



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE MINAS E CONTRUÇÃO CIVIL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS

ANA FLÁVIA ROSA

ESTUDO DE AMOSTRAS DA REGIÃO DE PRESIDENTE OLEGÁRIO
VISANDO IDENTIFICAR MINERAIS PORTADORES DE TITÂNIO

ARAXÁ – MG

2015

ANA FLÁVIA ROSA

ESTUDO DE AMOSTRAS DA REGIÃO DE PRESIDENTE OLEGÁRIO
VISANDO IDENTIFICAR MINERAIS PORTADORES DE TITÂNIO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais /
Campus IV – Araxá, como requisito
parcial para obtenção do título de
Engenheiro de Minas.

Orientadora: Dra. Michelly dos Santos
Oliveira

Coorientador: Dr. Hildor José Seer

ARAXÁ – MG

2015

ANA FLÁVIA ROSA

ESTUDO DE AMOSTRAS DA REGIÃO DE PRESIDENTE OLEGÁRIO
VISANDO IDENTIFICAR MINERAIS PORTADORES DE TITÂNIO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais /
Unidade Araxá, como requisito parcial
para obtenção do título de Engenheiro de
Minas.

Data de aprovação: 12/08/2015

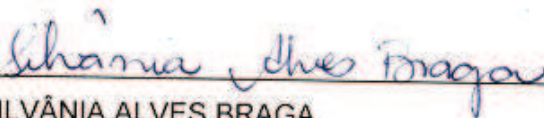
Banca Examinadora:



MICHELLY DOS SANTOS OLIVEIRA – Presidente da Banca Examinadora
Professora Dra. – CEFET-MG – Orientadora



HILDOR JOSÉ SEER
Professor Dr. – CEFET-MG - Coorientador



SILVÂNIA ALVES BRAGA
Professora Esp. – CEFET-MG



FRANCISCO DE CASTRO VALENTE NETO
Professor Esp. – CEFET-MG

À minha mãe, que está sempre ao meu lado me apoiando e que acredita na concretização de todos os meus sonhos. Ao meu pai, que tanta falta nos faz, mas que, de alguma forma, está sempre presente.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar forças para realizar este trabalho.

À professora Michelly dos Santos Oliveira que acreditou na ideia inicial, aceitou ser minha orientadora e auxiliou de maneira singular ao longo da realização de todas as etapas deste estudo.

Ao professor Hildor José Seer, meu coorientador, pelas valiosas informações e auxílio durante a coleta, realização dos ensaios experimentais e avaliação dos resultados.

Ao professor Natal Junio Pires por ter apoiado a ideia deste projeto desde a sua concepção e por ter esclarecido inúmeras dúvidas.

Ao professor Francisco de Castro Valente Neto pela sua colaboração durante a coleta das amostras e descrição das mesmas.

Ao professor Domingos Sávio de Resende por ter disponibilizado o *software* utilizado na geração e interpretação dos difratogramas.

Ao Augusto César da Silva Bezerra por ter viabilizado a realização das análises químicas no laboratório do CEFET-MG, Unidade Belo Horizonte.

À Rafaella Resende por toda imprescindível ajuda durante a árdua tarefa de preparação das amostras.

Ao técnico do Laboratório de Tratamento de Minérios do CEFET – Araxá, João Victor da Silva Alves, pela convivência amigável e colaboração na parte experimental.

Aos amigos que auxiliaram durante a execução dos ensaios experimentais e sanaram dúvidas quanto à estruturação do trabalho escrito.

À minha família, principalmente minha mãe, Selma Auxiliadora da Silva Rosa, e minha irmã, Aline Helena Rosa, por compreenderem que a minha ausência durante a execução deste trabalho se fez necessária.

“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não
existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz.”
Ayrton Senna

RESUMO

Neste trabalho são apresentados estudos de caracterização mineralógica de amostras rochosas da região de Presidente Olegário, no oeste do estado de Minas Gerais, visando identificar minerais portadores de titânio. A metodologia empregada compreendeu a coleta e preparação de amostras, realização de análises granulométricas por peneiramento, separação magnética com ímã de mão e de alta intensidade, separação em meio denso e determinação da densidade da amostra. As análises químicas foram realizadas utilizando fluorescência de raios X, enquanto que os estudos mineralógicos foram realizados através de difração de raios X, MEV acoplado a EDS e análise em lupa binocular das amostras. As amostras coletadas pertencem ao Grupo Mata da Corda e apresentam filiação kamafugítica. As análises químicas mostraram que as quatro amostras coletadas apresentavam teores de TiO_2 entre 8,23 e 10,72 %, o que representa valores superiores aos apresentados pelo *background* da região em que as amostras foram coletadas e à média de teores em minas de titânio atualmente exploradas. Visando aprofundar os estudos, a amostra com maior teor de titânio foi escolhida para a continuidade dos testes de caracterização. De acordo com a distribuição granulométrica desta amostra 47,89 % das partículas encontra-se abaixo de 0,074 mm, granulometria que corresponde àquela em que os minerais foram considerados como liberados, através da análise em lupa binocular das frações granulométricas obtidas no peneiramento. A análise química desta amostra, permitiu observar que cerca de 50% de todos os principais compostos desta amostra - TiO_2 , Fe_2O_3 , SiO_2 , CaO , K_2O , e P_2O_5 - estão distribuídos na fração abaixo de 0,074 mm. Os minerais de titânio identificados na amostra usada na continuidade dos estudos foram o anatásio, que é um óxido de titânio, e um silicato complexo de titânio. Os minerais de ganga identificados foram magnetita, piroxênio, fluorapatita, muscovita e nontronita.

Palavras-chave: titânio, anatásio, caracterização, kamafugito, Mata da Corda

ABSTRACT

In this work are presented mineralogical characterization studies of rock samples from the President Olegario region, in the western state of Minas Gerais, to identify titanium-bearing minerals. The methodology included the collection and preparation of samples, conducting particle size analysis by screening, magnetic separation with hand magnet and of high intensity, dense medium separation and determination of the density of the sample. Chemical analyzes were performed using X-ray fluorescence, while the mineralogical studies were performed using XRD, SEM and EDS coupled and binocular microscope analysis of samples. Samples collected belong to the Mata da Corda Group and feature kamafugítica membership. The chemical analyzes showed that the four samples had TiO_2 content between 8.23 and 10.72%, which is higher than those values presented by the background region in which samples were taken and the average content of titanium in mines currently exploited. In order further study, the sample with the highest titanium content was chosen as continuity of characterization tests. According to the particle size distribution of this sample 47.89% of the particles is below 0.074 mm, particle size corresponding to that in which minerals were considered released through the binocular microscope analysis of granulometric fractions obtained from the screening. Chemical analysis of this sample allowed to observe that about 50% of all major compounds in this sample - TiO_2 , Fe_2O_3 , SiO_2 , CaO , K_2O , and P_2O_5 - are distributed in fraction below 0.074 mm. The titanium mineral identified in the sample used in the continuity of studies were anatase, which is a titanium oxide, and a titanium silicate complex. The gangue minerals identified were magnetite, pyroxene, fluorapatite, muscovite and nontronite.

Keywords: titanium anatase, characterization, kamafugito, Mata da Corda

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ilmenita.....	21
Figura 2 – Rutilo	23
Figura 3 – Anatásio	24
Figura 4 - Cristal de perovskita com forma octaédrica	24
Figura 5 - Destinação do uso de titânio no Brasil em 2008	32
Figura 6 - Representação das etapas de fracionamento das pilhas cônica e achatadas.....	37
Figura 7 - Representação esquemática da construção de pilha longitudinal.	38
Figura 8 - Representação esquemática de um quarteador do tipo "Jones", usado em laboratório	38
Figura 9 - Localização da área estudada.	40
Figura 10 - Localização geográfica e contexto geológico da área de estudo	41
Figura 11 - Coluna litoestratigráfica da Folha Presidente Olegário	42
Figura 12 - Mapa geológico simplificado da Folha Presidente Olegário, MG	43
Figura 13 - Características gerais de kimberlitos, lamproítos ultrabásicos e kamafugitos.....	48
Figura 14 - Localização dos pontos amostrados.....	51
Figura 15 - Afloramento em que as amostras A1A e A1B foram coletadas. Destaque para a separação entre a rocha fresca e intemperizada.	51
Figura 16 - Amostra A2	52
Figura 17 - Afloramento em que a amostra A3 foi coletada	53

Figura 18 - Fluxograma da etapa de preparação da amostra	54
Figura 19 - Fluxograma geral de caracterização das amostras coletadas	56
Figura 20 - Peneiramento a úmido	58
Figura 21 - À esquerda, torrões formados após secagem do material em estufa. À direita, destorroamento das partículas.	59
Figura 22 - Desmagnetização a seco da amostra, usando-se ímã de mão	59
Figura 23 - Desmagnetização a úmido da amostra, usando-se ímã de mão	60
Figura 24 - Concentrador Eletromagnético de Carrossel mod. L-4, fabricado pela INBRAS. À esquerda, vista frontal e à direita, vista lateral.....	61
Figura 25 - Campo magnético versus corrente elétrica do Concentrador Eletromagnético de Carrossel mod. L-4	62
Figura 26 - Relação dos principais minerais com propriedades magnéticas, indicando a faixa de campo magnético onde os mesmos podem ser separados por processo de separação magnética	63
Figura 27 - Arranjo utilizado na separação em líquido denso	64
Figura 28 - Determinação de densidade através de picnometria. Picnômetros vazios, com água, amostra e amostra e água.....	66
Figura 29 - Representação gráfica dos resultados da análise granulométrica das amostras A1A, A1B, A2 e A3	70
Figura 30 - Grãos de magnetita aderidos à ponta da agulha utilizada durante análise da amostra em lupa binocular	75
Figura 31 - Distribuição dos compostos da amostra A2 em função do tamanho.....	80
Figura 32 - Difratoograma da fração magnética do ensaio de separação magnética com ímã de mão da amostra A2	82

Figura 33 - Difratoograma da fração magnética do ensaio de separação magnética de alta intensidade da amostra A2 previamente desmagnetizada com ímã de mão.....	84
Figura 34 - Difratoograma da fração não magnética do ensaio de separação magnética de alta intensidade da amostra A2 previamente desmagnetizada com ímã de mão	85
Figura 35 - Produtos da separação em líquido denso. À esquerda, produto flutuado e à direita, produto afundado.....	86
Figura 36 - Difratoograma da fração afundada do ensaio de separação em líquido denso da amostra A2 previamente desmagnetizada com ímã de mão.....	88
Figura 37 - Microfotografia de uma das porções da fração afundada do ensaio de separação em líquido denso, obtida no MEV. Grãos analisados através do EDS estão numerados como 1, 2 e 3.	89
Figura 38 - Espectrometria em energia dispersiva do grão 1	90
Figura 39 - Espectrometria em energia dispersiva do grão 2	91
Figura 40 - Espectrometria em energia dispersiva do grão 3	91
Figura 41 - Microfotografia de uma das porções da fração afundada do ensaio de separação em líquido denso, obtida no MEV. Grão analisado através do EDS está numerado como 4.	92
Figura 42 - Microfotografia mostrando o grão 4 ampliado 1000 vezes.....	93
Figura 43 - Espectrometria em energia dispersiva do grão 4	93
Figura 44 - Microfotografia de uma das porções da fração afundada do ensaio de separação em líquido denso, obtida no MEV. Grãos analisados através do EDS estão numerados como 5, 6, 7 e 8.	94
Figura 45 - Espectrometria em energia dispersiva do grão 5	95
Figura 46 - Espectrometria em energia dispersiva do grão 6	95

Figura 47 - Espectrometria em energia dispersiva do grão 7	96
Figura 48 - Espectrometria em energia dispersiva do grão 8	96
Figura 49 - Microfotografia de uma das porções da fração afundada do ensaio de separação em líquido denso, obtida no MEV. Grãos analisados por EDS estão numerados como 9 e 10.....	97
Figura 50 - Espectrometria em energia dispersiva do grão 9	98
Figura 51 - Espectrometria em energia dispersiva do grão 10	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades físicas da Ilmenita	20
Tabela 2 - Propriedades físicas do Rutilo.....	22
Tabela 3 - Propriedades físicas do Anatásio	23
Tabela 4- Média de abundância de titânio na crosta terrestre.....	25
Tabela 5 - Composição de alguns minerais de titânio comuns	28
Tabela 6 - Tipos de depósitos de titânio e seus minerais.....	29
Tabela 7 – Reservas e produções de titânio	33
Tabela 8 – Reservas nacionais de minerais de titânio em 2009	35
Tabela 9 - Principais empresas produtoras de minério de titânio no Brasil.....	36
Tabela 10 - Localização dos pontos amostrados e pesos das amostras coletadas..	50
Tabela 11- Distribuição granulométrica das amostras A1A, A1B, A2 e A3, obtidas a partir da média dos resultados dos três ensaios realizados.....	69
Tabela 12 - Resultados da fluorescência de raios X das amostras A1A, A1B, A2 e A3	72
Tabela 13 - Resultados da fluorescência de raios X, discriminados por elementos químicos.....	73
Tabela 14 - Resultados das análises químicas por faixa granulométrica e da amostra global A2	77
Tabela 15 - Relação entre a distribuição granulométrica, as análises químicas dos principais compostos e os valores obtidos segundo análise química e através de cálculos para a amostra global A2	78
Tabela 16 - Distribuição dos principais compostos químicos da amostra A2.....	79

Tabela 17 - Dados referentes à execução do peneiramento a úmido.....	80
Tabela 18 - Dados referentes à execução do ensaio de separação magnética com ímã de mão	81
Tabela 19 - Distribuições de massa da amostra A2 nas frações obtidas com o separador magnético.....	83
Tabela 20 - Composição mineralógica da amostra A2 e das frações analisadas através de lupa binocular, difração de raios X e/ou MEV	100
Tabela 21 - Determinação da densidade da amostra A2.	100

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 Titânio – Aspectos gerais	19
2.2 Minerais de titânio	20
2.2.1 Ilmenita	20
2.2.2 Leucoxênio	22
2.2.3 Rutilo.....	22
2.2.4 Anatásio.....	23
2.2.5 Perovskita	24
2.3 Distribuição de titânio ao longo da crosta, dos tipos de rochas e de minerais	25
2.3.1 Distribuição de titânio ao longo da crosta terrestre	25
2.3.2 Distribuição de titânio conforme os tipos de rochas.....	25
<i>2.3.2.1 Distribuição de titânio nas rochas ígneas</i>	26
<i>2.3.2.2 Distribuição de titânio nas rochas sedimentares</i>	26
<i>2.3.2.3 Distribuição de titânio nas rochas metamórficas</i>	26
2.3.3 Distribuição de titânio ao longo de minerais	27
<i>2.3.3.1 Distribuição de titânio nos óxidos</i>	27
<i>2.3.3.2 Distribuição de titânio nos silicatos</i>	27
2.4 Geologia dos depósitos de titânio	29

2.5 Usos dos produtos de titânio.....	31
2.6 Reservas mundiais, produção, exportação e importação brasileira de minério de titânio	32
2.7 Principais depósitos e empresas produtoras de titânio no Brasil	34
2.8 Caracterização Tecnológica de Minérios	37
2.9 Área estudada	40
2.9.1 Localização da área estudada	40
2.9.2 Geologia regional.....	41
2.9.3 Geologia local	44
2.9.3.1 Formação Patos	44
2.9.3.2 Formação Capacete	46
3 MATERIAIS E MÉTODOS	49
3.1 Amostra	49
3.1.1 Coleta e prévia descrição das amostras	50
3.1.2 Preparação das amostras	53
3.2 Procedimentos gerais do trabalho	55
3.3 Caracterização granulométrica.....	57
3.4 Análise química.....	57
3.5 Fracionamento da amostra	57
3.5.1 Separação magnética com ímã de mão	57
3.5.2 Separação magnética de alta intensidade	60

3.5.3 Separação em meio denso	64
3.6 Caracterização mineralógica.....	65
3.7 Determinação de densidade	66
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
4.1 Caracterização granulométrica.....	68
4.2 Caracterização mineralógica.....	71
4.3 Caracterização química das amostras coletadas inicialmente e escolha da amostra a ser trabalhada na continuidade dos estudos	71
4.4 Escolha da faixa granulométrica a ser trabalhada.....	75
4.5 Caracterização química da amostra escolhida para a continuidade dos testes.....	76
4.6 Fracionamento da amostra	80
4.6.1 Separação magnética com ímã de mão	80
4.6.2 Separação magnética de alta intensidade	83
4.6.3 Separação em líquido denso	86
4.7 Densidade da amostra escolhida para a continuidade dos testes	100
5 CONCLUSÃO	102
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	104
7 REFERÊNCIAS.....	105
APÊNDICE	110

1 INTRODUÇÃO

A demanda pelo elemento metálico titânio vem se tornando crescente nos últimos anos. Devido às suas propriedades, tais como tenacidade, leveza, resistência à corrosão, opacidade, inércia química e toxicidade nula, elevado ponto de fusão e brancura, o titânio possui diversificado campo de utilização. Este campo varia desde a produção de pigmentos de titânio (por exemplo, tintas vernizes), indústria de papel, plástico, fabricação de peças para motores e turbinas, fuselagem de aviões e foguetes até produção de artefatos através de impressão 3D.

Atualmente, os minerais-minério de titânio – minerais de onde se extrai o titânio – são a ilmenita e, em segundo plano, o rutilo. A produção comercial de minério de titânio no país é liderada pela *Millennium Inorganic Chemicals* do Brasil S/A (PB), seguida das empresas Titânio de Goiás S/A (GO), e da Indústrias Nucleares do Brasil S/A (RJ). Ainda assim, o Brasil ainda é um grande importador de titânio.

Além dos depósitos contendo os minerais ilmenita e rutilo, foram descobertos, nos últimos anos, muitos depósitos com elevada concentração de outro mineral de titânio, o anatásio. Estes depósitos apresentam elevada tonelagem e teores, conferindo destaque ao Brasil como o país que detém os maiores recursos deste mineral até hoje conhecidos no mundo.

Os principais recursos confirmados de anatásio estão localizados nos municípios de Patrocínio e Tapira (MG) e Catalão (GO). Outra possível ocorrência de titânio pode estar localizada em Presidente Olegário, próximo a Patrocínio. Um estudo preliminar realizado pela empresa Vicenza Mineração indica quantidades consideráveis de titânio, sob a forma de anatásio, nesta região. A unidade litoestratigráfica correspondente a estas ocorrências é o grupo Mata da Corda.

O grupo Mata da Corda é caracterizado por derrames, pequenos corpos subvulcânicos e depósitos piroclásticos e epiclásticos, todos de afinidade kamafugítica e em estágio avançado de alteração por processos de intemperismo.

A notável tonelagem de anatásio deve ser registrada como um recurso explorável no futuro, tendo em vista que até o presente não há comprovação de processos metalúrgicos técnica e economicamente viáveis que permitam a instalação de unidades industriais de processamento para o aproveitamento desse bem mineral.

Assim, esforços devem ser concentrados na busca, identificação e disponibilização de novas reservas de titânio para seu provável processamento.

Dentro deste contexto, o presente trabalho tem por objetivo geral caracterizar amostras de rochas da região de Presidente Olegário (MG) visando determinar a presença de minerais portadores de titânio.

Como objetivos específicos do trabalho citam-se:

- Determinar a composição química das amostras;

Após definir a amostra com maior teor de titânio:

- Determinar a distribuição dos principais componentes desta amostra por faixa granulométrica;
- Determinar a faixa granulométrica da amostra em que os minerais estão liberados/individualizados;
- Determinar a composição mineralógica;
- Definir quais são os minerais portadores de titânio presentes na amostra.

Ao longo deste trabalho será apresentada uma pesquisa bibliográfica referente ao titânio e os minerais portadores deste elemento, bem como os procedimentos de caracterização adotados e os resultados e conclusões obtidos com a realização do estudo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Titânio – Aspectos gerais

O elemento titânio foi descoberto em 1791, por William Gregor, na Inglaterra, que estudava areias portadoras de ferro, do tipo conhecidas hoje como ilmenita. Entretanto, somente em 1959, recebeu o nome “titânio”, quando Klaproth, que estudava areias contendo rutilo, o redescobriu (FERREIRA NETO, 1973).

Segundo Baltar *et al.* (2005) o nome titânio origina-se da palavra grega *titanes*, que na mitologia grega é um dos filhos de Urano (Céu) e Gaia (Terra).

Ferreira Neto (1973) assinala que embora a descoberta e nomeação do elemento titânio tenham ocorrido nos anos 1790, os esforços para isolá-lo, obtendo-se o titânio metálico, só foram bem sucedidos em 1910, quando Hunter o isolou através da redução de seu tetracloreto, com sódio, em um reator. Ainda assim, o titânio permaneceu como uma curiosidade de laboratório até que, em 1946, Kroll provou que este metal poderia ser produzido pela redução do tetracloreto de titânio com o magnésio, em escala piloto. Posteriormente, este processo foi convertido para a escala industrial e em 1948 foi produzido titânio metálico para uso comercial. Atualmente o titânio é um metal básico para toda uma indústria.

O titânio (Ti) é um metal de transição de número atômico 22 e massa de 47,90 u. Apresenta cor branca metálica e é pouco reativo em temperatura ambiente. É conhecido por sua excelente resistência mecânica e à corrosão. Possui baixa condutividade térmica e elétrica. É um metal leve (4,5 g/cm³), forte, com elevada tenacidade e elevado ponto de fusão (1670 °C), o que lhe confere usos como metal refratário. Quando puro é bem dúctil e fácil de trabalhar. Ele é tão forte quanto o aço, mas 45% mais denso. É 60% mais denso que o alumínio, porém duas vezes mais forte. Estas características fazem com que o titânio seja muito resistente à fadiga. Esse metal, quando exposto ao ar, forma uma camada passiva de óxido mas quando está em um ambiente livre de oxigênio, é dúctil. É resistente à dissolução nos ácidos sulfúrico, clorídrico, e na maioria dos ácidos orgânicos (BALTAR *et al.*, 2005; CHRISTIE e BRATHWAITE, 1998, *apud* HACHA, 2010).

2.2 Minerais de titânio

Segundo Santos (2010, p. 5), “os minerais que contém óxido de titânio de interesse econômico são a ilmenita, o leucoxênio, o rutilo e, mais recentemente, o anatásio e a perovskita [...]”.

2.2.1 Ilmenita

A ilmenita (FeTiO_2) representa o mineral de titânio de ocorrência mais comum e abundante. Teoricamente, possui 53% de TiO_2 e 47% de Fe (MAIA, 2001).

Segundo Derr *et al.* (1966) a fórmula da ilmenita pode ser representada de forma mais completa como sendo $(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})\text{TiO}_3$, tendo apenas pequenas quantidades de magnésio e manganês.

O nome ilmenita provém de seu local de descoberta no lago Ilmen das Montanhas Ilmen em Miask, na porção sul da cadeia de montanhas Ural da Rússia (<http://www.mineralszone.com/minerals/ilmenite.html>).

A Tabela 1 mostra as principais propriedades físicas da ilmenita, e a Figura 1 mostra uma imagem deste mineral.

Tabela 1 - Propriedades físicas da Ilmenita

Dureza	5,5 a 6,0
Densidade relativa	4,5 a 5,0
Clivagem / fratura	Nenhuma / subconchooidal
Brilho / diafanidade	Metálico / opaco
Cor	Preta do ferro
Traço	Vermelho acastanhado a preto
Cristalografia	Hexagonal, romboédrica
Hábito	Tabular ou prismática, geralmente mostrando formas romboédricas e comumente geminadas. Maioria das ocorrências são maciças, granulares, compactas, ou em grãos e/ou areia.

Fonte: Modificado de PERKINS (2002)



Figura 1– Ilmenita

Fonte: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/oxidos/ilmenita.html>>

Embora a ilmenita possa ser magnética sem aquecimento, a ausência de magnetismo forte é o que a distingue da magnetita. Quanto à hematita, é distinguida pelo traço (DANA, 1975).

A ilmenita é frequente como mineral acessório em muitas rochas ígneas vulcânicas e metamórficas, podendo ocorrer também em filões ou em massas disseminadas, por vezes de grande extensão, em associação com gabros, noritos, anortositos etc. Pode também formar concentrações em areias de praia (DEER *et al.*, 1966). Dana (1975) assinala que a ilmenita ocorre em camadas e em massas lenticulares encaixadas no gnaiss e em outras rochas metamórficas cristalinas. Já em filões ou em massas grandes é encontrada como produto de segregação magmática. Perkins (2002) ressalta que nas areias negras é comum que a ilmenita esteja associada a quartzo, hematita, magnetita, rutilo, zircão, monazita e outros minerais densos.

Baltar *et al.* (2005, p. 659) ressaltam as transformações que a ilmenita pode sofrer, produzindo minerais secundários de titânio:

A transformação do Fe^{2+} em Fe^{3+} , na ilmenita, é comum devido à oxidação do mineral. A forma cristalina da ilmenita altera-se para uma mistura amorfa FeO , Fe_2O_3 e TiO_2 , segundo um processo de intemperismo muito lento. A oxidação e, posterior, lixiviação do ferro, pela ação da água, resulta em um aumento do teor de TiO_2 . O produto final dessa alteração pode ser rutilo, anatásio ou leucoxênio.

2.2.2 Leucoxênio

O leucoxênio corresponde a um estágio muito avançado de alteração da ilmenita, apresentando-se como um mineral de cor cinzenta e brilho baço. É geralmente reconhecido como um rutilo ou anatásio em granulometria muito fina, ou mistura dos dois com material amorfo. Ocorre com titanita, ilmenita, perovskita ou outros minerais de titânio. O teor em TiO_2 depende do grau de alteração da ilmenita, mas geralmente contém acima de 60% de TiO_2 (BALTAR *et al.*, 2005; MAIA, 2001).

2.2.3 Rutilo

O rutilo, cujo nome vem do latim *rutilus* que significa “avermelhado”, é um dióxido de titânio (TiO_2) essencialmente cristalino. A presença de impurezas, tais como SiO_2 , Cr_2O_3 , V_2O_5 , Al_2O_3 e FeO , invariavelmente reduzem o conteúdo de TiO_2 para a faixa de 94 a 98%. O elevado teor em Ti faz com que o rutilo seja o mais valorizado entre os minerais de titânio. (BALTAR *et al.*, 2005). As principais características físicas do rutilo são mostradas na Tabela 2, enquanto a Figura 2 mostra uma imagem deste mineral.

Tabela 2 - Propriedades físicas do Rutilo

Dureza	6,0 a 6,5
Densidade relativa	4,24
Clivagem / fratura	Boa prismática em {100} e {110} / subconchoidal
Brilho / diafanidade	Adamantino / transparente a translúcido
Cor	Vermelha, marrom avermelhado a preto
Traço	Pálido ou castanho claro
Cristalografia	Tetragonal, bipiramidal-dietragonal
Hábito	Cristais frequentemente aciculares, delgados, estriados verticalmente, podendo ser também maciços e compactos. Cristais prismáticos comumente apresentam terminações bipiramidais.

Fonte: Modificado de PERKINS (2002)



Figura 2 – Rutilo

Fonte: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/oxidos/rutilo.html>>

O rutilo é a forma mais frequente de TiO_2 na natureza e tende a ocorrer em associações mineralógicas de pressão e temperatura elevadas (DEER *et al.*, 1966). De acordo com Dana (1975) o rutilo é encontrado em granitos, pegmatitos graníticos, gnaiss, mica xistos, calcário metamórfico e dolomita. Pode estar presente como mineral acessório na rocha ou em filões de quartzo que a atravessam. Os minerais associados ao rutilo são, segundo Perkins (2002), quartzo, feldspato, ilmenita e hematita.

2.2.4 Anatásio

O anatásio (TiO_2), também chamado de octaedrita, era um mineral conhecido, até pouco tempo, apenas em termos acadêmicos. Essa situação mudou com a descoberta de importantes ocorrências no Brasil (MAIA, 2001). O anatásio é um óxido de titânio trimorfo, isto é, uma das três formas polimorfas do rutilo e da brookita. O nome anatásio vem do grego *anatsis* que significa “prolongamento” (BALTAR *et al.*, 2005). As principais características físicas do anatásio são apresentadas na Tabela 3, enquanto que a Figura 3 apresenta uma imagem deste mineral.

Tabela 3 - Propriedades físicas do Anatásio

Dureza	5,5 a 6,0
Densidade relativa	3,9
Clivagem / fratura	{101} perfeita, {001} distinta / conchoidal
Brilho / diafanidade	Adamantino, resinoso / transparente a translúcido
Cor	Variada (preto, marrom avermelhado, marrom amarelado, azul escuro, cinza)
Cristalografia	Tetragonal

Fonte: Modificada de BALTAR *et al.* (2005)



Figura 3 – Anatásio

Fonte: < <http://www.dicionario.pro.br/index.php/Anat%C3%A1sio>>

2.2.5 Perovskita

A perovskita (CaTiO_3) é um mineral isométrico, que se apresenta nas cores preta, vermelha ou amarela. Tem massa específica $4,01 \text{ g/cm}^3$, cristaliza-se no sistema ortorrômbico ou monoclinico, mas pode ocorrer no sistema pseudo-isométrico (MAIA, 2001).

Deer *et al.* (1966) ressaltam que embora a composição da perovskita seja essencialmente CaTiO_3 , a maior parte das análises deste mineral apresenta uma substituição considerável do Ca por elementos do grupo das terras raras ou dos álcalis, e frequentemente de Ti por Nb ou Ta. O teor de TiO_2 na perovskita, segundo Maia (2001), oscila entre 38 e 58%.

Maia (2001) afirma que a perovskita é encontrada usualmente em rochas metamórficas. Deer *et al.* (1966), por outro lado, atestam que este mineral ocorre como acessório em rochas eruptivas básicas e alcalinas e em calcários impuros que sofreram metamorfismo de contato.



Figura 4 - Cristal de perovskita com forma octaédrica

Fonte: GRAVINA, 2009

2.3 Distribuição de titânio ao longo da crosta, dos tipos de rochas e de minerais

2.3.1 Distribuição de titânio ao longo da crosta terrestre

A abundância do elemento titânio na crosta terrestre era estimada entre 0,45 ou 0,75% de TiO_2 até que foi revisada por Lee e Yao (1970, *apud* FORCE, 1976) que apontam estimativas entre 0,64 e 1,07%, respectivamente, divididos conforme mostra a Tabela 4. Ressalta-se que na análise química de rochas e minerais o titânio é reportado como TiO_2 .

Tabela 4- Média de abundância de titânio na crosta terrestre

Tipo de Crosta	Conteúdo de titânio (peso percentual)		Percentual do total de volume crustal
	Ti	TiO_2	
Crosta total	0,64	1,07	100
- Crosta oceânica	0,81	1,35	37
- Crosta continental	0,53	0,88	63
- Escudos	0,55	0,92	44
- Cinturões dobrados	0,50	0,83	19

Fonte: LEE e YAO (1970, *apud* FORCE, 1976)

2.3.2 Distribuição de titânio conforme os tipos de rochas

Os estudos da participação de titânio na composição das rochas ígneas, sedimentares e metamórficas constam de análises de um grande número de amostras de cada tipo de rocha. Desta forma, os autores compõem tabelas com os teores médios de TiO_2 em cada tipo de rocha. A partir da análise destas tabelas é possível inferir acerca de quais tipos de rochas apresentam maiores teores de TiO_2 .

Entretanto, em alguns casos, observa-se que as concentrações econômicas de titânio atualmente estudadas podem estar presentes em rochas cujos teores de titânio estão abaixo da média crustal. Isto reflete a complexidade da análise entre o teor médio de TiO_2 e os aspectos relacionados à formação de concentrações locais de valiosos minerais de titânio. Além disso, as análises de rochas metamórficas variam bastante já que não há considerações acerca do material parental.

2.3.2.1 Distribuição de titânio nas rochas ígneas

Vinogradov (1962, *apud* FORCE, 1976) afirma que o teor médio de TiO_2 para alguns tipos de rochas ígneas é: 0,05% para rochas ultramáficas, 1,5% para rochas máficas, 1,3% para rochas intermediárias e 0,38% para rochas félsicas. Já para rochas alcalinas, Sgarbi *et al.* (1998) ressalta que os conteúdos de TiO_2 variam entre 4,1 e 7,8%.

Force (1976) ressalta que as concentrações econômicas de titânio ocorrem em anortositos, noritos (rocha ígnea intrusiva máfica semelhante ao gabro) e em nefelina sienitos, ainda que os teores médios de TiO_2 sejam inferiores ao da média crustal.

2.3.2.2 Distribuição de titânio nas rochas sedimentares

De acordo com Goldschmidt (1954, *apud* FORCE, 1976) rochas sedimentares contêm uma média de 0,75% de TiO_2 . Folhelhos têm os maiores teores de TiO_2 , enquanto que os calcários apresentam os menores. Dos arenitos, aqueles de baixa maturidade textural e/ou mineralógica têm os maiores valores médios. No entanto, concentrações *placer* de minerais pesados são normalmente maduras e têm um alto teor de TiO_2 .

2.3.2.3 Distribuição de titânio nas rochas metamórficas

Force (1976) afirma que uma compilação melhor sobre as rochas metamórficas seria útil quando uma possível mobilidade de titânio – facilidade com que este elemento químico se move em solução em determinado ambiente -durante o metamorfismo fosse considerada. Engel, A. e Engel, C. (1958 *apud* FORCE, 1976) demonstraram ligeiras quedas no teor de titânio de paragnaisses e anfibolitos com o aumento da intensidade do metamorfismo.

2.3.3 Distribuição de titânio ao longo de minerais

2.3.3.1 *Distribuição de titânio nos óxidos*

Os polimorfos de TiO_2 – brookita, rutilo e anatásio – são relativamente comuns na natureza. O rutilo é a fase mais estável e está presente em diversos ambientes geológicos, como produto de alteração (leucoxênio) formado a temperatura e pressão de superfície, em várias rochas metamórficas e ígneas (FORCE, 1976).

Ilmenita (FeTiO_3) é um mineral acessório comum em uma larga variedade de rochas. Teoricamente apresenta 52,5% de TiO_2 . As variações de teor ocorrem devido a intercrescimento de hematita e magnetita e soluções sólidas com hematita (valores baixos) ou lixiviação de ferro durante alteração (altos valores). A ilmenita das minerações de areia de praia pode conter mais de 60% de TiO_2 como resultado de intemperismo e transporte. Na verdade, esse material das areias de praia consiste de produtos de alteração pseudomorfos sobre a ilmenita (FORCE, 1976).

Leucoxênio é um nome genérico para os produtos finais de alteração da ilmenita. O titânio está contido em agregados de grão fino de rutilo, brookita, anatásio, hematita, e/ou esfero. Leucoxênio pode ser formado por alteração hidrotermal bem como por intemperismo (FORCE, 1976).

Outro óxido de titânio, perovskita (CaTiO_3), é um mineral formador de rocha alcalina e tem importância econômica. Normalmente apresenta menos TiO_2 que o valor teórico de 59% devido à presença de terras raras e nióbio (FORCE, 1976).

2.3.3.2 *Distribuição de titânio nos silicatos*

Embora a maioria dos minerais silicatos formadores de rocha contenham TiO_2 , os mais importantes para a geoquímica de titânio são titanita, biotita, hornblenda e titanoaugita (FORCE, 1976).

Titanita (CaTiSiO_5) idealmente apresenta 41% de TiO_2 mas pode conter menos. É um mineral acessório comum em um grande número de rochas ígneas e metamórficas (FORCE, 1976).

Biotita e hornblenda contêm quantidades relativamente menores de titânio, mas como são geralmente muito mais abundantes que os minerais acessórios ricos

em titânio, eles são importantes portadores de titânio. Em rochas ígneas comuns de composição cálcio-alcálicas, biotita tem cerca de 5,9% de TiO_2 . Em rochas metamórficas comuns, biotita apresenta cerca de 5% de TiO_2 e hornblenda tem cerca de 3%. Nos dois minerais, o teor de TiO_2 aumenta com o grau metamórfico. A concentração de TiO_2 na hornblenda e biotita é largamente dependente do teor de TiO_2 da rocha (FORCE, 1976).

Em muitas rochas vulcânicas ou alcálicas, titanogaugita é a fase característica e pode conter cerca de 9% de TiO_2 (FORCE, 1976).

A Tabela 5 mostra a composição de alguns minerais comuns de titânio, tanto da classe dos óxidos como dos silicatos.

Ressalta-se que embora os silicatos contenham a maior parte de TiO_2 na maioria das rochas, todos os minerais de titânio atualmente extraídos são óxidos.

Tabela 5 - Composição de alguns minerais de titânio comuns

Mineral	Fórmula Teórica	Conteúdo TiO_2 (%)
Óxidos		
Rutilo	TiO_2	>95
Anatásio	TiO_2	>95
Brookita ⁽¹⁾	TiO_2	>95
Ilmenita	FeTiO_3	52 ⁽²⁾
Perovskita ⁽¹⁾	CaTiO_3	59 ⁽²⁾
Magnetita	Fe_3O_4	0 – 15
Silicatos		
Titanita	CaTiSiO_5	41 ⁽²⁾
Andradita	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$	0 – 17
Biotita	$\text{K}_2(\text{MgFe})_4(\text{FeAl})_2\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20}(\text{OH})_4$	0 – 6
Anfibólio cálcico (hornblenda)	$(\text{NaK})\text{Ca}_2(\text{MgFeAl})_5\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	0 – 10
Augita	$\text{Ca}(\text{MgFe})(\text{SiAl})_2\text{O}_6$	0 – 9

Fonte: Modificado de HACHA (2010)

Nota: ⁽¹⁾ Fases restritas aos tipos de rochas incomuns; ⁽²⁾ valor estequiométrico

2.4 Geologia dos depósitos de titânio

A geologia dos depósitos minerais de titânio, conforme afirma Hacha (2010), foi revista por Force (1991), e sua distribuição mundial foi resumida por Towner *et al.* (1988).

Segundo estes autores, mais da metade da produção mundial de titânio é proveniente de ilmenita e rutilo, encontrados nos litorais em depósitos de placeres enquanto que o restante é fornecido principalmente por depósitos magmáticos de ilmenita. Conforme Hacha (2010, p. 24), “minerais de titânio são extraídos de rochas cristalinas duras, rochas intemperizadas, e sedimentos não consolidados”. A Tabela 6 mostra uma grande diversidade de tipos de depósitos e os minerais presentes.

Tabela 6 - Tipos de depósitos de titânio e seus minerais

Classe	Tipo	Mineralogia típica	Exemplo
Metamórficas	Eclogito	Rutilo	Piampaludo, Itália
	Aluminossilicato	Rutilo	Evergreen, Colorado
	Contato ultramáfico	Rutilo	Dinning, Maryland
Ígneos	Ilmenita magmática	Ilmenita	Allard Lake, Canadá Roseland, Virginia
	Anortosito excedente	Rutilo, ilmenita	Roseland, Virginia
	Albitita (Kraggerita)	Rutilo	Kragero, Noruega
		Perovskita	Powderhorn, Colorado;
	Alcalina	Nb-rutilo Nb-brookita	MagnetCove, Arkansas
Hidrotermais		Pórfiro	
		Rutilo	Birgham, Utah
Sedimentares	Fluvial	Ilmenita, rutilo	Gbangbama, Serra Leoa
	Glaciolacustrino	Ilmenita, rutilo	PortLeyden, New York
	Litoral (eólicos e costeiros)	Ilmenita, Ilmenita alterada, rutilo	StradbrokeIsland, Austrália
Intemperizados	Rocha matriz alcalina	Anatásio	Tapira, Brasil
	Rocha matriz máfica	Ilmenita	Roseland, Virginia
	Rocha matriz aluvial	Ilmenita alterada, leucóxênio	TrailRidge, Florida

Fonte: Geological Society of America. FORCE, E. R (*apud* HACHA,2010)

Segundo Baltar *et al.* (2008), a produção mundial de titânio é obtida a partir de depósitos primários e secundários. Nos depósitos primários, a ocorrência de titânio se dá na forma de ilmenita e menos frequentemente de rutilo, formando camadas e massas lenticulares, como mineral acessório em rochas ígneas e metamórficas.

A formação da ilmenita ocorre segundo processos de segregação magmática e este mineral está frequentemente associado a magnetita, rutilo, quartzo, zirconita, albita, biotita e fluorapatita. Os depósitos comercialmente importantes estão associados às rochas básicas como gabro, diorito e anortositos, podendo ser dos seguintes tipos: ilmenita-magnetita, ilmenita-hematita ou ilmenita-rutilo. No Brasil, destaca-se como exemplo deste tipo, o depósito de Floresta, em Pernambuco, que é constituído basicamente por ilmenita, hematita e quartzo (BALTAR E CUNHA, 2004 *apud* BALTAR *et al.*, 2008).

A ilmenita também pode ser encontrada em pegmatitos e carbonatitos, a exemplo do que ocorre com o anatásio de Tapira, em Minas Gerais (BALTAR *et al.*, 2008). Ressalta-se que alguns geólogos defendem que o mineral de titânio encontrado em Tapira trata-se de uma perovskita alterada e não o mineral anatásio (informação verbal) ¹.

Os produtores mundiais de minerais de titânio com base em depósitos primários que merecem destaque são: Noruega, Finlândia, Ucrânia e Canadá (VELHO *et al.*, 1998 *apud* BALTAR *et al.*, 2008).

Os placeres são depósitos secundários conhecidos como areia de praias. Eles apresentam maiores teores de titânio e representam as maiores fontes de material para a produção mundial de titânio. Nestes depósitos há presença de ilmenita e rutilo, sendo que a ilmenita pode apresentar vários índices de alteração, resultantes da lixiviação preferencial do ferro. Nestes casos há o surgimento de espécies minerais com maior teor de TiO₂, na forma de rutilo, anatásio e leucoxênio (BALTAR *et al.*, 2005).

Nos placeres, que são constituídos basicamente por areia de quartzo, a ilmenita e o rutilo ocorrem, geralmente, associados a outros minerais pesados, como zirconita e minerais de terras-raras (especialmente, xenotima e monazita), além de magnetita, granada, silimanita e cromita (BALTAR *et al.*, 2005).

¹ Informação fornecida pelo geólogo Francisco de Castro Valente Neto.

A extensão dos placeres no Brasil varia de centenas de metros a alguns quilômetros. A jazida de Mataraca, PB, possui uma extensão de 10 km e sua largura chega a 1 km, com profundidades de até 90 m (BALTAR *et al.*, 2008).

Dentre os maiores produtores de minerais de titânio provenientes de depósitos de placeres citam-se Austrália, República da África do Sul, Índia, Estados Unidos e Sri Lanka (VELHO *et al.*, 1998 *apud* BALTAR *et al.*, 2008).

2.5 Usos dos produtos de titânio

O titânio metálico não é encontrado livre na natureza. Sua obtenção se dá a partir de rochas ígneas e sedimentares e do intemperismo das rochas ígneas, portadoras de minerais de titânio, subjacentes. Dos minerais portadores de titânio, apenas a ilmenita, rutilo e leucóxeno são utilizados comercialmente para a obtenção do titânio (SANTOS, 2010).

O campo de aplicação do titânio é bastante extenso graças às suas propriedades de tenacidade, leveza, resistência à corrosão, opacidade, inércia química, ausência de toxidez, elevado ponto de fusão, brancura, elevado poder de cobertura, alto índice de refração e alta capacidade de dispersão (BALTAR *et al.*, 2008; MAIA, 2001). Ainda assim, mais de 95% dos concentrados provenientes dos minerais de titânio são destinados à produção de pigmentos de titânio, a partir do dióxido de titânio. As tintas são utilizadas na construção civil e também para usos artísticos (SANTOS, 2010).

O segundo maior campo de aplicação do dióxido de titânio, no cenário mundial, é na indústria de papel, na fabricação de papel fotográfico e de todo tipo de papel para impressão, exceto de jornal. Todo o plástico básico produzido requer a adição de pigmento de titânio que também é requerido na produção de borracha para pneus, esmalte para porcelanas, encerados, revestimentos de paredes e fibras de vidro (MAIA, 2001; SANTOS, 2010).

Devido ao fato da produção de titânio metálico implicar na utilização de sofisticados processos químicos, o titânio tem preço mais elevado do que outros materiais estruturais, como o alumínio e o aço (LYND, 1985 *apud* BALTAR *et al.*, 2008). Entretanto, ainda assim, há notável interesse comercial pelo titânio, principalmente na indústria aeroespacial/aeronáutica, onde cerca de 60% do titânio na forma metálica e de suas ligas são utilizados na fabricação de peças para

motores e turbinas, fuselagem de aviões e foguetes. O restante é utilizado nas indústrias química, naval, nuclear, bélica e metalúrgica (SANTOS, 2010).

Ressalta-se também que está havendo um crescente aumento do uso de titânio e suas ligas para a fabricação de implantes cirúrgicos, ortopédicos e dentais. Dentro desta perspectiva, destaca-se o uso do titânio e suas ligas na impressão 3D, que produz artefatos com propriedades mecânicas adequadas, resistência à corrosão e biocompatibilidade. O emprego destes artefatos vai além do campo da medicina, ocorrendo também nas indústrias aeroespacial, automobilística e química (<http://www.titaniumexposed.com/titanium-uses.html>)

Dentre as novas aplicações para o titânio destaca-se o uso do dióxido de titânio ultrafino a ser empregado como catalisador da quebra de compostos de NOx (óxidos de nitrogênio). Obras civis e fachadas de prédios serão recobertas com estes pigmentos de titânio, sendo transformados em grandes catalisadores ambientalmente corretos nas megalópoles do planeta (SANTOS, 2010).

Conforme mostra a Figura 5, no Brasil, o maior consumo de titânio é destinado à fabricação de tintas, esmaltes e vernizes seguido pela siderurgia, ferroligas e outras destinações como soldas, anodos para galvanoplastia e indústria de pisos e revestimentos (AMORIM NETO; ALMEIDA, [20--]).

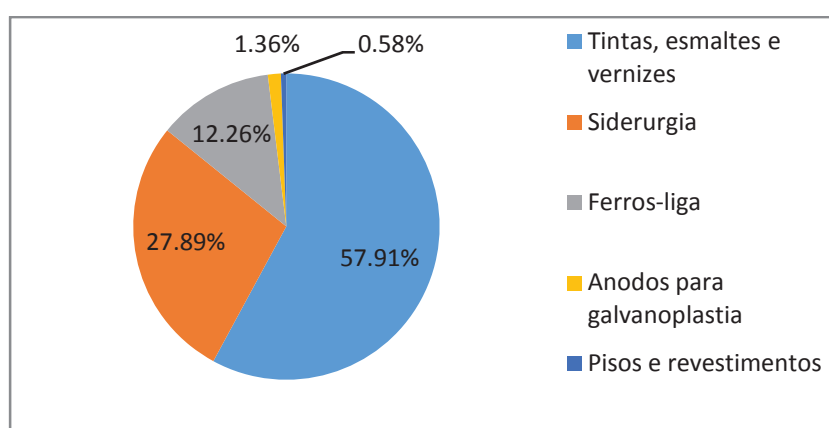


Figura 5 - Destinação do uso de titânio no Brasil em 2008
Fonte: Modificado de AMORIM NETO; ALMEIDA, [20--]

2.6 Reservas mundiais, produção, exportação e importação brasileira de minério de titânio

Segundo o *United States Geological Survey (USGS)*, as reservas mundiais de minério de titânio, na forma de ilmenita e rutilo, passíveis de serem economicamente

extraídas ou produzidas no momento da determinação, no ano de 2013, são da ordem de 750 milhões toneladas, cuja distribuição obedece à proporção apresentada pela Tabela 7. Quase dois terços das reservas de rutilo e ilmenita estão localizados na China (28,0%), Austrália (25,7%) e Índia (12,9%). As reservas lavráveis brasileiras de ilmenita e rutilo totalizam 2,6 Mt e representam menos de 0,4% das reservas mundiais (QUEIROZ FILHO e AMORIM NETO, 2014).

Tabela 7 – Reservas e produções de titânio

Discriminação	Reservas – 2013 ^(p)		Produção – 2013 ^(p)			
	Ilmenita	Rutilo	Ilmenita		Rutilo	
Países	(10 ³ t)	(10 ³ t)	(10 ³ t)	(%)	(10 ³ t)	(%)
Brasil	^(p) 2600	^(p) 40	78,2	1,1	2,0	0,3
África do Sul	63.000	8.300	1.100	16,1	120	15,6
China	200.000	-	950	13,9	-	-
Austrália	160.000	24.000	940	13,8	450	58,4
Canadá	31.000	-	770	11,3	-	-
Vietnã	1.600	-	500	7,3	-	-
Moçambique	14.000	510	480	7,0	9	1,2
Madagascar	40.000	-	430	6,3	-	-
Ucrânia	5.900	2.500	410	6,0	60	7,8
Noruega	37.000	-	400	5,9	-	-
Índia	85.000	7.400	340	5,0	26	3,4
Estados Unidos	⁽¹⁾ 2.000	⁽¹⁾	⁽²⁾ 300	4,4	⁽²⁾	⁽²⁾
Sri Lanka	-	-	32	0,5	-	-
Serra Leoa	-	3.800	-	-	90	11,7
Outros países	25.900	450	89,8	1,3	13	1,7
TOTAL	668.000	47.000	6.820	100,0	770	100,0

Fontes: *Mineral Commodity Summaries* 2014.

Notas: ⁽¹⁾ EUA: As reservas de rutilo estão inseridas dentro dos dados das reservas de ilmenita; ⁽²⁾ EUA: a produção do rutilo está inserida dentro da produção de ilmenita; ^(p) dado preliminar; (-) dado não divulgado ou nulo. Dados de reserva lavrável e produção beneficiada em metal contido.

No quadro da produção mundial, segundo informações do Sumário Mineral de 2014, fornecido pelo DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral -, em 2013, os maiores produtores de titânio (soma da produção de ilmenita e rutilo) foram Austrália (18,3%), África do Sul (16,1%), China (12,5%) e Canadá (10,1%), ou seja, os países detentores das maiores reservas mundiais também lideram a produção de concentrados minerais de titânio. Quanto ao Brasil, o país foi responsável por apenas 1,1% da produção mundial de titânio. Embora a produção mundial não seja

muito expressiva, o Brasil se destaca como o maior produtor da América Latina. Os principais municípios produtores no Brasil são Mataraca (PB), São Francisco de Itabapoana (RJ) e Santa Bárbara de Goiás (GO).

Ainda segundo o Sumário Mineral de 2014, o valor total das importações brasileiras de minério de titânio teve uma queda de cerca de 20%. Entretanto, esta queda foi causada principalmente pela redução do preço médio de importação dos pigmentos de titânio (quase 23%), que representam mais de 85% do valor das importações brasileiras de titânio e seus derivados. Em termos de quantidade, estima-se um aumento de 10% nas importações deste produto em relação ao ano anterior.

No que se refere às exportações brasileiras de minérios de titânio, o Sumário Mineral de 2014, aponta que, em 2013, houve uma queda no valor das exportações de aproximadamente 27% em relação ao ano anterior. Com relação ao valor total das exportações de titânio, mais de 60% concentrou-se em pigmentos e preparos à base de dióxido de titânio (compostos químicos). Os maiores consumidores destes produtos foram os países da América do Sul. Os bens primários, basicamente ilmenita, representaram 26,9% do valor total de exportações, enquanto que os bens manufaturados e semimanufaturados corresponderam a aproximadamente 11%.

2.7 Principais depósitos e empresas produtoras de titânio no Brasil

A Tabela 8, mostra a distribuição das reservas nacionais de minerais de titânio, segundo o Anuário Mineral Brasileiro de 2010.

Segundo Maia (2001), os principais depósitos se encontram ao longo da costa, nos Estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo, Paraíba, Rio Grande do Norte, Bahia e Rio Grande do Sul.

O depósito de Mataraca, na Paraíba, se destaca como o mais importante.

O depósito de Mataraca [...] representa 64% das reservas de ilmenita e 52% das reservas de rutilo do país. Trata-se de um depósito sedimentar de origem secundária, constituindo placers, onde o teor médio de minerais pesados, na Areia Bruta, varia entre 3,3% a 5%, sendo o restante constituído principalmente de quartzo, turmalinas, feldspato e fragmentos de conchas. [...] A concessionária é a *Millennium Inorganic Chemicals* do Brasil Ltda (MAIA, 2001, p.2-3).

Tabela 8 – Reservas nacionais de minerais de titânio em 2009

Unidades da Federação / Municípios	Reservas (t)				Lavrável	
	Medida		Indicada	Inferida		
	Minério	Contido (t) TiO ₂	Contido (t) TiO ₂	Contido (t) TiO ₂	Minério	Contido (t) TiO ₂
Titânio		166.886.769	130.877.602,64	66.881.972		167.619.563
Titânio (Anatásio)	863.139.420	144.245.071	130.773.575	66.868.463	1.329.395.023	165.364.403
Titânio (Ilmenita)	428.552.337	22.602.831	102.804	13.509	225.114.009	2.253.769
Titânio (Rutilo)	223.561.907	38.867	1.224	-	223.447.782	1.391
Bahia		2.460.315	17.763	-		-
Espírito Santo		123.974	-	-		-
Goiás		9.991.763	5.787.303	11.098.070		331.897
Minas Gerais		134.537.088	125.072.536	55.783.903		165.313.329
Paraíba		1.851.345	-	-		1.851.345
Pernambuco		275.244	-	-		113.002
Rio de Janeiro		11.100	-	-		9.991
São Paulo		17.635.940	-	-		-

Fonte: Anuário Mineral Brasileiro 2010 – DNPM

Dentre as reservas tituladas à INB – Indústrias Nucleares Brasileiras S/A - estão as localizadas no litoral norte do Estado do Rio de Janeiro, nos municípios de Itabapoana e Guaxindiba; no Espírito Santo, em Guarapari e Aracruz; e na Bahia, municípios de Prado e Cumuruxatiba. (MAIA, 2001).

Novos trabalhos de prospecção de titânio estão sendo realizados no município de São José do Norte, no Rio Grande do Sul, onde já existem reservas encontradas, e no nordeste do Pará, respectivamente pelas empresas *RTZ* e *Dupont* (MAIA, 2001).

Há também, em Minas Gerais reservas aluvionares no leito do Rio Sapucaí com os direitos minerários pertencentes à SAMITRI – S/A Mineração Trindade e reservas de ferro titânio no município de Floresta, em Pernambuco (MAIA, 2001).

No Rio Grande do Norte, no município de Baía Formosa, há uma reserva expressiva com cerca de 16.000.000 t e 0,82 % em peso de TiO₂, aguardando

confirmação de sua viabilidade econômica através da implantação da lavra por dragagem (MAIA, 2001).

No que se refere ao anatásio, o Brasil detém os maiores recursos até hoje conhecidos no mundo, avaliadas em torno de 440 milhões de toneladas, com teores médios de 17,7 % de TiO_2 , associado a fosfato, nióbio e terras raras. As reservas estão localizadas nos municípios de Patrocínio, Salitre e Tapira (MG), e Catalão/Ouvidor (GO). A Vale detém parte destas áreas e desenvolve trabalhos de pesquisas geológicas e tecnológicas desde 1972, que confirmam a viabilidade técnica de utilização do anatásio como alternativa ao rutilo em nível de laboratório. Toda a produção do anatásio, que é considerado um subproduto do fosfato, é destinada nos últimos anos a estoque para aproveitamento futuro, não ocorrendo tratamento nem comercialização (MAIA, 2001).

Segundo Damasceno (2006), apesar dos investimentos no projeto que visa à industrialização dos concentrados de anatásio, o mesmo foi abandonado por falta de competitividade com o minério clássico de ilmenita, pelos altos teores remanescentes de cálcio, de fósforo e radiatividade, decorrente da presença de urânio e tório associados já que a legislação ambiental dos países produtores e consumidores de titânio exige que o somatório de urânio e tório não ultrapasse 100 ppm.

As principais empresas produtoras de minério de titânio, conforme mostra a Tabela 9, são a *Millennium Inorganic Chemicals do Brasil S/A*, a *Titânio de Goiás S/A* e a *Indústrias Nucleares do Brasil S/A*.

Tabela 9 - Principais empresas produtoras de minério de titânio no Brasil

Empresas	UF ⁽¹⁾	Participação (%) ⁽²⁾
Millennium Inorganic Chemicals Mineração LTDA	PB	66,11
Titânio Goiás Mineração Industria e Comércio LTDA	GO, PE	20,46
Indústrias Nucleares do Brasil S/A	RJ	13,44

Fonte: Anuário Mineral Brasileiro 2010 – DNPM.

Notas: ⁽¹⁾ Unidade da Federação onde ocorreu a comercialização e/ou consumo da produção bruta e/ou beneficiada. ⁽²⁾ Participação percentual da empresa no valor total da comercialização da substância sem considerar os valores dos dados arbitrados.

2.8 Caracterização Tecnológica de Minérios

A caracterização tecnológica abrange os trabalhos e estudos desenvolvidos para o conhecimento das principais propriedades de um material, possibilitando avaliar a viabilidade técnica e econômica de uma possível exploração e, em caso favorável, estabelecer todas as fases a serem executadas em uma usina de processamento (NASCIMENTO, 2014).

Os principais ensaios de caracterização tecnológica para determinado produto mineral avaliam sua distribuição granulométrica, sua composição mineralógica e química e o grau de liberação da espécie de interesse (NASCIMENTO, 2014).

A distribuição granulométrica pode ser avaliada a partir de ensaios de peneiramento a seco, indicado para partículas mais grosseiras, e a úmido, indicado para partículas finas.

Ressalta-se que a obtenção da massa adequada para se proceder à armazenagem e à execução de ensaios, tal como o de peneiramento, deve ser realizada a partir de técnicas de homogeneização e quarteamento que permitam a obtenção de alíquotas representativas da amostra global. Dentre as técnicas empregadas com este intuito destacam-se a de pilhas cônicas e longitudinais e o quarteamento com quarteadores Jones.

O método de pilhas cônicas é considerado fácil de ser executado e consiste em dispor o material sobre uma lona quadrada e levantar-se alternadamente os vértices da lona para que o material possa ser homogeneizado, construindo-se assim uma pilha cônica. A seguir, usando uma espátula, achata-se o vértice do cone e divide-se o material em quatro porções, conforme pode ser visualizado na Figura 6. Duas frações em diagonal são reunidas e as outras duas rejeitadas (OLIVEIRA e AQUINO, 2007).

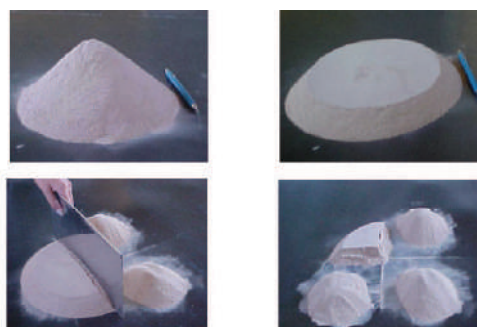


Figura 6 - Representação das etapas de fracionamento das pilhas cônica e achatadas
Fonte: OLIVEIRA e AQUINO, 2007

As pilhas longitudinais, conforme explicam Oliveira e Aquino (2007) são construídas distribuindo-se o material, longitudinalmente, em uma bancada, mediante sucessivas passagens. Construída a pilha, as extremidades devem ser retomadas e novamente espalhadas sobre seu centro. A pilha formada tem a seção em tronco de pirâmide, conforme pode ser visualizado na Figura 7.



Figura 7 - Representação esquemática da construção de pilha longitudinal.
Fonte: OLIVEIRA e AQUINO, 2007

O quarteamento consiste em reduzir o volume de amostra para facilitar a armazenagem do material ou permitir uma adequação de massa para realização de ensaios tecnológicos. O quarteamento utilizando-se o quarteador Jones, ilustrado na Figura 8, divide a amostra em duas partes. Uma destas partes pode sofrer um novo quarteamento até que se obtenha a alíquota na quantidade desejada.

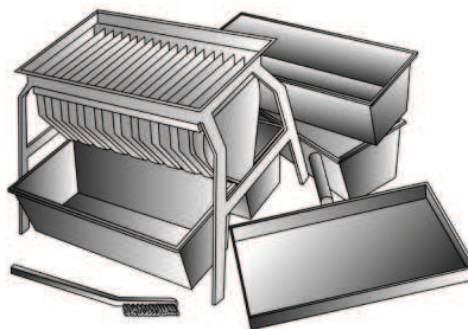


Figura 8 - Representação esquemática de um quarteador do tipo "Jones", usado em laboratório

Fonte: OLIVEIRA e AQUINO, 2007

No que se refere à definição da composição mineralógica, ressalta-se que nesta fase ocorre a identificação dos minerais valiosos e dos de ganga. Uma técnica muito utilizada na investigação mineralógica é a difratometria de raios X.

A difração de raios X é um fenômeno alcançado através de um processo no qual os raios, que incidem sobre a amostra, são dispersos pelos elétrons dos átomos, sem mudança do comprimento de onda (dispersão de Bragg). A difração resultante de um cristal, compreendendo posições e intensidades das linhas de difração, é uma propriedade física fundamental que serve para sua identificação,

semiquantificação e estudos de sua estrutura. Entretanto devem ser considerados os fatores complicadores, inerentes à composição mineralógica das amostras em estudo. A superposição de raias e a pequena distinção entre raias características dos minerais presentes em baixos teores do “background” do espectro são exemplos dessas dificuldades (GOMES, 1984, *apud* REIS, 2005, p.19).

Outra técnica que permite a identificação de um mineral específico e de sua respectiva composição química é a microscopia eletrônica de varredura (MEV) equipada com unidade de análises por energia dispersiva (EDS).

Na microscopia eletrônica de varredura, um feixe de elétrons, sob alto vácuo, é acelerado por alta voltagem, incidindo na amostra. Os elétrons retroespalhados na superfície do material são captados, atingindo resoluções de 100 Å. O feixe eletrônico, além de gerar uma imagem de alta magnificação, produz raios X fluorescentes, emitidos pelos elementos químicos constituintes da amostra. A distribuição destes elementos pode ser determinada qualitativa e quantitativamente segundo método de espectroscopia de energia dispersiva (EDS) através de detectores de estado sólido (PORPHÍRIO *et al.*, 2010).

A composição química de uma amostra mineral, por outro lado, pode ser determinada pela técnica de fluorescência de raios X, cujo princípio consiste em induzir transições eletrônicas entre os orbitais mais internos dos átomos utilizando radiações eletromagnéticas de energia adequada (raios X e raios gama). Essas transições podem resultar na emissão de radiações X de energia característica que permitem a identificação da espécie atômica envolvida na transição e a mensuração da sua abundância (FERRETTI, 2008).

O grau de liberação das espécies minerais é uma informação muito importante já que os grãos minerais devem estar inteiramente individualizados para responderem com eficiência aos processos de beneficiamento propostos. A percentagem de liberação de um mineral no minério pode ser obtida em diferentes índices de precisão e exatidão. A avaliação visual da liberação de um minério em lupa binocular é um dos métodos mais simples de determinação dessa grandeza (PORPHÍRIO *et al.*, 2010).

É prática comum fracionar a amostra para facilitar a identificação dos minerais, melhorar a quantificação e identificar certas propriedades físicas do minério. Estas informações valiosas, geralmente são obtidas por análise granulométrica, separação em meio denso e separação magnética (REIS, 2005)

A separação em meio denso consiste em separar minerais de diferentes densidades contidos em um dado minério, através de um meio com densidade intermediária à dos minerais, de forma que os minerais com densidade inferior ao meio flutuem e aqueles com densidade superior, afundem (SAMPAIO *et al.*, 2007).

Já a separação magnética consiste em se separar minerais suscetíveis a um determinado campo magnético do restante dos minerais. A operação pode ser de alta ou baixa intensidade e realizada a seco ou a úmido.

2.9 Área estudada

2.9.1 Localização da área estudada

A área de estudo localiza-se na porção oeste do estado de Minas Gerais, na região do Alto Paranaíba, abrangendo regiões de Patos de Minas e Presidente Olegário. Os municípios mais importantes como referência são: Patrocínio, a sudoeste; Coromandel, a oeste; Lagamar, a noroeste; e Lagoa Formosa, a sudeste (Figura 9).



Figura 9 - Localização da área estudada.

Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Presidente_Oleg%C3%A1rio> e <<https://www.google.com.br/maps/@-18.5485778,-46.5383102,10z>>

2.9.2 Geologia regional

A área estudada encontra-se regionalmente inserida no Cráton do São Francisco, próximo ao seu limite com a Faixa Brasília (FRAGOSO *et al.*, 2011) (Figura 10).

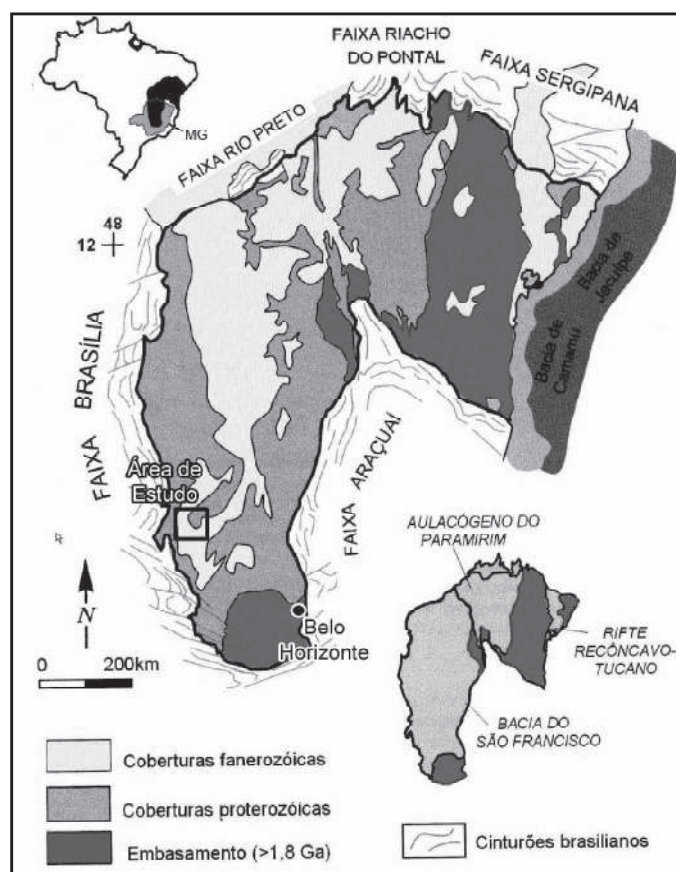


Figura 10 - Localização geográfica e contexto geológico da área de estudo

Fonte: ALKMIM *et al.* (1993, *apud* FRAGOSO *et al.*, 2011)

Segundo Fragoso *et al.* (2011), os litotipos aflorantes na região pertencem à Bacia do São Francisco e correspondem a associações rochosas neoproterozóicas do Grupo Bambuí e espessas coberturas cretáceas que compõem os grupos Areado (Eocretácio) e Mata da Corda (Neocretáceo), conforme mostra a Figura 11.

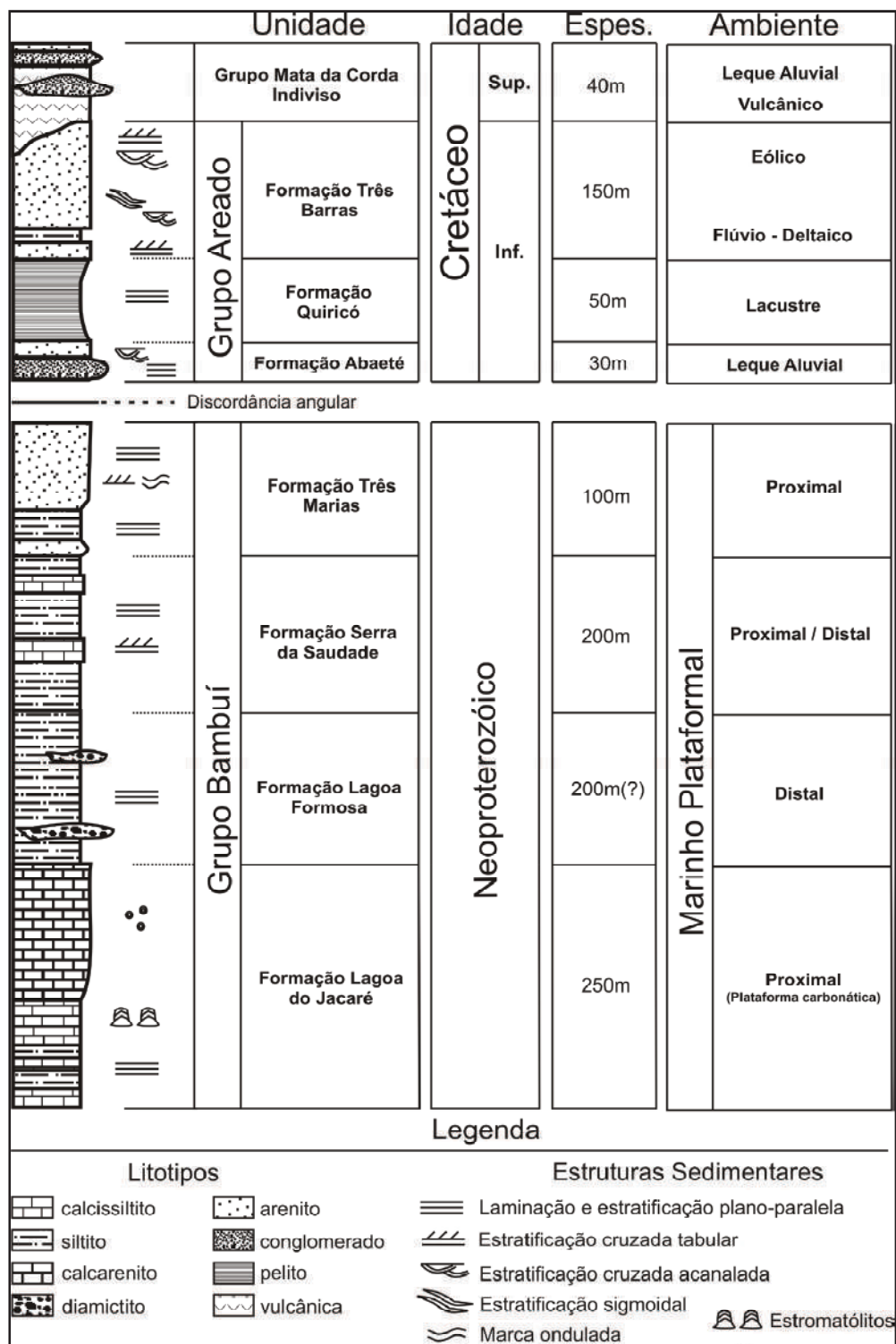


Figura 11 - Coluna litoestratigráfica da Folha Presidente Olegário

Fonte: FRAGOSO *et al.* (2011)

A Figura 12 mostra a Folha de Presidente Olegário enfatizando os grupos Bambuí, Areado e Mata da Corda.

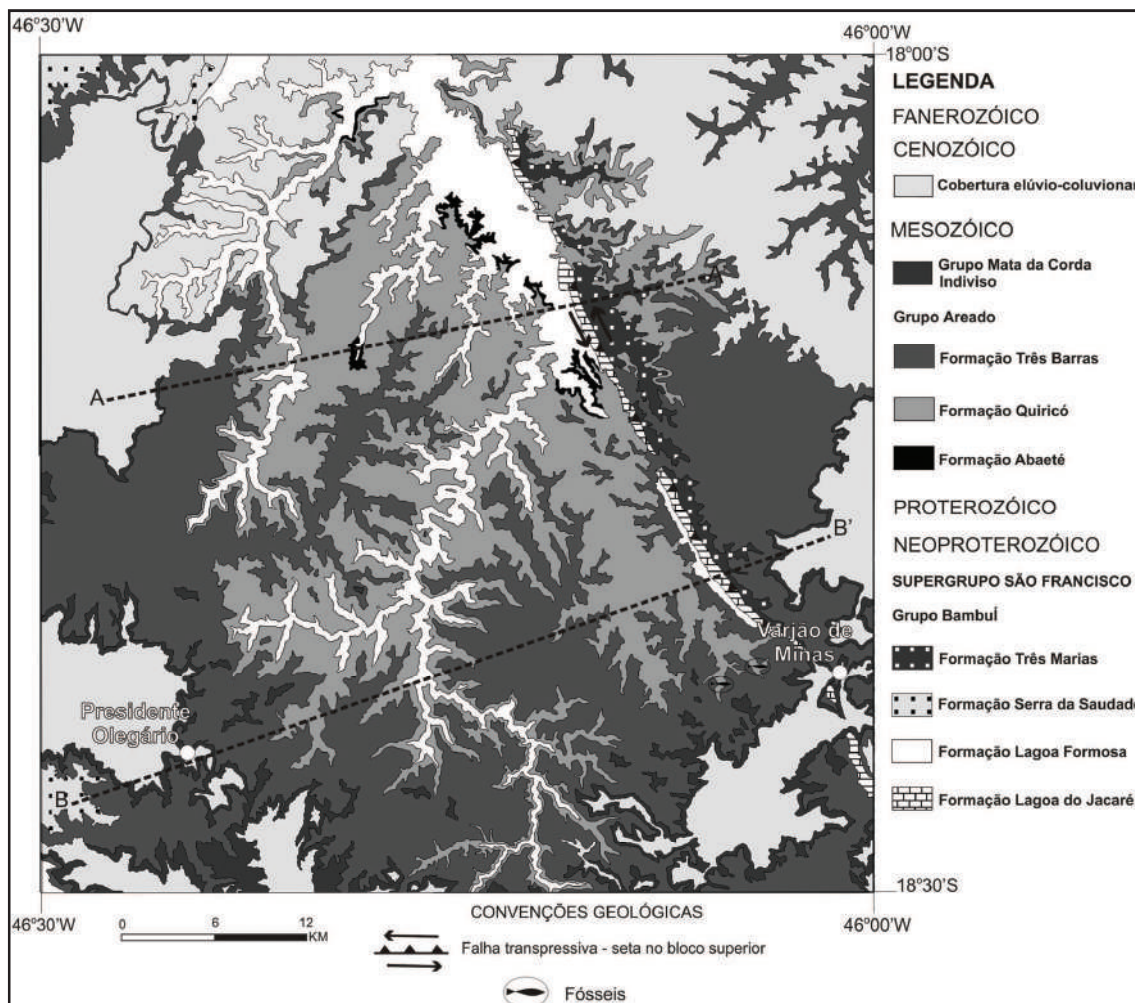


Figura 12 - Mapa geológico simplificado da Folha Presidente Olegário, MG

Fonte: FRAGOSO *et al.* (2011)

O Grupo Bambuí (750-600 Ma) é constituído por metapelitos que se apresentam fortemente deformados pelo evento Brasiliano, sendo o substrato das sequências cretácicas e correspondendo à maior distribuição no Cráton São Francisco. Representa associação de litofácies siliciclásticas e bioquímicas, na forma de sedimentos plataformais depositados em extenso mar epicontinental (MELO, 2012 e IGLESIAS e UHLEIN, 2009).

De acordo com Fragoso *et al.* (2011), o contato de topo do Grupo Bambuí com o Grupo Areado é marcado por uma superfície erosiva, contínua e irregular.

No Grupo Areado, composto por arenitos, conglomerados, folhelhos, siltitos e argilitos (SGARBI, 1989, *apud* MELO, 2012), foram reconhecidas as formações Abaeté, Quiricó e Três Barras (FRAGOSO *et al.*, 2011).

O Grupo Mata da Corda consiste em rochas vulcânicas de afinidade kamafugítica, vulcanoclásticas e epiclásticas (CAMPOS e DARDENNE, 1997). Segundo Fragoso *et al.* (2011), o grupo ocorre associado às encostas das chapadas nas porções sudoeste e sudeste, em altitudes que variam de 850 a 1000 m e é representado por uma alternância de rochas vulcânicas e epiclásticas, litotipos pertencentes, respectivamente, às formações Patos e Capacete.

Melo (2012, p.55) afirma que os metapelitos do Grupo Bambuí e as sequências cretácicas apresentam-se deformadas:

Os metapelitos do Grupo Bambuí [...] encontram-se deformados pelo evento Brasileiro. Já as sequências cretácicas sedimentares do Grupo Areado apresentam-se, comumente, em camadas horizontais, exceto nas proximidades com as rochas vulcânicas e subvulcânicas do Grupo Mata da Corda, onde são identificadas estruturas deformacionais de caráter dúctil (dobras) e rúptil (falhas e fraturas). Esta deformação, possivelmente, está relacionada com os sucessivos eventos magmáticos e sísmicos ocorridos na região do oeste mineiro durante o Cretáceo Superior.

2.9.3 Geologia local

O Grupo Mata da Corda, de idade neocretácica, é caracterizado por derrames, pequenos corpos subvulcânicos (plugs) e depósitos piroclásticos e epiclásticos, todos de afinidade kamafugítica (SGARBI e VALENÇA, 1993). Estas rochas se apresentam, comumente, em estágio avançado de alteração por processos de intemperismo (MELO, 2012) e dividem-se em duas unidades denominadas por Campos e Dardenne (1997) em formações Patos e Capacete. O contato entre esse grupo e o Areado é de caráter erosivo (SGARBI *et al.*, 1998).

2.9.3.1 *Formação Patos*

A Formação Patos, unidade basal do Grupo Mata da Corda, é composta de rochas alcalinas máficas a ultramáficas, afaníticas e porfíricas, de natureza efusiva e piroclástica, sendo este último tipo o predominante. (CAMPOS e DARDENNE, 1997; FRAGOSO *et al.*, 2011). Subordinadamente ocorrem rochas subvulcânicas de conduto. A coloração das rochas varia dependendo se a rocha está fresca, coloração cinza escuro, ou alterada, tonalidades avermelhadas e esverdeadas. Os melhores afloramentos desta unidade estão na estrada que liga Presidente Olegário

a Patos de Minas. Nas demais localidades estas rochas estão em estágio avançado de intemperismo (FRAGOSO *et al.*, 2011).

Seer *et al* (1989) afirmam que os depósitos piroclásticos são constituídos de brechas e aglomerados vulcânicos, lapilitos, tufos e cineritos, apresentando espessuras variáveis que nunca excedem os 60 m.

Sobre a Formação Patos há uma espessa canga laterítica brechóide de coloração ocre/amarelada (CAMPOS e DARDENNE, 1997).

Texturalmente, as rochas são descritas como lavas maciças afaníticas ou porfíricas, basanitos vesiculares ou amigdalóidais, tufos lapilíticos, cineritos (tufos a cinzas), brechas vulcânicas e aglomerados (MORAES *et al.*, 1986).

Mineralogicamente, Seer *et al.* (1989) caracterizam as rochas vulcânicas pela presença de piroxênio augítico em abundância, leucita, olivina, nefelina e fase vítrea. Como minerais acessórios estão presentes, comumente, perovskita e óxidos de Fe e Ti, podendo ainda ocorrer barita e melanita. Já a olivina e flogopita, segundo estes autores, são minerais varietais que ocorrem predominantemente como fenocristais. Para Sgarbi *et al.* (2000) as rochas vulcânicas dessa unidade foram geradas a partir de uma lava ultrabásica ($\text{SiO}_2 = 37$ a 45%), em geral com alto conteúdo de CaO, FeO e TiO_2 e BaO, alto a moderados valores de Al_2O_3 , álcalis e P_2O_5 , baixo teor MgO. Seer *et al.* (1989) ressaltam que a insaturação em sílica das rochas vulcânicas reflete-se na ausência de feldspato e presença de perovskita.

As rochas dessa região apresentam algumas características alcalinas refletidas, dentre outros fatores, pelos conteúdos de TiO_2 (4,1-7,8%), K_2O (1,2-6,8%) e Na_2O (0,49-2,0%). As rochas também apresentam uma clara afinidade kamagugítica. Kamafugitos são compostos principalmente por clinopiroxênio, magnetita, perovskita, leucita e kalsilita, e podem conter olivina, flogopita, melilita e apatita (SGARBI *et al.*, 1998).

Quanto às rochas piroclásticas, estas ocorrem, geralmente, na base da unidade, tendo em seu topo as rochas oriundas dos derrames vulcânicos. Todo esse pacote apresenta-se intensamente intemperizado e em avançado processo de erosão, caracterizando um relevo mais suave nos derrames e tufos e mais acidentado nas brechas vulcânicas e lapilitos (SEER *et al.*, 1989).

Em um estudo realizado a fim de se definir a denominação correta de rochas ultrabásicas potássicas da Província Vulcânica da Mata da Corda, Ulbrich e Leonardos (1991) afirmam que em alguns casos houve dificuldades em se definir se

estas rochas eram lamproítos ou kamafugitos já que enquanto a mineralogia definiu um tipo de rocha, o quimismo apontou para outro. Os autores apresentam uma tabela, que pode ser visualizada na Figura 13, com as características gerais de kimberlitos, lamproítos ultrabásicos e kamafugitos. Comparando-se os valores encontrados no decorrer do estudo conduzidos pelos autores com os dados da tabela, Ulbrich e Leonardos (1991) verificaram que embora a mineralogia e textura das rochas sejam semelhantes à dos lamproítos, o quimismo das rochas de Presidente Olegário se assemelha ao dos kamafugitos. Sendo assim, os autores concluem que as rochas da Mata da Corda apresentam características mineralógicas únicas em relação àquelas constantes nas atuais classificações de rochas ultrabásicas potássicas e ultrapotássicas.

2.9.3.2 Formação Capacete

A Formação Capacete é constituída de argilitos, arenitos líticos, *wackes* líticos, ortoconglomerados e paraconglomerados vulcânicos. Essas rochas apresentam coloração esverdeada e quando intemperizadas seus tons variam entre rosados e avermelhados (CAMPOS e DARDENNE, 1997). Estes autores defendem que as rochas dessa formação são resultantes do retrabalhamento das rochas vulcânicas da Formação Patos.

No que se refere às considerações geomorfológicas, Melo (2012) afirma que a altitude não é um parâmetro viável para a separação das unidades estratigráficas sedimentares e vulcânicas/vulcanoclásticas, mas os litotipos vulcânicos e vulcanoclásticos são encontrados, mais comumente, na porção escarpada das áreas com topos planos como tabuleiros e de cotas entre 917 e 1022 metros, repousando sobre os arenitos do Grupo Areado e, às vezes, sobre os metassedimentos neoproterozóicos do Grupo Bambuí.

Tabela 1 - Características gerais de kimberlitos, lamproftos ultrabásicos e kamaftugitos.

KIMBERLITOS	LAMPROFTOS ULTRABÁSICOS	KAMAFUGITOS
<p>Grupo I: pobres em mica. Grupo II: micáceos.</p> <p>Feições gerais. Textura inequigranular com megacristais arredondados (derivados do manto) de minerais ricos em Mg e/ou Cr: olivina+granada+espinélio+ clino e ortopi roxênio+piroilmenita. Matriz, com micro feno cristais de olivina, alguns dos seguintes minerais: flogopita, diopsídio, monticellita, carbonato, perovskita, espinélio, ilmenita, apatita, serpentina.</p> <p>Kimberlitos micáceos (parecidos com olivina lamproftos); tem abundante flogopita, apatita, calcita e diopsídio na matriz. Os megacristais de picroilmenita são raros.</p> <p>Não contêm: vidro, K-Ti richterita, leucita, kalsilita, nefelina, wadéita.</p> <p>Xenólitos (e xenocristais) do manto comuns e variados: suíte de peridotitos e piroxenitos com e sem granada; flogopita peridotitos; eclogitos; suíte MARID.</p> <p>Ocorrência e ambiente: diatremas, diques, "sills" (raros), depósitos piroclásticos. Não se conhecem lavas. Ocorrem no interior dos cratons.</p>	<p>Olivina lamproftos (incluindo wolgídotos). Podem ter duas gerações de olivina: mega cristais arredondados e microfenocristais idiomórficos em matriz fina, contendo diopsídio, Ti flogopita e K-Ti richterita por quilísticas, espinélio, perovskita, apatita. Podem ter vidro intersticial, barita, wadéita, priderita, etc. Leucita (ou pseudomorfo) podem ocorrer em rochas com 30% de olivina.</p> <p>Diopsídio lamproftos ou madupitos. Não têm olivina ou leucita, Fenocristais de diopsídio e flogopita em matriz semelhante à anterior.</p> <p>Não contêm: monticellita, carbonatos, melilita, kalsilita, nefelina, melanita.</p> <p>Xenólitos do manto escassos, geralmente dunitos e harzburgitos. Também peridotitos com mica e K richterita.</p> <p>Ocorrência e ambiente: corpos ígneos variados de tamanho reduzido (diatremas, diques, "sills", etc.). Depósitos piroclásticos e lavas (maciças e amigdaloidais) comuns. Ocorrem na borda dos cratons associados a lamproftos básicos-intermediários.</p>	<p>Textura geralmente porfirítica com fenocristais de minerais máficos e composição variada. Inclui:</p> <p>Uganditos com augita diopsídica e leucita.</p> <p>Mafuritos com melilita e vidro rico em K.</p> <p>Todos contêm abundante olivina, perovskita, Ti magnetita, +flogopita, +vidro, +apatita, +carbonato.</p> <p>"Biotita" mafuritos com abundante flogopita como fenocristais e matriz.</p> <p>Protokatungitos sem olivina.</p> <p>Não contêm: K-Ti richterita, wadéita.</p> <p>Xenólitos, série OBP (HOLMES, 1950): olivina (rara), biotita-flogopita titaníferas, cpx (diopsídio a ferroaugita), +Ti magnetita, +titanita, +calcita, +melanita, +perovskita. Origem e evolução complexas. Nódulos de alcali clinopiroxenito seriam manto lherzolítico metassomatizado (LLOYD, 1987).</p> <p>Ocorrência e ambiente: blocos e lapilli em turfos e lavas (raras) no "rift" do leste da África. Ocorrem associados a outras rochas potássicas (leucititos, etc.).</p>
Fontes: ver continuação da Tabela 1.		

Tabela 1 - Continuação.

	KIMBERLITOS	LAMPROÍTOS ULTRABÁSICOS		KAMAFUGITOS	
	Kimberlitos micáceos	Olivina lamproftos	Madupitos	Katungitos	Biotita mafuritos
SiO ₂ (%)	36-39	39-42	40-43	35-38(33-38)*	40
TiO ₂ (%)	1-2	2-3	2-3	3-4(+6)*	4-5
mg = Mg/(Mg + Fe)	>0,8	>0,8	>0,8	<0,8	<0,8
(Na + K)/Al	1,0-1,2	1,0-1,2	1,0-1,2	0,8-1,0	1,0-1,1
K ₂ O/Na ₂ O (molar)	>3	>3	>3	<3	>3
Cr (ppm)	900-1650	500-1700	550-650	880(300-1200)*	950-1300
Co (ppm)	65	60-85	30-35	30(60-85)*	70
Ni (ppm)	800-1030	650-1500	160-165	100-300	300-450
Zr (ppm)	85-700	200-1200	1200-1300	200-1200	200-1200
Sr (ppm)	40-1900	850-2000	3000-5000	3000(7000)*	300-2000(7000)*
Ba (ppm)	140-3500	2000-18000	2000-18000	2000-4000(7500)*	2000-4000(7500)*
Nb (ppm)	30-450	60-600	100-200	200-300	150-200
Ca/Sr (ppm)	>35	<35	<35	~35	>35
Zr/Nb (ppm)	1,9-3,6	3-5	6-10,5	1,9-3,5	1,9-3,5

*valores extremos segundo HIGAZY, R.A. (1954).
 Fontes: BERGMAN, S.C. (1987) - Geol.Soc.Amer., Sp.Publ. 30:103-90. CARMICHAEL, I.S.E. (1967) - Contr.Mineral.Petrol. 15:24-66. DAWSON, J.B. (1987) - Geol.Soc.Amer., Sp.Publ. 30:95-101. EDGAR, A.D. (1979) - Contr.Mineral.Petrol. 71:171-175. EDGAR, A.D. & ARIMA, M. (1981) - N.Jb.Mineral.Mh., 12:539-552. HIGAZI, R.A. (1954) - Bull.Geol.Soc.Amer. 65:39-70. HOLMES, A. (1950) - Am.Mineral. 35:772-792. JACQUES, A.L. et al. (1984) - In: KORNPROBST (ed.) - Kimberlites I. p.225-254. KUEHNER, S.M. et al. (1981) - Am.Mineral. 66:663-667. LLOYD, F.E. et al. (1987) In: NIXON (ed.) - Mantle xenoliths, p.641-659. MITCHELL, R.H. (1969) - Kimberlites, 442p. SCOTT-SMITH, B.H. & SKINNER, E.M.W. (1984) - In: KORNPROBST (ed.) - Kimberlites I, p.255-283.

Figura 13 - Características gerais de kimberlitos, lamproítos ultrabásicos e kamafugitos
 Fonte: Ulbrich e Leonardos (1991)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada na escolha dos locais a serem amostrados, preparação das amostras e estudos de caracterização, assim como a descrição dos equipamentos e materiais é relatada neste capítulo.

Ressalta-se que, conforme afirma Reiner *et al.* (2004), os procedimentos a serem adotados para caracterização de um minério variam conforme a mineralogia, propriedades inerentes ao minério, objetivos e abrangência da caracterização e recursos disponíveis.

No caso do presente trabalho, por questões de disponibilidade de tempo, capacidade analítica e recursos financeiros, o projeto inicial tido como ideal passou por uma série de ajustes até que se tornasse condizente com a situação presente e real de possibilidade de desenvolvimento do projeto. Desta forma, foram eliminadas algumas análises e tomaram-se certos cuidados para que as etapas de fracionamento de amostra não gerassem excesso de número de frações a serem analisados. Os ajustes foram realizados de maneira a não comprometer o resultado do estudo ainda que este possa ter ficado um pouco restrito.

3.1 Amostra

Iniciamente, havia um interesse em se trabalhar com mineralizações de titânio para a realização deste trabalho. Passou-se então a realizar uma pesquisa bibliográfica que pudesse dar suporte ao trabalho e a buscar possíveis locais que oferecessem boas amostras. A escolha final da região a ser estudada foi feita com base em informações de um trabalho realizado pela empresa Vicenza Mineração (informação verbal)². Este estudo mostra que as mineralizações de titânio presentes no grupo Mata da Corda apresentam teores muito altos e volume muito grande. Entretanto, alguns problemas comprometem o aproveitamento deste minério. A mineralogia é o primeiro deles. O titânio encontra-se principalmente no mineral anatásio, que já é conhecido pela sua abundância no país e por ainda não existir uma rota de

² Informações fornecidas por Vassily Khoury Rolim, autor do trabalho.

processo capaz de beneficiar este mineral. Além da mineralogia, pode haver contaminantes radiogênicos que comprometam o aproveitamento destas mineralizações.

Sabendo-se apenas da presença de anatásio no Grupo Mata da Corda e de posse de informações da geologia regional, optou-se por fazer um trabalho de campo buscando bons afloramentos. A experiência dos geólogos, Hildor José Seer e Francisco de Castro Valente Neto, que realizaram este trabalho de campo com a autora do trabalho foi de fundamental importância. O Dr. Hildor José Seer já havia descrito alguns pontos para construção de um roteiro geológico da região em estudo. Portanto, os pontos em que as amostras encontravam-se mais bem preservadas e podiam apresentar minerais portadores de titânio eram conhecidos. Aliado a isto, estudos apontam que a presença de magnetita atua como um prospecto de minerais portadores de titânio, na região de Presidente Olegário (informação verbal)³. Assim, de posse de todas estas informações, foram escolhidos os pontos a serem amostrados.

3.1.1 Coleta e prévia descrição das amostras

Foram recolhidas quatro amostras de três locais diferentes, nomeadas A1A, A1B, A2 e A3.

As localizações dos pontos amostrados e o peso das amostras encontram-se descritos na Tabela 10 e na Figura 14.

Tabela 10 - Localização dos pontos amostrados e pesos das amostras coletadas

Amostra	Coordenada E	Coordenada N	Altitude (m)	Peso da amostra (g)
A1A	349 430	7 961 004	953	33.921,8
A1B	349 430	7 961 004	953	35.190,3
A2	318 319	7 948 879	1 023	17.905,6
A3	365 788	7 913 933	965	25.582,8

Fonte: Elaboração da autora

³ Informação fornecida pelos geólogos Hildor José Seer e Lúcia Castanheira de Moraes que conduziram o estudo.

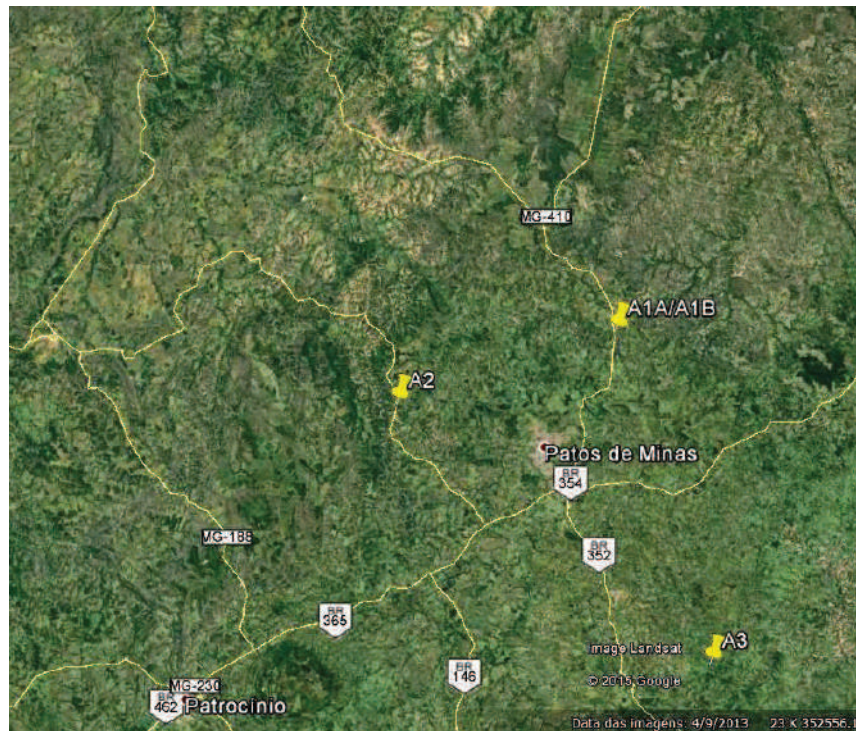


Figura 14 - Localização dos pontos amostrados
Fonte: Google Earth

As duas primeiras amostras foram recolhidas do mesmo local, um afloramento na estrada que liga Patos a Presidente Olegário. Neste afloramento, conforme pode ser visto na Figura 15, havia uma nítida separação entre a rocha fresca e a alterada. Assim, coletou-se uma amostra da parte alterada (A1A) e outra da parte fresca (A1B).



Figura 15 - Afloramento em que as amostras A1A e A1B foram coletadas. Destaque para a separação entre a rocha fresca e intemperizada.
Fonte: Acervo da autora

A rocha corresponde a uma rocha vulcânica esverdeada acinzentada. As camadas do afloramento mergulhavam para SE. Dentre os minerais que puderam ser identificados em uma análise preliminar ainda no campo destacam-se carbonatos, piroxênio, olivina, ilmenita e magnetita. Ao longo da rocha observaram-se veios de carbonato e sulfato.

A amostra A2 foi coletada em uma estrada de terra próxima ao quilômetro 166 da BR 365. Neste afloramento foi possível verificar depósito de lava com camadas de lapili-tufo e presença de vênulas brancas. A amostra, mostrada na Figura 16, era bastante friável.

A amostra A3 foi coletada de um grande bloco de rocha em uma fazenda da região, ilustrado na Figura 17. Corresponde a uma brecha vulcânica de conduto com indícios de ter havido grande percolação de gases. Havia presença de fungos e algas sobre o afloramento. Essa camada foi retirada para posterior coleta da amostra. Como os cristais eram extremamente finos não se pode caracterizar os minerais presentes na amostra em uma primeira análise.



Figura 16 - Amostra A2
Fonte: Acervo da autora



Figura 17 - Afloramento em que a amostra A3 foi coletada
Fonte: Acervo da autora

3.1.2 Preparação das amostras

Após serem recebidas no Laboratório de Tratamento de Minérios do CEFET Araxá, as amostras foram pesadas pré homogeneizadas a partir do método de pilhas cônicas, usando-se lona e espátulas. A escolha deste método foi feita devido à facilidade de execução do mesmo. Esta pré-homogeneização foi realizada para que fossem retiradas pequenas frações do material para compor as amostras *in situ* que seriam analisadas com mais detalhe posteriormente.

O restante do material foi submetido a uma operação de escalpe em uma peneira de 6# (3,35 mm). A fração retida foi submetida à britagem em um britador de mandíbulas. O set - abertura de saída do material - foi ajustado para 0,5" (12,7 mm).

O produto britado foi submetido a um novo escalpe na peneira de 6# (3,35 mm). O material retido retornou à etapa de britagem sucessivamente até que todo o produto britado tivesse granulometria inferior a 6#.

O produto passante em 6# foi submetido à etapa de moagem a seco, em um moinho de bolas.

Para que fossem estabelecidas as condições ideais de moagem foram realizados alguns cálculos e testes.

Para determinar a massa e o tempo ideal de moagem, foram realizados testes de moagem em condições diferentes seguidos de análises granulométricas. As condições ideais de massa e tempo de moagem obtidos foram de 600 gramas e 30 minutos.

Após ser moído, o material foi homogeneizado e quarteado com auxílio de um quarteador Jones. Esta etapa possibilitou a armazenagem do material em menores porções para facilitar o manuseio. Mais de 80% da amostra foi arquivada e a outra parte foi utilizada para se efetuarem os testes de caracterização.

A Figura 18 apresenta o fluxograma da etapa de preparação da amostra.

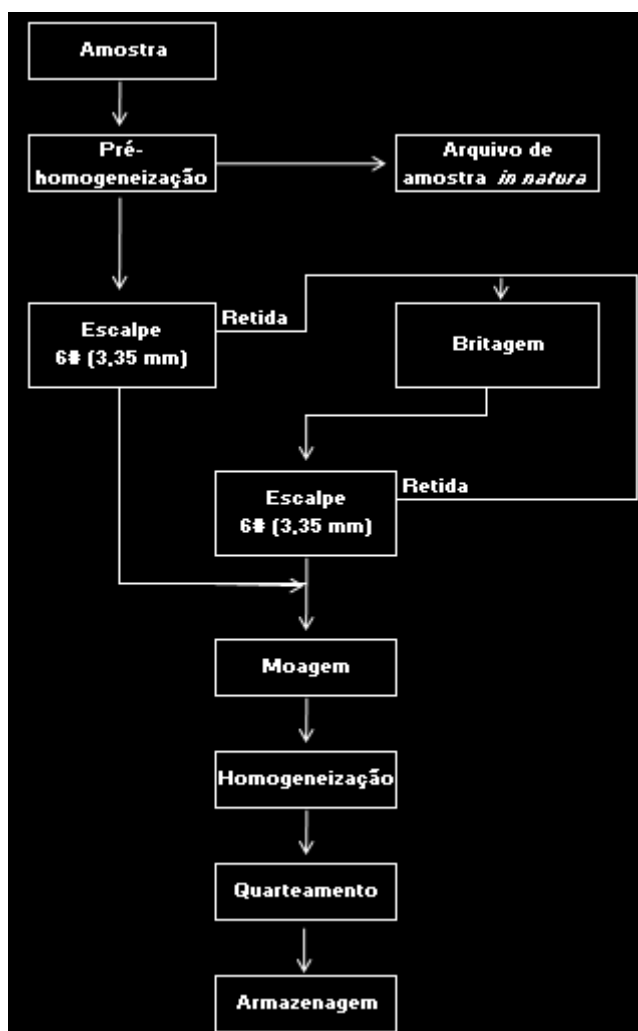


Figura 18 - Fluxograma da etapa de preparação da amostra
Fonte: Elaboração da autora

3.2 Procedimentos gerais do trabalho

Os procedimentos gerais adotados neste trabalho, incluindo a preparação das amostras, estão representados no fluxograma da Figura 19. A seguir, apresenta-se uma breve descrição destes procedimentos.

Após a preparação do material, foi realizada uma análise química e granulométrica de cada uma das amostras. A partir do exame dos resultados das análises químicas foi escolhida a amostra que apresentou maior teor de titânio para a continuidade dos testes de caracterização. Dentre estes testes foram realizados o de separação magnética usando-se ímã de mão seguido de separação magnética de alta intensidade e separação em meio denso, utilizando-se o bromofórmio ($d = 2,89 \text{ g/cm}^3$). A faixa granulométrica em que estes testes foram realizados foi definida com base na análise, em lupa binocular, de cada uma das faixas granulométricas obtidas durante o peneiramento para se definir o intervalo em que os constituintes minerais encontravam-se mais liberados (individualizados). Para se obter a faixa granulométrica desejada para a realização dos ensaios citados acima, procedeu-se à execução de um peneiramento a úmido.

Com exceção das análises químicas, que foram realizadas em laboratórios do CEFET – MG, Unidade I, localizado em Belo Horizonte, todos os outros ensaios de caracterização foram realizados nos laboratórios de Mineralogia e Tratamento de Minérios do CEFET-MG, Unidade Araxá.

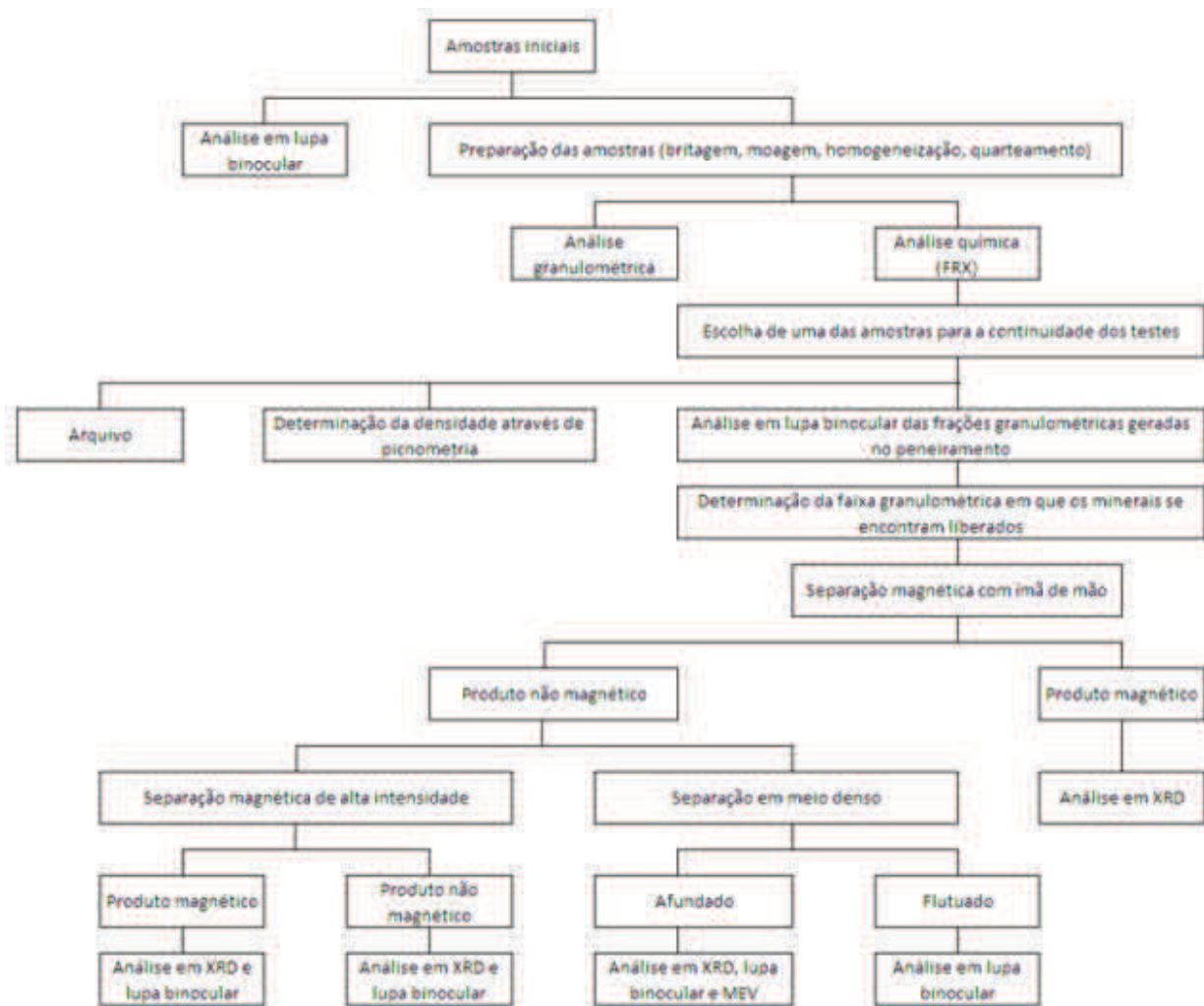


Figura 19 - Fluxograma geral de caracterização das amostras coletadas
 Fonte: Elaboração da autora

3.3 Caracterização granulométrica

A distribuição granulométrica do material foi determinada através de peneiramento a seco. A massa de amostra utilizada foi de 150 g. A determinação desta massa foi feita com base em práticas prévias deste tipo de atividade, sem considerar fórmulas específicas para tal. Foi utilizada a série *Tyler* de peneiras - 0,42 a + 0,037 mm (35 a 400 *mesh*) e o tempo de peneiramento foi definido como 30 minutos. O procedimento consistiu em dispor a amostra sobre a peneira superior da coluna de peneiras e fundo utilizados. Após o tempo estabelecido de peneiramento, as frações granulométricas obtidas foram pesadas e arquivadas separadamente. Foram realizados três peneiramentos para se obter uma média do tamanho dos grãos de cada amostra previamente moída.

3.4 Análise química

Foram realizadas análises químicas quantitativas para cada uma das quatro amostras coletadas em campo e para cada uma das faixas granulométricas obtidas durante o peneiramento da amostra escolhida para a continuidade dos testes. Foram realizadas determinações de teores de TiO_2 , Fe_2O_3 , SiO_2 , CaO , K_2O , BaO , SrO , MnO , SO_3 , ZrO_2 , Tm_2O_3 , Cr_2O_3 , NbO , Rb_2O , ZnO , Y_2O_3 , NiO , CuO , V_2O_5 e P_2O_5 pelo método de fluorescência de raios X.

3.5 Fracionamento da amostra

3.5.1 Separação magnética com ímã de mão

Após ser escolhida a faixa granulométrica da amostra a qual seria dada continuidade os ensaios de caracterização, a amostra para a realização da separação magnética de baixa intensidade foi preparada. Para tal, foi realizado um peneiramento a úmido (Figura 20) em uma das porções desta amostra, anteriormente preparada. O objetivo desta etapa foi eliminar possíveis aglomerações de material fino nas partículas mais grosseiras que não seriam utilizadas nos próximos ensaios.



Figura 20 - Peneiramento a úmido
Fonte: Acervo da autora

As peneiras utilizadas no ensaio incluíram peneiras de alvío, correspondentes a algumas das que foram utilizadas anteriormente durante o peneiramento a seco, e à peneira com a malha escolhida, correspondente àquela em que as partículas estavam individualizadas. O ensaio foi realizado em um peneirador vibratório, onde era constantemente adicionada água até que não fossem percebidas partículas passantes na última peneira e, sim, apenas água. Posteriormente foram removidas todas as frações retidas nas peneiras, desaguada a polpa contendo o passante em todas as peneiras – material de interesse. Em bandejas, as frações granulométricas obtidas foram secas em estufa (aproximadamente 100 °C).

Após serem secas, observou-se que as partículas da faixa granulométrica de interesse tinham se aglomerado, formando torrões. A fim de se quebrarem os mesmos, procedeu-se ao destorroamento da amostra utilizando-se almofariz e pistilo (Figura 21).



Figura 21 - À esquerda, torrões formados após secagem do material em estufa. À direita, destorroamento das partículas.

Fonte: Acervo da autora

Finalmente procedeu-se, em seguida, à realização da separação magnética de baixa intensidade. A mesma foi feita usando-se ímã de mão e objetivando a retirada de magnetita desta fração de amostra. Inicialmente foi feita uma tentativa de se realizar a separação magnética a seco (Figura 22) em vários estágios para que fosse possível a retirada da maior quantidade possível de magnetita. A fim de se facilitar a descarga do material aderido ao ímã, o mesmo foi mantido em um pequeno saco plástico durante toda a operação. Entretanto, o processo a seco mostrou-se ineficiente já que estava ocorrendo arraste de partículas não magnéticas para o produto magnético. Procedeu-se então à retirada da magnetita a úmido (Figura 23), que se mostrou bastante eficiente. Os produtos magnéticos e não magnéticos foram desaguados, secos em estufa (aproximadamente 100°C) e destorroados com auxílio de almofariz e pistilo. O produto magnético foi encaminhado à difratometria de raios X.

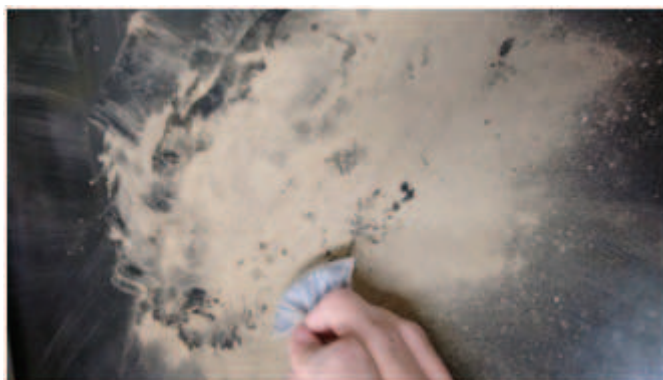


Figura 22 - Desmagnetização a seco da amostra, usando-se ímã de mão

Fonte: Acervo da autora



Figura 23 - Desmagnetização a úmido da amostra, usando-se ímã de mão
Fonte: Acervo da autora

3.5.2 Separação magnética de alta intensidade

Após a separação magnética com ímã de mão, realizou-se a separação magnética de alta intensidade a úmido da fração da amostra escolhida para a continuidade dos testes. Os testes de separação magnética foram realizados no separador magnético de alto campo de carrossel, modelo L-4, fabricado pela INBRAS, de operação descontínua e via úmida, conforme a Figura 24.

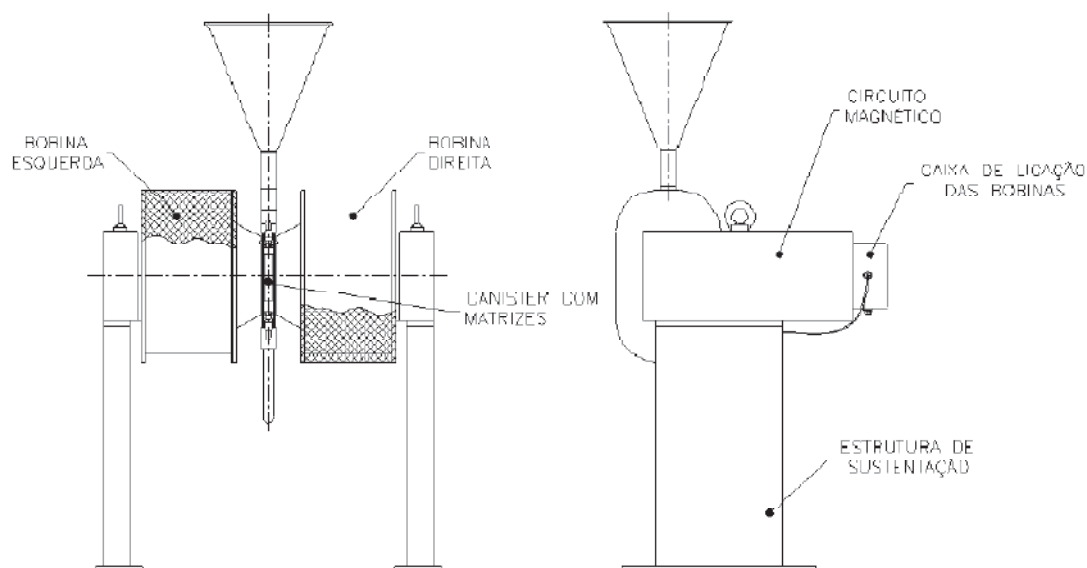


Figura 24 - Concentrador Eletromagnético de Carrossel mod. L-4, fabricado pela INBRAS. À esquerda, vista frontal e à direita, vista lateral
 Fonte: Manual de instrução, operação e manutenção do equipamento

As matrizes do separador são feitas de aço inox da série 400 (material ferroso) e tem como função amplificar o campo magnético na região de separação. Para a execução do teste foi utilizada a matriz de tela expandida, com abertura de 14# (fina).

A intensidade de corrente utilizada variou entre 19 e 20 A durante a execução do teste. Esta corrente produz um campo magnético com intensidade de cerca de 10.000 Gauss, conforme mostra a curva de campo magnético versus corrente elétrica do separador representada na Figura 25. De acordo com o Catálogo *Eriez Magnéticos*, representado na Figura 26, a ilmenita (FeTiO_2) é um mineral magnético que pode ser atraído por campos entre 0,5 e 1 T (5.000 e 10.000 Gauss). Assim, aplicando-se este campo espera-se identificar e retirar a ilmenita possivelmente presente na amostra.

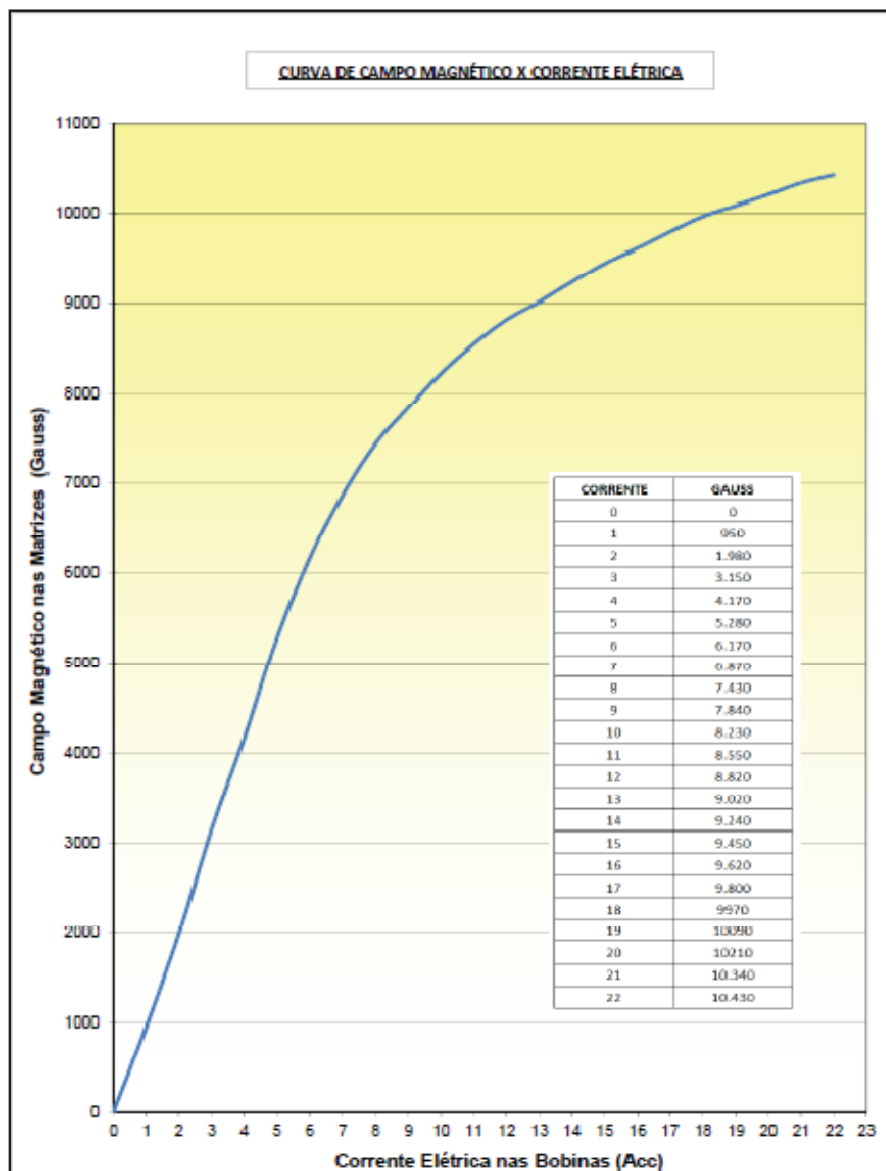


Figura 25 - Campo magnético versus corrente elétrica do Concentrador Eletromagnético de Carrossel mod. L-4

Fonte: Manual de instrução, operação e manutenção do equipamento

Grupo 1 - Ferromagnéticos - Faixa de Campo de 0,05 a 0,5 T		
Ferro	Magnetita	
Grupo 2 - Magnéticos - Faixa de Campo de 0,5 a 1 T		
Ilmenita	Pirrotita	Franklenita
Grupo 3 -Fracamente Magnéticos - Faixa de Campo de 1 a 1,8 T		
Hematita	Mica	Calcopirita
Siderita	Molibdenita	Molibdenita
Rodonita	Cerargirita	Talco
Limonita	Huebnerita	Titanita
Braunita	Wolframita	Calcocita
Corindon	Bornita	Cinábrio
Pirolusita	Apatita	Gesso
Manganita	Tetrahedrita	Zincita
Calamina	Willemita	Ortoclásio
Esfarelita	Cerussita	Epidoto
Siderita	Dolomita	Fluorita
Rodocrosita	Psilomelana	Augita
Granada	Arsenopirita	Hornblenda
Serpentinita		
Grupo 4 - Muito Fracamente Magnéticos - Faixa de Campo acima de 1,8 T		
Pirita	Serpentinita	Cobalita
Smithsonita	Nicolita	Safira
Esfalerita	Diopsídio	Cassiterita
Estibinita	Turmalina	Ortoclásio
Criolita	Cuprita	Dolomita
Enargita	Galena	Spinélio
Berílio	Whiterita	Rubi
Magnesita	Crisocola	Covelita
Azurita	Rutilo	Feldspato
Gesso	Mica	Zircão
Malaquita		
Grupo 5 - Não Magnéticos e Diamagnéticos		
Barita	Corindon	Apatita
Bismuto	Topázio	Aragonita
Calcita	Galena	Grafita
Fluorita	Antimônio	

Figura 26 - Relação dos principais minerais com propriedades magnéticas, indicando a faixa de campo magnético onde os mesmos podem ser separados por processo de separação magnética

Fonte: Catálogo Eriez Magnetics, *apud* LUZ e SAMPAIO (2004)

Para a execução do teste, inicialmente foi preparada uma polpa com massa de sólidos de 100 gramas, massa de água de 1.000 gramas e, portanto, cerca de 9% de sólidos. A seguir, alimentou-se o equipamento ao longo das matrizes de operação.

Os minerais não-magnéticos atravessaram a região e foram coletados em um balde. Já as partículas captadas na matriz, após o desligamento do campo magnético, foram lavadas, permitindo assim a coleta do concentrado magnético. Os dois produtos foram secos, destorroados, com auxílio de almofariz e pistilo, e enviados para difratometria de raios X e análise em lupa binocular.

3.5.3 Separação em meio denso

A separação em líquido denso foi utilizada para o fracionamento de parte da amostra anteriormente desmagnetizada com ímã de mão. A separação em meio denso foi realizada utilizando-se o líquido denso bromofórmio (CHBr_3) de densidade igual a $2,89 \text{ g/cm}^3$. O principal objetivo desta etapa foi facilitar a identificação dos minerais presentes no minério.

Para a realização do ensaio foi disposta certa quantidade do bromofórmio a um funil de separação, conhecido como funil de Bromo, dotado de uma torneira. Este funil estava disposto em um suporte. Abaixo dele, tinha-se um arranjo formado por um Erlenmeyer acoplado a um funil de vidro com um papel de filtro, conforme mostrado na Figura 27.



Figura 27 - Arranjo utilizado na separação em líquido denso

Fonte: Acervo da autora

A amostra era adicionada lentamente utilizando-se os dedos de forma a esmigalhar possíveis grânulos. A quantidade de amostra utilizada foi bastante

pequena. Após o término de adição de amostra aguardou-se um intervalo de 24 horas para então se proceder à retirada dos produtos afundado e flutuado. Para retirar o produto afundado, abriu-se a torneira presente no funil de Bromo até que todas as partículas afundadas fossem retiradas e depois fechou-se a torneira. Em seguida, filtrou-se o afundado em um funil de vidro com papel de filtro. A massa obtida no afundado foi lavada com álcool etílico para remoção de resíduos de bromofórmio. A massa resultante foi seca em estufa em baixa temperatura, cerca de 50°C. O flutuado, contendo as partículas, cujas densidades eram menores que 2,89 g/cm³, foi retirado realizando-se os mesmos procedimentos descritos para o afundado.

As porções afundada e flutuada foram analisadas em lupa binocular. A porção afundada, por sua vez, foi, também, enviada para difratometria de raios X e microscopia eletrônica de varredura, acoplada a espectroscopia de energia dispersiva (EDS).

Há de se salientar que os ensaios de separação usando o bromofórmio foram efetuados dentro da capela do laboratório de Tratamento de Minérios do CEFET - Araxá, utilizando-se luvas, óculos e máscara, uma vez que o mesmo é bastante tóxico.

3.6 Caracterização mineralógica

Foram determinados qualitativamente, utilizando-se uma lupa binocular com aumento máximo de até 80 vezes, os constituintes minerais presentes em:

- Cada uma das quatro amostras coletadas inicialmente;
- Cada uma das faixas granulométricas obtidas através do peneiramento a seco da amostra escolhida para a continuidade dos testes de caracterização;
- Produtos afundado e flutuado da separação em líquido denso;
- Produtos magnético e não magnético oriundos da separação magnética de alta intensidade.

Além da caracterização mineralógica utilizando-se lupa binocular, foram realizadas análises através de difratometria de raios X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

As análises de difratometria de raios X foram realizadas nos seguintes materiais:

- Produto magnético oriundo da separação magnética de baixa intensidade;
- Produtos magnético e não magnético oriundos da separação magnética de alta intensidade.
- Produto afundado da separação em líquido denso;

Já a microscopia eletrônica de varredura, acoplada a EDS, foi realizada apenas no produto afundado da separação em líquido denso.

O equipamento de difração de raios X utilizado foi um difratômetro da *Shimadzu*, modelo XRD 7000. A geração e interpretação dos difratogramas foram feitas através do *softwar X Powder 12*. Já o equipamento de microscopia eletrônica utilizado foi da *Shimadzu*, modelo SSX 550 *superscan*.

3.7 Determinação de densidade

A densidade de cada uma das quatro amostras coletadas foi determinada pelo método do picnômetro. Este método consiste em pesar em balança analítica um picnômetro vazio, com minério, com água e finalmente com água e minério (Figura 28). Esta medida foi executada duas vezes para maior confiabilidade.

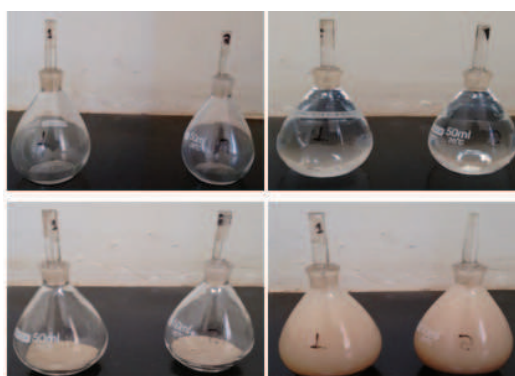


Figura 28 - Determinação de densidade através de picnometria. Picnômetros vazios, com água, amostra e amostra e água.

Fonte: Acervo da autora

Através da equação 3, a densidade do minério pode ser calculada.

$$d_{\text{minério}} = \frac{P_{\text{picn.+minério}} - P_{\text{picn.}}}{(P_{\text{picn.+água}} + P_{\text{picn.+minério}} - P_{\text{picn.}} - P_{\text{picn.+água+minério}})} \quad (1)$$

Onde P é a massa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização granulométrica

As distribuições granulométricas de cada um dos três ensaios realizados para cada uma das quatro amostras iniciais estão apresentadas no Apêndice A.

Os resultados das médias dos testes de análise granulométrica realizados para cada uma das amostras estão representados na Tabela 11 e na Figura 29, que mostra uma única representação gráfica de todas as análises realizadas.

Tabela 11- Distribuição granulométrica das amostras A1A, A1B, A2 e A3, obtidas a partir da média dos resultados dos três ensaios realizados

Peneira (#)	Abertura (mm)	Amostras											
		A1A			A1B			A2			A3		
		% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante acumulada	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante acumulada	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante acumulada	% Retida Simples	% Retida Acumulada	Passante acumulada
35	0,419	20,55	20,55	79,45	61,92	61,92	38,08	3,97	3,97	96,03	18,8	18,8	81,2
65	0,209	14,34	34,89	65,11	9,32	71,25	28,75	9,3	13,27	86,73	6,56	25,36	74,64
100	0,148	12,62	47,51	52,49	11,1	82,35	17,65	12,94	26,21	73,79	14,37	39,73	60,27
150	0,105	9,45	56,96	43,04	5,96	88,3	11,7	11,64	37,85	62,15	18,06	57,79	42,21
200	0,074	10,21	67,17	32,83	9,09	97,4	2,6	14,25	52,11	47,89	14,38	72,17	27,83
270	0,052	14,15	81,31	18,69	2,4	99,8	0,2	18,68	70,78	29,22	18,78	90,95	9,05
325	0,044	11,52	92,84	7,16	0,02	99,82	0,18	13,11	83,89	16,11	6,69	97,63	2,37
400	0,037	6,57	99,41	0,59	0,18	100	0	13,6	97,49	2,51	2,25	99,89	0,11
-400	-	0,59	100	0	0	100	0	2,51	100	0	0,11	100	0
TOTAL		100			100			100			100		

Fonte: Elaboração da autora

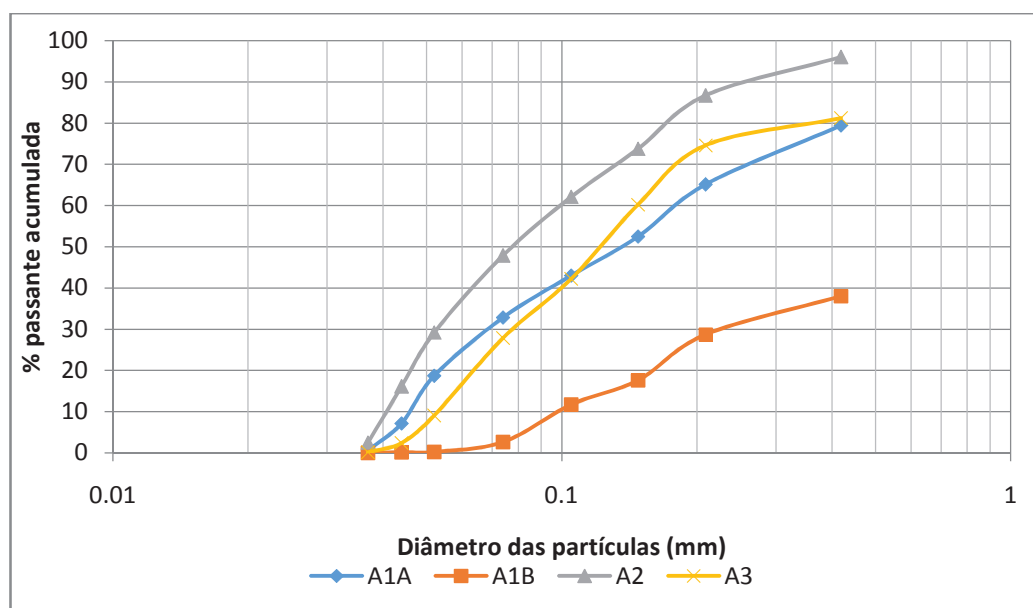


Figura 29 - Representação gráfica dos resultados da análise granulométrica das amostras A1A, A1B, A2 e A3

Fonte: Elaboração da autora

Analisando-se as curvas granulométricas das amostras nota-se nitidamente um comportamento discrepante da amostra A1B.

No momento de coleta das amostras inferiu-se que as amostras A1A e A1B foram formadas pelo mesmo material parental. Esta inferência teve suporte devido à proximidade entre as duas e mineralogia e petrografia semelhantes. A diferença entre as duas era que a amostra A1A estava intemperizada enquanto que a A1B estava mais preservada. Uma hipótese que pode explicar a diferença de comportamento quanto ao intemperismo pode ser devido à presença de fatores geológicos, tal como presença de fraturas em regiões preferenciais das amostras. Ressalta-se que não foram analisados tais fatores, durante o trabalho de campo.

Analisando-se isoladamente as curvas granulométricas destas duas amostras, observa-se que o d_{80} ⁴ da amostra A1A é de cerca de 0,4 mm. Por outro lado, a amostra A1B apresenta cerca de 62% de partículas com tamanho superior a esta granulometria. Isto evidencia que, caso a hipótese assumida inicialmente esteja correta, a ação das intempéries foi competente em desgastar a rocha parental, fazendo com que a moagem da amostra intemperizada fosse mais eficiente. Agora, quanto à amostra A1B, que esteve

⁴ D_{80} corresponde ao diâmetro equivalente para o qual 80% do material é passante.

sujeita às mesmas condições de moagem, observa-se que a moagem foi bastante ineficiente.

A amostra A2 apresenta d_{80} de cerca de 0,17 mm. Esta amostra era bastante friável, o que pode ter contribuído na facilidade em se moer a mesma.

Quanto à amostra A3, observa-se que o d_{80} da mesma é de cerca de 0,35 mm, valor semelhante ao da amostra A1A. A amostra A3, ao contrário da A1A, era constituída por um bloco de rocha e ainda assim a cominuição da mesma foi bastante eficiente. Isto pode sugerir uma diferença em termos de composição mineralógica.

4.2 Caracterização mineralógica

A seguir apresenta-se a análise de cada uma das amostras coletadas realizada com auxílio de lupa binocular para que se fossem determinados com mais detalhes os constituintes de cada uma delas.

A amostra A1A indicou presença de flogopita, piroxênio, olivina, magnetita, carbonato, leucita e provável presença de apatita.

A amostra A1B mostrou também presença de olivina e magnetita, grande quantidade de piroxênio e ausência de calcita.

A amostra A2 mostrou piroxênios trincados, carbonatos, magnetita, apatita e provável presença de ilmenomagnetita e perovskita.

A amostra A3, por sua vez, indicou presença de olivina, flogopita, magnetita e grande quantidade de piroxênio. Não foram encontrados feldspatos e nem carbonatos.

4.3 Caracterização química das amostras coletadas inicialmente e escolha da amostra a ser trabalhada na continuidade dos estudos

Os resultados das determinações dos teores de TiO_2 , Fe_2O_3 , SiO_2 , CaO , K_2O , BaO , SrO , MnO , SO_3 , ZrO_2 , Tm_2O_3 , Cr_2O_3 , NbO , Rb_2O , ZnO , Y_2O_3 , NiO , CuO e P_2O_5 para cada uma das quatro amostras coletadas estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Resultados da fluorescência de raios X das amostras A1A, A1B, A2 e A3

Analito	Amostras			
	A1A	A1B	A2	A3
	%	%	%	%
Fe ₂ O ₃	42,340	39,990	51,680	33,672
SiO ₂	27,470	27,160	21,285	25,589
CaO	14,090	15,390	5,997	17,547
TiO ₂	8,230	8,490	10,722	8,412
K ₂ O	2,340	2,510	1,865	5,972
BaO	2,310	3,290	2,690	2,538
SrO	0,860	0,910	0,642	0,721
MnO	0,530	0,490	0,538	0,563
SO ₃	0,480	0,500	...	0,371
ZrO ₂	0,470	0,450	0,651	0,396
Tm ₂ O ₃	0,370	...	...	...
Cr ₂ O ₃	0,220	0,200	0,084	...
NbO	0,150	0,120	0,184	0,132
Rb ₂ O	0,080	0,100	...	0,070
ZnO	0,050	0,050	0,103	0,058
Y ₂ O ₃	0,020	0,020	0,058	0,018
NiO	...	0,220	0,379	0,074
CuO	...	0,140	0,123	0,071
P ₂ O ₅	...	...	3,001	3,796

Fonte: Elaboração da autora

Analisando-se a Tabela 12, observa-se que as quatro amostras apresentaram um teor relativamente elevado de TiO₂. Conforme visto na revisão de literatura, a abundância média de TiO₂ na crosta continental é de cerca de 1,35%. Nas rochas ígneas este valor fica em torno de 1,5%. Nas rochas da região estudada, segundo Sgarbi *et al.* (1998), os teores de TiO₂ variam entre 4,1 e 7,8%. Para ser ter uma noção econômica, segundo Damasceno (2006) os teores em minas de titânio atualmente exploradas são da ordem de 5% TiO₂. Ressalta-se que estes teores referem-se principalmente a depósitos secundários de titânio. Ainda assim, as amostras recolhidas podem ser consideradas como parte de ocorrências minerais de titânio.

Transformando-se os resultados das análises químicas da forma de óxidos para os elementos em estado reduzido, obtêm-se os resultados na Tabela 13. Esta transformação se faz necessária para tornar possível a utilização da Figura 13, citada anteriormente.

Tabela 13 - Resultados da fluorescência de raios X, discriminados por elementos químicos

Elemento	Amostras							
	A1A		A1B		A2		A3	
	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm
Fe	29,62	296153	27,97	279674	36,15	361466	23,55	235512
Si	12,84	128398	12,70	126963	9,95	99496	11,96	119615
Ca	10,07	100708	11,00	109985	4,29	42860	12,54	125408
Ti	4,93	49332	5,09	50867	6,43	64262	5,04	50417
K	1,94	19442	2,08	20795	1,55	15482	4,96	49577
Ba	2,07	20681	2,94	29431	2,41	24093	2,27	22732
Sr	0,73	7255	0,77	7686	0,54	5429	0,61	6097
Mn	0,41	4074	0,38	3810	0,42	4167	0,44	4360
S	0,19	1924	0,20	1992	...	...	0,15	1484
Zr	0,35	3509	0,34	3354	0,48	4819	0,29	2932
Tm	0,33	3266	...	...	...	...	...	...
Cr	0,15	1519	0,13	1334	0,06	575	...	...
Nb	0,12	1237	0,10	1015	0,16	1570	0,11	1126
Rb	0,07	704	0,09	878	...	...	0,06	640
Zn	0,04	378	0,04	402	0,08	828	0,05	466
Y	0,01	118	0,01	118	0,05	457	0,01	142
Ni	...		0,17	1744	0,30	2978	0,06	581
Cu	...		0,11	1086	0,10	983	0,06	567
P	...		...	...	1,31	13097	1,66	16567

Fonte: Elaboração da autora

Analisando-se a Figura 13, observa-se que a mineralogia e aspectos gerais dos kamafugitos se encaixam com as características descritas até agora para as rochas em estudo. Desta forma, as rochas coletadas foram inicialmente consideradas como kamafugitos. Entretanto, atendo-se apenas aos resultados das análises químicas, a classificação destas rochas passa a ser mais complexa.

Nota-se que os teores de TiO_2 encontrado nas rochas em estudo variam entre 8,23 e 10,72%, enquanto que os valores extremos apresentados na Figura 13 para este composto estão entre 4 e 6%. Os autores Ulbrich e

Leonardos (1991) também relatam que as amostras trabalhadas por eles, no estudo citado anteriormente, apresentaram teores de TiO_2 mais elevados que os valores apresentados na tabela, entre 6 e 6,7%. Sendo assim, pode-se considerar esta diferença aceitável.

Quanto à sílica, entretanto, os valores encontrados nas rochas em estudo, entre 21,28 e 27,47%, estão abaixo dos valores apresentados na Figura 13. As relações $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$, $(\text{Na}+\text{K})/\text{Al}$ e $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ não puderam ser calculadas já que não foram determinados os teores referentes aos elementos Al, Na e Mg. A relação Ca/Sr apresentou valores entre 7,94 e 20,56 estando todos abaixo de 35, conforme estabelecido na Figura 13. A relação Zr/Nb (entre 2,60 e 3,30) também apresentou valores condizentes com os apresentados na Figura 13.

Os teores de alguns elementos traços (em ppm) nas rochas em estudo ($\text{Cr}=575\text{-}1519$; $\text{Ni} = 581\text{-}2978$; $\text{Zr} = 2932\text{-}4819$; $\text{Sr} = 5429\text{-}7686$ e $\text{Nb} = 1015\text{-}1570$) são no geral mais elevados que os valores estabelecidos para os kamafugitos, segundo a Figura 13. Na verdade, os teores destes elementos traço não são compatíveis com um único tipo de rocha apresentado – kimberlitos, lamproítos e kamafugitos. Os valores oscilam aproximando-se ora dos lamproítos e ora dos kamafugitos. E ainda há os teores de Ni e Nb que são mais altos do que todos os valores apresentados na Figura 13 para os três tipos de rocha. Entretanto, os teores destes elementos são considerados pouco significativos na distinção entre os três grupos de rochas.

Por outro lado, o teor de Ba, que varia entre 20681 e 29431 ppm, mostra quantidades comparáveis apenas às dos lamproítos, sendo, ainda assim, maior que os valores estabelecidos para tal tipo de rocha.

Pelo exposto, nota-se que o quimismo das rochas estudadas difere bastante dos limites estabelecidos na classificação apresentada na Figura 13. Ainda assim, as rochas continuarão sendo consideradas como kamafugitos devido às semelhanças de mineralogia apresentadas.

A amostra escolhida para a continuidade dos testes foi a A2, que apresentou maior teor de TiO_2 .

4.4 Escolha da faixa granulométrica a ser trabalhada

As imagens obtidas através da análise em lupa binocular, com aumento máximo de 80 vezes, de cada uma das faixas granulométricas obtidas através da análise granulométrica da amostra A2, escolhida para a continuidade dos testes, estão mostradas no Apêndice B.

A identificação dos minerais presentes foi realizada principalmente nas faixas granulométricas em que o material se apresentava mais grosseiro. Foram identificados apatita, carbonatos (tiveram sua presença comprovada efetuando-se o teste com HCl, em que são pingadas gotas deste composto sobre amostra e se houver efervescência, confirma-se a presença de carbonatos) e magnetita. A presença de magnetita era bastante expressiva. A Figura 30 mostra como os finos grãos de magnetita se aderiram à ponta da agulha utilizada durante a análise.

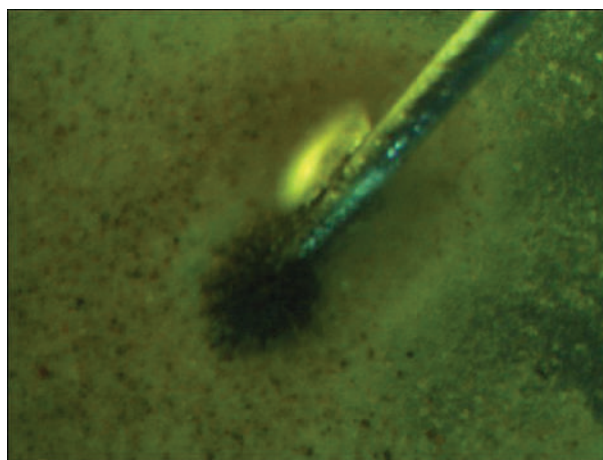


Figura 30 - Grãos de magnetita aderidos à ponta da agulha utilizada durante análise da amostra em lupa binocular

Fonte: Acervo da autora

Entre as possíveis ocorrências estão os óxidos cromita e ilmenita, feldspatóides e argila. Notou-se a presença de grãos amarronzados envoltos por outros esverdeados. Supõe-se que os grãos amarronzados correspondem a perovskita enquanto que os esverdeados podem ser grãos de olivina ou piroxênio. É possível notar também que os minerais escuros – possíveis fontes de titânio – estão muito pequenos.

Quanto à liberação, as imagens do Apêndice B mostram claramente que nas malhas 35, 65, 100, 150 e 200# não há liberação dos grãos. Já o material passante em 200# mostra sinais de liberação. Desta forma, a faixa granulométrica escolhida para a continuidade dos testes foi a correspondente a -200#, ou seja, +270, +325, +400 e -400#.

4.5 Caracterização química da amostra escolhida para a continuidade dos testes

Os resultados das determinações dos teores de TiO_2 , Fe_2O_3 , SiO_2 , CaO , K_2O , BaO , SrO , MnO , SO_3 , ZrO_2 , Tm_2O_3 , Cr_2O_3 , NbO , Rb_2O , ZnO , Y_2O_3 , NiO , CuO e P_2O_5 e V_2O_5 para cada uma das faixas granulométricas e para a amostra global A2 – escolhida para a continuidade do estudo - estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultados das análises químicas por faixa granulométrica e da amostra global A2

Fração Granulométrica		Compostos analisados (%)																			
Mesh	mm	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	CaO	BaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	SrO	MnO	ZrO ₂	Tm ₂ O ₃	NiO	NbO	SO ₃	Rb ₂ O	ZnO	Cr ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	CuO	V ₂ O ₅
+35	+0,420	59,79	13,28	8,24	5,81	3,47	2,13	1,60	1,18	1,04	0,95	0,90	0,63	0,29	0,24	0,16	0,15	0,08	0,07	...	...
+65	+0,210	61,96	13,74	8,22	5,34	2,92	2,16	1,49	0,99	0,55	1,00	...	0,65	0,31	...	0,17	0,16	0,09	0,07	0,19	...
+100	+0,149	58,87	14,47	11,36	5,55	...	2,36	1,83	0,99	0,60	1,01	1,14	0,65	0,34	...	0,17	0,16	0,05	0,06	...	0,39
+150	+0,105	59,22	13,20	9,81	5,39	3,43	2,22	1,67	0,90	0,65	1,02	...	0,68	0,32	0,25	0,16	0,15	0,09	0,07	0,18	0,58
+200	+0,074	59,03	15,00	11,33	5,80	...	2,40	2,05	0,91	0,76	0,93	...	0,62	0,32	...	...	0,15	0,07	0,08	0,19	0,37
+270	+0,053	60,33	13,27	10,64	6,09	1,41	2,34	1,75	0,97	0,61	0,92	...	0,60	0,31	...	...	0,16	0,08	0,09	0,18	0,26
+325	+0,044	59,46	14,13	11,26	7,03	...	2,37	2,03	1,06	0,64	0,88	...	...	0,28	...	...	0,14	0,05	0,08	0,17	0,43
+400	+0,037	58,99	13,46	11,51	7,34	...	2,32	2,18	1,07	0,64	0,85	...	0,50	0,31	...	...	0,15	0,04	0,09	0,16	0,40
-400	-0,037	60,03	11,81	9,89	6,77	3,95	1,95	1,93	0,89	0,69	0,72	...	0,38	0,24	...	...	...	0,01	0,07	0,13	0,54
Global		51,68	21,29	10,77	6,00	2,69	1,87	3,00	0,64	0,54	0,65	...	0,38	0,18	...	...	0,10	0,08	0,06	0,12	...

Fonte: Elaboração da autora

Nota-se que acima da fração 0,210 mm (65 *mesh*), onde há predominância de partículas não liberadas, o teor de TiO_2 é ligeiramente mais baixo. Abaixo dessa faixa granulométrica, os teores de TiO_2 sofrem um leve enriquecimento mas os valores oscilam bastante.

As principais impurezas identificadas foram Fe_2O_3 , SiO_2 , CaO , K_2O , e P_2O_5 . Os teores destas impurezas para todas as faixas granulométricas variaram pouco, apresentando valores próximos.

A Tabela 15 deveria mostrar coerência entre o resultado dos teores dos principais compostos químicos, por análise química e valores calculados para a amostra A2. Os valores calculados correspondem a uma média ponderada entre os teores e as porcentagens retidas em cada uma das peneiras. Ainda que tenham sido realizados procedimentos de homogeneização, os resultados calculados e obtidos por análise química não foram concordantes. Infere-se que esta variação na composição química ocorreu devido à complexidade e variação da mineralogia da amostra estudada. Um fato que chama a atenção é que os teores de titânio (objeto deste estudo) e de cálcio apresentaram pequena variação.

Tabela 15 - Relação entre a distribuição granulométrica, as análises químicas dos principais compostos e os valores obtidos segundo análise química e através de cálculos para a amostra global A2

Fração Granulométrica		Distribuição Granulométrica	Compostos analisados (%)					
Mesh	mm	% ret. Simples	Fe_2O_3	SiO_2	TiO_2	CaO	K_2O	P_2O_5
+35	+0,420	3,97	59,79	13,28	8,24	5,81	2,13	1,60
+65	+0,210	9,30	61,96	13,74	8,22	5,34	2,16	1,49
+100	+0,149	12,94	58,87	14,47	11,36	5,55	2,36	1,83
+150	+0,105	11,64	59,22	13,20	9,81	5,39	2,22	1,67
+200	+0,074	14,25	59,03	15,00	11,33	5,80	2,40	2,05
+270	+0,053	18,68	60,33	13,27	10,64	6,09	2,34	1,75
+325	+0,044	13,11	59,46	14,13	11,26	7,03	2,37	2,03
+400	+0,037	13,60	58,99	13,46	11,51	7,34	2,32	2,18
-400	-0,037	2,51	60,03	11,81	9,89	6,77	1,95	1,93
Global (análise química)			51,68	21,29	10,77	6,00	1,87	3,00
Global (recalculada)			59,65	13,81	10,35	6,13	2,30	1,86

Fonte: Elaboração da autora

Na Tabela 16 estão apresentadas as distribuições por faixas granulométricas dos principais compostos químicos da amostra A2.

Tabela 16 - Distribuição dos principais compostos químicos da amostra A2

Fração Granulométrica		Distribuição Granulométrica		Distribuição dos compostos analisados (%)					
Mesh	mm	% retida simples	% passante acumulada	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅
+35	+0,420	3,97	96,03	3,98	3,82	3,09	3,77	3,68	3,41
+65	+0,210	9,30	86,73	9,66	9,25	7,21	8,10	8,71	7,44
+100	+0,149	12,94	73,79	12,77	13,56	13,87	11,73	13,25	12,73
+150	+0,105	11,64	62,15	11,56	11,13	10,78	10,25	11,22	10,43
+200	+0,074	14,25	47,89	14,10	15,48	15,24	13,49	14,87	15,66
+270	+0,053	18,68	29,22	18,89	17,95	18,76	18,56	18,95	17,55
+325	+0,044	13,11	16,11	13,07	13,41	13,93	15,05	13,50	14,29
+400	+0,037	13,60	2,51	13,45	13,26	14,77	16,29	13,69	15,89
-400	-0,037	2,51	-	2,52	2,14	2,34	2,77	2,12	2,59
Total				100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Elaboração da autora

Pela Tabela 16 observa-se que as faixas que mais concentraram titânio foram -150+200 e -200+270 *mesh*, totalizando 34% de TiO₂. Analisando-se o material passante em 200 *mesh* (- 0,074 mm) - considerado como liberado e, portanto, utilizado durante os testes seguintes -, observa-se que ele representa 47,89% da massa e corresponde a 49,80% de TiO₂ presente na amostra. A distribuição de Fe₂O₃, SiO₂, CaO, K₂O, e P₂O₅ para esta mesma faixa granulométrica foi de 47,93; 46,76; 52,66; 48,26 e 50,33%, respectivamente. Ou seja, aproximadamente metade de todos os principais contaminantes da amostra e do TiO₂ encontram-se no material utilizado na execução dos testes.

Para a fração acima de 0,210 mm observam-se as menores distribuições dos compostos maiores analisados. As distribuições de TiO₂, Fe₂O₃, SiO₂, CaO, K₂O, e P₂O₅ foram de 10,31; 13,64; 13,08; 11,87; 12,39 e 10,85%, respectivamente. Pela Tabela 16, observa-se que 13,27% da amostra encontra-se acima da granulometria de 0,210 mm. Isto significa que ao se fazer um corte granulométrico em 0,210 mm descarta-se 13,27% da massa do material com perdas em termos de TiO₂ de 10,31%.

Para melhor entendimento e visualização dos resultados obtidos na Tabela 16 foi plotado o gráfico da distribuição dos elementos e compostos em função da granulometria, representado na Figura 31.

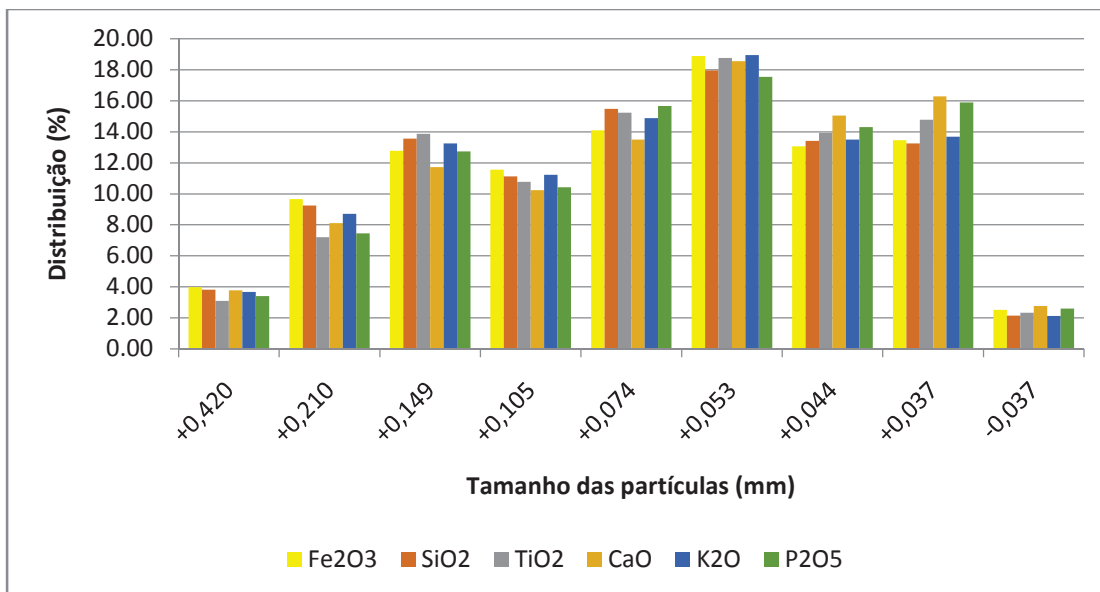


Figura 31 - Distribuição dos compostos da amostra A2 em função do tamanho
Fonte: Elaboração da autora

4.6 Fracionamento da amostra

4.6.1 Separação magnética com ímã de mão

As massas utilizadas e obtidas nas frações do peneiramento a úmido, cuja execução visou à preparação do material para a separação magnética com ímã de mão, estão descritas na Tabela 17.

Tabela 17 - Dados referentes à execução do peneiramento a úmido

Massa inicial utilizada no peneiramento (g)	1550,00
Massa retida em 200# (g)	513,61
Massa passante em 200# (g)	1024,87
Perda de massa (%)	0,74

Fonte: Elaboração da autora

A perda de massa ocorreu devido ao descarte de partículas durante a etapa de desaguamento da polpa para disposição do material em bandejas para posterior secagem em estufa.

A separação magnética com ímã de mão tornou possível a separação do material passante em 200# nas frações magnéticas e não magnéticas, conforme Tabela 18.

Tabela 18 - Dados referentes à execução do ensaio de separação magnética com ímã de mão

Produto	Massa	%
Magnético	420,92	43,93
Não magnético	537,15	56,07
Alimentação recalculada	958,07	100,00

Fonte: Elaboração da autora

A massa inicial utilizada neste ensaio foi de 970 gramas. A perda de massa obtida (1,23%) ocorreu durante a retirada da magnetita do ímã, já que alguns grãos ficavam aderidos mais fortemente ao ímã e eram descartados com um jato forte de água, acarretando a perda das partículas.

Os resultados de difração de raios X do produto magnético encontram-se discriminados na Figura 32.

Nota-se a presença dos minerais anatásio, montmorilonita, barita, cerussita e cromita, além da magnetita. Destes minerais apenas a magnetita é susceptível ao ímã de mão. Assim, houve arraste dos outros minerais. O arraste pode ter ocorrido devido à presença de partículas mistas e também porque o material que estava sendo desmagnetizado era extremamente fino, o que facilita consideravelmente o arraste, mesmo tendo sido feita a lavagem do material.

No caso do mineral cromita, ressalta-se que existe a possibilidade de haver a presença de Fe_2O_3 neste mineral, o que facilitou a atração deste mineral para o produto magnético.

Ressalta-se que não foram detectadas partículas de ilmenomagnetita, o que era esperado, conforme as análises realizadas com lupa binocular.

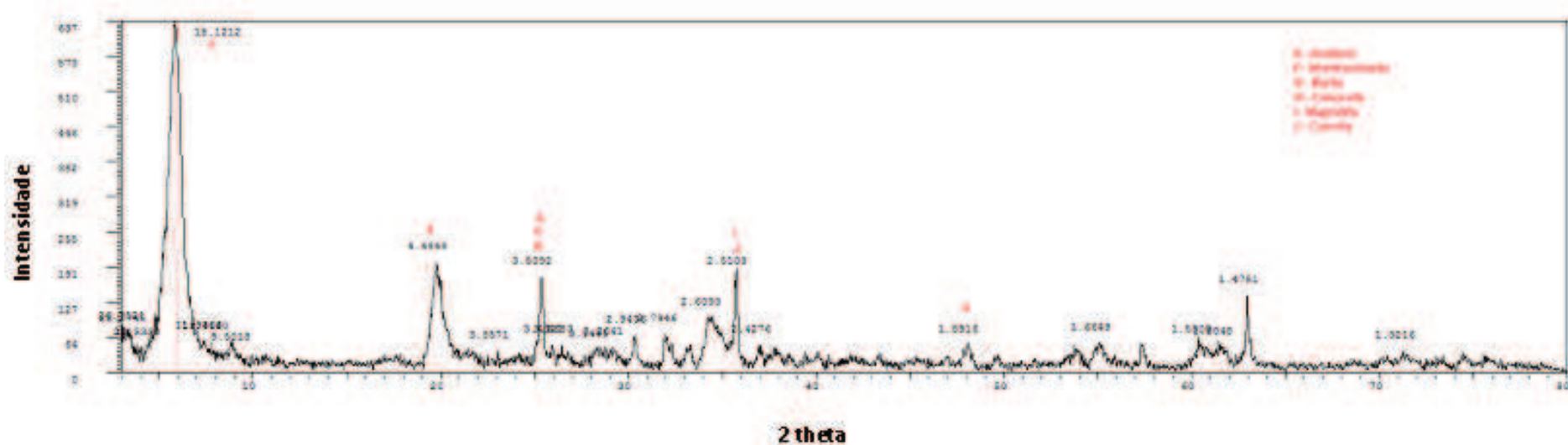


Figura 32 - Difratoograma da fração magnética do ensaio de separação magnética com ímã de mão da amostra A2

Fonte: Acervo da autora

4.6.2 Separação magnética de alta intensidade

Os resultados obtidos através dos ensaios de separação magnética de alta intensidade, realizados com a amostra A2 estão apresentados na

Tabela 19.

Tabela 19 - Distribuições de massa da amostra A2 nas frações obtidas com o separador magnético

Produto	%
Alimentação	100,0
Magnético	20,7
Não magnético	79,3

Fonte: Elaboração da autora

Como o material da alimentação já havia sido submetido a uma separação magnética com ímã de mão, não era esperado que houvesse essa porcentagem considerável de material aderida às matrizes magnéticas.

Os resultados da análise em lupa binocular dos produtos magnético e não magnético foram inconclusivos já que os dois produtos se assemelharam bastante e não foi possível fazer uma distinção entre os mesmos. Ambos os produtos mostraram sinais de presença dos minerais apatita, piroxênio e alguns cristais de minerais escuros que não foram identificados. Assim, foram suscitadas dúvidas quanto à eficiência deste ensaio.

As Figuras 33 e 34 apresentam, respectivamente, os difratogramas dos produtos magnéticos e não magnéticos.

Observa-se a ocorrência dos minerais anatásio, hematita, fluorapatita e nontronita no produto magnético. Conforme a Figura 26 os minerais apatita e hematita são relativamente suscetíveis ao campo magnético que foi aplicado durante o ensaio, o que pode explicar a presença destes minerais no produto magnético. Quanto ao anatásio e a nontronita, suas presenças no produto magnético se devem à presença de partículas mistas ou a arraste já que o material usado nesta separação era extremamente fino.

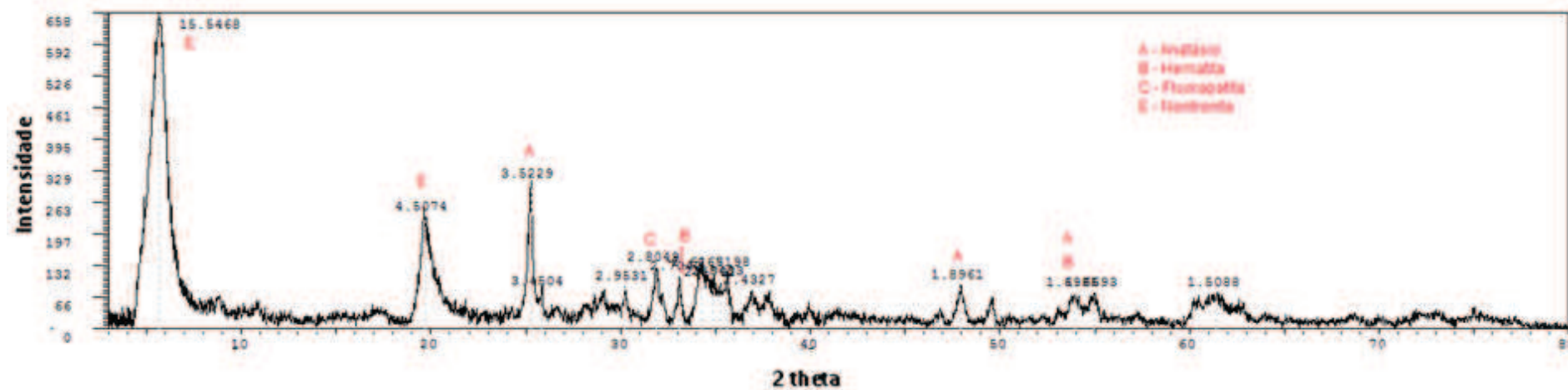


Figura 33 - Difratoograma da fração magnética do ensaio de separação magnética de alta intensidade da amostra A2 previamente desmagnetizada com ímã de mão

Fonte: Acervo da autora

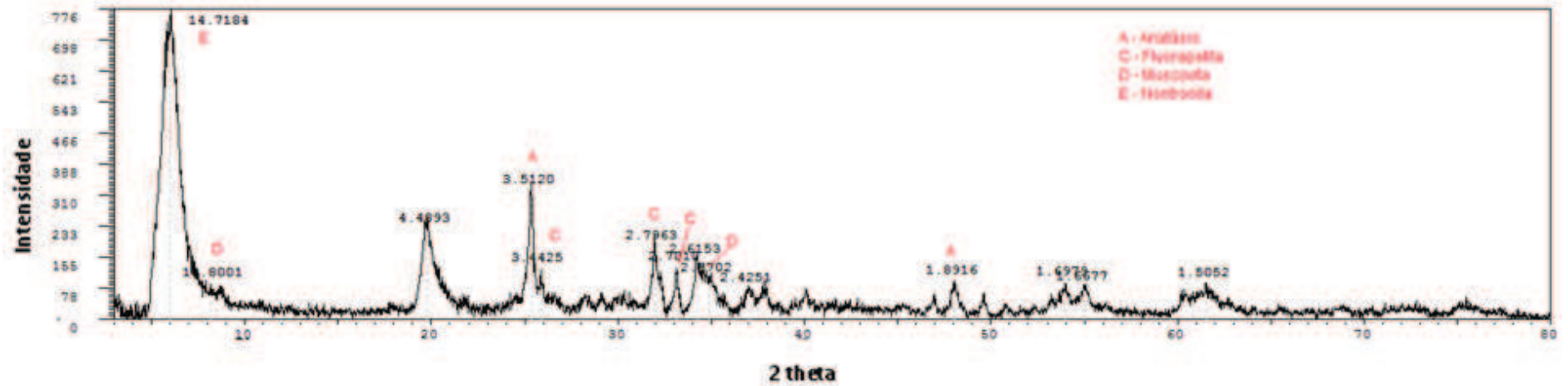


Figura 34 - Difratoograma da fração não magnética do ensaio de separação magnética de alta intensidade da amostra A2 previamente desmagnetizada com ímã de mão
Fonte: Acervo da autora

Já no produto não magnético, foram detectados os minerais anatásio, fluorapatita, muscovita e nontronita. A presença de fluorapatita neste produto pode ser explicada devido ao fato que faixa de campo magnético em que este mineral é atraído é relativamente grande, variando entre 1 e 1,8T. Assim, esta é uma hipótese para a presença deste mineral tanto no produto magnético como no não magnético. Ainda assim, acredita-se que o mais provável é que a presença de fluorapatita no material magnético se deva ao arraste ou a presença de partículas mistas.

A ausência de magnetita nos produtos magnético e não magnético da separação magnética de alta intensidade mostra que a separação magnética usando-se ímã de mão foi extremamente eficiente, no que se refere à retirada de magnetita e não com relação a arraste de minerais portadores de titânio.

Já a ausência de ilmenita no produto magnético indica que pode ter havido identificação incorreta durante a etapa de caracterização mineralógica usando-se lupa binocular.

Com base nos difratogramas analisados, infere-se que a separação magnética de alta intensidade foi relativamente eficiente e indicou a ausência de titânio sob a forma do mineral ilmenita.

4.6.3 Separação em líquido denso

A Figura 35 mostra os produtos flutuado e afundado, obtidos com a separação em bromofórmio.

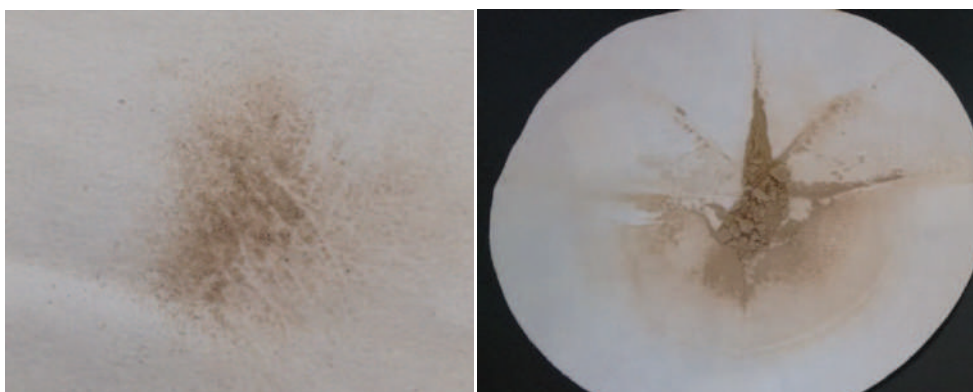


Figura 35 - Produtos da separação em líquido denso. À esquerda, produto flutuado e à direita, produto afundado.

Fonte: Acervo da autora

Não foi realizada pesagem de cada uma das frações já que a fração flutuada mostrou-se insignificante com relação à afundada. Assim, conclui-se que, caso a separação tenha sido eficiente, praticamente todo o material possui densidade maior que $2,89 \text{ g/cm}^3$.

A análise do produto afundado em lupa binocular mostrou provável presença de grande quantidade de apatita; presença de uma massa branca, transparente, constituída por partículas brancas extremamente finas que podem ser piroxênio; e pequena quantidade de minerais escuros que representam, teoricamente, os minerais portadores de titânio. Os grãos opacos, em sua maioria, foram identificados como magnetita e o restante pode ser perovskita. A análise ainda mostrou presença de grãos não liberados.

Já a análise da pequena fração de material flutuado não possibilitou a identificação dos minerais, mas mostrou presença de minerais escuros, o que corrobora para o questionamento da eficiência desta separação em líquido denso.

Analisando-se o difratograma referente ao produto afundado apresentado na Figura 36, observa-se presença dos minerais apatita ($d=3,2\text{g/cm}^3$) - já esperada conforme análise em lupa binocular -, anatásio ($d=3,9\text{g/cm}^3$) - corresponde aos minerais escuros portadores de titânio descritos durante a análise em lupa binocular -, hematita ($d=5,3\text{g/cm}^3$) e muscovita ($d=3,1\text{g/cm}^3$). Não foi identificada presença dos minerais piroxênio e perovskita.

Nota-se que todos os minerais identificados no produto afundado têm densidades maiores que $2,89 \text{ g/cm}^3$, permitindo, assim, considerar a separação em líquido denso como eficiente. Caso tivesse sido realizada uma difratometria de raios X no produto flutuado, poderia se ter uma análise mais completa que permitiria avaliar melhor o desempenho da separação em líquido denso.

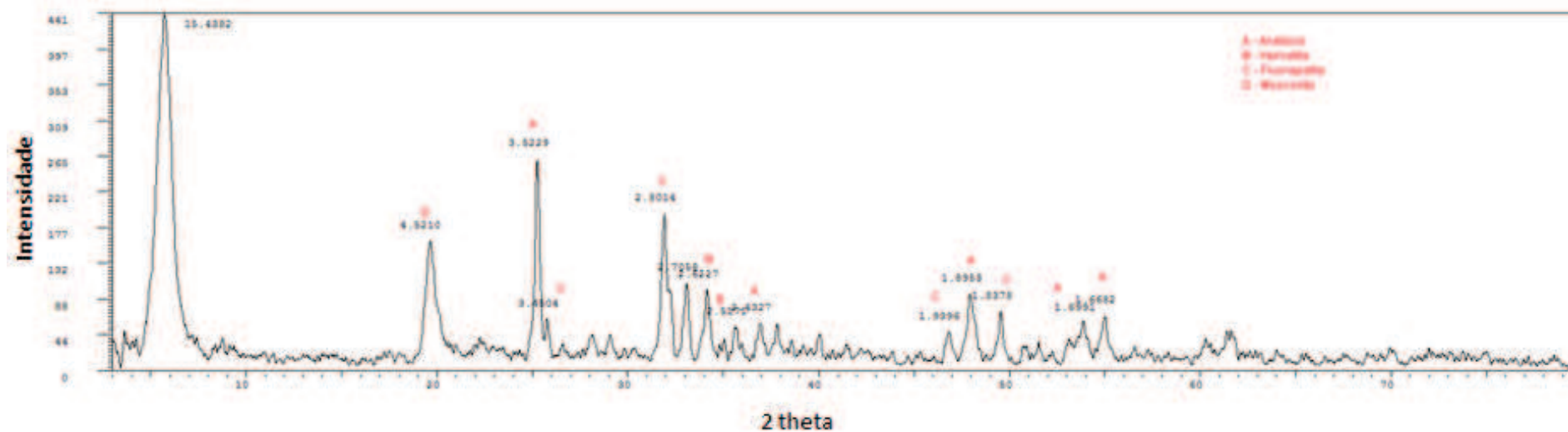


Figura 36 - Difratoograma da fração afundada do ensaio de separação em líquido denso da amostra A2 previamente desmagnetizada com ímã de mão.

Fonte: Acervo da autora.

Para uma análise mais detalhada dos constituintes minerais presentes na fração afundada, foram visualizados algumas porções desta amostra no MEV e analisadas com EDS.

A Figura 37 mostra a microfotografia de uma das porções analisadas. Os grãos numerados foram analisados com o EDS. Ressalta-se que os picos de ouro e nióbio presentes nos espectros gerados foram desconsiderados já que são provenientes do processo de recobrimento realizado na superfície da amostra durante a etapa de preparação da mesma para análise em MEV. Da mesma forma, o pico de carbono também foi desconsiderado já que o mesmo foi utilizado para tornar as amostras condutoras para a visualização no MEV.

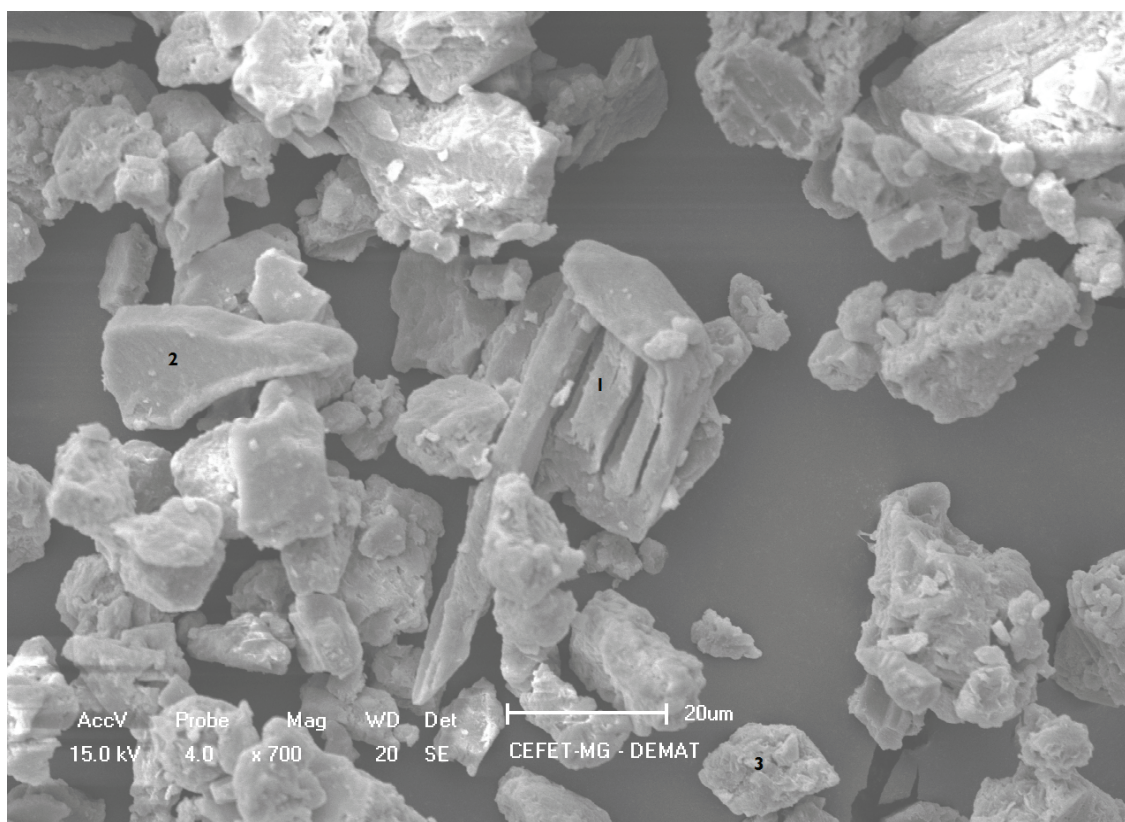


Figura 37 - Microfotografia de uma das porções da fração afundada do ensaio de separação em líquido denso, obtida no MEV. Grãos analisados através do EDS estão numerados como 1, 2 e 3. Fonte: Acervo da autora

O resultado da análise do grão numerado como 1, através do EDS, é mostrado na Figura 38. Considerando-se as ressalvas anteriores, o espectro desta análise apresenta um elevado pico de silício. Os outros picos correspondem aos elementos ferro, alumínio, magnésio e oxigênio e nitrogênio. O nitrogênio é tido, neste caso, como um contaminante. Assim, é possível identificar este mineral como um piroxênio, que apresenta densidade de $3,2 \text{ g/cm}^3$, portanto maior que a do bromofórmio, o que é condizente com sua presença no produto afundado. Ressalta-

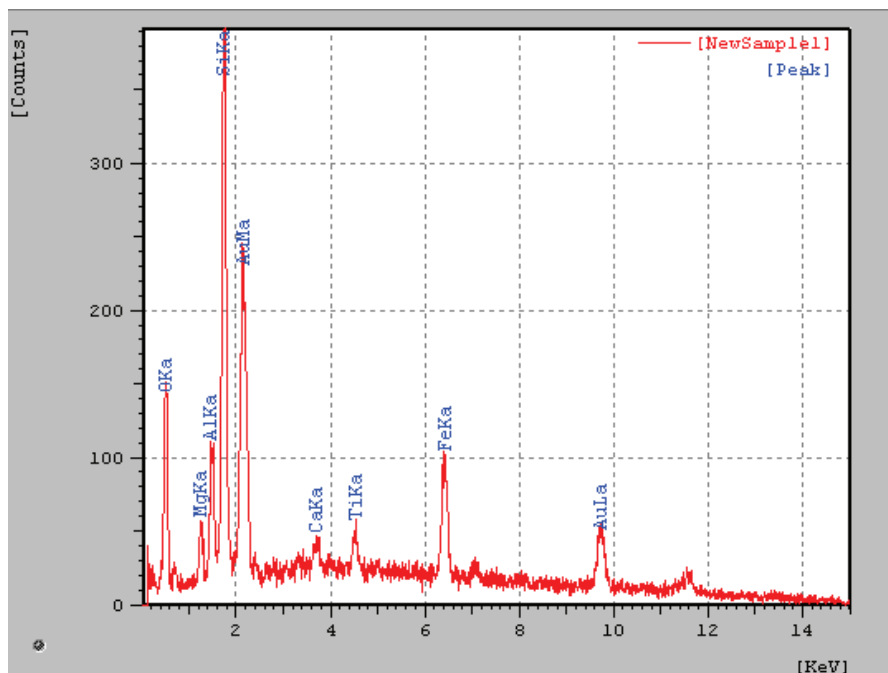


Figura 39 - Espectrometria em energia dispersiva do grão 2
Fonte: Acervo da autora

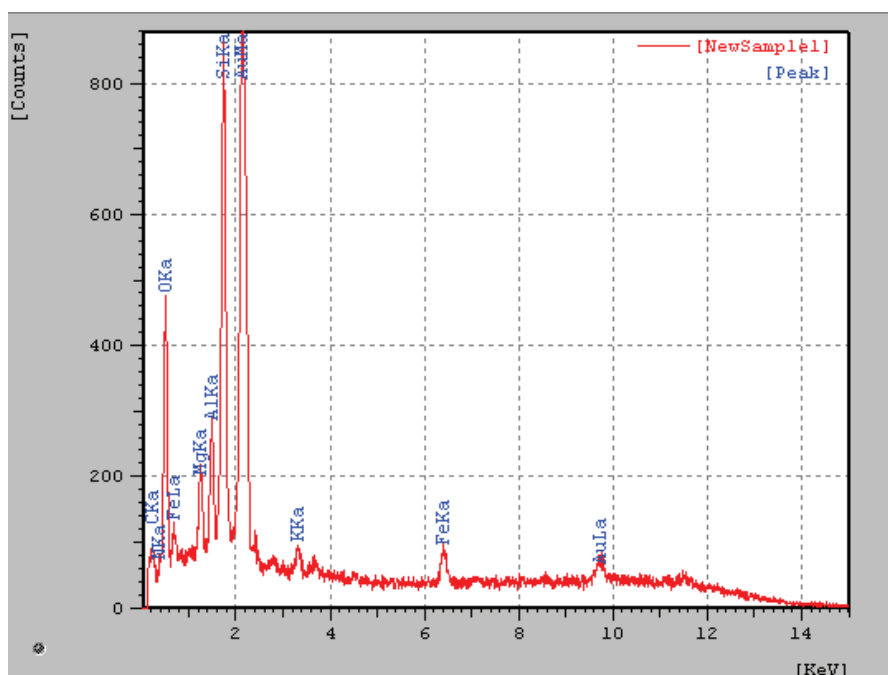


Figura 40 - Espectrometria em energia dispersiva do grão 3
Fonte: Acervo da autora

A Figura 41 mostra outra porção da amostra analisada. O agregado mineral, ao centro, numerado como 4 foi analisado e aparece ampliado na Figura 42. O espectro resultante da análise está mostrado na Figura 43. Os picos mostram presença de cálcio, fósforo e oxigênio, identificando, assim, o mineral apatita. Nota-

se que este agregado é constituído apenas por partículas de apatita o que pode ocorrer devido a características eletrostáticas presentes. Devido à diferença de coloração, inferiu-se que todos os grãos claros presentes na Figura 41 são de apatita.

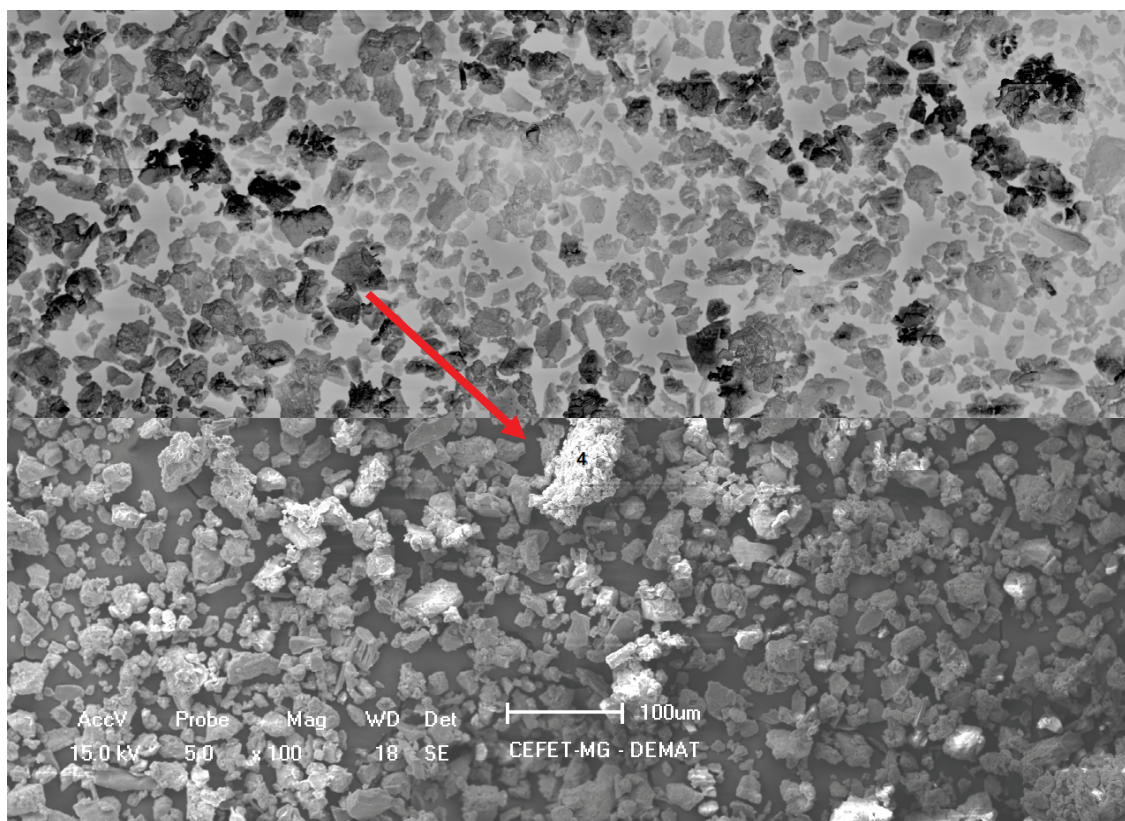


Figura 41 - Microfotografia de uma das porções da fração afundada do ensaio de separação em líquido denso, obtida no MEV. Grão analisado através do EDS está numerado como 4.
Fonte: Acervo da autora

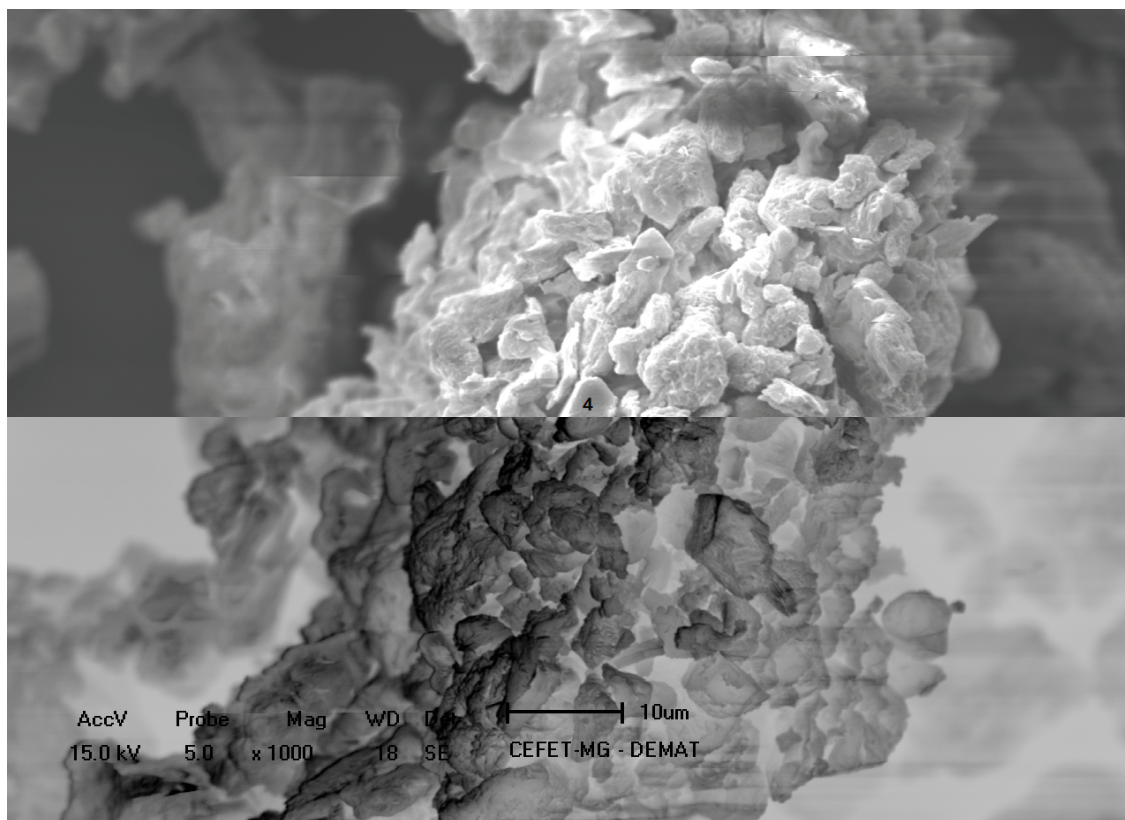


Figura 42 - Microfotografia mostrando o grão 4 ampliado 1000 vezes
Fonte: Acervo da autora

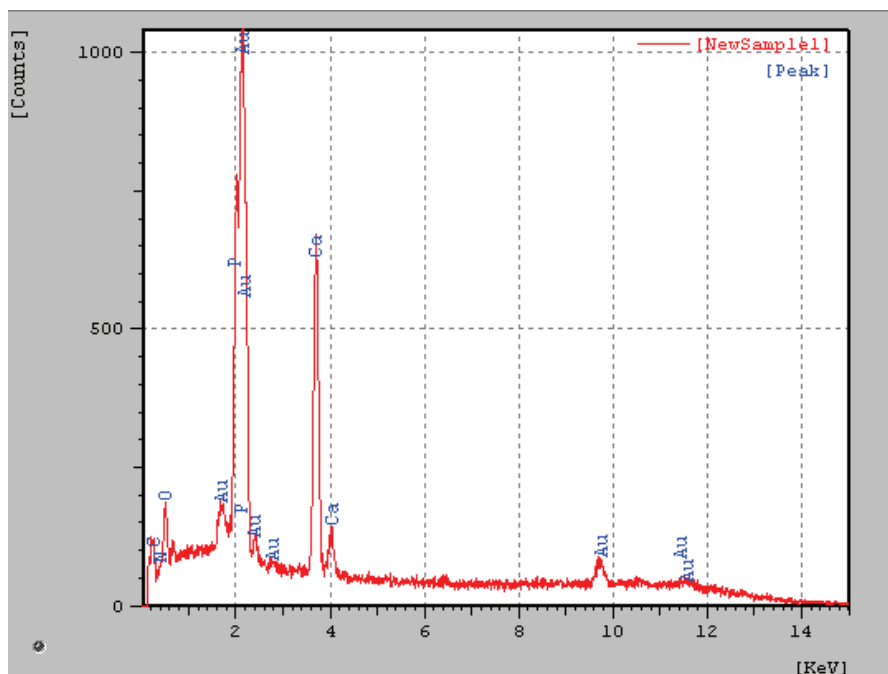


Figura 43 - Espectrometria em energia dispersiva do grão 4
Fonte: Acervo da autora

A Figura 44 mostra outra porção da amostra analisada. Os minerais numerados como 5, 6, 7 e 8 foram analisados através do EDS.

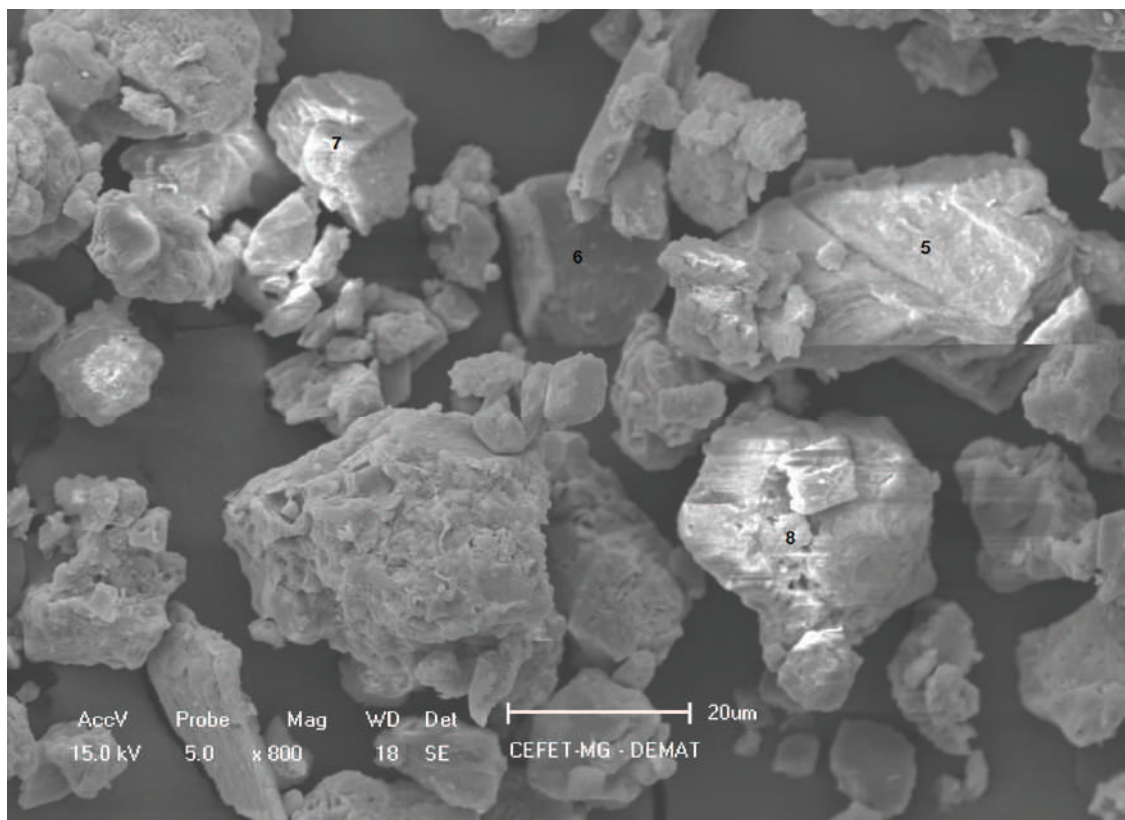


Figura 44 - Microfotografia de uma das porções da fração afundada do ensaio de separação em líquido denso, obtida no MEV. Grãos analisados através do EDS estão numerados como 5, 6, 7 e 8.

Fonte: Acervo da autora

Os grãos 5 e 6 geraram espectros com os mesmos elementos, conforme pode ser verificado nas Figura 45 e Figura 46. Assim, estes dois grãos foram identificados como piroxênio.

O grão 7, por sua vez, apresenta uma composição um pouco mais complexa (Figura 47) sendo constituído pelos elementos oxigênio, sódio, magnésio, alumínio, silício, potássio e ferro. O mesmo foi considerado como sendo um grão de feldspatóide - grupo de minerais quimicamente semelhantes aos feldspatos, porém com proporção de sílica inferior. A densidade dos feldspatóides, segundo Klein *et al.*, (1985, *apud* SAMPAIO e FRANÇA, 2008) varia entre 2,15 e 2,50 g/cm³. Desta forma, não era esperada a presença deste mineral no produto afundado. Provavelmente, o mesmo foi arrastado por estar em uma partícula mista.

O grão 8 também apresenta composição complexa (Figura 48). Estão presentes em sua composição os elementos silício, oxigênio, titânio, magnésio, alumínio, cálcio, vanádio e ferro. Este mineral foi inicialmente caracterizado como um silicato complexo de titânio. Em uma análise mais aprofundada, entretanto, o mesmo

pode ser considerado como titanita ($d=3,5 \text{ g/cm}^3$), que apresenta composição química de CaTiSiO_5 e costuma apresentar impurezas de ferro e alumínio.

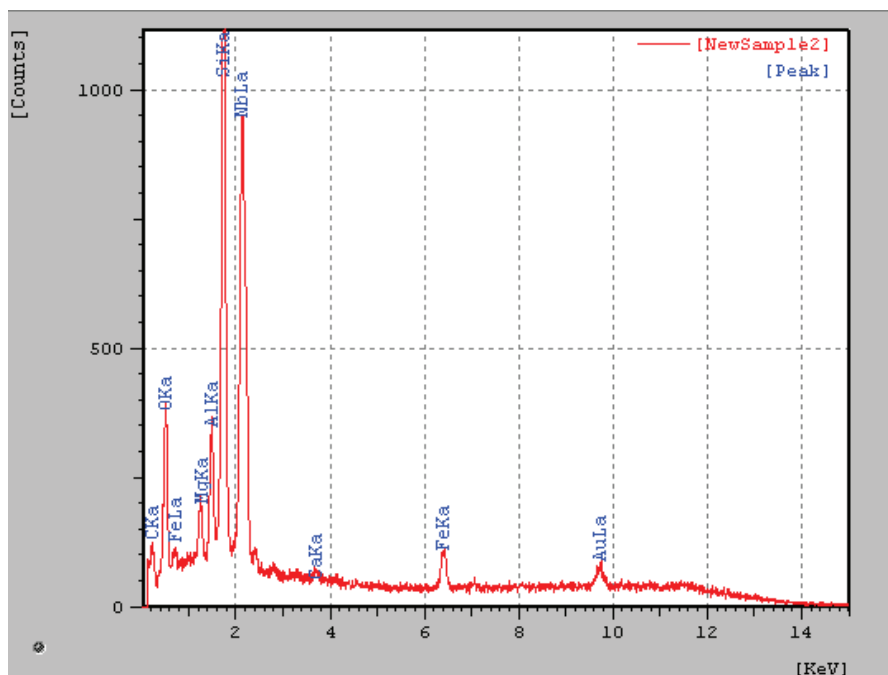


Figura 45 - Espectrometria em energia dispersiva do grão 5
Fonte: Acervo da autora

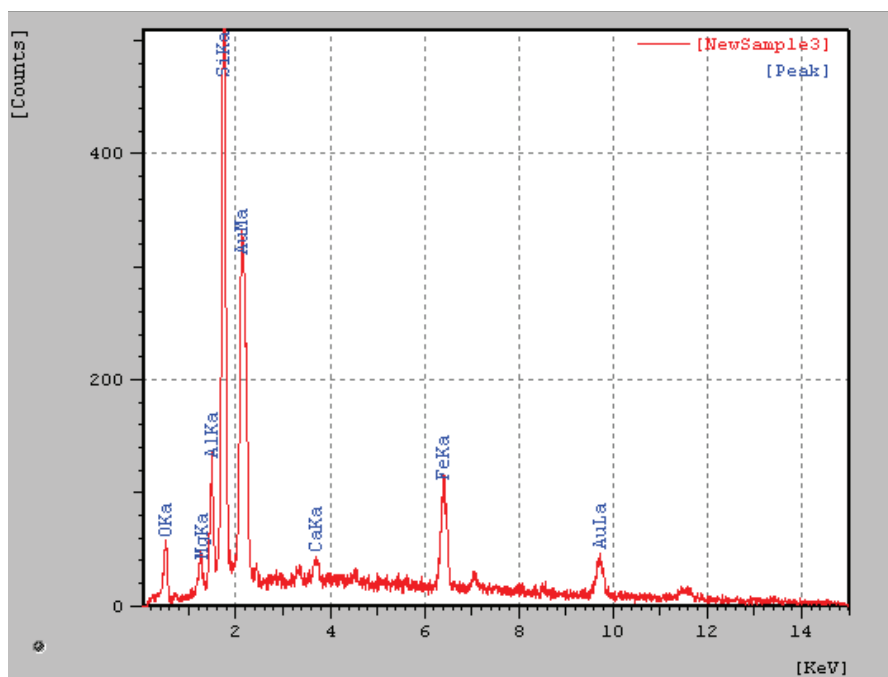


Figura 46 - Espectrometria em energia dispersiva do grão 6
Fonte: Acervo da autora

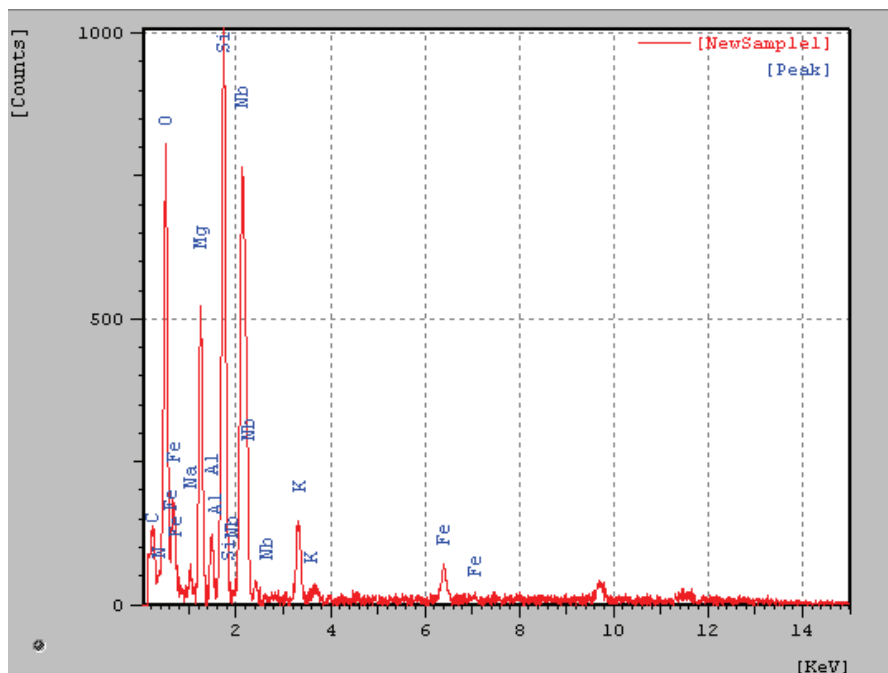


Figura 47 - Espectrometria em energia dispersiva do grão 7
Fonte: Acervo da autora

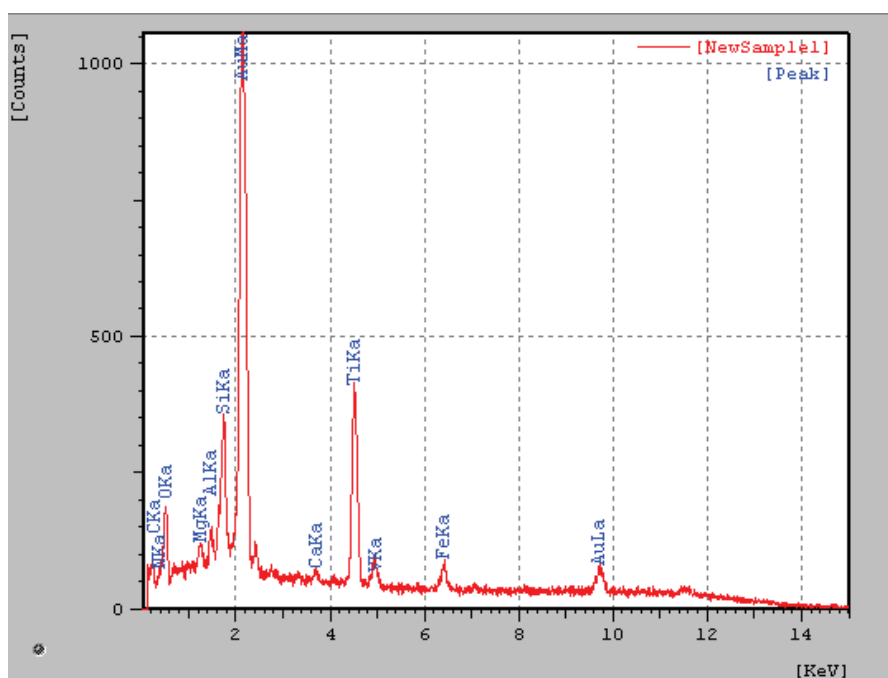


Figura 48 - Espectrometria em energia dispersiva do grão 8
Fonte: Acervo da autora

A Figura 49 mostra a quarta porção da amostra analisada no MEV. Observa-se um cristal prismático ao centro, numerado como 9, rodeado por uma massa fina amorfa, numerada como 10.

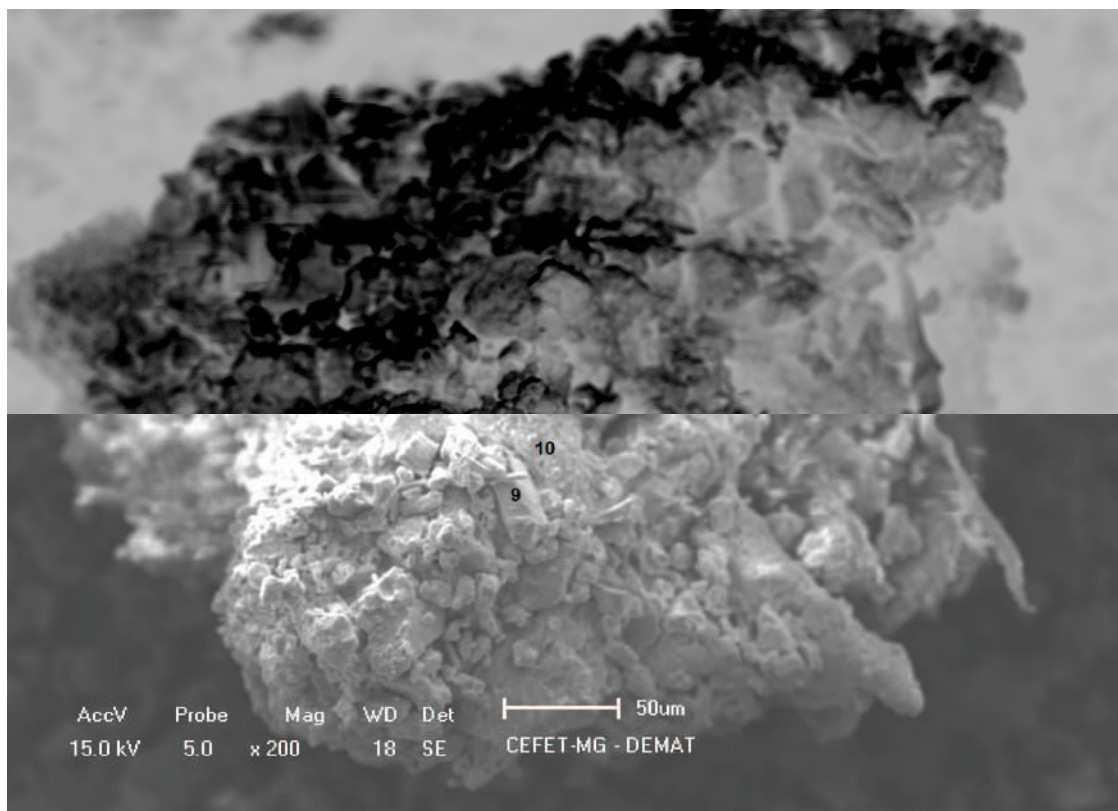


Figura 49 - Microfotografia de uma das porções da fração afundada do ensaio de separação em líquido denso, obtida no MEV. Grãos analisados por EDS estão numerados como 9 e 10.

Fonte: Acervo da autora

O cristal numerado como 9, foi identificado como um silicato de titânio e seu espectro gerado através do EDS está representado na Figura 50. Além do silício, oxigênio e titânio estão também presentes os elementos sódio, magnésio, cálcio e ferro.

O espectro da massa fina está representado na Figura 51 e mostra presença oxigênio, magnésio, alumínio, silício, potássio e ferro. Essa massa foi caracterizada como um piroxênio alcalino.

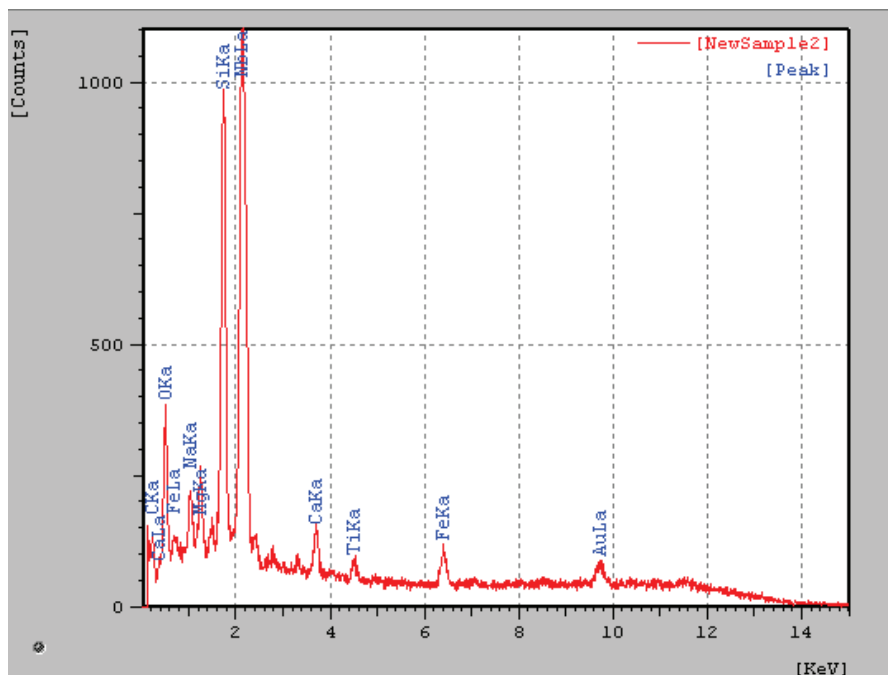


Figura 50 - Espectrometria em energia dispersiva do grão 9
Fonte: Acervo da autora

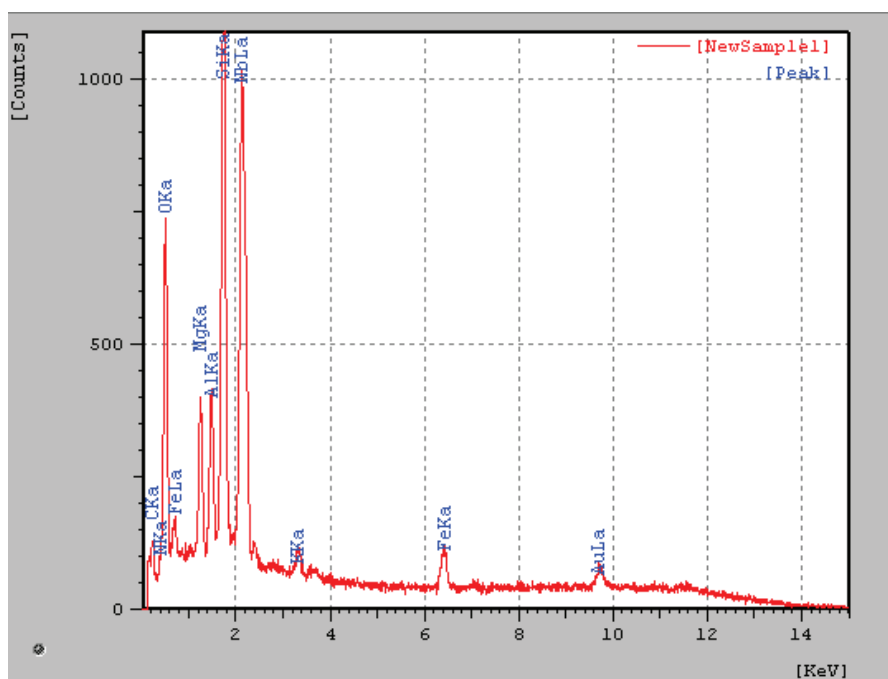


Figura 51 - Espectrometria em energia dispersiva do grão 10
Fonte: Acervo da autora

O mapeamento da distribuição dos elementos químicos por cada um dos grãos analisados se encontra no Apêndice C.

Com base no exposto sobre a análise de MEV observa-se que o mineral piroxênio apareceu em praticamente todas as análises realizadas. O mineral apatita também se destacou pela quantidade apresentada. Além disso, foram identificados

feldspatóide e dois silicatos de titânio, sendo que um deles pode ser titanita e outro não foi identificado. Não foi encontrado nenhum óxido de titânio, o que era esperado já que nos resultados obtidos em todos os difratogramas havia presença de anatásio. Uma possível explicação para esta ausência é o fato de terem sido analisados poucos grãos utilizando-se o MEV/EDS. Com relação à granulometria, trata-se de um material extremamente fino, o que pode dificultar processos futuros de separação/concentração dos minerais presentes.

Assim, nota-se que esta análise se mostrou um tanto quanto conflitante com aquela realizada por difração de raios X, já que apenas o mineral apatita se mostra comum entre as duas análises. Entretanto, verifica-se que esta análise endossa parte daquela realizada em lupa já que o mineral piroxênio foi presença comum e relativamente abundante nestas duas análises. Além disso, os silicatos complexos descritos no MEV podem fazer parte dos minerais escuros, prováveis portadores de titânio, identificados na lupa. Outro fator a se destacar é que as prováveis presenças de perovskita e magnetita descritas na análise com lupa binocular não foram confirmadas nem pela difração e nem pelo MEV.

De uma maneira resumida os minerais identificados através de análise em lupa binocular, difração de raios X ou MEV na amostra A2, no produto magnético da separação magnética com ímã de mão, nos produtos magnéticos e não magnéticos da separação magnética de alta intensidade, no produto afundado do ensaio de separação em líquido denso (bromofórmio) estão apresentados na Tabela 20.

Analisando-se a Tabela 20 e conferindo um crédito maior às análises de difração de raios X e MEV pode-se dizer que os minerais que mais ocorrem na amostra são magnetita, piroxênio, anatásio, fluorapatita, muscovita, hematita, nontronita e o silicato complexo de titânio.

A partir desta análise, observa-se que a principal fonte de titânio é o mineral anatásio e em segundo plano o silicato complexo de titânio, já que não foram comprovadas ocorrências de ilmenita e nem de rutilo.

Tabela 20 - Composição mineralógica da amostra A2 e das frações analisadas através de lupa binocular, difração de raios X e/ou MEV

Mineral	Amostras														
	A2			Mag. sep. mag. ímã de mão			Mag. SMAI			Não mag. SMAI			Afundado		
	L.B.	DRX	MEV	L.B.	DRX	MEV	L.B.	DRX	MEV	L.B.	DRX	MEV	L.B.	DRX	MEV
Piroxênio	x						x			x			x		x
Carbonato	x														
Magnetita	x				x								x		
Ilemnomagnetita	x														
Perovskita	x												x		
Anatásio					x			x			x			x	
Montmorilonita					x										
Barita					x										
Cerussita					x										
Cromita					x										
Fluorapatita	x						x	x		x	x		x	x	x
Hematita								x						x	
Muscovita											x			x	
Nontronita								x			x				
Feldspatóide															x
Silicato complexo de titânio															x

Fonte: Elaboração da autora

Notas: L.B. = lupa binocular; Mag. Sep. Mag. Ímã de mão = magnético da separação magnética com ímã de mão; Mag. SMAI = magnético da separação magnética de alta intensidade; Não mag. SMAI = não magnético da separação magnética de alta intensidade.

4.7 Densidade da amostra escolhida para a continuidade dos testes

Através dos ensaios realizados em duplicata, utilizando o método do picnômetro, foram obtidos os resultados da Tabela 21. A densidade foi calculada através da equação 3.

Tabela 21 - Determinação da densidade da amostra A2.

	1	2
Identificação do picnômetro		
Massa picnômetro vazio (g)	31,83	31,39
Massa picnômetro + minério (g)	35,68	35,23
Massa picnômetro + água (g)	81,69	81,99
Massa picnômetro + minério + água (g)	83,84	84,09
Densidade	2,26	2,21

Fonte: Elaboração da autora

O valor médio da densidade da amostra A2 foi de 2,24. Esta densidade pode ser considerada relativamente baixa para esta rocha já que pelo ensaio de separação em líquido denso praticamente a totalidade do material teve densidade maior que a do bromofórmio ($d=2,89 \text{ g/cm}^3$).

Dessa forma, acredita-se que o método de picnometria usado neste trabalho não foi eficiente. Uma possível hipótese para este fato pode ter sido a presença de bolhas de ar entre as finas partículas do material. Assim, o ideal seria que a densidade tivesse sido determinada através de picnometria a gás.

5 CONCLUSÃO

As quatro amostras coletadas inicialmente apresentaram teores de TiO_2 consideráveis, entre 8,23 e 10,72%. Estes teores são mais altos que os teores médios apresentados pelas rochas da região de Mata da Corda – 4,1 e 7,8% de TiO_2 , segundo Sgarbi *et al.* (1998).

A amostra A2 foi a que apresentou maior teor de titânio e, portanto, foi estudada mais a fundo. A partir da análise das faixas granulométricas desta amostra em lupa binocular, a faixa em que os minerais foram considerados como liberados foi abaixo de 0,074 mm (200 *mesh*). A distribuição granulométrica mostrou que 47,89% desta amostra encontra-se abaixo desta faixa granulométrica, sendo que cerca de 50% de todos os principais compostos desta amostra estão distribuídos nesta porção. Estes compostos incluem, além do TiO_2 , Fe_2O_3 , SiO_2 , CaO , K_2O , e P_2O_5 . As faixas que mais concentraram titânio foram -150+200 e -200+270 *mesh* ($0,053 > d > 0,105\text{mm}$), totalizando 34% de TiO_2 .

A constituição química média da amostra A2 mostrou consideráveis variações dos teores dos principais compostos, com exceção dos de TiO_2 e CaO , quando se compararam resultados da análise química global e resultados segundo cálculos realizados a partir dos valores obtidos nas frações granulométricas. Isto indica que a mineralogia da amostra é bastante variada. Ainda assim, os minerais portadores de titânio parecem ser os mesmos.

A amostra trabalhada apresentou quantidades expressivas de magnetita, que foi retirada em um ensaio utilizando-se ímã de mão em meio úmido. A retirada dessa magnetita se mostrou eficiente já que no ensaio de separação magnética de alta intensidade não foram identificadas partículas de magnetita nem no produto magnético e nem no não magnético. A separação em alto campo mostrou que não há presença do mineral ilmenita na amostra e foi relativamente eficiente por permitir a retirada de hematita. Entretanto, para se avaliar, efetivamente, a eficiência destes dois ensaios era necessário que tivessem sido realizadas análises químicas quantitativas em cada um dos produtos gerados.

A densidade da amostra A2, definida a partir da picnometria, é de 2,24. Este valor é considerado muito baixo já que no ensaio de separação em meio denso, utilizando-se bromofórmio ($d=2,89 \text{ g/cm}^3$) praticamente toda a amostra afundou e todos os minerais identificados neste produto apresentavam densidade superior à do

bromofórmio. Uma possível hipótese para este fato é a ineficiência do método utilizado, já que pode ter ficado ar entre as finas partículas da amostra ensaiada. Assim, para que se pudessem fazer considerações acerca da densidade da amostra, o ideal é que a densidade fosse determinada por picnometria a gás.

A caracterização mineralógica realizada na amostra A2, mostrou que a mesma é constituída essencialmente pelos minerais magnetita, piroxênio, anatásio, fluorapatita, muscovita, hematita, nontronita e um silicato complexo de titânio. Não foram comprovadas ocorrências de ilmenita, ilmenomagnetita, perovskita e nem de rutilo na amostra. Assim, a principal fonte de titânio é o mineral anatásio e em segundo plano o silicato complexo de titânio.

Os elevados teores de TiO_2 e a presença de piroxênio, magnetita e apatita na composição mineralógica identificada para esta amostra permitem afirmar que a mesma tem afinidade kamafugítica. Este fato é coerente com a geologia local do grupo Mata da Corda, em que as amostras foram coletadas.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar análises quantitativas nos produtos obtidos nos ensaios de separação magnética com ímã de mão, separação magnética de alta intensidade e separação em líquido denso para avaliar melhor o desempenho destes ensaios e verificar se existe uma relação entre os resultados obtidos e a granulometria trabalhada.

- Efetuar ensaios gravíticos e de flotação visando concentrar os minerais de titânio presentes na amostra.

7 REFERÊNCIAS

ALKMIM F.F. BRITO NEVES B.B. ALVES J.A.C. Arcabouço Tectônico do Cráton do São Francisco - Uma revisão. In: J.M.L. Dominguez, A. M. (Org.). **O Cráton do São Francisco**. SBGBA/SE, SGM-BA, p. 45-62, 1993.

AMORIM NETO, A. A.; ALMEIDA, A. B. L. de. **Titânio**. [S.l.: s.n.], [20--]. Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3999> . Acesso em: 2 mar. 2015.

Anatásio. Disponível em: <<http://www.dicionario.pro.br/index.php/Anat%C3%A1sio>> Acesso em: 2 mar. 2015.

BALTAR, C.A.M.; CUNHA, A. S. F. Aproveitamento de finos de ilmenita por flotação com succinamato. In: XIX ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: [s.n.], 2004. p. 51-58.

BALTAR, C. A. M. et al. Titânio: minerais de titânio. In: LUZ, A. B. da; LINS, F. A. F. (Ed.). **Rochas & minerais industriais**: usos e especificações. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. cap. 37. p.841-864.

BALTAR, C. A. M., SAMPAIO, J. A., ANDRADE, M. C. de. Titânio: minerais de titânio. In: LUZ, A. B. da; LINS, F. A. F. (Ed.). **Rochas & minerais industriais**: usos e especificações. 1. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. cap. 31. p.655-676.

CAMPOS J. E. G. e DARDENNE M. A. Origem e evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana: uma revisão. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.l.], v. 27, p. 69-282, 1997. Disponível em: <<http://www.rbg.sbgeo.org.br/index.php/rbg/article/viewFile/596/289>>. Acesso em: 10 abr. 2015.

CHRISTIE, A. B.; BRATHWAITE, R. L. **Mineral commodity report 16 – titanium**. New Zealand mining 23. p. 15-25, 1998.

DAMASCENO, E. C. **Disponibilidade, suprimento e demanda de minérios para metalurgia**. — Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. 145 p. it. (Série Estudos e Documentos, 69). Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/series_sed/sed-69.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2015.

DANA, J. D. **Manual de mineralogia**. Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos, 1978. 642p.

GOMES, C.B. **Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia**. Editora Edgard Blucher LTDA, São Paulo, 1984. 251 p.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. **Minerais constituintes das rochas: uma introdução**. Lisboa, Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian. 1966.

DNPM. **ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO**. Brasília: DNPM, 2010. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/paginas/anoario-mineral/arquivos/ANUARIO_MINERAL_2010.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2015.

ENGEL, A. E. J.; ENGEL, C. G. **Progressive metamorphism and granitization of the major paragneiss, northwest Adirondack Mountains, New York**. pt. 1, Total rock: Geol. Soc. America Bull., v. 69, p.1369-1414, 1958.

FERREIRA NETO, Y., 1973, **Perfil analítico do titânio**. Departamento Nacional da Produção Mineral, DNPM, Rio de Janeiro, RJ, Boletim nº23.

FERRETTI, M. Princípios e aplicações de espectroscopia de fluorescência de Raios X (FRX) com instrumentação portátil para estudo de bens culturais. **Revista CPC**, São Paulo, n. 7, p. 74-98, 2008. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/cpc/article/viewFile/15639/17213>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

FORCE, E. R. Titanium Contents and Titanium Partitioning in Rocks. In: _____. **Geology and resources of titanium**. Washington, Estados Unidos da América: [s.n.], 1976. cap. 1. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/pp/0959a-f/report.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2015.

FORCE, E. R. **Geology of titanium-mineral deposits**. The Geological of America special paper. 259, 112p, 1991.

FRAGOSO, D.; et al. Geologia dos grupos bambuí, areado e mata da corda na folha Presidente Olegário (1:100.000), MG: registro deposicional do neoproterozóico ao neocretáceo da bacia do São Francisco. **Revista Geonomos**, Minas Gerais, v.19, n.1, 2011. Disponível em: <<http://www.igc.ufmg.br/portaldeperiodicos/index.php/geonomos/article/view/60>>. Acesso em: 10 abr. 2015.

GOLDSCHMIDT, V. M. **Geochemistry**. Oxford, Clarendon Press, 1954, 730 p.

GOOGLE, **Programa Google Earth**, 2015.

GRAVINA, E. G. **Caracterização Cristaloquímica de minerais ricos em Titânio: Perovskita Ti** - granada da região de Tapira, MG. Tese (Doutorado em Ciência - Química) - Departamento de Química, UFMG, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2009. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/SFSA-85VRF3/tese__313_eggravina.pdf?sequence=1>. Acesso em: 2 mar. 2015.

HACHA, R. R. **Caracterização mineralógica do minério de ouro da Rio Paracatu Mineração (RPM), visando a determinação de minerais portadores de titânio.** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos) - Departamento de Engenharia de Materiais, PUC – Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/biblioteca/php/mostrateses.php?open=1&arqtese=0821582_10_Indice.html>. Acesso em: 20 mar. 2015.

IGLESIAS, Mario; UHLEIN, Alexandre. Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do rio São Francisco, norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**. [online]. 2009, vol.39, n.2, pp. 256-266. ISSN 0375-7536. Disponível em: <<http://ppegeo.igc.usp.br/pdf/rbg/v39n2/v39n2a06.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2015.

Ilmenita. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/oxidos/ilmenita.html>>. Acesso em: 2 mar. 2015.

Ilmenite. Disponível em: <<http://www.mineralszone.com/minerals/ilmenite.html>>. Acesso em: 2 mar. 2015.

KLEIN, C.; DUTROW, B. **Manual de Ciência dos Minerais**. 23. ed., Porto Alegre, Artmed Editora S.A., 2012. 706 p.

KLEIN C. & CORNELIUS S. HURLBUT, JR. **Manual of Mineralogy (after James D. Dana)**. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1985.

LEE, T.; YAO, C. **Abundance of chemical elements in the Earth's crust and its major tectonic units**. *Internat. Geology Rev.*, v. 12, p. 778-786, 1970.

LUZ, A. B. da; SAMPAIO, J. A. Separação magnética e eletrostática. In: LUZ, A. B. da; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. M. L. de (Ed.). **Tratamento de minérios**. 4. Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. cap. 8. p.305–338.

PORPHÍRIO, N. H.; BARBOSA, M. I. M.; BERTOLINO, L. C. Caracterização Mineralógica de Minérios – Parte 1. In: LUZ, A. B. da; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. (Ed.). **Tratamento de minérios**. 5. Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. cap. 3. p.57-84. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/files/docs/livros/2010/trat_minerio_5a_edicao.pdf>. Acesso em 2 jul. 2015.

MAIA, A., 2001, Titânio. In: **Balanco Mineral Brasileiro**. Departamento Nacional da Produção Mineral, 23p. Disponível em: <<http://www.dnmp.gov.br/dnmp/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001>>. Acesso em: 2 mar. 2015.

MELO, M. G. de. **A origem do fosfato nas rochas vulcânicas e vulcanoclásticas do grupo Mata da Corda nas regiões de Patos de Minas e Presidente Olegário, MG**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais) Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto – Ouro Preto, 2012. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2875>>. Acesso em: 12 abr. 2015.

MORAES, L. C. et al . Geologia das Unidades Cretáceas da Área Compreendida entre Lagoa Formosa e Carmo do Paranaíba, MG. In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1986, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBG, 1986. v. 1. p. 337-345.

NASCIMENTO, H. N. **Caracterização tecnológica de materiais estéreis com elevado teor de PPC e P da Mina de Alegria da SAMARCO MINERAÇÃO S.A.** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas) Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte, 2004. Disponível em: <<http://www.ppgem.eng.ufmg.br/defesas/2086M.PDF>>. Acesso em: 2 jul. 2015.

NEUMANN, R.; SCHNEIDER, C. L.; ALCOVER NETO, A. Caracterização tecnológica de Minérios. In: LUZ, A. B. da; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. M. L. de (Ed.). **Tratamento de minérios**. 4. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. cap. 3. p.55–106.

OLIVEIRA I. W. B. et al. 2004. Folha SE.23-Belo Horizonte. In: Schobbenhaus C. et al. (Ed.). **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: Sistema de Informações Geográficas - SIG e 46 folhas na escala 1:1.000.000**. Brasília, CPRM, 41 CD-ROM's.

OLIVEIRA, M. L. M.de; AQUINO, J. A. de. Amostragem. In: SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A.; BRAGA, P. F. A. (Ed.). **Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. cap. 1. p.3-36.

PERKINS, D. **Mineralogy**. 2. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2002.

Presidente Olegário. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Presidente_Oleg%C3%A1rio>. Acesso em: 22 jul. 2015.

QUEIROZ FILHO, A. DE A.; AMORIM NETO, A. A. Titânio. In: LIMA, T. M.; NEVES, C. A. R. (Coord.) **Sumário Mineral 2014**. Departamento Nacional da Produção Mineral, DNPM. Brasília:DNPM, 2014, p. 116-117. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2014/view>. Acesso em: 2 mar. 2015.

REIS, E. L. **Caracterização de resíduos provenientes da planta de beneficiamento do minério de manganês sílico-carbonatado da RDM – Unidade Morro da Mina**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral). Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto - Ouro Preto, 2005. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/3099>>. Acesso em: 2 mar. 2015.

Rutilo. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/oxidos/rutilo.html>> . Acesso em: 2 mar. 2015.

SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A.; BRAGA, P. F. A. Nefelina Sienito. In: LUZ, A. B. da; LINS, F. A. F. (Ed.). **Rochas & minerais industriais: usos e especificações**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. cap. 30. p.663-680.

SANTOS, J. F. **Desenvolvimento de estudos para elaboração do Plano Duodecenal (2010 – 2030) de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**. Perfil do Titânio. Ministério de Minas e Energia - MME, 2010, 29p. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P16_RT36Perfil_do_Titxnio.pdf/90cfddec-0e1b-44bf-a01d-9e781507baeb>. Acesso em: 10 mar. 2015.

SEER, H. J. et al. **Roteiro Geológico para a região de Lagoa Formosa – Chumbo - Carmo do Paranaíba, MG**. 1. ed. Belo Horizonte: SBG - Núcleo Minas Gerais, 1989. v. 1. 58p.

SGARBI, P. B. A.; CLAYTON, R. N.; GASPAR, J. C. Oxygen isotope thermometry of Brazilian potassic volcanic rocks of kamafugitic affinities. **Chemical Geology**, [S.l.], v. 146, p.115-126, 1998.

SGARBI, P. B. A.; GASPAR, J. C., VALENÇA, J. G. Clinopyroxene from Brazilian Kamafugites. **Lithos**, [S.l.], v. 53 (2), p.101-116, 2000.

SGARBI P. B. A.; VALENÇA J. G. Kalsilite in Brazilian kamafugitic rocks. **Mineralogical Magazine**, [S.l.], v. 57, p.165- 171, 1993. Disponível em: <http://www.minersoc.org/pages/Archive-MM/Volume_57/57-386-165.pdf> . Acesso em: 15 jul. 2015.

There are no limits for titanium uses in modern economy. Disponível em: <<http://www.titaniumexposed.com/titanium-uses.html>>. Acesso em: 2 mar. 2015.

TOWNER, R.R.; GRAY, J. M.; PORTER, L. M. **International Strategic Mineral Inventory Summary Report - Titanium**: U.S. Geological Survey Circular 930-G, 58 p., 1988.

ULHRICH, M.N.C.; LEONARDOS, O.H.. As rochas ultrabásicas potássicas da Mata da Corda, MG: lamproítos ou kamafugitos? . **Boletim IG-USP. Publicação Especial**, Brasil, n. 9, p. 93-97, nov. 1991. ISSN 2317-8078. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/bigsp/article/view/54751/58401>>. Acesso em: 12 abr. 2015.

U.S. Geological Survey. **Mineral commodity summaries 2014**. U.S. Geological Survey, 196 p., 2014.

VELHO, J.; GOMES, C.; ROMARIZ, C. **Minerais Industriais**. Universidade de Aveiros, 591p., 1998.

VINOGRADOV, A. P. **Average contents of chemical elements in the principal types of igneous rocks of the Earth's crust**. Geokhimiya, n. 7, p.641-664, 1962.

<<https://www.google.com.br/maps/@-18.5485778,-46.5383102,10z>>. Acesso em: 22 jul. 2015.

APÊNDICE A – Análises granulométricas das amostras

Nas Tabelas 22 a 33 a seguir estão apresentados os resultados de cada uma das três análises granulométricas realizadas para cada uma das amostras. As Figuras 52, 53, 54 e 55 apresentam as curvas granulométricas destas análises.

Tabela 22- Distribuição granulométrica da amostra A1A obtida no primeiro ensaio realizado

Peneira (#)	Abertura (mm)	Massa Retida (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante Acumulada
35	0,419	27,60	18,71	18,71	81,29
65	0,209	21,30	14,44	33,15	66,85
100	0,148	19,10	12,95	46,10	53,90
150	0,105	16,50	11,19	57,29	42,71
200	0,074	14,70	9,97	67,25	32,75
270	0,052	22,40	15,19	82,44	17,56
325	0,044	19,50	13,22	95,66	4,34
400	0,037	5,70	3,86	99,53	0,47
-400	-	0,70	0,47	100,00	0,00
Total		147,50	100,00		

Fonte: Elaboração da autora

Tabela 23 - Distribuição granulométrica da amostra A1A obtida no segundo ensaio realizado

Peneira (#)	Abertura (mm)	Massa Retida (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante acumulada
35	0,419	34,00	23,14	23,14	76,86
65	0,209	21,20	14,43	37,58	62,42
100	0,148	17,50	11,91	49,49	50,51
150	0,105	14,10	9,60	59,09	40,91
200	0,074	14,20	9,67	68,75	31,25
270	0,052	16,00	10,89	79,65	20,35
325	0,044	14,90	10,14	89,79	10,21
400	0,037	13,20	8,99	98,77	1,23
-400	-	1,80	1,23	100,00	0,00
Total		146,90	100,00		

Fonte: Elaboração da autora

Tabela 24 - Distribuição granulométrica da amostra A1A obtida no terceiro ensaio realizado

Peneira (#)	Abertura (mm)	Massa Retida (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante acumulada
35	0,419	28,80	19,79	19,79	80,21
65	0,209	20,60	14,16	33,95	66,05
100	0,148	18,90	12,99	46,94	53,06
150	0,105	11,00	7,56	54,50	45,50
200	0,074	16,00	11,00	65,50	34,50
270	0,052	23,80	16,36	81,86	18,14
325	0,044	16,30	11,20	93,06	6,94
400	0,037	10,00	6,87	99,93	0,07
-400	-	0,10	0,07	100,00	0,00
Total		145,50	100,00		

Fonte: Elaboração da autora

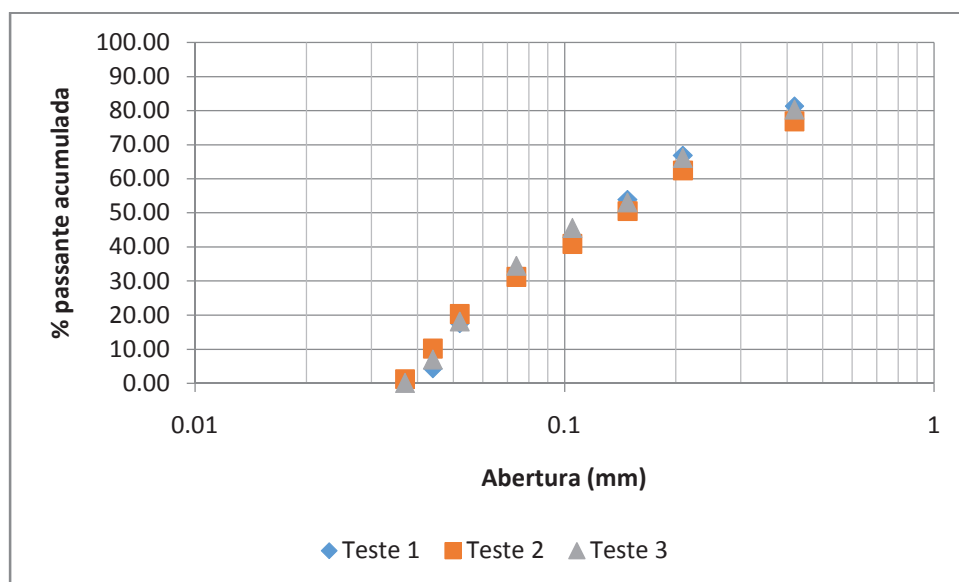


Figura 52- Representação gráfica dos resultados dos três ensaios de análise granulométrica da amostra A1A

Fonte: Elaboração da autora

Tabela 25 - Distribuição granulométrica da amostra A1B obtida no primeiro ensaio realizado

Peneira (#)	Abertura (mm)	Massa Retida (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante Acumulada
35	0,419	91,70	62,42	62,42	37,58
65	0,209	14,70	10,01	72,43	27,57
100	0,148	21,60	14,70	87,13	12,87
150	0,105	8,50	5,79	92,92	7,08
200	0,074	8,90	6,06	98,98	1,02
270	0,052	1,10	0,75	99,73	0,27
325	0,044	0,10	0,07	99,80	0,20
400	0,037	0,30	0,20	100,00	0,00
-400	-	0,00	0,00	100,00	0,00
Total		146,90	100,00		

Fonte: Elaboração da autora

Tabela 26 - Distribuição granulométrica da amostra A1B obtida no segundo ensaio realizado

Peneira (#)	Abertura (mm)	Massa Retida (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante acumulada
35	0,419	89,10	60,08	60,08	39,92
65	0,209	10,70	7,22	67,30	32,70
100	0,148	7,50	5,06	72,35	27,65
150	0,105	15,30	10,32	82,67	17,33
200	0,074	24,10	16,25	98,92	1,08
270	0,052	1,60	1,08	100,00	0,00
325	0,044	0,00	0,00	100,00	0,00
400	0,037	0,00	0,00	100,00	0,00
-400	-	0,00	0,00	100,00	0,00
Total		148,30	100,00		

Fonte: Elaboração da autora

Tabela 27 - Distribuição granulométrica da amostra A1B obtida no terceiro ensaio realizado

Peneira (#)	Abertura (mm)	Massa Retida (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante acumulada
35	0,419	93,00	63,27	63,27	36,73
65	0,209	15,80	10,75	74,01	25,99
100	0,148	19,90	13,54	87,55	12,45
150	0,105	2,60	1,77	89,32	10,68
200	0,074	7,30	4,97	94,29	5,71
270	0,052	7,90	5,37	99,66	0,34
325	0,044	0,00	0,00	99,66	0,34
400	0,037	0,50	0,34	100,00	0,00
-400	-	0,00	0,00	100,00	0,00
Total		147,00	100,00		

Fonte: Elaboração da autora

Tabela 30 - Distribuição granulométrica da amostra A2 obtida no terceiro ensaio realizado

Peneira (#)	Abertura (mm)	Massa Retida (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante acumulada
35	0,419	6,10	3,97	3,97	96,03
65	0,209	14,30	9,31	13,28	86,72
100	0,148	20,60	13,41	26,69	73,31
150	0,105	13,20	8,59	35,29	64,71
200	0,074	24,00	15,63	50,91	49,09
270	0,052	30,70	19,99	70,90	29,10
325	0,044	18,60	12,11	83,01	16,99
400	0,037	24,20	15,76	98,76	1,24
-400	-	1,90	1,24	100,00	0,00
Total		153,60	100,00		

Fonte: Elaboração da autora

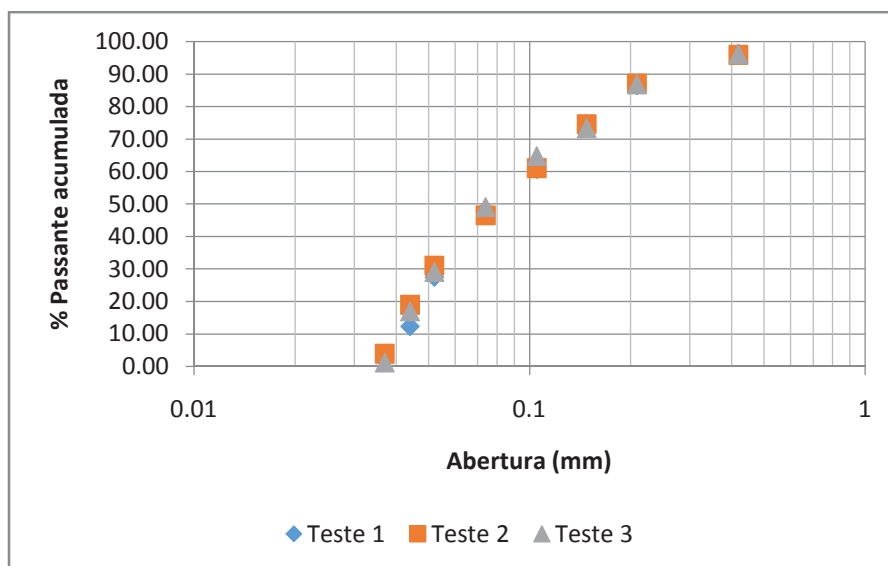


Figura 54 - Representação gráfica dos resultados dos três ensaios de análise granulométrica da amostra A2

Fonte: Elaboração da autora

Tabela 31 - Distribuição granulométrica da amostra A3 obtida no primeiro ensaio realizado

Peneira (#)	Abertura (mm)	Massa Retida (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante Acumulada
35	0,419	29,00	19,82	19,82	80,18
65	0,209	14,50	9,91	29,73	70,27
100	0,148	22,30	15,24	44,98	55,02
150	0,105	36,20	24,74	69,72	30,28
200	0,074	17,40	11,89	81,61	18,39
270	0,052	17,40	11,89	93,51	6,49
325	0,044	6,00	4,10	97,61	2,39
400	0,037	3,00	2,05	99,66	0,34
-400	-	0,50	0,34	100,00	0,00
Total		146,30	100,00		

Fonte: Elaboração da autora

Tabela 32 - Distribuição granulométrica da amostra A3 obtida no segundo ensaio realizado

Peneira (#)	Abertura (mm)	Massa Retida (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante acumulada
35	0,419	26,20	17,75	17,75	82,25
65	0,209	6,80	4,61	22,36	77,64
100	0,148	17,30	11,72	34,08	65,92
150	0,105	33,10	22,43	56,50	43,50
200	0,074	17,50	11,86	68,36	31,64
270	0,052	30,30	20,53	88,89	11,11
325	0,044	12,50	8,47	97,36	2,64
400	0,037	3,90	2,64	100,00	0,00
-400	-	0,00	0,00	100,00	0,00
Total		147,60	100,00		

Fonte: Elaboração da autora

Tabela 33 - Distribuição granulométrica da amostra A3 obtida no terceiro ensaio realizado

Peneira (#)	Abertura (mm)	Massa Retida (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante acumulada
35	0,419	27,40	18,83	18,83	81,17
65	0,209	7,50	5,15	23,99	76,01
100	0,148	23,50	16,15	40,14	59,86
150	0,105	10,20	7,01	47,15	52,85
200	0,074	28,20	19,38	66,53	33,47
270	0,052	34,80	23,92	90,45	9,55
325	0,044	10,90	7,49	97,94	2,06
400	0,037	3,00	2,06	100,00	0,00
-400	-	0,00	0,00	100,00	0,00
Total		145,50	100,00		

Fonte: Elaboração da autora

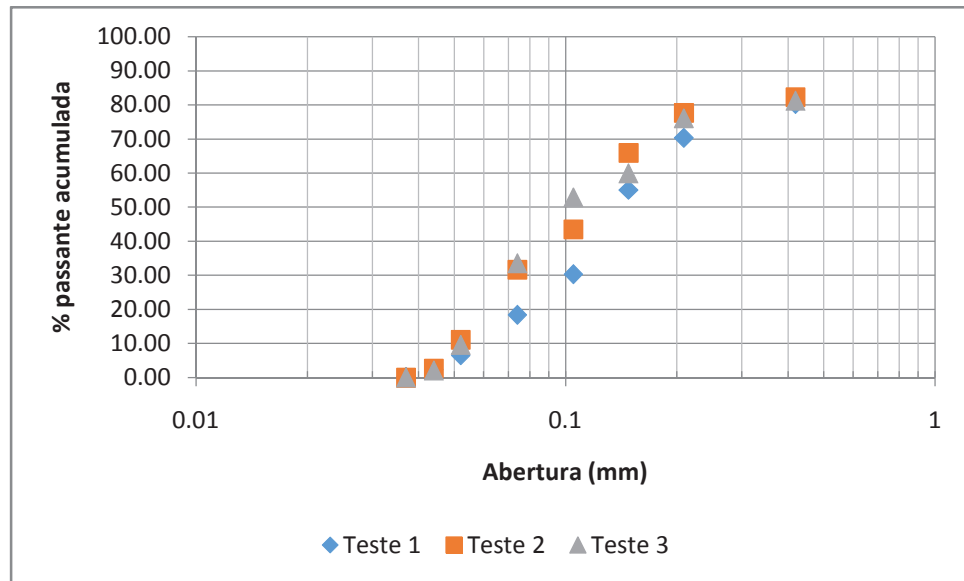


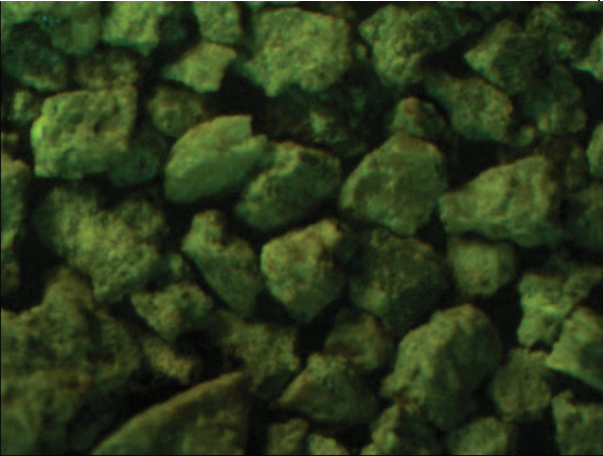
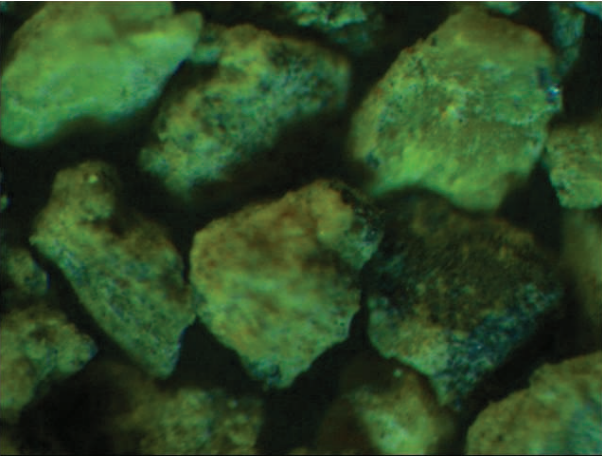
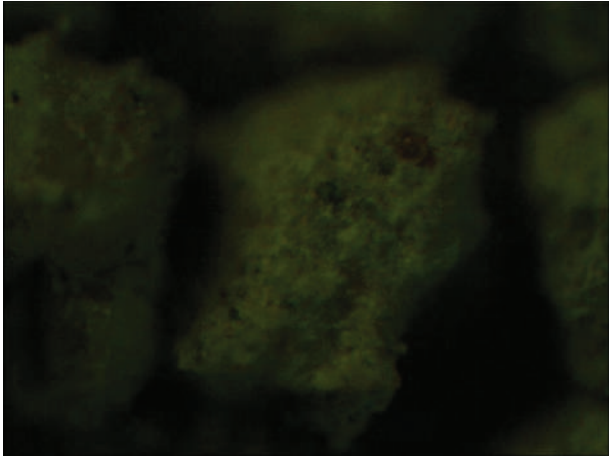
Figura 55 - Representação gráfica dos resultados dos três ensaios de análise granulométrica da amostra A3

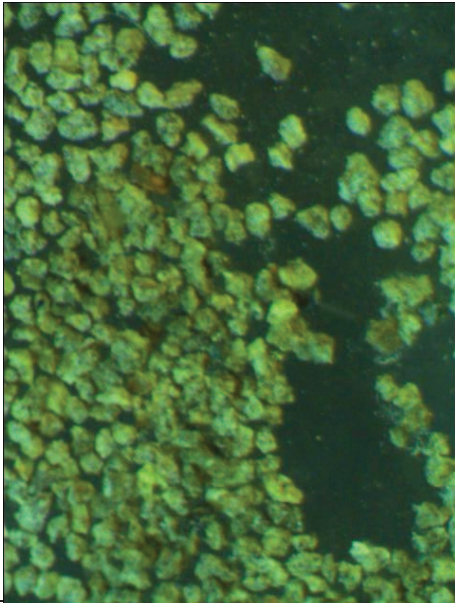
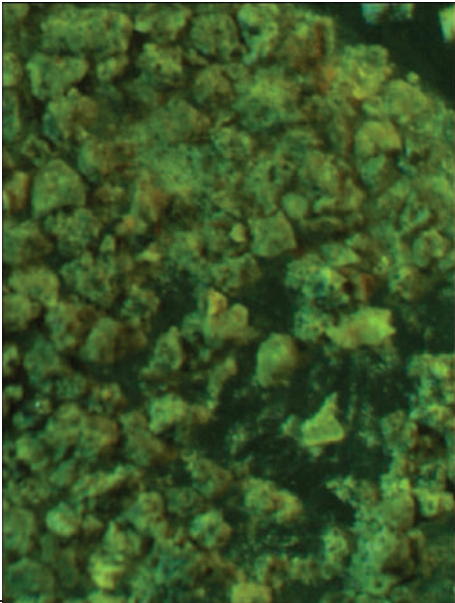
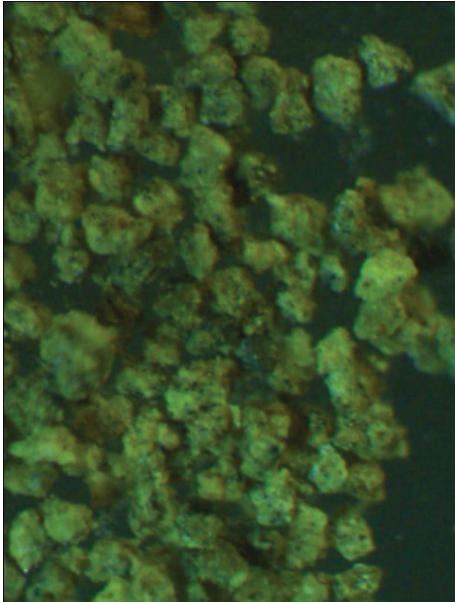
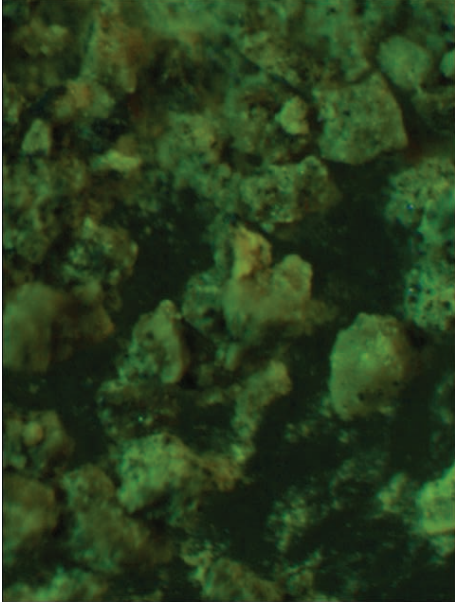
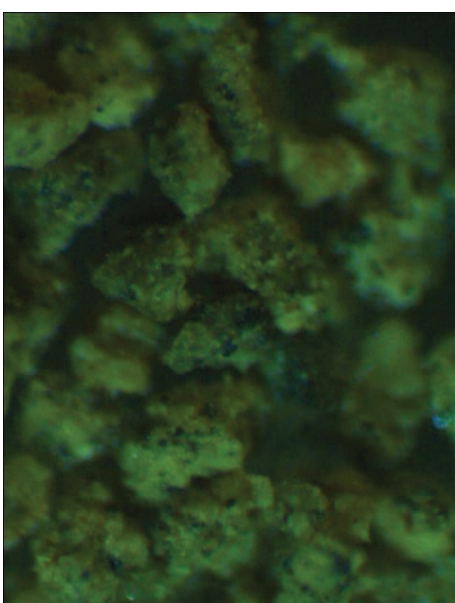
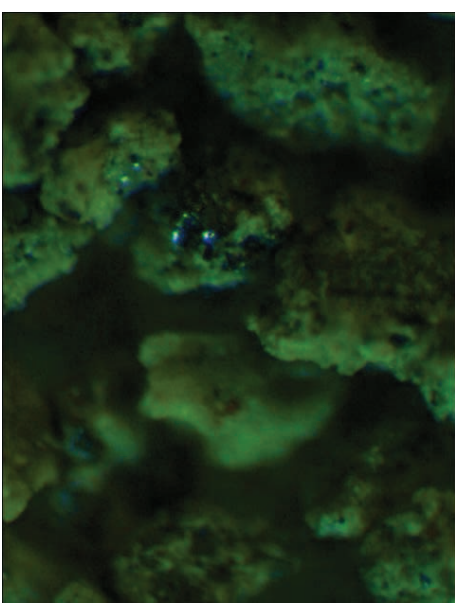
Fonte: Elaboração da autora

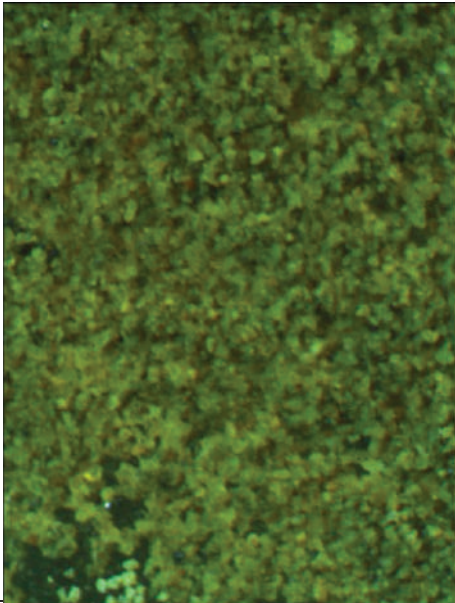
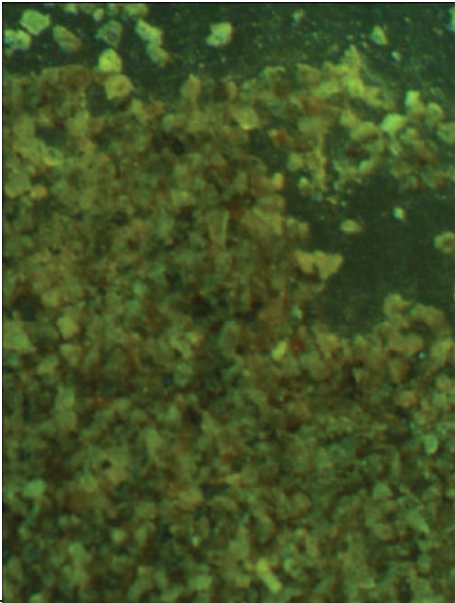
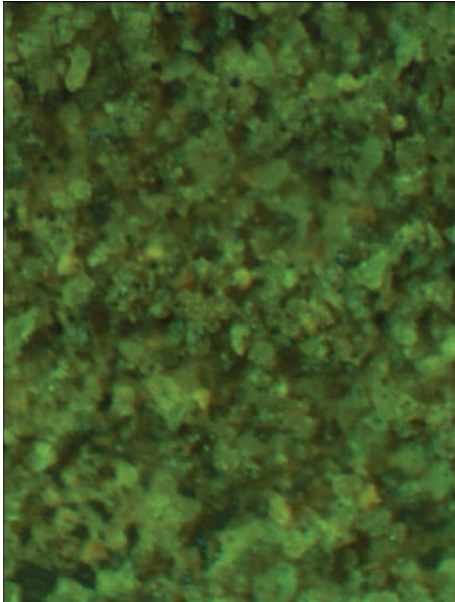
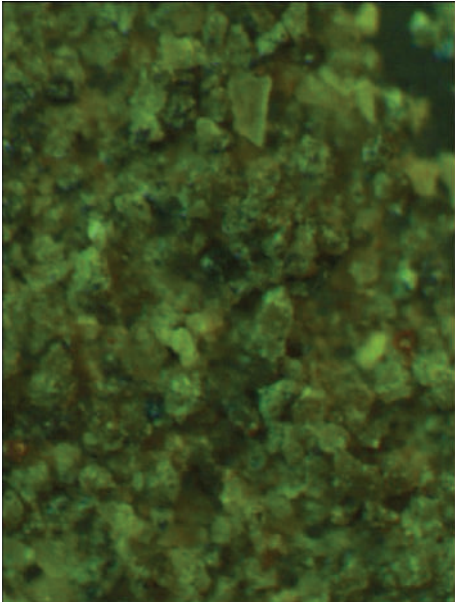
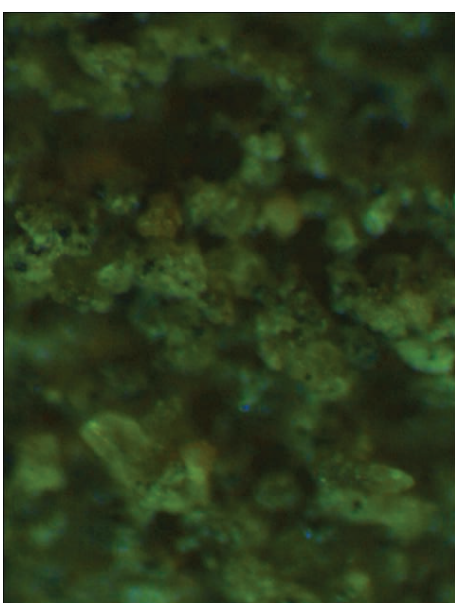
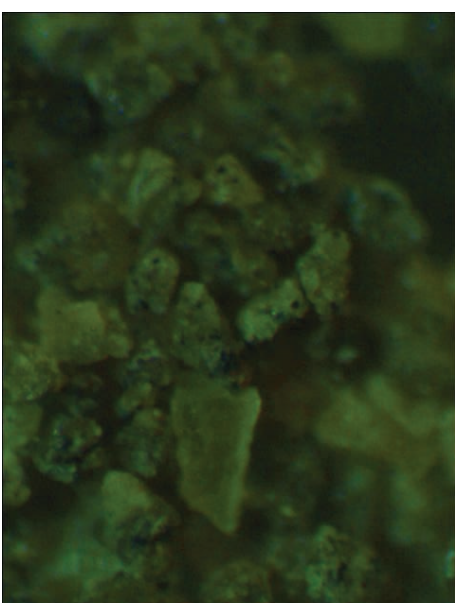
APÊNDICE B – Imagens do material de cada uma das faixas granulométricas obtidas durante análise com lupa binocular

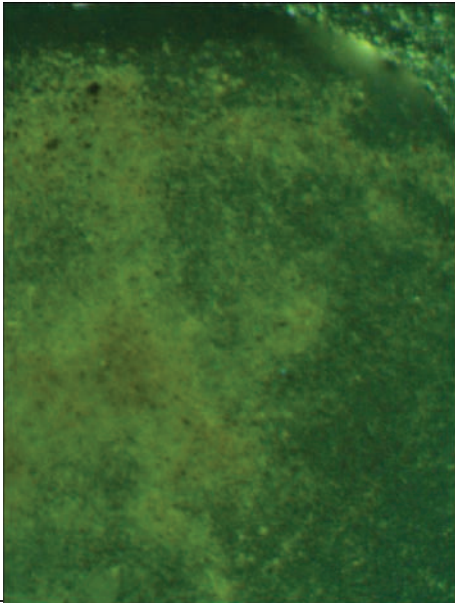
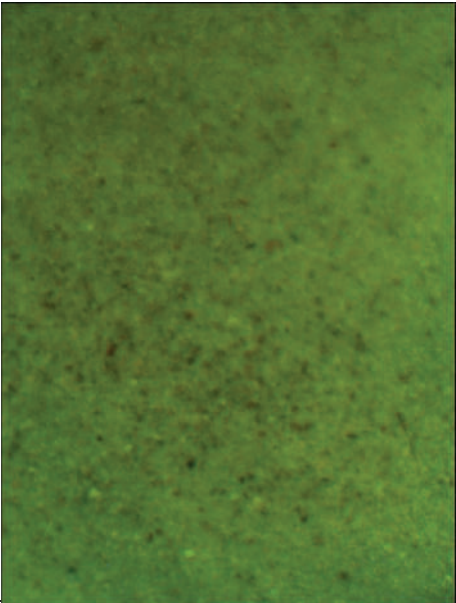
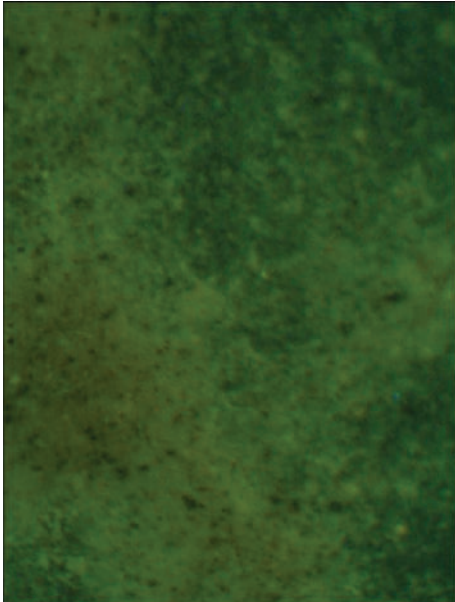
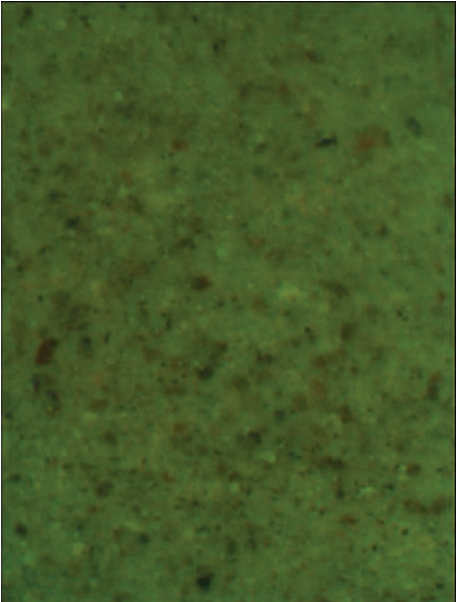
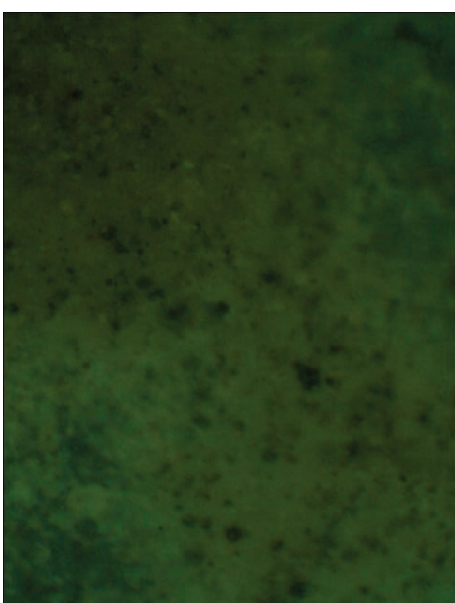
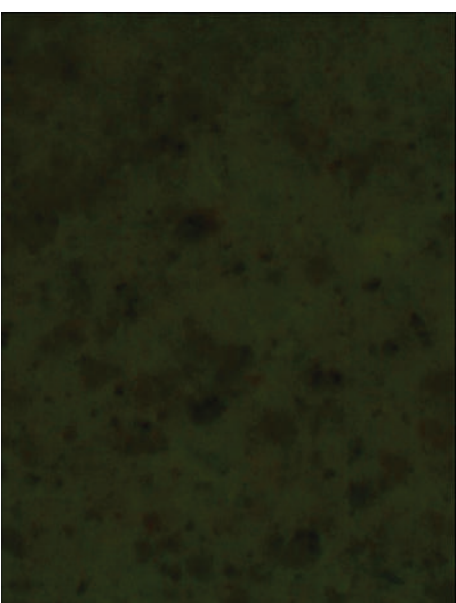
Na Tabela 34 estão apresentadas as imagens obtidas durante análise do material das faixas granulométricas +35, +65, +100, +150, +200, +270, +325, +400 e -400#, em lupa binocular. Os aumentos obtidos durante as análises foram de 20, 40 e 80 vezes. O *software* utilizado para a geração das imagens foi o *TS View*.

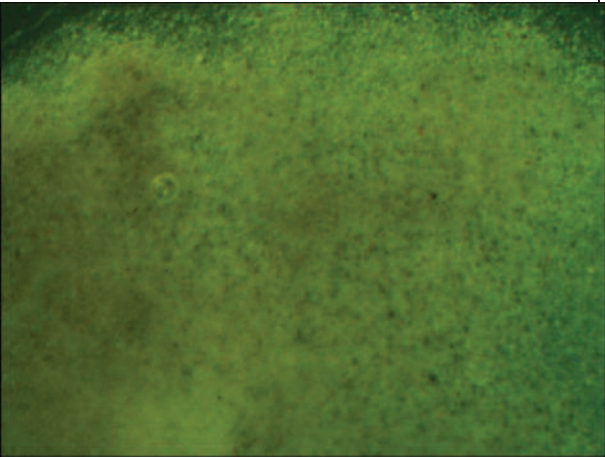
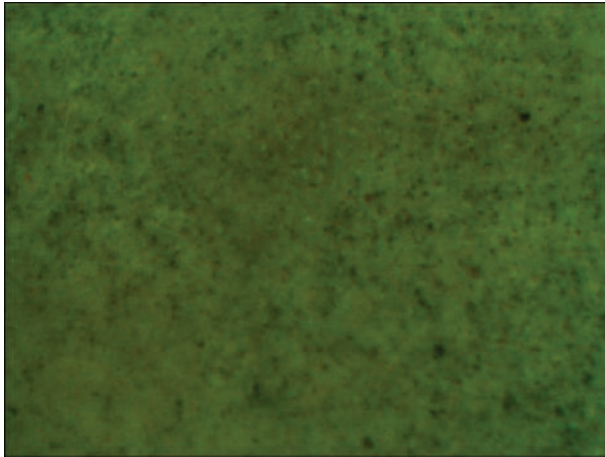
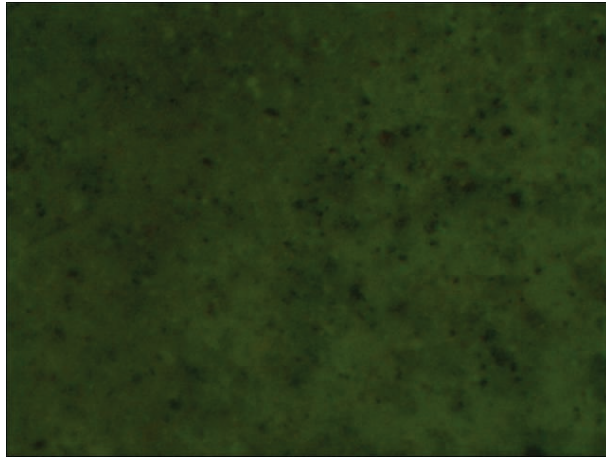
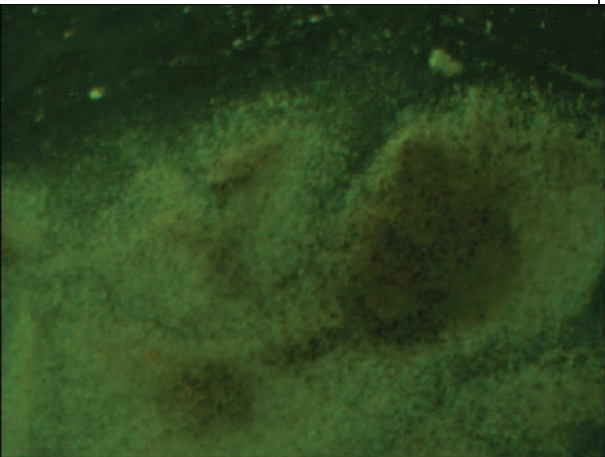
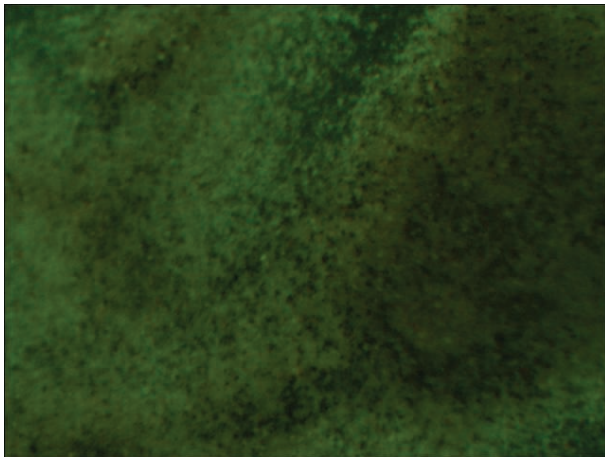
Tabela 34 - Imagens oriundas da análise com lupa binocular do material de cada uma das faixas granulométricas

	Aumento de 20 vezes	Aumento de 40 vezes	Aumento de 80 vezes
+35#			

+100#	+65#
	
	
	

+200#	+150#
	
	
	

+325#	+270#
 Micrograph showing a dense, granular green material with some darker spots, likely a biological or mineral sample.	 Micrograph showing a dense, granular green material with some darker spots, similar to the +325# sample.
 Micrograph showing a dense, granular green material with some darker spots, similar to the +325# sample.	 Micrograph showing a dense, granular green material with some darker spots, similar to the +270# sample.
 Micrograph showing a dense, granular green material with some darker spots, similar to the +325# sample.	 Micrograph showing a dense, granular green material with some darker spots, similar to the +270# sample.

<p>+400#</p>			
<p>-400#</p>			

Fonte: Elaboração da autora

APÊNDICE C – Mapeamento da distribuição dos elementos químicos dos grãos analisados através de MEV/EDS

A Tabela 35 apresenta o mapeamento da distribuição dos elementos químicos de cada um dos grãos analisados através de MEV/EDS. Ressalta-se que as porcentagens de ouro e nióbio presentes são provenientes do processo de recobrimento realizado na superfície da amostra durante a etapa de preparação da mesma para análise em MEV. Da mesma forma, a porcentagem de carbono refere-se ao fato da utilização de carbono para tornar as amostras condutoras para a visualização no MEV

Tabela 35 - Distribuição dos elementos químicos de cada um dos grãos analisados através de MEV/EDS

Elementos																
Grão	Si	O	Mg	Al	Fe	Ca	Ti	K	P	Na	V	Au	C	N	Nb	Total
1	17,02	25,65	2,35	4,58	4,91	...	...	...	...	...	...	18,47	17,73	9,29	...	100,00
2	16,83	31,35	2,32	4,25	11,74	1,86	2,95	...	...	...	...	28,70	...	...	...	100,00
3	14,18	39,00	2,75	3,76	3,50	...	...	1,44	...	...	...	7,21	15,48	12,67	...	100,00
4	...	20,76	...	...	...	19,28	...	...	9,55	...	...	17,68	14,09	18,64	...	100,00
5	16,87	30,19	2,09	3,99	3,44	0,03	...	...	...	...	...	13,16	19,56	...	10,68	100,00
6	24,88	14,59	1,70	6,10	14,98	2,06	...	...	...	...	...	35,69	...	...	...	100,00
7	10,32	44,37	6,98	1,35	2,36	...	...	2,23	...	1,17	...	...	16,07	8,24	6,92	100,00
8	5,41	22,45	1,43	1,56	3,08	0,80	16,29	...	...	...	1,07	19,40	13,30	15,22	...	100,00
9	12,43	29,49	2,91	...	3,84	2,01	1,21	...	...	3,22	...	13,78	18,07	...	13,04	100,00
10	11,22	41,24	3,99	3,20	2,52	...	...	0,40	...	...	...	4,32	13,61	11,69	7,81	100,00

Fonte: Elaboração da autora