São Paulo, 98p.

SAMESHIMA, R. H., 2000. Modelagem geoestatística aplicada à jazida de apatita de Araxá, MG. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado. São Paulo, 115 p.

Idade	Grupo	Formação	Membro/Fácies	Litologia
Quaternário			Aluvial	
Terciário				solo laterítico
Cretáceo Superior		Bauru	F. Bauru prop. dito	arenitos argilosos
			F. Ponte Alta	arenitos calcíferos e calcáreos conglomeráticos
			F. Uberaba	tufitos, argilitos e conglomerados
Cretáceo		Areado	M. Três Barras	arenitos
			M. Quiricó	siltitos, argilitos e arenitos finos
			M. Abaeté	conglomerado
Cretáceo Inferior	São Bento	Botucatu		arenitos
		Serra Geral		basaltos
Pré Cambriano	Bambui	Três Marias		arcóseos, siltitos e arenitos arcoseanos
		Paraopeba		calcários, ardósias e siltitos
		Paranoá		quartzitos e filitos
Pré Cambriano		Ibiá		calcixistos
Pré Cambriano	Canastra			quartzitos e filitos
Pré Cambriano	Araxá			micaxistos e quartzitos
Pré Cambriano	Complexo Granito Gnáissico			granodioritos, granitos, e gnaisses.

Coluna estratigráfica da região do Alto Paranaíba (Barbosa et al., 1970).

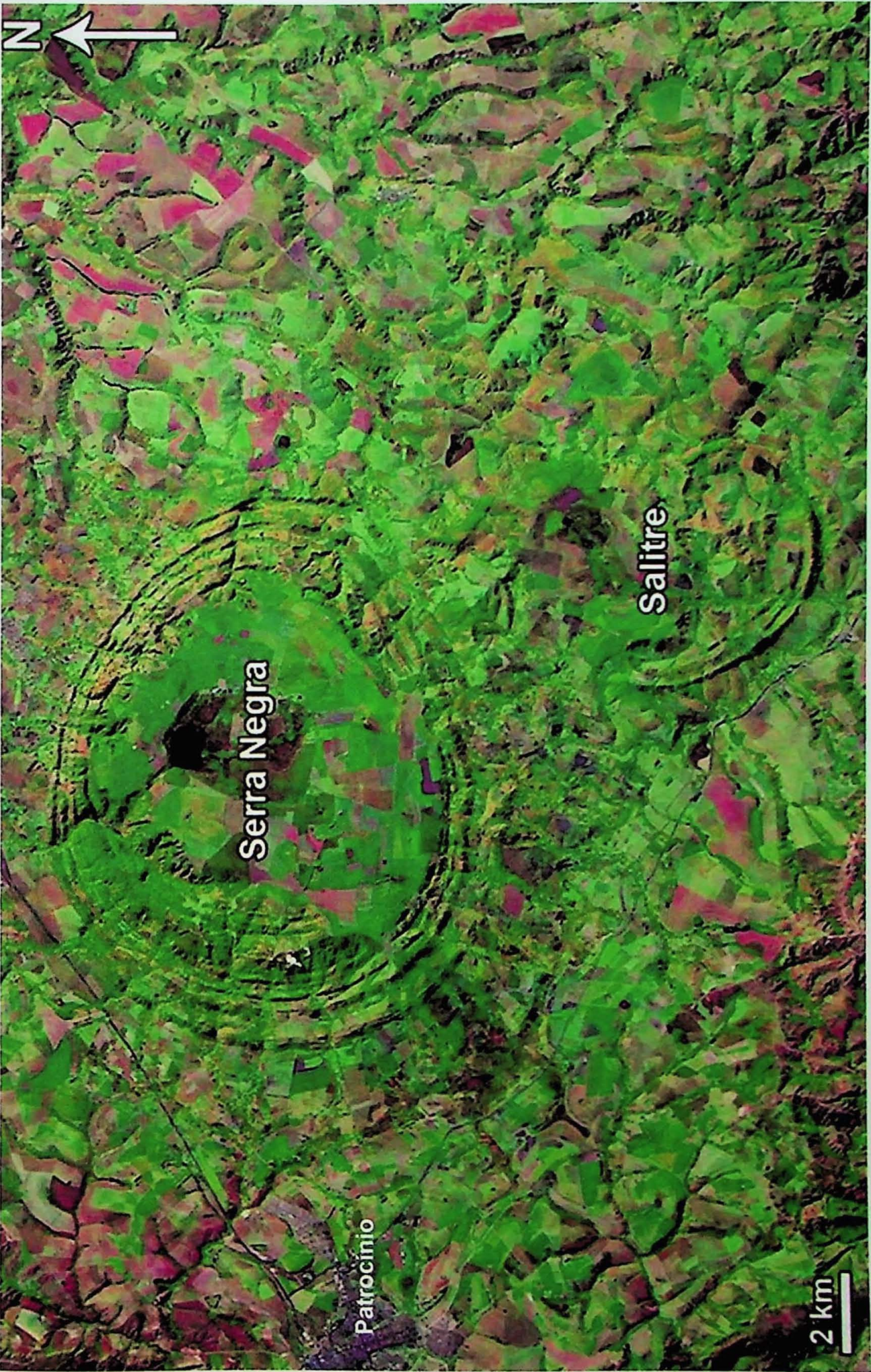
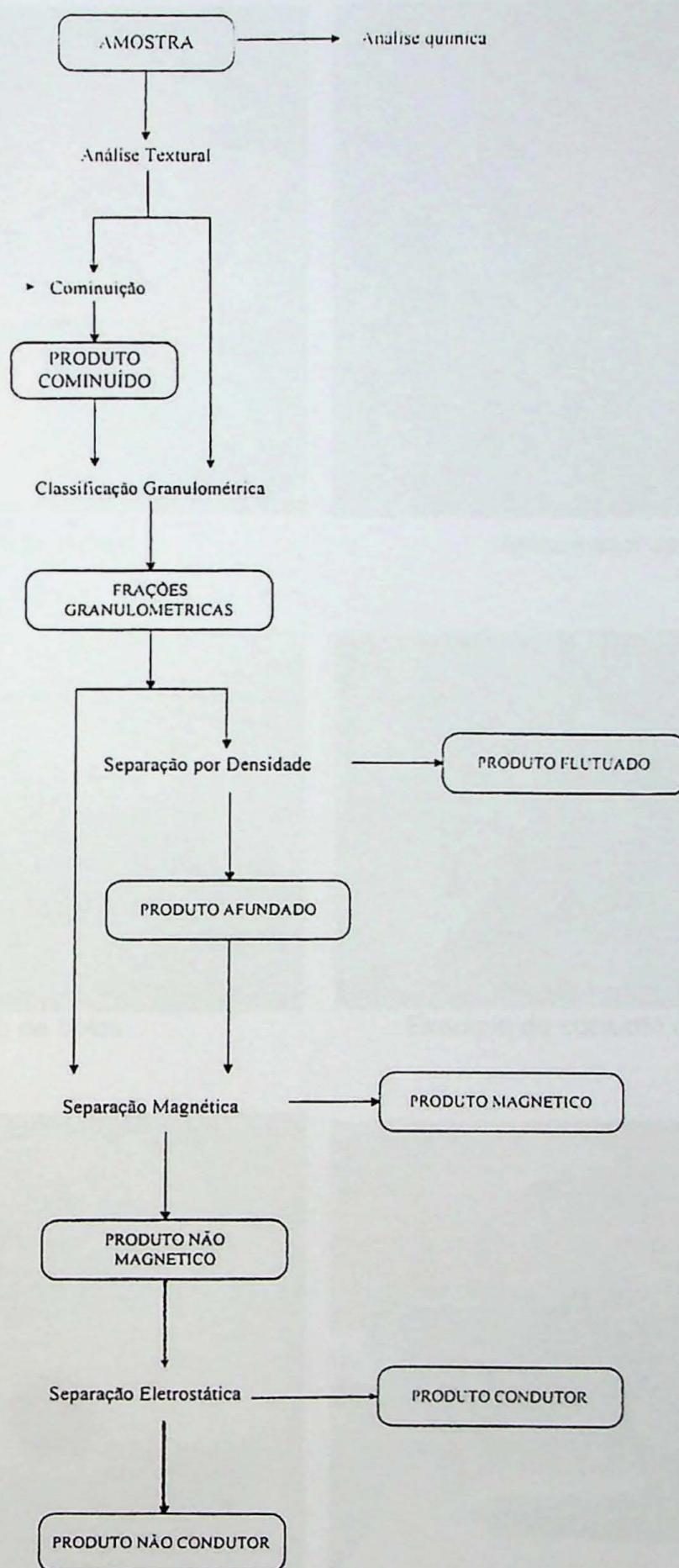


Imagem orbital destacando as intrusões dos Complexos Ultramáfico-alcalinos de Salitre e Serra Negra (Braz, 2003).



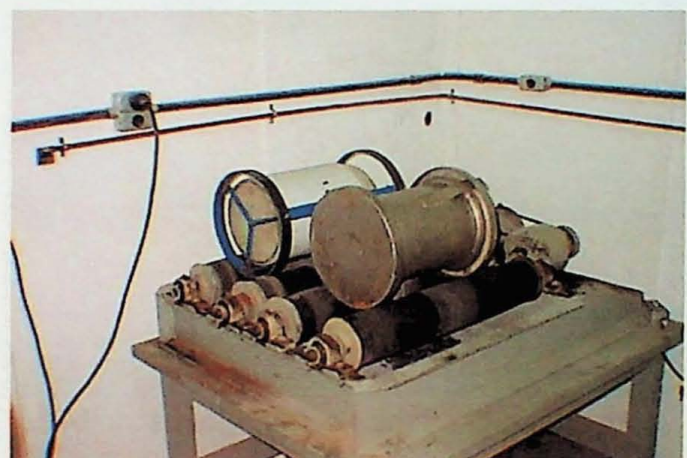
Roteiro básico de procedimento experimental para caracterização de minérios, simplificado de Sant'Agostino & Kahn (1997).



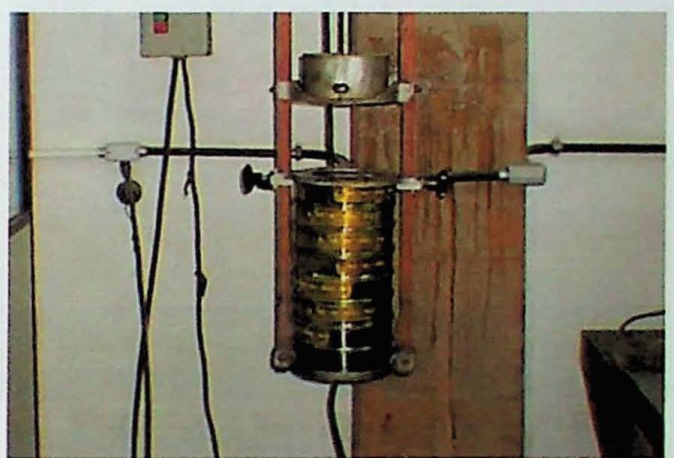
Moinho de Rolos



Amostrador Jones



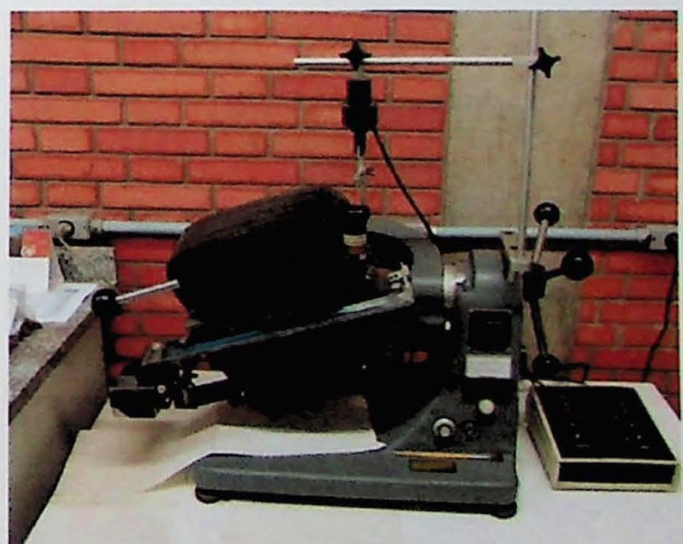
Moinho de bolas



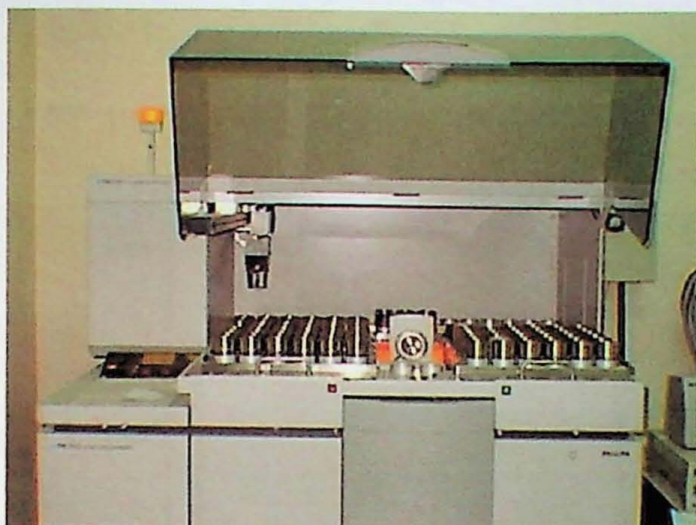
Exemplo de conjunto de peneiras



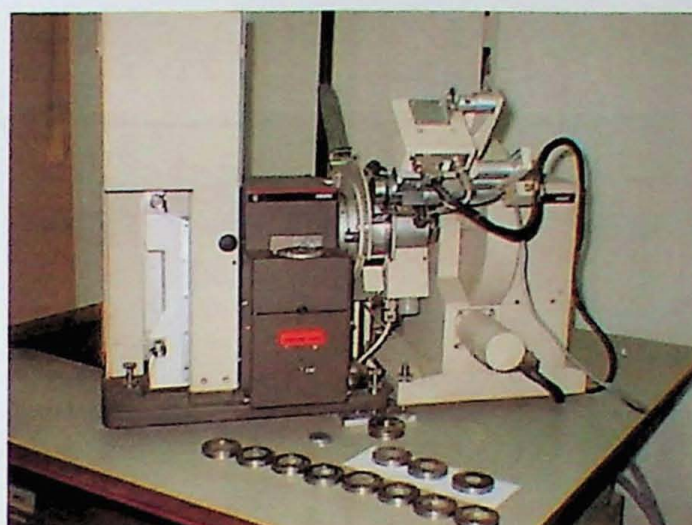
Centrifuga para separação de material em líquido denso



Separador magnético Frantz, modelo de barreira



Espectrômetro de raios X



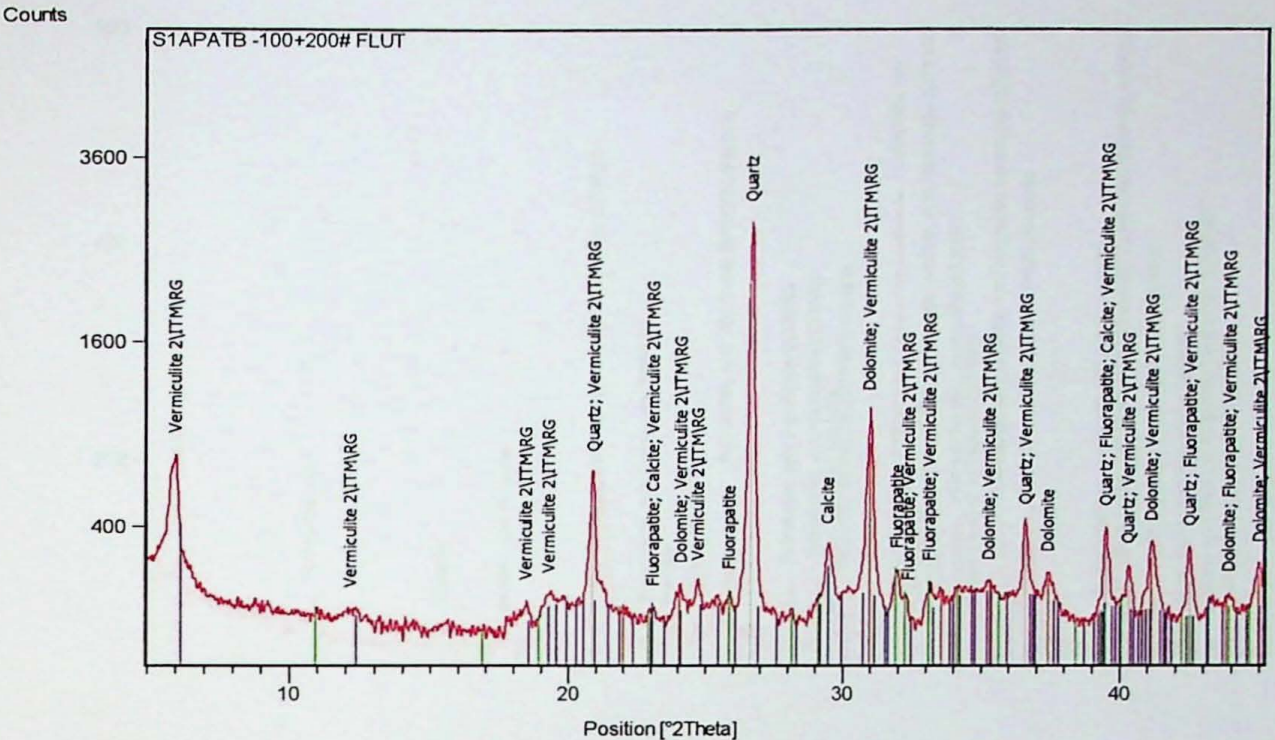
Difratômetro de raios X



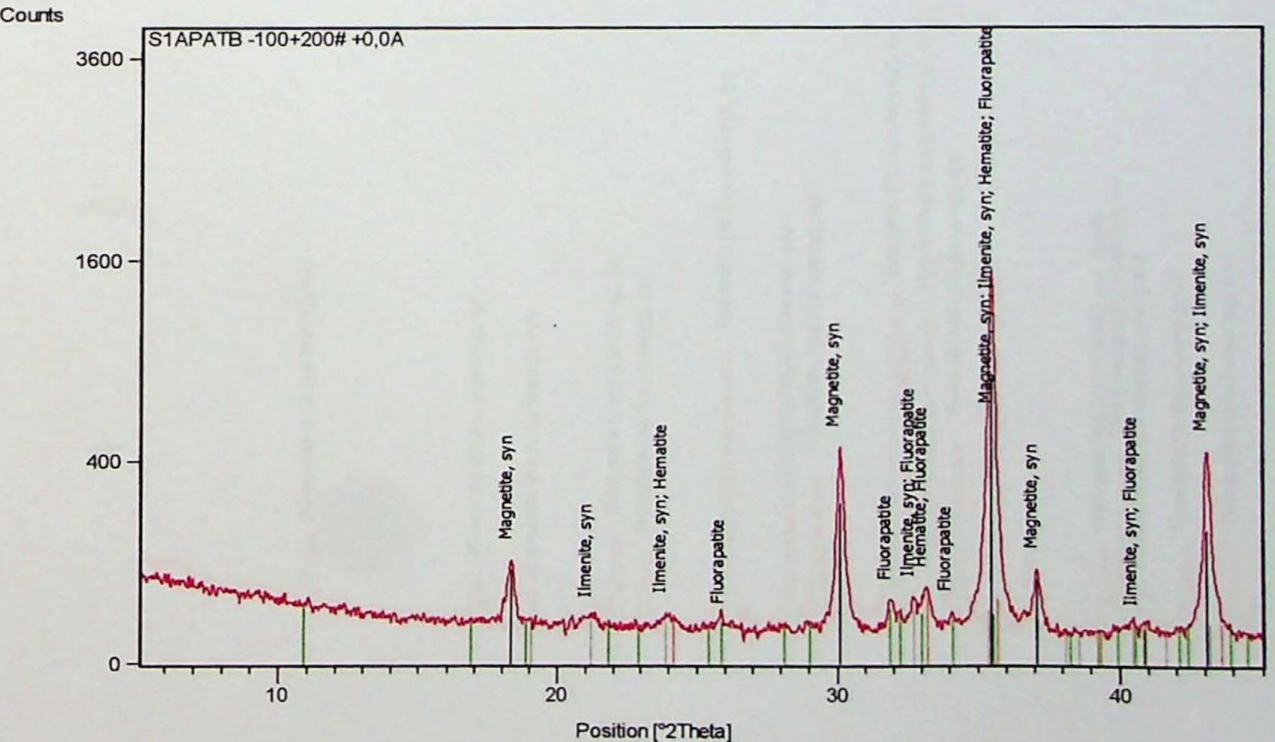
Microscópio óptico com luz transmitida



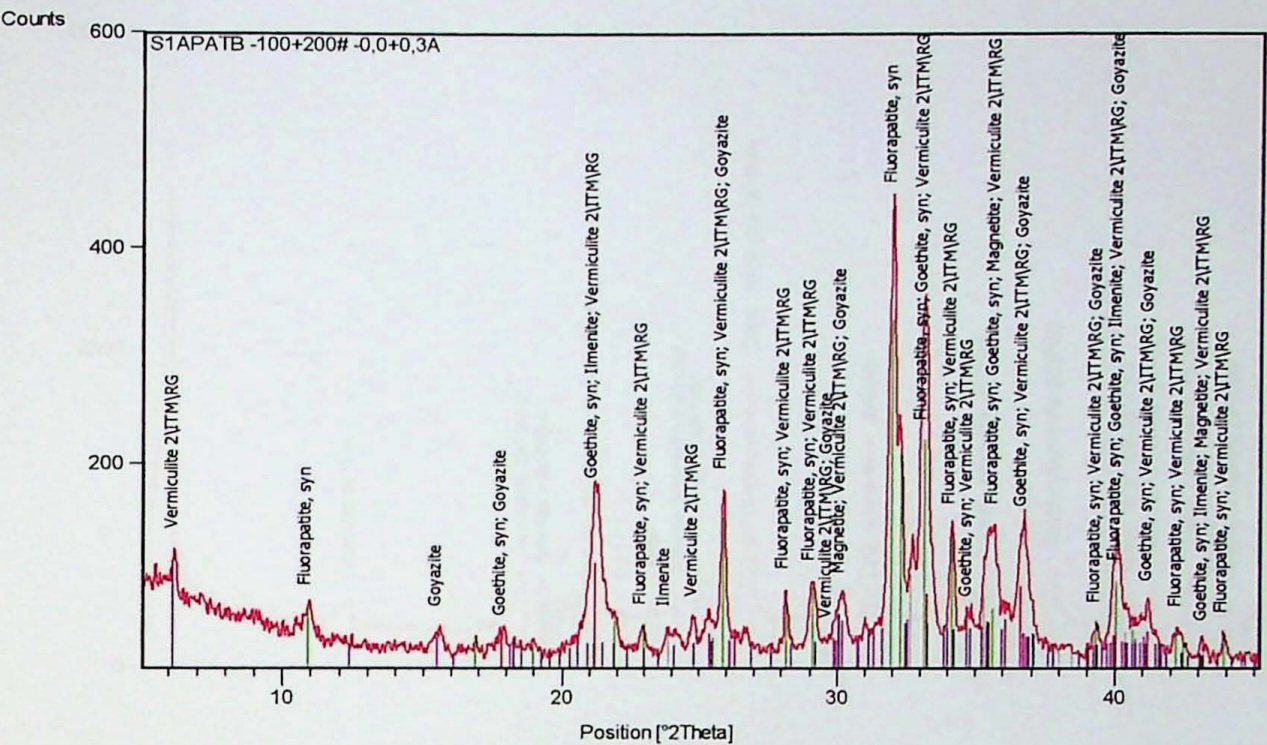
Microscópio eletrônico de varredura



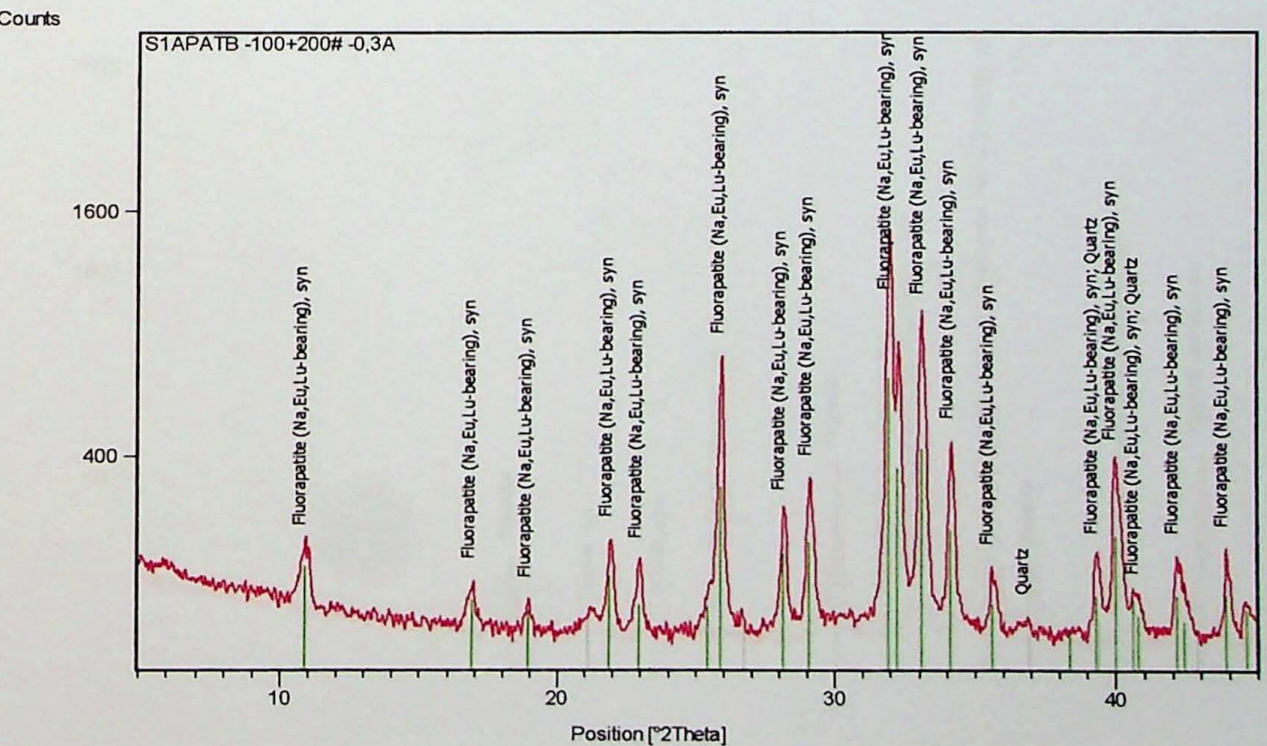
Amostra APAT – Difratograma do produto flutuado, fração -0,149+0,074 mm.



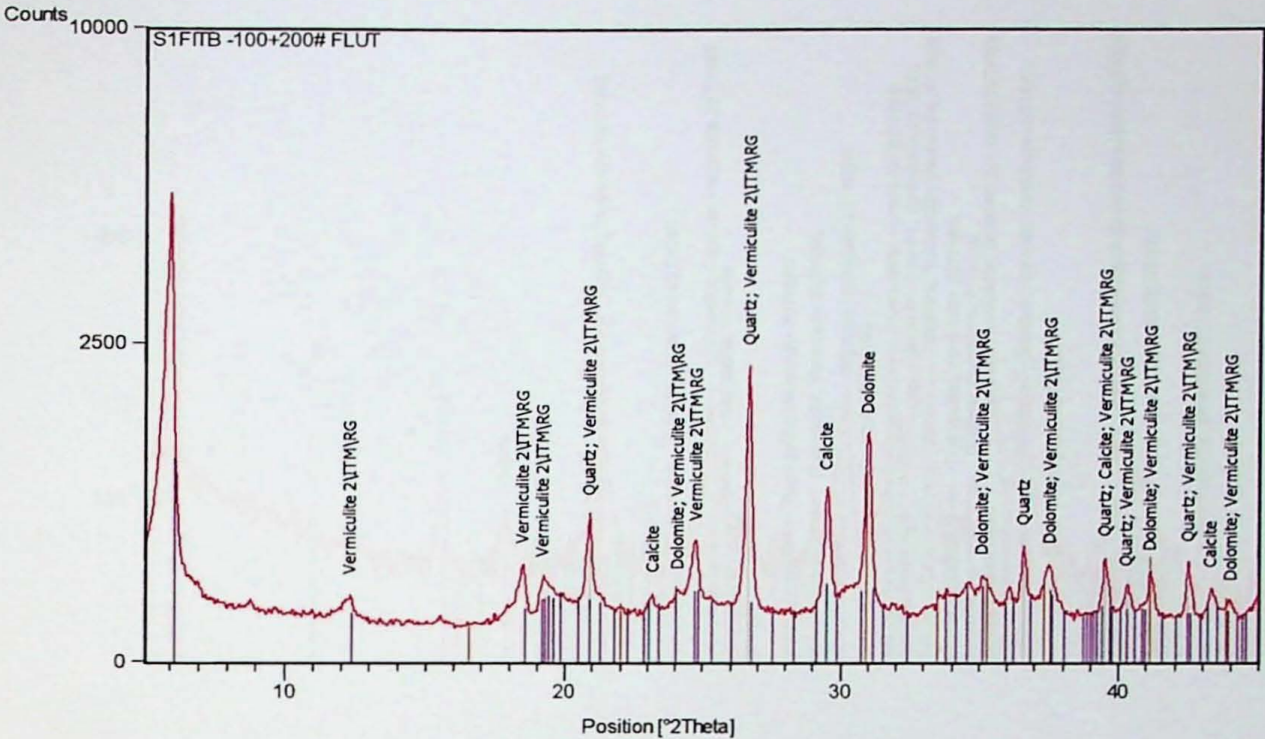
Amostra APAT – Difratograma do produto fortemente magnético +0,0 A, fração -0,149+0,074 mm.



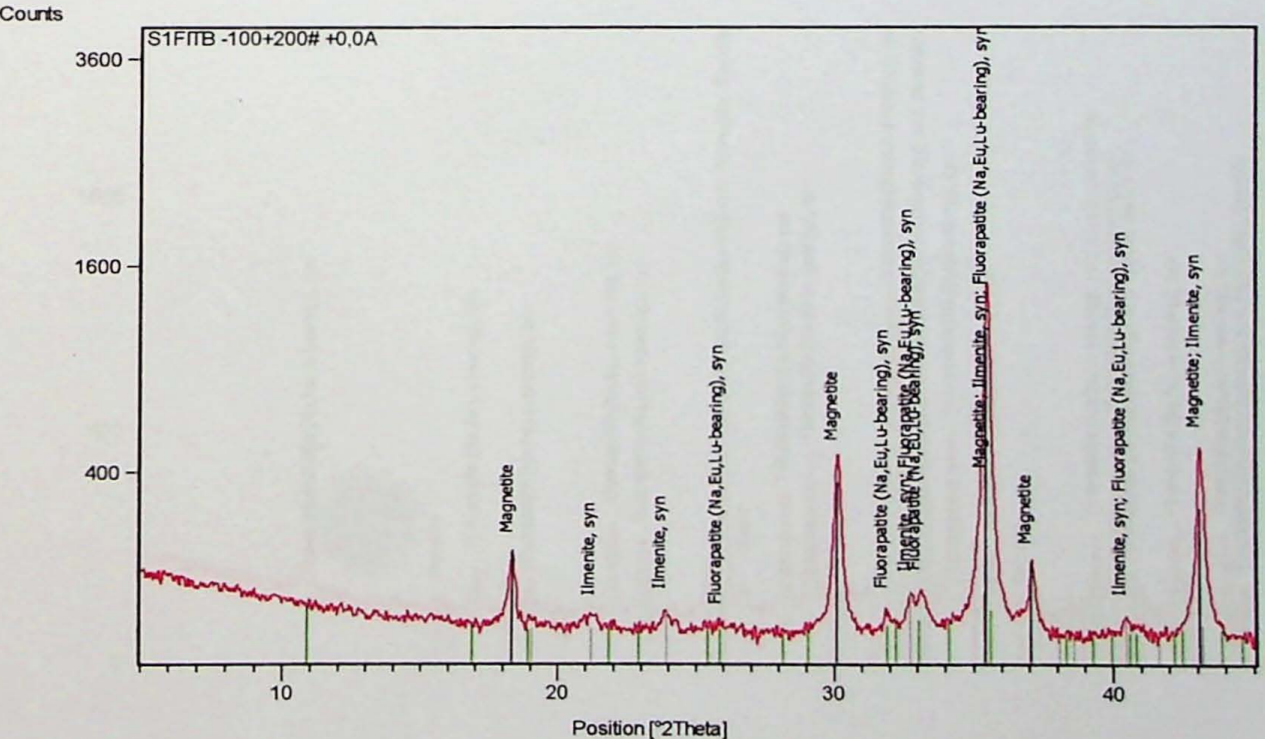
Amostra APAT – Difratograma do produto fracamente magnético -0,0+0,3 A, fração -0,149+0,074 mm.



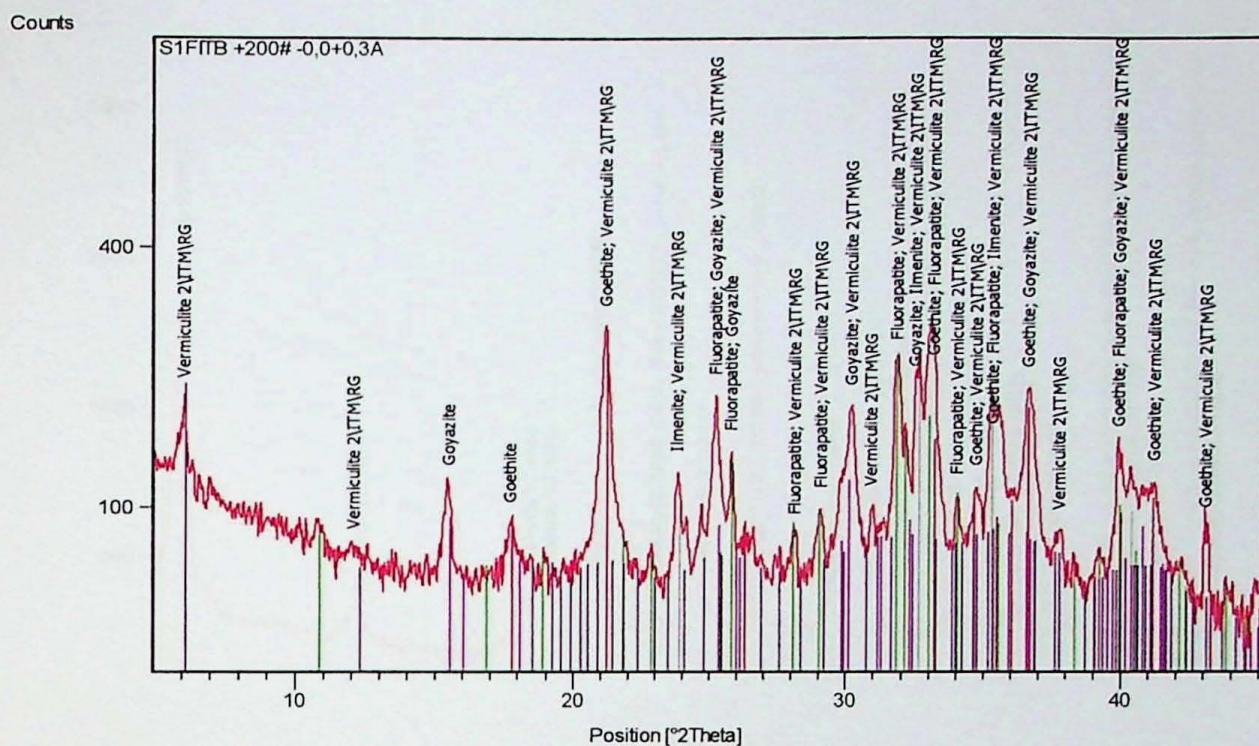
Amostra APAT – Difratograma do produto não magnético -0,3 A, fração -0,149+0,074 mm.



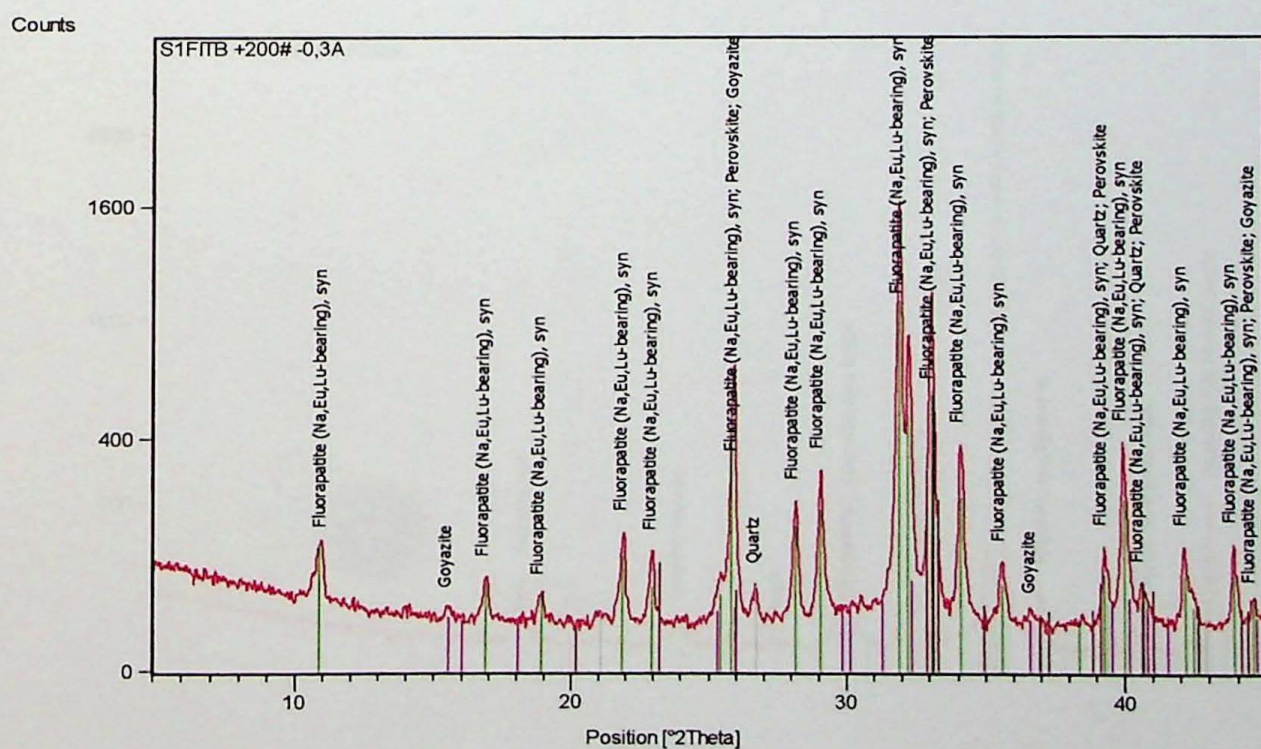
Amostra FIT – Difratograma do produto flutuado, fração -0,149+0,074 mm.



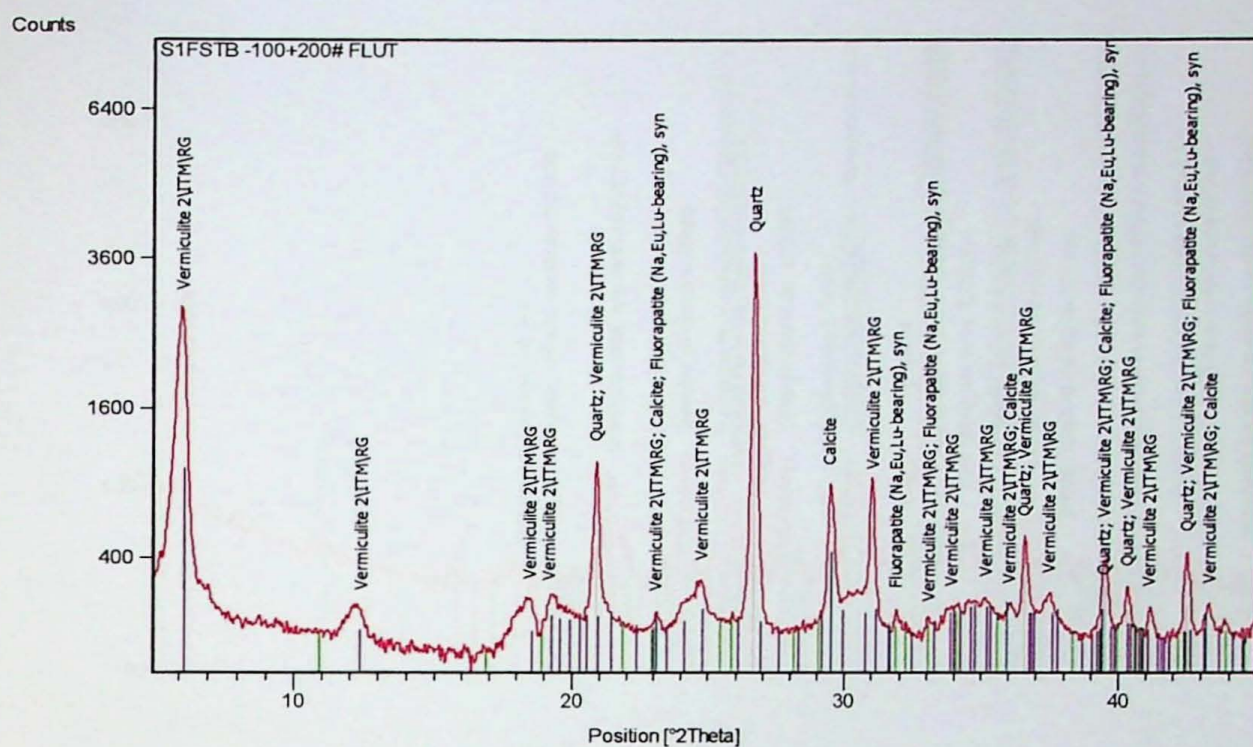
Amostra FIT – Difratograma do produto fortemente magnético +0,0 A, fração -0,149+0,074 mm.



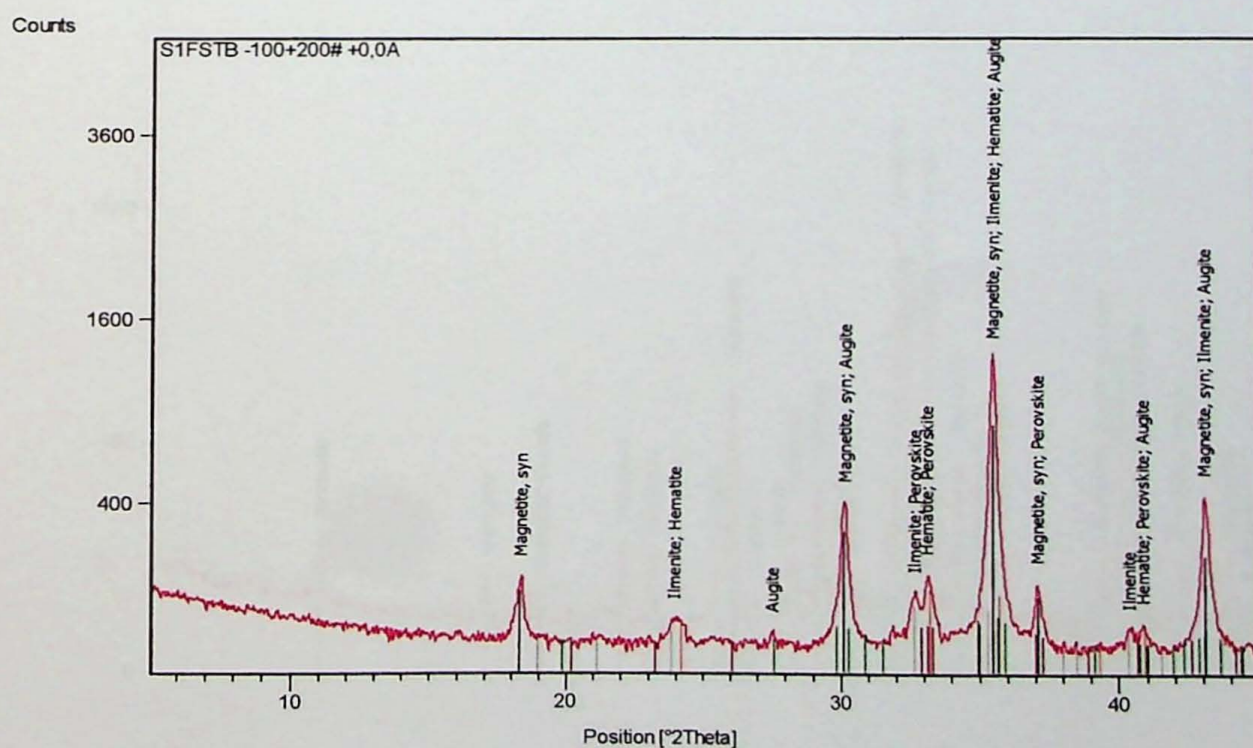
Amostra FIT – Difratograma do produto fracamente magnético -0,0+0,3 A, fração -0,149+0,074 mm.



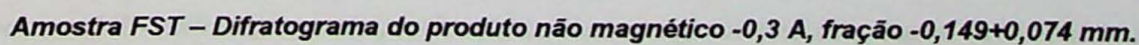
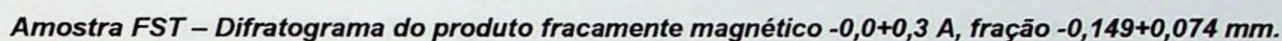
Amostra FIT – Difratograma do produto não magnético -0,3 A, fração -0,149+0,074 mm.

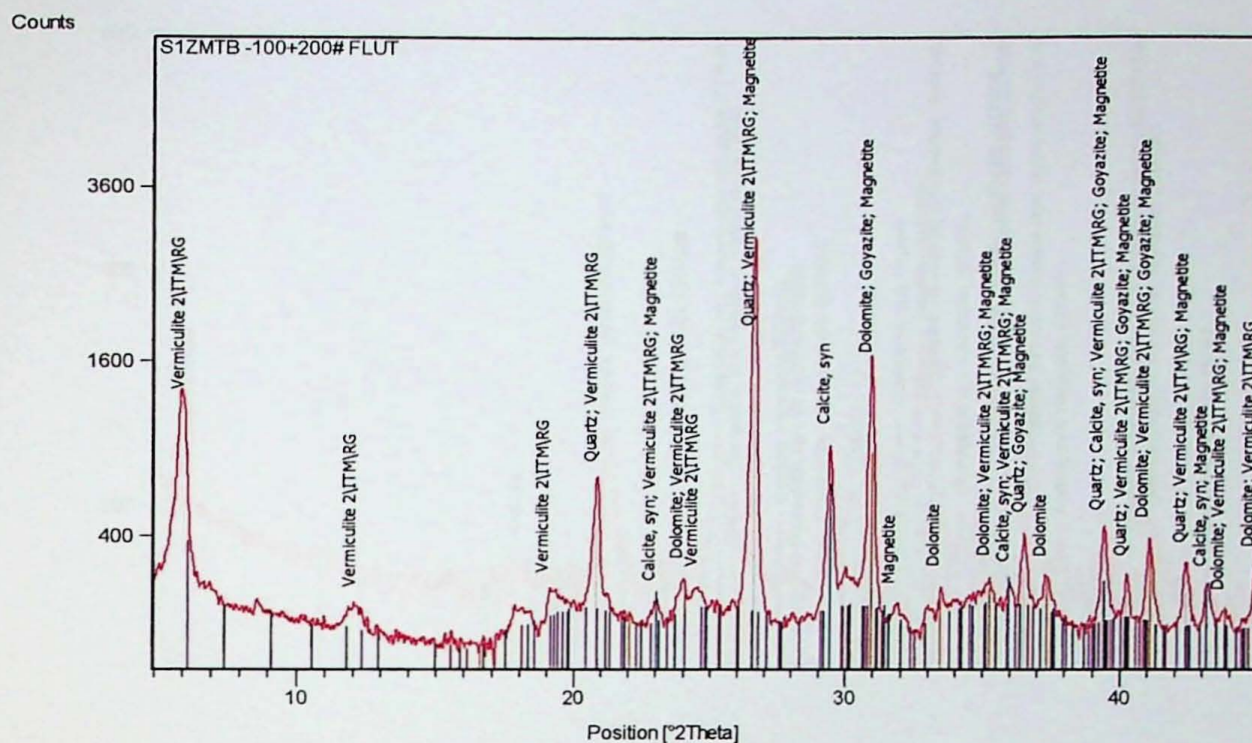


Amostra FST – Difratoograma do produto flutuado, fração -0,149+0,074 mm.

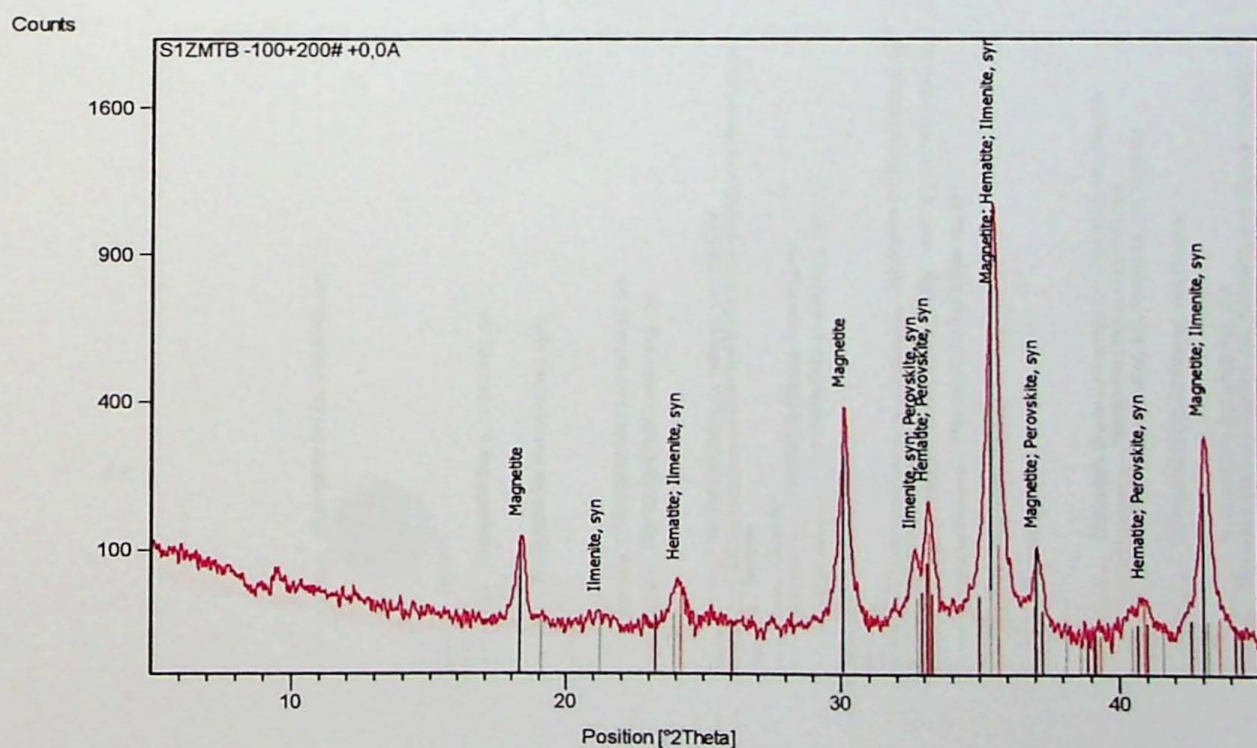


Amostra FST – Difractograma do produto fortemente magnético +0,0 A, fração -0,149+0,074 mm.

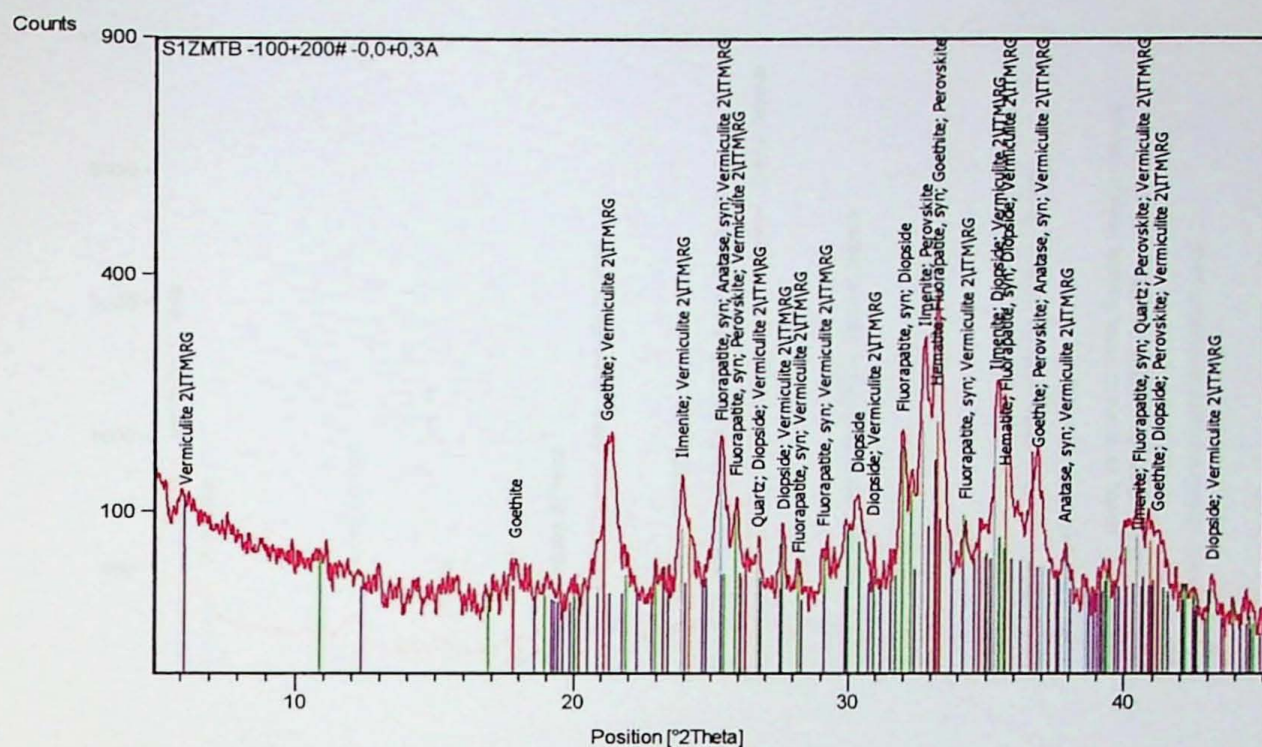




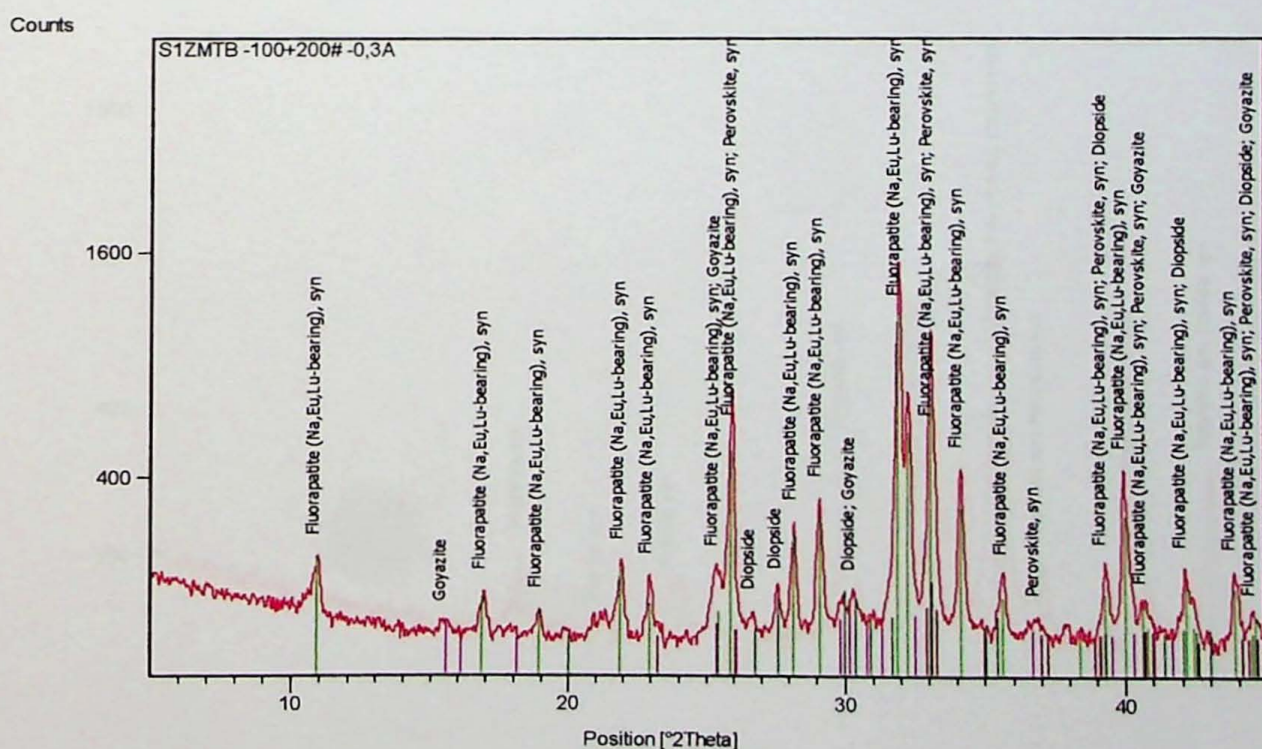
Amostra ZMT – Difratoograma do produto flutuado, fração -0,149+0,074 mm.



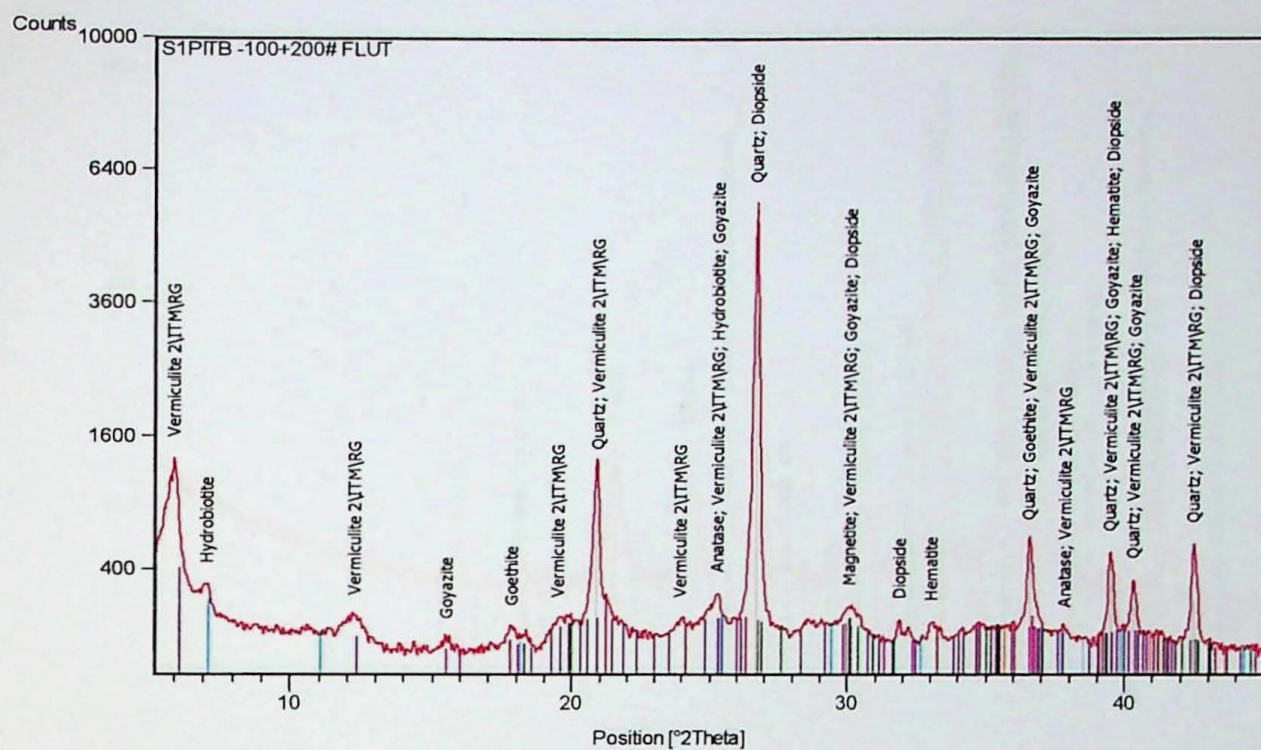
Amostra ZMT – Difratograma do produto fortemente magnético +0,0 A, fração -0,149+0,074 mm.



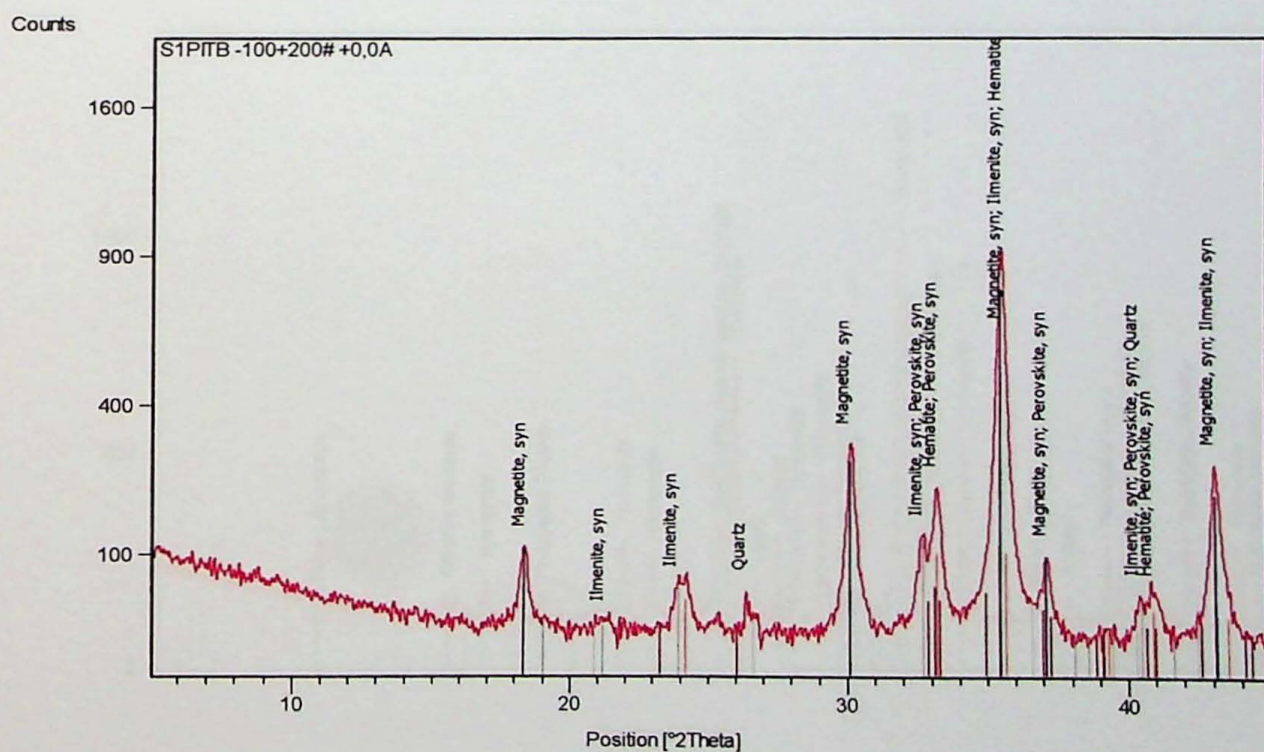
Amostra ZMT – Difratoograma do produto fracamente magnético -0,0+0,3 A, fração -0,149+0,074 mm.



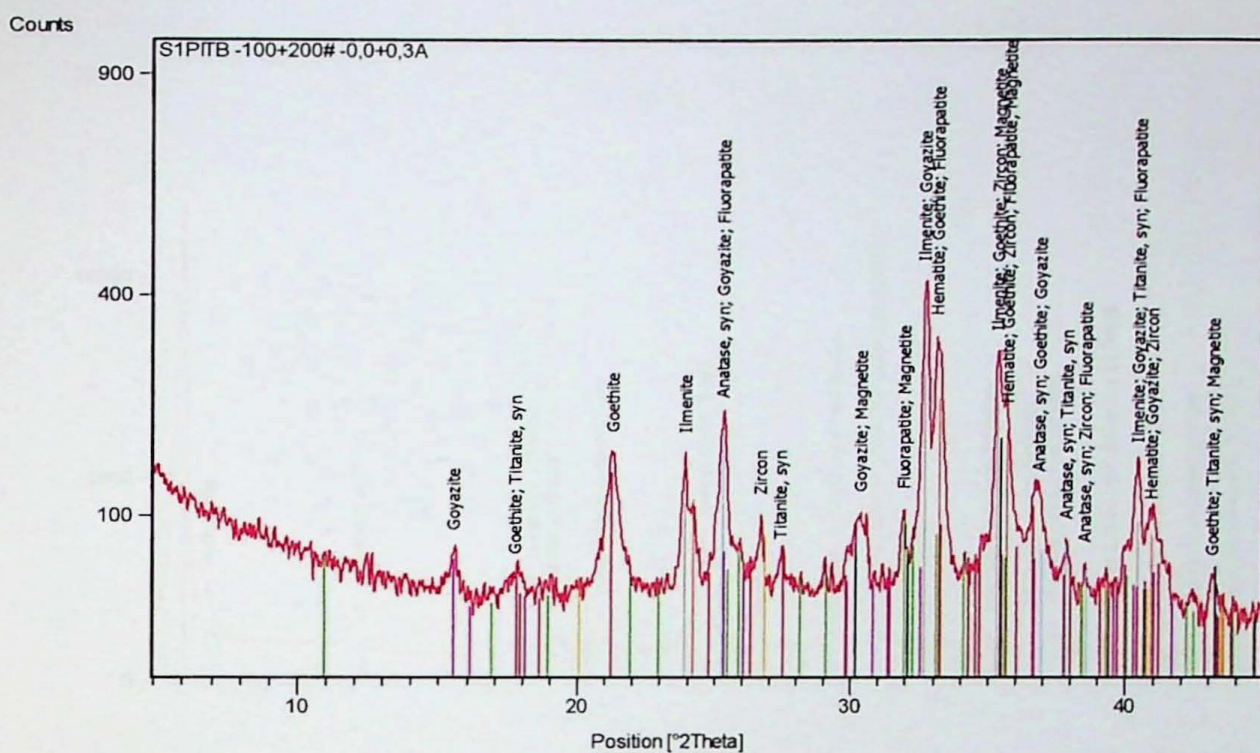
Amostra ZMT – Difractograma do produto não magnético -0,3 A, fração -0,149+0,074 mm.



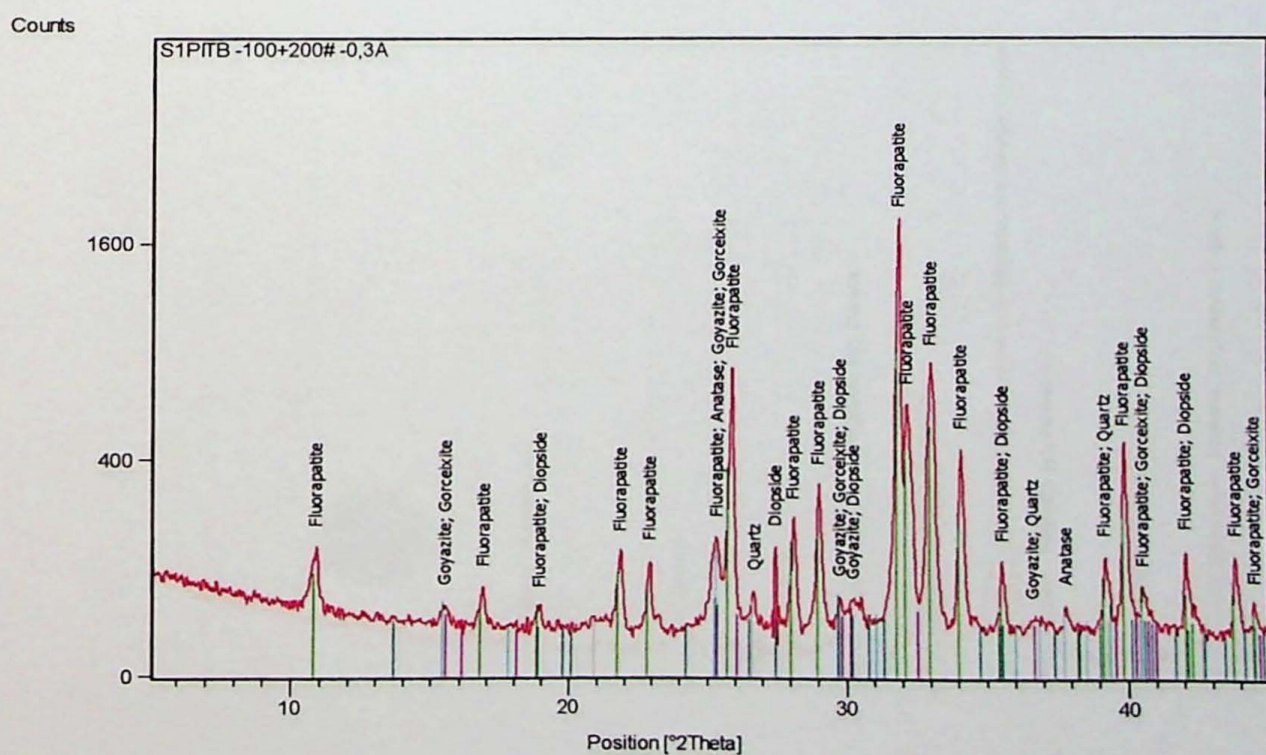
Amostra PIT – Difratograma do produto flutuado, fração -0,149+0,074 mm.



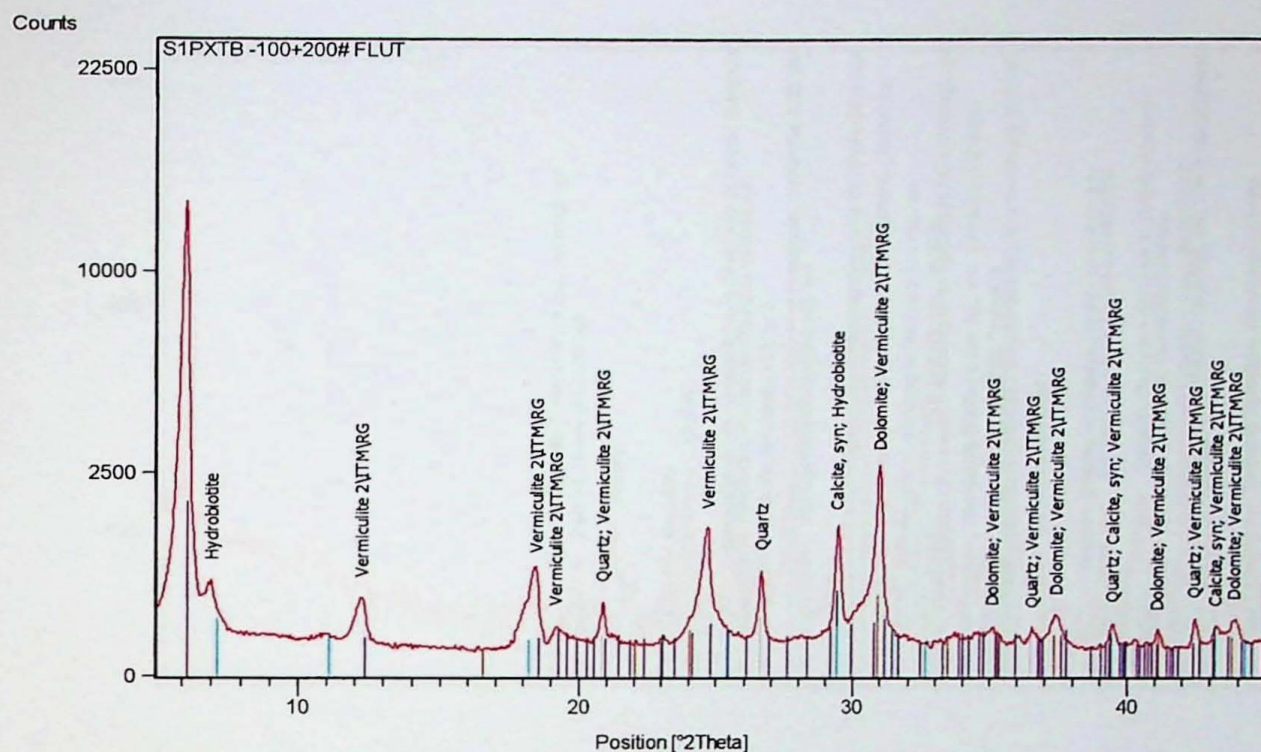
Amostra PIT - Difratograma do produto fortemente magnético +0,0 A, fração -0,149+0,074 mm.



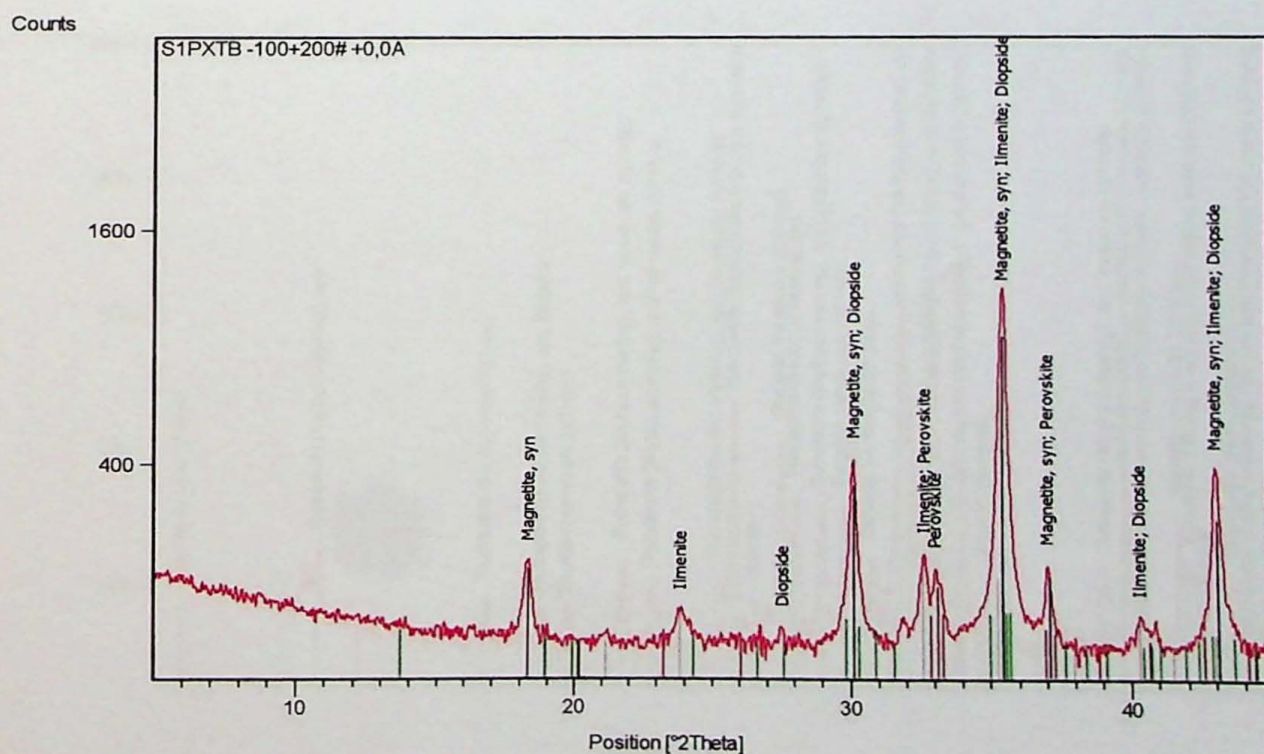
Amostra PIT – Difratoograma do produto fracamente magnético -0,0+0,3 A, fração -0,149+0,074 mm.



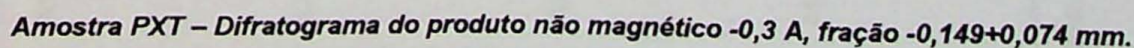
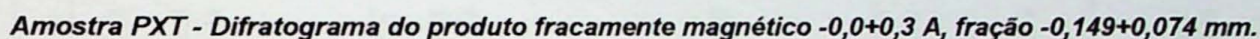
Amostra PIT – Difratoograma do produto não magnético -0,3 A, fração -0,149+0,074 mm.



Amostra PXT – Difractograma do produto flutuado, fração -0,149+0,074 mm.



Amostra PXT – Difratoograma do produto fortemente magnético +0,0 A, fração -0,149+0,074 mm.



Amostra APAT - Resultados dos produtos de separações minerais, fração -0,595+0,020 mm.

Fração (mm)	Produto	% Massa ensaio amostra	Teores (%)										Distribuição no ensaio(%)					Distribuição na amostra (%)						
			P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	BaO	PF	CaO/P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂
-0,595+0,210	Flut	3,5	2,26	7,68	53,2	4,44	4,47	10,2	0,47	0,38	17,3	3,40	0,2	0,6	83,8	1,5	...	1,5	0,0	0,1	7,6	0,0	...	0,1
	Afund. Mag 0,0A	3,6	3,76	4,84	1,60	<0,10	80,2	3,56	3,35	1,04	...	1,29	0,4	0,4	2,6	27,8	...	10,5	0,0	0,0	0,2	0,7	...	0,5
	Afund. FRM 0,3A	17,7	19,8	26,8	1,27	0,95	32,8	0,99	4,01	1,15	6,65	1,35	10,8	10,6	10,0	55,9	...	61,8	0,9	1,0	0,9	1,5	...	3,1
	Afund. NMAG 0,3A	75,2	38,3	52,2	0,11	0,22	2,04	<0,10	0,40	0,61	2,69	1,36	88,6	88,4	3,7	14,8	...	26,2	7,8	8,0	0,3	0,4	...	1,3
	Total calculado	100,0	32,5	44,5	2,25	...	10,4	...	1,15	0,71	...	1,37	100,0	100,0	100,0	100,0	...	100,0	8,8	9,1	9,0	2,6	...	5,1
-0,210+0,149	Flut	1,9	2,52	11,6	44,7	4,14	4,71	9,96	0,57	0,40	20,7	4,61	0,2	0,6	...	0,3	14,1	0,7	0,0	0,1	...	0,1	2,9	0,1
	Afund. Mag 0,0A	24,6	1,48	1,79	0,35	<0,10	87,1	3,76	3,39	1,04	...	1,21	1,4	1,2	...	79,5	70,0	52,9	0,3	0,3	...	16,8	14,6	11,3
	Afund. FRM 0,3A	11,7	17,6	22,5	1,34	1,50	37,3	1,22	4,52	1,27	7,51	1,28	7,7	7,3	...	16,1	10,8	33,5	1,7	1,7	...	3,4	2,2	7,1
	Afund. NMAG 0,3A	61,8	39,2	52,8	<0,10	0,19	1,75	0,11	0,33	0,52	2,13	1,35	90,8	90,9	...	4,0	5,1	12,9	20,1	20,5	...	0,8	1,1	2,8
	Total calculado	100,0	26,7	36,0	...	...	27,0	1,32	1,58	0,73	...	1,35	100,0	100,0	...	100,0	100,0	100,0	22,1	22,6	...	21,1	20,8	21,4
-0,149+0,074	Flut	1,8	2,31	9,99	42,1	5,00	5,82	10,3	0,63	0,41	...	4,32	0,2	0,5	...	0,4	13,4	0,7	0,0	0,1	...	0,1	3,8	0,2
	Afund. Mag 0,0A	25,2	1,10	1,30	0,33	<0,10	88,0	3,76	3,27	1,02	...	1,19	1,0	0,9	...	80,4	68,0	51,6	0,3	0,3	...	22,7	19,4	14,6
	Afund. FRM 0,3A	11,8	16,6	20,7	2,04	1,86	37,4	1,67	5,11	1,38	7,97	1,25	7,4	6,9	...	16,0	14,1	37,7	2,1	2,0	...	4,5	4,0	10,6
	Afund. NMAG 0,3A	61,2	39,4	52,7	<0,10	0,22	1,48	0,10	0,26	0,59	1,80	1,34	91,4	91,6	...	3,3	4,4	10,0	26,1	26,4	...	0,9	1,3	2,8
	Total calculado	100,0	26,4	35,2	...	...	27,6	1,39	1,60	0,79	...	1,33	100,0	100,0	...	100,0	100,0	100,0	28,5	28,9	...	28,2	28,6	28,2
-0,074+0,020	Flut	2,9	2,33	8,07	42,6	6,11	7,05	11,3	0,72	0,38	20,5	3,46	0,3	0,7	...	0,7	20,6	1,2	0,1	0,2	...	0,2	6,1	0,3
	Afund. Mag 0,0A	24,1	1,13	1,31	0,50	<0,10	88,1	3,69	3,11	1,01	0,56	1,16	1,1	1,0	...	73,6	55,9	42,5	0,3	0,2	...	19,6	16,5	12,0
	Afund. FRM 0,3A	19,5	17,2	20,7	1,48	1,85	33,6	1,60	4,30	1,54	8,81	1,20	13,0	11,9	...	21,6	18,6	45,2	3,1	2,8	...	5,8	5,5	12,7
	Afund. NMAG 0,3A	54,5	38,4	51,0	<0,10	0,26	2,15	0,14	0,36	0,63	2,45	1,33	85,6	86,4	...	4,1	4,8	11,1	20,4	20,6	...	1,1	1,4	3,1
	Total calculado	100,0	24,4	32,1	...	...	28,8	1,59	1,76	0,88	3,70	1,32	100,0	100,0	...	100,0	100,0	100,0	23,9	23,8	...	26,7	29,5	28,2
TOTAL -0,020	Flut	2,3	2,36	9,28	44,3	5,18	5,89	10,6	0,63	0,39	...	3,94	0,2	0,6	...	0,5	...	0,9	0,2	0,5	...	0,4	...	0,8
	Afund. Mag 0,0A	22,9	1,25	1,49	0,41	<0,10	87,7	3,73	3,25	1,02	...	1,19	1,1	1,0	...	76,1	...	46,3	0,9	0,8	...	59,8	...	38,4
	Afund. FRM 0,3A	14,4	17,4	21,7	1,59	1,68	35,4	1,47	4,54	1,40	8,07	1,25	9,4	8,8	...	19,3	...	40,6	7,9	7,5	...	15,1	...	33,6
	Afund. NMAG 0,3A	60,5	39,0	52,2	...	0,22	1,80	...	0,32	0,58	2,16	1,34	89,3	89,6	...	4,1	...	12,1	74,4	75,6	...	3,2	...	10,0
	Total calculado	100,0	26,4	35,2	...	...	26,3	...	1,60	0,80	...	1,34	100,0	100,0	...	100,0	...	100,0	83,3	84,4	...	78,6	...	82,8

Amostra FIT - Resultados dos produtos de separações minerais, fração -0,595+0,020 mm.

Fração (mm)	Produto	% Massa ensaio amostra	Teores (%)										CaO/ P ₂ O ₅	Distribuição no ensaio(%)					Distribuição na amostra (%)						
			P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	BaO	PF	P ₂ O ₅		CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	
-0,595+0,210	Flut	6,7	0,3	0,89	3,85	44,4	7,60	6,47	17,0	0,97	0,33	18,9	4,33	0,3	1,1	...	1,2	39,0	1,2	0,0	0,1	...	0,1	2,0	0,1
	Afund. Mag 0,0A	30,5	1,5	0,38	0,57	0,23	<0,10	87,4	4,40	5,13	1,03	...	1,52	0,6	0,7	...	72,9	45,7	28,8	0,0	0,0	...	3,2	2,3	1,7
	Afund. FRM 0,3A	22,1	1,1	8,56	12,4	1,63	1,84	41,0	1,73	13,9	1,18	6,85	1,45	10,6	11,2	...	24,8	13,0	56,5	0,6	0,7	...	1,1	0,7	3,3
	Afund. NMAG 0,3A	40,7	2,0	38,6	52,1	<0,10	<0,10	0,95	0,16	1,79	0,60	2,00	1,35	88,4	87,0	...	1,1	2,2	13,5	4,7	5,1	...	0,0	0,1	0,8
	Total calculado	100,0	4,8	17,8	24,4	...	...	36,5	2,93	5,42	0,84	...	1,37	100,0	100,0	...	100,0	100,0	100,0	5,3	5,9	...	4,4	5,1	5,9
-0,210+0,149	Flut	3,5	0,7	1,31	9,68	42,0	6,40	6,00	14,6	0,92	0,42	...	7,39	0,3	1,5	71,6	0,5	18,5	0,7	0,1	0,3	8,1	0,1	3,7	0,1
	Afund. Mag 0,0A	39,2	7,7	0,59	0,66	<0,10	<0,10	87,6	4,33	4,69	1,07	...	1,11	1,3	1,1	5,1	82,5	60,5	39,0	0,3	0,3	0,6	16,9	12,1	8,2
	Afund. FRM 0,3A	16,0	3,2	9,59	10,7	2,00	3,31	41,6	2,47	14,0	1,55	8,08	1,11	8,6	7,2	15,4	16,0	14,1	47,5	1,9	1,7	1,7	3,3	2,8	10,0
	Afund. NMAG 0,3A	41,3	8,1	38,7	51,5	0,40	0,38	1,07	0,47	1,47	0,63	1,77	1,33	89,8	90,2	7,9	1,1	6,9	12,9	19,7	21,2	0,9	0,2	1,4	2,7
	Total calculado	100,0	19,7	17,8	23,6	2,08	...	41,7	2,80	4,72	0,94	...	1,33	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	21,9	23,5	11,4	20,5	20,0	21,0
-0,149+0,074	Flut	3,6	1,0	1,08	8,69	42,3	6,21	5,98	13,8	0,79	0,39	20,4	8,05	0,2	1,3	66,1	0,5	17,1	0,6	0,1	0,4	11,6	0,1	4,9	0,2
	Afund. Mag 0,0A	39,0	10,8	0,61	0,67	<0,10	<0,10	84,7	4,22	4,36	0,98	...	1,09	1,3	1,1	6,6	82,5	57,0	37,5	0,4	0,4	1,2	22,7	16,4	10,6
	Afund. FRM 0,3A	15,9	4,4	8,96	9,01	2,82	3,76	40,5	3,46	14,3	1,62	8,69	1,01	8,0	6,1	19,5	16,1	19,1	50,2	2,5	2,0	3,4	4,4	5,5	14,2
	Afund. NMAG 0,3A	41,5	11,5	38,8	51,5	0,43	0,28	0,88	0,48	1,27	0,63	1,64	1,33	90,4	91,4	7,8	0,9	6,9	11,7	27,8	29,9	1,4	0,3	2,0	3,3
	Total calculado	100,0	27,6	17,8	23,4	2,30	...	40,0	2,89	4,53	0,92	...	1,31	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	30,7	32,7	17,6	27,5	28,9	28,2
-0,074+0,020	Flut	6,8	1,7	1,32	5,74	42,9	6,57	8,70	13,6	0,72	0,45	19,5	4,35	0,6	2,0	76,2	1,5	28,5	1,0	0,1	0,5	19,7	0,4	8,2	0,3
	Afund. Mag 0,0A	35,2	8,5	0,97	1,01	0,37	<0,10	86,6	4,21	4,03	0,96	...	1,04	2,2	1,8	3,4	74,7	45,3	29,6	0,5	0,4	0,9	18,4	13,0	7,8
	Afund. FRM 0,3A	25,7	6,2	11,8	11,5	2,77	4,21	36,4	2,78	11,0	1,75	9,26	0,98	19,3	15,0	18,5	22,9	21,8	58,7	4,6	3,6	4,8	5,7	6,3	15,4
	Afund. NMAG 0,3A	32,3	7,8	38,0	49,9	0,23	0,39	1,19	0,44	1,59	0,63	1,98	1,31	78,0	81,3	1,9	0,9	4,3	10,7	18,6	19,8	0,5	0,2	1,2	2,8
	Total calculado	100,0	24,3	15,7	19,8	3,85	...	40,8	3,27	4,80	1,02	...	1,26	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	23,8	24,3	25,9	24,7	28,7	26,3
TOTAL	Flut	4,8	3,7	1,22	7,12	42,7	6,53	7,26	14,1	0,80	0,42	...	5,86	0,3	1,5	...	0,9	22,7	0,8	0,3	1,3	...	0,7	18,8	0,7
	Afund. Mag 0,0A	37,3	28,5	0,70	0,76	0,34	<0,10	86,2	4,26	4,39	1,00	...	1,09	1,5	1,3	...	79,4	53,1	34,7	1,3	1,1	...	61,2	43,9	28,2
	Afund. FRM 0,3A	19,4	14,8	10,3	10,7	2,54	3,72	39,0	2,84	12,8	1,63	8,67	1,04	11,6	9,3	...	18,7	18,4	52,7	9,5	8,0	...	14,4	15,3	42,9
	Afund. NMAG 0,3A	38,5	29,4	38,6	51,1	...	...	1,02	0,45	1,45	0,63	1,79	1,33	86,5	87,9	...	1,0	5,7	11,8	70,7	76,0	...	0,7	4,7	9,6
	Total calculado	100,0	76,4	17,1	22,4	...	...	40,5	2,99	4,72	0,95	...	1,30	100,0	100,0	...	100,0	100,0	100,0	81,7	86,4	...	77,0	82,7	81,3

Amostra ZMT - Resultados dos produtos de separações minerais, fração -0,595+0,020 mm.

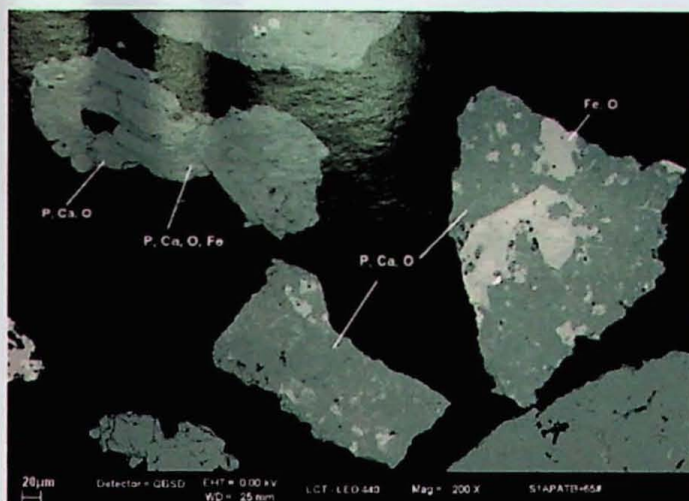
Fração (mm)	Produto	% Massa ensaio amostra	Teores (%)							Distribuição no ensaio(%)					Distribuição na amostra (%)									
			P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	BaO	PF	CaO/P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂
-0,595+0,210	Flut	24,4	1,14	6,49	59,1	4,47	5,99	10,6	0,84	0,37	10,8	5,69	1,7	5,8	...	9,2	65,0	2,3	0,1	0,4	...	0,3	4,2	0,2
	Afund. Mag 0,0A	8,7	0,80	2,15	<0,10	0,19	88,1	2,17	6,36	1,00	...	2,69	0,4	0,7	...	48,5	4,7	6,2	0,0	0,0	...	1,6	0,3	0,5
	Afund. FRM 0,3A	22,7	6,78	20,8	11,1	1,07	25,2	3,62	22,7	0,84	3,65	3,06	9,5	17,4	...	36,2	20,6	58,1	0,6	1,2	...	1,2	1,3	4,2
	Afund. NMAG 0,3A	44,3	32,2	46,6	3,35	0,52	2,16	0,87	6,69	0,62	1,87	1,45	88,3	76,1	...	6,1	9,7	33,4	5,3	5,3	...	0,2	0,6	2,4
	Total calculado	100,0	16,1	27,1	...	1,58	15,8	3,99	8,87	0,64	...	1,68	100,0	100,0	...	100,0	100,0	100,0	6,0	7,0	...	3,2	6,5	7,3
-0,210+0,149	Flut	16,5	1,37	12,6	47,3	4,18	5,30	10,5	0,91	0,43	18,1	9,19	1,2	7,1	76,7	3,9	59,0	2,0	0,2	1,3	8,1	0,4	6,9	0,3
	Afund. Mag 0,0A	16,9	1,09	1,87	0,73	<0,10	86,1	2,17	6,26	1,05	...	1,72	1,0	1,1	1,2	64,9	12,5	14,5	0,2	0,2	0,1	7,4	1,5	2,1
	Afund. FRM 0,3A	16,9	8,21	15,6	6,13	1,64	35,1	2,75	21,8	1,07	4,97	1,90	7,2	9,0	10,2	26,4	15,8	50,4	1,3	1,7	1,1	3,0	1,9	7,4
	Afund. NMAG 0,3A	49,7	35,1	48,5	2,41	0,63	2,20	0,75	4,86	0,63	1,80	1,38	90,7	82,8	11,8	4,9	12,7	33,1	15,9	15,3	1,2	0,6	1,5	4,9
	Total calculado	100,0	19,3	29,1	10,1	...	22,5	2,94	7,31	0,74	...	1,51	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	17,6	18,5	10,5	11,4	11,7	14,7
-0,149+0,074	Flut	15,6	1,14	13,5	47,9	4,51	5,89	11,3	0,97	0,45	13,8	11,8	1,0	7,6	77,4	3,6	55,8	2,0	0,3	2,4	13,7	0,8	12,4	0,5
	Afund. Mag 0,0A	18,4	0,77	1,21	0,89	<0,10	88,2	2,19	5,59	1,04	...	1,58	0,8	0,8	1,7	62,9	12,8	13,7	0,2	0,3	0,3	14,5	2,8	3,7
	Afund. FRM 0,3A	17,9	6,76	11,0	4,49	1,89	42,6	3,01	22,5	1,18	5,23	1,63	6,5	7,1	8,3	29,5	17,1	53,8	2,0	2,2	1,5	6,8	3,8	14,4
	Afund. NMAG 0,3A	48,1	35,4	48,6	2,52	0,69	2,15	0,94	4,75	0,62	1,84	1,38	91,7	84,5	12,5	4,0	14,3	30,5	27,4	26,2	2,2	0,9	3,2	8,1
	Total calculado	100,0	18,5	27,7	9,65	...	25,8	3,16	7,49	0,77	...	1,49	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	29,9	31,1	17,7	23,1	22,3	26,7
-0,074+0,020	Flut	21,5	1,21	10,9	45,8	4,54	8,85	10,5	0,88	0,45	16,5	9,00	1,7	10,2	78,8	7,4	58,5	2,4	0,4	2,5	17,4	1,6	15,3	0,6
	Afund. Mag 0,0A	15,8	0,82	1,05	0,81	<0,10	88,7	2,28	4,68	1,07	...	1,28	0,8	0,7	1,0	54,8	9,4	9,4	0,2	0,2	0,2	12,1	2,5	2,5
	Afund. FRM 0,3A	17,9	6,26	7,60	3,75	2,40	42,3	3,12	22,5	1,28	7,21	1,21	7,2	5,9	5,4	29,5	14,5	50,9	1,7	1,5	1,2	6,5	3,8	13,8
	Afund. NMAG 0,3A	44,8	31,2	42,8	4,12	1,22	4,72	1,51	6,59	0,75	2,91	1,37	90,3	83,2	14,8	8,3	17,6	37,3	21,8	20,7	3,3	1,8	4,6	10,1
	Total calculado	100,0	15,5	23,0	12,5	...	25,6	3,85	7,91	0,83	...	1,48	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	24,1	24,9	22,1	22,1	26,2	27,2
TOTAL +0,020	Flut	18,6	1,21	11,5	48,1	4,46	6,99	10,8	0,91	0,44	15,4	9,51	1,3	8,1	...	5,4	58,3	2,2	1,0	6,6	...	3,2	38,9	1,7
	Afund. Mag 0,0A	16,4	0,85	1,34	...	...	87,9	2,22	5,46	1,05	...	1,56	0,8	0,8	...	59,5	10,6	11,6	0,6	0,7	...	35,6	7,1	8,8
	Afund. +0,0 e +0,3A	18,1	6,87	11,7	5,24	1,93	39,2	3,06	22,4	1,16	5,70	1,71	7,1	8,1	...	29,3	16,2	52,5	5,5	6,6	...	17,5	10,8	39,8
	Afund. NMAG 0,3A	47,0	33,7	46,5	3,09	0,84	3,02	1,08	5,54	0,67	2,19	1,38	90,8	83,0	...	5,8	14,9	33,7	70,5	67,6	...	3,5	9,9	25,6
	Total calculado	100,0	17,4	26,3	...	...	24,2	3,42	7,71	0,78	...	1,51	100,0	100,0	...	100,0	100,0	100,0	77,6	81,5	...	59,8	66,6	75,9

Amostra PIT - Resultados dos produtos de separações minerais, fração -0,595+0,020 mm.

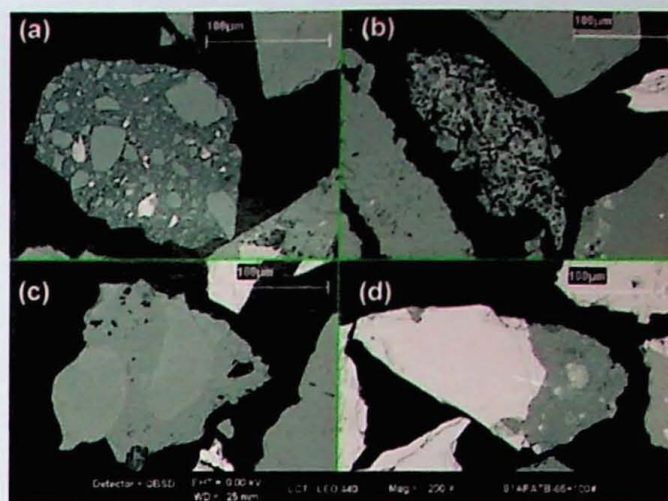
Fração (mm)	Produto	% Massa ensaio amostra	Teores (%)										Distribuição no ensaio(%)										Distribuição na amostra (%)									
			P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	BaO	PF	CaO/ P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂		
-0,595+0,210	Flut	36,0	2,5	1,11	1,69	81,0	2,68	6,30	2,89	0,82	0,39	2,96	1,52	2,9	3,1	97,7	13,0	...	2,6	0,2	0,3	9,7	0,6	...	0,2	0,2	0,3	9,7	0,6	...	0,2	
	Afund. Mag 0,0A	6,3	0,4	0,43	1,15	0,97	0,27	86,8	1,61	7,93	1,04	...	2,67	0,2	0,4	0,2	31,3	...	4,4	0,0	0,0	0,0	1,4	...	0,4	0,0	0,0	0,0	1,4	...	0,4	
	Afund. FRM 0,3A	21,3	1,5	3,42	7,32	2,44	1,90	43,6	1,57	31,4	1,44	4,26	2,14	5,3	7,9	1,7	53,4	...	59,3	0,4	0,8	0,2	2,3	...	5,3	0,4	0,8	0,2	2,3	...	5,3	
	Afund. NMAG 0,3A	36,4	2,6	34,4	47,8	0,27	0,54	1,07	<0,10	10,4	0,62	1,49	1,39	91,6	88,6	0,3	2,2	...	33,7	7,6	8,6	0,0	0,1	...	3,0	7,6	8,6	0,0	0,1	...	3,0	
	Total calculado	100,0	7,1	13,7	19,7	29,8	1,58	17,4	...	11,3	0,74	...	1,43	100,0	100,0	100,0	100,0	...	100,0	8,4	9,7	9,9	4,4	...	8,9	8,4	9,7	9,9	4,4	...	8,9	
-0,210+0,149	Flut	21,7	2,9	1,85	1,79	76,6	3,21	7,88	1,78	1,67	0,43	4,78	0,97	2,6	1,9	94,0	6,3	...	3,4	0,5	0,4	10,6	0,8	...	0,5	0,5	0,4	10,6	0,8	...	0,5	
	Afund. Mag 0,0A	16,7	2,3	0,63	0,82	1,48	<0,10	85,5	2,08	8,40	1,03	...	1,31	0,7	0,7	1,4	52,9	...	13,1	0,1	0,1	0,2	6,9	...	2,1	0,1	0,1	0,2	6,9	...	2,1	
	Afund. FRM 0,3A	22,1	3,0	4,06	5,48	2,74	2,49	47,6	1,95	27,8	1,45	4,74	1,35	5,7	5,8	3,4	38,9	...	57,0	1,1	1,1	0,4	5,1	...	9,3	1,1	1,1	0,4	5,1	...	9,3	
	Afund. NMAG 0,3A	39,5	5,4	36,0	48,5	0,52	0,66	1,26	<0,10	7,22	0,65	1,51	1,35	91,0	91,7	1,2	1,8	...	26,5	16,7	18,2	0,1	0,2	...	4,3	16,7	18,2	0,1	0,2	...	4,3	
	Total calculado	100,0	13,6	15,6	20,9	17,6	...	27,0	...	10,8	0,84	...	1,34	100,0	100,0	100,0	100,0	...	100,0	18,4	19,9	11,3	13,1	...	16,3	18,4	19,9	11,3	13,1	...	16,3	
-0,149+0,074	Flut	19,4	4,3	1,80	1,77	72,9	4,64	8,85	2,20	1,80	0,47	4,94	0,98	2,2	1,6	92,5	6,3	...	3,3	0,7	0,5	14,6	1,4	...	0,9	0,7	0,5	14,6	1,4	...	0,9	
	Afund. Mag 0,0A	16,6	3,7	0,39	0,54	1,00	<0,10	87,2	2,03	7,72	1,04	...	1,38	0,4	0,4	1,1	52,7	...	12,2	0,1	0,1	0,2	11,4	...	3,1	0,1	0,1	0,2	11,4	...	3,1	
	Afund. FRM 0,3A	22,2	4,9	3,53	4,05	2,55	2,51	48,3	2,52	28,2	1,43	4,57	1,15	4,8	4,2	3,7	39,0	...	59,8	1,5	1,4	0,6	8,4	...	15,4	1,5	1,4	0,6	8,4	...	15,4	
	Afund. NMAG 0,3A	41,8	9,2	36,0	48,2	0,98	0,73	1,36	<0,10	6,19	0,60	1,29	1,34	92,6	93,8	2,7	2,1	...	24,7	28,6	30,9	0,4	0,4	...	6,3	28,6	30,9	0,4	0,4	...	6,3	
	Total calculado	100,0	22,0	16,2	21,4	15,3	...	27,5	...	10,5	0,83	...	1,32	100,0	100,0	100,0	100,0	...	100,0	30,8	33,0	15,8	21,6	...	25,7	30,8	33,0	15,8	21,6	...	25,7	
-0,074+0,020	Flut	30,4	7,3	2,03	2,37	64,9	6,55	13,4	2,28	1,50	0,56	5,47	1,17	5,2	4,7	90,8	14,9	40,2	4,2	1,3	1,2	22,2	3,5	11,8	1,2	1,3	1,2	22,2	3,5	11,8	1,2	
	Afund. Mag 0,0A	10,7	2,6	0,39	0,35	1,04	<0,10	88,7	2,15	6,51	1,04	...	0,89	0,4	0,2	0,5	34,6	13,3	6,4	0,1	0,1	0,1	8,1	3,9	1,9	0,1	0,1	0,1	8,1	3,9	1,9	
	Afund. FRM 0,3A	27,5	6,6	4,94	4,79	3,19	2,94	45,8	2,65	25,2	1,47	5,93	0,97	11,5	8,7	4,0	46,1	42,3	63,8	2,8	2,2	1,0	10,8	12,4	18,5	2,8	2,2	1,0	10,8	12,4	18,5	
	Afund. NMAG 0,3A	31,5	7,6	31,1	41,7	3,17	1,67	3,85	0,23	8,83	0,72	2,58	1,34	82,9	86,3	4,6	4,4	4,2	25,6	20,3	22,0	1,1	1,0	1,2	7,4	20,3	22,0	1,1	1,0	1,2	7,4	
	Total calculado	100,0	24,0	11,8	15,2	21,7	...	27,3	1,72	10,8	0,91	...	1,29	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	24,4	25,4	24,5	23,4	29,4	29,0	24,4	25,4	24,5	23,4	29,4	29,0	
TOTAL +0,020	Flut	25,6	17,1	1,80	2,02	71,3	4,92	10,3	2,26	1,50	0,49	4,84	1,12	3,2	2,7	93,0	10,0	...	3,6	2,7	2,4	57,1	6,2	...	2,9	2,7	2,4	57,1	6,2	...	2,9	
	Afund. Mag 0,0A	13,4	8,9	0,45	0,59	1,13	...	87,2	2,06	7,56	1,04	...	1,30	0,4	0,4	0,8	44,5	...	9,4	0,3	0,4	0,5	27,8	...	7,5	0,3	0,4	0,5	27,8	...	7,5	
	Afund. FRM 0,3A	24,0	16,0	4,20	4,93	2,84	2,63	46,7	2,38	27,2	1,45	5,13	1,17	7,1	6,3	3,5	42,6	...	60,6	5,8	5,5	2,1	26,7	...	48,4	5,8	5,5	2,1	26,7	...	48,4	
	Afund. NMAG 0,3A	37,0	24,7	34,3	46,2	1,48	0,98	2,07	...	7,66	0,65	1,75	1,35	89,3	90,6	2,8	2,9	...	26,4	73,2	79,7	1,7	1,8	...	21,1	73,2	79,7	1,7	1,8	...	21,1	
	Total calculado	100,0	66,7	14,2	18,9	19,6	...	26,3	...	10,8	0,85	...	1,33	100,0	100,0	100,0	100,0	...	100,0	82,0	87,9	61,4	62,5	...	79,9	82,0	87,9	61,4	62,5	...	79,9	

Amostra PXT - Resultados dos produtos de separações minerais, fração -0,595+0,020 mm.

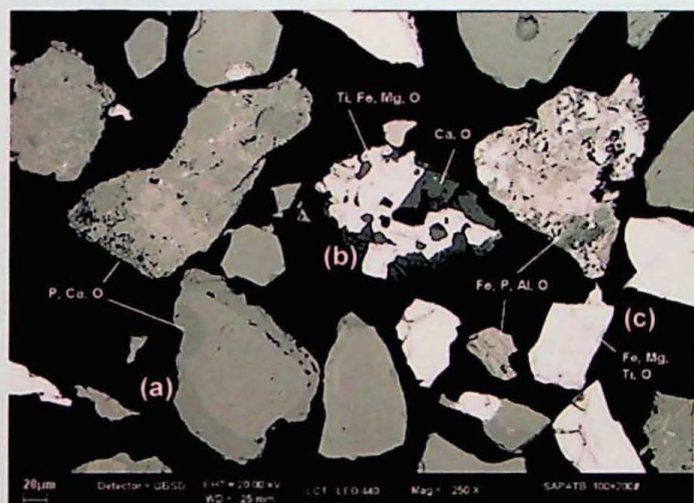
Fração (mm)	Produto	% Massa ensaio amostra	Teores (%)							CaO/ P ₂ O ₅	Distribuição no ensaio(%)					Distribuição na amostra (%)								
			P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂		BaO	PF	P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂
-0,595+0,210	Flut	47,1	2,6									9,00	3,1	7,6	53,9	55,4	68,6	15,8	0,1	0,4	4,5	1,3	5,5	0,9
	Afund. +0,0 e +0,3A	28,8	1,6									19,3	7,6	39,9	32,0	35,4	21,8	49,2	0,2	2,1	2,7	0,8	1,7	2,7
	Afund. NMAG 0,3A	24,1	1,4									2,15	89,3	52,5	14,0	9,3	9,6	36,0	2,7	2,7	1,2	0,2	0,8	2,0
	Total calculado	100,0	5,6									3,66	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	3,1	5,2	8,3	2,3	7,9	5,6
-0,210+0,149	Flut	27,9	4,5									11,1	2,1	10,9	48,1	14,2	56,9	5,8	0,5	2,4	7,2	1,9	7,5	1,0
	Afund. Mag 0,0A	9,9	1,6									3,20	0,7	1,0	0,2	58,5	2,3	11,7	0,2	0,2	0,0	7,8	0,3	2,1
	Afund. FRM 0,3A	19,9	3,2									5,94	6,3	17,3	26,2	20,6	21,0	44,9	1,4	3,7	3,9	2,7	2,8	8,1
	Afund. NMAG 0,3A	42,3	6,8									1,68	90,9	70,7	25,5	6,7	19,8	37,5	19,7	15,2	3,8	0,9	2,6	6,8
	Total calculado	100,0	16,1									2,16	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	21,7	21,6	15,0	13,3	13,2	18,1
-0,149+0,074	Flut	29,8	6,7									14,9	1,7	12,4	54,0	14,8	62,1	4,9	0,5	3,5	10,6	3,1	11,4	1,3
	Afund. Mag 0,0A	11,9	2,7									2,64	0,7	0,8	0,5	60,1	2,6	14,6	0,2	0,2	0,1	12,6	0,5	4,0
	Afund. FRM 0,3A	17,0	3,8									5,29	5,3	13,4	19,9	19,7	16,2	45,2	1,5	3,7	3,9	4,1	3,0	12,3
	Afund. NMAG 0,3A	41,3	9,2									1,66	92,3	73,3	25,6	5,4	19,1	35,3	26,7	20,4	5,0	1,1	3,5	9,6
	Total calculado	100,0	22,4									2,09	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	29,0	27,8	19,6	21,0	18,4	27,2
-0,074+0,020	Flut	40,4	11,0									12,7	3,1	18,3	65,0	23,5	72,0	5,1	0,8	4,9	17,3	6,7	19,6	1,6
	Afund. Mag 0,0A	11,1	3,0									1,97	1,1	1,0	0,7	50,1	2,2	12,3	0,3	0,3	0,2	14,2	0,6	3,9
	Afund. FRM 0,3A	15,5	4,2									2,84	9,2	12,2	13,4	20,8	11,3	46,4	2,5	3,3	3,6	5,9	3,1	14,6
	Afund. NMAG 0,3A	33,0	9,0									1,70	86,7	68,5	20,9	5,6	14,5	36,3	23,5	18,4	5,6	1,6	4,0	11,4
	Total calculado	100,0	27,2									2,14	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	27,1	26,8	26,7	28,4	27,2	31,5
TOTAL +0,020	Flut	34,8	24,8									12,7	2,3	13,7	56,9	19,9	65,9	5,9	1,9	11,1	39,6	13,0	44,1	4,9
	Afund. +0,0 e +0,3A	28,2	20,1									4,69	7,7	16,6	20,7	74,2	17,9	57,9	6,3	13,5	14,4	48,2	12,0	47,8
	Afund. NMAG 0,3A	37,0	26,4									1,69	89,9	69,7	22,4	5,9	16,3	36,2	72,7	56,7	15,6	3,8	10,9	29,9
	Total calculado	100,0	71,3									2,18	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	80,8	81,4	69,5	65,0	66,9	82,5



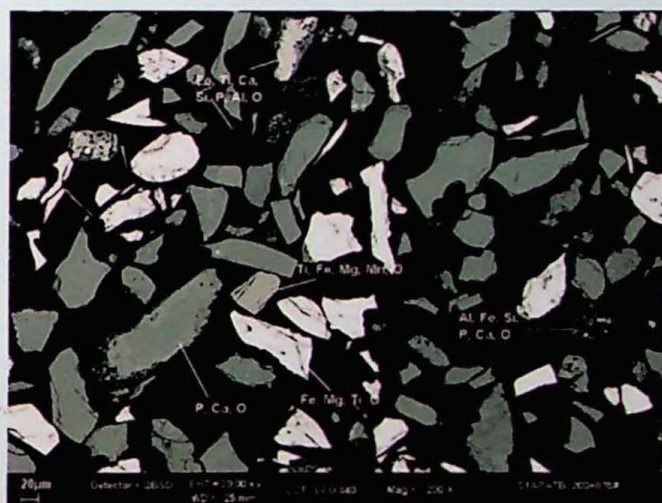
Amostra APAT, fração -0,595+0,210 mm – Partículas de apatita mistas com óxi-hidróxidos de Fe.



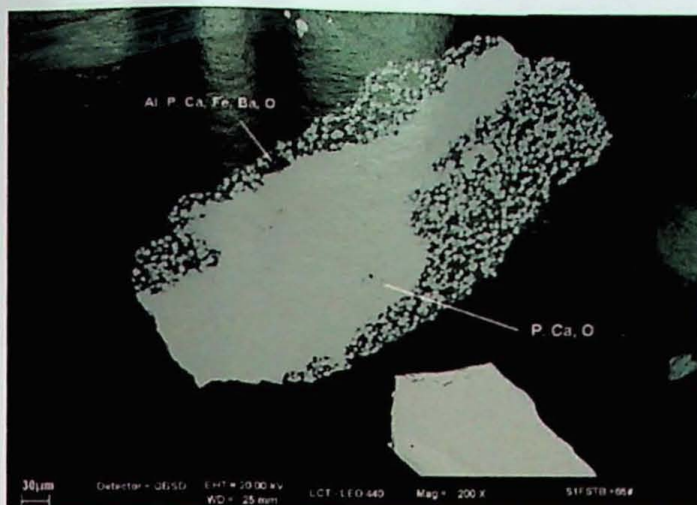
Amostra APAT, fração -0,210+0,149 mm – (a) partícula composta por núcleos de apatita primária e matriz fosfática secundária; (b) partícula de apatita porosa; (c) apatita com zoneamento composicional; (d) partícula mista de apatita com óxi-hidróxidos de Fe (magnetita).



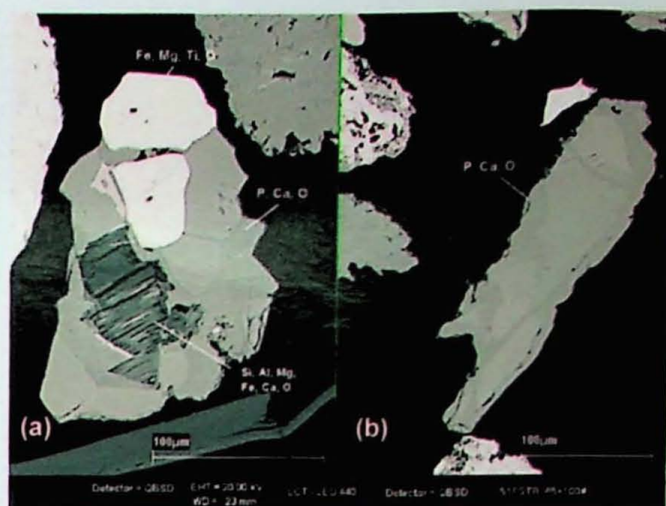
Amostra APAT, fração -0,149+0,074 mm – Associação mineralógica típica: (a) apatita liberada com zoneamento composicional; (b) partícula mista de calcita (cinza escura) e ilmenita (branca); e (c) titano-magnetita.



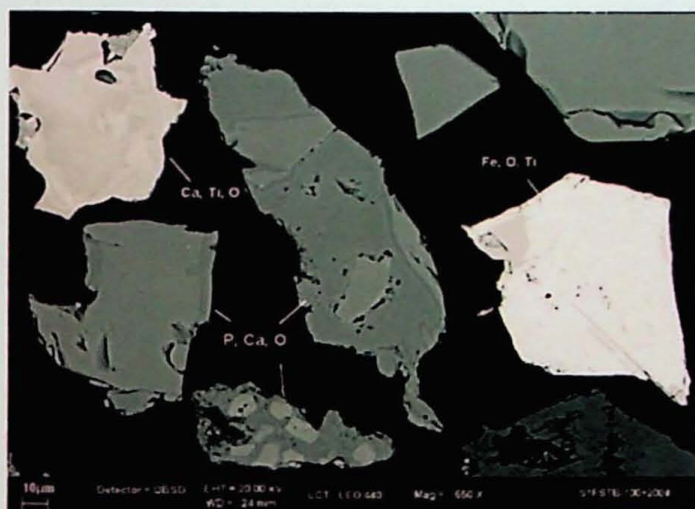
Amostra APAT, fração -0,074+0,020 mm – Aspecto geral. Partículas liberadas de apatita com superfície limpa e óxi-hidróxidos de Fe e Al.



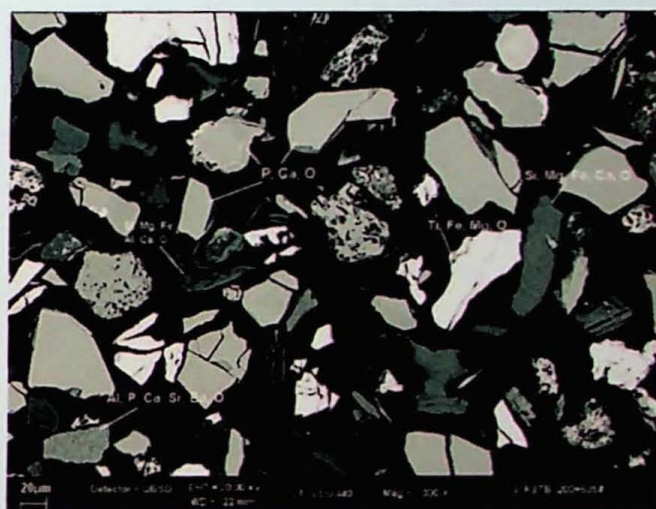
Amostra FST, fração -0,595 +0,210 mm – Detalhe de partícula de apatita com núcleo preservado e fosfatos secundários criptocristalinos ao seu redor.



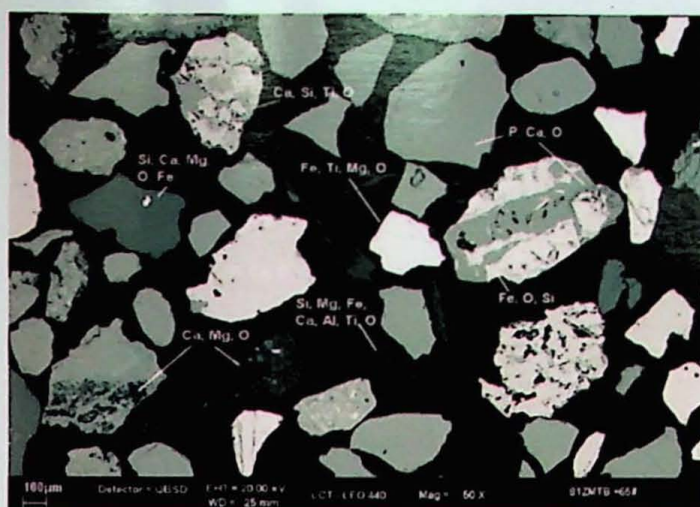
Amostra FST, fração -0,210 +0,149 mm – (a) partícula mista de apatita com magnetita e filossilicato; (b) detalhe do zoneamento composicional da partícula liberada de apatita.



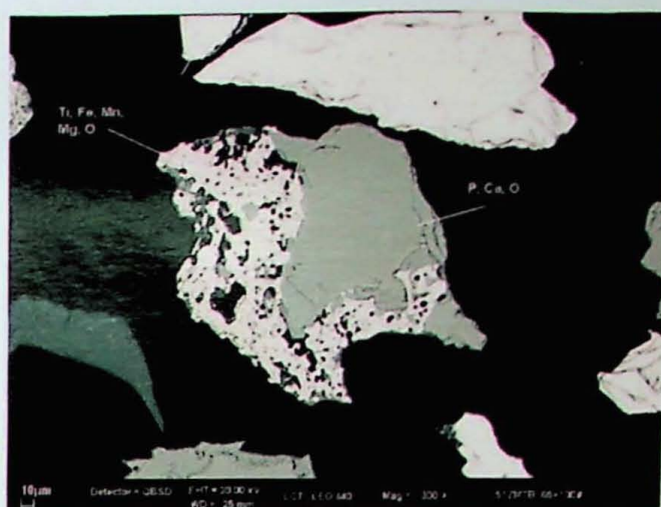
Amostra FST, fração -0,149+0,074 mm – Partículas liberadas de apatita com zoneamento (cinza médio) ao lado de partículas de titano-magnetita (branca) e perovskita (cinza clara).



Amostra FST, fração -0,074 +0,020 mm – Aspecto geral. Partículas liberadas de apatita (superfície limpa), titano-magnetita, filossilicatos, piroxênio e alumino-fosfatos.



Amostra ZMT, fração -0,595+0,210 mm – Partículas de apatita liberada (cinza claro) e mista com magnetita (branca) ou carbonato (cinza escuro), além de partículas livres de titanomagnetita, carbonato e perovskita (cinza esbranquiçado).



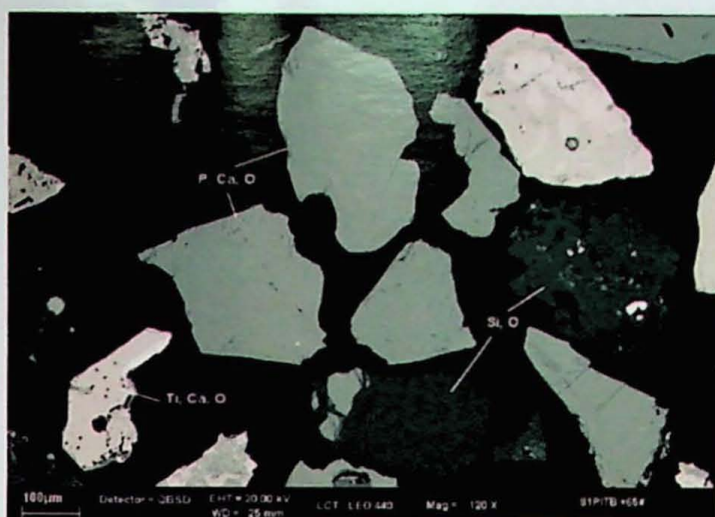
Amostra ZMT, fração -0,210+0,149 mm – Detalhe da partícula mista de apatita (cinza claro) com ilmenita (branca e porosa).



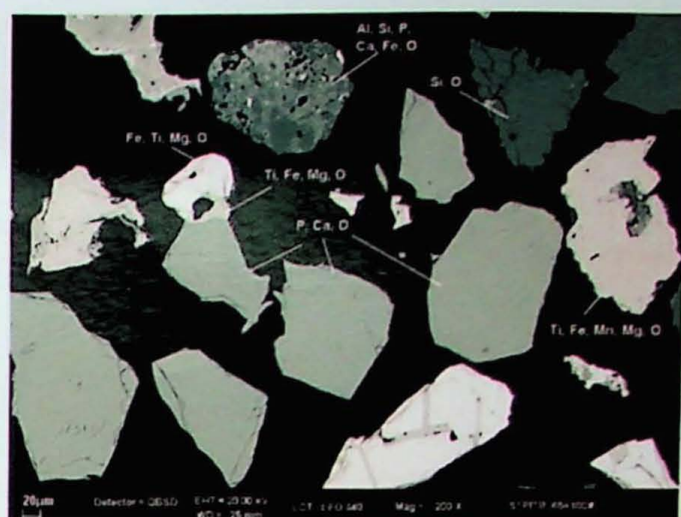
Amostra ZMT, fração -0,149+0,074 mm – Partículas liberadas de apatita (cinza claro), além de titanomagnetita (branca) e dolomita (cinza escuro).



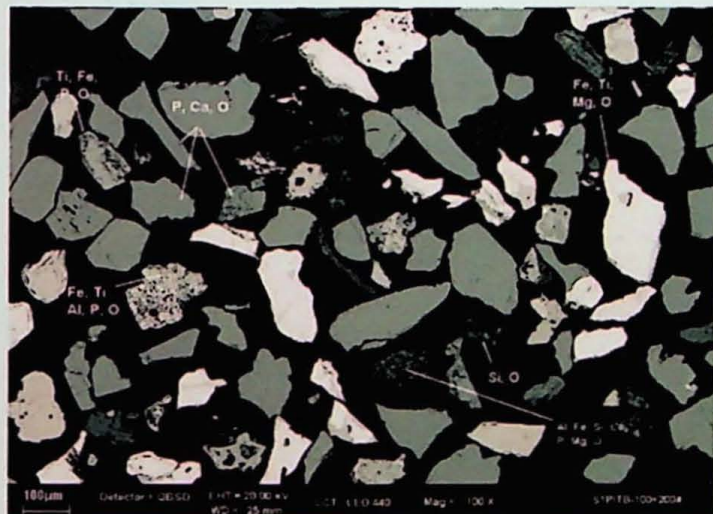
Amostra ZMT, fração -0,074+0,020 mm – Partículas de apatita liberada (cinza claro), ao lado de partículas de filossilicatos (cinza escuro) e titanomagnetita (branca).



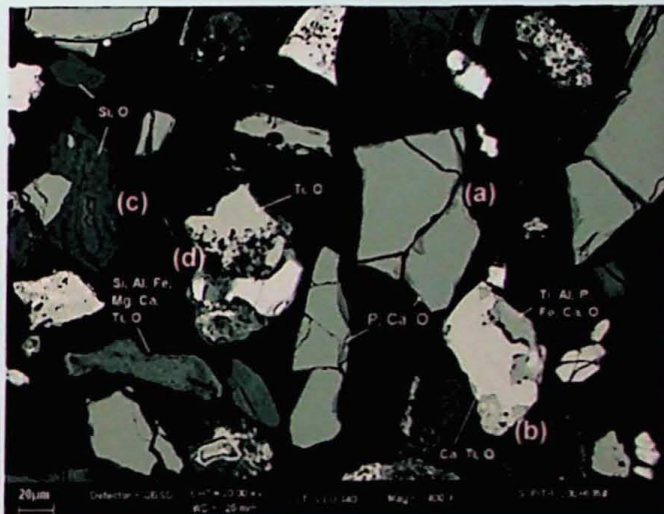
Amostra PIT, fração -0,595+0,210 mm – Partículas liberadas de apatita (cinza claro), com superfície límpida, ao lado de partículas livres de quartzo (cinza escuro) e perovskita (cinza esbranquiçado).



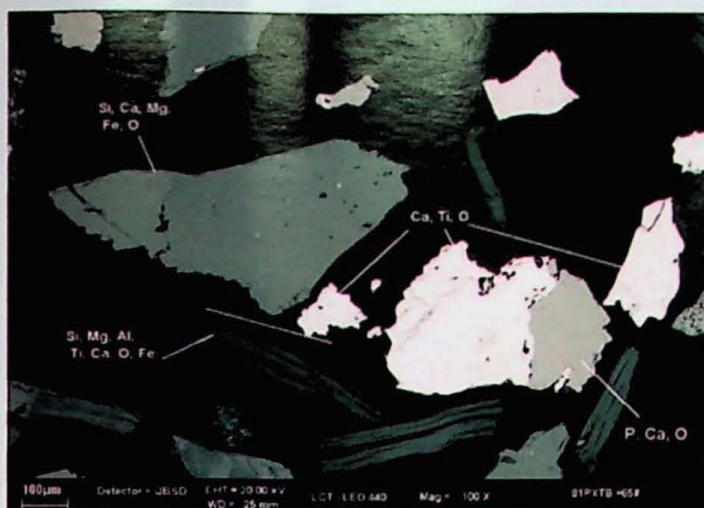
Amostra PIT, fração -0,210+0,149 mm – Partículas de apatita (cinza claro) liberada e/ou mista com magnetita (branco), além partículas de quartzo (cinza escuro) e alumino fosfato (partícula cinza escura).



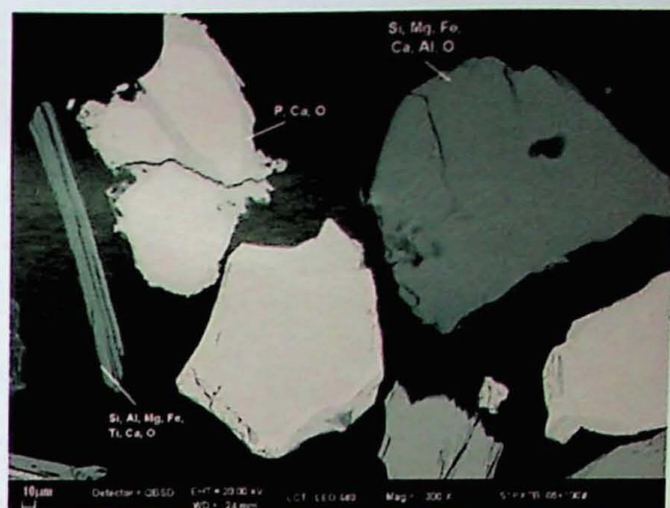
Amostra PIT, fração -0,149+0,074 mm – Aspecto geral. Partículas liberadas de apatita (predominante), titano-magnetita (branco), quartzo (cinza escuro) e alumino-fosfatos (partículas porosas de cor cinza).



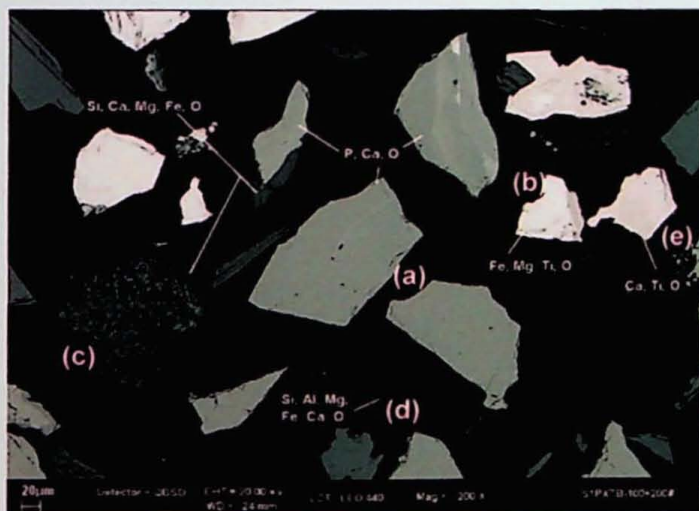
Amostr: PIT, fração -0,074+0,020 mm – (a) apatita fraturada; (b) perovskita mista com alumino fosfato; (c) partícula de quartzo; e (d) partícula mista composta por óxi-hidróxidos de Fe e Ti.



Amostra PXT, fração -0,595+0,210 mm – Partícula mista de apatita com perovskita (cinza claro e branco, respectivamente), além de minerais livres como piroxênio (cinza mais escuro) e filossilicatos (partículas alongadas).



Amostra PXT, fração -0,210+0,149 mm – Partículas de apatita livres e com zoneamento composicional (cinza claro), ao lado de piroxênio (cinza mais escuro).



Amostra PXT, fração -0,149+0,074 mm – Associação mineralógica típica: (a) partículas de apatita em sua maioria liberada e/ou mista com piroxênio; (b) titano-magnetita; (c) piroxênio; (d) filossilicatos; (e) perovskita.



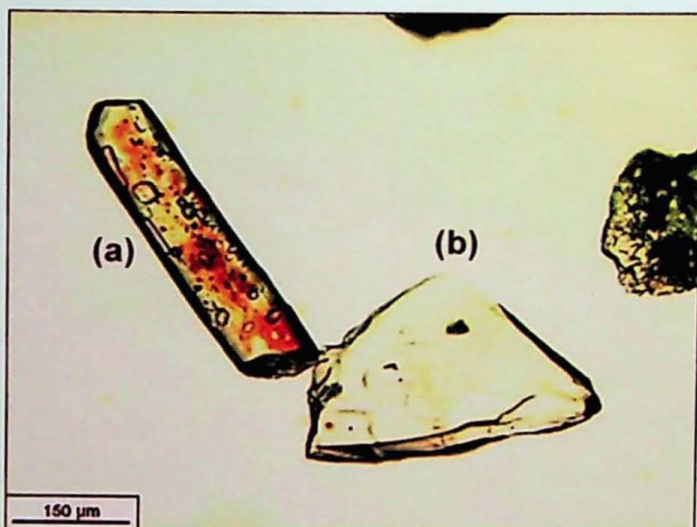
Amostra PXT, fração -0,074+0,020 mm – Aspecto geral. Partículas liberadas de apatita, oxihidróxidos de Fe, filossilicatos e piroxênio (partícula escura alongada).



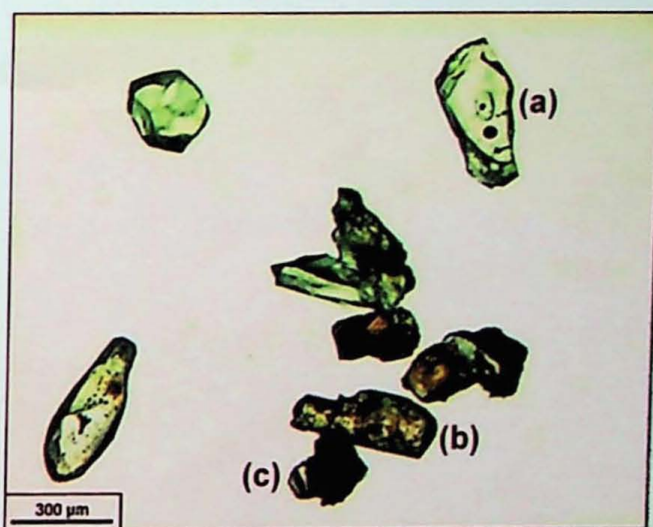
Amostra APAT, fração -0,149+0,074 mm, prod. não magnético -0,3 A – Partículas livres de apatita, com diferentes graus de recobrimento por películas de óxi-hidróxidos de Fe.



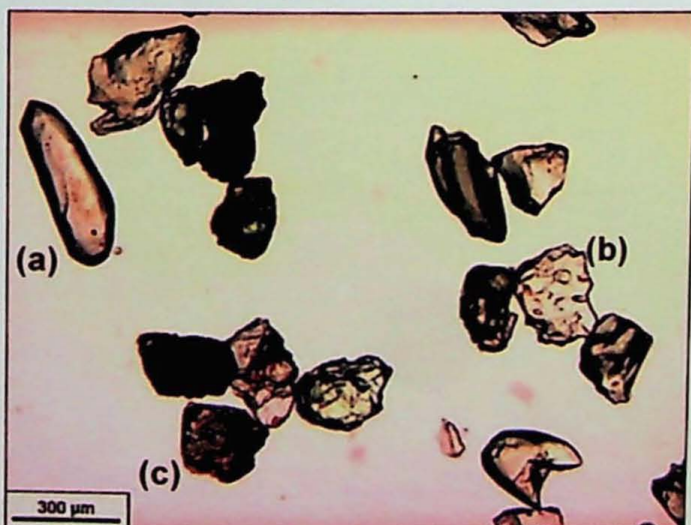
Amostra APAT, fração -0,149+0,074 mm, prod. não magnético -0,3 A – Partículas livres de apatita com superfície desde limpa e lisa, até fortemente impregnada e irregular.



Amostra FIT, fração -0,149+0,074 mm, prod. não magnético -0,3 A – Detalhe de partículas de apatita (a) prismática parcialmente impregnada por película de óxi-hidróxidos de Fe e (b) com superfície limpa.



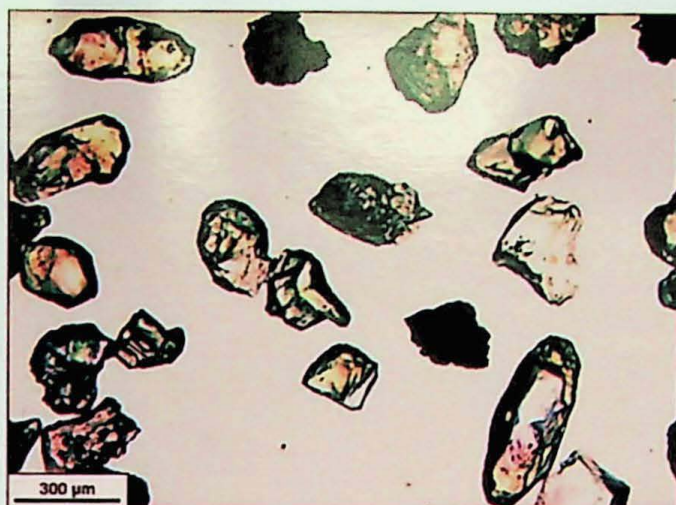
Amostra FIT, fração -0,149+0,074 mm, prod. não magnético -0,3 A – Partículas livres de apatita (a) cristalinas, (b) parcialmente recobertas até (c) fortemente recobertas por películas de óxi-hidróxidos de Fe.



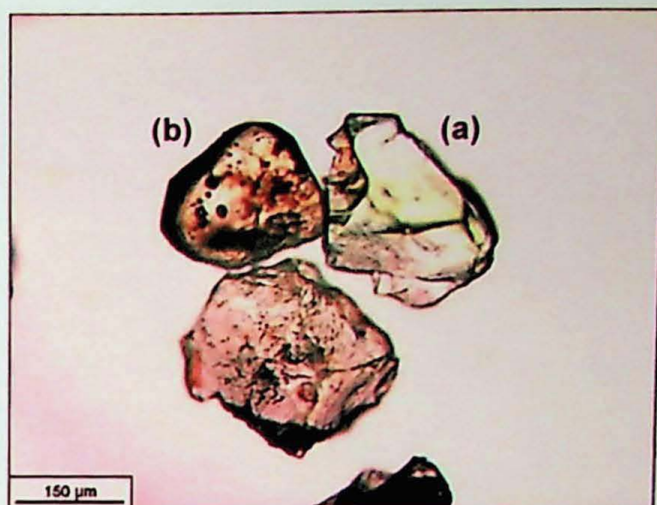
Amostra FST, fração -0,149+0,074 mm, prod. não magnético -0,3 A – Partículas livres de apatita com superfície limpa e (a) lisa, ou (b) irregular e (c) com superfície impregnada por óxi-hidróxidos de Fe.



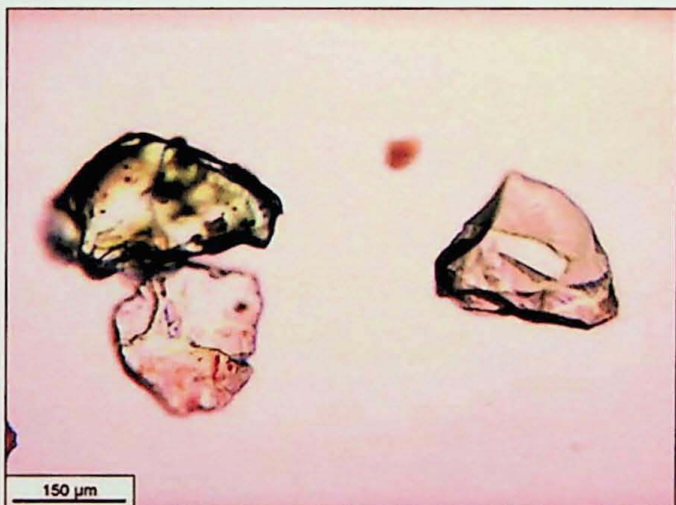
Amostra FST, fração -0,149+0,074 mm, prod. não magnético -0,3 A – Detalhe de película de óxi-hidróxidos de Fe (provavelmente goethita) recobrindo aglomerado de partículas de apatita com superfície lisa.



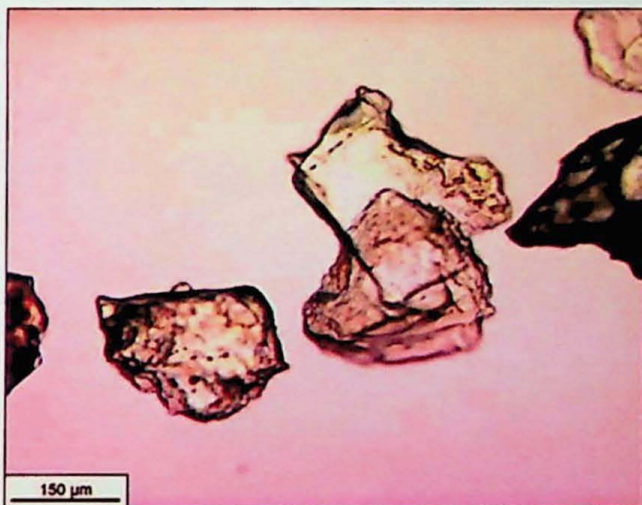
Amostra ZMT, fração -0,149+0,074 mm, prod. não magnético -0,3 A – Partículas livres de apatita, em sua maioria limpas ou parcialmente recobertas por películas de óxi-hidróxidos de Fe e outras fortemente impregnadas.



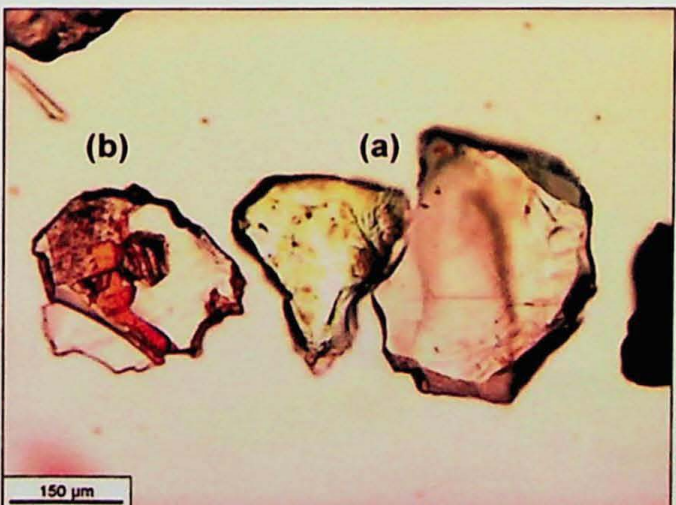
Amostra ZMT, fração -0,149+0,074 mm, prod. não magnético -0,3 A – Partículas livres de apatita (a) com superfície limpa e (b) parcialmente impregnada com película de óxi-hidróxidos de Fe.



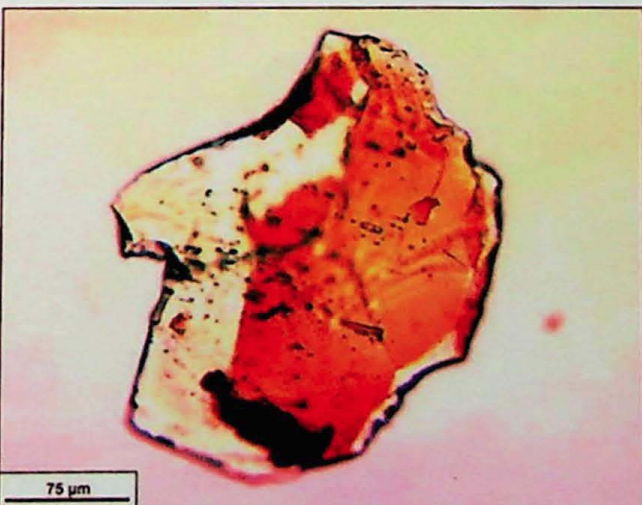
Amostra PIT, fração -0,149+0,074 mm, prod. não magnético -0,3 A – Partículas irregulares de apatita com superfície limpa a levemente suja por óxi-hidróxidos de Fe.



Amostra PIT, fração -0,149+0,074 mm, prod. não magnético -0,3 A – Partículas livres de apatita, com superfície irregular, levemente impregnada com óxi-hidróxidos de Fe.



Amostra PXT, fração -0,149+0,074 mm, prod. não magnético -0,3 A – Partículas de apatita com superfície lisa e (a) limpa ou (b) parcialmente impregnada por óxi-hidróxidos de Fe.



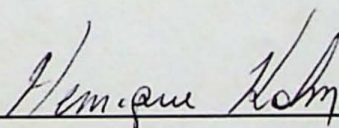
Amostra PXT, fração -0,149+0,074 mm, prod. não magnético -0,3 A – Detalhe de partícula de apatita com recobrimento de película de óxi-hidróxido de Fe (provavelmente goethita).

PROJETO: CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E TECNOLÓGICA DO FOSFATO DO
COMPLEXO ALCALINO DE SALITRE, MG – ÁREA FOSFERTIL

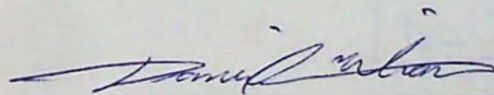
TF/2006-13 – Monografia de Trabalho de Formatura

O conteúdo que foi apresentado nesse trabalho pelo aluno está de acordo com o que ficou
estabelecido pelo orientador.

São Paulo, 06 de novembro de 2006.



Prof. Dr. Henrique Kahn (orientador)



Daniel Uliana

DOACIO _____

TGC-USP

Data: *07/05/08*

