

INSTITUTO DE QUÍMICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS - GEOQUÍMICA

FREDERICO TAVARES DE MELO

**DISPERSÃO E GEOQUÍMICA DE MINERAIS PESADOS PROVENIENTES DE
GRANITOS PÓS-TECTÔNICOS NA BACIA DO RIO PIABANHA – RJ**

**UNIVERSIDADE
FEDERAL
FLUMINENSE**

NITERÓI

2017

FREDERICO TAVARES DE MELLO

**DISPERSÃO E GEOQUÍMICA DE MINERAIS PESADOS PROVENIENTES
DE GRANITOS PÓS-TECTÔNICOS NA BACIA DO RIO PIABANHA – RJ**

Dissertação apresentada ao Curso de PósGraduação em
Geociências da Universidade Federal Fluminense,
como requisito parcial para a obtenção do Grau de
Mestre. Área de Concentração: Geoquímica Ambiental.

Orientadora:

Prof^a Dr^a Carla Semiramis Silveira

Coorientador:

Prof^o Dr^o Alfredo Victor Bellido Bernedo

NITERÓI

2017

UFF. SDC. Biblioteca de Pós-Graduação em Geoquímica

M527 Mello, Frederico Tavares de.

Dispersão e geoquímica de minerais pesados provenientes de granitos pós-tectônicos na Bacia do Rio Piabanha - RJ / Frederico Tavares de Mello. – Niterói : [s.n.], 2017.

150 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Geociências - Geoquímica Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, 2017.

Orientadora: Prof^a Dr^a Carla Semiramis Silveira. Coorientador:

FREDERICO TAVARES DE MELLO

**DISPERSÃO E GEOQUÍMICA DE MINERAIS PESADOS
PROVENIENTES DE GRANITOS PÓS TECTÔNICOS NA
BACIA DO RIO PIABANHA – RJ**

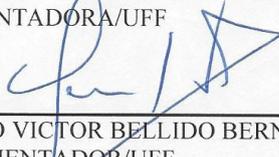
Dissertação apresentada ao Curso de Pós - Graduação
em Geociências da Universidade Federal Fluminense,
como requisito parcial para a obtenção do **Grau
de Mestre**. Área de Concentração: **Geoquímica
Ambiental**.

Aprovada em abril de 2017.

BANCA EXAMINADORA



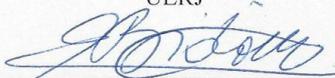
PROFA. DRA. CARLA SEMIRAMIS SILVEIRA
ORIENTADORA/UFF



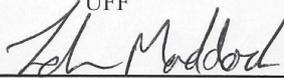
PROF. DR. ALFREDO VICTOR BELLIDO BERNEDO
COORIENTADOR/UFF



PROF. DR. CIRO ALEXANDRE ÁVILA
UERJ



PROF. DR. EDISON DAUSACKER BIDONE
UFF



PROF. DR. JOHN EDMUND LEWIS MADDOCK
UFF

NITERÓI
2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente a minha orientadora Carla por todo o apoio na realização deste trabalho. Sem a sua ajuda nada disso seria possível.

Ao meu coorientador Alfredo pela atenção dispensada, pelas dicas e comentários.

Ao José Luiz Mantovano pelo auxílio com as análises químicas.

À CAPES pela bolsa concedida.

À Amanda Costa e a minha namorada Laura Duarte pela ajuda e pela paciência.

RESUMO

Os minerais pesados ocorrem em todos os depósitos arenosos e formam assembleias minerais altamente específicas, em função das fontes que alimentam os depósitos e dos processos intempéricos e erosivos aos quais foram submetidos. O estudo destes minerais é empregado em diversos campos da geologia, como na prospecção mineral, na sedimentologia e na petrografia. No presente trabalho se buscou caracterizar a assembleia de minerais pesados provenientes da Suíte Nova Friburgo (granitos pós-tectônicos), assim como a geoquímica dos concentrados destes minerais, e mapear o seu padrão de dispersão ao longo da bacia do Rio Piabanha, localizada na região serrana fluminense, no contexto geológico do Orógeno Ribeira. Foram coletadas 12 amostras de sedimento fluvial ao longo da bacia e foram analisados os concentrados de minerais pesados pertencentes às frações granulométricas areia fina e a areia muito fina. As análises mineralógicas foram feitas através de Difração de Raios-X (qualificação) e de contagem de grãos em lupa (quantificação), enquanto as análises químicas foram realizadas por Fluorescência de Raios-X. Em toda a bacia o zircão e a apatita se mostram mais concentrados na fração areia muito fina, assim como os elementos Zr, Y e Hf (associados ao zircão) e P e La (associados a apatita). Os resultados encontrados mostram que as assembleias provenientes dos granitos pós-tectônicos se distinguem por conter grandes concentrações de magnetita, além de possuir pequenas concentrações de piroxênio e monazita, os quais ocorrem somente associados ao Corpo Frades da Suíte Nova Friburgo. Quanto a geoquímica, os concentrados provenientes dos granitos pós-tectônicos se destacam por apresentarem altas concentrações de Fe_2O_3 , de Cr e de Sr, este último associado principalmente a apatita. A influência de sua assembleia nos concentrados de minerais pesados é restrita a até cerca de 15 quilômetros das áreas fontes. O principal fator limitante a isto é a entrada de novos sedimentos provenientes de outras fontes, contendo concentrações mais elevadas de zircão, ilmenita e anfibólio e encobrimdo, portanto, as características mineralógicas e geoquímicas originais na foz da bacia.

Palavras-Chave: Suíte Nova Friburgo. Placer. Proveniência. Mineralogia. Fluvial.

ABSTRACT

Heavy minerals occur in all sandy deposits and form highly specific mineral assemblages. These deposits are the result of both weathering and erosive processes of their geological sources. The study of these minerals is used in many fields of geology, like mineral prospection, sedimentology and petrography. This study aimed to distinguish the heavy mineral assemblage from Suíte Nova Friburgo (post-tectonic granites) in terms of its geochemistry and also map its dispersion pattern along the Piabanha watershed. Piabanha watershed is located in the mountainous region of Rio de Janeiro state and geologically associated to Ribeira Orogen. Twelve fluvial sediment samples were collected along this watershed. Two fractions of the heavy mineral concentrate were analyzed: the fine sand and the very fine sand. Mineralogy was determined by X-Ray Diffraction (qualitative) and grain counting (quantitative), and geochemistry by X-Ray Fluorescence. Along the whole watershed zircon and apatite are common in the very fine sand fraction. Zr, Y, Hf (associated to zircon) and P, La (associated to apatite) show the same behavior. The results show that the assemblage from the post-tectonic granites are distinguished by large magnetite concentration, besides small pyroxene and monazite concentrations, associated to Corpo Frades from Suíte Nova Friburgo. The geochemistry of the heavy mineral concentrate from these granites are distinguished by high concentrations of Fe_2O_3 , Cr and Sr, the last one mainly associated to apatite. The influence of the heavy minerals assemblage from the Nova Friburgo granites is restricted to about 15 kilometers from its source areas. The input of sediments (with more zircon, ilmenite and amphibole) from other geological sources hides the influence of the granites in the watershed outfall.

Keywords: Suíte Nova Friburgo. Placer. Provenance. Mineralogy. Fluvial.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do processo de sedimentação com os principais fatores que modificam as características do sedimento.....	16
Figura 2 - Locais preferenciais de deposição de minerais pesados em ambiente fluvial	17
Figura 3 - Falsas anomalias produzidas por trapas que aprisionam os minerais pesados no leito da drenagem.....	19
Figura 4 - Classificação e nomenclatura das rochas quartzo-feldspáticas plutônicas de acordo com seu conteúdo mineral	22
Figura 5 - Ambiente tectônico de formação dos granitoides sin-colisionais e dos granitoides pós-colisionais.....	24
Figura 6 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Piabanha.....	25
Figura 7 - Mapa Geomorfológico da Bacia do Rio Piabanha.....	27
Figura 8 - Sistema Orogênico Mantiqueira.....	30
Figura 9 - Mapa geológico da bacia do Rio Piabanha.	32
Figura 10 - Mapa geológico com a distribuição dos pontos de coleta de amostra.	47
Figura 11 - Peneiramento das amostras.	48
Figura 12 - Separação dos minerais pesados por imersão em Bromofórmio	49
Figura 13 - Fluxograma das etapas de preparo das amostras.....	50
Figura 14 - Concentração de minerais pesados em cada amostra para a fração areia fina e areia muito fina.	54
Figura 15 - Concentração média dos principais minerais encontrados para as frações areia fina e areia muito fina.	58
Figura 16 - Comparação da variação entre as amostras da concentração média de apatita para as frações areia fina e areia muito fina.	59
Figura 17 - Comparação da variação entre as amostras da concentração média de zircão para os diferentes intervalos granulométricos.	60
Figura 18 - Projeção das correlações para os principais minerais obtidos na análise mineralógica para a fração areia fina, obtidas através de estatística multivariada (PCA).....	63
Figura 19 - Projeção da correlação para as amostras (casos) obtidas a partir da estatística multivariada, usando os principais minerais encontrados na análise mineralógica para a fração areia fina.	64
Figura 20 - Projeção das correlações para os principais minerais obtidos na análise mineralógica para a fração areia muito fina, obtidas através de estatística multivariada (PCA).....	67
Figura 21 - Projeção da correlação para as amostras (casos) obtidas a partir da estatística multivariada, usando os principais minerais encontrados na análise mineralógica para a fração areia muito fina.	68
Figura 22 - Linha de tendência mostrando a relação entre a concentração de magnetita e a concentração de Fe_2O_3	71
Figura 23 - Concentração média dos principais elementos para as frações areia fina e areia muito fina.	72

Figura 24 - Concentração média dos elementos menos abundantes para as frações areia fina e areia muito fina.	73
Figura 25 - Projeção das correlações para os principais elementos encontrados na análise química para a fração areia fina, obtidas através de estatística multivariada (PCA).	78
Figura 26 - Projeção da correlação para as amostras (casos) obtidas a partir da estatística multivariada, para a fração areia fina, usando os principais elementos encontrados na análise química.	79
Figura 27 - Correlação entre a concentração de Zr (%) e a de Y (100.%) nas amostras	82
Figura 28 - Projeção das correlações para os principais elementos encontrados na análise química para a fração areia muito fina, obtidas através de estatística multivariada (PCA).	84
Figura 29 - Projeção da correlação para as amostras (casos) obtidas a partir da estatística multivariada, para a fração areia muito fina, usando os principais elementos encontrados na análise química.	85
Figura 30 - Gráfico de barras com o percentual de área de drenagem das unidades geológicas da bacia do Rio Piabanha para cada ponto de amostragem.	86
Figura 31 - Representação do caminho de dispersão dos sedimentos a partir dos Corpos Frades e Conselheiro Paulino da Suíte Nova Friburgo.	95
Figura 32 - Representação do caminho de dispersão dos sedimentos a partir do Corpo Andorinha da Suíte Nova Friburgo.	97
Figura 33 - Representação do caminho de dispersão dos sedimentos a partir do Corpo Teresópolis da Suíte Nova Friburgo.	97
Figura 34 - Variação da concentração de magnetita (média entre as frações) ao longo dos caminhos de dispersão a partir dos corpos Frades/Conselheiro Paulino, Andorinha e Teresópolis.	98
Figura 35 - Variação da concentração de Fe ₂ O ₃ (média entre as frações) ao longo dos caminhos de dispersão a partir dos corpos Frades/Conselheiro Paulino, Andorinhas e Teresópolis.	100
Figura 36 - Variação da concentração de Cr (média entre as frações) ao longo dos caminhos de dispersão a partir dos corpo Frades/Conselheiro Paulino, Andorinha e Teresópolis.	102
Figura 37 - Variação da concentração de Sr (média entre as frações) ao longo do caminho de dispersão a partir dos Corpos Frades/Conselheiro Paulino.	103
Figura 38 - Variação da concentração de Sr (média entre as frações) ao longo do caminho de dispersão a partir do Corpo Andorinha.	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ordem de estabilidade química dos minerais pesados de comum ocorrência	18
Tabela 2 - Algumas características distintivas dos quatro tipos de granito	23
Tabela 3 - Composição mineralógica média das litologias pertencentes ao Complexo Rio Negro .	34
Tabela 4 - Média da concentração de elementos maiores nas rochas pertencentes ao Complexo Rio Negro.....	35
Tabela 5 - Média da concentração de elementos menores e traços nas rochas pertencentes ao Complexo Rio Negro	36
Tabela 6 - Média da concentração de elementos maiores nas rochas da Suíte Serra dos Órgãos	38
Tabela 7 - Média da concentração de elementos menores e traços nas rochas da Suíte Serra dos Órgãos	39
Tabela 8 - Média da composição modal do biotita granito Andorinha.....	41
Tabela 9 - Composição química média dos corpos Frades, Andorinha , Teresópolis e Conselheiro Paulino da Suíte Nova Friburgo.....	42
Tabela 10 - Composição mineralógica dos basaltos pertencentes ao Enxame de Diques da Serra do Mar.....	43
Tabela 11 - Média da concentração de elementos maiores nos basaltos do enxame de diques da Serra do Mar.....	44
Tabela 12 - Média da concentração de elementos maiores nos basaltos do enxame de diques da Serra do Mar.....	45
Tabela 13 - Média (wt%) da composição mineralógica dos concentrados de minerais pesados envolvendo as duas frações granulométricas	56
Tabela 14 - Concentração média (wt%) dos minerais para a fração areia fina.....	61
Tabela 15 - Coeficiente de correlação para os principais minerais na fração areia fina.....	62
Tabela 16 - Concentração média (wt%) dos minerais para a fração areia muito fina	65
Tabela 17 - Coeficiente de correlação para os principais minerais no intervalo granulométrico entre 0,125 e 0,062 mm.....	66
Tabela 18 - Composição química e grau de estabilidade dos minerais presentes no concentrado. ..	69
Tabela 19 - Média da composição química do concentrado de minerais pesados para as 24 amostras	70
Tabela 20 - Concentração média dos elementos químicos que ocorrem acima do limite de detecção em mais da metade das amostras na fração areia fina.....	74
Tabela 21 - Coeficiente de correlação para os principais elementos na fração areia fina	75
Tabela 22 - Concentração média dos elementos químicos que ocorrem acima do limite de detecção em mais da metade das amostras para a fração areia muito fina	80
Tabela 23 - Coeficiente de correlação para os principais elementos na fração areia muito fina	81
Tabela 24 - Associação entre a assembleia mineral dos concentrados de minerais pesados e a forma de ocorrência desta nas principais unidades geológicas da bacia do Rio Piabanha.....	87
Tabela 25 - Concentração média (%) dos elementos maiores para Suíte Serra dos Órgãos, Complexo Rio Negro e Suíte Nova Friburgo.....	90
Tabela 26 - Composição química para elementos maiores das quatro litologias que compõe a Suíte Nova Friburgo	92

Tabela 27 - Composição química (ppm) para os elementos menores e traços (somente os que aparecem na geoquímica dos concentrados) da Suíte Serra dos Órgãos, Complexo Rio Negro e Suíte Nova Friburgo.....	93
--	----

SUMÁRIO

RESUMO	4
ABSTRACT	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABELAS	8
1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVOS GERAIS	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 BASE TEÓRICA	15
3.1 MINERAIS PESADOS	15
3.2 GRANITOS PÓS-TECTÔNICOS	21
4 ÁREA DE ESTUDO	25
4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	25
4.2 RELEVO E GEOMORFOLOGIA	26
4.3 CONTEXTO GEOLÓGICO	29
4.4 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	32
4.4.1 Complexo Quirino	32
4.4.2 Complexo Juiz de Fora	33
4.4.3 Complexo Paraíba do Sul	33
4.4.4 Suíte Graminha	33
4.4.5 Grupo Andrelândia	33
4.4.6 Complexo Rio Negro	34
4.4.7 Suíte Rio Turvo	37
4.4.8 Suíte Cordeiro	37
4.4.9 Suíte Serra dos Órgãos	37
4.4.10 Suíte Nova Friburgo	40
4.4.11 Enxame de Diques da Serra do Mar	43
5 METODOLOGIA	46
5.1 COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS	46
5.2 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X	51
5.3 QUANTIFICAÇÃO ATRAVÉS DE CONTAGEM DE GRÃOS	51
5.4 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X	53

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
6.1 MINERALOGIA.....	55
6.1.1 Aspectos Gerais	55
6.1.2 Resultados para a fração areia fina	61
6.1.3 Resultados para a fração areia muito fina	65
6.2 GEOQUÍMICA.....	69
6.2.1 Aspectos Gerais	69
6.2.2 Resultados para a fração areia fina	74
6.2.3 Resultados para a fração areia muito fina	79
6.3 CONTRIBUIÇÕES RELATIVAS DAS UNIDADES GEOLÓGICAS NOS CONCENTRADOS DE MINERAIS PESADOS	85
6.3.1 Relação entre a mineralogia dos concentrados de minerais pesados e as unidades litoestratigráficas	86
6.3.2 Relação entre a geoquímica dos concentrados de minerais pesados e as unidades litoestratigráficas	90
6.4 DISPERSÃO DE MINERAIS PESADOS A PARTIR DOS GRANITOS PÓS-TECTÔNICOS.....	94
7 CONCLUSÕES	105
8 REFERÊNCIAS	108
9 ANEXOS	115
9.1 MINERALOGIA DA FRAÇÃO AREIA FINA	115
9.2 MINERALOGIA DA FRAÇÃO AREIA MUITO FINA.....	116
9.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA FRAÇÃO AREIA FINA	117
9.4 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA FRAÇÃO AREIA MUITO FINA.....	118
9.5 TABELAS DE REFERÊNCIA PARA O CÁLCULO DA PORCENTAGEM EM PESO DOS MINERAIS.....	119
9.5.1 Tabelas de referência da fração areia fina	119
9.5.2 Tabelas de referência da fração areia muito fina	131
9.6 Difractogramas	140
9.6.1 Difractogramas da fração areia fina.....	140
9.6.2 Difractogramas da fração areia muito fina	146

1 INTRODUÇÃO

A bacia do rio Piabanha fica localizada na região serrana fluminense, sendo um importante afluente do rio Paraíba do Sul, e seu arcabouço geológico é formado principalmente por granitos e ortognaisses. A maioria das suas unidades litoestratigráficas foram geradas e/ou deformadas durante o Ciclo Brasileiro, ocorrido entre o neoproterozóico e o paleozoico inferior (TUPINAMBÁ et al., 2012). Os granitos pós-tectônicos da Suíte Nova Friburgo, no entanto, foram gerados devido à descompressão ocorrida após o término deste evento orogênico. Os maciços graníticos desta unidade não apresentam deformação e são constituídos de granitos, granodioritos e enclaves básicos (JUNHO, 1990).

Na bacia do rio Piabanha ocorrem quatro corpos destes granitos: Corpo Frades, Corpo Conselheiro Paulino, Corpo Teresópolis e Corpo Andorinha (TUPINAMBÁ et al., 2012). Estes corpos de granitos pós-tectônicos ocorrem nas áreas com maior altitude, próximos às cabeceiras dos rios, sendo, portanto, áreas fontes propícias aos estudos de dispersão mineral em sedimentos de corrente.

Os minerais pesados são amplamente empregados em estudos que buscam mapear os padrões de dispersão dos sedimentos em determinados ambientes. Estes minerais estão presentes em todos os depósitos arenosos, comumente com concentrações correspondentes a menos do que 1% do sedimento, e formam assembleias muito específicas (MANGE; MAURER, 1992). Considerando-se que a determinação da assembleia de minerais pesados acessórios encontrados nas rochas permite distinguir as diferentes unidades geológicas, é possível correlacionar os minerais pesados nos sedimentos às suas diferentes áreas fontes (PEREIRA; ÁVILA; LIMA, 2005).

A compreensão dos mecanismos que controlam a dispersão destes minerais, assim como o mapeamento das distâncias percorridas a partir das áreas fontes, é importante na contribuição para o entendimento de sua dinâmica nos sistemas fluviais. Servindo assim de base, por exemplo, a estudos que visam a formação de mineralizações em depósitos de placer ou a campanhas de prospecção mineral através de minerais guias.

Um estudo de proveniência sedimentar através da análise de minerais pesados, realizado no leito do rio Amazonas, usou a estatística multivariada para correlacionar as

espécies minerais. Identificou-se, desta forma, que a influência andina se mostra mais importante no alto rio, mas constata-se a presença de minerais andinos até a foz. A partir da entrada do afluente Juruá há predomínio de minerais provenientes das rochas metassedimentares do escudo cristalino pré-cambriano (LANDIM et al., 1983).

Santana (2013) em estudo sobre a ocorrência de ETR no maciço granítico Serra Dourada em Goiás/Tocantins mostrou que esses elementos tendem a se concentrar na medida em que avançam os processos intempéricos e erosivos, e as maiores concentrações foram encontradas nos concentrados de minerais pesados obtidos em depósitos de placer (cerca de 22wt%).

Os granitos pós-tectônicos da Suíte Nova Friburgo, por sua vez, mostram-se enriquecidos em Fe, Ti, Ba, P e Sr. E tem como minerais pesados anfibólio, micas, minerais opacos (magnetita e ilmenita), piroxênio, apatita, zircão, titanita, allanita, monazita e pirita (JUNHO, 1990). Contudo a maior parte desses minerais é também descrita em diversas das unidades litoestratigráficas que compõe o arcabouço geológico da bacia, por isso as caracterizações e diferenciações das assembleias devem levar em conta as proporções com que tais minerais ocorrem, a geoquímica dos concentrados e os minerais traços presentes.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar a dispersão, em ambiente fluvial, da assembleia de minerais pesados proveniente de granitos pós-tectônicos (Suíte Nova Friburgo) na bacia do rio Piabanha. Objetiva-se desta forma detectar a assinatura mineralógica e geoquímica dos concentrados de minerais pesados provenientes destes granitos, e determinar o gradiente espacial desta dispersão.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar o conteúdo mineral das assembleias de minerais pesados contidas nos depósitos de placer da bacia do Rio Piabanha, comparando os resultados obtidos em dois intervalos granulométricos distintos: fração areia fina e fração areia muito fina.
- Caracterizar a assembleia de minerais pesados provenientes especificamente dos granitos pós-tectônicos da Suíte Nova Friburgo.
- Caracterizar a assinatura geoquímica das assembleias de minerais pesados e correlacionar com a mineralogia, de forma a compreender a distribuição dos elementos químicos na composição dos minerais presentes. Caracterizar a geoquímica da assembleia de minerais pesados proveniente dos granitos pós-tectônicos e comparar os resultados obtidos para as frações areia fina e areia muito fina.
- Correlacionar a composição química e mineralógica dos concentrados de minerais pesados com as composições das rochas fonte, inferindo sobre as contribuições relativas das principais unidades litoestratigráficas da bacia.
- Determinar o gradiente espacial da dispersão a partir dos granitos pós-tectônicos, identificando os fatores que influem no controle da mesma.

3 BASE TEÓRICA

3.1 MINERAIS PESADOS

Os minerais pesados (densidade acima de 2,9 g/cm³) ocorrem em todos os depósitos arenosos e apesar de sua concentração variar significativamente, o mais comum é que representem menos de 1% do sedimento. Estes minerais formam assembleias extremamente específicas distribuídas ao longo do sistema deposicional envolvido, permitindo a interpretação e a formulação de hipóteses a respeito de suas fontes e caminhos de transporte (ADDAD, 2010).

O estudo dos minerais pesados tem largo emprego nos campos mais tradicionais da geologia. Na geologia econômica e na prospecção mineral eles são comumente usados como minerais guias na busca por depósitos minerais. Em estudos de sedimentologia e estratigrafia servem para a determinação das áreas de proveniência. No campo da petrografia, a determinação da suíte de minerais pesados acessórios encontrados nas rochas permite distinguir as diferentes unidades geológicas (PEREIRA; ÁVILA; LIMA, 2005). Além dessas aplicações, os estudos envolvendo minerais pesados podem servir também para mapear os padrões de dispersão dos sedimentos em um determinado ambiente; para traçar os caminhos de transporte do sedimento, complementando análises sobre paleocorrentes; indicar ações de regimes hidráulicos específicos e processos de concentração; e auxiliar na interpretação de processos diagenéticos (MANGE; MAURER, 1992).

Apesar das relações que permitem correlacionar a assembleia de minerais pesados a fontes específicas, a diferença entre a mineralogia da rocha fonte e a do seu produto de intemperismo pode ser significativa, uma vez que a paragênese original é modificada por fatores que atuam durante o processo de sedimentação, intemperismo e diagênese (**Figura 1**). Dentre os processos que afetam a assembleia original, cabe destacar: seleção hidráulica, abrasão mecânica e dissolução intempérica ou pós-deposicional. Sendo assim, a quantidade e a composição desses minerais em um determinado depósito dependem da abundância nas áreas fontes e do transporte ao qual foram submetidos, além das características intrínsecas de cada mineral, como sua capacidade de resistir ao intemperismo e à abrasão; e o seu potencial de deposição e segregação devido a diferenças na densidade e na forma (MORTON; HALLSWORTH, 1999).

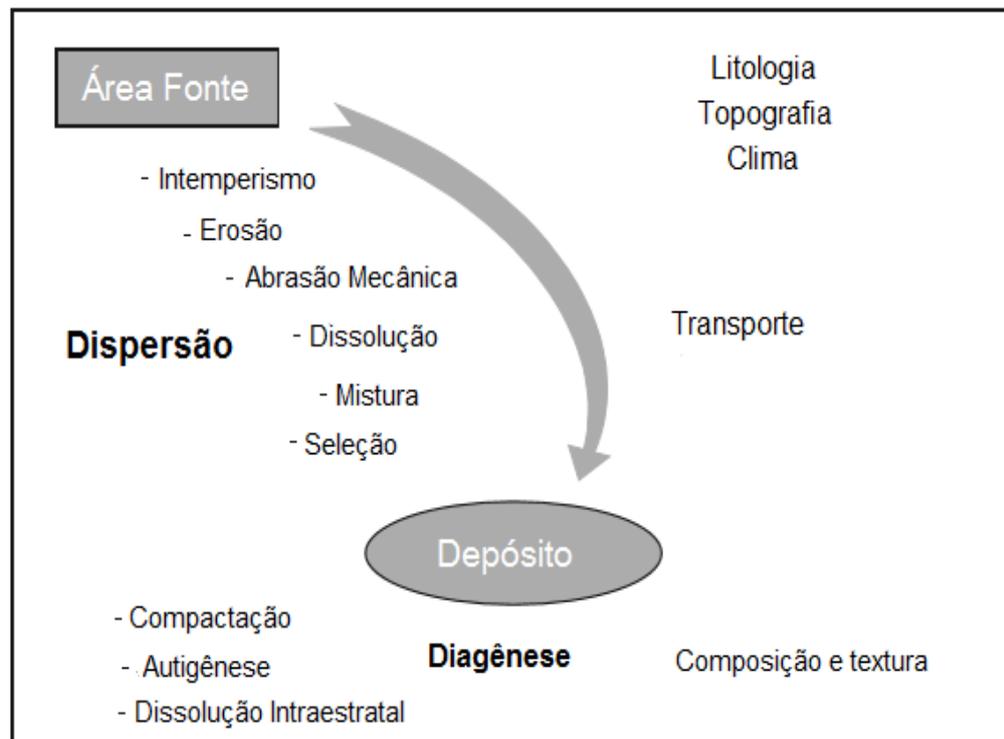


Figura 1 - Representação do processo de sedimentação com os principais fatores que modificam as características do sedimento

Fonte: Modificado de WELTJE; EYNATTEN, 2004.

A seleção hidráulica resulta das condições hidrodinâmicas operantes durante o transporte e a deposição e depende da forma e da densidade dos minerais presentes. Dessa maneira, há um controle da abundância para cada espécie mineral em virtude de seu comportamento hidráulico (MORTON; HALLSWORTH, 1994). Genericamente pode-se afirmar que o acúmulo desses minerais é dado em virtude da perda de energia produzida pelo agente de transporte (rio, mar, vento), o que ocasiona a deposição em locais propícios. No caso do transporte fluvial, a deposição das partículas se dá em pontos específicos onde há uma diminuição da velocidade da corrente, como meandros, pontos após o encontro de rios, poços de cachoeiras, zonas de remanso, obstáculos naturais no leito, entre outros (PEREIRA; ÁVILA; LIMA, 2005). A **Figura 2** expõe alguns dos exemplos citados.

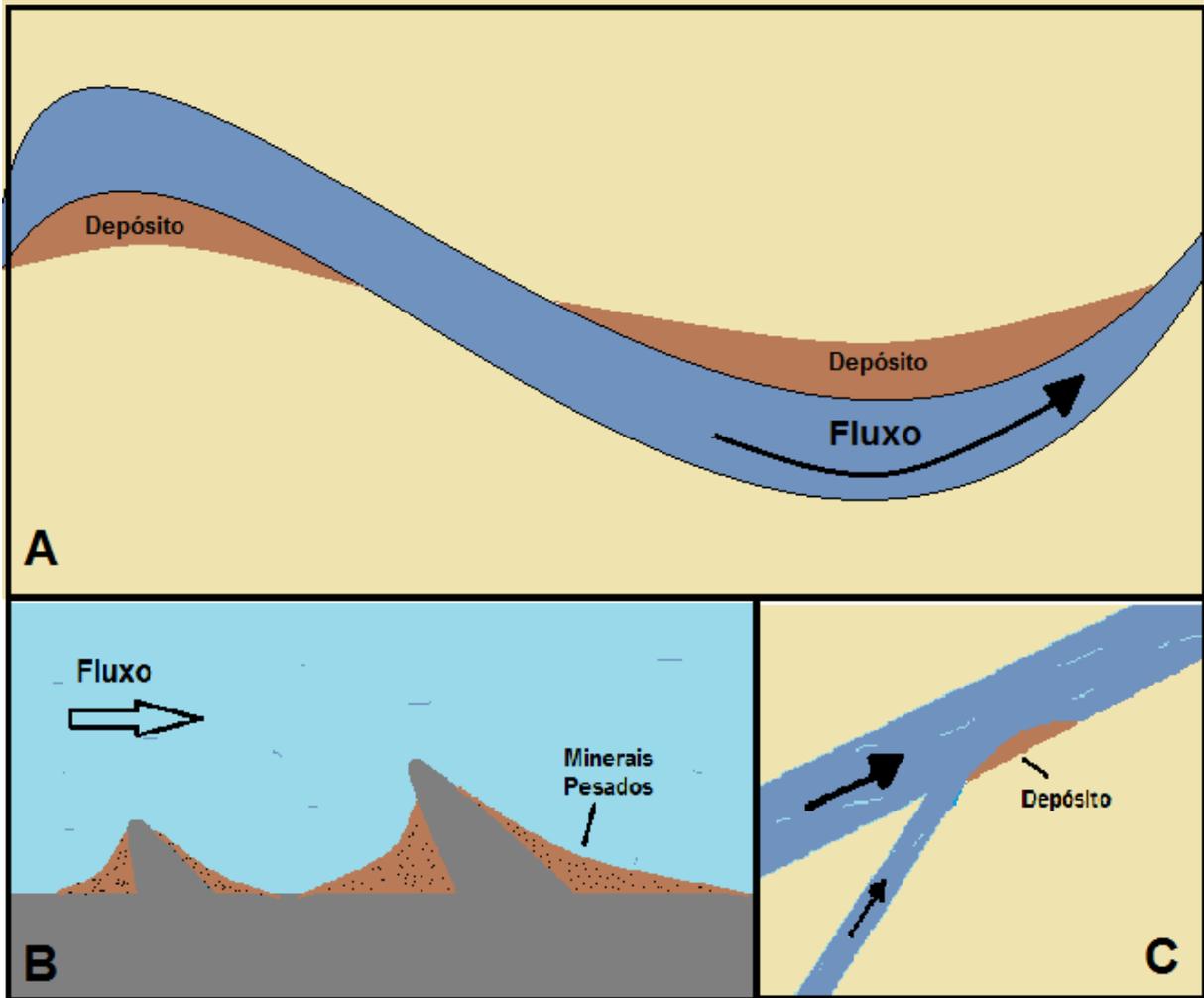


Figura 2 - Locais preferenciais de deposição de minerais pesados em ambiente fluvial **A:** Meandros do rio. **B:** Na adjacência de obstáculos do leito. **C:** Após o encontro de rios.

Fonte: Adaptado de PEREIRA; ÁVILA; LIMA, 2005.

A abrasão mecânica ocorre ao longo do transporte causando a diminuição do tamanho dos grãos. A presença de clivagens, descontinuidades, falhas de cristalização, inclusões, fraturamento metamórfico, tornam um grão mais suscetível a ser fragmentado durante o transporte. De maneira geral, a resistência mecânica é favorecida pela clivagem imperfeita, ou inexistente, e pela dureza do mineral (SUGUIO, 1980).

A dissolução provoca a perda parcial ou completa dos minerais, podendo ocorrer em variadas condições geoquímicas e em diversos estágios do ciclo de sedimentação. Ela atua já nos estágios iniciais deste processo, pois o clima, a vegetação e a fisiografia da área fonte de uma determinada população controlam a pré-seleção dos grãos e a sua taxa de entrega ao ambiente sedimentar. A maioria dos minerais pesados tem um baixo grau de preservação

devido às instabilidades químicas e mecânicas. Em geral, quanto maior a temperatura e a pressão de formação do mineral, menos estável ele é quando submetido ao intemperismo, ou seja, a sequência de estabilidade química dos minerais é aproximadamente inversa à série de cristalização de Bowen (1928) (SUGUIO, 1980).

Sendo assim, alguns minerais que apresentam pequenas concentrações na rocha fonte tendem a se enriquecer no sedimento, devido a sua alta resistência. Outros, no entanto, podem ser abundantes na fonte, mas devido a sua instabilidade vão desaparecendo à medida que são transportados (ADDAD, 2010). A **Tabela 1** mostra a estabilidade relativa entre alguns minerais pesados. Cabe ressaltar que o grau de estabilidade varia para cada autor, uma vez que ela é influenciada por fatores externos como as características químicas do meio. A apatita, por exemplo, se dissolve mais facilmente em condições de pH ácido, tendo assim a sua estabilidade fortemente influenciada pelas características do ambiente (DIAS, 2004).

Tabela 1 - Ordem de estabilidade química dos minerais pesados de comum ocorrência

Muito Instáveis	Instáveis	Moderadamente Estáveis	Estáveis	Muito Estáveis
Olivina	Anfibólios	Epidoto	Apatita	Rutilo
	Piroxênios	Cianita	Granada (-Fe)	Zircão
	Andalusita	Granada (+ Fe)	Estaurolita	Turmalina
		Sillimanita	Monazita	Anatásio
		Titanita	Biotita	
		Zoisita	Magnetita	
			Ilmenita	

Fonte: Adaptado de PETTIJHON; POTTER; SIEVER, 1972.

Portanto, as características específicas do meio de transporte e intrínsecas dos minerais controlam a conservação e comportamento frente às condições de fluxo, aos impactos, esforços e solicitações físicas. Dessa forma, determinados minerais são considerados frágeis, sem capacidade de resistir ao transporte pela corrente. A presença desses minerais em um depósito pode ser um indicador de que a área fonte localiza-se nas proximidades. Contudo,

nem sempre a dispersão de minerais pesados acompanha o tradicional modelo de diluição de anomalias geoquímicas, que decaem corrente abaixo, à medida que se distanciam das áreas fontes. As suas concentrações podem ser acentuadas em virtude da existência de locais favoráveis a captura desses minerais (trapas), o que acarretará no surgimento de falsas anomalias corrente abaixo (PEREIRA; ÁVILA; LIMA, 2005). A **Figura 3** exemplifica este fenômeno.

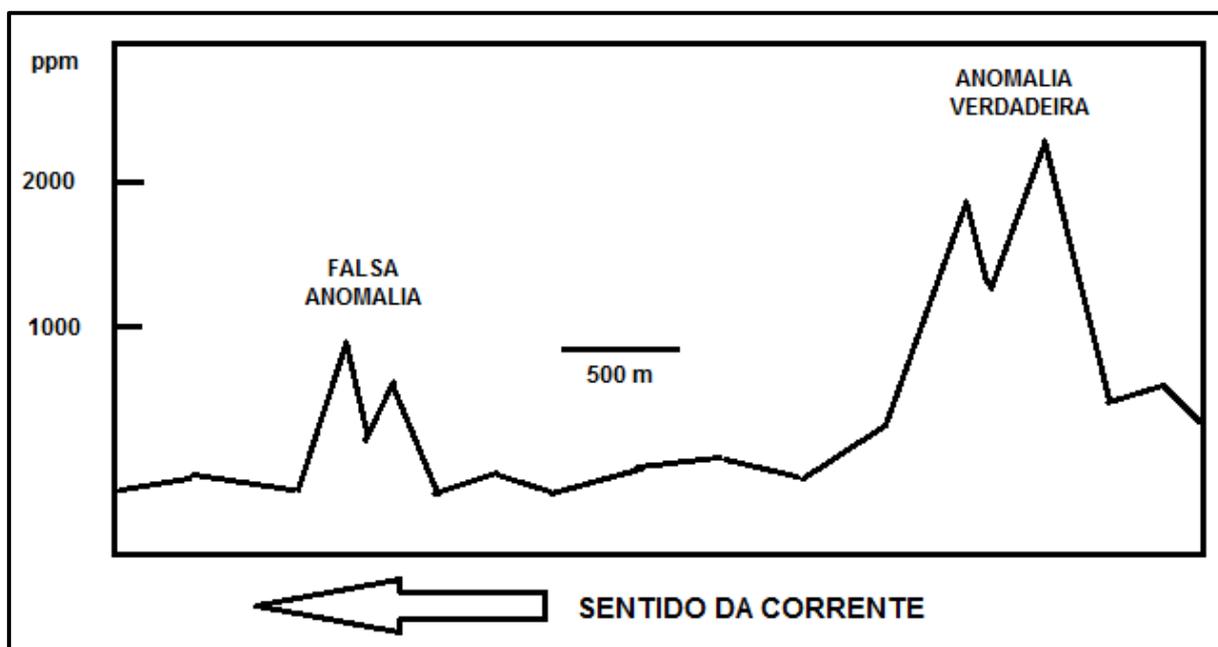


Figura 3 - Falsas anomalias produzidas por trapas que aprisionam os minerais pesados no leito da drenagem

Fonte: Adaptado de PEREIRA; ÁVILA; LIMA, 2005.

De maneira geral, os minerais pesados presentes em um depósito possuem uma dimensão média inferior à do sedimento em que estão inseridos (RIBEIRO; CASCALHO; TABORDA, 2009). Na maior parte dos depósitos os minerais pesados tendem a ser mais concentrados na fração granulométrica compreendida entre 0,250 mm e 0,062 mm (PARFENOFF; POMEROL; TOURENQ, 1970). Porém, em um mesmo depósito arenoso, frações granulométricas distintas podem apresentar diferentes associações minerais. A estauroлита, a andalusita e a cianita, por exemplo, tendem a ocorrer preferencialmente nas frações mais grossas. Esta distribuição granulométrica de minerais pesados depende da disponibilidade de tamanho do mineral na fonte, das diferenças na densidade e na forma dos grãos e dos padrões hidrodinâmicos de distribuição dos mesmos. Estas relações podem ser

observadas em um leito de grãos misturados, onde interações hidrodinâmicas entre os grãos tornam os mais densos e menores mais difíceis de serem levantados pelo fluxo, pois os grãos maiores ocultam os menores, dificultando que estes sejam arrancados do fundo e carregados pelo fluxo (ADDAD, 2010).

Um estudo realizado na plataforma continental e litoral de Nazaré (Portugal) analisou as diferenças dimensionais entre as partículas de minerais pesados e a generalidade do sedimento. De um modo geral, verificou-se que os minerais pesados presentes, com exceção da mica, possuem diâmetros médios inferiores ao do sedimento. Os resultados referentes à mica são diferenciados devido a sua forma lamelar, que gera uma resistência maior à deposição. Para os demais minerais os resultados indicam a importância da densidade como fator seletivo do diâmetro das partículas nos depósitos. O autor destaca ainda que para determinados minerais, como o zircão, o efeito da fonte sedimentar pode ser um fator determinante na limitação do intervalo, pois este mineral ocorre na própria rocha fonte somente com pequeno diâmetro (RIBEIRO; CASCALHO; TABORDA, 2009).

Em um estudo de proveniência sedimentar, realizado no sudeste da Ásia, os autores fizeram uma avaliação prévia (quantificação por contagem de grãos) para identificar qual intervalo granulométrico apresenta melhor resposta em relação à assembleia de minerais pesados. Nas cinco amostras analisadas, o zircão foi o mineral que mostrou maior variação em relação à mudança do intervalo granulométrico. Na fração mais fina (0,125 – 0,062 mm) o zircão mostrou uma concentração média de 28,9%, enquanto na fração intermediária (0,250 – 0,125 mm) a média caiu para 2,54 %. Já na fração mais grossa (0,500 – 0,250 mm) a média foi de somente 0,3%, com o zircão estando ausente em três das cinco amostras analisadas. Com base nestes resultados, os autores concluíram que o intervalo granulométrico mais fino era o mais apropriado para os estudos de proveniência naquela região (SEVASTJANOVA; HALL; ALDERTON, 2012).

Uma vez compreendidas as variáveis que levam a ocorrência de assembleias específicas de minerais pesados em determinados depósitos, é possível utilizá-los como ferramentas para uma melhor compreensão do depósito e de sua história geológica. Segundo Remus et al. (2008), a diversidade de minerais pesados encontrada em arenitos, com ocorrência de paragêneses diagnósticas de rocha-fonte, faz com que a análise de minerais pesados seja a técnica mais sensível e robusta aplicada na análise de proveniência sedimentar. E, de fato, os minerais pesados têm sido amplamente empregados em estudos deste tipo. Nas

bacias costeiras brasileiras, por exemplo, muitos estudos de proveniência sedimentar de arenitos vêm sendo feitos com base nesses minerais.

Um estudo visando determinar as áreas fontes dos minerais pesados presentes na Plataforma Continental Sul-Brasileira, Uruguaia e Norte Argentina, utilizou-se da análise por estatística multivariada para associar os minerais encontrados às possíveis áreas fontes. Através desta análise foi possível determinar, por exemplo, que a hornblenda e o hiperstênio possivelmente têm como origem os principais sistemas de drenagem do setor central do escudo sul-rio-grandense e uruguaio, em direção aos basaltos no norte da região.

3.2 GRANITOS PÓS-TECTÔNICOS

As rochas graníticas constituem a maior parte da crosta continental superior. O magmatismo granítico é um dos mais importantes fatores de diferenciação crustal, pois transporta material para a crosta superior a partir da fusão parcial da crosta inferior (BROWN, 2013). Os granitos e granitoides são rochas plutônicas com 10-100% do volume de minerais félsicos, com o quartzo representando 20-60% destes minerais (MYERS, 1997). A **Figura 4** mostra a tabela de classificação e nomenclatura mais utilizada para rochas ígneas. Os granitos podem ser formados a partir de fontes mantélicas, crustais ou da mistura entre fontes mantélicas e crustais (BARBARIN, 1999).

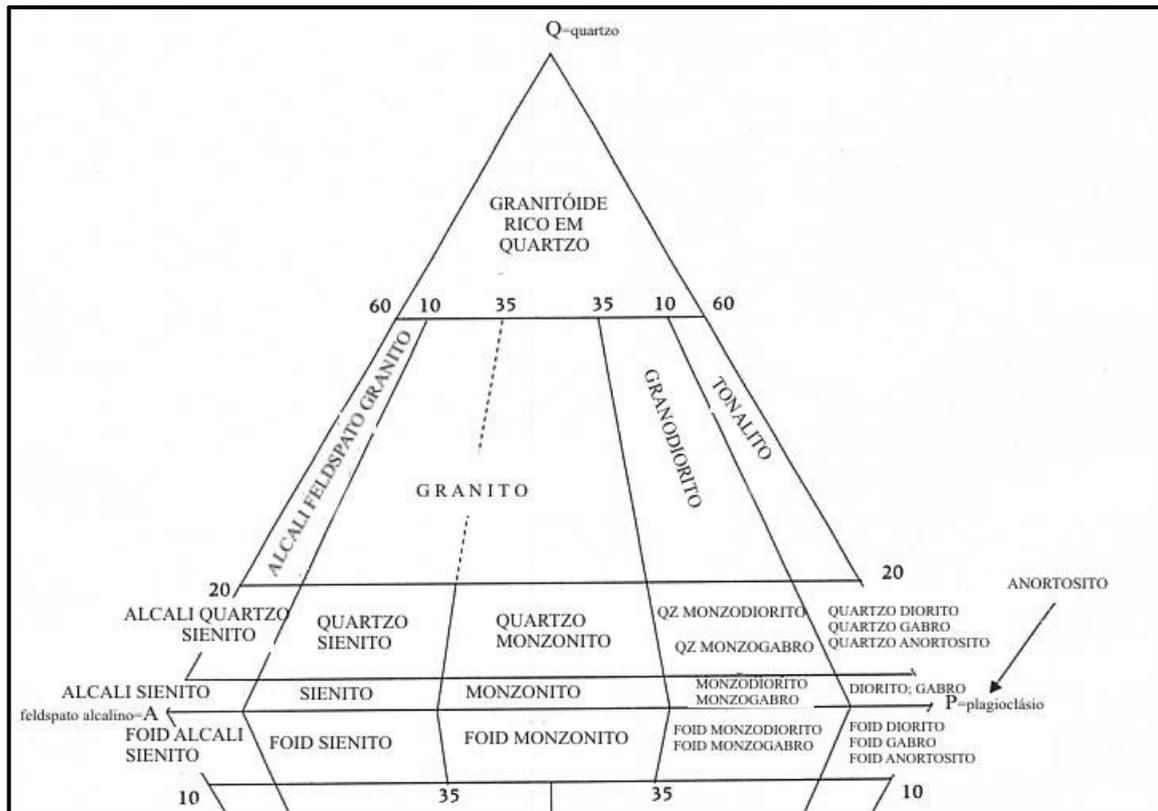


Figura 4 - Classificação e nomenclatura das rochas quartzo-feldspáticas plutônicas de acordo com seu conteúdo mineral

Fonte: Adaptado de STRECKEISEN, 1976.

A classificação mais comum dos granitos é dada de acordo com o protólito, sendo os de origem sedimentar classificados como Tipo-S e os de origem ígnea como Tipo-I. Esta classificação reflete muitas das características principais dos granitos, uma vez que eles são derivados da fusão parcial destas rochas e conseqüentemente sua composição está diretamente relacionada à dos seus protólitos (CHAPPEL; WHITE, 1974).

Mais recentemente foram designados ainda dois outros tipos de classificação para os granitos, os do tipo A e os do tipo M. A **Tabela 2** mostra as características destes quatro tipos de granitos. Os granitos tipo M têm a sua formação associada à fusão parcial da crosta oceânica durante o processo de subducção. Em geral ele exhibe fortes evidências petrológicas que indicam uma gênese a partir do processo de cristalização fracionada em magmas máficos com alta temperatura (JOHANNES; HOLTZ, 1996).

Tabela 2 - Algumas características distintivas dos quatro tipos de granito

	Tipo - I	Tipo - S	Tipo - A	Tipo - M
SiO₂	Ampla variação	Relativamente alto	alto	Ampla variação
Na₂O, K₂O, CaO	Na ₂ O relativamente alto	Na ₂ O relativamente baixo	Alto Na ₂ O + K ₂ O	Na ₂ O + K ₂ O alto K ₂ O baixo
Razões	Na ₂ O/K ₂ O Relativamente alto	Na ₂ O/K ₂ O Relativamente baixo	Fe/Mg e Ga/Al Alto	
Minerais característicos em inclusões ou na matriz	Predominância de biotita, inclusões ricas em hornblenda	Alumino-silicatos, granada e cordierita em inclusões ou na matriz	Biotita, álcali-anfibólio e piroxênios nos tipos alcalinos	Minerais máficos: biotita, anfibólio e piroxênio.

Fonte: Adaptado de JOHANNES; HOLTZ, 1996.

A classificação de granitos tipo-A ainda é ambígua e complexa de se aplicar, pois envolve amplo espectro de rochas, tanto em termos de composição quanto de origem (AGNOL; FROST; RÄMÖ, 2012). Os granitos tipo-A são formados em ambientes tectônicos anorogênicos e podem ter origens diversas, tanto oceânicas como continentais. Tais granitos possuem composição relativamente alcalina, além de advirem de magmas de caráter anidro. Evidências texturais indicam que sua cristalização se dá em altas temperaturas. Além disso, esses granitos possuem uma alta razão Ga/Al, que pode ser usada para identificá-los (PITCHER, 1993).

Os granitos tipo-A são também caracterizados por altas concentrações de Fe e K, assim como de elementos traço incompatíveis (ETR, Zr, Nb e Ta). Os ETR, U, Th e Zr se encontram em minerais acessórios, como apatita, zircão, allanita, titanita e monazita, enquanto os demais elementos traços (como Nb e Y) se concentram preferencialmente nos óxidos e anfibólios. Contudo, a abundância desses elementos pode estar mais relacionada à história de cristalização ou a fatores como a contaminação crustal do que a composição do magma parental. Portanto a composição de elementos maiores é mais apropriada para a classificação desses granitoides. Os granitos tipo A são tipicamente metaluminosos, mas podem ser também peralcalinos e peraluminosos (AGNOL; FROST; RÄMÖ, 2012).

Muitas origens são propostas para se explicar a formação dos granitos tipo-A, uma vez que sua composição química é altamente variável. Eles podem estar associados a diferentes contextos geológicos de regime não-compressional, como o ambiente de ilhas oceânicas, crátons estáveis e riftes continentais. O ambiente tectônico pós-orogênico também é considerado um contexto anorogênico de formação deste tipo de granito (AGNOL; FROST; RÄMÖ, 2012).

Os granitos pós-tectônicos são formados após a colisão entre crostas continentais, quando a compressão cessa e gera fusão devido a uma descompressão regional (**Figura 5**). São então formados granitoides cálcio-alcálicos ricos em potássio (monzogranitos). Esses granitos contém megacristais de k-feldspato e se espalham ao longo do cinturão orogênico previamente formado, cortando os granitoides gerados ao longo da colisão (BARBARIN, 1999).

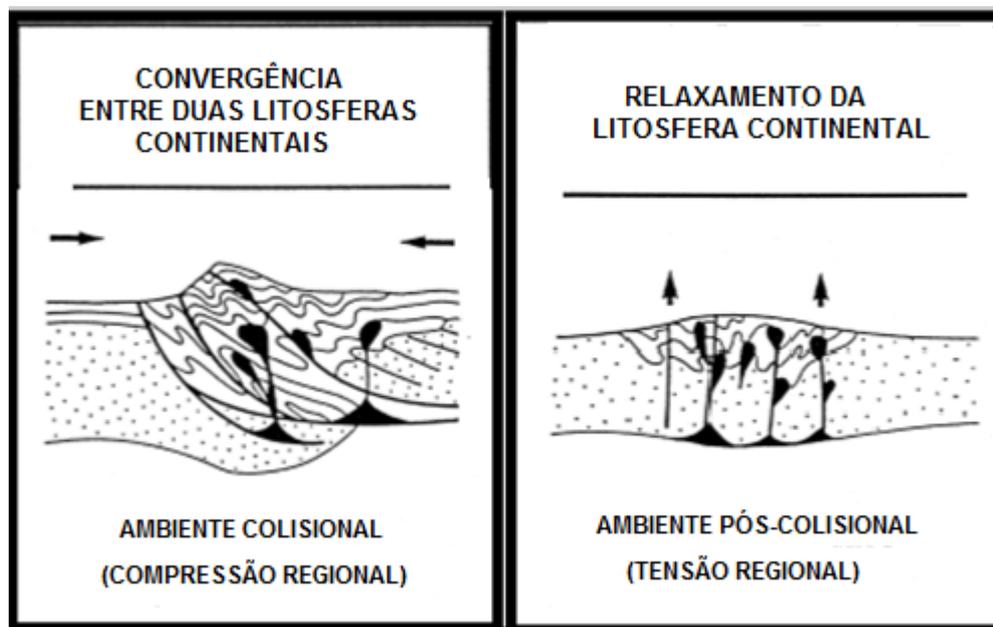


Figura 5 - Ambiente tectônico de formação dos granitoides sin-colisionais e dos granitoides pós-colisionais.

Fonte: Adaptado de BARBARIN, 1999.

Junho (1990) ao estudar os maciços graníticos pertencentes a Suíte Nova Friburgo (RJ) classificou-os como pós-colisionais (Tipo-A), gerados durante o processo de reversão de um regime tectônico compressivo para distensivo. Esses maciços não apresentam evidências de deformação e são constituídos de granitos ricos em pórfiros de k-feldspato, além de granodioritos e enclaves básicos microgranulares. A autora ressalta que as características petrográficas, mineralógicas e texturais apontam uma evolução magmática onde cristalização fracionada, assimilação e mistura de magmas foram os processos atuantes. A geoquímica destes granitos é representada por uma composição cálcio-alcálica e peraluminosa, com enriquecimento de Ti, Ba, P e Sr.

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A área estudada é a bacia do rio Piabanha, uma região hidrográfica afluyente do rio Paraíba do sul, com 2059 km² de área e que faz parte da região Serrana do Estado do Rio de Janeiro. O rio Piabanha tem cerca de 80 quilômetros de extensão, nasce na Serra do Mar a 1546 metros de altitude, na Pedra do Retiro em Petrópolis, e drena em direção ao médio vale do Paraíba do Sul. Sua bacia abrange os municípios de Areal, São José do Vale do Rio Preto, Teresópolis, Petrópolis, Três Rios, Paraíba do Sul e Paty do Alferes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010).

Segundo Kling (2005), o principal afluyente do rio Piabanha é o Rio Preto, com 54 km de curso. Este rio é o efluente das drenagens da porção leste da bacia e o seu principal afluyente é o rio Paquequer, que tem extensão de 37 Km e banha Teresópolis em sua porção inicial. **(Figura 6).**

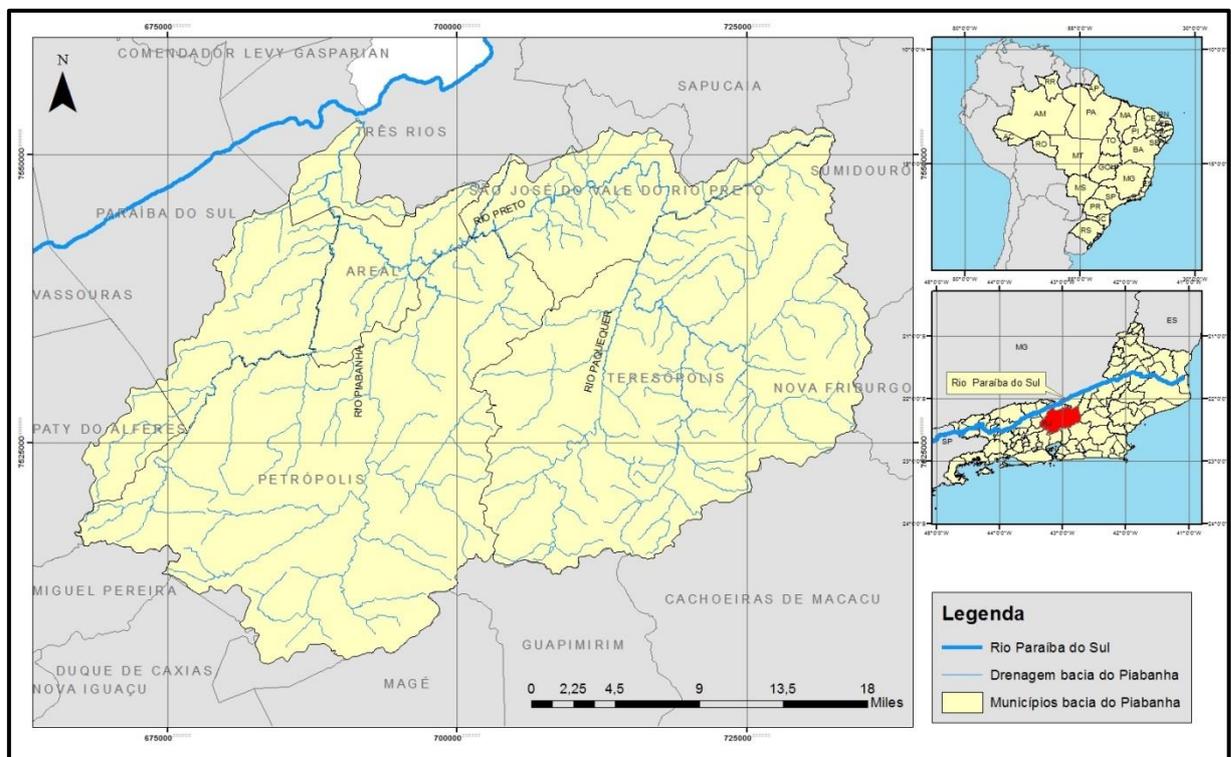


Figura 6- Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Piabanha.

A região onde se localiza a bacia possui um elevado contingente populacional (cerca de 296 mil habitantes) e tem como principais núcleos urbanos as cidades de Petrópolis e Teresópolis (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010). Além disto, ocorrem na região atividades industriais, agropecuárias, de serviços e comerciais, sendo os campos e pastagem as formas de uso do solo predominantes (CEIPAV, 2006). Contudo a principal fonte de interferência na qualidade das águas é oriunda do despejo do esgoto doméstico sem tratamento (AGEVAP, 2006). A cobertura vegetal é estimada em mais de 20% de suas terras, com expressivos remanescentes de Mata Atlântica (CEIPAV, 2006).

O clima na Região Serrana Fluminense é tropical de altitude, com temperatura média entre 18°C e 20°C. No geral ele é quente e úmido, apresentando variações devido a diferenças de altitude e entrada de ventos marinhos. Os índices pluviométricos mais altos ocorrem nas cidades de Petrópolis e Teresópolis, com precipitação média anual acima de 2000 mm e umidade relativa de 80%. O período seco se estende de junho a setembro, enquanto o período chuvoso ocorre de novembro a janeiro, quando ocorrem as grandes cheias dos rios (KLING, 2005).

4.2 RELEVO E GEOMORFOLOGIA

O relevo do estado do Rio de Janeiro é caracterizado, do litoral para o interior, sucessivamente por baixadas, escarpas e planaltos. A região de baixada consiste no domínio geomorfológico Baixada Fluminense, as escarpas fazem parte do domínio geomorfológico Escarpas da Serra do Mar e o planalto representa o domínio Platô de Teresópolis, onde está inserida a bacia do rio Piabanha (AIRES et al., 2012).

O tectonismo que deu origem ao oceano Atlântico a partir de um processo de riteamento foi o responsável por gerar o padrão de relevo descrito acima. As bacias costeiras e continentais foram formadas a partir deste processo, assim como as porções soerguidas adjacentes. As estruturas provenientes deste evento tectônico também controlam, de maneira geral, o lineamento dos rios, caracterizados por uma orientação NW-SE (HARTWIG; RICCOMINI, 2010).

A Serra do Mar é o acidente de relevo mais importante a dividir as águas do território fluminense, a sua direção é N75°E e possui altitude aproximada de 1300 m, o que indica um desnível de cerca de 1200 m para esta falha normal (AIRES et al., 2012). Os rios formadores

da bacia do rio Piabanha nascem próximos ao cume da Serra do Mar e correm ao longo do Platô de Teresópolis em direção à calha do rio Paraíba do Sul (KLING, 2005). O platô se mostra inclinado à N30W e tem declividade média de 0.9° . Ao longo do Rio Paraíba do Sul ocorre uma depressão morfológica linear com 20 km de largura e profundidade relativa de 300 m, sugerindo a presença de um graben raso (AIRES et al., 2012).

Segundo o estudo geomorfológico realizado no Projeto Rio de Janeiro – CPRM (DANTAS et al., 2000), a região da bacia do rio Piabanha abrange sete unidades geomorfológicas (**Figura 7**), descritas a seguir.

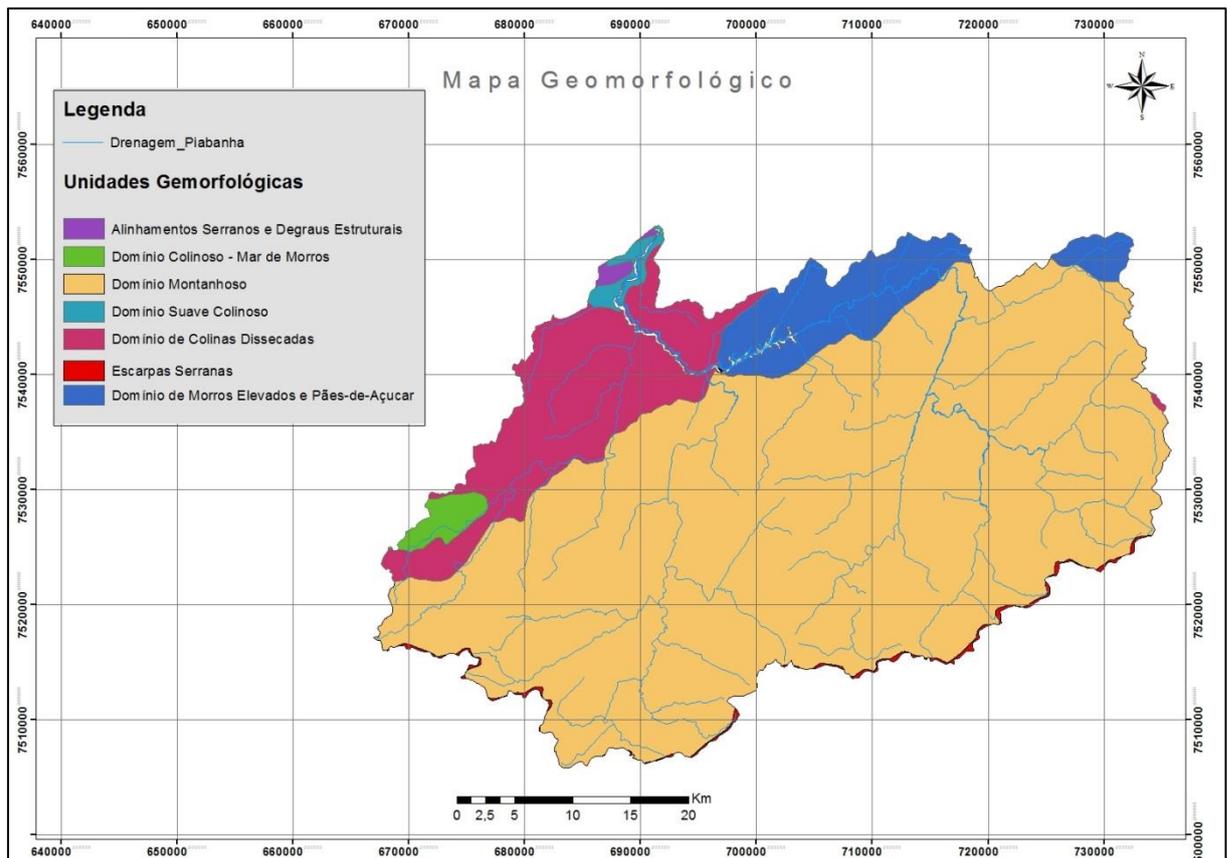


Figura 7- Mapa Geomorfológico da Bacia do Rio Piabanha

Fonte: Adaptado de DANTAS et al., 2000.

Domínio Montanhoso

É o tipo de relevo dominante na região e se caracteriza por possuir amplitude topográfica superior a 400 m, com gradiente de vertentes elevado. As vertentes são retilíneas a côncavas e, por vezes escarpadas. É comum os topos mostrarem cristas alinhadas. Este domínio apresenta alta densidade de drenagens e seu padrão varia de dendrítico a retangular (DANTAS et al., 2000).

Domínio de Colinas Dissecadas

Este tipo de relevo ocorre na região nordeste da área principalmente nos municípios de Areal e Paraíba do Sul. A amplitude topográfica varia entre 100 e 200m, com gradiente de vertentes suave a médio. A geometria das vertentes varia de retilínea a côncava e os topos são alongados, arredondados ou aguçados. A densidade das drenagens vai de média a alta, com padrão variável (DANTAS et al., 2000).

Domínio de Morros Elevados e Pães-de-Açúcar

Esse tipo de relevo ocorre de maneira subordinada na bacia. É caracterizado por morros convexo-concavos dissecados e topos arredondados ou aguçados. Apresenta sedimentação de colúvios, alúvios e, em menor proporção, de depósito de talús. Tem densidade de drenagem média a alta, com padrão de drenagem variável. Predominam as amplitudes topográficas entre 200 e 400m (DANTAS et al., 2000).

As demais unidades geomorfológicas ocorrem de maneira restrita na área, não sendo significativas na constituição do relevo da bacia e, portanto, mostram-se destituídas de importância para os objetivos do presente estudo.

4.3 CONTEXTO GEOLÓGICO

A bacia do Rio Piabanha se encontra inserida majoritariamente no Terreno Oriental do Orógeno Ribeira, abrangendo algumas unidades relacionadas ao Terreno Paraíba do Sul e ao Terreno Ocidental na porção nordeste de sua área de abrangência.

O seu arcabouço geológico é constituído predominantemente por ortognaisses, paragnaisses e granitos que representam a raiz do evento colisional desenvolvido durante o Ciclo Brasileiro na margem do Cráton do São Francisco (TUPINAMBÁ et al., 2012). Este sistema orogênico, de direção NE, se estende por 1400 Km ao longo da costa S-SW do Brasil e é o resultado da colisão dos crátons São Francisco-Congo com a parte ocidental do Cráton da Angola, além de outras microplacas. O Orógeno Ribeira faz parte da Província Mantiqueira, sendo limitado a norte pelo Orógeno Araçuaí, a oeste e noroeste pelo Cráton do São Francisco, a sudoeste pelo Orógeno Brasília e a sul pelo Cráton de Luiz Alves (HEILBRON et al., 2004). A **Figura 8** mostra a sua localização dentro da Província Mantiqueira.

No entanto, rochas mais antigas como os ortognaisses dos Complexos Juiz de Fora e Quirino e os paragnaisses das unidades Arcádia Areal e Andrêlandia e do Complexo Paraíba do Sul ocorrem na região, atuando como encaixantes do magmatismo Brasileiro (VALLADARES et al., 2012). Os ortognaisses paleoproterozóicos remetem ao Ciclo Transamazônico, enquanto os paragnaisses têm origem nas sequências sedimentares depositadas entre o meso e o neoproterozóico, sendo representativos de uma sedimentação plataformal distal com predominância de termos pelíticos (TUPINAMBÁ et al., 2012).

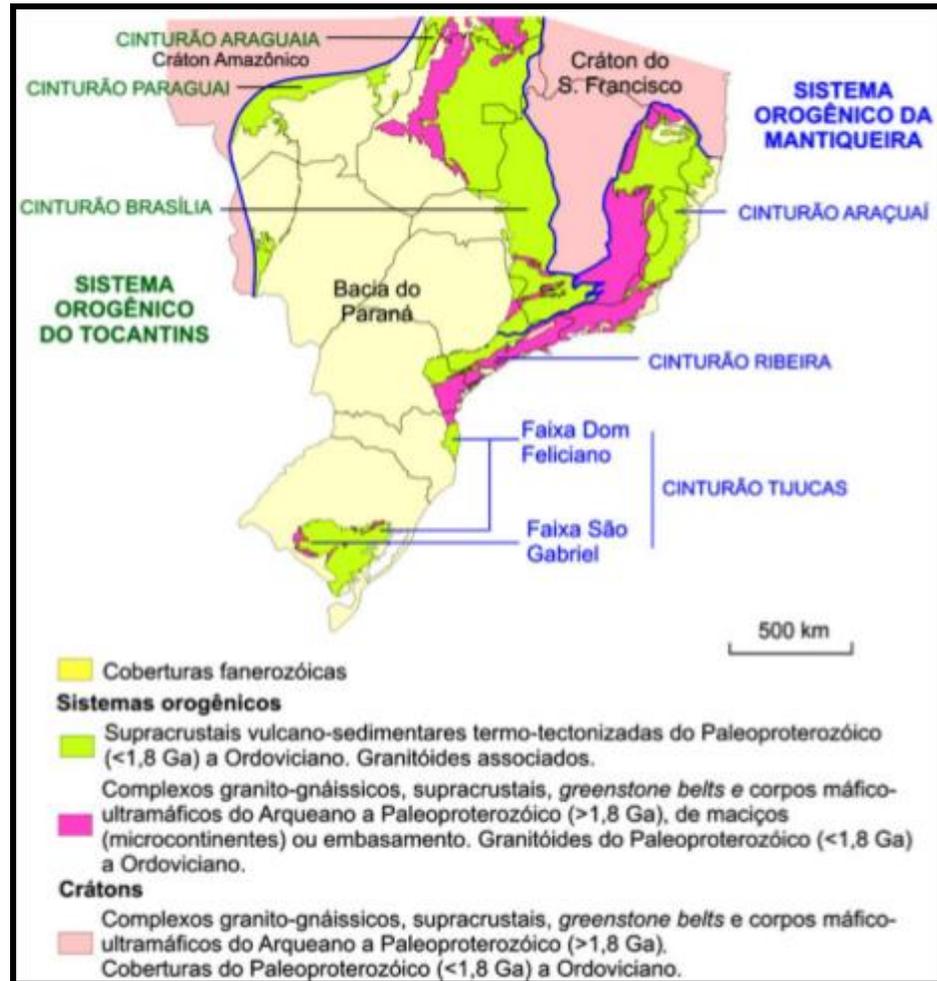


Figura 8 - Sistema Orogênico Mantiqueira

Fonte: HASUI, 2010.

O Ciclo Brasileiro, ocorrido entre o neoproterozóico e o paleozoico inferior, afetou as coberturas metassedimentares e retrabalhou seu embasamento paleoproterozoico, além de gerar intenso magmatismo (HASUI, 2010). Tal evento tectônico teve início a cerca de 630 Ma com um processo de subducção e formação de arcos magmáticos. Esta etapa inicial, de magmatismo pré-colisional, é representada na área pelo complexo Rio Negro (TUPINAMBÁ; TEIXEIRA; HEILBRON, 2012).

A colisão deste arco com a margem passiva a oeste teria gerado o magmatismo sin-colisional (590-570 Ma), com a formação das suítes Rio Turvo e Cordeiro. Nas etapas finais da colisão foi gerado o magmatismo cálcio-alcalino da Suíte Serra dos Órgãos, o batólito de maior expressão areal no segmento central do Orógeno Ribeira (HEILBRON et al., 1995).

Foi durante o período colisional que ocorreu a deformação principal registrada no Orógeno Ribeira. Em escala regional, esta deformação é responsável pela compartimentação tectônica do orógeno, formada através do empilhamento de diversas escamas de empurrão com vergência direcionada para a área do Cráton do São Francisco. Esta etapa de deformação gerou também estruturas como a foliação principal observada, dobras assimétricas, zonas de cisalhamento com formação de milonitos, lineação de estiramento e boudinage. O metamorfismo que acompanhou a colisão foi de fácies anfíbolito superior a granulito, com deformação plástica cisalhante e intensa gnaissificação. Seus efeitos térmicos se estenderam até 500 Ma (HEILBRON et al., 1995).

Duas fases de deformações tardias sobrepõem a deformação principal. A primeira destas fases de deformação representa a continuidade da convergência brasileira, em nível estrutural mais raso, e caracteriza o período Tardi-Colisional (535-520 Ma). Tal deformação provocou o redobramento das estruturas previamente formadas e gerou zonas de cisalhamento transpressivas (HEILBRON et al., 1995). A fase de deformação posterior a esta, por outro lado, foi responsável pela formação de dobras abertas a suaves, associadas a zonas de cisalhamento dúcteis-rúpteis. Esta fase de deformação é ortogonal as anteriores, sendo possivelmente gerada a partir de um regime transtensional, e não se distribui de forma homogênea, pois tende a se concentrar em determinadas regiões (HEILBRON et al., 1995). As zonas de cisalhamento geradas nesta fase de deformação serviram de conduto para os granitos pós-colisionais da Suíte Nova Friburgo (VALERIANO et al., 2011).

No Cretáceo teve início o processo de abertura do Atlântico Sul e conseqüente quebra do Supercontinente Gondwana. O rifteamento da margem sudeste do Atlântico Sul, com formação de falhas normais e transcorrentes, foi acompanhado de intenso magmatismo basáltico, o qual deu origem ao denominado enxame de diques da Serra do Mar. A orientação geral destes diques é paralela às estruturas das rochas encaixantes (N40°- 60°E) (TOMBA, 2012). A **Figura 9** mostra o mapa geológico da bacia do Rio Piabanha.

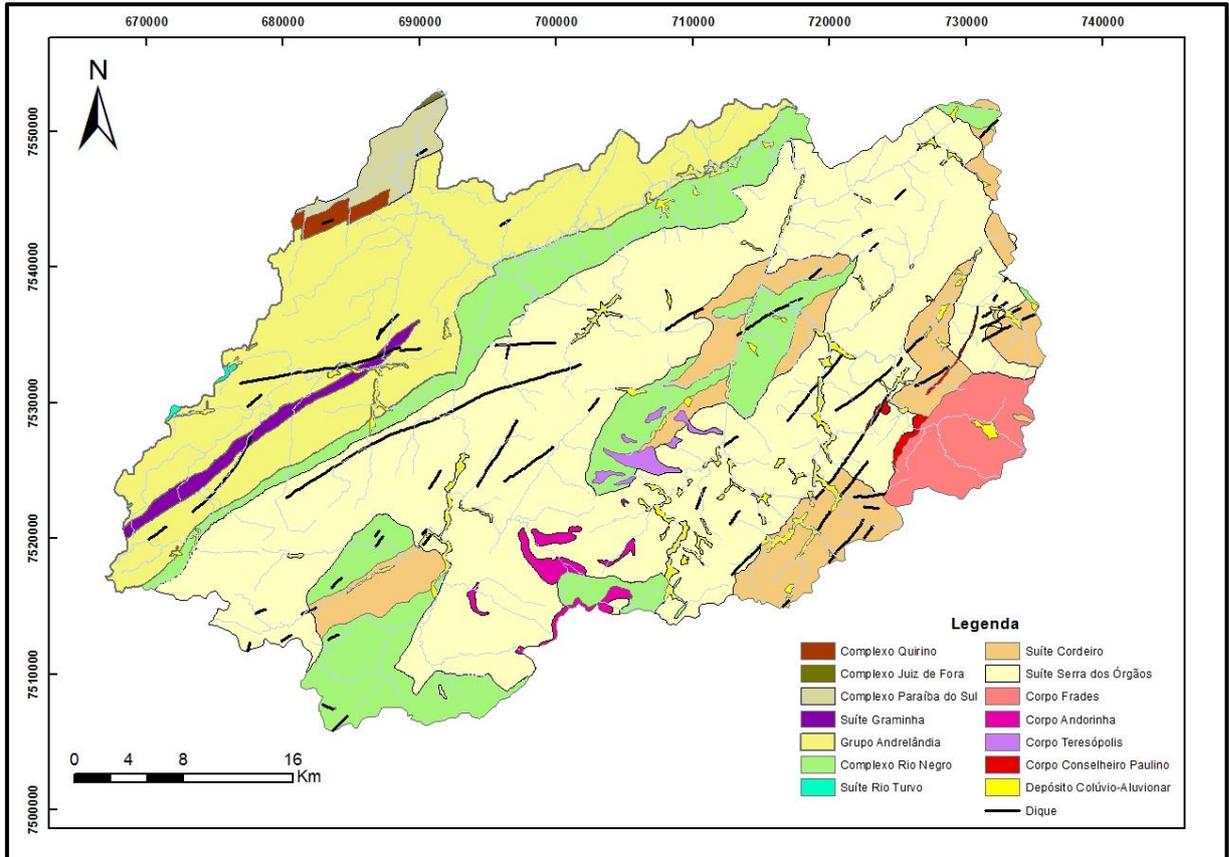


Figura 9 - Mapa geológico da bacia do Rio Piabanha.
 Fonte: Adaptado de SILVA et al., 2001.

4.4 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

4.4.1 Complexo Quirino

Trata-se de uma unidade de abrangência restrita dentro da região estudada, com somente uma pequena ocorrência na porção nordeste da área. As litologias representativas desse complexo são ortognaisses de composição que varia de tonalítica a granítica. Essas rochas apresentam granulometria entre média e grossa, em alguns casos há textura porfiroblástica e é comum a ocorrência de zonas milonitizadas (VALLADARES et al., 2012).

A mineralogia principal é dada por quartzo, k-feldspato, plagioclásio e biotita. A hornblenda é restrita aos termos mais básicos e o piroxênio raramente se faz presente. Os minerais acessórios mais comuns são titanita, apatita, zircão, epidoto e minerais opacos. Enclaves de rochas básicas são frequentes (VALLADARES et al., 2012).

4.4.2 Complexo Juiz de Fora

Sua ocorrência na área da bacia do Rio Piabanha é muito limitada, com apenas uma pequena faixa no extremo norte da bacia. Este complexo é constituído de rochas ortoderivadas metamorfisadas na fácies granulito e com ampla variedade composicional, englobando litotipos de composição básica, intermediária e ácida (VALLADARES et al., 2012).

4.4.3 Complexo Paraíba do Sul

A ocorrência desta unidade é também limitada dentro da bacia do Rio Piabanha, restringindo-se ao extremo norte-nordeste da mesma. Este complexo é representado por paragneisses, com estrutura que varia de bandada a laminada. A mineralogia desses gnaisses é composta de granada, quartzo, k-feldspato, plagioclásio, biotita e sillimanita. Esses gnaisses ocorrem intercalados com mármore e é comum a presença de lentes de rochas calcissilicáticas, além de bancos de quartzitos (VALLADARES et al., 2012).

4.4.4 Suíte Graminha

Sua ocorrência na bacia é restrita, consistindo em um corpo alongado na direção NE-SW dentro da unidade Andrelândia. Esta suíte é formada por corpos granitoides de posicionamento estratigráfico indefinido e sua litologia principal consiste em hornblenda-biotita-gnaise, frequentemente migmatítico. A mineralogia essencial deste gnaise é composta por k-feldspato, quartzo, plagioclásio, biotita e hornblenda; e os minerais acessórios mais comuns são titanita e zircão. É comum a presença de boudins de anfibolito que podem atingir dimensões métricas (VALLADARES et al., 2012).

4.4.5 Grupo Andrelândia

Ocorre dentro da área estudada na forma de um grande corpo de direção NE-SW transpondo a porção nordeste da bacia. Essa unidade é representada por rochas metassedimentares, principalmente por paragneisses de protólito pelítico. Os minerais mais comuns nesses gnaisses são granada, biotita, sillimanita, quartzo, plagioclásio e k-feldspato. Em alguns locais há ocorrência de piroxênio devido ao metamorfismo de alta temperatura. Os

minerais acessórios mais comuns são zircão, rutilo, apatita, turmalina e minerais opacos. Além dos paragnaisses, é comum a presença de bancos métricos de quartzitos e gonditos, assim como de lentes de rocha calciossilicáticas e boudins de anfibolito (VALLADARES et al., 2012).

4.4.6 Complexo Rio Negro

Ocorrem diversos corpos dessa unidade na área da bacia. Segundo TUPINAMBÁ et al (2012), esse complexo é constituído por ortognaisses, com predominância de rochas metatonalíticas, seguidas por rochas metadioríticas e metagraníticas. Metadioritos e metagabros são subordinados, ocorrendo na forma de pequenos corpos. Em geral a granulometria é grossa para os termos félsicos e máficos e fina para os intermediários. A **Tabela 3** mostra as principais litologias dessa unidade e sua composição mineralógica. As **Tabelas 4** e **5** mostram, respectivamente, as concentrações de elementos maiores e de elementos menores e traços.

Tabela 3 - Composição mineralógica média das litologias pertencentes ao Complexo Rio Negro

	Tonalito gnaisse (N=12)	Granodiorito Gnaisse (N=14)	Plagioclásio Gnaisse (N=16)	Quartzo Diorito Gnaisse (N=15)	Anfibolito (N=9)
Plagioclásio	41,3	37,7	30,2	42,0	62,1
Quartzo	25,4	29,0	30,7	7,0	12,5
k-feldspato	9,9	12,8	16,6	4,1	2,4
Biotita	7,2	10,5	16,4	16,2	6,6
Hornblenda	12,2	3,6	3,8	23,2	13,4
Granada	0,4	1,1	nd	0,9	0,7
Titanita	1,6	2,1	1,1	3,0	1,1
Apatita	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3
Zircão	0,4	0,6	0,2	0,8	0,4
Min. Opacos	0,9	2,0	0,6	2,0	2,2

Fonte: Modificado de VALERIANO et al., 2012.

Tabela 4 - Média da concentração de elementos maiores nas rochas pertencentes ao Complexo Rio Negro (N=14)

	Concentração Média (%)	Desvio Padrão
SiO ₂	60,52	7,34
TiO ₂	0,77	0,36
Al ₂ O ₃	15,73	1,72
FeO	5,93	2,73
MnO	0,11	0,05
MgO	3,67	2,88
CaO	6,23	2,04
Na ₂ O	3,66	1,28
K ₂ O	1,61	0,51
P ₂ O ₅	0,23	0,11

Fonte: Modificado de TUPINAMBÁ, 1999.

Tabela 5 - Média da concentração de elementos menores e traços nas rochas pertencentes ao Complexo Rio Negro (N=14)

	Concentração Média (ppm)	Desvio Padrão
Cr	75,86	126,70
Ni	50,93	46,23
Co	22,21	10,62
Sc	18,64	12,28
V	114,79	77,43
Cu	19,93	58,17
Pb	7,86	9,76
Zn	108,07	55,21
Bi	0,31	0,57
W	49,30	31,89
Mo	1,26	1,44
Se	0,45	0,79
Sb	0,12	0,12
Rb	52,29	18,76
Cs	2,23	1,04
Ba	599,64	269,33
Sr	453,93	210,08
Ga	8,79	9,33
Ta	0,69	0,45
Nb	26,74	38,22
Hf	3,86	2,10
Zr	150,50	90,06
Y	25,71	15,96
Th	3,21	2,73
U	0,88	0,45
La	23,53	12,82
Ce	53,57	27,22
Pr	2,46	3,31
Nd	26,93	14,86
Sm	5,12	2,47
Eu	1,29	0,44
Gd	1,84	2,41
Tb	0,80	0,45
Dy	1,86	2,43
Ho	0,36	0,46
Er	1,09	1,40
Tm	0,18	0,22
Yb	2,51	1,77
Lu	0,36	0,23
Be	1,21	1,31

Fonte: Modificado de TUPINAMBÁ, 1999.

4.4.7 Suíte Rio Turvo

É a unidade com menor área de ocorrência dentro da bacia, com dois pequenos corpos dentro da Unidade Andrelândia, no extremo oeste da área de ocorrência desta. Trata-se de um ortognaisse de composição constante e granítica, com frequentes enclaves de rochas metassedimentares. Apresenta granulometria grossa e foliação descontínua. A granada é um mineral característico e sua composição mineralógica é dada por k-feldspato, quartzo, plagioclásio e biotita. A muscovita ocorre ocasionalmente e os minerais acessórios são monazita, zircão, titanita e opacos. (VALLADARES et al., 2012).

4.4.8 Suíte Cordeiro

Diversos corpos dessa suíte ocorrem dispersos ao longo da bacia, associados principalmente aos ortognaisses da Suíte Serra dos Órgãos e ao Complexo Rio Negro. A rocha predominante nesta suíte é um gnaisse de composição que varia de sienogranito a granodiorito. A granulação varia de média a grossa e a foliação é dada pelo alinhamento dos cristais de biotita e lentes de quartzo. É constituído por k-feldspato e quartzo, com plagioclásio em menor proporção. A biotita ocorre em pequena concentração e muscovita e granada estão presentes como minerais primários somente em alguns locais. Tem como minerais acessórios a apatita, a allanita e o zircão, além de opacos. A hornblenda ocorre em algumas amostras como mineral reliquiar (TUPINAMBÁ et al., 2012).

A titanita ocorre quando a Suíte Cordeiro se associa ao Complexo Rio Negro e a silimanita aparece quando ela se associa a rochas metassedimentares (TUPINAMBÁ et al., 2012).

4.4.9 Suíte Serra dos Órgãos

Trata-se da unidade com a maior área de ocorrência dentro da bacia. É representada por ortognaisses que têm composição petrográfica variando de tonalítica a granítica, com predominância de termos granodioríticos. Possui granulação grossa e mostra foliação descontínua, gerada por aglomerações de biotita e hornblenda, com granadas na porção leucocrática (TUPINAMBÁ et al., 2012).

Sua principal litologia é um gnaisse composto essencialmente por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio e biotita, podendo conter hornblenda ou granada. Os minerais acessórios são apatita, zircão, titanita, allanita e minerais opacos (TUPINAMBÁ et al., 2012). A ocorrência de enclaves é rara e quando existem são de rochas gnáissicas tonalíticas a quartzo dioríticas. No geral, a titanita tem alta concentração em relação a apatita (TUPINAMBÁ, 1999). A **Tabela 6** mostra a média da concentração dos elementos maiores e a **Tabela 7** mostra a média da concentração dos elementos menores e traços das rochas da Suíte Serra dos Órgãos.

Tabela 6 - Média da concentração de elementos maiores nas rochas da Suíte Serra dos Órgãos (n=14)

	Concentração Média (%)	Desvio Padrão
SiO ₂	69,29	3,13
TiO ₂	0,38	0,15
Al ₂ O ₃	15,35	0,97
FeO	3,80	1,16
MnO	0,08	0,02
MgO	0,64	0,31
CaO	3,22	1,02
Na ₂ O	3,80	0,23
K ₂ O	3,21	1,02
P ₂ O ₅	0,13	0,05

Fonte: Modificado de Tupinambá, 1999.

Tabela 7 - Média da concentração de elementos menores e traços nas rochas da Suíte Serra dos Órgãos (n=14)

	Concentração Média (ppm)	Desvio Padrão
Cr	nd	5,75
Ni	27,29	84,01
Co	9,36	11,43
Sc	13,29	5,86
V	24,36	14,45
Cu	nd	6,54
Pb	16,36	10,40
Zn	82,50	48,82
Sn	0,43	1,51
W	45,54	101,77
Mo	1,28	2,11
Se	0,65	1,28
Sb	nd	0,13
Rb	79,36	32,88
Cs	2,76	1,24
Ba	1740,71	700,14
Sr	211,57	52,10
Tl	0,24	0,19
Ga	14,57	8,05
Ta	0,91	0,91
Nb	13,95	16,04
Hf	7,07	1,47
Zr	257,00	70,82
Y	55,21	79,85
Th	9,47	6,32
U	1,35	0,48
La	53,02	21,50
Ce	107,12	41,66
Pr	8,85	5,58
Nd	44,41	17,83
Sm	8,75	4,18
Eu	1,97	0,41
Gd	4,58	3,17
Tb	1,34	1,44
Dy	4,40	3,14
Ho	0,89	0,64
Er	2,51	1,81
Tm	0,35	0,25
Yb	4,46	6,51
Lu	0,69	0,94

Fonte: Modificado de Tupinambá, 1999.

4.4.10 Suíte Nova Friburgo

Dentro da área da bacia do Rio Piabanha ocorrem quatro dos cinco corpos graníticos que compõe esta suíte: Corpo Frades; Corpo Teresópolis; Corpo Andorinha; e Corpo Conselheiro Paulino. Esses corpos ocorrem dispersos ao longo da bacia do rio Piabanha e além destes corpos maiores, em escala de mapeamento, vários corpos menores ocorrem intrudindo os ortognaisses da Suíte Serra dos Órgãos e do Complexo Rio Negro, na forma de diques sub-verticais a sub-horizontais (TUPINAMBÁ et al., 2012). Essa unidade é formada por granitoides indeformados que possuem uma identidade litológica. Tais granitoides correspondem a uma sequência magmática que varia de quartzo-gabro/diorito a granodiorito, granitos porfiríticos e leucogranito aplítico (JUNHO, 1993).

A fase quartzo-gabro/diorito é formada pelas rochas mais básicas e mais antigas da sequência. Sua ocorrência se dá na forma de enclaves que possuem dimensões entre métricas e centimétricas, podendo formar aglomerados extensos ou aparecer dispersos na encaixante. A granulometria predominante é fina e seu conteúdo mineral consiste em plagioclásio, hornblenda, clinopiroxênio, quartzo, magnetita e ilmenita. Nos enclaves menos básicos o quartzo pode atingir até 15% do volume, o piroxênio não aparece e há grande quantidade de biotita titanífera. Pirita e apatita são acessórios frequentes, a allanita pode também ocorrer, mas não é comum. A magnetita e a ilmenita podem apresentar exsoluções de hematita (JUNHO, 1990).

O granodiorito ocorre em porções mapeáveis em escala de semi-detalle e também como enclave nos granitos (JUNHO, 1993). O granodiorito apresenta granulometria muito fina e sua assembleia mineralógica é dada por biotita, hornblenda, titanita, plagioclásio e opacos em uma matriz quartzo feldspática (SALOMÃO, 2011).

A fase granítica é a de maior abundancia na Suíte Nova Friburgo. Ela apresenta tendência porfirítica, mas pode ter também textura equigranular, apresentando uma mudança gradual entre essas duas texturas. A granulometria e a composição dos granitos variam entre os corpos. Em geral, a hornblenda raramente aparece e o par titanita-allanita compreende os minerais acessórios mais comuns. São também observados magnetita, ilmenita, zircão, apatita e monazita (VALERIANO et al., 2016). A **Tabela 8** mostra a composição média dos granitos do Corpo Andorinha segundo Almeida (2010).

Tabela 8 - Média da composição modal do biotita granito Andorinha

Mineral	Percentual
Microclina	37
Quartzo	25
Plagioclásio	26
Biotita	11
Zircão	0.2
Apatita	0.4
Titanita	0.2
Minerais Opacos	0.5
Muscovita	0.3
Clorita	0.2

Fonte: Modificado de ALMEIDA, 2010.

No Corpo Frades o granito com textura porfirítica é predominante e há ocorrência de sulfetos como minerais acessórios (TUPINAMBÁ et al., 2012). Já no Corpo Conselheiro Paulino, o granito equigranular é predominante e apresenta granulometria fina (PACHECO, 2010). No Corpo Teresópolis foram descritas ocorrências de pirita, epidoto, zoizita e anatásio como acessórios (JUNHO; PENHA, 1985).

A fase mais tardia da Suíte Nova Friburgo é representada por leucogranitos aplíticos e pegmatitos. Essa fase ocorre na forma de diques e sills de porte métrico a centimétrico e é intrusiva em todas as fácies descritas anteriormente (JUNHO, 1993). Os aplitos têm textura equigranular entre fina e média e sua mineralogia consiste em k-feldspato, biotita e muscovita. Os minerais acessórios são pirita, calcopirita, magnetita, ilmenita e apatita. Os minerais hornblenda, titanita, allanita, molibdenita e fluorita são de ocorrência esporádica (JUNHO, 1990). A **Tabela 9** apresenta a composição química desses quatro corpos graníticos.

Tabela 9 - Composição química média dos corpos Frades (JUNHO, 1990), Andorinha (ZORITA, 1979), Teresópolis (JUNHO; PENHA, 1985) e Conselheiro Paulino (PACHECO, 2010) da Suíte Nova Friburgo. Elementos maiores em porcentagem e menores e traço em ppm

	Frades N = 16		Andorinha N = 7		Conselheiro Paulino N = 10		Teresópolis N = 14	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
SiO ₂	66,40	5,48	67,03	0,86	66,02	7,63	66,53	4,93
Al ₂ O ₃	14,64	0,86	15,90	0,37	13,78	0,57	15,89	1,75
Fe ₂ O ₃	4,88	2,21	4,05	0,42	4,98	3,09	4,28	2,25
MnO	0,11	0,06	0,06	0,01	0,08	0,04	0,06	0,03
MgO	1,53	1,45	0,60	0,09	1,27	1,16	0,83	0,74
CaO	3,49	1,54	2,28	0,30	2,93	1,95	1,95	1,08
Na ₂ O	2,08	0,87	2,84	0,09	2,82	0,21	2,90	0,36
K ₂ O	5,39	1,34	5,80	0,25	4,96	1,15	5,36	0,61
TiO ₂	0,96	0,55	0,54	0,05	1,07	0,89	0,49	0,35
P ₂ O ₅	0,39	0,30	0,10	0,03	0,51	0,61	0,28	0,48
Cr	51,63	29,17	nd	nd	23,00	6,75		
Ni	46,00	5,66	nd	nd	20,00	0,00		
Co	6,06	4,46	nd	nd	22,50	7,01		
Sc	nd	nd	nd	nd	8,20	4,05		
V	101,31	71,11	nd	nd	67,90	63,83		
Cu	25,19	10,51	8,14	2,91	12,00	4,22		
Pb	nd	nd	17,14	3,93	27,20	15,40		
Zn	166,44	40,15	nd	nd	83,00	56,38		
Bi	nd	nd	nd	nd	0,40	0,00		
W	nd	nd	nd	nd	193,10	88,72		
Mo	nd	nd	7,43	3,41	2,00	0,00		
Ge	nd	nd	nd	nd	1,70	0,48		
Sb	nd	nd	nd	nd	0,62	0,26		
Rb	395,94	486,34	247,14	19,55	195,60	75,34		
Cs	nd	nd	nd	nd	1,67	0,42		
Ba	1929,88	722,82	1421,43	191,17	1912,20	844,26		
Sr	704,38	351,60	291,43	48,11	592,70	485,15		
Ga	27,31	2,75	nd	nd	22,60	3,24		
Ta	nd	nd	nd	nd	2,10	0,52		
Nb	28,31	8,37	nd	nd	30,60	6,36		
Hf	nd	nd	nd	nd	13,55	5,00		
Zr	368,06	129,22	nd	nd	493,40	210,72		
Y	27,31	24,94	nd	nd	33,10	8,23		
Th	nd	nd	nd	nd	36,72	18,07		
U	nd	nd	nd	nd	3,32	1,00		
Be	nd	nd	nd	nd	3,40	0,70		
As	nd	nd	nd	nd	5,30	0,67		
Ag	nd	nd	nd	nd	1,59	1,09		
In	nd	nd	nd	nd	0,20	0,00		
Sn	nd	nd	2,57	0,98	3,80	1,14		
Tl	nd	nd	nd	nd	0,89	0,38		
Li	nd	nd	26,57	3,95	nd	nd		

4.4.11 Enxame de Diques da Serra do Mar

As rochas dessa formação ocorrem na forma de intrusões ígneas tabulares (diques) de direção NE-SW dispersas ao longo de toda a bacia. Estes diques cortam todas as formações e mostram uma maior concentração na porção sudeste da área, próximo ao Corpo Frades da Suíte Nova Friburgo.

Segundo Corval et al. (2008), os diques têm composição basáltica e caracterizam uma série transicional de afinidade toleítica. Esta série subdivide-se em duas suítes, sendo uma de baixo-TiO₂ e outra de alto-TiO₂. A **Tabela 10** mostra a composição mineralógica média para os basaltos e as **Tabelas 11** e **12** mostram a concentração média de elementos maiores e de elementos menores e traço.

Tabela 10 - Composição mineralógica dos basaltos pertencentes ao Enxame de Diques da Serra do Mar

Mineral	Percentual Matriz	Percentual Fenocristais
Plagioclásio	55	80
Piroxênio	30	20
Opacos	9	-
Anfibólio	3	-
Biotita	1	-
Apatita	1	-
Quartzo	1	-

Fonte: JUNIOR, 2015.

Tabela 11 - Média da concentração de elementos maiores nos basaltos do enxame de diques da Serra do Mar

	Concentração Média (%)	Desvio Padrão
SiO ₂	51,32	1,46
Al ₂ O ₃	13,13	0,86
Fe ₂ O ₃	13,87	1,42
MnO	0,19	0,01
MgO	4,27	0,75
CaO	8,05	0,90
Na ₂ O	2,66	0,18
K ₂ O	1,62	0,36
TiO ₂	2,69	1,02
P ₂ O ₅	0,46	0,20

Fonte: Modificado de CORVAL et al., 2008.

Tabela 12 - Média da concentração de elementos maiores nos basaltos do enxame de diques da Serra do Mar

	Concentração Média (ppm)	Desvio Padrão
Ba	546,29	266,34
La	36,20	12,01
Ce	76,86	26,13
Pr	9,05	3,17
Nd	35,94	12,64
Sm	8,11	2,58
Eu	2,51	0,82
Gd	8,31	2,21
Tb	1,31	0,30
Dy	7,31	1,43
Ho	1,37	0,22
Er	3,79	0,56
Tm	0,52	0,07
Yb	3,13	0,38
Lu	0,47	0,05
Hf	6,64	2,03
Th	4,65	0,92
U	1,19	0,24
Sc	29,21	5,06
V	371,36	52,98
Cr	31,64	18,42
Co	51,43	7,25
Ni	34,00	16,31
Rb	47,57	9,38
Sr	423,64	156,78
Y	40,82	6,77
Zr	252,00	83,40
Nb	24,39	9,46

Fonte: Modificado de CORVAL et al., 2008.

5 METODOLOGIA

5.1 COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS

Os pontos de coleta de amostra foram definidos a partir de um estudo prévio, no qual se considerou os aspectos geológicos da área, além da distribuição fluvial e os acessos as mesmas. A distribuição dos pontos de coleta buscou representar o caminho de dispersão dos sedimentos fluviais a partir dos granitos pós-tectônicos da Suíte Nova Friburgo, corpos Frades/Conselheiro Paulino, Teresópolis e Andorinha (**Figura 10**). Foram coletadas 12 amostras em cinco dias de campo, entre setembro e dezembro de 2015.

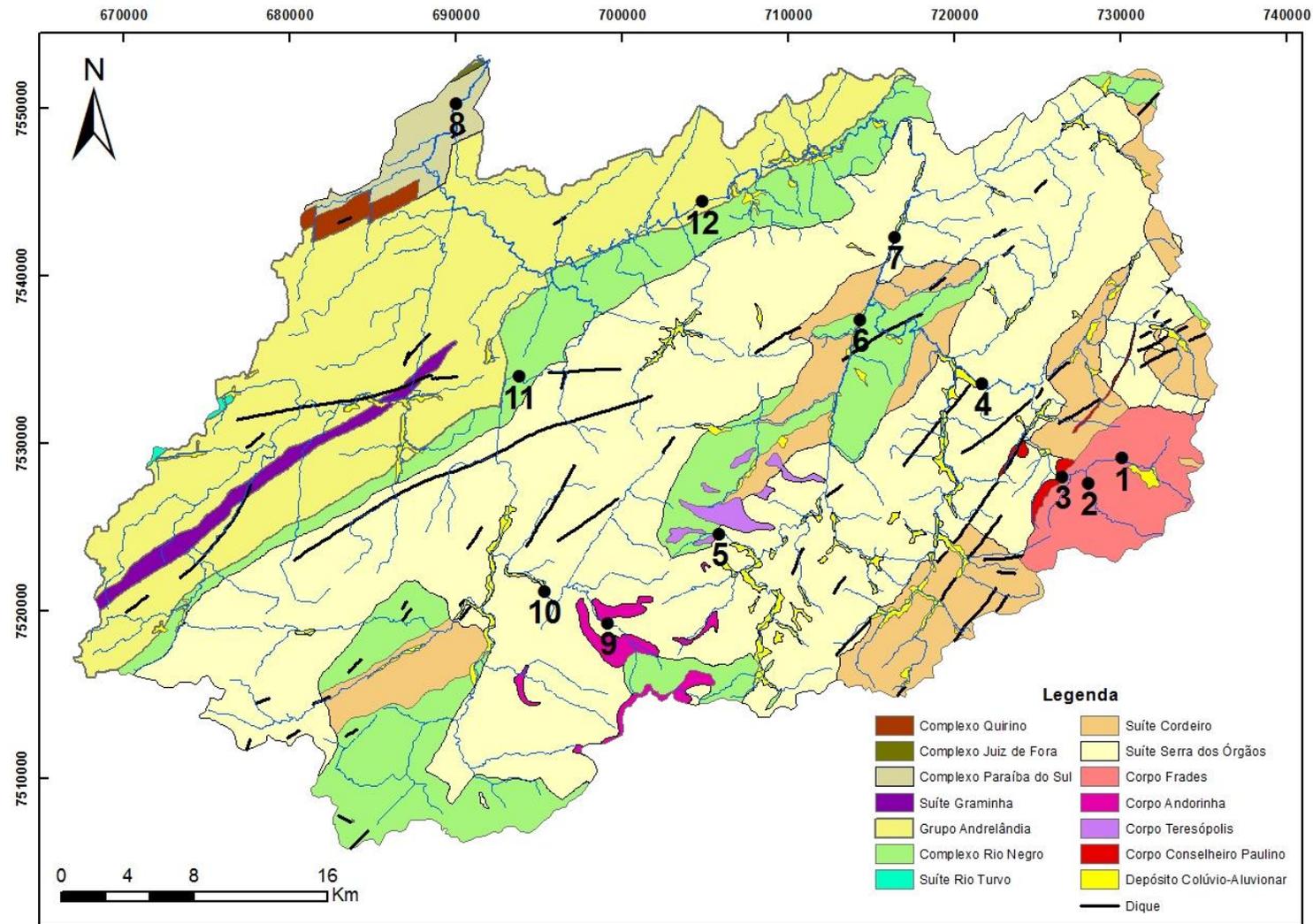


Figura 10 - Mapa geológico com a distribuição dos pontos de coleta de amostra.
 Fonte: Adaptado de SILVA et al., 2001.

O procedimento adotado durante as coletas foi baseado nos livros *Noções de Prospecção e Pesquisa Mineral para Técnicos de Geologia e Mineração* (NETO; ROCHA, 2010) e *Minerais em Grãos* (PEREIRA; ÁVILA; LIMA, 2005). As amostras de sedimento foram coletadas em depósitos de placer ativos e em cada local foram coletadas várias porções no entorno da estação de amostragem, de forma a gerar uma amostra composta, a qual possui maior representatividade. As amostras foram coletadas com volume inicial de 10 litros e peneiradas *in situ* com peneira de 2 mm de abertura (**Figura 11 - A**).

Em laboratório, as amostras foram submetidas a uma segunda etapa de peneiramento, dessa vez por peneira vibratória (**Figura 11 – B**). As amostras de sedimento foram divididas, cada qual, em duas frações granulométricas, sendo a maior com intervalo entre 0,250 e 0,125 mm (areia fina) e a menor com intervalo entre 0,125 e 0,062 mm (areia muito fina). Estes são os intervalos onde há melhor resposta para estudos com minerais pesados (PARFENOFF; POMEROL; TOURENQ, 1970).



Figura 11 - Peneiramento das amostras. **A** - Peneiramento *in situ* com peneira de 2 mm. **B** - Peneiramento em mesa vibratória.

A segregação dos minerais pesados foi efetuada por imersão em líquido denso (bromofórmio). Esta técnica consiste na separação dos minerais de maior densidade por gravidade, onde ao se inserir o sedimento em um líquido denso, o bromofórmio (densidade = 2,89 g/cm³), os minerais com densidade maior do que a do líquido se depositam no fundo,

enquanto os de densidade menor flutuam (**Figura 12**). Ao final do processo as amostras são lavadas com álcool para retirar os resíduos de bromofórmio.

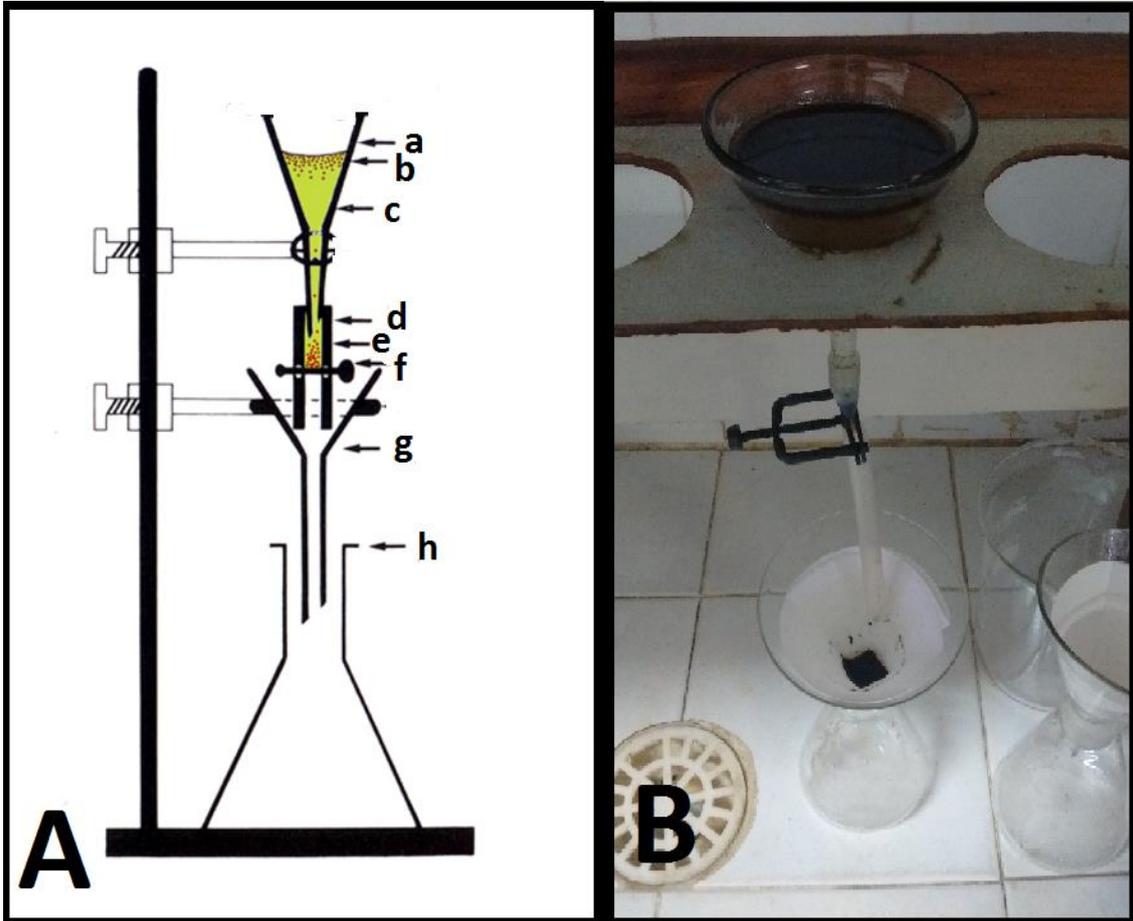


Figura 12 - Separação dos minerais pesados por imersão em Bromofórmio. **A** – Estrutura de separação de minerais pesados por imersão em líquido denso. a) Funil de separação; b) Minerais leves; c) Líquido de separação; d) Tubo de borracha; e) Minerais Pesados; f) Pinça que controla a passagem do líquido e da fração pesada; g) Funil de filtração; h) Frasco de recepção. Fonte: Modificado de Parfenoff et al., 1970. **B** – Foto do processo de separação por imersão em bromofórmio.

Uma alíquota de cerca de 250g de cada amostra foi submetida à separação mineralógica por bromofórmio. O concentrado de minerais pesados obtidos, após lavagem e secagem, foi pesado para a obtenção do percentual (wt%) destes minerais em cada amostra.

Por fim, uma porção dos concentrados de minerais pesados foi separada para a análise mineralógica por contagem de grãos, onde foi feita prévia remoção e a pesagem dos minerais

magnéticos com ímã de mão, e o restante foi macerado em gral de ágata. Desta segunda porção foram separadas as frações destinadas às análises por difração de raios-x (mineralógica) e fluorescência de raios-x (química). A **Figura 13** mostra o fluxograma das etapas de preparo das amostras.

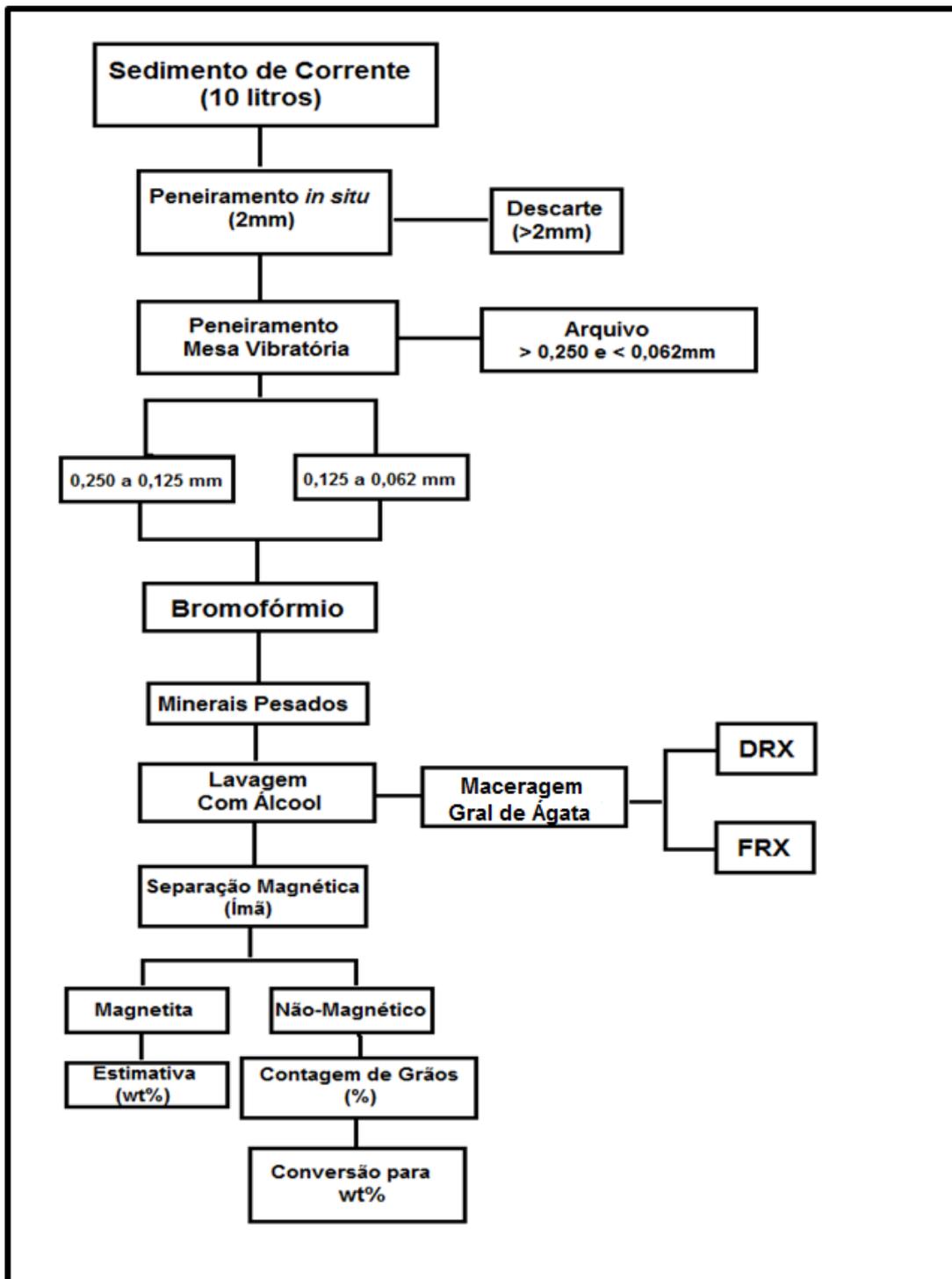


Figura 13 - Fluxograma das etapas de preparo das amostras.

5.2 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

Esta técnica consiste na identificação dos minerais presentes na amostra através da caracterização de sua estrutura cristalina, a qual é feita a partir da interpretação do desvio na propagação retilínea de uma onda quando atravessa o cristal. Os raios-X emitidos sobre o mineral são espalhados pelos elétrons dos átomos do cristal, de acordo com suas disposições cristalográficas, e sem que ocorram mudanças de comprimento de onda (PECHARSKY; ZAVALIJ, 2005).

O resultado é dado na forma de um gráfico (difratograma), o qual tem como variável horizontal o ângulo 2θ (onde θ é o ângulo entre a incidência dos raios-X e porta amostra) e como eixo vertical a intensidade dos picos difratados. Cada estrutura cristalina possui um padrão de difração característico e para a interpretação dos dados compara-se o padrão obtido com um banco de dados, onde são catalogados os padrões produzidos por estruturas conhecidas e previamente analisadas (PECHARSKY; ZAVALIJ, 2005).

A análise mineralógica por difração de raios-X foi realizada no instituto de física da UFF, no difratometro Bruker D8 Advance com tubo de cobre. As condições de análise foram de um ângulo de 2θ , variando de 3° a 70° com incremento de $0,02^\circ$ por passo e tempo de leitura de 0,5 segundos por passo. A interpretação dos difratogramas gerados foi feita através dos programas PCW23 e ORIGIN 7 em conjunto com consulta de tabelas de Brindley e Brown (1980), além do banco de dados EVA e dos sites www.webmineral.com e www.mindat.org.

A análise mineralógica por difração de raios-x foi somente qualitativa e subsidiou a interpretação da análise mineralógica quantitativa por contagem de grãos.

5.3 QUANTIFICAÇÃO ATRAVÉS DE CONTAGEM DE GRÃOS

A estimativa das porcentagens dos minerais presentes nas amostras foi feita através da identificação e contagem, em análise microscópica, de cerca de 300 grãos em cada amostra. Segundo Parfenoff et al (1970), a essa quantidade de grãos se associa um erro de 5%. Para a realização desta etapa foi feita uma prévia separação dos minerais magnéticos com imã de mão e uma estimativa da porcentagem em peso (wt%) de magnetita/maghemita em cada amostra.

Para a identificação e contagem dos grãos foi utilizado microscópio binocular e o reconhecimento das espécies presentes se baseou nas descrições dos minerais encontradas nos livros *Les Minéraux en Grains – Méthodes D'Étude et Détermination* (PARFENOFF; POMEROL; TOURENQ, 1970), *Minerais em Grãos – Técnicas de Coleta, Preparação e Identificação* (PEREIRA; ÁVILA; LIMA, 2005), *Minerais Pesados – Uma Ferramenta para Prospecção, Proveniência, Paleogeografia e Análise Ambiental* (ADDAD, 2010) e *Heavy Minerals in Colour* (MANGE; MAURER, 1992). Para auxiliar a identificação foram também usados os resultados qualitativos obtidos na análise por difração de raios-x.

Os resultados obtidos foram convertidos para porcentagem em peso, tendo por base a densidade de cada um dos minerais presentes e desconsiderando o erro associado a variação do tamanho dos grãos (volume) dentro de um mesmo intervalo granulométrico. Por fim foi recalculada a porcentagem levando-se em consideração a quantidade de magnetita para cada amostra. Tal conversão foi feita através da equação (1):

$$\text{wt\%} = (100 - \% \text{mag}) \cdot (\% \cdot d \text{ min}) / (\% \cdot d \text{ tot}) \quad (1)$$

Onde:

wt% = Porcentagem recalculada do mineral considerando a magnetita na amostra;

%mag = porcentagem de magnetita na amostra;

%·d min = porcentagem do mineral na amostra sem magnetita multiplicada pela densidade do mineral;

%·d tot = somatório das %·d min da amostra.

Esta análise não foi feita para as amostras 2, 4 e 9 devido a problemas durante o preparo das mesmas.

5.4 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X

A espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX) é uma das técnicas mais usadas nas determinações de elementos maiores e traços em amostras geológicas, incluindo sedimentos. Trata-se de uma técnica não destrutiva que permite tanto a análise qualitativa quanto a quantitativa de uma vasta gama de elementos.

Neste método, uma fonte de radiação de elevada energia (radiação gama ou radiação X) provoca a excitação dos átomos do analito, ou seja, ele absorve a energia de forma a promover os elétrons a níveis energéticos mais elevados. Neste estado o átomo estará em uma situação instável. Quando retorna ao seu estado fundamental, ocorre uma emissão de energia (fluorescência), que é específica para cada elemento químico permitindo a sua identificação. A quantificação é feita com base na intensidade da emissão (BROUWER, 2003).

A análise da composição química dos concentrados de minerais pesados foi realizada no laboratório de Raios-X do Instituto de Engenharia Nuclear (IEN) que pertence a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Para tal foi usado um Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X com Energia Dispersiva (EDXRF), modelo EDX, série 800HS da marca Shimadzu. Utilizou-se detector de Si (Li), com tubo de raio-X, rh com 50KV e 1000 μ A e colimador de 10mm.

As análises foram feitas a vácuo, em pastilhas contendo os minerais moídos, e o limite de detecção foi de 20ppm para elementos pesados (do titânio ao urânio) e de 30ppm para elementos leves (do sódio ao escândio). A análise das amostras foi acompanhada de um padrão (*podmore*), o qual aferiu a consistência dos resultados obtidos.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os minerais pesados nas amostras da bacia do rio Piabanha correspondem a uma média de 13,2 wt% e 12,3 wt% dos depósitos de placer para os intervalos granulométricos correspondentes a areia fina e areia muito fina, respectivamente. A **Figura 14** mostra a concentração de minerais pesados, para ambas as frações estudadas, em cada amostra. As variações entre os percentuais obtidos podem ser explicadas por quatro fatores principais: a disponibilidade de minerais pesados nas fontes que alimentam o depósito, as características físicas e químicas dos minerais presentes, o contexto geomorfológico das áreas adjacentes e as condições hidráulicas atuantes no depósito.

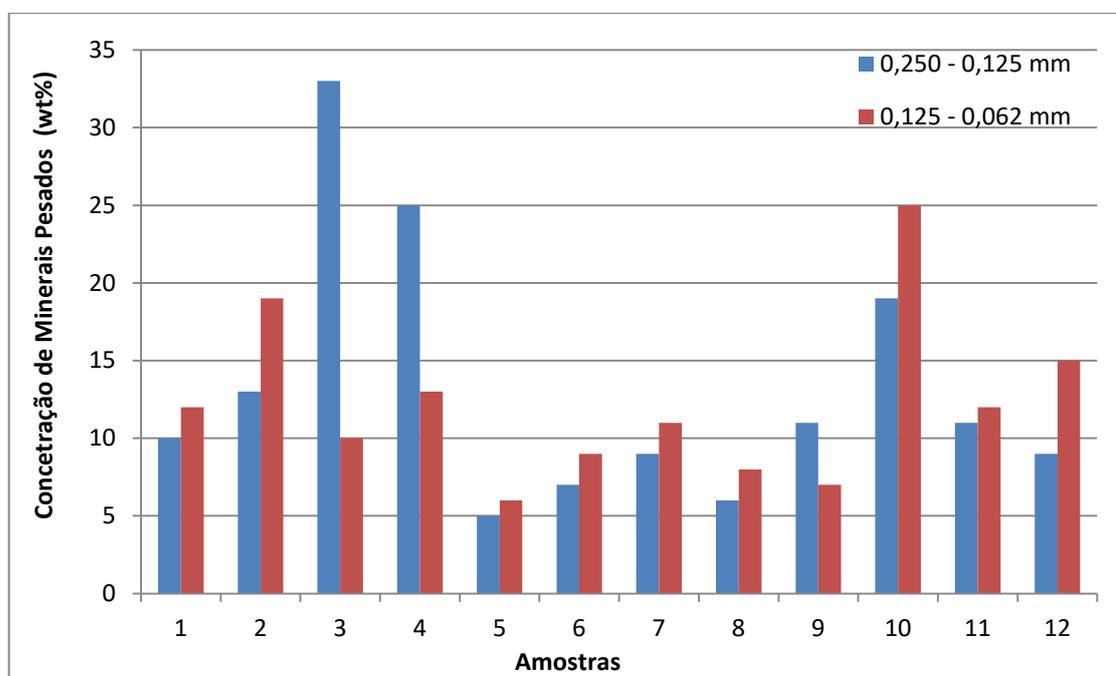


Figura 14 - Concentração de minerais pesados em cada amostra para a fração areia fina e areia muito fina.

A maior parte das amostras apresenta uma diferença pequena para a concentração de minerais pesados entre os dois intervalos granulométricos. De maneira geral, essa diferença se dá pelas próprias características dos minerais, alguns com tendência a ocorrerem como grãos maiores, outros menores. O anfibólio e as micas, por exemplo, apresentam em geral granulometrias superiores ao intervalo estudado nas rochas fonte. Portanto os grãos presentes no concentrado são fragmentos gerados após a atuação dos processos intempéricos e erosivos.

Como a clivagem desses minerais favorece a sua fragmentação, a disponibilidade deles para cada fração vai depender do retrabalhamento do grão ao longo do caminho de transporte.

Em alguns casos fatores extrínsecos às características do mineral se sobressaem. A diferença de concentração entre as frações na amostra 3, por exemplo, pode ser justificada em função das condições hidráulicas do depósito. Esta amostra foi coletada em um depósito adjacente a uma cachoeira (Cachoeira dos Frades), onde o fluxo é mais turbulento, favorecendo a deposição da fração mais grossa em detrimento da mais fina.

A baixa concentração de minerais pesados obtida na amostra 8 pode ser justificada pelas condições de relevo, pois esta amostra se encontra no final da bacia, em uma região onde o relevo é menos acidentado. Portanto os minerais pesados transportados tendem a se depositar a montante, onde ocorre a transição para este tipo de relevo e há uma diminuição na velocidade do fluxo. O relevo mais aplainado reduz também a intensidade dos processos erosivos, provocando dessa forma uma menor entrada de minerais, a partir das áreas adjacentes, no sistema de sedimentação fluvial.

A amostra 5, por sua vez, é que possui a menor concentração de minerais pesados para ambas as frações. Como não existem condições geomorfológicas que propiciem a ocorrência desta concentração diminuta, a causa pode estar associada a uma menor disponibilidade de minerais pesados nas áreas fontes deste depósito. Outro fator que pode ter tido influência nas características deste depósito é o fato de o rio ter sido canalizado no local de coleta desta amostra.

De maneira geral, a mineralogia do depósito tende a refletir de maneira proporcional as assembleias de minerais pesados das fontes que os alimentam. Com perda somente dos minerais mais instáveis.

6.1 MINERALOGIA

6.1.1 Aspectos Gerais

A assembleia de minerais pesados contida nos depósitos de placer da bacia do rio Piabanha possui ao todo 16 espécies minerais distintas (**Tabela 13**), mas somente a metade destas está presente em todos os depósitos. Os minerais que aparecem com maior concentração média são o anfibólio (31,2 wt%), a magnetita (23,8 wt%), as micas (11,6 wt%),

a ilmenita (10,1 wt%) e o zircão (8,8 wt%), todos com grande variação de concentração entre os pontos. A magnetita é o mineral que mostra a maior variação, oscilando entre um mínimo de 3,1 wt% (amostra 5 – fração areia fina) e um máximo de 74,3 wt% (amostra 3 – fração areia fina).

Tabela 13 - Média (wt%) da composição mineralógica dos concentrados de minerais pesados envolvendo as duas frações granulométricas (n = 21)

	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)
Anfibólio	31,19	6,79	60,87	15,24	49
Magnetita	23,78	3,12	74,27	23,11	97
Micas	11,62	1,12	66,98	14,55	125
Ilmenita	10,09	0,43	31,84	8,96	89
Zircão	8,77	0,91	27,55	8,95	102
Apatita	4,58	1,16	12,31	3,32	72
Titanita	3,66	0,33	8,23	2,47	68
Granada	1,94	0,46	5,45	1,52	78
Allanita	1,68	nd	12,06	3,17	188
Epidoto	1,65	nd	21,03	5,35	323
Piroxênio	0,77	nd	13,16	2,87	373
Monazita	0,17	nd	1,24	0,34	206
Estaurolita	0,04	nd	0,82	0,18	458
Anatásio	0,04	nd	0,82	0,18	458
Sillimanita	0,01	nd	0,18	0,04	458
Pirita	0,01	nd	0,14	0,03	458

A presença de grande quantidade de anfibólio (mesmo sendo um mineral de baixa resistência ao intemperismo) e de micas reflete a abundância destas espécies nas rochas da bacia, pois estes dois minerais são constituintes principais de diversas litologias pertencentes às unidades geológicas formadoras do arcabouço da bacia. A magnetita, a ilmenita e o zircão, por sua vez, ocorrem originalmente como minerais acessórios e sua importância nos concentrados (apresentam concentrações variáveis, mas em geral estão entre os 5 minerais

mais abundantes nas amostras) é o que caracteriza a assembleia de minerais pesados nos sedimentos da bacia.

Os minerais apatita (4,6 wt%), titanita (3,7 wt%) e granada (1,9 wt%), apesar de possuírem concentrações médias mais baixas, ocorrem em todas as amostras. Portanto são também minerais amplamente distribuídos nas unidades da bacia e sua menor concentração média reflete um teor relativamente menor nas rochas fonte e/ou maior suscetibilidade ao intemperismo.

O epidoto, a allanita, o piroxênio e a monazita ocorrem apenas em algumas amostras, com concentrações variadas. O epidoto, por exemplo, chega a atingir uma concentração de 21 wt% na amostra 8 (fração areia fina), sendo o constituinte principal desta amostra. Contudo esses quatro minerais estão ausentes em mais de dois terços das amostras e, portanto, não foram considerados nas análises de correlação estatística, evitando-se assim resultados tendenciosos.

Os minerais anatásio, estaurolita, sillimanita e pirita também não foram considerados nestas análises, pois esses quatro minerais apresentam, cada um, apenas uma ocorrência dentre as amostras estudadas e suas concentrações nestas são baixas (< 1 wt%). As ocorrências minerais mais restritas não serão consideradas nas interpretações.

Os minerais presentes no concentrado não se distribuem de maneira homogênea entre as duas frações granulométricas analisadas. A comparação entre a média obtida para cada fração separadamente mostra que determinados minerais se concentram preferencialmente em um intervalo específico de granulometria (**Figura 15**). Considerando-se o desvio padrão, tem-se que o zircão e a apatita são os minerais em que a mudança do intervalo granulométrico possui maior influência nos resultados encontrados, ambos mostrando uma clara tendência a se concentrar no intervalo entre 0,125 e 0,062 mm.

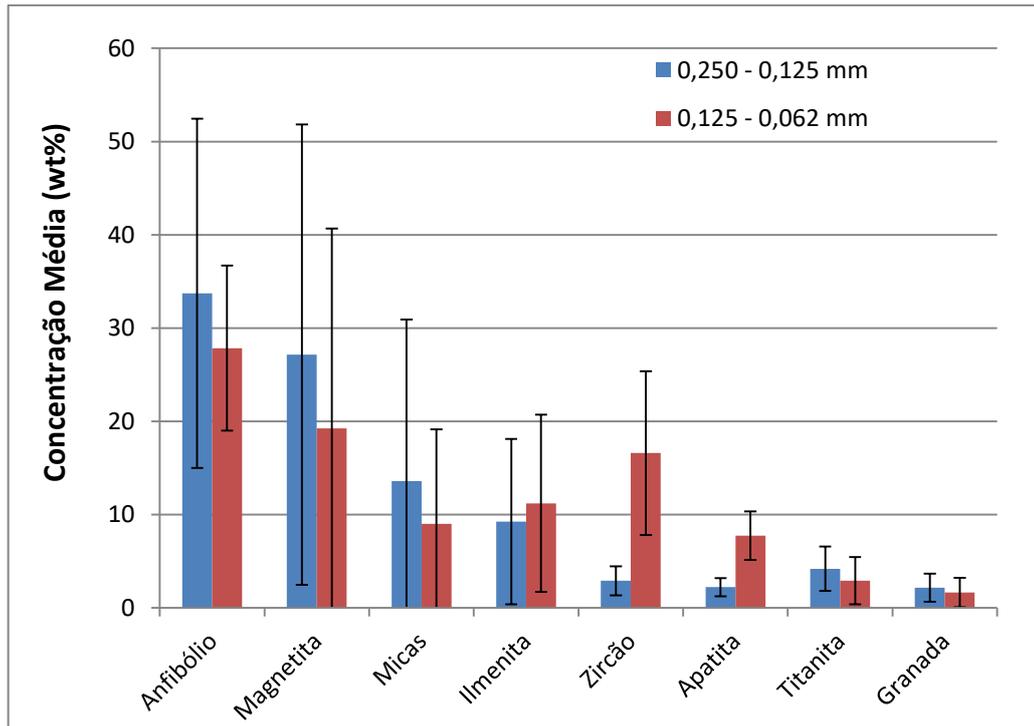


Figura 15 - Concentração média dos principais minerais encontrados para as frações areia fina e areia muito fina.

A apatita varia de uma concentração média de 2,2 wt% na fração areia fina para uma concentração média de 7,7 wt% na fração areia muito fina, mostrando uma média 3,5 vezes superior nesta última. A **Figura 16** mostra que essa variação ocorre para todas as amostras, mas não se dá de maneira proporcional entre as frações, podendo levar a interpretações distintas de acordo com o intervalo analisado. Apesar dos grãos de apatita observados nas amostras da bacia serem, em sua maioria, cristais euédricos e inteiros, uma parcela se mostra fragmentada ou retrabalhada por processos intempéricos e erosivos. Dessa forma, a segregação deste mineral na fração areia muito fina não se dá exclusivamente em função das características da área fonte, mas também pelas alterações provocadas ao longo do processo de denudação.

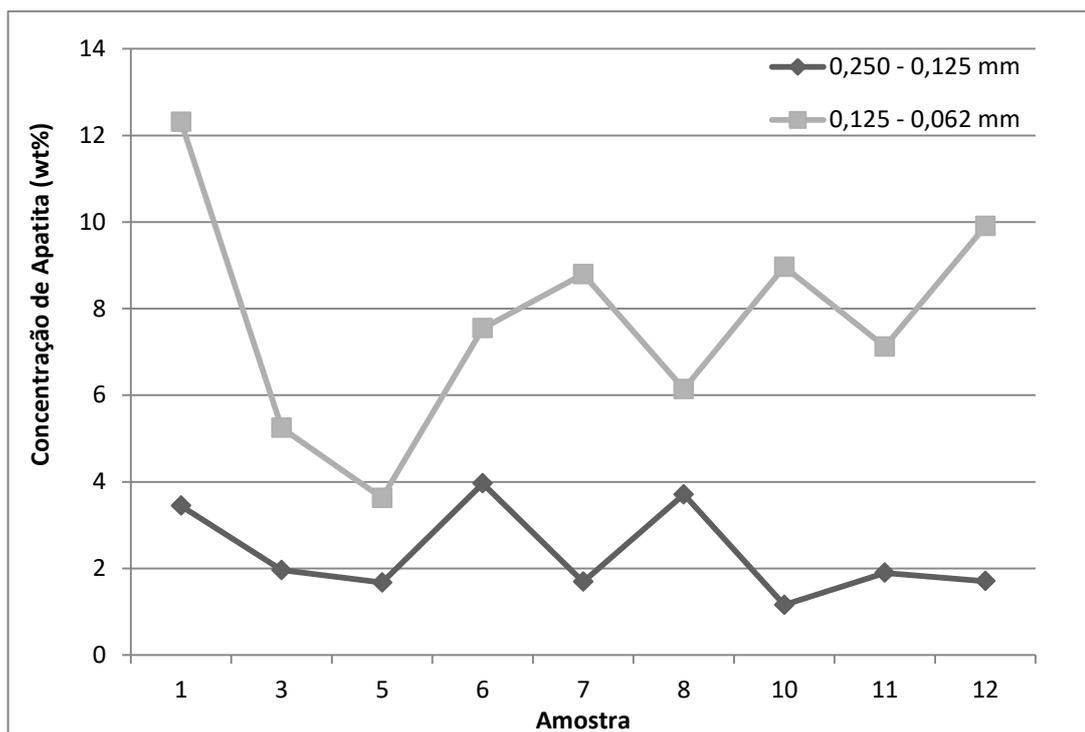


Figura 16 - Comparação da variação entre as amostras da concentração média de apatita para as frações areia fina e areia muito fina.

O zircão, por sua vez, varia de uma concentração média de 2,9 wt% na fração areia fina para uma concentração média de 16,6 wt% na fração areia muito fina. Sendo assim, o zircão mostra um valor médio de concentração mais do que 5 vezes maior na fração areia muito fina, consistindo assim no mineral em que o intervalo granulométrico apresenta maior influência sobre a concentração.

A **Figura 17** compara a variação das concentrações de zircão entre as duas frações para cada ponto, evidenciando que as variações na concentração, entre os pontos, são pouco significativas na fração granulométrica mais grossa. Os resultados obtidos na fração areia muito fina refletem de maneira mais concisa as mudanças na concentração do zircão, de acordo com a contribuição das diferentes unidades geológicas. Como os grãos de zircão observados são, em sua grande maioria, cristais euédricos e inteiros (pouco ou nada danificados por processos intempéricos e erosivos), o controle desta distribuição é dado essencialmente por sua disponibilidade na fonte. Sendo assim, as análises de proveniência e dispersão para o zircão, na bacia do rio Piabanha, mostram-se mais robustas no intervalo granulométrico que vai de 0,125 a 0,062 mm.

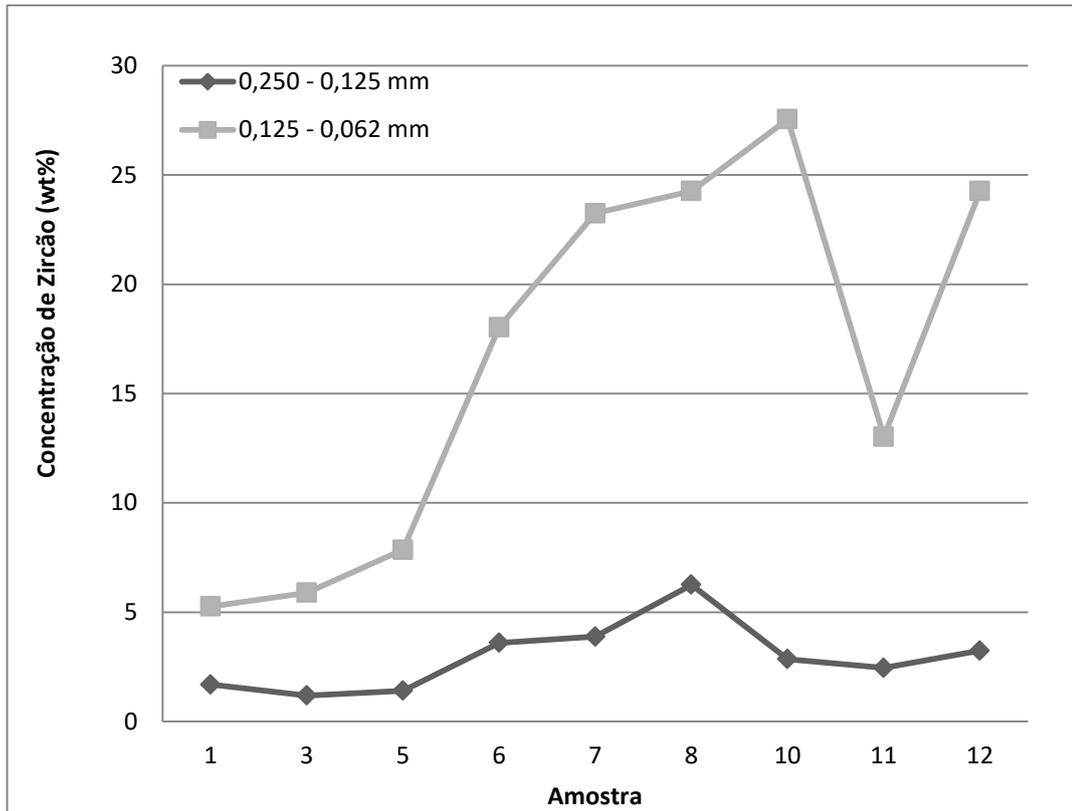


Figura 17 - Comparação da variação entre as amostras da concentração média de zircão para os diferentes intervalos granulométricos.

Oliveira (2010), também quantificou a porcentagem de minerais pesados na bacia. Seu trabalho consistiu na análise de cinco pontos por contagem de grãos. As amostras foram coletadas na cabeceira, no ponto médio e no ponto exutório do Rio Piabanha, no Rio Preto e na porção mista entre o Rio Piabanha e o Rio Preto. Os resultados deste trabalho mostram que os minerais ilmenita, hornblenda, magnetita, biotita e titanita são de ampla ocorrência nos concentrados. A apatita ocorre em pequenas concentrações, segundo o autor devido a sua baixa resistência aos processos intempéricos e erosivos. O zircão e a granada estão presentes também com baixas concentrações e foram registradas ocorrências de topázio e epidoto. Segundo o autor não há um padrão definido de aumento ou diminuição da concentração das espécies minerais ao longo do curso do rio, com a diminuição da concentração dos mais instáveis e aumento dos estáveis, como era de se esperar. Mas destaca que as distâncias de transporte são pequenas e que o rio continua coletando minerais ao longo de seu curso.

6.1.2 Resultados para a fração areia fina

A média obtida para a fração areia fina difere da média abrangendo ambas as frações (**Tabela 14**). Os quatro principais minerais são, respectivamente, anfibólio (33,7wt%), magnetita (27,2wt%), micas (13,6wt%) e ilmenita (9,3wt%). Neste intervalo granulométrico, além de uma diminuição significativa na média da concentração do zircão e da apatita, ocorre um aumento para a titanita e o anatásio e a pirita não se mostram presentes em nenhuma amostra.

Tabela 14 - Concentração média (wt%) dos minerais para a fração areia fina. N = 12

	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)
Anfibólio	33,71	6,79	60,87	18,68	55
Magnetita	27,17	3,12	74,27	24,68	91
Micas	13,59	1,12	66,98	17,33	128
Ilmenita	9,25	0,43	31,66	8,87	96
Zircão	2,91	0,91	6,26	1,57	54
Apatita	2,22	1,16	3,96	0,98	44
Titanita	4,20	1,26	8,23	2,38	57
Granada	2,17	0,66	5,45	1,51	70
Allanita	1,54	nd	12,06	3,59	233
Epidoto	1,75	nd	21,03	6,07	346
Piroxênio	1,25	nd	13,16	3,78	302
Monazita	0,16	nd	0,83	0,29	187
Estaurolita	0,07	nd	0,82	0,24	346
Sillimanita	0,01	nd	0,18	0,05	346

Uma vez que os minerais apresentam grande variação de concentração entre as amostras, uma alternativa para compreender sua distribuição na bacia é encontrar correlações entre eles, ou seja, quais minerais ocorrem associados. A **Tabela 15** mostra o fator de correlação para os minerais que estão presentes em todas as amostras.

A magnetita mostra uma correlação negativa com o anfibólio e com o zircão, contudo o zircão e o anfibólio não apresentam correlações positivas entre si. Sendo assim, a principal unidade fonte de magnetita não é a mesma que fornece as maiores quantidades de zircão e de anfibólio.

A granada, por sua vez, mostra correlação positiva com o zircão e com a apatita, indicando que as principais unidades fontes destes dois minerais são ricas também em granada. Os demais minerais não mostraram valores de correlação significativos.

Tabela 15 - Coeficiente de correlação para os principais minerais na fração areia fina ($p < 0,05$)

	Magnetita	Anfibólio	Zircão	Ilmenita	Apatita	Micas	Titanita	Granada
Magnetita	1,000							
Anfibólio	-0,685	1,000						
Zircão	-0,620	0,442	1,000					
Ilmenita	-0,251	0,128	0,510	1,000				
Apatita	-0,124	-0,254	0,358	-0,004	1,000			
Micas	-0,296	-0,196	-0,325	-0,418	-0,092	1,000		
Titanita	-0,377	0,448	0,550	-0,124	0,375	-0,250	1,000	
Granada	-0,470	0,089	0,738	0,237	0,662	-0,131	0,544	1,000

A análise por estatística multivariada para os mesmos minerais confirma as correlações obtidas acima (**Figura 18**), além de acrescentar outras. O fator 1 positivo coloca a magnetita isolada, indicando uma correlação negativa com zircão, granada, titanita e anfibólio. Esse grupo de minerais são correlacionados pelo fator 1 negativo. Enquanto o fator 2 mostra uma correlação negativa entre o anfibólio e a apatita.

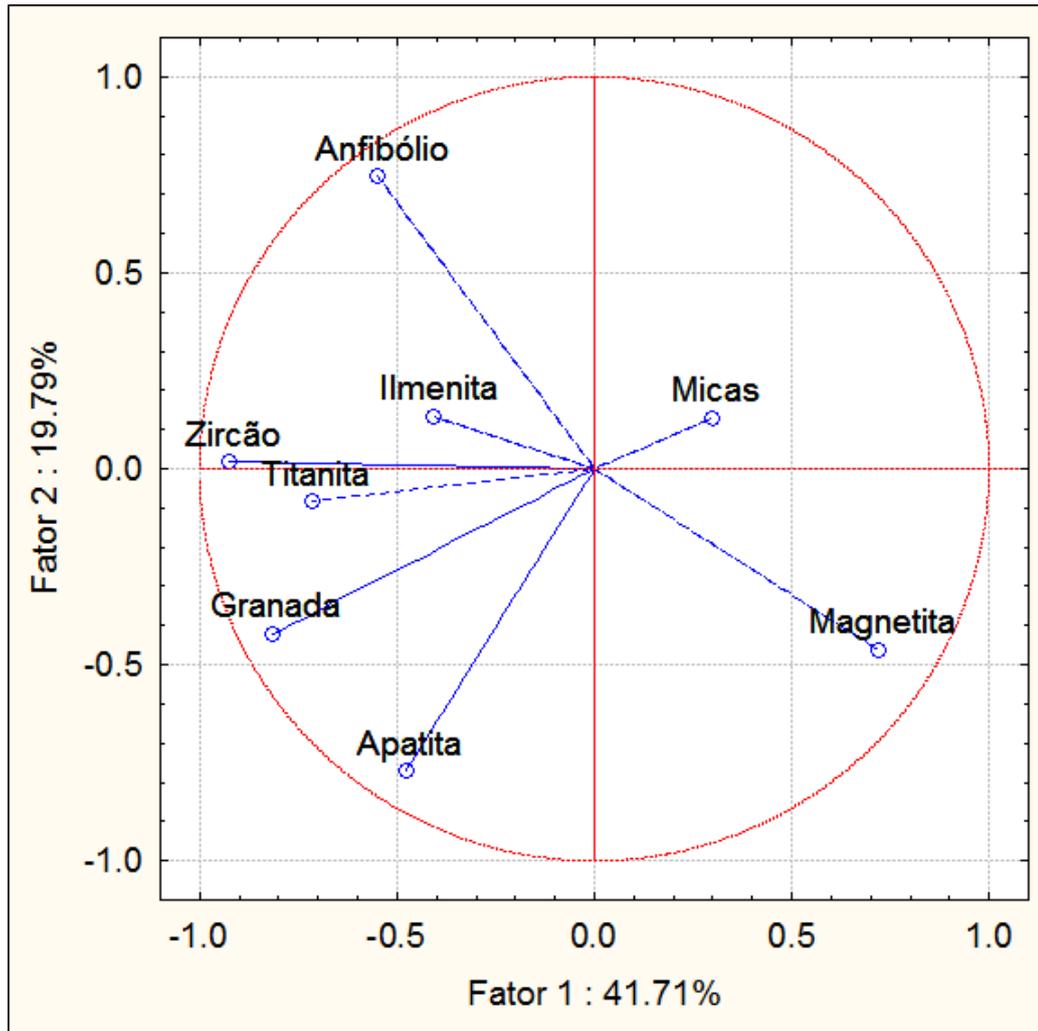


Figura 18 - Projeção das correlações para os principais minerais obtidos na análise mineralógica para a fração areia fina, obtidas através de estatística multivariada (PCA).

A **Figura 19**, por sua vez, associa as correlações encontradas por estes fatores às amostras. Essa projeção permite fazer uma caracterização preliminar das áreas fontes, uma vez que agrupa os pontos de coleta com características em comum. As amostras localizadas mais próximas das áreas de ocorrência dos granitos pós-tectônicos (1, 2, 3, 5 e 9) apresentam uma tendência a se agruparem pelo fator 1 positivo. Esse fator é caracterizado pela presença da magnetita e também por quantidades relativamente baixas de zircão, granada, titanita e anfibólio.

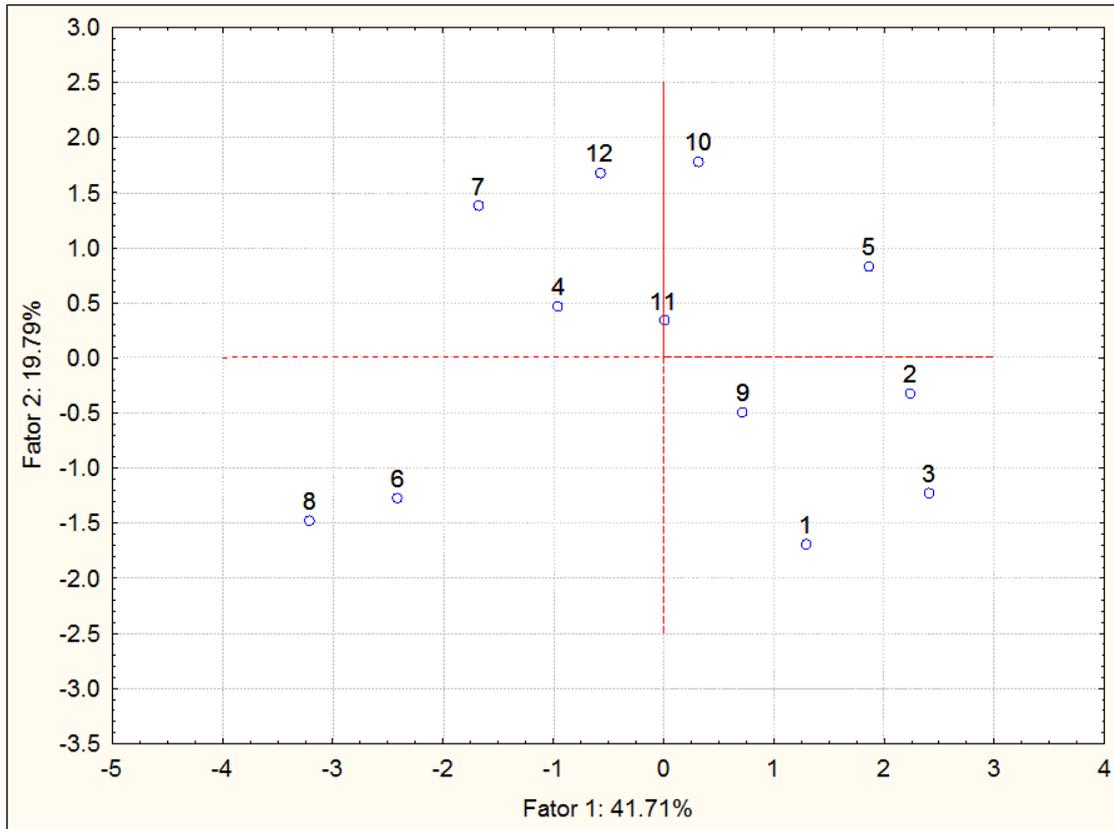


Figura 19 - Projeção da correlação para as amostras (casos) obtidas a partir da estatística multivariada, usando os principais minerais encontrados na análise mineralógica para a fração areia fina.

Apesar do ponto 5 apresentar a menor porcentagem de magnetita da bacia (3,1 wt%), contrastando com os pontos 1, 2, 3 e 9 (apresentam as maiores concentrações de magnetita, chegando a cerca de 74,3 wt% no ponto 3), a análise por estatística multivariada identificou uma associação entre essas amostras, indicando a presença de características em comum nas amostras localizadas mais próximas dos granitos pós-tectônicos. Essa correlação pode ser explicada em virtude da baixa concentração dos minerais agrupados no fator 1 negativo (zircão, granada, titanita e anfibólio). A amostra 5 é a que possui o menor percentual de minerais pesados, sendo sua assembleia constituída sobretudo por micas.

Quanto ao fator 2, as amostras 1, 3, 8 e 6 tendem a associar-se com a apatita em detrimento do anfibólio. Enquanto as amostras com maior correlação com o anfibólio em relação à apatita são a 7, a 10 e a 12. Mas, em função da tendência que a apatita possui de ocorrer preferencialmente na fração areia muito fina, as interpretações sobre as possíveis fontes desse mineral se dão de maneira mais consistente nos resultados encontrados para esta fração.

6.1.3 Resultados para a fração areia muito fina

Os minerais que apresentam maior concentração média neste intervalo granulométrico são anfibólio (27,8 wt%), magnetita (19,3 wt%), zircão (16,6 wt%), ilmenita (11,2 wt%), micas (9,0 wt%) e apatita (7,73 wt%). Neste intervalo o zircão e a apatita passam a ocorrer entre os minerais de maior concentração média. Os demais minerais mantêm uma distribuição semelhante à encontrada na fração mais grossa, com variações de concentração média pouco expressivas ao se considerar o desvio padrão.

A titanita e a granada também ocorrem em todas as amostras. Os demais, por estarem presentes em menos da metade das amostras não serão considerados nas análises estatísticas.

Tabela 16 - Concentração média (wt%) dos minerais para a fração areia muito fina. N = 9

	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)
Anfibólio	27,83	14,18	39,55	8,84	32
Magnetita	19,26	4,78	71,05	21,40	111
Zircão	16,58	5,26	27,55	8,76	53
Ilmenita	11,21	1,16	31,84	9,50	85
Micas	9,01	1,19	34,79	10,12	112
Apatita	7,73	3,63	12,31	2,60	34
Titanita	2,93	0,33	7,29	2,54	87
Allanita	1,87	0,00	7,32	2,71	145
Granada	1,65	0,46	5,30	1,58	96
Epidoto	1,52	0,00	13,71	4,57	300
Monazita	0,18	0,00	1,24	0,42	234
Piroxênio	0,12	0,00	1,12	0,37	300
Anatásio	0,09	0,00	0,82	0,27	300
Pirita	0,02	0,00	0,14	0,05	300

O fator de correlação para este intervalo granulométrico (**Tabela 17**) mostra que a magnetita possui correlação negativa tanto com o zircão quanto com o anfibólio, mostrando o mesmo resultado obtido para a fração areia fina. Contudo, para esta fração, as micas mostram uma correlação positiva com o anfibólio, indicando uma associação de fontes para estes dois minerais. As micas têm também uma correlação negativa com a apatita.

Há também uma correlação positiva entre a titanita e a granada, mas neste caso, diferentemente do que foi observado para a fração areia fina, não existe correlação entre a granada e o zircão.

Tabela 17 - Coeficiente de correlação para os principais minerais no intervalo granulométrico entre 0,125 e 0,062 mm ($p < 0,20$)

	Anfibólio	Zircão	Ilmenita	Apatita	Micas	Titanita	Granada	Magnetita
Anfibólio	1,000000							
Zircão	0,122431	1,000000						
Ilmenita	-0,344003	0,363660	1,000000					
Apatita	-0,137975	0,201942	0,453431	1,000000				
Micas	0,572328	-0,360937	-0,253328	-0,548162	1,000000			
Titanita	0,395395	0,074745	-0,194067	0,163684	-0,019042	1,000000		
Granada	-0,160993	0,142487	0,108030	-0,146533	0,146096	0,492040	1,000000	
Magnetita	-0,537586	-0,579172	-0,434207	-0,075920	-0,387507	-0,292097	-0,366046	1,000000

A análise por estatística multivariada (**Figura 20**) reafirma a correlação negativa da magnetita com o anfibólio e as micas (fator 1), assim como a correlação positiva entre estes dois últimos. Esta associação entre as micas e o anfibólio não foi identificada na fração areia fina, porém essa diferença pode ser explicada em função da amostra 5, uma vez que esta possui uma concentração anômala de micas e, portanto, apresenta maior influência nos resultados estatísticos relativos a tais minerais. A fração areia fina nesta amostra tem mais de 65 wt% de micas em sua composição, contudo esta concentração diminui para cerca de 35 wt% na fração areia muito fina, sendo esta diferença compensada principalmente pelo

aumento na concentração de anfibólio. Logo, a correlação entre as micas e o anfibólio foi somente atribuída à fração areia muito fina.

O fator 2 positivo da estatística multivariada para a fração areia muito fina correlaciona o zircão, a ilmenita e a apatita, em oposição a magnetita, que se segrega no fator 2 negativo.

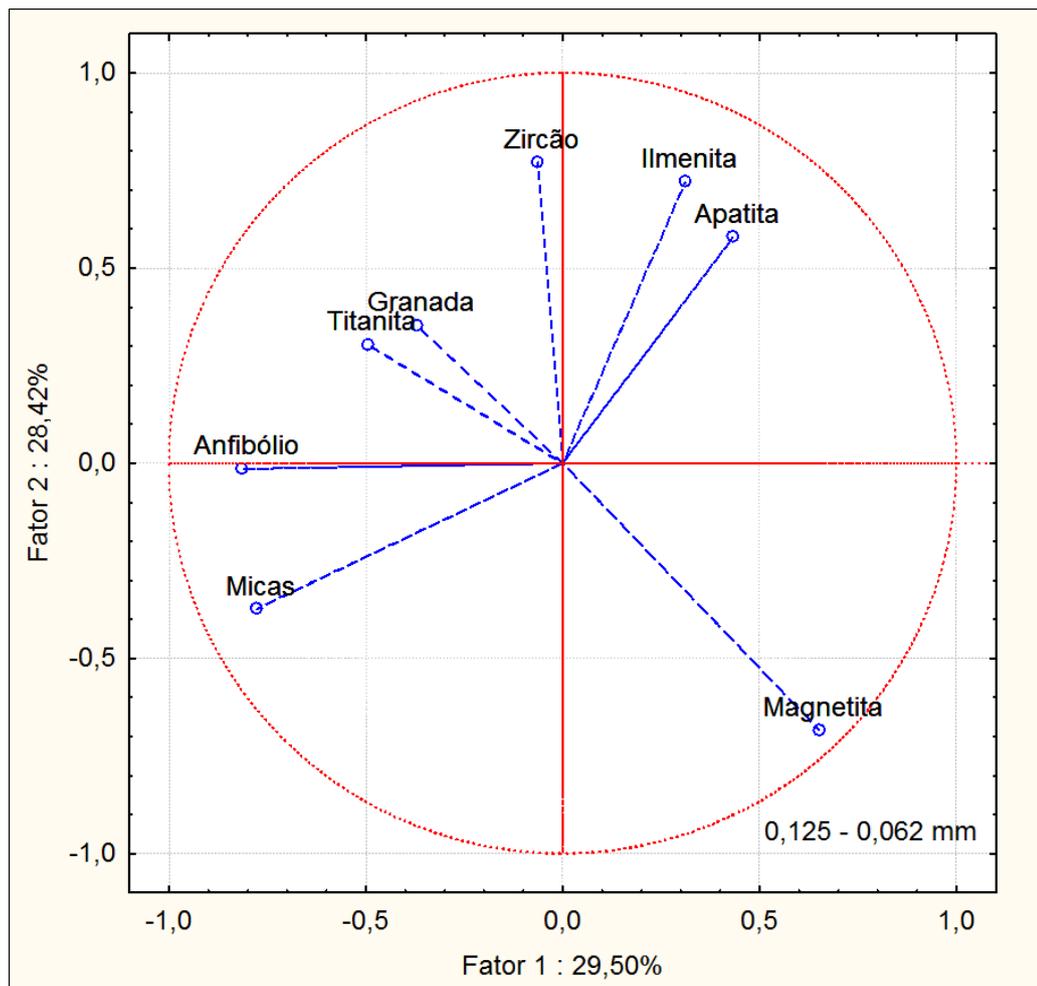


Figura 20 - Projeção das correlações para os principais minerais obtidos na análise mineralógica para a fração areia muito fina, obtidas através de estatística multivariada (PCA).

Quanto as correlações obtidas por estes fatores para as amostras (**Figura 21**), temos a amostra 5 relacionada ao fator 1 positivo, associando-se portanto as micas e ao anfibólio. As amostras 6 e 11 também possuem afinidade com este fator, mas em menor intensidade. A amostra 3 mostra uma correlação negativa com estas amostras, pois se associa ao fator 1 negativo (magnetita). As amostras 1 e 7 também tem relação com este fator, mas em menor

6.2 GEOQUÍMICA

6.2.1 Aspectos Gerais

Os minerais pesados encontrados no concentrado são silicatos, óxidos e alguns fosfatos. A **Tabela 18** mostra a composição química e o grau de estabilidade desses minerais. Alguns elementos como Fe, Si, Al, Ti, Ca e Mg estão presentes em grande parte destes minerais, com concentrações variáveis para cada mineral.

Tabela 18 - Composição química e grau de estabilidade dos minerais presentes no concentrado

Mineral	Estabilidade (PETTIJOHN; POTTER; SIEVER, 1972)	Composição Química (DANA; HURLBUT, 1970)	Subdivisões Possíveis
Anfibólio	Instável	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH})_2$	Tremolita
		$\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe})_5(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH})_2$	Actinolita
		$\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg},\text{Fe})_4(\text{Al},\text{Fe},\text{Ti})(\text{Al},\text{Si})_8\text{O}_{22}(\text{O},\text{OH},\text{F})_2$	Hornblenda
Magnetita	Estável	Fe_3O_4	
Micas	Estável	$\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})$	Biotita
		$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})$	Muscovita
Ilmenita	Estável	FeTiO_3	
Zircão	Ultraestável	ZrSiO_4	
Apatita	Estável	$\text{Ca}_2(\text{F},\text{Cl},\text{OH})(\text{PO}_4)_3$	
Titanita	Moderado	CaTiSiO_4	
Granada	Estável	$(\text{Ca},\text{Mg},\text{Fe},\text{Mn})_3(\text{Al},\text{Fe},\text{Ti},\text{Cr})_2(\text{SiO}_4)_3$	
Allanita	Moderado	$(\text{Ca},\text{Ce},\text{La},\text{Na})_2(\text{Al},\text{Fe},\text{Mn},\text{Be},\text{Mg})_3(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})$	
Epidoto	Moderado	$\text{Ca}_2(\text{Al},\text{Fe})\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})$	
Piroxênio	Instável	$\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$	Diopsídio
		$\text{NaFe}(\text{Si}_2\text{O}_6)$	Egiritita
		$(\text{Ca},\text{Na})(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_6$	Augita
Monazita	Estável	$(\text{Ce},\text{La},\text{Y},\text{Th})\text{PO}_4$	
Estaurolita	Estável	$\text{Fe}_2\text{Al}_9\text{O}_8(\text{SiO}_4)(\text{OH})$	
Anatásio	Ultraestável	TiO_2	
Sillimanita	Moderado	Al_2SiO_5	
Pirita	-	FeS_2	

A **Tabela 19** mostra a composição química média dos concentrados, considerando apenas os elementos que aparecem acima do limite de detecção em mais da metade das amostras. Os elementos que mostram maior concentração média são: Fe, Si, Ti, Al, Ca, P, Mg e Zr. Sendo que os quatro primeiros correspondem a mais de 70% da composição de todas as amostras, chegando a representar mais de 90% em alguns casos (amostras 2, 3, 4 e 11, todas na fração areia fina). Alguns elementos têm as suas concentrações associadas a um único mineral dentre os presentes no concentrado, como é o caso do Zr (zircão) e do P (apatita, uma vez que a monazita está presente em poucas amostras e com baixa concentração).

Tabela 19 - Média da composição química do concentrado de minerais pesados para as 24 amostras

	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)
Fe₂O₃	38,61	26,54	57,89	9,46	24
SiO₂	21,51	15,18	32,91	4,74	22
TiO₂	13,8	6,78	22,24	4,65	34
Al₂O₃	11,26	6,40	19,25	3,29	29
CaO	4,15	2,16	7,76	1,43	34
P₂O₅	2,39	0,25	6,39	1,83	77
MgO	2,48	1,06	4,35	0,94	38
K₂O	1,32	0,64	5,33	1,04	79
Zr	25359	1688	93552	26743	105
Mn	4734	1781	7474	1423	30
Cr	305	14	561	163	54
Zn	317	16	482	109	35
Cu	175	16	503	151	86
Nb	203	14	412	105	52
Sr	57	17	194	43	75
Y	451	78	1065	285	63
Hf	843	18	2616	741	88

Os elementos Si, Al, Ti, Ca e Mg estão presentes em diversos minerais e, portando, as suas concentrações médias variam em relação a participação que cada um desses minerais vai corresponder para cada amostra, além das proporções destes elementos dentro do próprio mineral. A muscovita, por exemplo, apresenta uma média de 16% de alumínio em sua

composição, mas a quantidade de alumínio neste mineral pode ultrapassar os 30% (KALERVO; SAHAMA, 1950).

Apesar de o ferro estar distribuído em muitos dos minerais presentes (anfíbólio, magnetita, ilmenita, biotita, granada, epidoto, allanita, piroxênio, estauroлита e pirita), a variação da sua concentração, entre as amostras, é controlada principalmente pela magnetita. A **Figura 22** mostra essa relação.

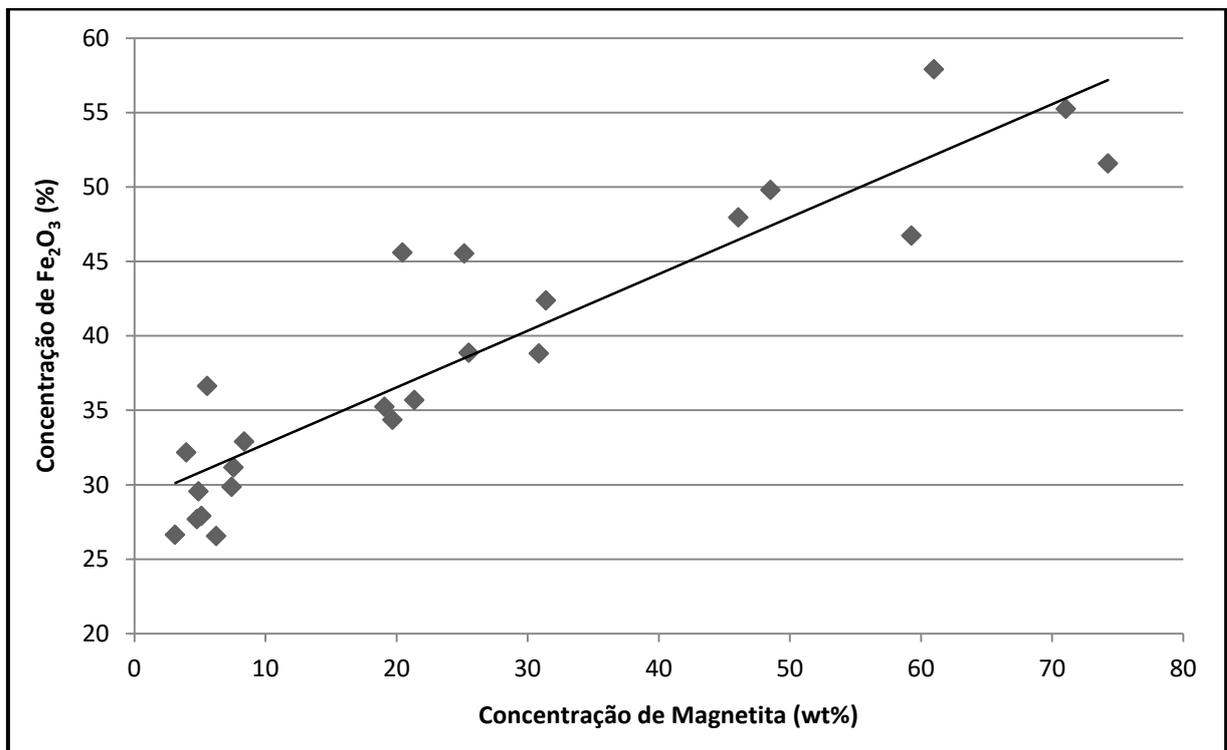


Figura 22 - Linha de tendência mostrando a relação entre a concentração de magnetita e a concentração de Fe₂O₃.

A ocorrência do potássio, por sua vez, relaciona-se principalmente as micas. Mas este elemento pode ocorrer em pequenas quantidades em outros minerais. A apatita, o anfíbólio e o piroxênio, por exemplo, podem conter pequenas quantidades de potássio substituindo o cálcio na sua composição. Mas o grande raio atômico do potássio dificulta a incorporação de quantidades significativas deste elemento na estrutura destes minerais (KALERVO; SAHAMA, 1950).

Os demais elementos ocorrem em proporções menores, não correspondendo ao constituinte principal de nenhum dos minerais presentes. Devido a similaridades geoquímicas,

estes elementos vão substituir outros na estrutura dos minerais. O Mn e o Zn, por exemplo, podem substituir o Fe e o Ca na estrutura de minerais como anfibólio e biotita (KALERVO; SAHAMA, 1950). A presença deles em maior ou menor proporção nos minerais vai estar relacionada às características específicas de cada formação geológica. Interpretações mais aprofundadas a este respeito serão feitas a partir da análise por estatística multivariada.

Tal qual a mineralogia, e como consequência desta, a geoquímica mostra uma distribuição diferenciada para os dois intervalos granulométricos estudados. A **Figura 23** mostra a comparação, entre os dois intervalos, da concentração média dos elementos maiores nos concentrados. Considerando-se o desvio padrão, tem-se que o P_2O_5 tende a se concentrar preferencialmente na fração areia muito fina, estando coerente, portanto, com os resultados obtidos para a apatita.

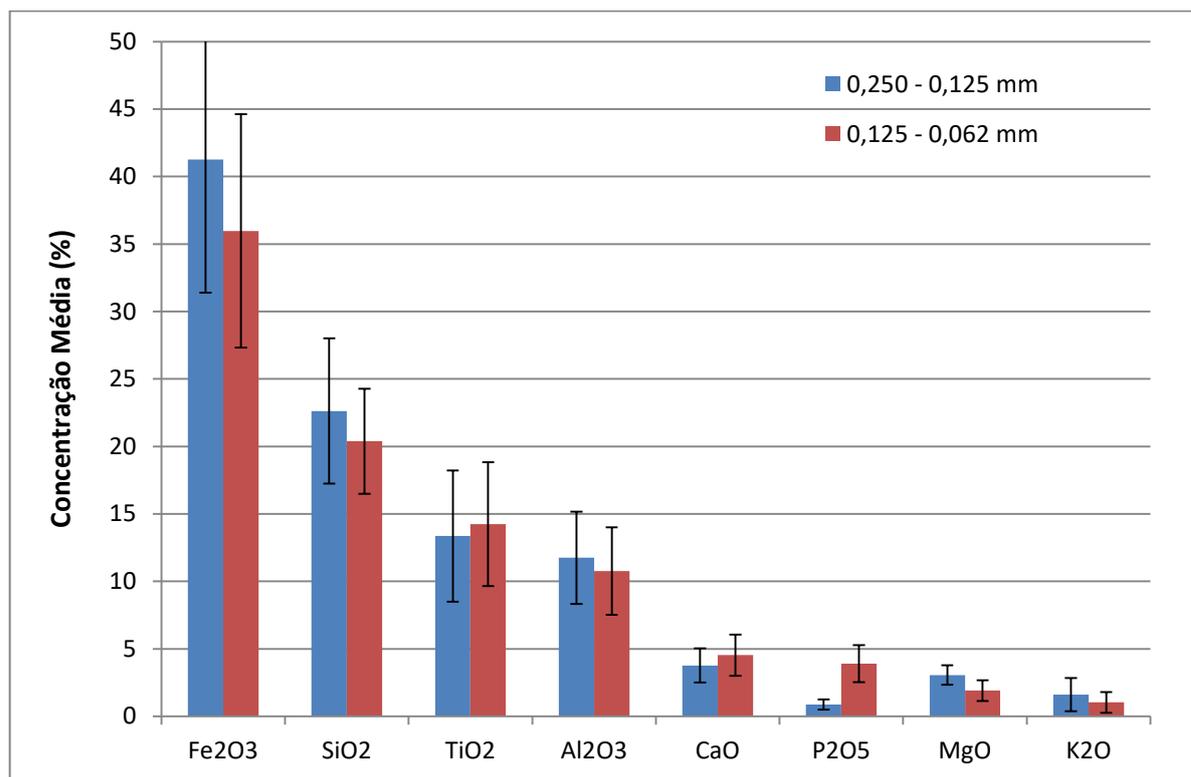


Figura 23 - Concentração média dos elementos maiores para as frações areia fina e areia muito fina.

A **Figura 24** mostra as concentrações médias dos elementos menores e traço para as duas frações. O Zr apresenta uma diferença significativa entre as frações, com uma evidente tendência a se concentrar na fração areia muito fina. Tal distribuição corrobora os resultados

relativos à mineralogia, onde o zircão mostra maior afinidade com o intervalo granulométrico mais fino.

O Y e o Hf mostram a mesma tendência a se concentrarem na fração areia muito fina, enquanto o La ocorre acima do limite de detecção somente nas amostras desta fração. Portanto há também uma correlação entre estes elementos e a apatita e/ou o zircão. Os ETR possuem uma afinidade com o fósforo e com o flúor e podem substituir o cálcio em diversos minerais (allanita, titanita, piroxênio, anfibólio, granada), mas tendem a se concentrar na apatita (KALERVO; SAHAMA, 1950). Esses elementos podem também substituir o Zr no zircão, especialmente o ítrio. O tório possui um comportamento geoquímico semelhante ao dos ETR. O háfnio, por sua vez, apresenta grande similaridade química com o zircônio devido ao efeito da contração lantanídea (similaridade entre elementos de mesma valência separados pelo grupo lantanídeo) e, portanto, associa-se ao zircão (GOLDSCMIDT, 1958).

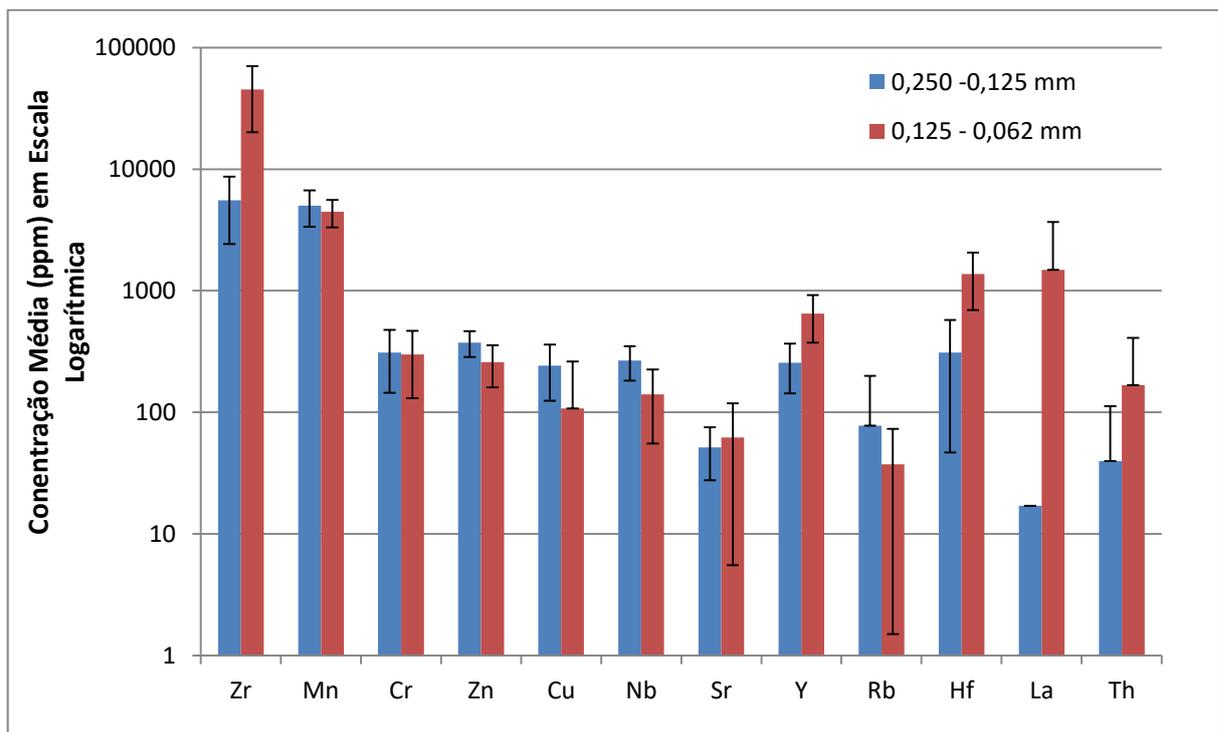


Figura 24 - Concentração média dos elementos menores e traços para as frações areia fina e areia muito fina.

6.2.2 Resultados para a fração areia fina

Os resultados obtidos para a geoquímica desta fração encontram-se detalhados no **Anexo 9.3** e a **Tabela 20** mostra a média obtida para os elementos que ocorrem acima do limite de detecção em mais da metade das amostras. Os elementos que ocorrem com maior concentração média são: Fe₂O₃ (41,25%), SiO₂ (22,63%), TiO₂ (13,36%) e Al₂O₃ (11,75%).

Tabela 20 - Concentração média dos elementos químicos que ocorrem acima do limite de detecção em mais da metade das amostras na fração areia fina. N = 12

	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)
Fe ₂ O ₃	41,25	26,64	57,89	9,85	24
SiO ₂	22,63	15,18	32,91	5,39	24
TiO ₂	13,36	6,78	21,13	4,87	36
Al ₂ O ₃	11,75	8,15	19,25	3,42	29
CaO	3,76	2,16	5,94	1,27	34
MgO	3,06	1,99	4,35	0,73	24
K ₂ O	1,61	0,78	5,33	1,23	76
P ₂ O ₅	0,88	0,25	1,72	0,38	43
Zr	5560	1688	12163	3136	56
Mn	5013	1975	7474	1662	33
Cr	311	14	520	165	53
Zn	375	201	482	90	24
Cu	242	16	367	118	49
Nb	266	112	412	84	32
Sr	51	17	101	24	46
Y	255	78	468	112	44
Hf	311	18	697	265	85

A relação entre a geoquímica, a mineralogia e as diferentes áreas fontes se dá de maneira complexa, uma vez que cada área fonte vai ter uma assembleia mineral característica, muitas vezes com proporções diferentes dos mesmos minerais. Como nos depósitos há uma mistura de áreas fontes, uma das maneiras de identificar a procedência dos minerais presentes no depósito é através de sua caracterização geoquímica, principalmente em relação aos elementos menores e traço. Sendo assim, as correlações geoquímicas identificadas através de estatística podem ser uma ferramenta útil para se alcançar tais caracterizações. A **Tabela 21** mostra as correlações obtidas para os elementos que ocorrem em mais da metade das amostras na fração areia fina.

Tabela 21 - Coeficiente de correlação ($p < 0,05$) para os principais elementos na fração areia fina

	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	P ₂ O ₅	MgO	K ₂ O	Zr	Mn	Cr	Zn	Cu	Nb	Sr	Y	Hf
Fe ₂ O ₃	1,000																
SiO ₂	-0,908	1,000															
TiO ₂	-0,199	-0,214	1,000														
Al ₂ O ₃	-0,730	0,863	-0,425	1,000													
CaO	-0,411	0,370	0,238	-0,053	1,000												
P ₂ O ₅	0,638	-0,564	-0,172	-0,507	0,043	1,000											
MgO	-0,494	0,778	-0,714	0,839	0,103	-0,245	1,000										
K ₂ O	-0,591	0,743	-0,434	0,855	-0,298	-0,575	0,730	1,000									
Zr	0,027	-0,375	0,857	-0,557	0,131	-0,162	-0,747	-0,509	1,000								
Mn	-0,296	-0,031	0,872	-0,380	0,440	-0,302	-0,580	-0,326	0,777	1,000							
Cr	0,663	-0,547	-0,350	-0,311	-0,077	0,748	-0,118	-0,530	-0,198	-0,497	1,000						
Zn	-0,532	0,293	0,519	0,236	-0,029	-0,571	-0,159	0,304	0,321	0,599	-0,678	1,000					
Cu	0,186	-0,125	-0,007	-0,257	0,186	0,282	-0,191	-0,328	-0,051	0,094	0,050	-0,072	1,000				
Nb	-0,429	0,150	0,687	-0,067	0,276	-0,519	-0,380	-0,023	0,597	0,863	-0,486	0,692	-0,198	1,000			
Sr	0,538	-0,405	-0,228	-0,512	0,261	0,708	-0,099	-0,469	-0,171	-0,218	0,508	-0,649	-0,113	-0,366	1,000		
Y	-0,784	0,676	0,301	0,403	0,708	-0,391	0,221	0,170	0,019	0,465	-0,425	0,524	0,146	0,485	-0,363	1,000	
Hf	-0,389	0,194	0,443	0,081	0,057	-0,453	-0,112	0,159	0,521	0,351	-0,416	0,219	-0,677	0,452	-0,060	0,043	1,000

O Fe_2O_3 mostra uma correlação positiva com o P_2O_5 e com o Cr. A associação do cromo com o ferro se dá em função da similaridade química existente entre estes dois elementos, uma vez que os raios atômicos do cromo e o do ferro férrico são semelhantes. Portanto o cromo pode estar presente em minerais como magnetita, anfibólios, piroxênios e biotita (KALERVO; SAHAMA, 1950). A correlação do Fe_2O_3 com o P_2O_5 , por outro lado, não é dada pela coexistência destes elementos em um mesmo mineral, mas possivelmente devido à ocorrência simultânea de magnetita e apatita.

O Fe_2O_3 possui correlação negativa com o SiO_2 , com o Al_2O_3 , com o K_2O e com o Y. Tal característica indica que as amostras mais ricas em ferro possuem menos silicatos, como anfibólios e micas. Além disso, o Y apresenta uma correlação positiva com o SiO_2 e com o CaO, ou seja, devido a baixa concentração de zircão nesta fração as principais fontes de ítrio são os silicatos cálcicos, como anfibólios, granada, epidoto e principalmente a allanita.

O TiO_2 mostra uma correlação positiva com o Mn, com Nb e com o Zr. Tendo em vista que o principal mineral de titânio presente nas amostras é a ilmenita, a correlação com o manganês pode ser explicada devido à tendência que este apresenta de substituir o ferro na estrutura deste mineral. O manganês pode também substituir o cálcio na estrutura de alguns minerais, como a titanita. O nióbio, por sua vez, tem uma correlação mais direta, uma vez que possui grande similaridade química com o titânio, podendo substituí-lo na estrutura de minerais como ilmenita e titanita (Goldschmidt, 1958). A correlação com o zircônio, no entanto, pode ser atribuída à grande ocorrência conjunta de ilmenita e zircão nas amostras.

A correlação entre o P_2O_5 e o Sr pode ser explicada em função da similaridade deste último com o CaO, com forte tendência a substituí-lo na apatita (KALERVO; SAHAMA, 1950). O fato de não ter sido identificada uma correlação direta entre o cálcio e o estrôncio mostra que este último não está distribuído uniformemente em todos os minerais com cálcio, mas preferencialmente na apatita.

O MgO mostra uma correlação positiva com o K_2O , indicando uma associação entre estes dois elementos nas micas. O MgO tem também correlações negativas com o Zr, com o TiO_2 e com o Mn, o que reforça a sua associação com as micas, uma vez que as amostras mais micáceas possuem baixa concentração tanto de zircão quanto de ilmenita.

O Zn mostra uma correlação positiva com o Mn e com Nb, e apesar não ter uma correlação clara com o TiO_2 , pode também estar associado a ilmenita, ocorrendo preferencialmente nos casos em que este mineral se mostra mais rico nestes elementos.

As correlações obtidas através da estatística multivariada confirmam de maneira geral o que foi descrito acima (**Figura 25**). O fator 1 positivo revela uma correlação entre Fe_2O_3 , Cr, P_2O_5 e Sr (magnetita e apatita). A **Figura 26** mostra que este mesmo fator correlaciona as amostras 1, 2, 3 e 9, ou seja, as localizadas mais próximas dos granitos pós-tectônicos (exceto a amostra 5). Isto indica que tais granitos podem ser caracterizados em função de altas concentrações de magnetita e apatita, o que corrobora os resultados obtidos na mineralogia. A amostra 5 (fator 1 negativo, fator 2 positivo), por sua vez, tem como característica uma geoquímica associada às micas (SiO_2 , K_2O , Al_2O_3 , MgO), assim como por uma concentração elevada de Y. Esta amostra é, portanto, anômala e não se correlaciona a nenhuma das demais obtidas na bacia.

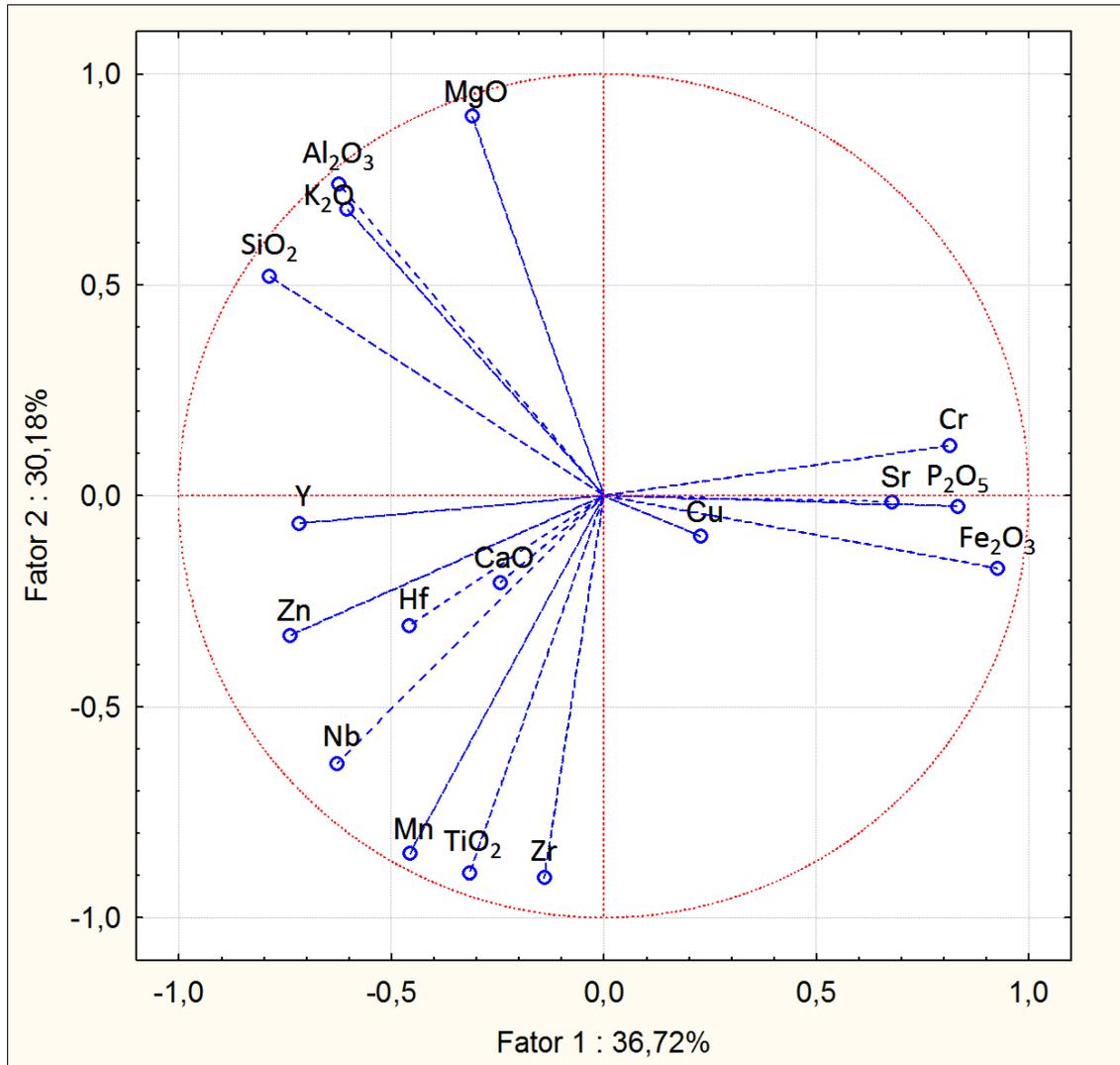


Figura 25 - Projeção das correlações para os principais elementos encontrados na análise química para a fração areia fina, obtidas através de estatística multivariada (PCA).

O fator 1 negativo mostra uma associação entre SiO₂, Al₂O₃, K₂O, Y, Zn e Nb. Esta correlação não se dá em nenhum mineral específico, mas se justifica estatisticamente como um agrupamento de elementos antagônicos a geoquímica dos granitos pós-tectônicos. O fator 2 positivo, por sua vez, agrupa os elementos que caracterizam a geoquímica das micas (SiO₂, Al₂O₃, MgO e K₂O), relacionados principalmente a amostra 5 e, em menor intensidade, a amostra 3. Enquanto o fator 2 negativo apresenta a geoquímica da associação entre o zircão (Zr) com a ilmenita (TiO₂, Mn e Nb). Essa associação é característica das amostras 4, 10 e 12.

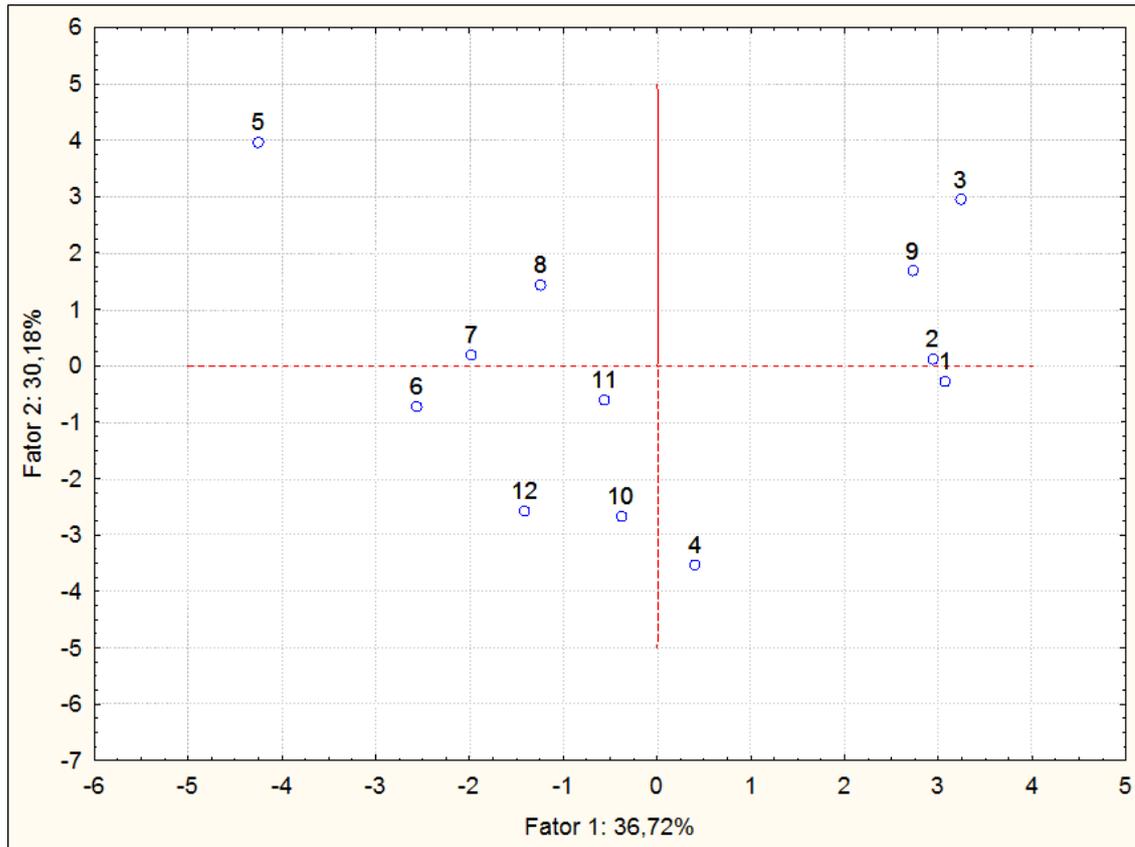


Figura 26 - Projeção da correlação para as amostras (casos) obtidas a partir da estatística multivariada, para a fração areia fina, usando os principais elementos encontrados na análise química.

6.2.3 Resultados para a fração areia muito fina

Os quatro elementos com maior concentração média para esta fração são Fe_2O_3 (36,0%), SiO_2 (20,4%), TiO_2 (14,2%) e Al_2O_3 (10,8%). A **Tabela 22** mostra a concentração média dos elementos que ocorrem acima do limite de detecção em mais da metade das amostras neste intervalo granulométrico. Os elementos Zr, P_2O_5 , Hf e Y apresentam um aumento na concentração média para esta fração, em comparação com a fração areia fina.

Tabela 22 - Concentração média dos elementos químicos que ocorrem acima do limite de detecção em mais da metade das amostras para a fração areia muito fina. N = 12

	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)
Fe ₂ O ₃	35,966	26,542	55,239	8,648	24
SiO ₂	20,391	15,972	28,153	3,892	19
TiO ₂	14,241	6,8	22,237	4,591	32
Al ₂ O ₃	10,765	6,401	15,818	3,237	30
CaO	4,538	3,195	7,76	1,525	34
P ₂ O ₅	3,905	1,857	6,388	1,374	35
MgO	1,905	1,057	3,657	0,762	40
K ₂ O	1,036	0,635	3,39	0,768	74
Zr	45158	12045	93552	25106	56
Mn	4454	1781	6149	1142	26
Cr	299	14	561	168	56
Zn	258	16	402	97	38
Cu	108	16	503	154	143
Nb	140	14	238	85	61
Sr	62	17	194	56	91
Y	647	208	1065	272	42
Hf	1374	18	2616	679	49

A **Tabela 23** mostra as correlações obtidas entre os principais óxidos para a fração areia muito fina. O Fe₂O₃ mantém sua correlação com o Cr, associada à magnetita. Contudo deixa de existir a correlação entre ferro e fósforo, dando lugar a uma com o estrôncio. Esta mudança pode ser atribuída a uma maior concentração de apatita nesta fração, com uma distribuição mais significativa em amostras com pouca magnetita. Contudo a correlação com o Sr indica uma concentração maior deste elemento na apatita proveniente de unidades mais ricas em magnetita.

Tabela 23 - Coeficiente de correlação ($p < 0,05$) para os principais elementos na fração areia muito fina

	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	P ₂ O ₅	MgO	K ₂ O	Zr	Mn	Cr	Zn	Cu	Nb	Sr	Y	Hf
Fe₂O₃	1,000																
SiO₂	-0,760	1,000															
TiO₂	-0,651	0,076	1,000														
Al₂O₃	-0,394	0,732	-0,139	1,000													
CaO	0,201	-0,033	-0,339	-0,186	1,000												
P₂O₅	0,160	-0,546	0,220	-0,882	0,274	1,000											
MgO	-0,267	0,650	-0,369	0,554	0,494	-0,512	1,000										
K₂O	-0,361	0,719	-0,284	0,608	0,049	-0,566	0,817	1,000									
Zr	-0,340	-0,152	0,506	-0,462	-0,483	0,523	-0,583	-0,397	1,000								
Mn	-0,764	0,223	0,802	-0,131	-0,124	0,326	-0,035	0,002	0,574	1,000							
Cr	0,768	-0,684	-0,459	-0,143	0,076	0,068	-0,347	-0,535	-0,182	-0,548	1,000						
Zn	-0,060	0,066	0,216	0,263	0,335	-0,280	0,290	0,155	-0,622	-0,004	-0,042	1,000					
Cu	-0,275	0,126	0,492	-0,306	0,135	0,372	-0,150	-0,114	0,035	0,278	-0,536	0,310	1,000				
Nb	-0,629	0,180	0,669	0,096	-0,241	0,158	-0,037	0,034	0,371	0,850	-0,329	0,016	0,128	1,000			
Sr	0,587	-0,327	-0,534	-0,245	0,866	0,208	0,322	-0,053	-0,635	-0,466	0,347	0,372	0,073	-0,427	1,000		
Y	-0,813	0,610	0,539	0,195	-0,417	-0,128	0,144	0,465	0,452	0,608	-0,792	-0,036	0,264	0,360	-0,693	1,000	
Hf	-0,045	-0,301	0,189	-0,265	-0,596	0,218	-0,540	-0,363	0,826	0,273	0,206	-0,675	-0,491	0,192	-0,627	0,197	1,000

A correlação negativa do Fe_2O_3 com o SiO_2 se mantém nesta fração, reafirmando a tendência de ocorrer menos silicatos (micas e anfibólios principalmente) nas amostras mais ricas em magnetita. Nesta fração foi identificada uma correlação negativa também entre TiO_2 , Mn e Nb com o Fe_2O_3 . O titânio pode coexistir com o manganês e com o nióbio tanto na estrutura da ilmenita quanto na da titanita, logo as amostras mais ricas em magnetita tendem a ter menor concentração destes dois minerais.

O SiO_2 , além da correlação negativa com o Cr e com o Fe_2O_3 , apresenta correlação positiva com Al_2O_3 , MgO e K_2O , sendo as micas importantes no controle desta associação geoquímica. O silício tem também correlação positiva com o Y, contudo o principal controle do ítrio para a fração areia muito fina é dado pelo zircão. A **Figura 27** compara a distribuição de Y com a de Zr, mostrando uma tendência geral de correlação, além de haver uma concentração maior de ítrio na fração areia muito fina, onde existe uma maior quantidade de zircão. Todavia esta correlação mostra algumas exceções, uma vez que a amostra 5, com pouco zircão, é a que possui a maior concentração de ítrio. E a amostra 10, que possui a maior quantidade de zircão, não apresenta a concentração de ítrio correspondente. Tal resultado apenas mostra que o ítrio, apesar de em geral estar relacionado ao zircão, pode ocorrer em outros minerais como anfibólio e micas, a depender da fonte. E nem todas as fontes fornecem zircões ricos neste elemento.

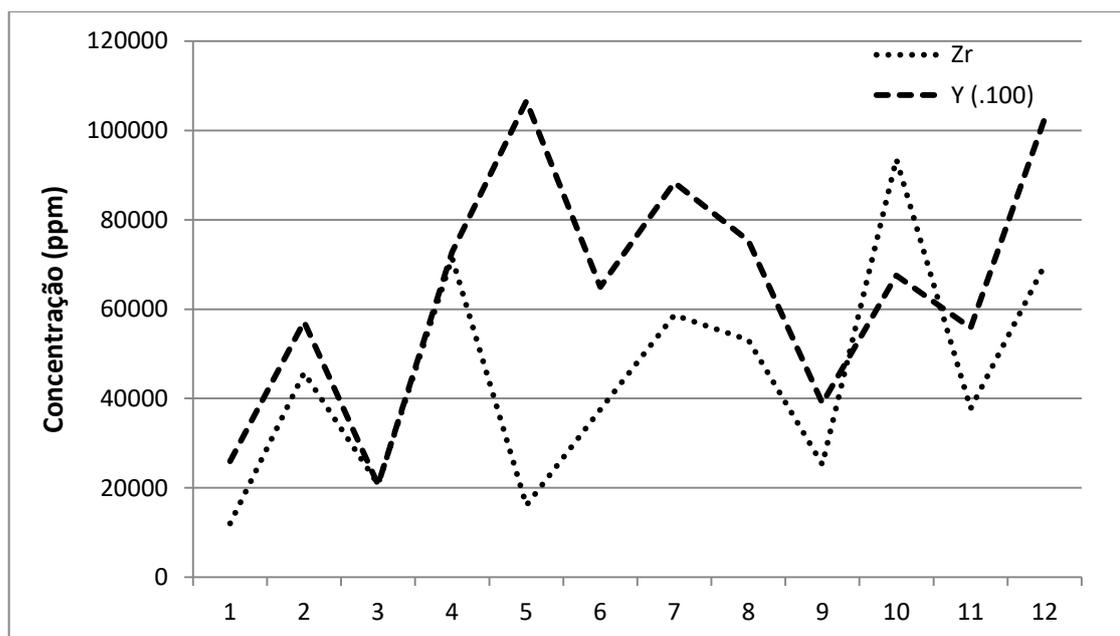


Figura 27 - Correlação entre a concentração de Zr e a de Y (vezes 100) nas amostras.

O Zr possui correlação positiva com o Hf, devido a similaridade química entre ambos e a sua coexistência na estrutura do zircão. Nesta fração o Zn passa a ter uma correlação negativa com estes dois elementos, assim como o MgO e o Sr.

As correlações obtidas através da análise por estatística multivariada auxiliam na compreensão desta distribuição, uma vez que reúnem grupos de elementos. A **Figura 28** mostra o resultado desta análise.

Os elementos Cr, Fe₂O₃, Sr e CaO se correlacionam através do fator 1 positivo, reafirmando a importância da magnetita e da apatita para as amostras 1, 2, 3 e 9, associadas aos granitos pós-tectônicos (**Figura 29**). Nesta fração o fósforo deixa de estar presente nesta correlação, não sendo explicado pelo fator 1.

O fator 1 negativo agrupa Zr, TiO₂, Mn, Nb, Y e SiO₂. Esta assinatura geoquímica corresponde aos elementos menos abundantes na geoquímica das amostras localizadas mais próximas dos granitos pós-tectônicos, podendo ser atribuída a minerais como zircão, ilmenita, titanita, allanita, micas e anfibólios. Essa associação se mostra mais influente nas amostras 12, 7 e 10.

O fator 2, por sua vez, faz uma distinção entre o grupo de elementos associados através do fator 1 negativo, unindo os mais ricos em zircão e apatita (fator 2 positivo), em oposição aos mais ricos em micas. Essa distinção é dada principalmente pela amostra 10 (no lado do zircão e da apatita) e pela amostra 5 no extremo oposto.

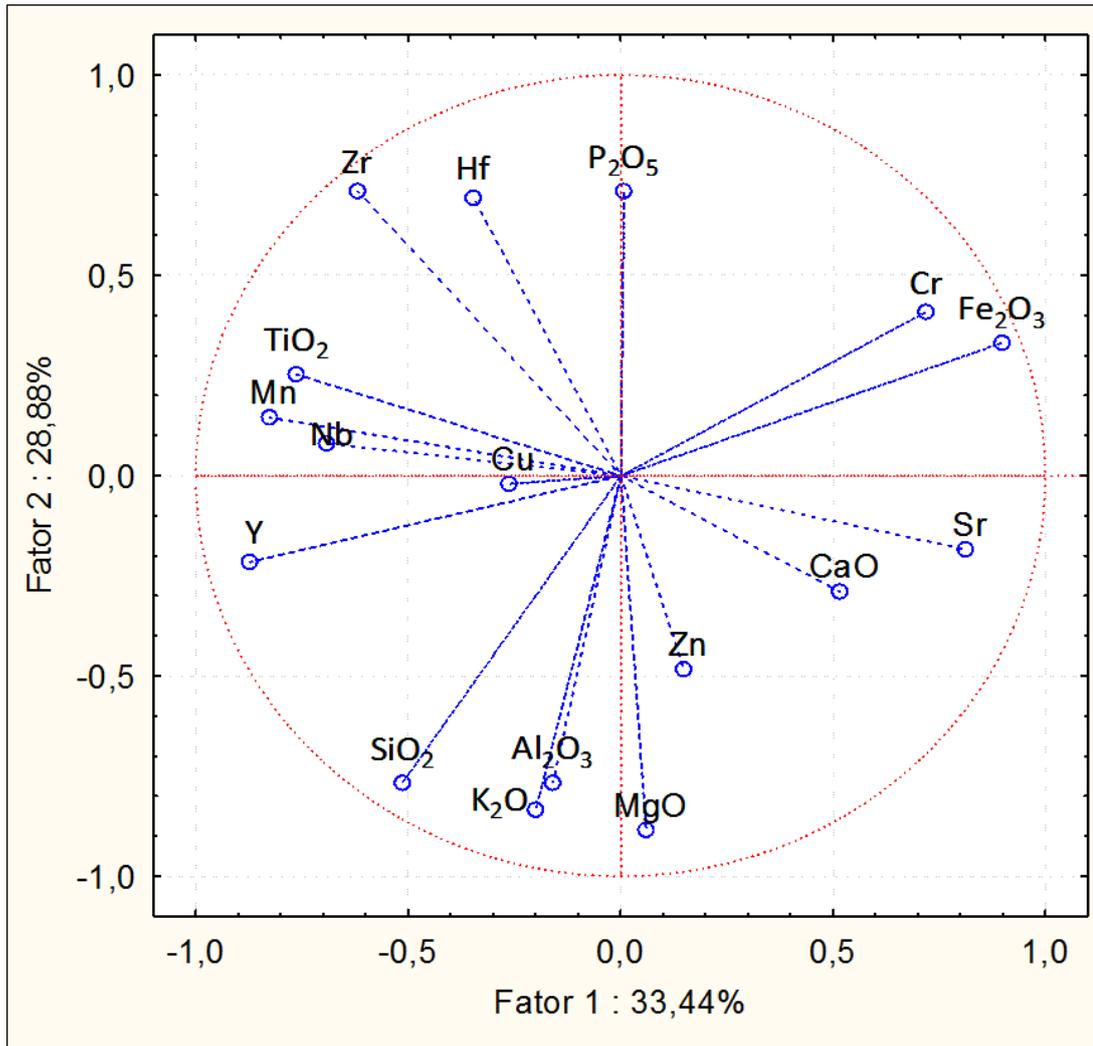


Figura 28 - Projeção das correlações para os principais elementos encontrados na análise química para a fração areia muito fina, obtidas através de estatística multivariada (PCA).

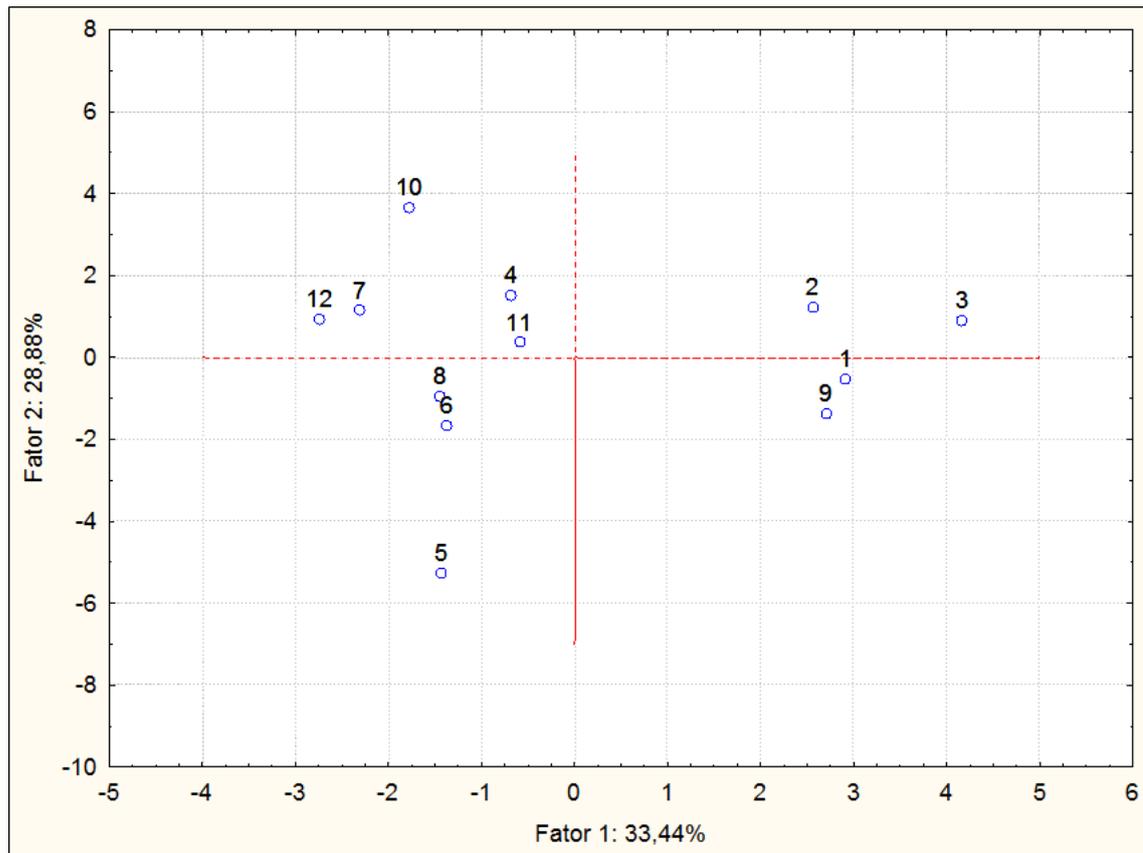


Figura 29 - Projeção da correlação para as amostras (casos) obtidas a partir da estatística multivariada, para a fração areia muito fina, usando os principais elementos encontrados na análise química.

6.3 CONTRIBUIÇÕES RELATIVAS DAS UNIDADES GEOLÓGICAS NOS CONCENTRADOS DE MINERAIS PESADOS

O arcabouço geológico da bacia do rio Piabanha é composto por 11 unidades litoestratigráficas, das quais as 5 unidades de maior abrangência correspondem a mais de 90% da área da bacia. As unidades litoestratigráficas principais são Suíte Serra dos Órgãos, Complexo Rio Negro, Suíte Cordeiro, Suíte Nova Friburgo e Grupo Andrelândia, consistindo essencialmente em granitos e ortognaisses. Destas, apenas o Grupo Andrelândia é composto por rochas metassedimentares (TUPINAMBÁ et al., 2012).

A **Figura 30** mostra o percentual de área de drenagem das unidades geológicas da bacia para cada ponto de amostragem. As amostras 1, 2 e 3, localizadas dentro do Corpo Frades da Suíte Nova Friburgo tem uma área de drenagem dominada por este corpo, com

contribuições ínfimas da Suíte Cordeiro (2,5% para a amostra 1 e 2,0% para a 3). Sendo assim, estas três amostras são as que melhor caracterizam os granitos pós-tectônicos.

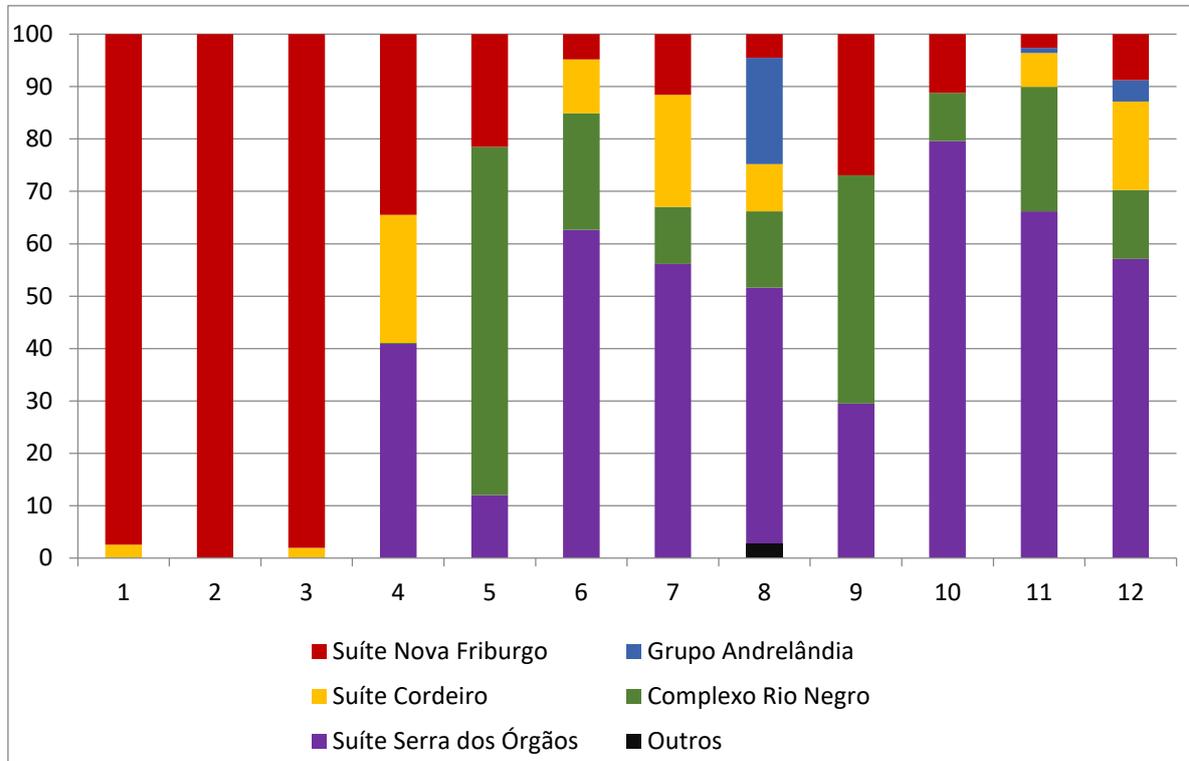


Figura 30 - Gráfico de barras com o percentual de área de drenagem das unidades geológicas da bacia do Rio Piabanha para cada ponto de amostragem.

6.3.1 Relação entre a mineralogia dos concentrados de minerais pesados e as unidades litoestratigráficas

As principais unidades que compõem o arcabouço geológico da bacia do Rio Piabanha consistem principalmente em granitos e ortognaisses. A mineralogia destas unidades é, portanto, bastante similar e as diferenças entre suas assembleias de minerais pesados são sutis. A **Tabela 24** faz uma correlação entre a mineralogia dos concentrados de minerais pesados e a forma de ocorrência desta nas principais unidades geológicas da bacia.

Tabela 24 - Associação entre a assembleia mineral dos concentrados de minerais pesados e a forma de ocorrência desta nas principais unidades geológicas da bacia do Rio Piabanha. Onde, Op – Minerais Opacos; Anf – Anfibólio; Zr – Zircão; Ap – Apatita; Mc- Micas; Pr – Piroxênio; Ti – Titanita; Gr – Granada; Al – Allanita; Ep – Epidoto; Mn – Monazita; An – Anatásio; Pi – Pirita; e Si – Sillimanita. (E – Mineral Essencial; A – Acessório; R – Raro; N – Não Ocorre)

Unidade	Subdivisões	Op.	Anf	Zr	Ap	Mc	Pr	Ti	Gr	Al	Ep	Mn	An	Pi	Si
Suíte Nova Friburgo (Junho, 1990)	<i>Quartzo-Gabro Diorito (enclaves)</i>	E	E	R	A	E	E	N	N	R	N	N	N	A	N
	<i>Granodiorito</i>	E	E	R	N	E	A	A	N	A	R	N	N	N	N
	<i>Granito</i>	A	A	A	A	E	N	A	N	A	R	A	R	N	N
	<i>Leucogranito</i>	A	A	N	A	E	N	A	N	A	N	N	N	A	N
Suíte Serra dos Órgãos (Tupinambá et al,2012)	-	A	E/A	A	A	E	N	A	E/A	A	N	N	N	N	N
Complexo Rio Negro (Valeriano, 2012)	-	A	E	A	A	E	N	A	A	N	N	N	N	N	N
Suíte Cordeiro (Tupinambá, 2012)	-	A	A	A	A	E	N	A	A	A	N	N	N	N	N
Grupo Andrelândia (Valladares, 2012)	<i>Granada- Biotita- Gnaiss</i>	A	N	A	A	E	N	A	E	N	N	N	N	N	E
	<i>Biotita- Gnaiss</i>	A	N	A	A	E	N	N	A	N	N	N	N	N	A
	<i>Arcádia Areal</i>	A	E/A	A	A	E	E/A	A	N	N	N	N	N	N	N

Segundo esta tabela, as micas ocorrem como constituintes essenciais, assim como a titanita ocorre como acessório, em todas as principais unidades. Portanto não têm serventia para caracteriza-las e/ou distingui-las. O anfibólio também se mostra amplamente distribuído, tanto como acessório quanto como mineral essencial.

A Suíte Nova Friburgo tem os minerais opacos como essenciais em duas de suas litologias, esses minerais são ilmenita e, principalmente, magnetita. Os resultados encontrados condizem com esta descrição, uma vez que a magnetita é um mineral de ampla ocorrência nas amostras com maior área de drenagem desta suíte, sendo o mineral mais abundante na maioria destas amostras. Dentre as amostras relacionadas aos granitos pós-tectônicos, a ilmenita ocorre com concentrações elevadas somente na amostra 1 (cerca de 16wt% em ambas as frações), o que indica que este mineral se concentra preferencialmente em algumas porções desta suíte. Outra característica distintiva da Suíte Nova Friburgo é a presença de piroxênio, um mineral de ocorrência restrita nas unidades da bacia. O piroxênio foi encontrado com porcentagens mais altas na fração areia fina da amostra 1 (cerca de 13wt%). Como a amostra 1 possui também concentrações elevadas de ilmenita, é possível que esta diferença esteja associada a alguma litologia específica, como os enclaves dioríticos, os quais são descritos como tendo os minerais opacos e o piroxênio como essenciais em sua composição mineral. O piroxênio está presente também, com pequenas concentrações nas amostras 2 e 3, além de ter sido apontada a sua presença no difratograma da fração areia muito fina da amostra 9 (**Anexo 9.6**). Outro mineral que se concentra preferencialmente na amostra 1, dentre as com maior contribuição da Suíte Nova Friburgo, é a apatita. Esse mineral normalmente está presente em pequenas proporções nas rochas, mas é comum que se mostre mais concentrado em rochas menos abundantes, como enclaves e cumulos (PICCOLI; CANDELA, 2002). Os minerais pirita e monazita são descritos como acessórios somente nesta unidade. A monazita ocorre em concentrações muito baixas nas amostras 1, 2, 3 e 4, sendo de fato associada aos granitos pós-tectônicos. A pirita é um mineral de baixa resistência ao intemperismo, e foi identificada uma pequena ocorrência somente na fração areia muito fina da amostra 3.

Nas amostras com maior contribuição da Suíte Nova Friburgo o zircão e o anfibólio ocorrem com concentrações abaixo da média da bacia, principalmente devido a grande quantidade de magnetita, a qual gera uma diluição da concentração dos demais minerais. Apesar de não haver referências na literatura quanto à presença de granada nesta unidade, foram encontradas pequenas concentrações deste mineral nestas amostras.

As amostras com maior contribuição da Suíte Serra dos Órgãos (amostras 6, 7, 8, 10, 11 e 12) são as que apresentam maiores concentrações de zircão. Algumas destas amostras têm também uma concentração elevada de apatita. Estas amostras tendem a ter uma baixa concentração de magnetita. A allanita ocorre preferencialmente nas amostras com grande contribuição desta unidade (6, 7 e 12), além de estar presente, em pequena quantidade, na amostra 5. Porém a allanita não se distribui em todas as amostras com grandes contribuições desta unidade, mostrando-se segregada nestas amostras, as quais se localizam mais próximas da falha geológica que exerce forte controle estrutural na calha principal do rio Paquequer (Silva, 2006). Possivelmente a ocorrência de allanita se associa a singularidades litológicas locais relacionadas a esta estrutura.

As amostras 5, 6, 9 e 11 são as que possuem maior contribuição do Complexo Rio Negro e têm em comum a presença de grandes concentrações de micas. As amostras com maior área de drenagem associada a Suíte Cordeiro (4, 7 e 12) possuem concentrações altas de ilmenita.

O Grupo Andrêlandia, por ser um paragneisse, é a única unidade dentre as principais da bacia com protólitos sedimentares e, portanto, possui algumas singularidades. A amostra 8 é a única que drena porções consideráveis desta unidade (cerca de 20% da área de drenagem desta amostra), e é também a única em que estão presentes os minerais estauroлита, sillimanita e anatásio, mesmo que em concentrações muito baixas. O epidoto também só está presente nesta amostra, ocorrendo com concentrações elevadas (cerca de 21% na fração areia fina e cerca de 14% na fração areia muito fina). Apesar de não haver referências na literatura quanto à ocorrência deste mineral em nenhuma das principais unidades geológicas da bacia, este é um mineral associado a rochas como gnaisses, xistos e anfibólitos, além de ser largamente associado a metamorfismo de calcários impuros (DANA; HURLBUT, 1970). Portanto é plausível a sua ocorrência em muitas das litologias pertencentes ao Grupo Andrelandia.

Com exceção do Grupo Andrelandia, as unidades litoestratigráficas possuem assembleias de minerais pesados muito semelhantes, que diferem principalmente quanto aos percentuais. A mistura de contribuições das unidades nas amostras, além das variações litológicas em escala de detalhe (não registradas em estudos regionais), dificultam definir com precisão as características marcantes de cada unidade. Contudo é possível encontrar alguns padrões através de uma análise detalhada das amostras, mesmo que em alguns casos a caracterização não se mostre de acordo com o que é descrito na literatura. Comumente em

estudos regionais não são retratadas variações litológicas e mineralógicas de pequeno porte que, no entanto, podem afetar as assembleias de minerais pesados, principalmente devido ao fato da maioria destes minerais ocorrerem em pequenas concentrações, como acessórios.

6.3.2 Relação entre a geoquímica dos concentrados de minerais pesados e as unidades litoestratigráficas

O arcabouço geológico da bacia do rio Piabanha é formado principalmente por granitos e ortognaisses, portanto a geoquímica de elementos maiores das principais unidades da bacia do Rio Piabanha não mostra grandes variações em relação à porcentagem dos mesmos, como mostra a **Tabela 25** (não há disponível na literatura a composição química da Suíte Cordeiro e nem a do Grupo Andrelândia).

Tabela 25 - Concentração média (%) dos elementos maiores para Suíte Serra dos Órgãos (TUPINAMBÁ, 1999), Complexo Rio Negro (TUPINAMBÁ, 1999) e Suíte Nova Friburgo (JUNHO, 1990; ZORITA, 1979; JUNHO, PENHA, 1985; PACHECO, 2010)

	Suíte Serra dos Órgãos N = 14	Complexo Rio Negro N = 14	Suíte Nova Friburgo N = 47
SiO ₂	69,29	60,52	66,50
Al ₂ O ₃	15,35	15,73	15,05
Fe ₂ O ₃	4,22	6,59	4,55
K ₂ O	3,21	1,61	5,38
CaO	3,22	6,23	2,66
MgO	0,64	3,67	1,06
TiO ₂	0,38	0,77	0,77
P ₂ O ₅	0,13	0,23	0,32
MnO	0,08	0,11	0,08
Na ₂ O	3,8	3,66	2,66

Segundo a literatura, a Suíte Serra dos Órgãos é a unidade que possui as maiores concentrações de SiO_2 , assim como as menores de Fe_2O_3 , MgO , TiO_2 e P_2O_5 . Contudo em algumas amostras de concentrados de minerais pesados com área de drenagem dominante desta unidade, obtidas no presente trabalho, o P_2O_5 se mostra enriquecido, como é o caso das amostras 10 e 12 (**Anexos 9.3 e 9.4**), com maior concentração de apatita. É possível que essa concentração alta restrita a algumas amostras associadas a Suíte Serra dos Órgãos se dê devido a variações litológicas em escala de detalhe, como grandes concentrações de pegmatitos em determinadas áreas.

Estudos mostram que o Complexo Rio Negro apresenta a concentração mais baixa de SiO_2 e K_2O , e as concentrações mais elevadas de Fe_2O_3 , CaO , MgO e MnO , dentre as unidades. Porém, é possível que nesta unidade o SiO_2 e o K_2O tendam a se associar ao Fe_2O_3 e ao MgO , gerando biotita, em detrimento de minerais leves como feldspatos potássicos e quartzo. As análises quantitativas dos concentrados de minerais pesados mostram que as micas tendem a ter concentrações acima da média nas amostras com maior contribuição desta unidade, como é o caso da amostra 5 (**Anexos 9.3 e 9.4**). O anfibólio também é um mineral de larga ocorrência associada a esta unidade.

A Suíte Nova Friburgo têm como aspecto marcante a grande concentração de K_2O (5,38%). O potássio desta unidade ocorre associado majoritariamente a minerais leves, como os feldspatos potássicos, e por isso tal característica não se mostra presente nos concentrados de minerais pesados com maior contribuição desta suíte. O P_2O_5 também mostra suas maiores concentrações nesta unidade (0,32%), o que se reflete em concentrações elevadas de apatita em alguns dos concentrados de minerais pesados associados a esta unidade. Porém a geoquímica da Suíte Nova Friburgo não se distribui uniformemente entre as unidades, como mostra a **Tabela 26**. O P_2O_5 se mostra mais concentrado nos litotipos mais básicos, como os enclaves máficos e o granodiorito, assim como o TiO_2 , CaO , MgO e Fe_2O_3 . Tal distribuição justifica a concentração preferencial de apatita e ilmenita em algumas amostras de concentrados de minerais pesados com maior contribuição desta unidade, como é o caso da amostra 1 (**Anexos 9.3 e 9.4**).

Tabela 26 - Composição química para elementos maiores das quatro litologias que compõe a Suíte Nova Friburgo (JUNHO, 1990). N = 5

	Enclaves Máficos	Granodiorito	Granito	Leucogranito
SiO ₂	55,8	61,1	69,7	75,7
TiO ₂	2,3	1,6	0,6	0,1
Al ₂ O ₃	15,2	15,0	14,1	12,9
Fe ₂ O ₃	9,2	7,2	3,4	0,9
MnO	0,1	0,1	0,1	nd
MgO	4,2	2,9	0,8	nd
CaO	5,4	4,8	2,5	1,8
Na ₂ O	2,4	2,2	2,7	2,7
K ₂ O	3,9	4,2	5,6	5,6
P ₂ O ₅	1,6	0,9	0,3	nd

A concentração elevada de Fe₂O₃ nos enclaves máficos e no granodiorito da Suíte Nova Friburgo pode fundamentar a existência de grandes quantidades de magnetita nos concentrados das amostras relacionadas a esta unidade, apesar do granito ser o litotipo mais abundante. O leucogranito ocorre somente de maneira subordinada, na forma de aplitos.

A **Tabela 27** apresenta a concentração média dos elementos menores e traços (somente os presentes na geoquímica dos concentrados de minerais pesados) da Suíte Serra dos Órgãos, do Complexo Rio Negro e da Suíte Nova Friburgo.

A Suíte Serra dos Órgãos é a unidade que possui as maiores concentrações de ETR. De maneira geral, estes elementos tendem a ocorrer, nos concentrados, associados a esta suíte, mas mostram suas maiores concentrações nas amostras próximas a falha do Rio Paquequer. O Ce se mostra presente somente na amostra 5 (**Anexos 9.3 e 9.4**), que é a que possui as maiores concentrações de ETR. O Th também exhibe esta tendência.

Tabela 27 - Composição química (ppm) para os elementos menores e traços (somente os que aparecem na geoquímica dos concentrados) da Suíte Serra dos Órgãos (TUPINAMBÁ, 1999), Complexo Rio Negro (TUPINAMBÁ, 1999) e Suíte Nova Friburgo (JUNHO, 1990; ZORITA, 1979; JUNHO, PENHA, 1985; PACHECO, 2010)

	Suíte Serra dos Órgãos N = 14	Complexo Rio Negro N = 14	Suíte Nova Friburgo N = 47
Cr	nd	75,86	37,32
Cu	nd	19,93	15,11
Pb	16,36	7,86	22,17
Zn	82,50	108,07	124,72
Rb	79,36	52,29	419,34
Sr	211,57	453,93	529,50
Nb	13,95	26,74	29,46
Hf	7,07	3,86	13,55
Zr	257,00	150,50	430,73
Y	55,21	25,71	30,21
Th	9,47	3,21	36,72
U	1,35	0,88	3,32
La	53,02	23,53	nd
Ce	107,12	53,57	nd

O Sr ocorre com maior concentração na Suíte Nova Friburgo, tanto na geoquímica da unidade como um todo, quanto nos concentrados de minerais pesados com maior contribuição desta unidade. Mesmo tendendo a ocorrer em minerais leves, como os feldspatos, alguns minerais pesados como apatita, piroxênio e anfibólio podem reter este elemento em sua estrutura. O Pb se mostra mais concentrado também nesta suíte, e ocorre acima do limite de detecção somente no concentrado da amostra 3, fração areia fina (**Anexo 9.4**).

O Cr, apesar de ter maior concentração média no Complexo Rio Negro, apresenta as maiores concentrações associadas aos concentrados de minerais pesados com maior contribuição da Suíte Nova Friburgo, possivelmente devido também a diferença entre os diferentes litotipos desta unidade. Este elemento pode entrar na estrutura da magnetita, e

amostras de enclaves máficos da Suíte Nova Friburgo chegam a exibir valores de até 222 ppm deste elemento, enquanto amostras de granodiorito chegam a ter 96 ppm (JUNHO, 1990).

Apesar de a Suíte Nova Friburgo possuir a maior média de Zr, este elemento mostra as menores concentrações nos concentrados de minerais pesados com maior contribuição desta unidade, relacionando-se principalmente a Suíte Serra dos Órgãos. O Zr ocorre com concentrações elevadas na maior parte das litologias da Suíte Nova Friburgo, exceto nos leucogranitos aplíticos (JUNHO, 1990), mas devido ao elevado teor de outros minerais, principalmente magnetita, o percentual de zircão nas amostras relacionadas aos granitos pós-tectônicos mostra-se relativamente baixo.

6.5 DISPERSÃO DE MINERAIS PESADOS A PARTIR DOS GRANITOS PÓS-TECTÔNICOS

As características mineralógicas que distinguem os concentrados de minerais pesados da Suíte Nova Friburgo dos concentrados das demais unidades litoestratigráficas da bacia são a grande concentração de magnetita e a presença de piroxênio e de monazita. Essas características são mais nítidas no Corpo Frades, pois é o corpo de granito pós-tectônico com maiores dimensões (cerca de 61,6 km² de área aflorante) dentro da bacia. Nele foi possível coletar amostras com aproximadamente 100% de contribuição dos granitos pós-tectônicos. Os concentrados de minerais pesados das amostras com maior contribuição da Suíte Nova Friburgo são também caracterizadas por possuir concentrações abaixo da média da bacia de zircão, anfibólio e titanita.

Contudo há variações mineralógicas nos concentrados de minerais pesados coletados em diferentes locais no interior de um mesmo corpo. A amostra 1 apresenta concentrações elevadas de ilmenita, de apatita e de piroxênio, enquanto nas amostras 2 e 3 as concentrações destes minerais são significativamente menores. Essas variações locais são possivelmente decorrentes de variações litológicas no interior do próprio corpo, com uma maior influência de litotipos mais básicos, como os enclaves máficos, na amostra 1.

A **Figura 31** mostra o caminho de dispersão a partir dos corpos Frades/Conselheiro Paulino. A amostra 3 se localiza aproximadamente na divisa entre os Corpos Frades e Conselheiro Paulino, a pouco mais de 5 km de distância da amostra 1. Em relação ao caminho de dispersão, é a última amostra coletada dentro da área de ocorrência dos granitos pós-

tectônicos, próxima ao contato com a Suíte Serra dos Órgãos. Portanto esta é a amostra que melhor representa a contribuição dos granitos para este caminho de dispersão. A sua principal característica é a grande concentração de magnetitas, com percentuais acima de 70wt% para ambas as frações estudadas. Os demais minerais aparecem com baixas concentrações, em parte justificadas em função da diluição provocada pela grande quantidade de magnetita. O piroxênio e a monazita mostram concentrações reduzidas em relação às amostras 1 e 2 e a ilmenita e o anfibólio exibem as menores concentrações encontradas na bacia. Portanto a magnetita é o mineral mais apropriado para o mapeamento da área de influência, a partir da fonte, dos minerais pesados provenientes da Suíte Nova Friburgo.

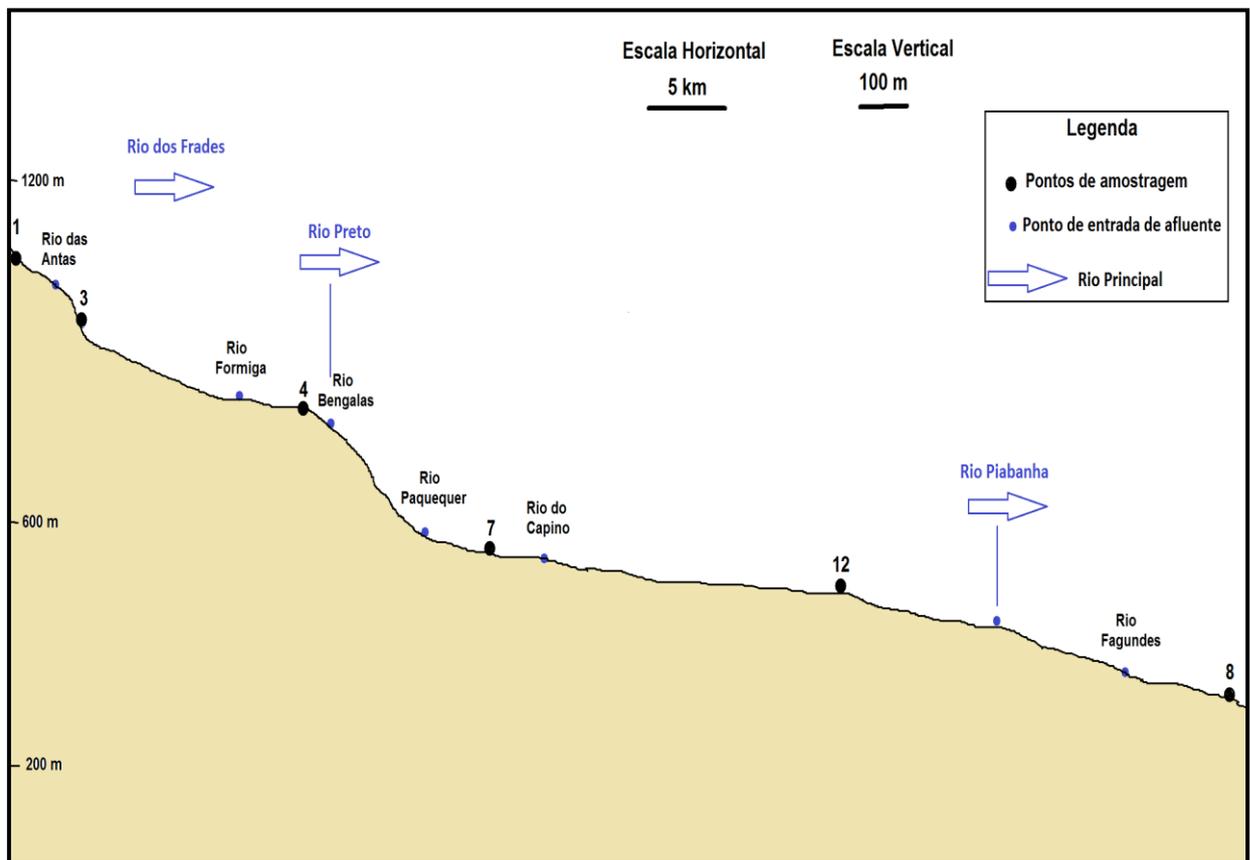


Figura 31 - Representação do caminho de dispersão dos sedimentos a partir dos Corpos Frades e Conselheiro Paulino da Suíte Nova Friburgo ao longo do perfil longitudinal do rio.

O caminho de dispersão a partir do Corpo Andorinha está representado na **Figura 32**. A amostra 9 é a que se localiza mais próxima deste Corpo e, portanto, tem a maior área de drenagem do mesmo (cerca de 26,9%). Esta amostra apresenta altas concentrações de

magnetita, mas não tem piroxênio ou monazita em sua composição mineral, possivelmente devido ao tamanho reduzido deste Corpo (cerca de 14,3 km² de área aflorante).

A **Figura 33** mostra a representação do caminho de dispersão dos sedimentos a partir de regiões próximas ao Corpo Teresópolis da Suíte Nova Friburgo. Este corpo tem uma área aflorante de aproximadamente 9,5 km² dentro da bacia, sendo a amostra 5 a com maior contribuição do mesmo, com cerca de 21,5% de sua área de drenagem pertencente a este corpo. Contudo a mineralogia do concentrado de minerais pesados desta amostra não possui nenhuma das características associadas às assembleias de minerais pesados provenientes da Suíte Nova Friburgo, como elevadas concentrações de magnetita e a presença de piroxênio e monazita.

A unidade litoestratigráfica com maior área de contribuição para esta amostra é o Complexo Rio Negro, com um percentual de aproximadamente 66,5%. A amostra 5 é a que possui a menor concentração de minerais pesados em toda a bacia e se localiza, assim como a 6 e a 7, na zona de influência de uma falha regional, a qual exerce controle estrutural sobre o rio Paquequer. É possível que haja influências, no concentrado de minerais pesados desta zona, provenientes das variações litológicas locais em função da presença desta falha geológica. Portanto não foi possível reconhecer as características dos granitos pós-tectônicos nas amostras ao longo do caminho de dispersão a partir do Corpo Teresópolis. Todos os concentrados de minerais pesados relativos a estas amostras possuem menos do que 10% de magnetitas em sua composição.

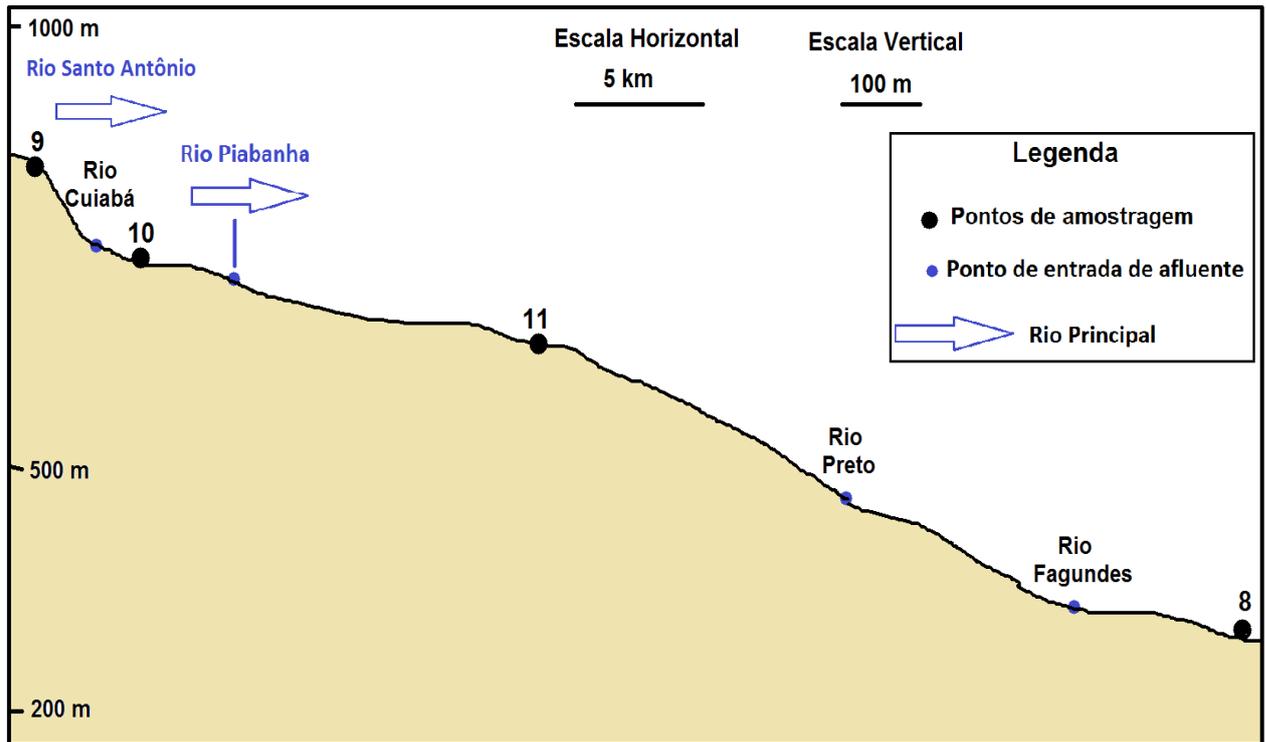


Figura 32 - Representação do caminho de dispersão dos sedimentos a partir do Corpo Andorinha da Suíte Nova Friburgo ao longo do perfil longitudinal do rio.

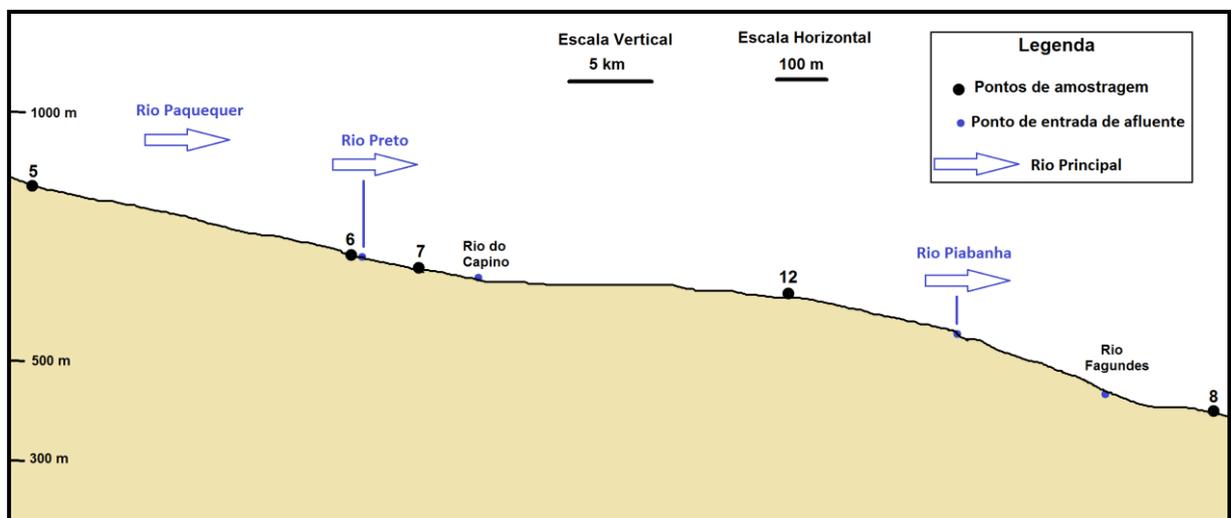


Figura 33 - Representação do caminho de dispersão dos sedimentos a partir do Corpo Teresópolis da Suíte Nova Friburgo ao longo do perfil longitudinal do rio.

Em função de sua elevada concentração nos concentrados de minerais pesados provenientes da Suíte Nova Friburgo, a magnetita é o mineral mais adequado para o estudo da dispersão. A **Figura 34** mostra a variação da concentração de magnetita ao longo dos caminhos de dispersão a partir dos Corpos Frades, Andorinha e Teresópolis.

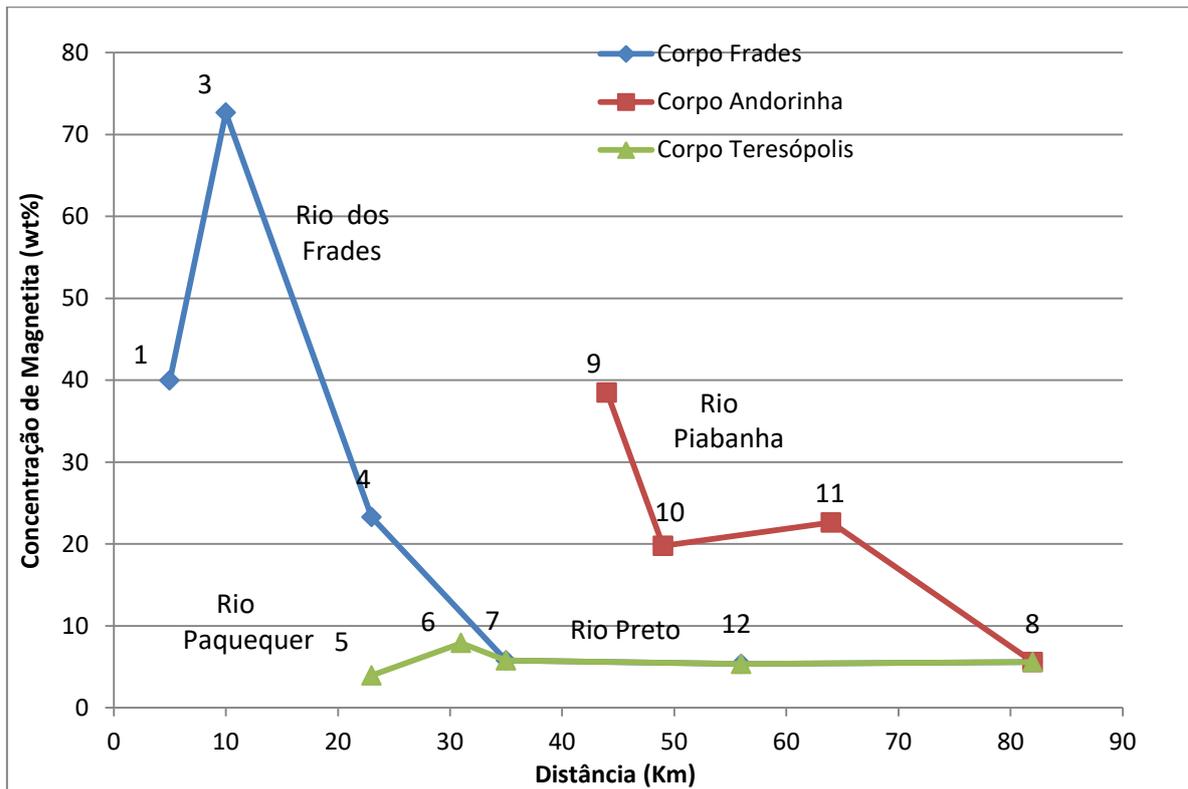


Figura 34 - Variação da concentração de magnetita (média entre as frações) ao longo dos caminhos de dispersão no rio a partir dos corpos Frades/Conselheiro Paulino, Andorinha e Teresópolis.

Para a dispersão a partir dos Corpos Frades/Conselheiro Paulino, segundo este gráfico, é possível identificar a influência da Suíte Nova Friburgo somente até a amostra 4, a qual possui uma concentração de magnetita de 23,3wt% (média entre as frações), um valor alto mesmo considerando que parte desta magnetita pode ter sua origem nos diques de basalto do Enxame de Diques da Serra do Mar que ocorrem entre esse ponto e o ponto 3. Esta amostra possui uma pequena concentração de monazita (0,83wt% na fração areia fina), mas o piroxênio já não está presente. A presença da monazita pode ser associada a Suíte Nova Friburgo, uma vez que a ocorrência deste mineral é restrita as amostras mais próximas dos Corpos Frades/Conselheiro Paulino. A sua presença em detrimento do piroxênio, nesta amostra, pode ser justificada em função de uma maior estabilidade química.

Sendo assim, é possível reconhecer a contribuição mineralógica da Suíte Nova Friburgo a uma distância de aproximadamente 15 km do contato deste com a Suíte Serra dos Órgãos, mesmo após a entrada de afluentes como o Rio Formiga. A área de contribuição da Suíte Nova Friburgo para a amostra 4 representa 34,5% de sua área total de drenagem. Entre a amostra 4 e a amostra 7, além da distância de mais de 12 km, há a entrada de afluentes de maior porte, como o Rio das Bengalas e o Rio Paquequer. Na amostra 7, mesmo com contribuições do Corpo Teresópolis, a área da Suíte Nova Friburgo representa somente 11,6wt% da área total de drenagem deste ponto. A partir desta amostra a concentração de magnetita se estabiliza, mostrando valores abaixo de 10wt% até o final da bacia, possivelmente devido às contribuições das demais unidades.

A dispersão a partir do Corpo Andorinha, por sua vez, é marcada por uma concentração inicial de magnetita de 38,5wt% (média entre as frações). Este valor inicial cai para 20,0wt% entre os pontos 9 e 10, e aumenta para 23,0wt% no ponto 11. Esse aumento pode ser dado devido a grande ocorrência de diques basálticos (Enxame de Diques da Serra do Mar) entre os pontos 10 e 11. Entre os pontos 11 e 8 há a entrada dos rios Preto e Fagundes, e a concentração média cai para cerca de 5,6wt%.

Em relação à geoquímica, os elementos que melhor caracterizam, e distinguem a Suíte Nova Friburgo das demais unidades litoestratigráficas da bacia, são o ferro, o cromo e o estrôncio. A **Figura 35** mostra a variação da concentração de Fe_2O_3 ao longo dos caminhos de dispersão.

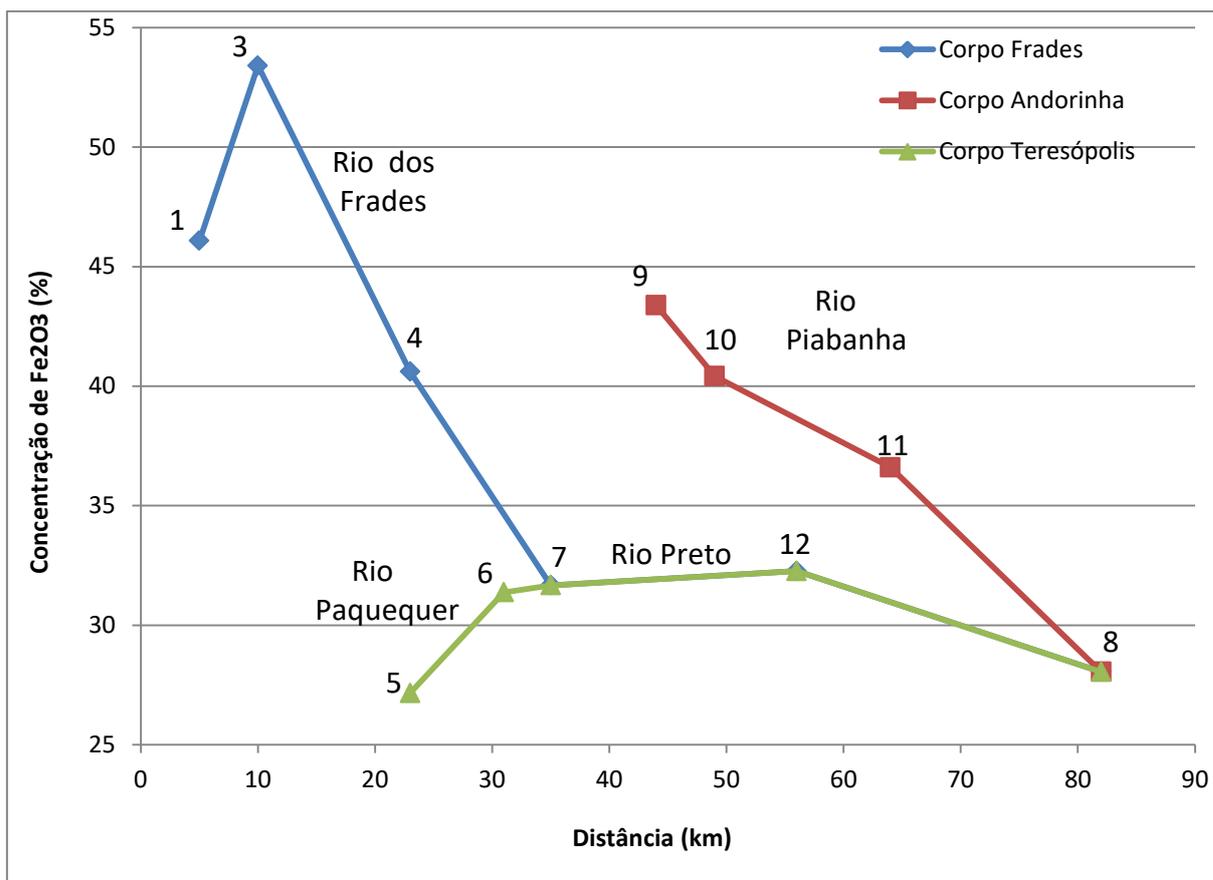


Figura 35 - Variação da concentração de Fe₂O₃ (média entre as frações) ao longo dos caminhos de dispersão no rio a partir dos corpos Frades/Conselheiro Paulino, Andorinhas e Teresópolis.

A dispersão do Fe₂O₃ a partir dos Corpos Frades/Conselheiro Paulino tem início com um aumento da concentração entre os pontos 1 e o 3, no interior do Corpo Frades. A partir deste ponto a concentração de ferro passa a diminuir até o ponto 7, após a entrada do rio Paquequer, onde a assembleia de minerais pesados deixa de apresentar características relacionadas a Suíte Nova Friburgo. Entre o ponto 7 e o 12 a concentração se mantém aproximadamente constante, representando principalmente a proporção de Fe₂O₃ das assembleias provenientes da Suíte Serra dos Órgãos. Entre os pontos 12 e 8 ocorre uma diminuição da concentração de ferro em função da entrada das assembleias provenientes das rochas metassedimentares.

A dispersão do Fe₂O₃ a partir do Corpo Andorinha é caracterizada por uma diminuição constante da concentração de ferro à medida que se afasta da Suíte Nova Friburgo, mesmo a amostra 11 possuindo uma concentração de magnetita levemente maior do que a 10. Isso se dá porque a variação da concentração de magnetita entre estas amostras não é tão grande,

enquanto a amostra 10 apresenta maiores concentrações de outros minerais que contém ferro, como anfibólio e ilmenita.

A **Figura 36** mostra a variação da concentração de Cr ao longo dos caminhos de dispersão. A variação da concentração, ao longo do caminho de dispersão a partir dos Corpos Frades/Conselheiro Paulino, mostra que, assim como o Fe_2O_3 , o cromo aumenta a sua concentração da amostra 1 para a amostra 3, a partir de onde passa a decrescer. Contudo a concentração continua a diminuir até o ponto 12. Essa divergência entre o 7 e 12 pode ser explicada devido a entrada de minerais ricos em Cr de unidades menos expressivas, como o Enxame de Diques da Serra do Mar, uma vez que está unidade também é rica em neste elemento. A presença de grandes diques entre as amostras 5 e 6, levam ao aumento da concentração de cromo entre estas amostras e influenciam, conseqüentemente, a composição da amostras 7. Os diques ocorrem também na região entre as amostras 4 e 7. A concentração de Cr volta a aumentar entre as amostras 12 e 8, indicando um teor mais elevado deste elemento também nas unidades metassedimentares do final da bacia.

Quanto à dispersão a partir do Corpo Andorinha, temos que a concentração de cromo diminuí entre as amostras 9 e 10, voltando a aumentar na amostra 11, possivelmente devido a entrada de minerais ricos em Cr provenientes dos basaltos do Enxame de Diques da Serra do Mar. A concentração de cromo mostra uma pequena diminuição entre as amostras 11 e 8, é possível que as unidades metassedimentares sejam também ricas neste elemento, mas associado a outros minerais (como anfibólio, biotita e epidoto), e por isso não há uma variação mais significativa da concentração de Cr entre os pontos 11 e 8.

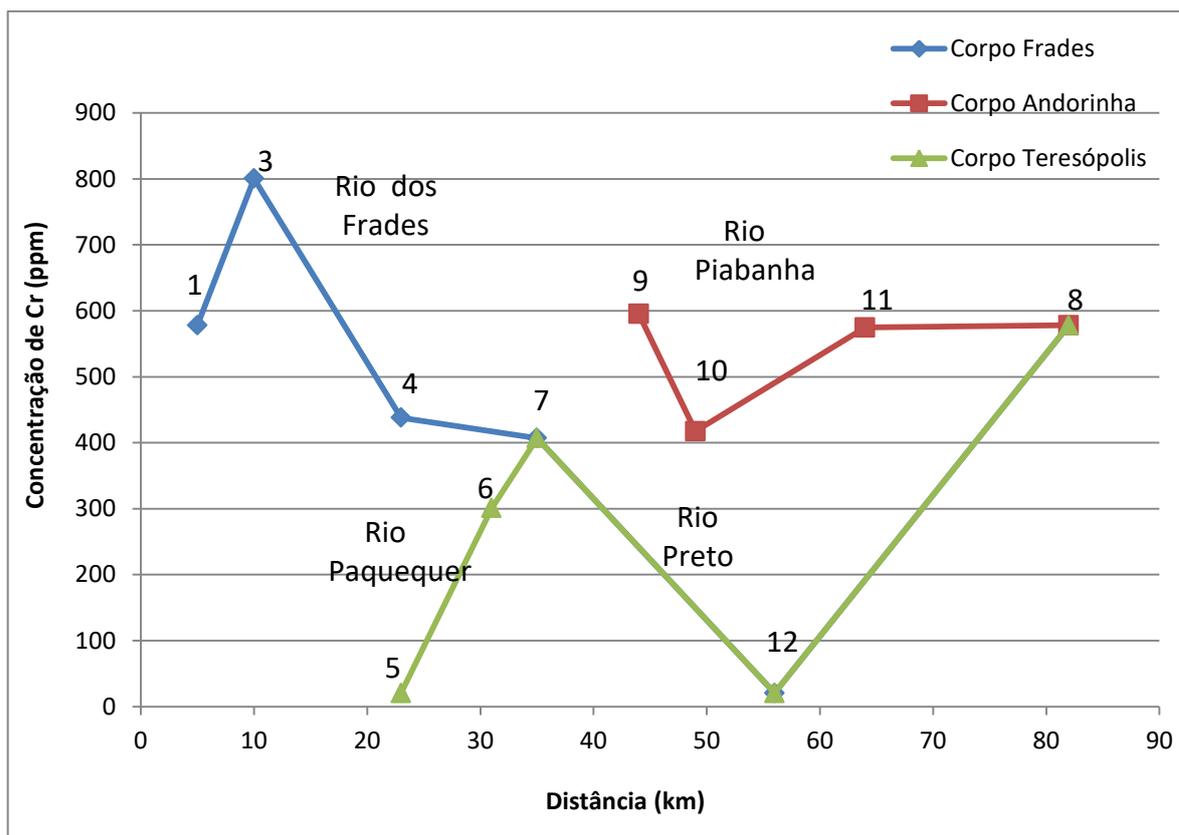


Figura 36 - Variação da concentração de Cr (média entre as frações) ao longo dos caminhos de dispersão no rio a partir dos corpos Frades/Conselheiro Paulino, Andorinha e Teresópolis.

A **Figura 37** representa a variação da concentração de Sr ao longo do caminho de dispersão, a partir dos Corpos Frades/Conselheiro Paulino. O estrôncio mostra seus valores mais elevados na amostra 1. A diminuição da concentração deste elemento entre as amostras 1 e 3 indica a influência de litologias específicas, dentro da Suíte Nova Friburgo, como as relacionadas aos enclaves máficos. A concentração de estrôncio decresce até a amostra 7, onde atinge um valor de *background*, e se mantém aproximadamente constante até o final da bacia.

A variação da concentração de Sr ao longo do caminho de dispersão, a partir do Corpo Andorinha, está representada na **Figura 38**. A concentração de estrôncio diminui significativamente entre as amostras 9 e 10 e passa a ter um valor aproximadamente constante a partir desta amostra, com valores próximos ao limite de detecção.

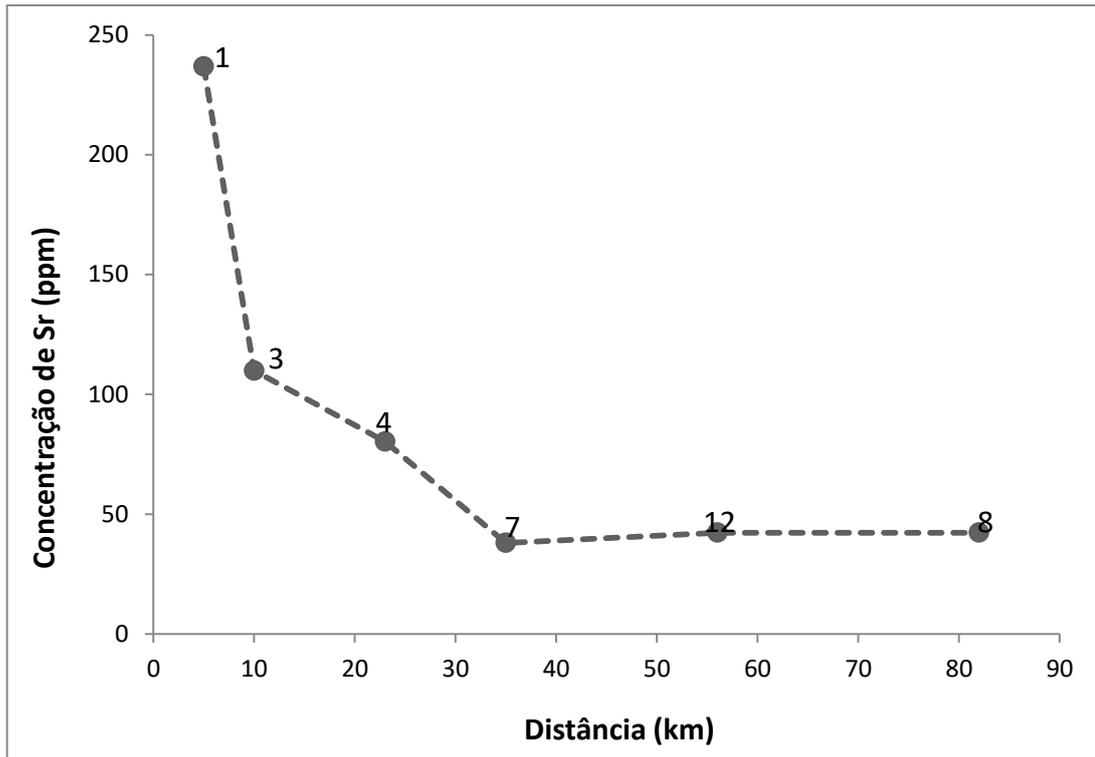


Figura 37 - Variação da concentração de Sr (média entre as frações) ao longo do caminho de dispersão no rio a partir dos Corpos Frades/Conselheiro Paulino.

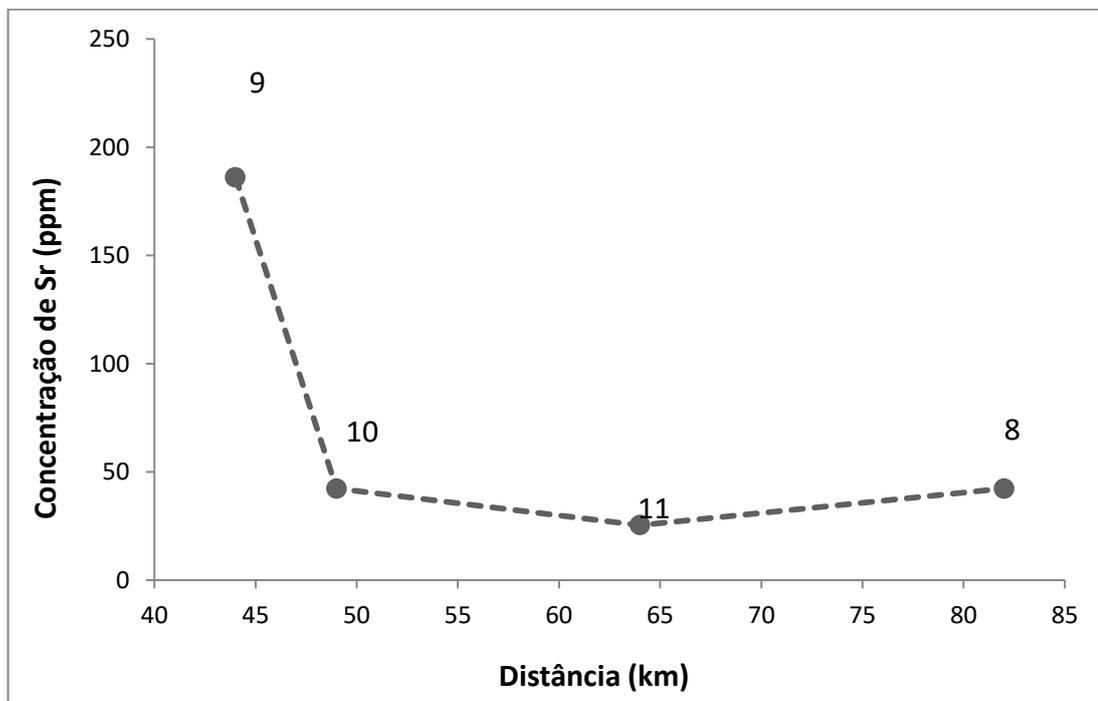


Figura 38 - Variação da concentração de Sr (média entre as frações) ao longo do caminho de dispersão no rio a partir do Corpo Andorinha.

Sendo assim, o corpo de granito pós-tectônico que melhor representa o potencial de dispersão da Suíte Nova Friburgo é o Frades. É possível reconhecer a sua influência, no concentrado de minerais pesados até cerca de 15 km da fonte, onde ainda há concentrações elevadas de magnetita e a monazita está presente, além de apresentar concentrações acima da média de Fe_2O_3 , Cr e Sr. O Corpo Andorinha, por ter uma área de ocorrência mais limitada dentro da bacia (cerca de 4 vezes menor do que o Frades), possui uma área de influência mais restrita, atingindo até cerca de 3 km da fonte. Mesmo na amostra 9, que é a que se localiza mais próxima do corpo, a área de drenagem referente ao granito pós-tectônico é de apenas 26,9 % da área total de drenagem da amostra.

7 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo mostram que os concentrados de minerais pesados coletados na bacia do Rio Piabanha têm os minerais anfibólio, magnetita, micas, ilmenita, zircão e apatita como principais. Estes minerais ocorrem em todas as amostras da bacia e suas concentrações mostram grande variação entre os pontos de amostragem. Os minerais titanita e granada também estão presentes em todas as amostras, mas com concentrações baixas, raramente ultrapassando 5 wt%. Enquanto os minerais allanita, epidoto, piroxênio e monazita apresentam apenas ocorrências localizadas.

O conteúdo mineral não se distribui de maneira uniforme entre os intervalos granulométricos, apresentando variações sistemáticas entre a fração areia fina e areia muito fina. Em todas as amostras, tanto o zircão quanto a apatita se mostram mais concentrados na fração mais fina. O zircão mostra um percentual médio cerca de 5 vezes superior para esta fração, enquanto a apatita ocorre com um percentual médio 3,5 vezes superior.

A caracterização da Suíte Nova Friburgo pôde ser feita a partir do Corpo Frades, que é o corpo de granito pós-tectônico de maior dimensão dentro da bacia. Nele foram coletadas três amostras com aproximadamente 100% de contribuição desta unidade. As assembleias de minerais pesados destas amostras são caracterizadas por apresentar grandes concentrações de magnetita. A presença de piroxênio e de monazita também a distingue das demais unidades litoestratigráficas da bacia. Algumas variações entre estas amostras, como as diferentes proporções de ilmenita, piroxênio e apatita, indicam a influência das diferentes litologias na composição mineral do concentrado.

Os resultados obtidos para a geoquímica são condizentes com os encontrados para a mineralogia. A composição geoquímica dos concentrados é dominada por Fe_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 e TiO_2 , respectivamente. Assim como na mineralogia, há variações sistemáticas entre os resultados obtidos para os dois intervalos granulométricos analisados. Tem-se que os elementos associados ao zircão e a apatita tendem a se concentrar preferencialmente na fração areia muito fina. Além do Zr e do P, os elementos Y, Hf e La ocorrem preferencialmente nesta fração. As análises estatísticas mostram que o háfnio, o ítrio estão presentes principalmente no zircão. O La, por sua vez, pode estar associado às apatitas provenientes da Suíte Serra dos Órgãos. Contudo, na região adjacente a falha do rio

Paquequer, os ETR (Y, La e Ce) podem estar associados principalmente a outros minerais, como allanita, anfibólio e micas.

A geoquímica dos concentrados de minerais pesados provenientes da Suíte Nova Friburgo foi caracterizada por apresentar concentrações acima da média da bacia de Fe_2O_3 e de Cr, associados principalmente à magnetita. O Sr também apresenta concentrações acima da média nesta unidade, ocorrendo principalmente como substituto do cálcio na estrutura da apatita.

A Suíte Serra dos Órgãos é a unidade litoestratigráfica de maior área de ocorrência na bacia e, de maneira geral, é a que exerce maior influência sobre as assembleias de minerais pesados da mesma. A principal característica distintiva desta suíte é a elevada concentração de zircão. As amostras com maior contribuição do Complexo Rio Negro, por sua vez, apresentam concentrações elevadas de micas, enquanto a ilmenita ocorre mais concentrada nas amostras relacionadas à Suíte Cordeiro. O Grupo Andrelândia se destaca por ser a única unidade metassedimentar entre as principais da bacia. O epidoto ocorre associado a esta unidade, assim como os minerais estauroлита, sillimanita e anatásio (pequenas concentrações).

A allanita ocorre somente próxima à região onde há a falha geológica do rio Paquequer, estando possivelmente relacionada à mesma. O anfibólio, a titanita e a granada se mostram amplamente distribuídos entre as unidades, mas, em geral apresentam as concentrações mais baixas associadas às amostras com maior contribuição da Suíte Nova Friburgo. A apatita, por sua vez, se mostra preferencialmente concentrada em algumas amostras relacionadas à Suíte Serra dos Órgãos e à Suíte Nova Friburgo, sendo que nesta última as maiores concentrações possivelmente se associam aos enclaves máficos.

A análise da dispersão a partir do Corpo Frades foi feita com base nos minerais magnetita, piroxênio e monazita; e nos elementos Fe_2O_3 , Cr e Sr. Foi possível reconhecer a presença destas características até cerca de 15 km da fonte, onde a concentração de magnetita ainda apresenta valores acima da média da bacia, a monazita está presente e os percentuais de Fe_2O_3 , Cr e Sr se mostram elevados.

A amostra que melhor caracteriza o Corpo Andorinha possui aproximadamente 26,9% de área de drenagem referente a este corpo. Esta amostra apresenta concentrações elevadas de magnetita. Há também concentrações elevadas de Fe_2O_3 , Cr e Sr. Foi possível reconhecer a sua influência até cerca de 3 km da fonte. Possivelmente a maior limitação da dispersão deste

corpo em relação ao Frades é dada devido a sua menor dimensão, uma vez que o Corpo Andorinha tem uma área de ocorrência cerca de quatro vezes menor do que o Frades, dentro da bacia.

Quanto ao Corpo Teresópolis, não foi possível identificar as características típicas dos granitos pós-tectônicos em nenhuma das amostras mais próximas da sua área de ocorrência. Isto pode ser justificado em função da sua menor dimensão em relação aos demais e devido às variações litológicas locais associadas à falha do rio Paquequer. É possível também que nas ocorrências do Corpo Teresópolis, dentro da bacia do Rio Piabanha, haja predomínio de litotipos menos enriquecidos em Fe_2O_3 , Cr e Sr, como os granitos porfiríticos.

O principal fator que limita a identificação das características originais da assembleia dos granitos pós-tectônicos, à medida que se afasta da fonte, é a entrada de novos minerais (anfíbólio, zircão, ilmenita e mica, principalmente), provenientes de outras fontes, no sistema. Como os Corpos da Suíte Nova Friburgo apresentam dimensões relativamente pequenas, a sua contribuição para as assembleias da bacia do rio Piabanha se mostram limitadas, sendo reconhecidas apenas próximas as áreas fontes, em rios de pequeno porte.

Na região adjacente à foz do rio Piabanha, próxima ao rio Paraíba do Sul, a mineralogia e a geoquímica do concentrado de minerais pesados não apresenta a assinatura dos granitos pós-tectônicos. Há uma mistura de fontes, com predomínio da Suíte Serra dos Órgãos. As rochas metassedimentares que ocorrem nesta região também se mostram influentes na composição da mineralogia do concentrado. Sendo assim, a contribuição do rio Piabanha, em termos de minerais pesados, para o rio Paraíba do Sul não contém as características dos granitos pós-tectônicos.

8 REFERÊNCIAS

ADDAD, J. E. **Minerais Pesados**: uma ferramenta para prospecção, proveniência, paleogeografia e análise ambiental. São Paulo, 2010.

AGEVAP – ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL. **Relatório de Situação da Região Hidrográfica do Piabanha**, 2006.

AGNOL, R. D.; FROST, C. D.; RÄMÖ, O. T. A-Type Granites and Related Rocks Through Time. **Lithos**, v. 151, p. 1-16. 2012

AIRES, J. R. et al. Análises Geomorfológicas do Platô de Teresópolis e da Serra do Mar, RJ, com o Auxílio de Seppômen e ASTER GDEM e Sua relação aos Tectonismos Cenozoicos. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 35, p. 105 – 123, 2012.

ALMEIDA, G. A. **Revisão Petroquímica dos Granitóides Pós-Colisionais Ocorrentes na Folha Baía de Guanabara (1:100.000), RJ, Brasil**. Rio de Janeiro, 2010. Trabalho de Conclusão (Graduação em Geologia) - Departamento de Geociências, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

BARBARIN, B. A Review of the Relationships Between Granitoid types, their origins and their Geodynamic Environments. **Lithos**, v. 46, p. 605-626. 1999.

BRINDLEY, G. W.; BROWN, G. **Cristal Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification**. Mineralogical Society. 1980.

BROUWER, P. **Theory of XRF**. [S. l.]: PANalytical, 2003

BROWN, M. Granite: From Genesis to Emplacement. **GSA Bulletin**. v.125, p.1079-1113. 2013.

CEIPAV – COMITÊ PARA INTEGRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Resumo**, 2006.

CHAPPELL, B.W.;WHITE, A.J.R. Two Contrasting Granite Types. **Pacific Geology**. v.8, p.173-174, 1974.

CHEN, G. N.; GRAPES, R. **Granite Genesis: In Situ Melting and Crustal Evolution**. Editora Springer, 2007.

CLEMENS, J. D.; HOLLOWAY, J. R.; WHITE, A. J. R. Origins of A-Type Granite: Experimental Constraints. **American Mineralogist**, v. 71, p. 317-324, 1986.

CORRÊA, I. C. S. et al. Áreas Fontes dos Minerais Pesados e sua Distribuição Sobre a Plataforma Continental Sul-Brasileira, Uruguaia e Norte-Argentina. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 35, p. 137-150, 2008.

CORVAL, A. et al. Dados Petrológicos dos Diabásios dos Setores Centro-Norte e Nordeste do Enxame de Diques da Serra do Mar. **Geochimica Brasiliensis**, v. 23, p. 159-177, 2008.

DANA, J. D.; HURLBUT, C. S. **Manual de Mineralogia**. Ao livro técnico, Rio de Janeiro. 1970.

DANTAS et al. **Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro**. Programa Informações para Gestão Territorial – CPRM. 2000.

DIAS, J. A. **A Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos**. Universidade do Algarve. *E-book* (versão Preliminar), 2004.

DUNLOP, D. J.; ÖZDEMİR, O. **Rock Magnetism, Fundamentals and Frontiers**. Cambridge: University Press, 1997.

GOLDSCMIDT, V. M. **Geochemistry**. Clarendon Press, 1958.

HARTWIG, M. E. ; RICCOMINI, C. Análise Morfotectônica da Região da Serra dos Órgãos, Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, n. 1, 2010.

HASUI, Y. A Grande Colisão Pré-Cambriana do Sudeste Brasileiro e a Estruturação Regional. **Geociências**, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 141-169, 2010.

HEILBRON, M. et al. **A Província Mantiqueira**. O Desvendar de um Continente: A Moderna Geologia da América do Sul e o Legado da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Beca Produções Culturais Ltda, v. 1, p. 203-234. São Paulo, 2004.

HEILBRON, M. et al. A Província Mantiqueira. In: MANTESSO NETO, V. et al. (Org.). **O Desvendar de um Continente: A Moderna Geologia da América do Sul e o Legado da Obra**

de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca Produções Culturais Ltda, 2004. v. 1, p. 203-234.

HEILBRON, M.; VALERIANO, C. M.; VALLADARES, C. S.; MACHADO, N. A. Orogênese Brasileira no Segmento Central da Faixa Ribeira, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 25, p. 249-266, 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro, 2010.

JOHANNES, W.; HOLTZ, F. **Petrogenesis and Experimental Petrology os Granitic Rocks**. Springer, Berlin. 1996.

JUNHO, M. B. C. **Contribuição a Petrologia dos Maciços Graníticos de Pedra Branca, Nova Friburgo e Frades, RJ**. Rio de Janeiro, 1990. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990.

JUNHO, M. C. B. Granitóides Brasileiros da Região Central do Estado do Rio de Janeiro – Geoquímica Preliminar. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 65, 1993.

JUNHO, M. C. B. et al. Major and Minor Elements Geochemistry of The Pedra Branca, Frades and Nova Friburgo Granitic Complexes, Ribeira Mobile Belt, Rio de Janeiro, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 17, p. 507-511, 1987.

JUNHO, M. C. B.; PENHA, H. M. Geologia e Geoquímica Preliminar dos Granitos de Teresópolis, RJ. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. v.57. 1985.

JUNIOR, P. R.P. **Caracterização Petrográfica dos Diques de Diabásio de Paraíba do Sul e Três Rios**. Seropédica, 2015. Trabalho de Conclusão (Graduação em Geologia) – Departamento de Geociências, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2015.

KALERVO, R.; SAHAMA, T. G. **Geochemistry**. The University of Chicago Press. 1950.

KLING, A. S. M. **Aplicação do Método Battelle na Avaliação do Impacto Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha**. Rio de Janeiro, 2005. Dissertação (Mestrado) – Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2005.

LANDIM, P. M. B. et al. Minerais Pesados Provenientes do Leito do Rio Amazonas. **Acta Amazonica**, v. 13, p. 51-72, 1983.

MANGE, M. A.; MAURER, H. F. W. **Heavy Minerals in Colour**. London, UK: Editora Chapman & Hall, 1992.

MANIAR, P. D.; PICCOLI, P. M. Tectonic Discrimination os Granitoids. **Geological Society os America Bulletin**. v.101, p. 635-643, 1989.

MORTON A. C.; Hallsworth C. R. Identifying Provenance-Especific Features os Detrital Heavy Mineral Assemblages in Sandstones. **Sedimentary Geology**. v.90, p. 241-25, 1994.

MORTON A. C.; Hallsworth C. R. Processes Controlling the Composition os Heavy Mineral Assemblages in Sandstones. **Sedimentary Geology**. v. 124, p. 3-29, 1999.

MYERS, J. S. Geology of Granite. **Journal of the Royal Society of Western Australia**. v. 80, p. 87-100, 1997.

NETO, A. B. A.; MARQUES, W. S.; SÁ FREIRE, G. S. Distribuição Espacial de Minerais Pesados nos Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental Oeste do Ceará, Nordeste do Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 43, p. 69-83, 2016.

NETO, M. T. O. C.; ROCHA, A. M. R. **Noções de Prospecção e Pesquisa Mineral para Técnicos de Geologia e Mineração**. Editora do IFRN-RN, 2010.

OLIVEIRA, E. A. **Confiabilidade Metroológica na Determinação de Espécies Químicas em Materiais Siderúrgicos por Espectrometria de Fluorescência de Raios-X**. Rio de Janeiro, 2011. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

PACHECO, B. T. **Caracterização Petrográfica e Geoquímica das Rochas do Corpo Conselheiro Paulino (Suíte Nova Friburgo) na Região Serrana Fluminense**. Rio de Janeiro, 2010. Trabalho de Conclusão (Graduação em Geologia) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

PARFENOFF, A.; POMEROL, C.; TOURENO, J. **Les Minéraux em Grains**. Paris: Éditeurs Masson et Cie, 1970.

PECHARSKY, V. K.; ZAVALIJ, P. Y. **Fundamentals of Powder Diffraction and Structural Characterization of Materials**. United States of America: Springer Science + Business Media, Inc. 2005.

PEREIRA, R. M.; ÁVILA, C. A.; LIMA, P. R. A. S.; **Minerais em Grãos**. Oficina de textos. 2005.

PETTIJOHN, F. J.; POTTER, P. E.; SIEVER, R. **Sand and Sandstone**. New York: Springer Verlag, 1973.

PICCOLI, P. M.; CANDELA, P. A. **Apatite in Igneous Systems**. Department of Geology. University of Maryland. 2002.

PITCHER, W. S. **The Nature and Origin of Granite**. Dordrecht: Springer Science + Business Media, 1993.

REMUS, M. V. D. et al. Proveniência Sedimentar: Métodos e Técnicas Analíticas Aplicadas. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 38, (2-suplemento), p. 166-185, 2008.

RIBEIRO, M.; CASCALHO, J. TABORDA, R. **Comportamento Hidráulico dos Minerais Pesados na Plataforma Continental e Litoral de Nazaré (Portugal)**. 6º Simposio sobre el Margen Ibérico Atlântico. 2009.

SALOMÃO, M. S. **Mapeamento Geológico em Áreas Graníticas Intemperizadas em Regiões Montanhosas Tropicais: O Granito Conselheiro Paulino (Faixa Ribeira)**. Rio de Janeiro, 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SANTANA, I. V. **Caracterização Mineralógica e Geoquímica de Ocorrências de Terras Raras no Maciço Granítico Serra Dourada, Goiás/Tocantins, Brasil**. Brasília, 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SEVASTJANOVA, I.; HALL, R.; ALDERTON, D. A Detrital Heavy Mineral Viewpoint on Sediment Provenance and Tropical Weathering in SE Asia. **Sedimentary Geology**, v. 280, p. 179-194, 2012.

SILVA, L. C. **Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro**. Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro, Escala 1:50.000. DRM – CPRM, 2001.

STRECKEISEN, A. **Classification and Nomenclature of Igneous Rocks**. N.Jb. Mineral, 1976.

SUGUIO, K. **Rochas Sedimentares: Propriedades, gênese, importância e economia**. Ed. Da universidade de São Paulo, 1980.

TOMBA, C. L. B. **Análise Estrutural dos Enxames de Diques Máficos Eocretáceos do Sul-Sudeste do Brasil**. São Paulo, 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, 2012.

TUPINAMBÁ, M. **Evolução Tectônica e Magmática da Faixa Ribeira na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro**. São Paulo, 1999. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, 1999.

TUPINAMBÁ, M. et al. Complexo Rio Negro – Uma Unidade Estratigráfica Relevante no Entendimento da Evolução da Faixa Ribeira. **XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia**. Salvador, 1996.

TUPINAMBÁ, M. et al. Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: Estado da Arte e Conexões com a Faixa Araçuai. **Geonomos**, v.15, p. 67-79. Belo Horizonte, 2007.

TUPINAMBÁ, M. et al. **Geologia e Recursos Minerais da Folha Nova Friburgo SF.23-Z-B-II, Estado do Rio de Janeiro, Escala 1:100.000**. Programa Geologia do Brasil. Belo Horizonte: CPRM/UERJ, 2012.

TUPINAMBÁ, M.; TEIXEIRA, W.; HEIBRON, M. Evolução Tectônica e Magmática da Faixa Ribeira Entre o Neoproterozóico e o Paleozóico Inferior na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 35, p. 140-151. Rio de Janeiro, 2012.

VALERIANO, C. M. et al. **Geologia e Recursos Minerais da Folha Baía de Guanabara SF.23-Z-B-IV, Estado do Rio de Janeiro, Escala 1:100.000**. Programa Geologia do Brasil. Belo Horizonte: CPRM/UERJ, 2012.

VALERIANO, C. M. et al. Geochronology of Cambro-Ordovician Post-Collisional Granites of the Ribeira Belt, Southeast Brazil: Terminal Brasiliano Magmatism in Central Gondwana Supercontinent. **Journal of South American Earth Sciences**. v.32, p.416-428. 2011.

VALERIANO et al. Cambro-Ordovician Post-Collisional Granites of the Ribeira Belt, SE-Brazil: A Case of Terminal Magmatismo of a Hot Orogen. **Journal of South American Earth Sciences**. v.68, p.269-281. 2016.

VALLADARES, C. et al. **Geologia e Recursos Minerais da Folha Três Rios SF.23-Z-B-I, Estado do Rio de Janeiro, Escala 1:100.000**. Programa Geologia do Brasil. Belo Horizonte: CPRM/UERJ, 2012.

VINHA, J. B. **Estudo Geológico-Petrográfico das Rochas da Cidade de Mangaratiba**. Monografia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2008.

WELTJE, G. J.; EYNATTEN, H. Quantitative Provenance Analysis of Sediments: Review and Outlook. **Sedimentary Geology**. v. 171, p. 1-11, 2004.

ZORITA, M. E.; **Geoquímica de las Rocas Graníticas de la Region de Suruí, Município de Magé**. Niterói, 1979. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1979.

9 ANEXOS

9.1 MINERALOGIA DA FRAÇÃO AREIA FINA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Anfibólio	6,79	16,10	9,20	29,60	22,45	40,31	58,24	31,02	30,50	60,87	41,19	58,30
Magnetita	48,53	61,01	74,27	25,18	3,12	7,42	3,97	4,90	46,08	20,46	25,51	5,57
Micas	7,46	8,82	8,57	1,12	66,98	11,25	8,18	10,70	10,59	4,76	18,64	5,97
Ilmenita	15,58	5,37	0,43	31,66	1,77	9,49	11,98	9,17	1,32	6,30	2,11	15,83
Zircão	1,70	0,91	1,19	4,75	1,41	3,60	3,88	6,26	2,63	2,85	2,45	3,22
Apatita	3,45	1,23	1,96	1,53	1,67	3,96	1,69	3,71	2,67	1,16	1,90	1,70
Titanita	1,26	2,95	3,03	2,60	1,31	7,01	8,23	6,77	5,53	2,33	5,97	3,45
Granada	1,54	1,34	1,24	2,73	1,28	4,90	2,02	5,45	0,66	1,30	2,23	1,30
Allanita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,06	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	4,65
Epidoto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Piroxênio	13,16	1,76	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Monazita	0,54	0,51	0,00	0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Estaurolita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00
Sillimanita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00

9.4 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA FRAÇÃO AREIA MUITO FINA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fe ₂ O ₃	42,377	46,735	55,239	35,691	27,689	29,850	31,169	26,542	38,818	35,241	34,345	27,900
SiO ₂	17,071	16,186	15,972	18,013	28,153	23,535	18,022	25,209	21,873	18,153	19,661	22,843
TiO ₂	13,587	9,625	6,800	15,674	10,446	16,055	22,237	14,364	9,771	14,008	18,038	20,291
Al ₂ O ₃	8,030	8,627	10,522	9,000	15,818	13,880	8,769	15,720	10,740	6,401	13,768	7,901
CaO	7,760	4,956	3,195	3,813	4,701	3,894	3,712	3,898	7,484	4,011	3,283	3,751
P ₂ O ₅	5,799	4,506	2,875	4,177	1,857	2,516	3,934	2,953	3,548	6,388	3,092	5,212
MgO	2,204	1,540	1,374	1,600	3,657	2,366	1,704	2,101	2,791	1,311	1,153	1,057
K ₂ O	0,779	0,836	0,703	0,843	3,390	1,335	0,676	1,051	0,859	0,685	0,635	0,644
Zr	12045	45758	20854	71498	16094	37511	58706	53102	25215	93552	37748	69810
Mn	4515	3408	1781	4600	4430	5034	6149	4639	3601	5824	4546	4918
Cr	369	506	561	260	14	185	281	397	335	294	369	14
Zn	402	305	185	217	297	297	345	233	241	16	321	241
Cu	304	16	16	16	64	176	136	16	16	16	16	503
Nb	189	14	14	147	140	210	231	196	14	238	189	105
Sr	194	93	85	59	51	42	17	17	135	17	17	17
Y	260	571	208	727	1065	649	883	753	390	675	558	1026
Rb	91	119	18	18	18	73	18	18	18	18	18	18
Hf	18	1725	1294	2092	642	1129	1753	1606	1000	2616	1542	1074
La	17	17	17	4596	3470	4315	5278	17	17	17	17	17
Th	19	19	19	84	861	196	309	225	19	19	19	225
Br	20	20	20	20	120	180	120	110	120	20	80	20
U	17	17	17	110	34	51	17	68	17	17	17	68
S	12	12	12	12	1153	12	12	12	12	12	12	12
Ce	16	16	16	16	4201	16	16	16	16	16	16	16

9.5 TABELAS DE REFERÊNCIA PARA O CÁLCULO DA PORCENTAGEM EM PESO DOS MINERAIS

9.5.1 Tabelas de referência da fração areia fina

Amostra 1					
Mineral	N° Grãos	%	d	% . d	wt%
Anfibólio	41	14,96	3,20	47,88	6,79
Zircão	7	2,55	4,68	11,96	1,70
Ilmenita + Hematita	64	23,36	4,70	109,78	15,58
Apatita	21	7,66	3,17	24,30	3,45
Micas	48	17,52	3,00	52,55	7,46
Piroxênio	77	28,10	3,30	92,74	13,16
Titanita	7	2,55	3,47	8,86	1,26
Granada	7	2,55	4,25	10,86	1,54
Allanita	0	0,00	3,80	0,00	0,00
Epidoto	0	0,00	3,40	0,00	0,00
Monazita	2	0,73	5,20	3,80	0,54
Anatásio	0	0,00	3,90	0,00	0,00
Pirita	0	0,00	5,02	0,00	0,00
Sillimanita	0	0,00	3,23	0,00	0,00
Estaurolita	0	0,00	3,70	0,00	0,00
Total	274	100,00	-	362,73	51,47
Magnetita	-	-	5,18	-	48,53

Amostra 2					
Mineral	N° Grãos	%	d	% . d	wt%
Anfibólio	207	43,76	3,20	140,04	16,10
Zircão	8	1,69	4,68	7,92	0,91
Ilmenita + Hematita	47	9,94	4,70	46,70	5,37
Apatita	16	3,38	3,17	10,72	1,23
Micas	121	25,58	3,00	76,74	8,82
Piroxênio	22	4,65	3,30	15,35	1,76
Titanita	35	7,40	3,47	25,68	2,95
Granada	13	2,75	4,25	11,68	1,34
Allanita	0	0,00	3,80	0,00	0,00
Epidoto	0	0,00	3,40	0,00	0,00
Monazita	4	0,85	5,20	4,40	0,51
Anatásio	0	0,00	3,90	0,00	0,00
Pirita	0	0,00	5,02	0,00	0,00
Sillimanita	0	0,00	3,23	0,00	0,00
Estaurolita	0	0,00	3,70	0,00	0,00
Total	473	100,00	-	339,23	38,99
Magnetita	-	-	5,18	-	61,01

Amostra 3					
Mineral	N° Grãos	%	d	% . D	wt%
Anfibólio	158	36,41	3,20	116,50	9,20
Zircão	14	3,23	4,68	15,10	1,19
Ilmenita + Hematita	5	1,15	4,70	5,41	0,43
Apatita	34	7,83	3,17	24,83	1,96
Micas	157	36,18	3,00	108,53	8,57
Piroxênio	2	0,46	3,30	1,52	0,12
Titanita	48	11,06	3,47	38,38	3,03
Granada	16	3,69	4,25	15,67	1,24
Allanita	0	0,00	3,80	0,00	0,00
Epidoto	0	0,00	3,40	0,00	0,00
Monazita	0	0,00	5,20	0,00	0,00
Anatásio	0	0,00	3,90	0,00	0,00
Pirita	0	0,00	5,02	0,00	0,00
Sillimanita	0	0,00	3,23	0,00	0,00
Estaurolita	0	0,00	3,70	0,00	0,00
Total	434	100,00	-	325,94	25,73
Magnetita	-	-	5,18	-	74,27

Amostra 4					
Mineral	N° Grãos	%	d	% . D	wt%
Anfibólio	173	47,66	3,20	152,51	29,60
Zircão	19	5,23	4,68	24,50	4,75
Ilmenita + Hematita	126	34,71	4,70	163,14	31,66
Apatita	9	2,48	3,17	7,86	1,53
Micas	7	1,93	3,00	5,79	1,12
Piroxênio	0	0,00	3,30	0,00	0,00
Titanita	14	3,86	3,47	13,38	2,60
Granada	12	3,31	4,25	14,05	2,73
Allanita	0	0,00	3,80	0,00	0,00
Epidoto	0	0,00	3,40	0,00	0,00
Monazita	3	0,83	5,20	4,30	0,83
Anatásio	0	0,00	3,90	0,00	0,00
Pirita	0	0,00	5,02	0,00	0,00
Sillimanita	0	0,00	3,23	0,00	0,00
Estaurolita	0	0,00	3,70	0,00	0,00
Total	363	100,00	-	385,52	74,82
Magnetita	-	-	5,18	-	25,18

Amostra 5					
Mineral	N° Grãos	%	d	% . D	wt%
Anfibólio	93	22,46	3,20	71,88	22,45
Zircão	4	0,97	4,68	4,52	1,41
Ilmenita + Hematita	5	1,21	4,70	5,68	1,77
Apatita	7	1,69	3,17	5,36	1,67
Micas	296	71,50	3,00	214,49	66,98
Piroxênio	0	0,00	3,30	0,00	0,00
Titanita	5	1,21	3,47	4,19	1,31
Granada	4	0,97	4,25	4,11	1,28
Allanita	0	0,00	3,80	0,00	0,00
Epidoto	0	0,00	3,40	0,00	0,00
Monazita	0	0,00	5,20	0,00	0,00
Anatásio	0	0,00	3,90	0,00	0,00
Pirita	0	0,00	5,02	0,00	0,00
Sillimanita	0	0,00	3,23	0,00	0,00
Estaurolita	0	0,00	3,70	0,00	0,00
Total	414	100,00	-	310,23	96,88
Magnetita	-	-	5,18	-	3,12

Amostra 6					
Mineral	N° Grãos	%	d	% . D	wt%
Anfibólio	131	47,12	3,20	150,79	40,31
Zircão	8	2,88	4,68	13,47	3,60
Ilmenita + Hematita	21	7,55	4,70	35,50	9,49
Apatita	13	4,68	3,17	14,82	3,96
Micas	39	14,03	3,00	42,09	11,25
Piroxênio	0	0,00	3,30	0,00	0,00
Titanita	21	7,55	3,47	26,21	7,01
Granada	12	4,32	4,25	18,35	4,90
Allanita	33	11,87	3,80	45,11	12,06
Epidoto	0	0,00	3,40	0,00	0,00
Monazita	0	0,00	5,20	0,00	0,00
Anatásio	0	0,00	3,90	0,00	0,00
Pirita	0	0,00	5,02	0,00	0,00
Sillimanita	0	0,00	3,23	0,00	0,00
Estaurolita	0	0,00	3,70	0,00	0,00
Total	278	100,00	-	346,34	92,58
Magnetita	-	-	5,18	-	7,42

Amostra 7					
Mineral	N° Grãos	%	d	% . D	wt%
Anfibólio	307	64,63	3,20	206,82	58,24
Zircão	14	2,95	4,68	13,79	3,88
Ilmenita + Hematita	43	9,05	4,70	42,55	11,98
Apatita	9	1,89	3,17	6,01	1,69
Micas	46	9,68	3,00	29,05	8,18
Piroxênio	0	0,00	3,30	0,00	0,00
Titanita	40	8,42	3,47	29,22	8,23
Granada	8	1,68	4,25	7,16	2,02
Allanita	8	1,68	3,80	6,40	1,80
Epidoto	0	0,00	3,40	0,00	0,00
Monazita	0	0,00	5,20	0,00	0,00
Anatásio	0	0,00	3,90	0,00	0,00
Pirita	0	0,00	5,02	0,00	0,00
Sillimanita	0	0,00	3,23	0,00	0,00
Estaurolita	0	0,00	3,70	0,00	0,00
Total	475	100,00	-	341,00	96,03
Magnetita	-	-	5,18	-	3,97

Amostra 8					
Mineral	N° Grãos	%	d	% . D	wt%
Anfibólio	174	35,37	3,20	113,17	31,02
Zircão	24	4,88	4,68	22,83	6,26
Ilmenita + Hematita	35	7,11	4,70	33,43	9,17
Apatita	21	4,27	3,17	13,53	3,71
Micas	64	13,01	3,00	39,02	10,70
Piroxênio	0	0,00	3,30	0,00	0,00
Titanita	35	7,11	3,47	24,68	6,77
Granada	23	4,67	4,25	19,87	5,45
Allanita	0	0,00	3,80	0,00	0,00
Epidoto	111	22,56	3,40	76,71	21,03
Monazita	0	0,00	5,20	0,00	0,00
Anatásio	0	0,00	3,90	0,00	0,00
Pirita	0	0,00	5,02	0,00	0,00
Sillimanita	1	0,20	3,23	0,66	0,18
Estaurolita	4	0,81	3,70	3,01	0,82
Total	492	100,00	-	346,91	95,10
Magnetita	-	-	5,18	-	4,90

Amostra 9					
Mineral	N° Grãos	%	d	% . D	wt%
Anfibólio	305	57,77	3,20	184,85	30,50
Zircão	18	3,41	4,68	15,95	2,63
Ilmenita + Hematita	9	1,70	4,70	8,01	1,32
Apatita	27	5,11	3,17	16,21	2,67
Micas	113	21,40	3,00	64,20	10,59
Piroxênio	0	0,00	3,30	0,00	0,00
Titanita	51	9,66	3,47	33,52	5,53
Granada	5	0,95	4,25	4,02	0,66
Allanita	0	0,00	3,80	0,00	0,00
Epidoto	0	0,00	3,40	0,00	0,00
Monazita	0	0,00	5,20	0,00	0,00
Anatásio	0	0,00	3,90	0,00	0,00
Pirita	0	0,00	5,02	0,00	0,00
Sillimanita	0	0,00	3,23	0,00	0,00
Estaurólita	0	0,00	3,70	0,00	0,00
Total	528	100,00	-	326,77	53,92
Magnetita	-	-	5,18	-	46,08

Amostra 10					
Mineral	N° Grãos	%	d	% . D	wt%
Anfibólio	312	79,59	3,20	254,69	60,87
Zircão	10	2,55	4,68	11,94	2,85
Ilmenita + Hematita	22	5,61	4,70	26,38	6,30
Apatita	6	1,53	3,17	4,85	1,16
Micas	26	6,63	3,00	19,90	4,76
Piroxênio	0	0,00	3,30	0,00	0,00
Titanita	11	2,81	3,47	9,74	2,33
Granada	5	1,28	4,25	5,42	1,30
Allanita	0	0,00	3,80	0,00	0,00
Epidoto	0	0,00	3,40	0,00	0,00
Monazita	0	0,00	5,20	0,00	0,00
Anatásio	0	0,00	3,90	0,00	0,00
Pirita	0	0,00	5,02	0,00	0,00
Sillimanita	0	0,00	3,23	0,00	0,00
Estaurolita	0	0,00	3,70	0,00	0,00
Total	392	100,00	-	332,92	79,56
Magnetita	-	-	5,18	-	20,46

Amostra 11					
Mineral	N° Grãos	%	d	% . D	wt%
Anfibólio	172	56,21	3,20	179,87	41,19
Zircão	7	2,29	4,68	10,71	2,45
Ilmenita + Hematita	6	1,96	4,70	9,22	2,11
Apatita	8	2,61	3,17	8,29	1,90
Micas	83	27,12	3,00	81,37	18,64
Piroxênio	0	0,00	3,30	0,00	0,00
Titanita	23	7,52	3,47	26,08	5,97
Granada	7	2,29	4,25	9,72	2,23
Allanita	0	0,00	3,80	0,00	0,00
Epidoto	0	0,00	3,40	0,00	0,00
Monazita	0	0,00	5,20	0,00	0,00
Anatásio	0	0,00	3,90	0,00	0,00
Pirita	0	0,00	5,02	0,00	0,00
Sillimanita	0	0,00	3,23	0,00	0,00
Estaurólita	0	0,00	3,70	0,00	0,00
Total	306	100,00	-	325,25	74,49
Magnetita	-	-	5,18	-	25,51

Amostra 12					
Mineral	N° Grãos	%	d	% . D	wt%
Anfibólio	238	66,67	3,20	213,33	58,30
Zircão	9	2,52	4,68	11,80	3,22
Ilmenita + Hematita	44	12,32	4,70	57,93	15,83
Apatita	7	1,96	3,17	6,22	1,70
Micas	26	7,28	3,00	21,85	5,97
Piroxênio	0	0,00	3,30	0,00	0,00
Titanita	13	3,64	3,47	12,64	3,45
Granada	4	1,12	4,25	4,76	1,30
Allanita	16	4,48	3,80	17,03	4,65
Epidoto	0	0,00	3,40	0,00	0,00
Monazita	0	0,00	5,20	0,00	0,00
Anatásio	0	0,00	3,90	0,00	0,00
Pirita	0	0,00	5,02	0,00	0,00
Sillimanita	0	0,00	3,23	0,00	0,00
Estaurolita	0	0,00	3,70	0,00	0,00
Total	357	100,00	-	345,55	94,43
Magnetita	-	-	5,18	-	5,57

9.5.2 Tabelas de referência da fração areia muito fina

Amostra 1					
Mineral	N° Grãos	%	d	% . D	wt%
Anfibólio	207	36,70	3,20	117,45	22,57
Zircão	33	5,85	4,68	27,38	5,26
Ilmenita + Hematita	98	17,38	4,70	81,67	15,69
Apatita	114	20,21	3,17	64,07	12,31
Micas	66	11,70	3,00	35,11	6,75
Piroxênio	10	1,77	3,30	5,85	1,12
Titanita	21	3,72	3,47	12,92	2,48
Granada	8	1,42	4,25	6,03	1,16
Allanita	0	0,00	3,80	0,00	0,00
Epidoto	0	0,00	3,40	0,00	0,00
Monazita	7	1,24	5,20	6,45	1,24
Anatásio	0	0,00	3,90	0,00	0,00
Pirita	0	0,00	5,02	0,00	0,00
Sillimanita	0	0,00	3,23	0,00	0,00
Estaurolita	0	0,00	3,70	0,00	0,00
Total	564	100,00	-	356,93	68,59
Magnetita	-	-	5,18	-	31,41

Amostra 3					
Mineral	N° Grãos	%	d	% . D	wt%
Anfibólio	324	53,47	3,20	171,09	14,18
Zircão	92	15,18	4,68	71,05	5,89
Ilmenita + Hematita	18	2,97	4,70	13,96	1,16
Apatita	121	19,97	3,17	63,30	5,25
Micas	29	4,79	3,00	14,36	1,19
Piroxênio	0	0,00	3,30	0,00	0,00
Titanita	7	1,16	3,47	4,01	0,33
Granada	8	1,32	4,25	5,61	0,46
Allanita	0	0,00	3,80	0,00	0,00
Epidoto	0	0,00	3,40	0,00	0,00
Monazita	5	0,83	5,20	4,29	0,36
Anatásio	0	0,00	3,90	0,00	0,00
Pirita	2	0,33	5,02	1,66	0,14
Sillimanita	0	0,00	3,23	0,00	0,00
Estaurólita	0	0,00	3,70	0,00	0,00
Total	606	99,67	-	349,32	28,95
Magnetita	-	-	5,18	-	71,05

Amostra 5					
Mineral	N° Grãos	%	d	% . D	wt%
Anfibólio	162	42,63	3,20	136,42	39,55
Zircão	22	5,79	4,68	27,09	7,85
Ilmenita + Hematita	14	3,68	4,70	17,32	5,02
Apatita	15	3,95	3,17	12,51	3,63
Micas	152	40,00	3,00	120,00	34,79
Piroxênio	0	0,00	3,30	0,00	0,00
Titanita	4	1,05	3,47	3,65	1,06
Granada	4	1,05	4,25	4,47	1,30
Allanita	7	1,84	3,80	7,00	2,03
Epidoto	0	0,00	3,40	0,00	0,00
Monazita	0	0,00	5,20	0,00	0,00
Anatásio	0	0,00	3,90	0,00	0,00
Pirita	0	0,00	5,02	0,00	0,00
Sillimanita	0	0,00	3,23	0,00	0,00
Estaurólita	0	0,00	3,70	0,00	0,00
Total	380	100,00	-	328,47	95,22
Magnetita	-	-	5,18	-	4,78

Amostra 6					
Mineral	N° Grãos	%	d	% . D	wt%
Anfibólio	68	30,77	3,20	98,46	24,66
Zircão	34	15,38	4,68	72,00	18,04
Ilmenita + Hematita	21	9,50	4,70	44,66	11,19
Apatita	21	9,50	3,17	30,12	7,55
Micas	32	14,48	3,00	43,44	10,88
Piroxênio	0	0,00	3,30	0,00	0,00
Titanita	17	7,69	3,47	26,69	6,69
Granada	11	4,98	4,25	21,15	5,30
Allanita	17	7,69	3,80	29,23	7,32
Epidoto	0	0,00	3,40	0,00	0,00
Monazita	0	0,00	5,20	0,00	0,00
Anatásio	0	0,00	3,90	0,00	0,00
Pirita	0	0,00	5,02	0,00	0,00
Sillimanita	0	0,00	3,23	0,00	0,00
Estaurolita	0	0,00	3,70	0,00	0,00
Total	221	100,00	-	365,76	91,62
Magnetita	-	-	5,18	-	8,38

Amostra 7					
Mineral	N° Grãos	%	d	% . D	wt%
Anfibólio	105	29,09	3,20	93,07	21,68
Zircão	77	21,33	4,68	99,82	23,25
Ilmenita + Hematita	105	29,09	4,70	136,70	31,84
Apatita	43	11,91	3,17	37,76	8,79
Micas	15	4,16	3,00	12,47	2,90
Piroxênio	0	0,00	3,30	0,00	0,00
Titanita	3	0,83	3,47	2,88	0,67
Granada	4	1,11	4,25	4,71	1,10
Allanita	9	2,49	3,80	9,47	2,21
Epidoto	0	0,00	3,40	0,00	0,00
Monazita	0	0,00	5,20	0,00	0,00
Anatásio	0	0,00	3,90	0,00	0,00
Pirita	0	0,00	5,02	0,00	0,00
Sillimanita	0	0,00	3,23	0,00	0,00
Estaurólita	0	0,00	3,70	0,00	0,00
Total	361	100,00	-	396,89	92,43
Magnetita	-	-	5,18	-	7,57

Amostra 8					
Mineral	N° Grãos	%	d	% . D	wt%
Anfibólio	132	27,62	3,20	88,37	22,12
Zircão	99	20,71	4,68	96,93	24,26
Ilmenita + Hematita	59	12,34	4,70	58,01	14,52
Apatita	37	7,74	3,17	24,54	6,14
Micas	45	9,41	3,00	28,24	7,07
Piroxênio	0	0,00	3,30	0,00	0,00
Titanita	11	2,30	3,47	7,99	2,00
Granada	14	2,93	4,25	12,45	3,12
Allanita	0	0,00	3,80	0,00	0,00
Epidoto	77	16,11	3,40	54,77	13,71
Monazita	0	0,00	5,20	0,00	0,00
Anatásio	4	0,84	3,90	3,26	0,82
Pirita	0	0,00	5,02	0,00	0,00
Sillimanita	0	0,00	3,23	0,00	0,00
Estaurólita	0	0,00	3,70	0,00	0,00
Total	478	100,00	-	374,56	93,75
Magnetita	-	-	5,18	-	6,25

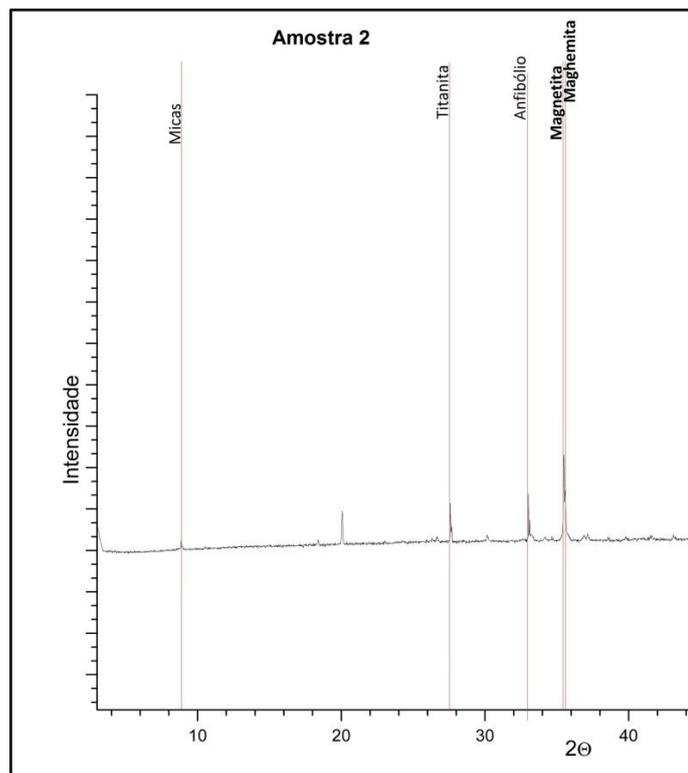
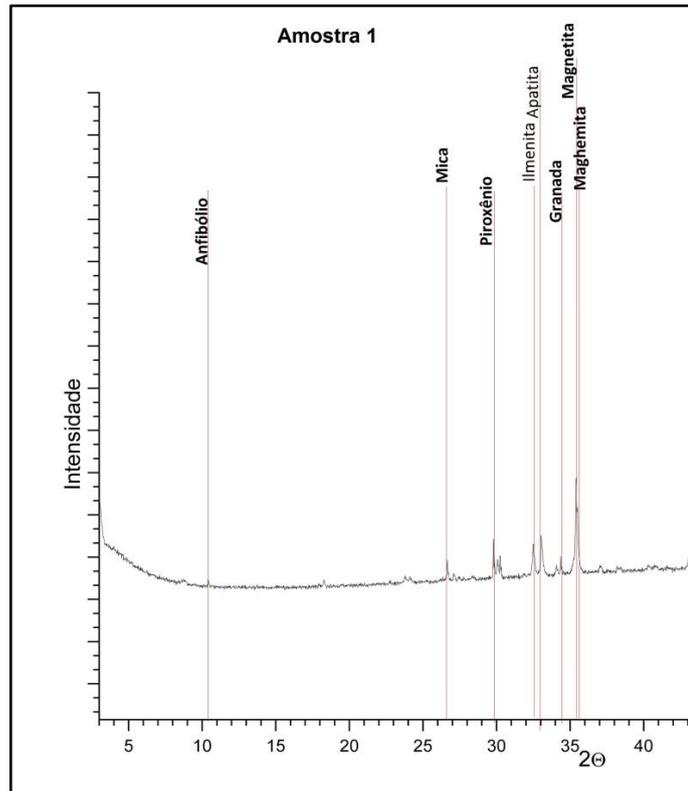
Amostra 10					
Mineral	N° Grãos	%	d	% . D	wt%
Anfibólio	232	48,43	3,20	154,99	34,41
Zircão	127	26,51	4,68	124,08	27,55
Ilmenita + Hematita	17	3,55	4,70	16,68	3,70
Apatita	61	12,73	3,17	40,37	8,96
Micas	27	5,64	3,00	16,91	3,75
Piroxênio	0	0,00	3,30	0,00	0,00
Titanita	12	2,51	3,47	8,69	1,93
Granada	3	0,63	4,25	2,66	0,59
Allanita	0	0,00	3,80	0,00	0,00
Epidoto	0	0,00	3,40	0,00	0,00
Monazita	0	0,00	5,20	0,00	0,00
Anatásio	0	0,00	3,90	0,00	0,00
Pirita	0	0,00	5,02	0,00	0,00
Sillimanita	0	0,00	3,23	0,00	0,00
Estaurolita	0	0,00	3,70	0,00	0,00
Total	479	100,00	-	364,39	80,91
Magnetita	-	-	5,18	-	19,09

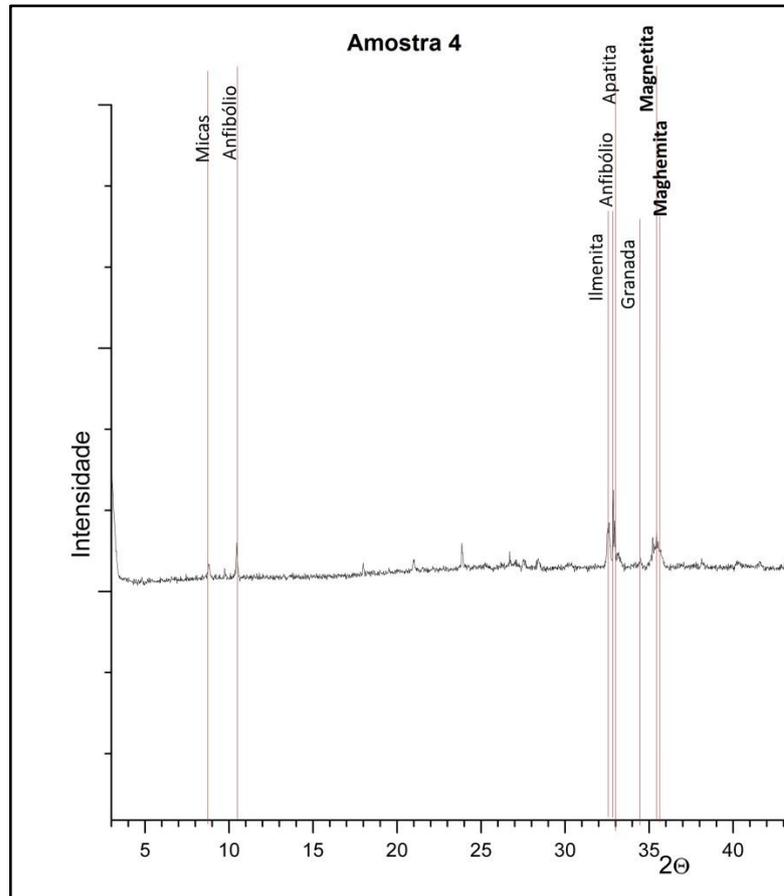
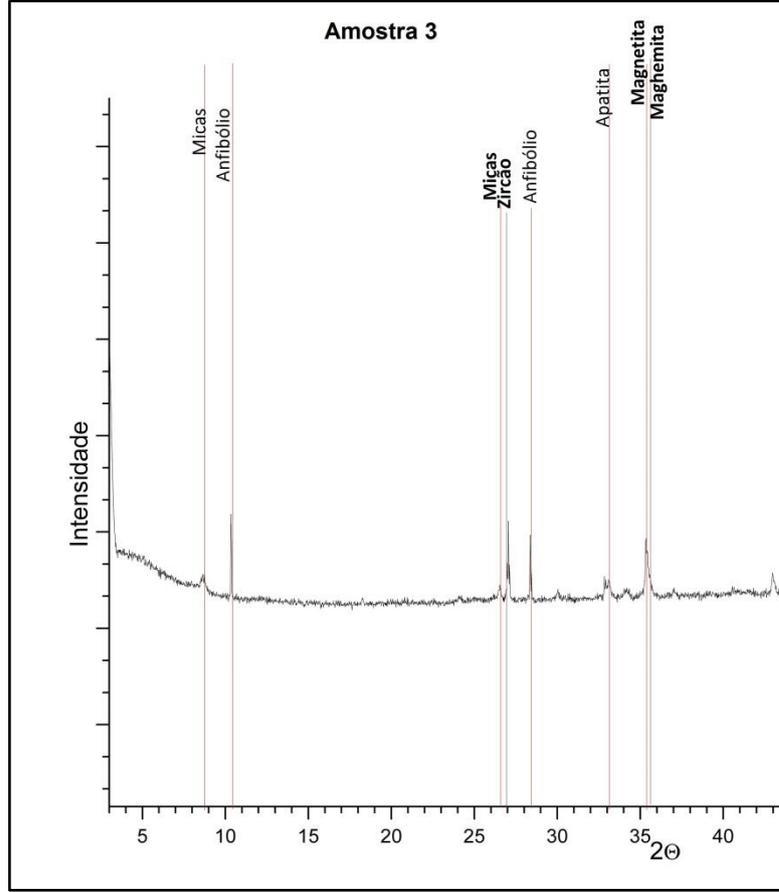
Amostra 11					
Mineral	N° Grãos	%	d	% . D	wt%
Anfibólio	252	52,61	3,20	168,35	39,38
Zircão	57	11,90	4,68	55,69	13,03
Ilmenita + Hematita	15	3,13	4,70	14,72	3,44
Apatita	46	9,60	3,17	30,44	7,12
Micas	60	12,53	3,00	37,58	8,79
Piroxênio	0	0,00	3,30	0,00	0,00
Titanita	43	8,98	3,47	31,15	7,29
Granada	6	1,25	4,25	5,32	1,25
Allanita	0	0,00	3,80	0,00	0,00
Epidoto	0	0,00	3,40	0,00	0,00
Monazita	0	0,00	5,20	0,00	0,00
Anatásio	0	0,00	3,90	0,00	0,00
Pirita	0	0,00	5,02	0,00	0,00
Sillimanita	0	0,00	3,23	0,00	0,00
Estaurólita	0	0,00	3,70	0,00	0,00
Total	479	100,00	-	343,25	80,29
Magnetita	-	-	5,18	-	19,71

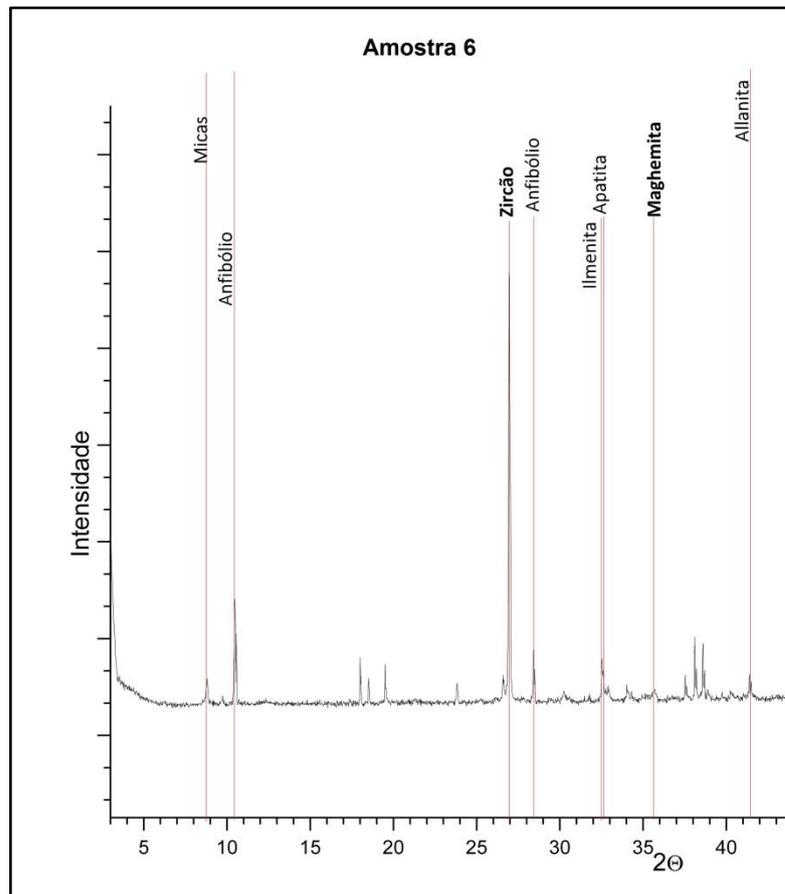
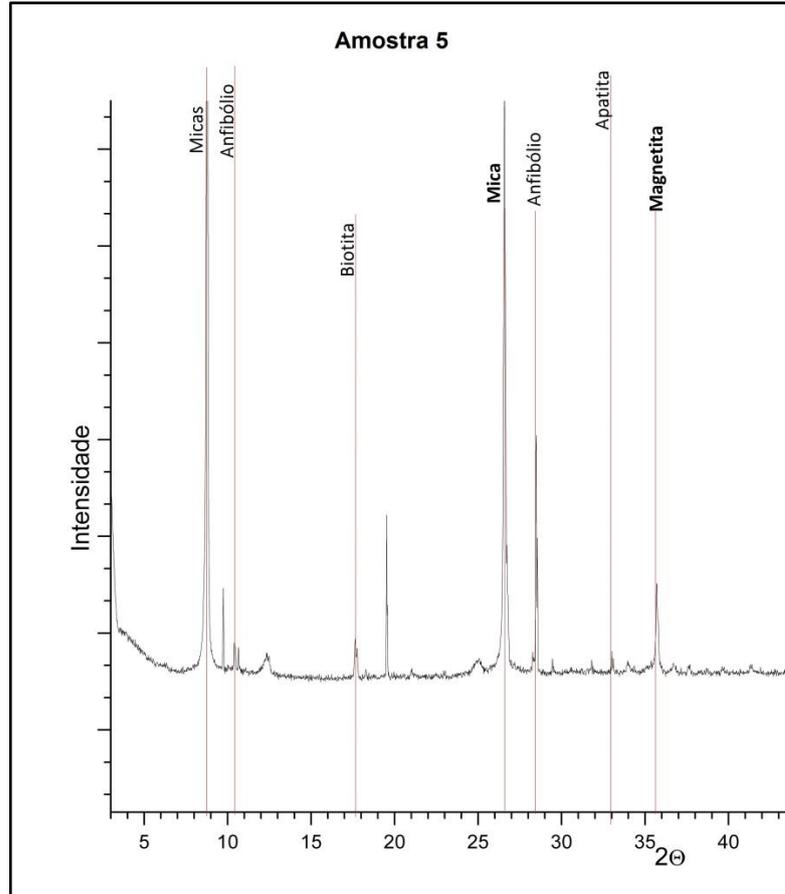
Amostra 12					
Mineral	N° Grãos	%	d	% . D	wt%
Anfibólio	151	39,02	3,20	124,86	31,93
Zircão	78	20,16	4,68	94,33	24,12
Ilmenita + Hematita	46	11,89	4,70	55,87	14,29
Apatita	47	12,14	3,17	38,50	9,85
Micas	25	6,46	3,00	19,38	4,96
Piroxênio	0	0,00	3,30	0,00	0,00
Titanita	17	4,39	3,47	15,24	3,90
Granada	2	0,52	4,25	2,20	0,56
Allanita	21	5,43	3,80	20,62	5,27
Epidoto	0	0,00	3,40	0,00	0,00
Monazita	0	0,00	5,20	0,00	0,00
Anatásio	0	0,00	3,90	0,00	0,00
Pirita	0	0,00	5,02	0,00	0,00
Sillimanita	0	0,00	3,23	0,00	0,00
Estaurolita	0	0,00	3,70	0,00	0,00
Total	387	100,00	-	370,99	94,88
Magnetita	-	-	5,18	-	5,12

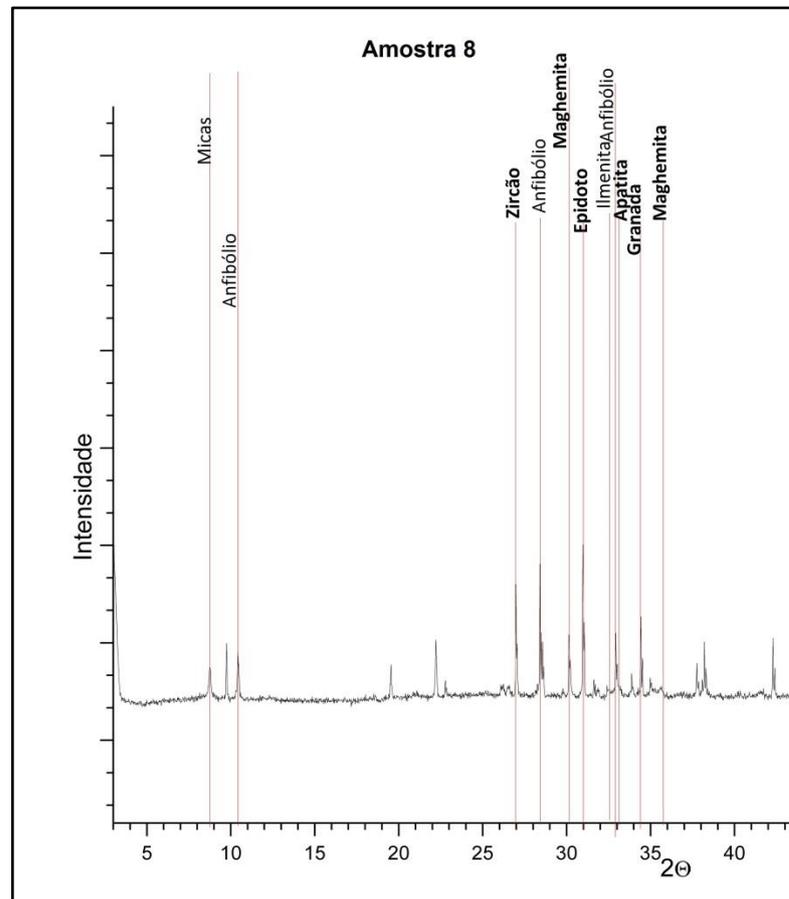
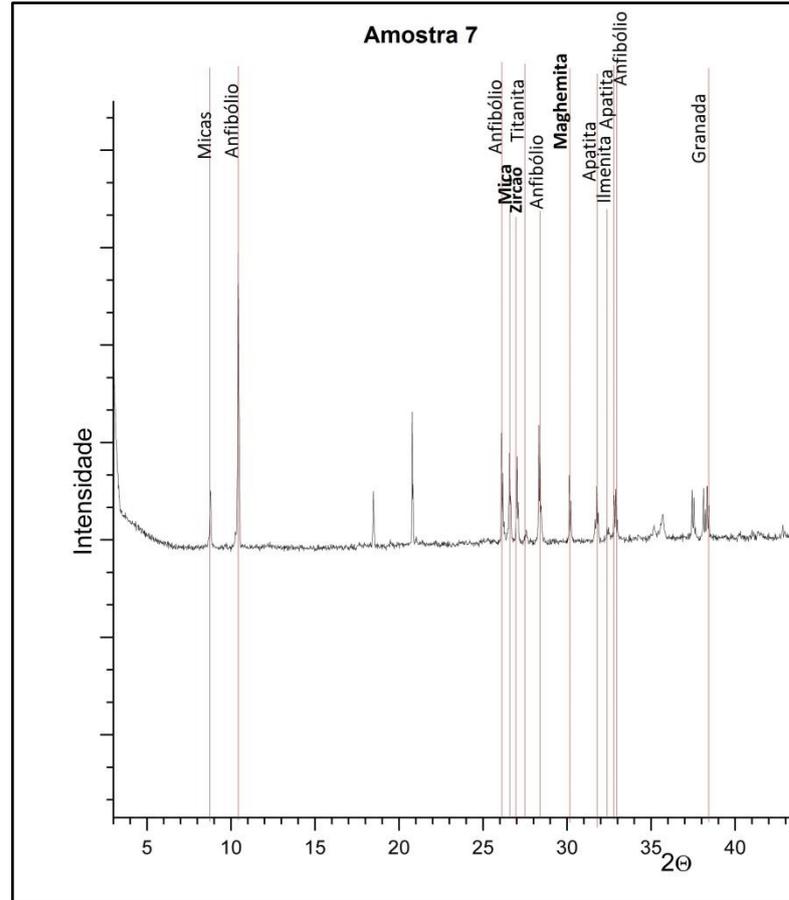
9.6 Difractogramas

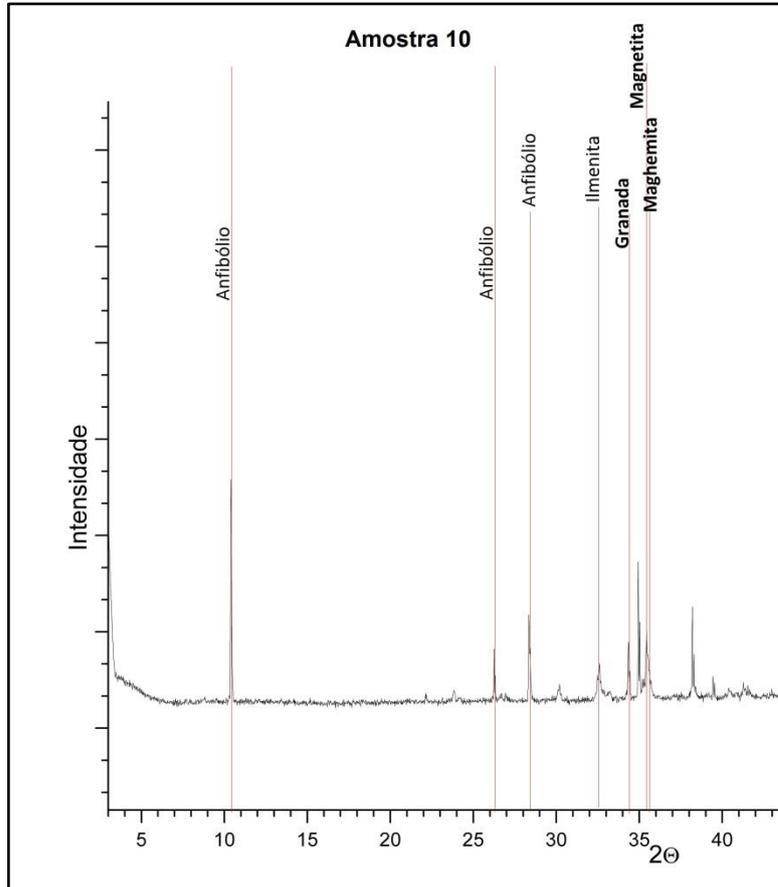
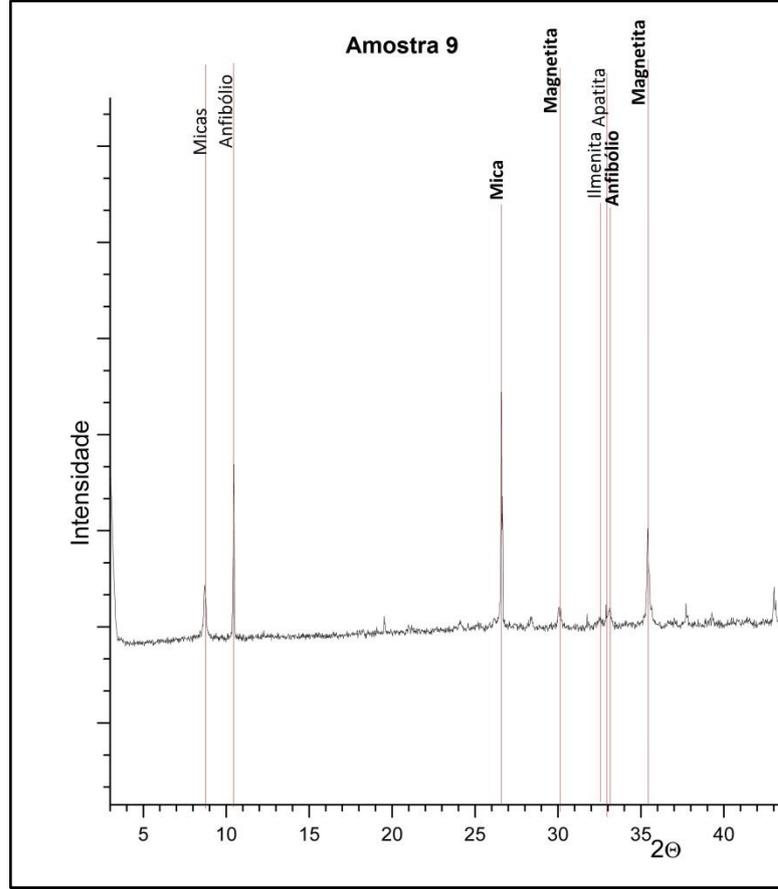
9.6.1 Difractogramas da fração areia fina

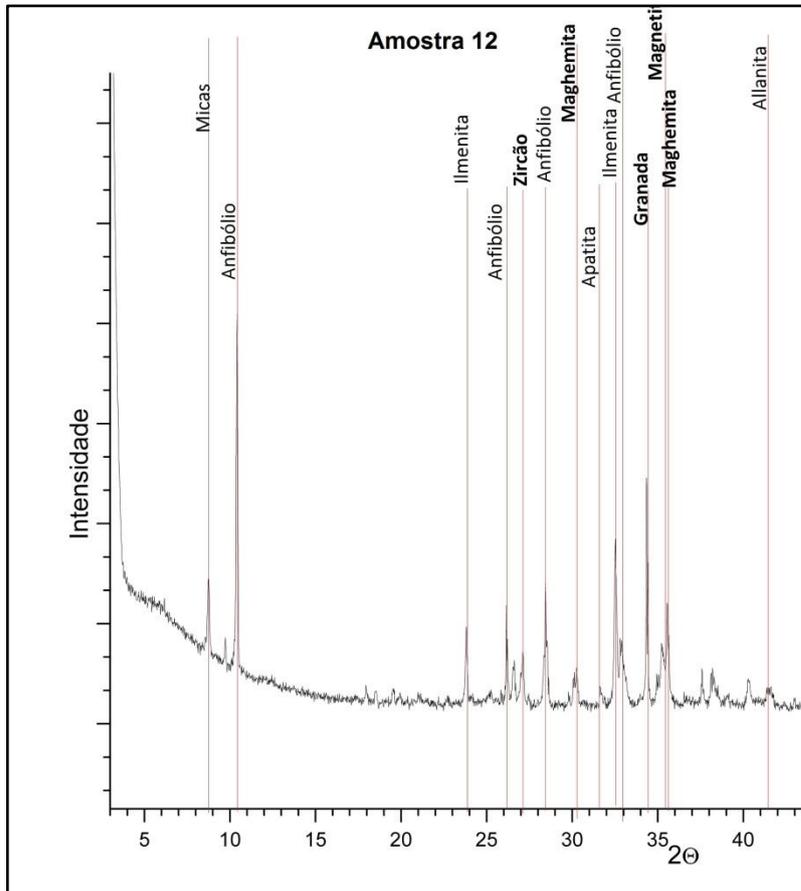
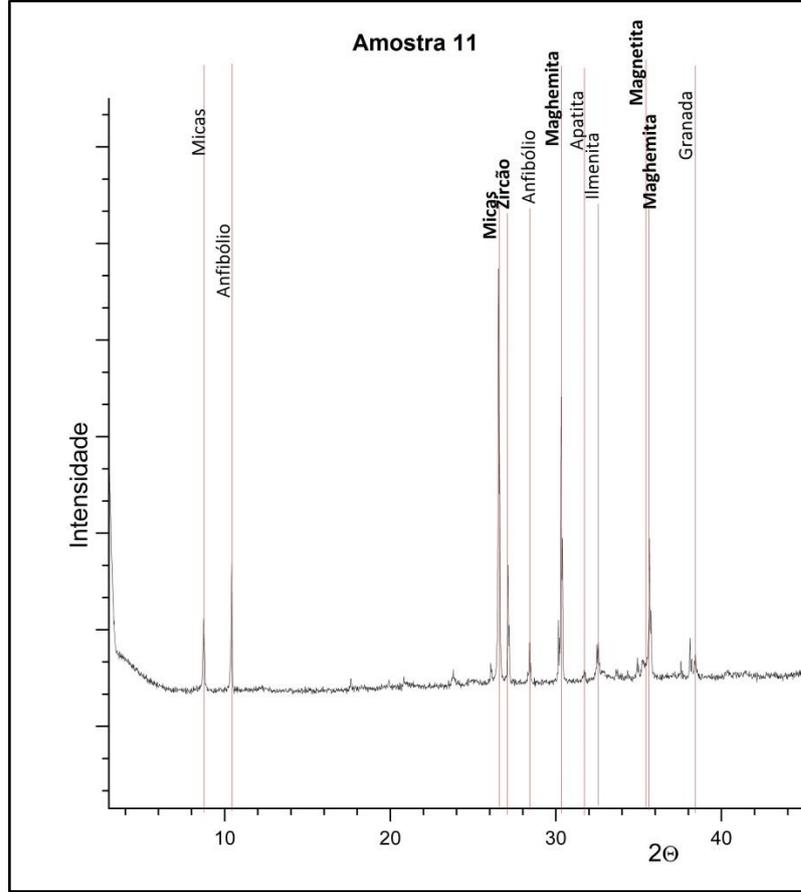












9.6.2 Difratomogramas da fração areia muito fina

