



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA

CASSIANO COSTA E CASTRO

Metais raros associados ao Granito Desembarque: estudo mineralógico
e químico utilizando MEV-EDS.

RIO DE JANEIRO
2007

Cassiano Costa e Castro

Metais raros associados ao Granito Desemborque: estudo mineralógico
e químico utilizando MEV-EDS.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis da Universidade do Estado do Rio de Janeiro como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências.

ORIENTADOR: Prof. Dr. RONALDO MELLO PEREIRA

CO-ORIENTADOR: Dr. REINER NEUMANN

Rio de Janeiro
2007

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/CTCC

C355 Castro, Cassiano Costa e

Metais raros associados ao Plúton Desembarque: estudo mineralógico e químico utilizando MEV-EDS/ Cassiano Costa e Castro.- 2007.

86f. : il.

Orientador :Ronaldo Mello Pereira.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia.

1.Granito – Teses. 2. Metais Raros – Teses. 3. Alteração hidrotermal – São Paulo (SP) – Teses. I. Pereira, Ronaldo Mello. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Geologia. III.Título.

CDU 533.24.065

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação.

Assinatura

Data

Cassiano Costa e Castro

Metais raros associados ao Granito Desemborque: estudo mineralógico e químico utilizando MEV-EDS.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis da Universidade do Estado do Rio de Janeiro como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em: _____

Banca examinadora: _____

Prof. Dr. Ronaldo Mello Pereira (Orientador)
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Prof.^a Dr.^a Nely Palermo
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Ciro Alexandre Ávila
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro
2007

Ao meu avô, advogado, pedagogo, filósofo e teólogo.
O homem que mais compreendeu o meu fascínio pela
geologia.

In memoriam

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi possível graças à colaboração de uma série de pessoas e instituições, as quais tenho a mais profunda gratidão e reconhecimento:

Ao Prof. Dr. Ronaldo Mello Pereira, meu orientador e amigo, pela presença em todos os momentos da pesquisa, mesmo que em alguns momentos à distância. Por nesses últimos três anos de convivência me ensinar a enxergar a geologia econômica de forma prática;

Ao Dr. Reiner Neunnam, meu co-orientador, por me apresentar o quase infinito “mundo” MEV-EDS e pelos dias inteiros de análises no CETEM (Centro de Tecnologia Mineral) e na COPPE (Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia);

À Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, minha casa nesses últimos sete anos e a todos os professores que me fizeram geólogo;

À Cristina, Telma, Paulo e Hilda sempre prestativos e atenciosos e especialmente por me suportarem todos esses anos na Biblioteca Tecnologia e Ciências da UERJ;

Ao Miguel e Jorginho do LGPA (Laboratório Geológico de Processamentos de Amostras) da UERJ, e em especial a Rosalva por sempre lembrar-me que existe EPI;

À FAPERJ (Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnologia) pela concessão da bolsa de mestrado e pelo suporte financeiro desta pesquisa;

À Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), na figura da sua chefe da Residência de Porto Velho (RO), Helena da Costa Bezerra, por ter me apoiado incondicionalmente e cedido toda a infra-estrutura da empresa nas fases finais deste trabalho;

Ao Prof. Júlio César Mendes pelo apoio nas análises de geoquímica de rocha e na interpretação dos resultados;

Ao Prof. Ciro Alexandre Ávila pelo apoio no campo e pelas valiosas críticas e sugestões durante a realização deste trabalho;

À minha namorada Juliana pela presença e apoio durante essa fase da minha vida;

À minha família, pelo amor, carinho e compressão. Em especial a minha mãe, pelo incentivo durante todos estes anos de estudo;

A todas as pessoas que contribuíram direta e indiretamente para que esta dissertação realiza-se.

O trabalho agradável é remédio da cansaço.

William Shakespeare

RESUMO

O Granito Desemborque, um corpo de forma, aproximadamente, circular, situado no sul do Estado de São Paulo, tem área aflorante de 50 km² e é representado por um biotita sienogranito. O caráter peraluminoso com teores significativos de K₂O e Na₂O, juntamente com o baixo conteúdo de CaO, altas razões Fe/Mg, elevados valores de SiO₂ e de elementos traços como Zr, Nb e Y, atestam a afinidade alcalina do granito que pode ser classificado como do tipo A. Os teores de Y refletem a presença de fases acessórias como parisita de Ce, itrofluorita e monazita. Columbita, zircão rico em háfnio e cassiterita presentes na associação de minerais acessórios do Granito Desemborque foram analisados semiquantitativamente (teores em peso) por MEV-EDS. Com isso foi possível discriminar duas fases evolutivas para a geração de alguns dos minerais de metais raros associados ao corpo; uma francamente magmática (com subfases granítica e pegmatítica) e uma fase hidrotermal. A columbita (teor médio de Nb₂O₅ de 66,2% e 6,5% de Ta₂O₅) é nitidamente gerada na fase magmática sendo que na subfase granítica ela tem presença ubíqua e caráter disseminado. O zircão, por sua vez, ocorre nas duas subfases magmática, sendo que na subfase granítica ele teria um caráter mais tardio. O teor médio das análises foi de 9,3% de HfO₂, classificando-o como um zircão rico em háfnio. Na fase hidrotermal, é que se desenrolariam os processos de enriquecimento em Hf desse mineral. A cassiterita, os minerais de REE e boa parte dos minerais radioativos têm a sua formação restrita a fase hidrotermal. Dentre as classificações propostas para granitos mineralizados, o Granito Desemborque se aproxima do tipo peralcalino mineralizado a metais raros com tendência a formar depósitos ou ocorrências de Nb e ETR. Os senões seriam o fato desse corpo não ser peralcalino (ele é peraluminoso) e dos potenciais minerais de Y e ETR só terem sido registrados como inclusões minerais hospedadas nos grãos de cassiterita (ítrocolumbita) e de zircão (xenotímio). A falta de concentrações minerais econômicas de Nb-Hf-Sn associadas ao Granito Desemborque pode ser imputada ao caráter anídrico do magma (tipo-A) e a falta ou limitação do fraturamento hidráulico. A ausência de concentrações minerais econômicas em virtude da remoção erosiva da zona de cúpula não se encontra de acordo com os resultados prospectivos encontrados, pois, a presença da cromita nas amostras de leito ativo coletadas nas drenagens estabelecidas bem no cerne do corpo granítico indica a preservação de restos de pendentes de teto da rocha encaixante (ortognaisses com boudins de rochas ultrabásicas).

Palavras-chaves: granito com metais raros, columbita, zircão rico em háfnio, Cassiterita, São Paulo.

ABSTRACT

The Desemborque Granite, a body almost of circular shape, placed in the southernmost part of São Paulo State, has an area of ca. 50 km². and it is represented by a sienogranite biotite. Its peraluminous features with significant contents of K₂O and Na₂O, together with low CaO contents, high Fe/Mg ratios, elevated values of SiO₂ and trace elements as Zr, Nb and Y, assure the granite alkaline affinity that can be classified as type A. The Y numbers reflect the presence of accessory phases as parasite de Ce, yttrifluorite and monazite. Columbite, zircon rich in hafnium and cassiterite presented in the association of accessory minerals of the Granite Desemborque were semiquantitatively analysed (values in weight) by MEV-EDS. Because of this it was possible to detail the two evolutionary phases for the generation of some minerals of rare metals associated to the body; one fairly magmatic (with granitic sub-phases and pegmatitic) and an hidrothermal phase. Columbite (Nb₂O₅ mean value 66,2% and 6,5% Ta₂O₅) is clearly generated in magmatic phase and in the granitic sub-phase it has ubiquitous presence and disseminated character. Zircon, in its turn, occurs in the two magmatic sub-phases, and in the granitic sub-phase it would have a later character. The mean value of the analysis was of 9,3% for HfO₂, classifying it as a zircon rich in hafnium. In the hidrothermal phase, the enrichment processes are developed in Hf of this mineral. Cassiterite, the REE minerals and a large number of radioactive mineral have their formation restricted to the hidrothermal phase. Amongst the proposed classification for the mineralized granites, the Granite Desemborque has an peralkaline mineralized approach to rare metals with a wide tendency to create deposits of Nb and REE occurrences. The opposition could be the fact that this body is not peralkaline (it is peraluminous) and the Y and REE mineral potentials only have been recorded in the hosted mineral inclusions in the cassiterite grains (yttrrocolumbite) and of zircon (xenotímio). The lack of profitable Nb-Hf-Sn mineral concentrations associated to the Granite Desemborque can be magma anhydrous character (type-A) and the lack or limitation of the hydraulic fracturing. The absence of profitable mineral concentrations because of the erosive removal of the apical zone is not in agreement with the prospective results found, once the presence of chromite in the samples of the active stream bed collected at the draining which is established exactly in the basis of the granite body indicates the preservation of remains roof pendant the wall rocks (ortognaisses with boudins of ultrabasic rocks).

Keywords: granite with rare metals, columbite, zircão rico em háfnio, Cassiterite, São Paulo.

Lista de figuras

Figura 1.1. Mapa de localização e vias de acesso, com delimitação aproximada da área de estudo, onde está localizado o Granito Desemborque.....	3
Figura 2.2. Mapa de amostragem com o contorno aproximado do Granito Desemborque.	5
Figura 2.1. Fluxograma da preparação de concentrados de minerais pesados.	6
Figura 4.1. Mapa de domínios geológicos regionais (Vasconcelos <i>et al.</i> 1999).	15
Figura 4.2. Mapa geotectônico simplificado da região da Serra do Mar e arredores.	16
Figura 4.3. Maciços graníticos da Serra do Mar com o magmatismo sofrido e o tipo de rocha que compõem cada um deles.	20
Figura 4.4. Diagrama da razão FeO/Fe_2O_3 versus ID (Ishihara <i>et al.</i> 1979). Granitos: Agudos= 1,2; Alto Turvo= 3,4; Corupá= 5,6,7,8,9,10; Dona Francisca= 11; Graciosa= 12,13; Guaraú= 14,15; Mandira= 16, 17; Morro Redondo= 18, 19, 20, 21; Piraí= 22; Serra Alta= 23; Serra da Igreja= 24. Adaptado de Kaul <i>et al.</i> 1984.	21
Figura 5.1. Imagem em pseudocores (RGB) das bandas do espectro visível do sensor ASTER com sobreposição dos Granitos Azeite e Desemborque.	25
Figura 5.2. Mapa de equivalente em tório da Folha Rio Guaraú (modificado de Vasconcelos <i>et al.</i> 1999).	27
Figura 5.3. Mapa geológico simplificado da área de entorno do Granito Desemborque, modificado de Vasconcelos <i>et al.</i> (1999).	28
Figura 5.4. Diagrama QAP (Q-quartzo; A-alcalifeldspato; P-plagioclásio com $An > 5$) das rochas do Granito Desemborque.	35
Figura 5.5. Seção polida do ponto RG-06-12 com análise em MEV-EDS de biotita titanífera.	36
Figura 5.6. Diagrama de Shand para o Granito Desemborque. (+) - amostras do Granito Desemborque. Análises por FRX efetuadas na UFRJ.	39
Figura 5.7. Diagramas de variação para as rochas estudadas. Símbolos como na figura 5.6.	40
Figura 5.8. Padrão de elementos terras raras para o Granito Desemborque. Valores normalizados pelo condrito de Boynton (1984).	41
Figura 5.9. Diagramas de discriminação tectônica de Pearce <i>et al.</i> (1984) para o Granito Desemborque. Símbolos como na figura 5.6. WPG = granito intraplaca; ORG = granito de cadeia-oceânica; VAG = granito de arco vulcânico; Syn-COLG = granito sin-colisional.	41
Figura 6.1. Mapa de distribuição da columbita-tantalita na área de estudo. ..	43
Figura 6.2. Mapa de distribuição da cassiterita na área de estudo.	44
Figura 6.3. Mapa de distribuição do zircão na área de estudo.	45
Figura 6.4. a = Cristal de zircão hafnífero do tipo G1 (Pupin 1980); b = Cristal de zircão hafnífero.	46
Figura 6.5. Mapa de distribuição da fluorita na área de estudo.	47
Figura 6.6. Mapa de distribuição da cromita na área de estudo.	48
Figura 6.7. Imagem de cristais de columbita-tantalita com tons de cinza homogêneos e destituídos de inclusões sólidas, ponto RG-06-12D.	51

Figura 6.8. Imagem de cristal de columbita-tantalita com zoneamento normal.	51
Figura 6.9. Imagem de cristal de columbita-tantalita com hábito euédrico inclusa em k-feldspato, ponto RG-06-02.	52
Figura 6.10. Imagem de cristal de columbita-tantalita (ponto RG-06-02) mostrando variações nos tons de cinza. Partes claras Ta ₂ O ₅ 18,2% e o Nb ₂ O ₅ 57,5%. Partes mais escuras Ta ₂ O ₅ 4,4% e Nb ₂ O ₅ 69%.	52
Figura 6.11. Imagem de cristal de columbita-tantalita com hábito euédrico inclusa em quartzo, ponto RG-06-12G.	53
Figura 6.12. Imagem de inclusão de columbita-tantalita em grão de cassiterita do granito (ponto RG-06-12B), mostrando o enriquecimento de Ta ₂ O ₅ do centro para as bordas da columbita.	55
Figura 6.13. Imagem de inclusão de columbita-tantalita em cassiterita do pegmatito (ponto RG-06-02).	55
Figura 6.14. Imagem de inclusão de columbita-tantalita em cristal de zircão do granito (ponto RG-06-04).	56
Figura 6.15. Imagem de inclusão de columbita-tantalita em cristal de zircão do pegmatito (ponto RG-06-05A).	57
Figura 6.16. a = Imagem de cristal de zircão com exsoluções e inclusões, b = Imagem de cristal de zircão com as bordas mais claras mais enriquecidas em háfnio.	59
Figura 6.17. a = Imagem de cristal de cassiterita destituído de inclusões, b = Imagem de cristal de cassiterita com inclusões de columbita-tantalita.	61
Figura 6.18. Imagem de óxido de ferro (provavelmente magnetita) preenchendo fratura em um cristal de cassiterita do pegmatito (RG-06-02).	62
Figura 6.19. a = Imagem de itrofluorita preenchendo fratura no cristal de quartzo, ponto RG-06-12G; b = Imagem de parisita de Ce inclusa em itrofluorita.	63
Figura 6.20. Imagem de itrofluorita inclusa em cristal de zircão do pegmatito, ponto RR-06-02 e 05E.	63
Figura 6.21. Imagem de monazita de Ce inclusa em itrofluorita, ponto RG-06-12G.	65
Figura 6.22. Imagem de óxido de cério preenchendo fratura na columbita proveniente do pegmatito.	65
Figura 6.23. Imagem de torianita inclusa em zircão do pegmatito, ponto RG-06-05A. A figura mostra o enriquecimento em Ta na borda do grão em relação ao seu núcleo.	66
Figura 7.1. a= Imagem de cristal de columbita inclusa em quartzo (ponto RG-06-12G); b= Imagem de cristal de columbita inclusa em k-feldspato (ponto RG-06-02).	70
Figura 7.2. a = Imagem de cristal de columbita falhado-e-soldado b = Imagem de cristal de columbita encurvado.	74
Figura. 7.3. Evolução paragenética dos minerais em metais raros do Granito Desemborque.	78

Lista de fotografias

Fotografia 1. Dique de granito (Granito Desemborque) cortando xisto ultramáfico do Complexo Gnáissico-Migmatítico, ponto RG-06-15.	29
Fotografia 2. Veios de quartzo em matacão do Granito Desemborque situado na vertente oeste do corpo, ponto RG-06-07.	29
Fotografia 3. Pegmatito com espessura centimétrica encaixado no Granito Desemborque localizado na vertente leste do corpo, ponto RG-06-05.	30
Fotografia 4. Detalhe do pegmatito do Granito Desemborque localizado na vertente leste do corpo, ponto RG-06-05.....	30
Fotografia 5. Banda de recristalização de quartzo com aproximadamente 5mm de espessura, localizada na vertente leste do corpo, ponto RG-06-12.	32
Fotografia 6. Matacão do granito desemborque com forma tabular localizado na vertente oeste do plúton, ponto RG-06-07.	32
Fotografia 7. Concentração de minerais com granulação distinta do Granito Desemborque, provavelmente autólito digerido (?), ponto RG-06-05.	33
Fotografia 8. Concentração de minerais com granulação distinta do Granito Desemborque, provavelmente autólito digerido (?) e pegmatito, ponto RG-06-05. ...	33
Fotografia 9. Fotografia 9. Campo de matacão do Granito Desemborque na vertente oeste do corpo, ponto RG-06-14.....	34
Fotografia 10. Granito enriquecido em biotita titanífera, ponto RG-06-12. ..	35

Lista de tabelas

Tabela 4.1. Localização, área e forma aproximada dos Maciços Graníticos da Serra do Mar (Modificado de Kaul 1997).	18
Tabela 4.2. Determinações radiométricas K-Ar, U-Pb e Sm-Nd nas rochas graníticas da Suíte Intrusiva Serra do Mar (para localização das amostras vide Siga Jr, 1995).	23
Tabela 5.1. Análises químicas de elementos maiores (% em peso) e elementos traços (incluindo ETR), em ppm, para amostras do Granito Desemborque.	38
Tabela 6.1. Análises semiquantitativas em MEV-EDS da columbita proveniente do granito.	50
Tabela 6.2. Análises da columbita derivada do pegmatito do ponto RG-06-5A.	53
Tabela 6.3. Análises semiquantitativas em MEV-EDS das inclusões de columbita francamente niobíferas em grãos de cassiterita do granito.	54
Tabela 6.4. Análises semiquantitativas em MEV-EDS das inclusões de columbita-tantalita com teores de Nb ₂ O ₅ menores que 60% em grãos de cassiterita do granito.	54
Tabela 6.5. Análises semiquantitativas em MEV-EDS das inclusões de columbita-tantalita em cristais de cassiterita do pegmatito.	56
Tabela 6.6. Análises semiquantitativas em MEV-EDS do zircão proveniente da borda oeste e leste do granito.	58
Tabela 6.7. Análises semiquantitativas em MEV-EDS do zircão proveniente do pegmatito.	59
Tabela 6.8. Análises semiquantitativas* em MEV-EDS da cassiterita proveniente do granito.	60
Tabela 6.9. Análises semiquantitativas em MEV-EDS da cassiterita proveniente do pegmatito.	61
Tabela 6.10. Análises semiquantitativas em MEV-EDS de itrofluorita.	63
Tabela 6.11. Análises semiquantitativas em MEV-EDS de parisita de Ce. ..	64
Tabela 6.12. Análises semiquantitativas em MEV-EDS da monazita de Ce.	64
Tabela 6.13. Análises semiquantitativas em MEV-EDS das inclusões de torianita em cristal de zircão do pegmatito.	66
Tabela 6.14. Análises semiquantitativas em MEV-EDS de torogumita.	67
Tabela 7.1. Teores de Nb em granitos da Suíte Intrusiva Serra do Mar.	69
Tabela 7.2. Teores de Nb e Ta em granitos mineralizados a metais raros.	69
Tabela 7.3. Composição média da columbita proveniente do granito e do pegmatito.	71
Tabela 7.4. Composição média do zircão.	72
Tabela 7.5. Composição da columbita proveniente do granito e inclusa em zircão do granito.	73
Tabela 7.6. Composição média da cassiterita proveniente do granito e do pegmatito.	75

SUMÁRIO

Capítulo 1

INTRODUÇÃO	1
1.1 Apresentação	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Localização e Vias de Acesso	2

Capítulo 2

MÉTODOS DE TRABALHO	4
2.1 Pesquisa bibliográfica	4
2.2 Etapa de Campo	4
2.3 Etapa de Laboratório	6
2.3.1 <u>Preparação de amostra</u>	6
2.3.2 <u>Métodos analíticos</u>	7
2.3.2a <u>Química mineral</u>	7
2.3.2b <u>Química de rocha total</u>	8
2.4 Redação final da dissertação	9

Capítulo 3

O ESTADO DA ARTE SOBRE DEPÓSITOS DE METAIS RAROS	10
3.1 Introdução	10
3.2 Magmas graníticos enriquecidos em metais raros	10

Capítulo 4

CONTEXTO GEOLÓGICO-GEOTECTÔNICO DA PORÇÃO SUL DO ESTADO DE SÃO PAULO E LESTE DO PARANÁ	14
4.1 Introdução	14
4.2 Contexto geotectônico	14
4.3 Contexto geológico regional	16
4.3.1 <u>Domínio Costeiro</u>	16
4.3.2 <u>Domínio Ribeira</u>	17
4.3.3 <u>Suíte Intrusiva Serra do Mar</u>	17

Capítulo 5

GEOLOGIA E GEOQUÍMICA DO GRANITO DESEMBORQUE	24
5.1 Geologia do Granito Desemborque	24
5.1.1 <u>Aspectos de Gerais e de Campo</u>	26
5.1.2 <u>Caracterização Petrográfica</u>	34
5.1.3 <u>Alterações</u>	36
5.2 Geoquímica do Granito Desemborque	37

Capítulo 6

CONSIDERAÇÕES SOBRE OS TRABALHOS DESENVOLVIDOS E RESULTADOS ALCANÇADOS	42
6.1 Introdução	42
6.2 Prospecção Mineralométrica	42
6.2.1 <u>Columbita-tantalita</u>	42
6.2.2 <u>Cassiterita</u>	43
6.2.3 <u>Zircão</u>	44

6.2.4 Fluorita	46
6.2.5 Cromita	47
6.3 Análises em MEV/EDS	48
<u>6.3.1 Columbita-tantalita</u>	<u>48</u>
6.3.1a Columbita-tantalita derivada do granito	49
6.3.1b Columbita derivada do pegmatito	53
6.3.1c Columbita-tantalita como inclusão na cassiterita do granito	54
6.3.1d Columbita-tantalita como inclusão em cristais de cassiterita do pegmatito ...	55
6.3.1e Columbita-tantalita incluída em cristal de zircão do granito	56
6.3.1f Columbita como inclusão no cristal de zircão do pegmatito	56
<u>6.3.2 Zircão</u>	<u>57</u>
6.3.2a Zircão derivado do granito	57
6.3.2b Zircão derivado do pegmatito	58
6.3.2c Zircão como inclusão na cassiterita do pegmatito	60
6.3.2d Zircão como inclusão na columbita do pegmatito	60
<u>6.3.3 Cassiterita</u>	<u>60</u>
6.3.3a Cassiterita derivada do granito	60
6.3.3b Cassiterita derivada do pegmatito	61
6.3.4 Minerais de ETR	62
6.3.5 Minerais de Th e U.....	65
Capítulo 7	
DISCUSSÃO	68
7.1 Discussão dos resultados	68
7.2. Minerais de metais raros e suas relações com o Granito Desemborque	77
7.3. Enquadramento do Granito Desemborque nos modelos correntes	78
Capítulo 8	
CONCLUSÃO	79
Capítulo 9	
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
ANEXO A – Relação das seções polidas analisadas em MEV-EDS.....	86

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Esta dissertação é um requisito parcial para obtenção do grau de mestre no Programa de Pós-graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). A mesma foi realizada junto ao Departamento de Geologia Aplicada (DGAp) da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, tendo como orientador o Prof. Dr. Ronaldo Mello Pereira e como co-orientador o Dr. Reiner Neumann (CETEM/MCT).

Os trabalhos anteriores, base para presente dissertação tiveram como ponto de partida, o ano de 2003 com a realização de estudos para reavaliar o potencial metalogenético do Maciço Granítico Guaraú. As amostragens foram efetuadas em material do leito ativo das drenagens e saprólitos graníticos situados na área de entorno do maciço e comprovaram a constante presença da columbita nos concentrados de bateia aí realizados. Desde então, em continuação ao programa exploratório voltado para a avaliação do potencial em metais raros de granitos intrusivos na Faixa Ribeira, que vem sendo desenvolvido pelo Departamento de Geologia Aplicada da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (FGEL/UERJ), foram realizadas mais duas campanhas de coleta de minerais pesados na região. Elas tiveram o intuito de adensar a malha prospectiva visando estabelecer melhor a sùmula mineralógica da área de entorno do referido maciço e determinar o potencial em metais raros do plúton granítico.

A presente dissertação representa o fecho dos estudos efetuados e, por isso, lança mão dos dados e resultados auferidos anteriormente consolidando essas informações e, a partir dos dados gerados neste trabalho, procura-rá responder a algumas questões que ficaram, até o presente momento, em aberto.

1.2 Objetivos

O principal objetivo da presente dissertação é contextualizar o Granito Desemborque dentro dos atuais modelos de granitos portadores de metais raros e apresentar as demais informações pertinentes para o melhor entendimento sobre a evolução desse corpo.

Para tal, pretende-se estudar principalmente a columbita - o mineral portador de Nb encontrado na área - e os demais minerais portadores de *high-field-strength elements* (HFSE)

como columbita-tantalita (Ta), zircão rico em háfnio (Zr, Hf) e cassiterita (Sn), de modo a tentar estabelecer as suas relações genéticas ao longo da evolução magmática do corpo.

1.3 Localização e Vias de Acesso

A área de estudo localiza-se no sudeste do Estado de São Paulo, no Vale do Ribeira, no município de Cajati (Fig. 1.1). O corpo granítico dista 223 km da cidade de São Paulo e 180 km de Curitiba. Localiza-se na porção noroeste da folha topográfica Rio Guaraú (SG-22-X-B-VI-4), na escala de 1:50.000 do IBGE (1987).

O acesso à área é facultado pela rodovia Régis Bittencourt (BR-116) - que liga São Paulo a Curitiba - e passa pela cidade de Cajati, a partir da qual se transfere para uma estrada secundária que bordeja a vertente leste do maciço granítico em direção ao Bairro Guaraú. Já a vertente oeste pode ser atingida através de uma série de caminhos que saem do Bairro do Azeite, o qual fica a 10 km de Cajati, sentido Curitiba.

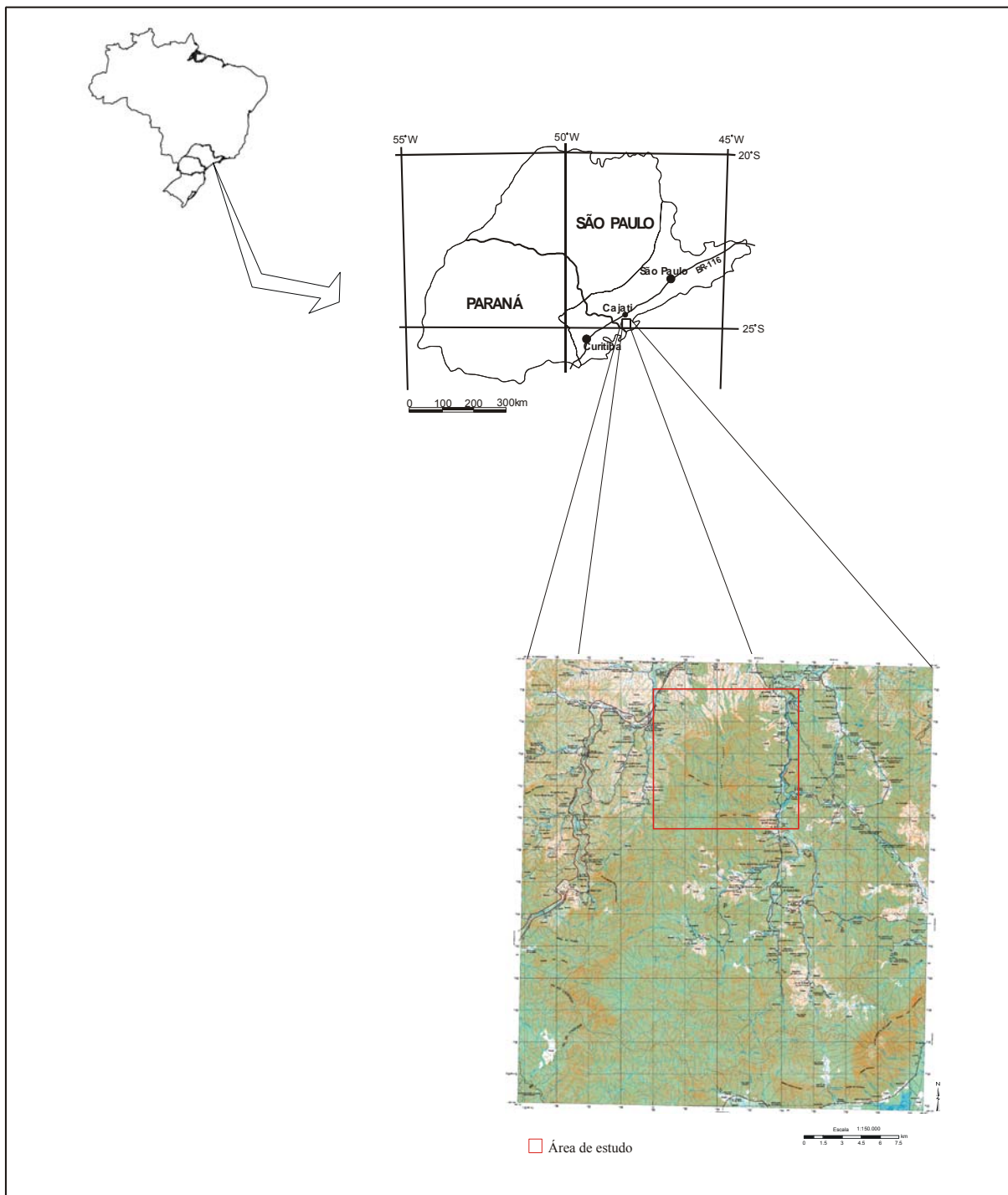


Figura 1.1. Mapa de localização e vias de acesso, com delimitação aproximada da área de estudo, onde está localizado o Granito Desemborque.

2. MÉTODOS DE TRABALHO

Com a finalidade de se alcançar os objetivos descritos no item 1.2, as etapas de trabalho foram desenvolvidas da maneira como serão expostas, a seguir.

2.1 Pesquisa bibliográfica

Realizou-se uma pesquisa bibliográfica centrada na busca dos trabalhos executados preteritamente na região de Cajati, de trabalhos referentes à metalogenia granítica e sobre depósitos de metais raros conhecidos. Nesta etapa também foi consultado o mapa geológico na escala 1:50.000 (Vasconcelos *et al.* 1999), além de imagens de satélite obtidas pelo sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) disponibilizados pela NASA. A base cartográfica utilizada corresponde a folha Rio Guaraú, na escala de 1:50.000 (IBGE 1987).

2.2 Etapa de campo

Realizou-se uma etapa de campo para a fase de amostragem. Nesta etapa foram coletadas doze amostras de rocha (granito e pegmatitos) e apenas um concentrado de mineral pesado no leito ativo da drenagem. Para as amostras de rocha, a quantidade de material variou entre 10 e 20 quilos. O volume máximo (20 kg) só foi coletado nos pontos onde se pretendia identificar e quantificar os minerais pesados presentes na rocha.

O trabalho de campo realizado na área permitiu a elaboração de um mapa onde estão localizados os afloramentos e amostras estudadas por geoquímica, análise de minerais pesados em lupa e análise em MEV-EDS (Fig. 2.1).

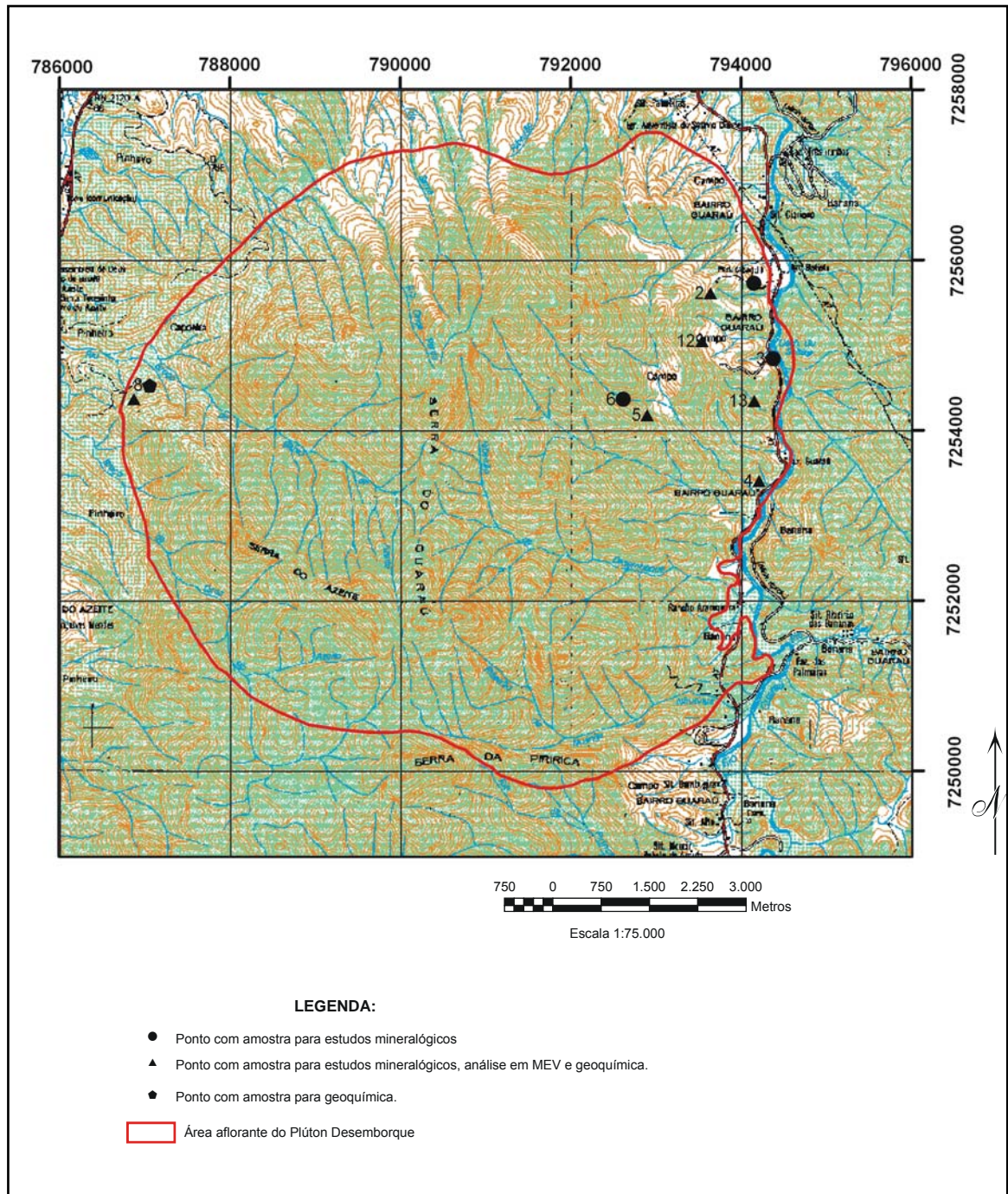


Figura 2.1. Mapa de amostragem com o contorno aproximado do Granito Desembarque.

2.3 Etapa de laboratório

2.3.1 Preparação de amostra

A etapa de laboratório, realizada no Laboratório Geológico de Preparação de Amostras (LGPA) da Faculdade de Geologia da UERJ (FGEL/UERJ), constou dos seguintes procedimentos:

- Preparação dos concentrados de minerais pesados das amostras do Granito Desembarque e de corpos pegmatíticos. A preparação (Fig. 2.2) iniciou-se com a redução das amostras a fragmentos menores, aproximadamente 10 cm de tamanho máximo, com o uso de marreta. Estes fragmentos foram levados ao britador de mandíbulas e reduzidos a fragmentos de mais ou menos 1,5 cm de tamanho. Esse material foi rebritado sucessivamente até a obtenção de um pó de rocha, com granulometria $< 1,0$ mm. Todo o material passou por um processo de lavagem para a remoção das partículas muito finas (deslamagem), após o que foram bateadas para obtenção de um concentrado de minerais pesados.

O concentrado, após secagem em estufa, teve a magnetita retirada através do imã de mão e guardada separadamente. As amostras, já sem a magnetita, foram em seguida processadas no bromofórmio (densidade 2,89), sendo os minerais menos densos (leves) descartados. O material mais denso, depois de lavado com álcool e seco em estufa, foi submetido a separações eletromagnéticas no separador Frantz. As amperagens (para separação dos minerais paramagnéticos) utilizadas neste aparelho foram: 0,3A, 0,4A, 0,5A, 0,6A, 0,8A e 1,8A. Restando, por fim, a fração não magnética. Após essas etapas, as amostras encontravam-se prontas para as análises em lupa binocular. Separou-se, então, os minerais de interesse (grãos de columbita, cassiterita e zircão) para a confecção de seções polidas, que foram posteriormente submetidas a análises em MEV/EDS que serão descritas a seguir.

- Confecção de lâminas polidas (13) para estudos em MEV-EDS dos minerais de interesse à pesquisa. Para a seleção das lâminas que contivessem os minerais a serem analisados (principalmente a columbita), utilizou-se o microscópio petrográfico Karl Zeiss, equipado com lentes binoculares de 10 vezes de aumento, associadas a lentes objetivas de 2,5 a 40 vezes de aumento e lupa binocular. Com o intuito de compreender melhor a relação entre a columbita e os demais minerais petrográficos do granito, selecionou-se para análise somente quatro lâminas polidas correspondentes aos pontos RG-06-04, RG-06-07, RG-06-02 e RG-06-12G.

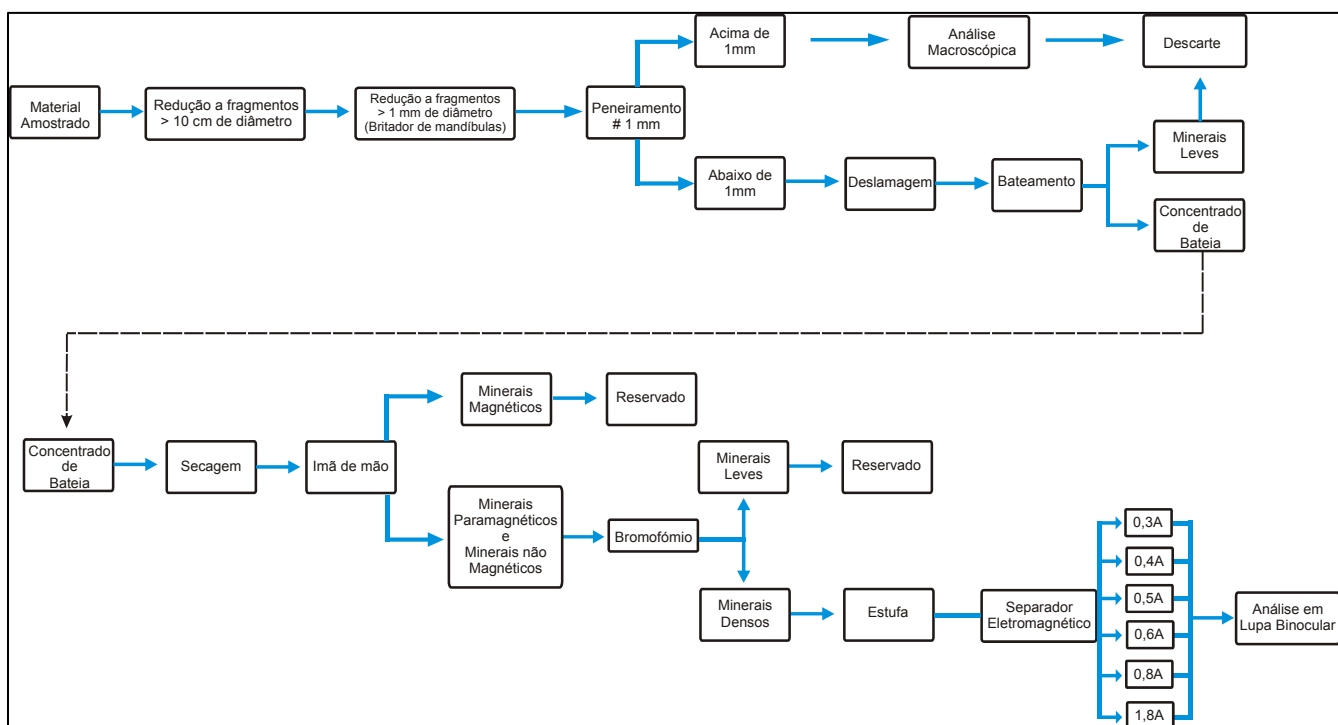


Figura 2.2. Fluxograma da preparação de concentrados de minerais pesados.

2.3.2 Métodos analíticos

Os métodos analíticos utilizados para o estudo geoquímico e de química mineral das amostras do Granito Desemborque foram a fluorescência de raio-x e ICP-MS para as análises de rocha total e o microscópio eletrônico de varredura para as microanálises minerais.

2.3.2a Química Mineral

As análises em MEV-EDS foram efetuadas em amostras de columbita, cassiterita, zircão e demais minerais interessantes (minerais de ETR) do ponto de vista econômico ou metalogênico contidas em seções e lâminas polidas.

As seções e lâminas polidas foram recobertas com carbono e analisadas por microscopia eletrônica de varredura, com microanálise pontual por dispersão de energia (EDS), no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da COPPE/UFRJ, e no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT).

Na COPPE foi utilizado um Microscópio Eletrônico de Varredura Zeiss DSM940A, equipado com sistema de microanálise química da iXRF, com detector de SiLi Link Pentafet, janela SUTW MET4, de resolução de 133 eV a 5,9 keV. A quantificação dos elementos foi realizada em modo semiquantitativo sem padrões.

No CETEM O equipamento utilizado (LEO S440) possui acoplado um sistema de microanálise EDS Link ISIS L300, detector de SiLi Link Pentafet, janela ultrafina ATW II, de resolução de 128 eV a 5,9 keV. A quantificação dos elementos foi realizada pelo programa SEMQUANT, da suíte Oxford ISIS L300. As análises semiquantitativas por EDS foram calibradas a partir de padrões de cobalto de pureza 99,995% analisadas a cada hora, de forma a eliminar ou minimizar os efeitos de flutuação na intensidade do feixe. As curvas para todos os elementos analisados foram adquiridas de padrões certificados, em condições idênticas às das análises.

Em ambos os equipamentos, a tensão de aceleração de elétrons de todas as análises foi 20 kV, o tempo de aquisição de espectro para os padrões (no CETEM) e para cada análise foi de 100 segundos e o limite de detecção varia entre 0,1 e 0,5%. Oxigênio foi calculado por estequiometria (como O^{-2}).

As imagens do MEV foram geradas predominantemente por detector de elétrons retro-espalhados (*backscatter electrons detector - BSD*), no qual os níveis de cinza são proporcionais ao peso atômico médio dos elementos excitados pelo feixe de elétrons durante a varredura, sendo, portanto, imagens composicionais com os tons mais claros representando as fases de peso atômico médio mais elevado e as com tons mais escuros, as de peso atômico médio menos elevado. A resolução da microanálise por EDS é da ordem de 1 μm de raio em superfície e em uma profundidade da ordem de 1,5 a 5 μm , dependendo da densidade do material, no ponto analisado.

Todas as análises de elementos ou substâncias analisadas em MEV/EDS citadas nos próximos capítulos apresentam-se em porcentagem em peso e, portanto, doravante, não mais será feita referência a esse fato.

2.3.2b *Química de rocha total*

As análises químicas de rocha total foram efetuadas em treze amostras, para a determinação dos elementos maiores (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O e P_2O_5) e alguns traços (Rb, Ba, Sr, Nb, Zr, Y, Ga,) tendo sido quatro delas selecionadas e dosadas para elementos terras raras (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Yb, Lu).

As análises de rocha total foram efetuadas no Laboratório de Fluorescência de raios X do Departamento de Geologia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, através de espectrômetro de fluorescência de raios X Philips PW2400, com tubo de Rh. A perda ao fogo foi obtida através da obtenção do peso da amostra antes e depois da

mesma ser aquecida a 950°C por meia hora. Os elementos maiores foram detectados a partir da fusão de 1,2g de pó do material com tetraborato de lítio. Os elementos traços foram determinados em 7g do pó da amostra, prensada com 1g de aglutinante wax. Os elementos terras raras foram analisados no laboratório Acme (Analítica Laboratórios Ltda, Vancouver, Canadá) por meio de equipamento ICP-MS, onde os teores de ETR foram obtidos a partir da fusão de 0,5g de amostra com LiBO_2 .

2.4 Redação final da dissertação

Após as etapas de campo e laboratório foi efetuada a consolidação e interpretação dos dados obtidos. Embasado nesses dados (oriundos da literatura e nos adquiridos) chegou-se, assim, às discussões/considerações finais e às conclusões da presente dissertação.

3. O ESTADO DA ARTE SOBRE DEPÓSITOS DE METAIS RAROS

3.1 Introdução

O termo metais raros é usado nesta dissertação com a conotação de elemento raro de modo a abranger uma variedade de elementos incluindo tântalo (Ta), nióbio (Nb), lítio (Li), berílio (Be), zircônio (Zr) e os elementos terras raras (REE). As fontes de metais raros são variadas e podem, inclusive, não se encontrar diretamente restritas à metalogenia granítica. Para não fugir do escopo do presente trabalho, serão abordadas somente as fontes relacionadas à magmatogênese granítica.

Vários modelos para concentração de metais raros em corpos graníticos vêm sendo formulados desde a metade do século dezanove. Os primeiros estudos de detalhe dos fenômenos metassomáticos pós-magmáticos em granitos iniciou-se na Rússia, baseados em um extensivo programa de investigações petrológicas e geoquímicas em granitos albitizados e em pegmatitos graníticos mineralizados em elementos raros.

O termo apogranito, desde o início da década de sessenta do século passado, foi utilizado pelos geólogos soviéticos para designar granitos albitizados e greisenizados, dispostos nas partes apicais e periféricas de certas intrusões e que comumente estão mineralizados em elementos raros (Beus 1982). Durante uma quinzena de anos acreditou-se que as mineralizações em metais raros ocorriam estritamente associadas a processos metassomáticos pós-magmáticos. No entanto, Kovalenko & Kovalenko (1976), descreveram rochas vulcânicas e subvulcânicas análogas aos granitos a Li-F, sugerindo uma origem magmática para a concentração de elementos raros.

Contudo, as características primárias destes granitos são fortemente destruídas pela alteração hidrotermal, somando-se a alteração meteórica. Assim, modelos genéticos para tais granitos são ainda controversos.

Atualmente, os principais tipos de depósitos de granitos a metais raros incluem aqueles em que os minerais de metais raros formam-se como uma parte integral da história de cristalização, geralmente dentro da fácies mais evoluída do granito.

3.2 Magmas graníticos enriquecidos em metais raros

De modo geral, a evolução dos magmas graníticos se dá, predominantemente, por meio da remoção de material da fonte não fundida (restito) e pela cristalização fracionada. Magmas graníticos que evoluem predominantemente por cristalização fracionada podem se

tornar, significativamente, enriquecidos em elementos incompatíveis e, portanto, gerar um potencial para mineralizações, particularmente as de Sn, Ta, Cu e Mo.

Esses magmas residuais podem:

- Ser injetados nas rochas encaixantes e cristalizar como pegmatitos mineralizados a metais raros;
- Cristalizar *in situ* como granitos a metais raros;
- Gerar fluidos magmáticos-hidrotermais enriquecidos em elementos metálicos que poderão cristalizar (durante os processos de alteração pervasiva) nos sistemas portadores de Sn.

Em alguns casos, o fracionamento químico pode ser detectado através de uma série de fácies anteriores menos fracionada sugerindo que os magmas originais foram provavelmente derivados de uma fonte ‘normal’, não enriquecida em metais raros (Lehmann 1990). Em outros, não se observam as fácies menos evoluídas e os magmas originais são inferidos como derivados de fontes especiais (enriquecidas em metais raros) ou através de pequenos graus de fusão parcial do protólito.

O principal papel dos constituintes voláteis (F, Li, B, e P) é o de diminuir progressivamente as temperaturas *líquidus* e *solidus* com o aumento de sua concentração, quebrar a rede dos aluminossilicatos do líquido e, portanto, fornecer sítios adicionais para a incorporação de elementos incompatíveis e de raio iônico grande e fornecer uma oportunidade para um extensivo fracionamento e para a promoção de tendências distintas dos elementos maiores na composição do magma.

Os granitos ricos em metais raros podem ser divididos em três tipos geoquímicos. Para Kovalenko (1978) eles podem ser considerados como dos tipos:

- Li-F, que contém mineralizações de Ta-Li-Sn e, às vezes, W;
- Padrão, que inclui mineralizações de W, Mo, Be e raramente Ta e Sn;
- Granito agpaítico, que contém depósitos de ETR, Y, Nb e Zr.

Granitos do tipo Li-F tem estrutura interna complexa, com fases iniciais alaskíticas e fases finais incluindo albita-granito. São granitos peraluminosos, ricos em F e apresentam amazonita, zinwaldita ou lepidolita dentre seus minerais mais importantes. Seus análogos efusivos e subvulcânicos são o ongonito e o riolito ricos em flúor.

Granitos do tipo padrão são peraluminosos, pobres em flúor e suas composições correspondem à granítica média pobre em cálcio.

Os granitos agpaíticos são naturalmente peralcalinos, formam maciços individualizados, ou conectados a biotita granitos ou do tipo Li-F.

Para Pollard (1995) os granitos especializados em metais raros correspondem aos:

- Álcali granito contendo minerais peralcalinos principalmente associados às mineralizações de Nb (pirocloro). Esses granitos são comumente anorogênicos e caracterizados por expressivos conteúdos de F, Nb, Zr, Rb, Sn e ETR e baixos conteúdos de CaO, Ba, Sr e Ta/Nb.
- Biotita e/ou moscovita granito com micas de Fe e Li aos quais se associam mineralizações de Nb-Ta(-Sn) sob a forma de columbita-tantalita e cassiterita. Ocorrem em ambientes anorogênicos a pós-orogênicos, sendo caracterizados pelo alto conteúdo em F, Rb e Sn e baixo CaO, Ba, Sr e Eu.
- Lepidolita-albita granito que apresenta topázio associado com mineralizações de Ta (-Nb-Sn) (columbita-tantalita e cassiterita rica em Ta). Eles ocorrem em ambientes pós-orogênicos caracterizados pelos altos conteúdos de Al₂O₃, F, Li, Rb, Sn, Ta e Ta/Nb e baixos Ba, Sr, Eu, Zr e ETR.

As variedades peraluminosas ocorrem geralmente nos cinturões dobrados, como plútons pós-orogênicos, estando associadas predominantemente com mineralizações de Ta (-Sn) contendo topázio primário e micas ricas em lítio. A mineralização (columbita-tantalita, microlita e cassiterita rica em Ta) é do tipo disseminada encontrando-se nas partes apicais da fácies mais evoluída do corpo granítico.

As variedades peralcalinas contendo arfvedsonita e aegirina primárias, em sua maioria, foram posicionadas durante eventos extensionais ou migraram para porções mais elevadas a partir de *hot spots* do manto em antigas regiões cratônicas, formando complexos anelares subvulcânicos. As mineralizações do tipo disseminada são principalmente de Zr, Nb e ETR e são formadas durante a cristalização do magma ou durante alteração hidrotermal pervasiva (metassomatismo Na e Ca).

Os depósitos de Ta relacionados aos granitos (especializados) encontram-se, geralmente, ou como zonas maciças ou em forma de lentes, com a mineralização disseminada nas zonas apicais desses corpos. Para Raimbault *et al.* (1995) granitos portadores de tântalo podem ser divididos em duas classes:

- Pobre em sílica ($67\% < \text{SiO}_2 < 72\%$) e enriquecido em P ($0,6\% < \text{P}_2\text{O}_5 < 2\%$) denominada ambligonita granito;
- Com sílica normal ($71\% < \text{SiO}_2 < 76\%$) e com baixo P ($\text{P}_2\text{O}_5 < 0,15\%$).

4. CONTEXTO GEOLÓGICO-GEOTECTÔNICO DA PORÇÃO SUL DO ESTADO DE SÃO PAULO E LESTE DO PARANÁ

4.1 Introdução

No decurso de vinte anos (1974-1995), foram formulados cerca de quinze modelos de compartimentação geotectônica para a porção sul do Estado de São Paulo e leste do Paraná (Kaul 1997). Mais recentemente, novos modelos tectônicos foram propostos para a região, dentre os quais destacam-se os propostos por Basei *et al.* (1992), Siga Jr (1995), Campo Neto (2000) e Passarelli (2001).

Uma revisão detalhada e completa da bibliografia disponível foge ao escopo deste trabalho. Objetiva-se, neste capítulo, simplesmente familiarizar e situar o leitor no contexto geotectônico, geológico e geocronológico da área estudada. E para tal, dentre os diversos modelos propostos para a evolução geotectônica, optou-se por adotar o de Basei *et al.* (1992). Para a divisão dos domínios geotectônicos, foi utilizada a proposta de Vasconcelos *et al.* (1999) por terem esses autores elaborado a base geológica utilizada no presente trabalho.

Finalmente, o exame da bibliografia compilada para esta dissertação deixa claro o grau de complexidade e de incerteza sobre o conhecimento geológico da área de estudo.

4.2 Contexto geotectônico

O contexto geotectônico onde se encontra a área estudada insere-se no que foi definido como Região de Dobramentos Sudeste (Almeida *et al.* 1976), Província Estrutural Mantiqueira (Hasui & Oliveira 1984) ou Bloco Tectônico Iguape (Passarelli 2001).

Segundo Vasconcelos *et al.* (1999), na região estudada podem-se distinguir dois grandes domínios geotectônicos: o Domínio do Cinturão Ribeira e o Domínio Costeiro, limitados, entre si, pela Zona de Cisalhamento de Cubatão-Lancinha (ZCCL) (Fig. 4.1).

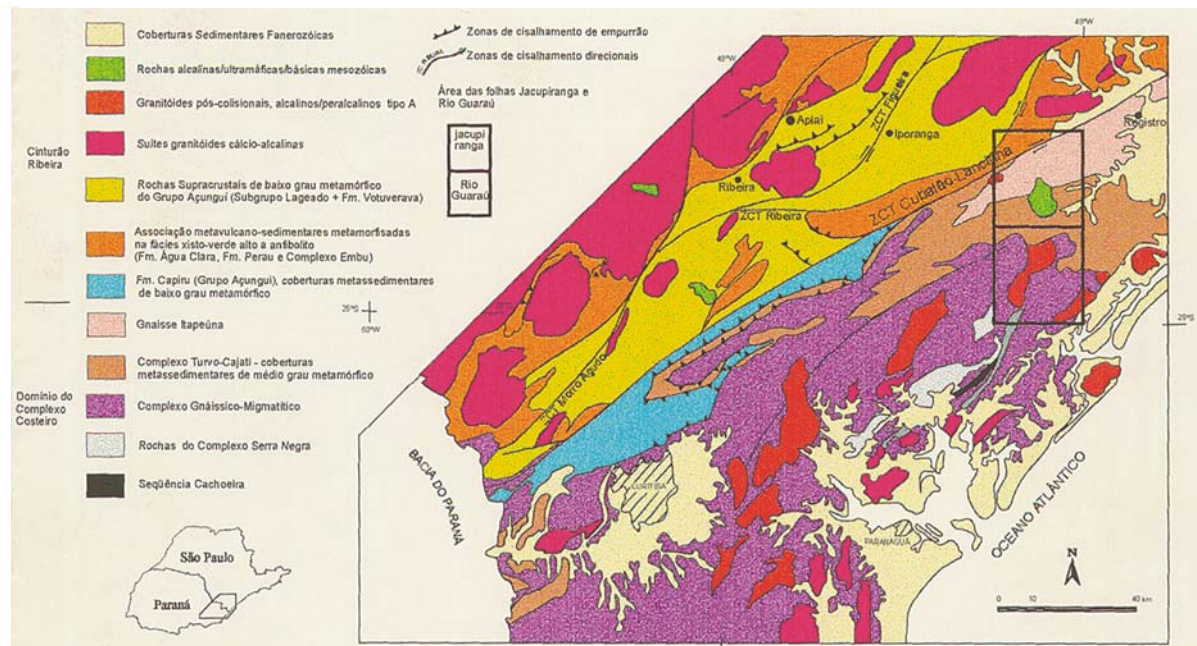


Figura 4.1. Mapa de domínios geológicos regionais (Vasconcelos *et al.* 1999).

Basei *et al.* (1992) assumem para a região três unidades geotectônicas: as microplacas Curitiba, Luís Alves e, na porção litorânea, o Cinturão Granitóide Costeiro, separados entre si por importantes zonas de cisalhamento. Estes propuseram ainda, uma compartimentação tectônica do Domínio Costeiro (Fig. 4.2) que, segundo os autores, seria originada por colagens de SE para NW de microplacas no Neoproterozóico, de acordo com a seguinte seqüência de eventos:

1. Colisão da micro-placa Curitiba com áreas a norte, subducção e geração de arco magmático da borda sul da mesma (700-650 Ma);
2. Colisão das micro-placas Luiz Alves e Curitiba na porção “leste”, início da orogênese Rio Doce (650-600 Ma);
3. Colisão entre o cinturão granitóide costeiro (batólito Paranaguá) e a micro placa Luiz Alves, orogênese Rio Doce (600-550 Ma);

Contudo, este modelo de evolução não é consensual. Para Siga Jr (1995) o modelo estabelecido anteriormente não explicava alguns pontos tais como: a ausência de metassedimentos relacionados à evolução do suposto oceano brasileiro, que teria existido entre as microplacas Luís Alves e Curitiba e o fato de que pequenos corpos de rochas básicas e ultrabásicas, admitidos por Basei *et al.* (1992) como possíveis restos de assoalho oceânico obductado, não se restringiam à região limítrofe entre as referidas placas ocorrendo também em vários outros pontos da Microplaca Luís Alves.

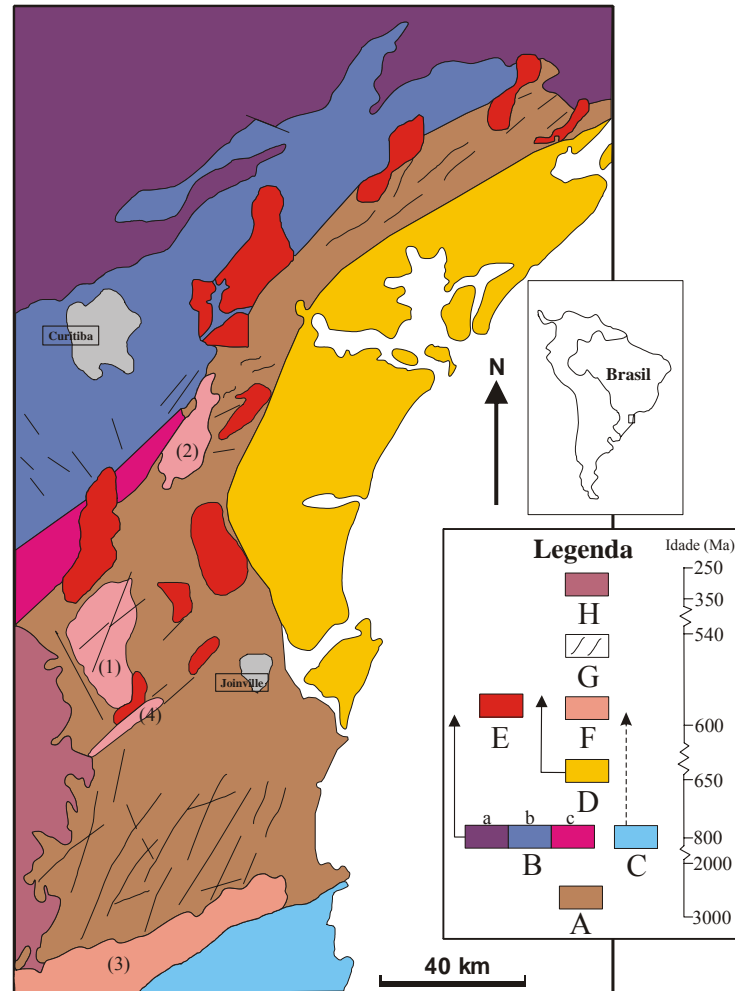


Figura 4.2. Mapa geotectônico simplificado da região da Serra do Mar e arredores: A- Cráton Luís Alves; B- Cinturão Ribeira (a- rochas metassedimentares polideformadas associadas com as intrusões granitóides relacionadas aos arcos magmáticos Cunhaporanga e Três córregos; b- rochas gnáissicas-migmatíticas do embasamento rejuvenescido; c- Granitóides cálcio-alcalinos deformados da zona transcorrente de Piên); C- Cinturão Don Feliciano; D- Cinturão Paranaguá; E- Maciços Graníticos; F- Seqüências vulcano-sedimentares; G- Diques Félsicos; H- Cobertura sedimentar paleozóica da Bacia do Paraná. As seqüências vulcano-sedimentares preenchem as Bacias de Campo Alegre (1), Guaratubinha (2) e Itajaí (3), bem como o Gráben de Corupá (4). As coberturas quaternárias não foram representadas. Modificado de Kaul (2000).

4.3 Contexto geológico regional

Nesse item serão abordados os principais domínios presentes na região enfocada, obviamente com certa ênfase nas rochas graníticas da Suíte Intrusiva Serra do Mar, em virtude do Granito Desemborque tomar parte desse contexto.

4.3.1 Domínio Costeiro

No âmbito regional, o Domínio Costeiro, é composto por rochas supracrustais de baixo grau metamórfico, denominadas de Formação Capiru e Seqüência Cachoeira, esta

última interpretada como provável *greenstone belt* de idade Arqueana. Ocorrem ainda rochas supracrustais metamorfasadas em condições de P e T mais elevada, localmente migmatizadas que compõem os Complexos Turvo-Cajati, Costeiro, Gnáissico-Migmatítico, Serra Negra e a Formação Setuva.

Todas estas unidades estão posicionadas exclusivamente a sul da Zona de Cisalhamento Cubatão-Lancinha, através da qual, o domínio em pauta é separado do Domínio Ribeira.

4.3.2 Domínio Ribeira

O Cinturão Ribeira localizado a norte da Zona de Cisalhamento Cubatão-Lancinha, compreende rochas metavulcano-sedimentares de baixo grau metamórfico, agrupadas dentro do Grupo Açungui (Marini *et al.* 1967) e rochas de mesma natureza metamorfasadas na fácies xisto verde a anfíbolito alto, localmente anatóticas, denominadas de Sequência Perau, Formação Água Clara e Complexo Embu (Piekarz 1981, Marini *et al.* 1967, Hasui *et al.* 1975). Estas associações são cortadas por suítes graníticas de composição cálcio-alcálica. Estruturalmente, este domínio é caracterizado por um complexo arranjo de zonas de cisalhamento anastomosadas, de movimento dextral e caráter transpressivo, com suposta idade Brasileira/Pan-Africana, segundo Vasconcelos *et al.* (1999).

4.3.3 Suíte Intrusiva Serra do Mar

Kaul *et al.* (1984) agrupam, na área de ocorrência dos terrenos proterozóicos (Domínio Costeiro) situados ao sul de São Paulo, Paraná e parte de Santa Catarina, uma série de *stocks* e batólitos granitóides em um conjunto denominado de Suíte Intrusiva Serra do Mar.

O corpo estudado foi originalmente designado por Cordani *et al.* (1971) de Complexo Granítico Guaraú. Posteriormente, Mortegal *et al.* (1975) foram os primeiros autores a fazer referência ao termo Maciço Granítico Guaraú, considerando-o um corpo granítico único.

Oliveira *et al.* (1987) mantiveram essa última denominação e subdividiram esse corpo em duas unidades faciológicas representadas por um biotita sienogranito, de cor cinza clara, situado na parte norte do maciço (Unidade Desemborque) e um biotita álcali-feldspato granito, de cor rósea, localizado na parte central e sul (Unidade Azeite). O corpo granítico tem aproximadamente 115 km² de área aflorante, forma alongada e irregular e apresenta-se disposto segundo a direção NE-SW.

Essa mesma subdivisão proposta por Oliveira *et al.* (1987) continuou a ser adotada nos trabalhos apresentados posteriormente (Kaul 1997 e Vasconcelos *et al.* 1999).

Na presente dissertação indica-se que a formação do Maciço Granítico Guaraú se deu em dois pulsos magmáticos distintos sendo a Unidade Desemborque tratada a parte e denominada de Granito Desemborque. O que levou a isso foram as marcantes diferenças encontradas entre a Unidade Desemborque em relação à Unidade Azeite. Dentre os fatores que levaram a esse desmembramento pode-se citar: as diferenças expressivas nas assinaturas aerogamaespectrométricas, nas conspícuas mineralizações em metais raros presentes no Granito Desemborque, nas diferentes condições do estado de oxidação desses dois corpos (Desemborque, reduzido e Azeite oxidado), nos alinhamentos fisiográficos distintos das serras esculpidas nas duas unidades demonstrando um padrão estrutural diferenciado e nos padrões de drenagem desiguais.

Kaul (1997) destaca que o palco do magmatismo Serra do Mar foi o Cráton Luís Alves, representado por maciços graníticos, diques félsicos e derrames vulcânicos principalmente ácidos. Esse cráton foi uma das microplacas submetidas à aglutinação que deram origem ao Supercontinente Gondwana.

Os maciços graníticos da Serra do Mar consistem em dezesseis corpos intrusivos cujas dimensões variam desde corpos batolíticos, com área ao redor de 300-250 km², até pequenos *stocks* com poucos quilômetros quadrados de área. A maior parte desses maciços, entretanto, apresenta áreas da ordem de 35-70 km². Segundo Kaul (1997) as formas com que se apresentam são diversificadas podendo ser ovóide, circular, retangular, triangular, bumerangue e irregular, esta alongada segundo a direção geral NE-SW (Tabela 4.1 e Fig. 4.3).

Tabela 4.1. Localização, área e forma aproximada dos Maciços Graníticos da Serra do Mar (Modificado de Kaul 1997).

Maciço	Localização	Área aproximada (Km ²)	Forma aproximada
	Município(s)/Estado(s)		
Agudos	Mandirubinha/PR Agudos do Sul/PR Tijucas do Sul/PR	300	Irregular, alongada NE-SW
Morro Redondo	Tijucas do Sul/PR Guaratuba/PR Garuva/PR Campo Alegre/PR	250	Retangular
Anhangava	Quatro Barras/PR Piraquara/PR	55	Ovóide
Graciosa	Bocaiúva do Sul/PR Campina Grande do Sul/PR Antonina/PR Morretes/PR Quatro Barras/PR	220	Bumerangue
Marumbi	Morretes/PR Piraquara/PR	70	Triangular
Mandira	Cananéia/SP	35	Retangular
Guaraú	Jacupiranga/SP	100	Irregular, alongada NE-SW
Corupá	Corupá/SC Jaguará do Sul/SC	50	Bumerangue
Alto Turvo	Barra do Turvo/SP Guaraqueçaba/PR	120	Irregular, alongada NE-SW
Dona Francisca	Joinville/SC	70	Circular
Pirai	Joinville/SC	45	Irregular, alongada NE-SW
Serra Alta	São Bento do Sul/SC	3	Ovóide (?)
Serra da Igreja	Morretes/PR Guaratuba/PR	60	Irregular, alongada NE-SW

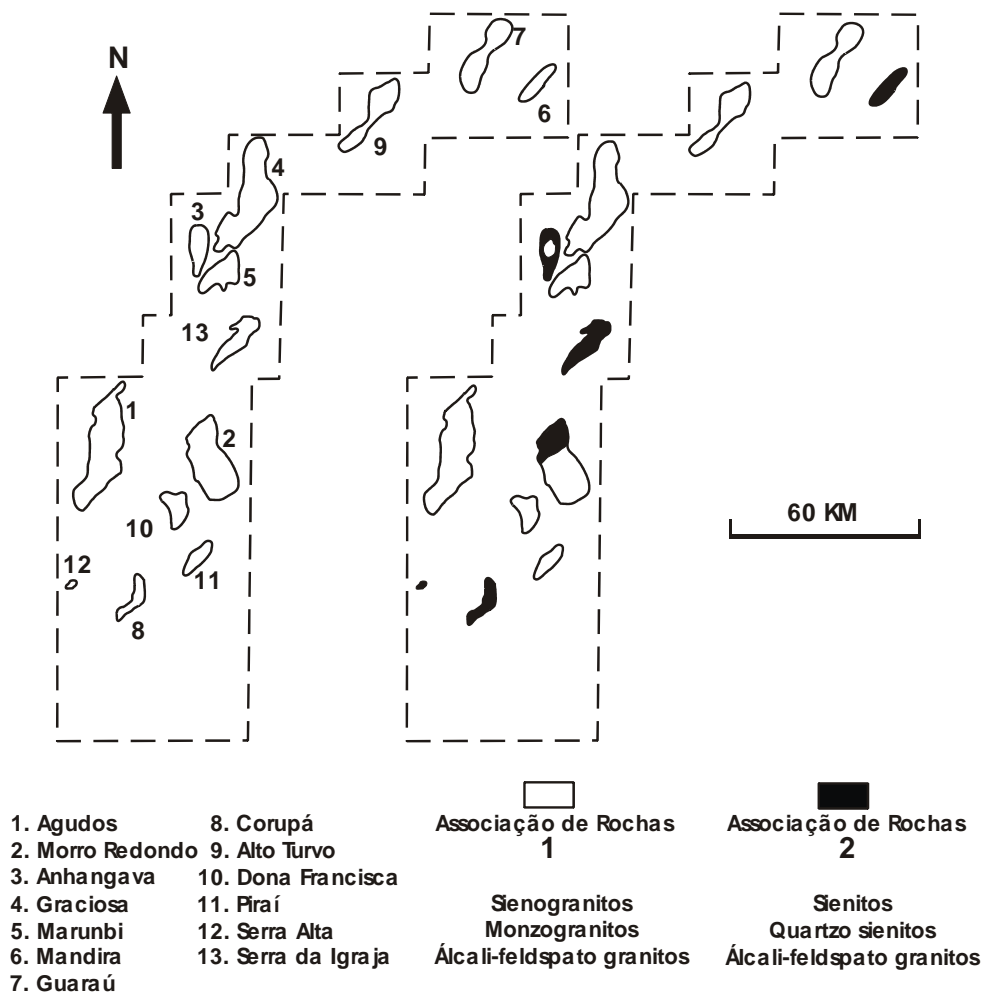


Figura 4.3. Maciços graníticos da Serra do Mar com o magmatismo sofrido e o tipo de rocha que compõem cada um deles.

As denominações desses maciços têm por base a toponímia das regiões onde ocorrem: Agudos do Sul, Morro Redondo, Anhangava, Graciosa, Marumbi, Mandira, Guaraú, Corupá, Alto Turvo, Dona Francisca, Piraí, Serra Alta, Serra da Igreja, Serra do Paratiú, Subida e Ilha do Cardoso.

Kaul *et al.* (1984) plotaram um total de vinte e quatro amostras de rochas derivadas desses maciços no gráfico de Ishihara *et al.* (1979). Destas, onze caíram no campo da Série Magnetita, ou seja, no campo dos granitóides especializados em sulfetos de Cu, Pb e Zn e treze no campo da Série Ilmenita, ou seja, no campo dos granitóides especializados em estanho (Figura 4.4). Kaul *et al.* (1984) concluíram que entre os granitos mais favoráveis a tais mineralizações, desponta o Mandira, seguido do Serra do Paratiú, Guaraú e Corupá.

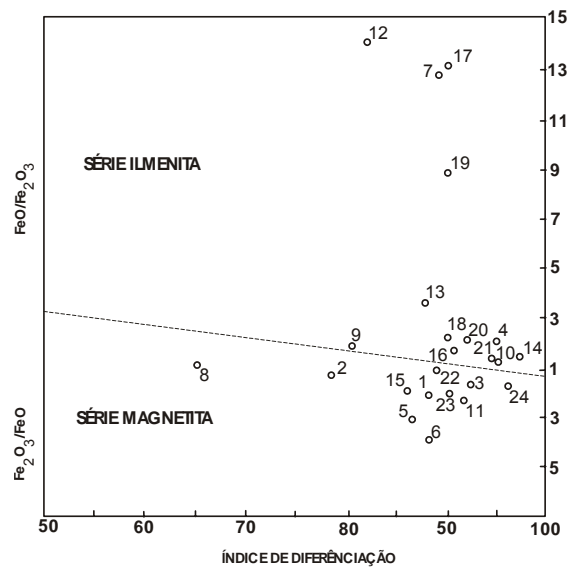


Figura 4.4. Diagrama da razão $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ versus ID (Ishihara *et al.* 1979). Granitos: Agudos= 1,2; Alto Turvo= 3,4; Corupá= 5,6,7,8,9,10; Dona Francisca= 11; Graciosa= 12,13; Guaraú= 14,15; Mandira= 16, 17; Morro Redondo= 18, 19, 20, 21; Piraí= 22; Serra Alta= 23; Serra da Igreja= 24. Adaptado de Kaul *et al.* 1984.

Em linhas gerais o magmatismo granítico da Serra do Mar representa uma transição de um magmatismo monzonítico cálcio-alkalino (orogênico tardio) para um magmatismo alcalino (anorogênico do tipo-A) (Kaul 2000). O magmatismo monzonítico cálcio-alkalino é composto por sienogranitos, monzogranitos e álcali-feldspato granitos. Já o magmatismo alcalino é, por sua vez, constituídos por sienitos, quartzo-sienitos e álcali-feldspato granitos (Vide Fig. 4.3).

As datações geocronológicas encontradas para os maciços graníticos da Suíte Intrusiva Serra do Mar são escassas (cerca de 170 determinações) e foram obtidas por diferentes métodos: Rb-Sr, K-Ar, Sm-Nd e U-Pb.

As datações mais precisas (método U-Pb) que se tem de granitos dessa suíte foram em cristais de zircão do Maciço Serra do Paratiú, que forneceram uma idade intercepto superior de 582 ± 4 Ma, interpretada como época mais provável de cristalização desta rocha (Passarelli 2001). Nesse mesmo maciço, Passarelli (2001) utilizando o método K-Ar em biotita, obteve a idade de 505 ± 16 Ma, cerca de 80 Ma mais jovem do que a idade U-Pb e que representa a idade na qual a temperatura de resfriamento da biotita é atingida.

Na tabela 4.2 apresenta-se uma síntese dos dados relevantes obtidos ou relatados por Siga Jr (1995), referentes aos métodos U-Pb em cristais de zircão, K-Ar em anfibólios ou

biotita e Sm-Nd (idades modelo T_{DM}) em rocha total. Valores de ϵ_{Nd} negativos indicam uma forte contaminação crustal na geração destes corpos graníticos.

O Maciço Granítico Guaraú, particularmente, dispõe de poucos (cinco idades) dados geocronológicos. As idades K-Ar estabelecidas a partir de biotitas deram cerca de 390 ± 15 Ma (Cordani & Bittencourt 1967) e 434 ± 20 Ma (Campagnoli 1996). Pelo método Rb-Sr, em rocha total, a idade estabelecida foi de 540 ± 40 Ma (Cordani & Kawashita 1971). Já as datações Rb-Sr a partir de isócronas de referências que incluem amostras dos granitos Guaraú e Mandira apontam idades de 506 e 540Ma (Kaul *et al.* 1984) e 558 Ma (Kaul 1997).

De modo geral, as idades (U-Pb) indica para os granitos da Serra do Mar uma idade U-Pb em zircão entre 580-594 Ma e idade modelo T_{DM} entre 1850-2100 Ma (Passarelli 2004)

Tabela 4.2. Determinações radiométricas K-Ar, U-Pb e Sm-Nd nas rochas graníticas da Suíte Intrusiva Serra do Mar (para localização das amostras vide Siga Jr, 1995).

Maciço	K-Ar			U-Pb (Zircão, intersepto superior)		Sm-Nd (Rocha Total)		
	AMOSTRA	MINERAL	IDADE (Ma)	AMOSTRA	IDADE (Ma)	AMOSTRA	ϵ Nd(580)	TDM (Ma)
Agudos	MJ-17	ANF	585 ± 24	Mj-132	594 ± 26	Mj-132	-12,69	2085
	MJ-17	BIO	541 ± 28					
Morro Redondo	MJ-441A	ANF	565 ± 20	Mj-659	589 ± 37	Mj-275B	-7,38	1978
Anhangava	MJ-288B	BIO	549 ± 17	-----	-----	Mj-291C	-7,5	1852
Graciosa	MJ-292C	BIO	587 ± 11	Mj-640	594 ± 64	-----	-----	-----
	MJ-640	BIO	569 ± 11					
	MJ-300	BIO	519 ± 13					
Corupá	MJ-166	ANF	533 ± 21	MJ-163D	580 ± 6	MJ-163A	-12,2	1942
	PK-CW-61	ANF	523 ± 20					
Serra da Igreja	MJ-405C	ANF	598 ± 27	-----	-----	-----	-----	-----
	MJ-405C	BIO	594 ± 26					
Marumbi	MO-133	ANF	577 ± 36	-----	-----	-----	-----	-----
	MO-56E	BIO	564 ± 29					
	MO-161	BIO	496 ± 35					
Alto Tuvo	3/2016	BIO	630 ± 20	-----	-----	-----	-----	-----

5. GEOLOGIA E GEOQUÍMICA DO GRANITO DESEMBORQUE

5.1 Geologia do Granito Desemborque

Toda área de exposição do plúton apresenta intensa cobertura vegetal (mata Atlântica) e relevos íngremes e escarpados, onde há a exposição de rocha nua, de modo que o acesso ao interior do corpo torna-se extremamente difícil. As melhores exposições do granito são encontradas na porção nordeste e na vertente leste do plúton, ocorrendo sob forma de matacões, lajedos e diversas pedreiras ativas e/ou abandonadas. A intensa cobertura e as exposições, citadas acima, podem ser vistas claramente em uma composição de pseudocores (RGB) das bandas do espectro visível do sensor ASTER da área de estudo (Fig 6.1).

Com relação à aerogamaespectrometria, no mapa apresentado por Vasconcelos *et al.* (1999) observa-se que a distribuição das assinaturas radiométricas do maciço não são homogêneas. O Granito Desemborque, a norte, apresenta teores de tório mais elevados (< 16 ppm) enquanto os domínios centrais e sul do maciço (representados pela Unidade Azeite) apresentam-se com teores médios de tório entre 9-16 ppm.

A anomalia radiométrica, aliás, contraria o traçado do contato entre as duas unidades, conforme estabelecido por Oliveira *et al.* (1987) e Vasconcelos *et al.* (1999), pois, permite vislumbrar um formato circular para o Granito Desemborque (Fig. 5.1) em contraste com a Unidade Azeite, que apresenta disposição mais alongada, como que condicionada estruturalmente.

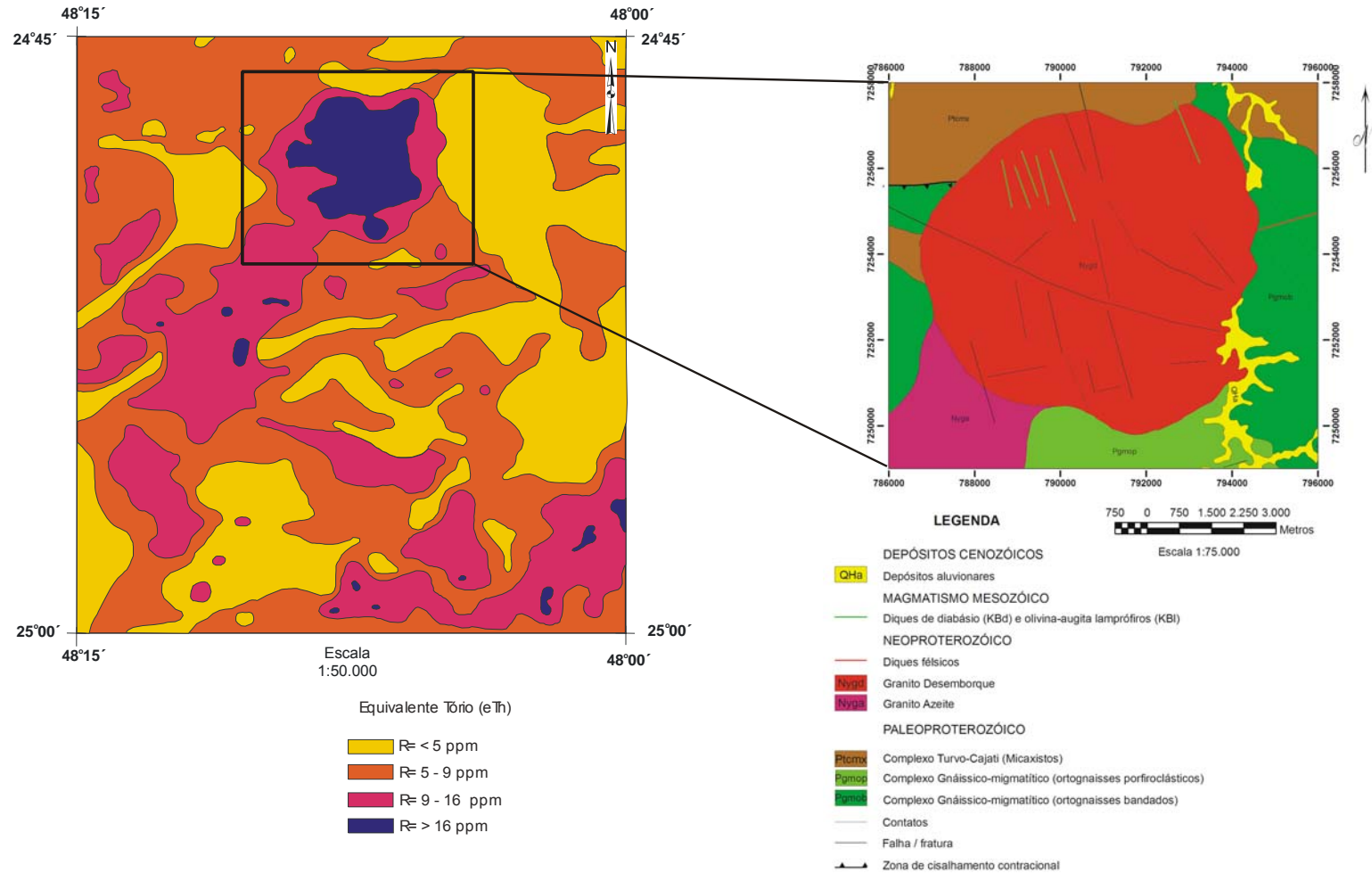


Figura 5.1. Mapa de equivalente em tório da Folha Rio Guarau (modificado de Vasconcelos *et al.* 1999).

5.1.1 Aspectos de Gerais e de Campo

O Granito Desembarque encontra-se inserido integralmente na Folha Rio Guaraú, na escala 1:50.000, possuindo uma área aflorante de aproximadamente 50 km² (Fig 6.2). De um modo geral suas rochas são hololeucocráticas (< 5% M), de cor cinza clara, de granulometria, de média a fina (Williams *et al.* 1970) e equigranulares, com a presença de grãos maiores de quartzo de forma localizada. Quando alterada, apresenta coloração esbranquiçada. Por vezes, apresenta-se em tons mais amarelados e amarronzados claros, produto da alteração dos minerais máficos contidos - e do grau de concentração destes - na rocha. O solo resultante de sua alteração é geralmente areno-argiloso apresentando coloração igual ao da rocha alterada descrita acima.

Segundo Vasconcelos *et al.* (1999) diques de riolito são comuns no maciço e cortam tanto o granito quanto as rochas encaixantes. Possuem direções predominantes NW-N e têm, geralmente, espessura métrica. Diversos sistemas de fraturas/falhas, também com direções NW-N, estão presentes no plúton. Apesar de não ter observado esses diques durante os trabalhos de campo realizados, cristais de quartzo bipiramidal, indicativo da presença de rochas ácidas vulcânicas/subvulcânicas foram determinados em algumas das amostras de concentrados de bateia.

Próximo a vertente oeste do plúton (ponto RG-06-15), dentro da Unidade de Ortognaisses bandados do Complexo Gnáissico-Migmatítico, ocorre um dique de granito de quinze centímetros de espessura (Fotografia 1) cortando xistos ultramáficos.

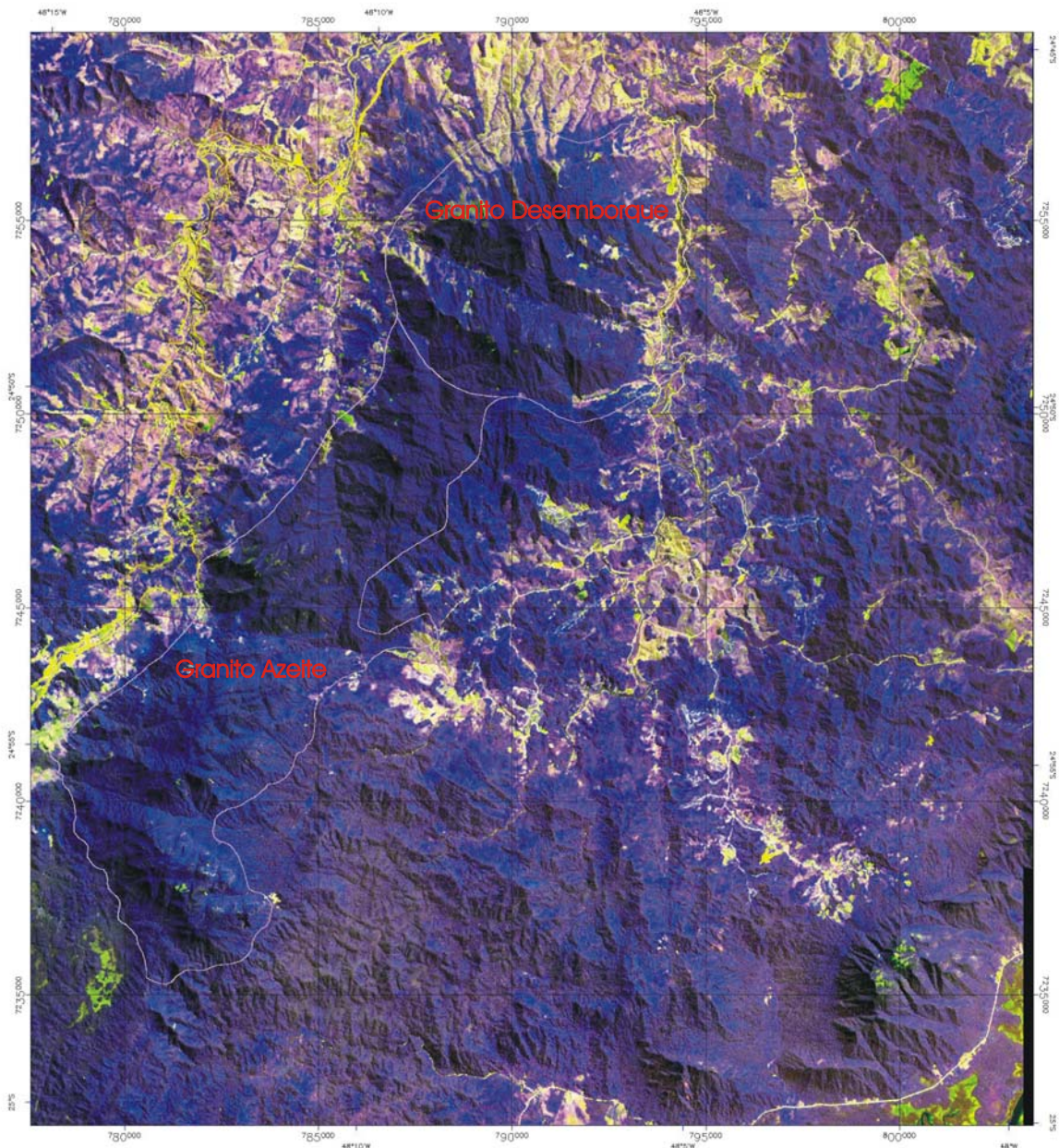


Figura 5.2. Imagem em pseudocores (RGB) das bandas do espectro visível do sensor ASTER com sobreposição dos Granitos Azeite e Desembarque.

A ocorrência de veios de quartzo é restrita à vertente oeste do plúton (ponto RG-06-07). Embora grandes blocos de quartzo leitoso sejam encontrados na estrada que margeia o rio Azeite e que leva ao sítio Élson, os poucos veios encontrados (ponto RG-06-07) possuem no máximo cinco centímetros de espessura (Fotografia 2). Já na vertente leste, foram encontrados alguns corpos pegmatíticos (pontos RG-06-02 e RG-06-05) finos (máximo de três centímetros de espessura) (Fotografias 3 e 4). Tanto os veios de quartzo, quanto os diques pegmatíticos foram observados em blocos cortados para aproveitamento da rocha como pedra de cantaria.

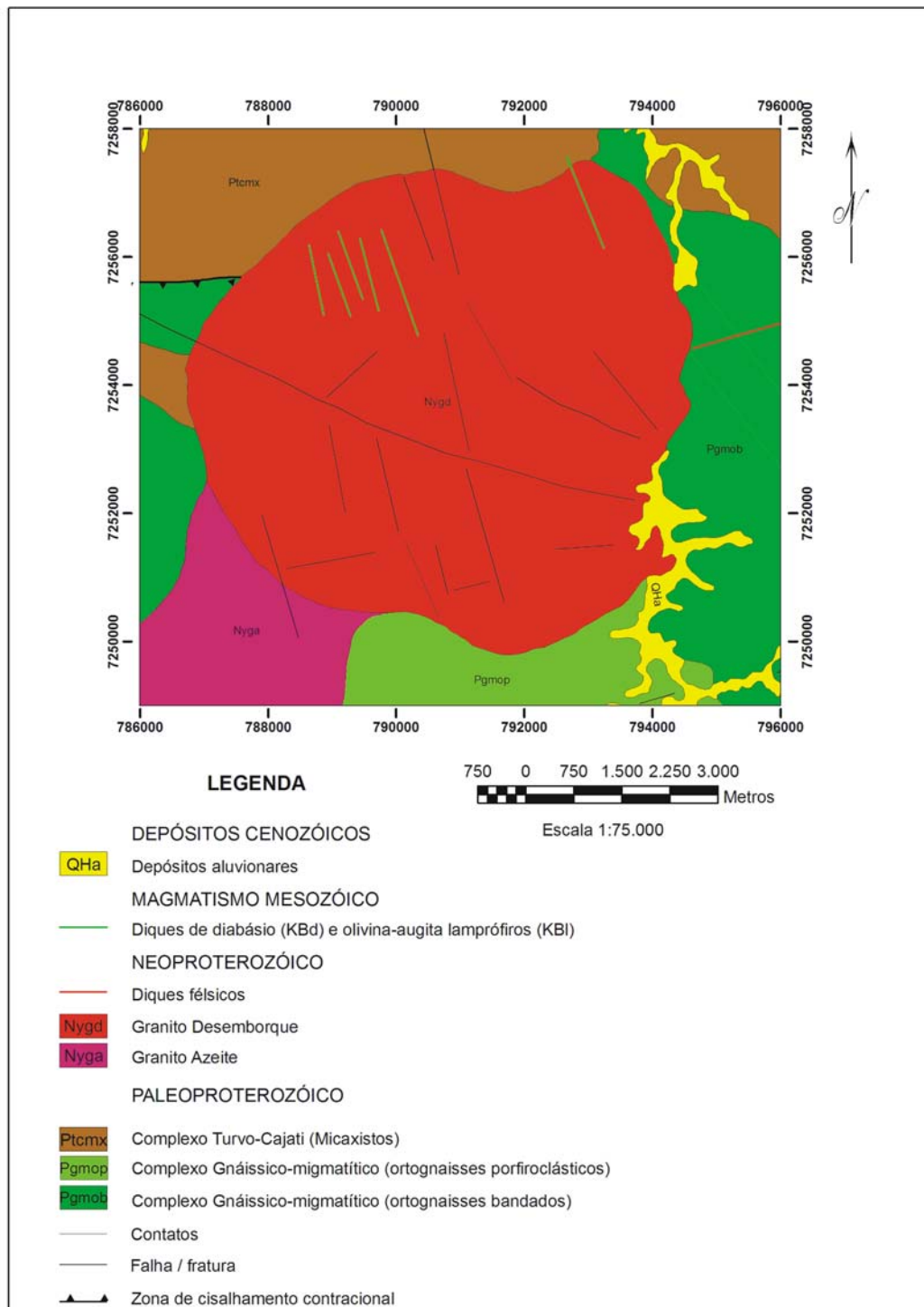
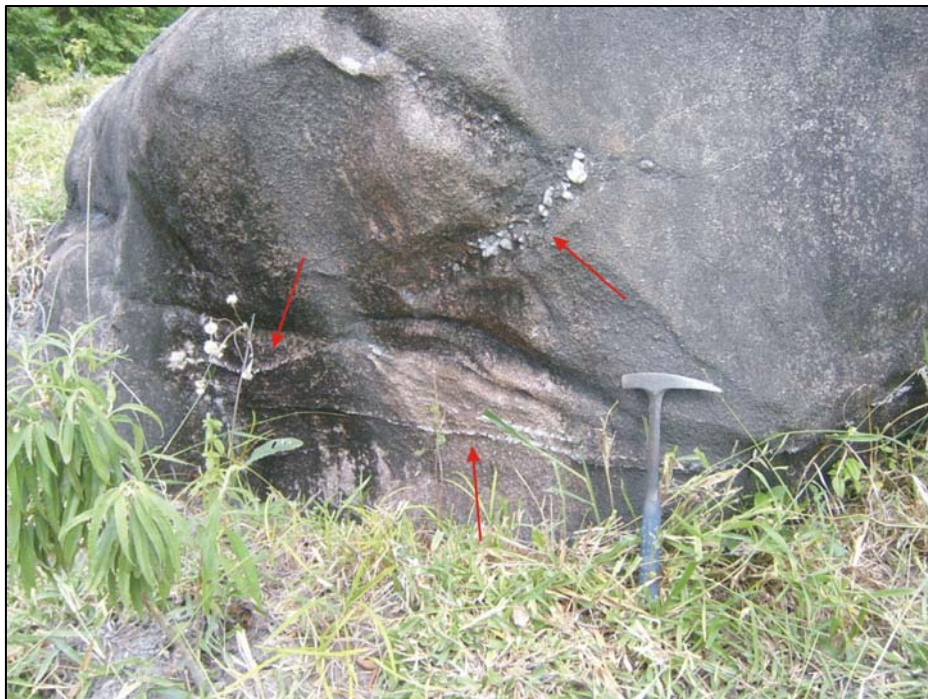


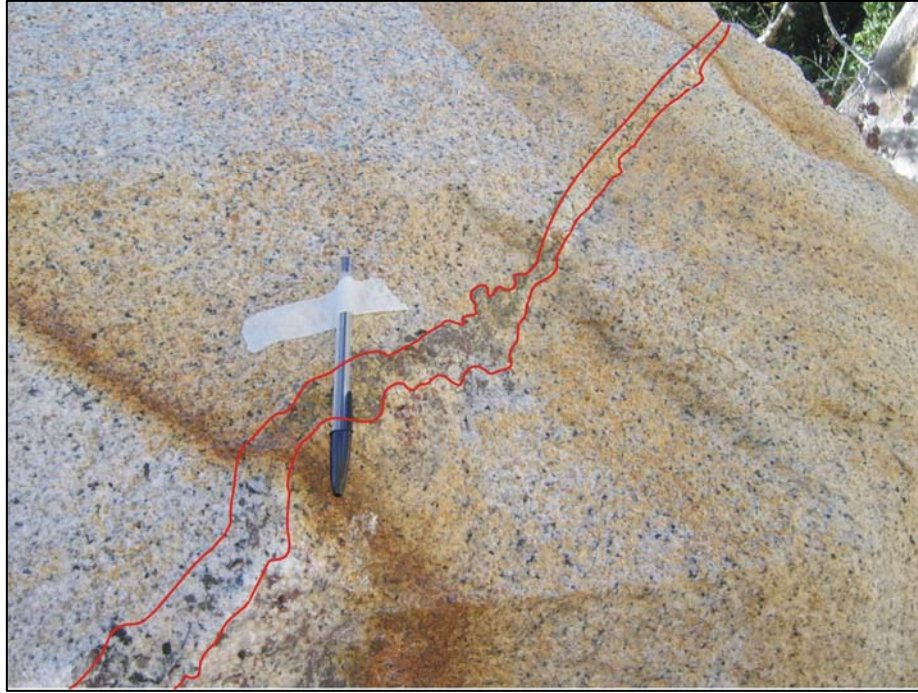
Figura 5.3. Mapa geológico simplificado da área de entorno do Granito Desemborque, modificado de Vasconcelos *et al.* (1999).



Fotografia 1. Dique de granito (Granito Desemborque) cortando xisto ultramáfico do Complexo Gnáissico-Migmatítico, ponto RG-06-15.



Fotografia 2. Veios de quartzo em matação do Granito Desemborque situado na vertente oeste do corpo, ponto RG-06-07.



Fotografia 3. Pegmatito com espessura centimétrica encaixado no Granito Desemborque localizado na vertente leste do corpo, ponto RG-06-05.



Fotografia 4. Detalhe do pegmatito do Granito Desemborque localizado na vertente leste do corpo, ponto RG-06-05.

De acordo com Vasconcelos *et al.* (1999), diques e pequenos *sills* de diabásio e olivina-augita lamprófiro distribuem-se na porção norte da Folha Rio Guaraú. O diabásio corresponde a uma rocha de coloração preta a cinza-escura, de granulação fina a média. No ponto RG-06-01 observou-se um dique de olivina-augita lamprófiro subvertical, com direção aproximada NNW-SSE de 1,5 m de espessura cortando o granito. Este possui coloração esverdeada a cinza-escura e textura porfirítica, destacando fenocristais de augita, olivina e flogopita em matriz afanítica a fanerítica fina, caracterizando a textura lamprofírica.

Em poucos afloramentos o granito deixou de ter aspecto maciço, para ter aspecto foliado. No ponto RG-06-12 esta foliação é bem marcante sendo gerada principalmente pela orientação preferencial das plaquetas de biotita. Juntamente com a foliação ocorre no mesmo ponto veios de quartzo com aproximadamente cinco milímetros de espessura (Fotografia 5). Essa foliação é que determina a forma tabular dos matacões conforme pode ser observado no ponto RG-06-07 (Fotografia 6).

Todos os afloramentos em que o granito apresentou aspecto foliado encontram-se nas bordas do Granito Desemborque, nas proximidades do contato com a rocha encaixante. Em função disso, essa feição foi interpretada como sendo de origem tectônica, gerada durante o *emplacement* do corpo.

Não se observou, no Granito Desemborque, a presença de xenólitos das rochas encaixantes. Contudo, no ponto RG-06-05, há uma pequena concentração de minerais com granulação distinta do Granito Desemborque, provavelmente autólito digerido (?), com 30 cm de tamanho (Fotografias 7 e 8).

Vasconcelos *et al.* (1999) não cartografaram os depósitos coluvionares de talús na área de entorno do Granito Desemborque, apesar de, em campo verificar-se a existência de grandes áreas cobertas por estes depósitos. Entre estas, destaca-se o campo de matacões da vertente oeste RG-06-14 (Fotografia 9).



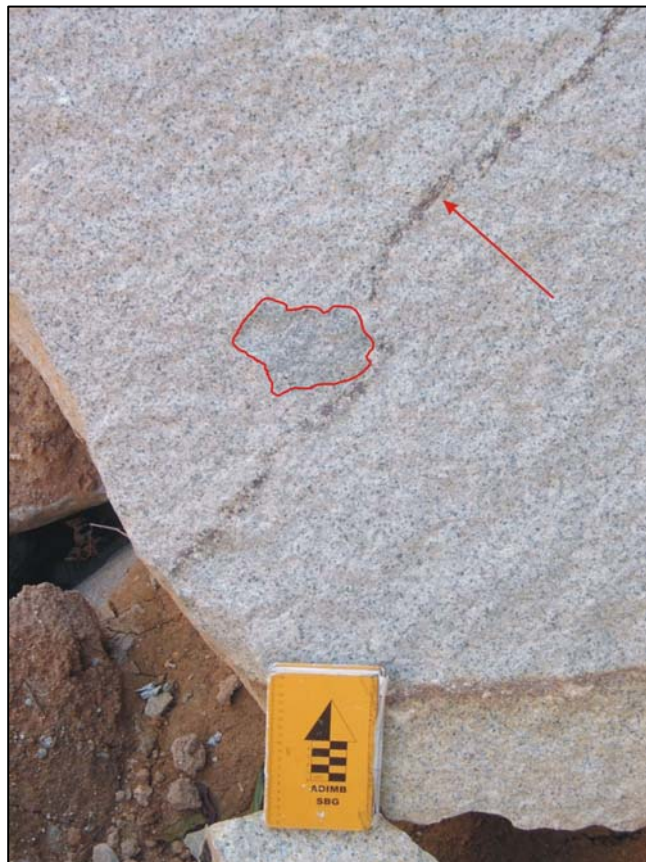
Fotografia 5. Veio de quartzo com aproximadamente 5mm de espessura, localizada na vertente leste do corpo, ponto RG-06-12.



Fotografia 6. Matação do granito desembrorque com forma tabular localizado na vertente oeste do plúton, ponto RG-06-07.



Fotografia 7. Concentração de minerais com granulação distinta do Granito Desemborque, provavelmente autólito digerido (?), ponto RG-06-05.



Fotografia 8. Concentração de minerais com granulação distinta do Granito Desemborque, provavelmente autólito digerido (?) e pegmatito, ponto RG-06-05.



Fotografia 9. Campo de matação do Granito Desemborque na vertente oeste do corpo, ponto RG-06-14.

5.1.2 Caracterização Petrográfica

Segundo Oliveira *et al.* (1987), o granito que constitui o Granito Desemborque corresponde a um granito 3a (sienogranito), de acordo com a classificação baseada no diagrama QAP de Streckeisen (1976) (Fig. 6.3). Petrograficamente as rochas do Granito Desemborque exibem, ao microscópio, textura equigranular hipidiomórfica a xenomórfica caracterizada pelo arranjo de cristais milimétricos de feldspatos, normalmente subédricos a tabulares, e cristais de quartzo submilimétricos, subeuédricos e arredondados (mais desenvolvidos) ou anédricos intersticiais. Outra textura encontrada localmente é a textura granofírica, caracterizada pelo intercrescimento gráfico entre quartzo e feldspato.

Mineralogicamente são compostas essencialmente por ortoclásio perítico, quartzo e plagioclásio. São leucogranitos típicos, pois o teor de máficos é inferior a 5%. Em quantidades bastante subordinadas ocorrem: biotita verde a parda, possivelmente flúor-titanífera (zinwaldita?), moscovita, zircão, fluorita e minerais opacos.

Em alguns locais (*e.g.*, na borda oeste) há um enriquecimento acentuado em biotita titanífera que faz com que se considere a possibilidade da presença de uma fácies específica do granito. No ponto RG-06-12 a biotita titanífera apresenta tamanho de até 3 mm (Fotografia 10 e Figura 6.4 da biotita com análise).

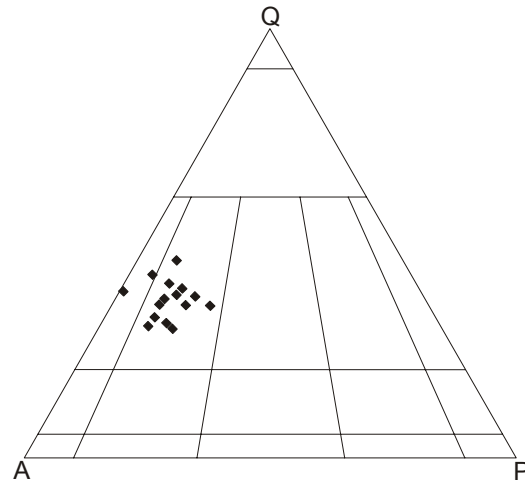


Figura 5.4. Diagrama QAP (Q-quartzo; A-alcalifeldspato; P-plagioclásio com An>5) das rochas do Granito Desembarque.



Fotografia 10. Granito enriquecido em biotita titanífera, ponto RG-06-12.

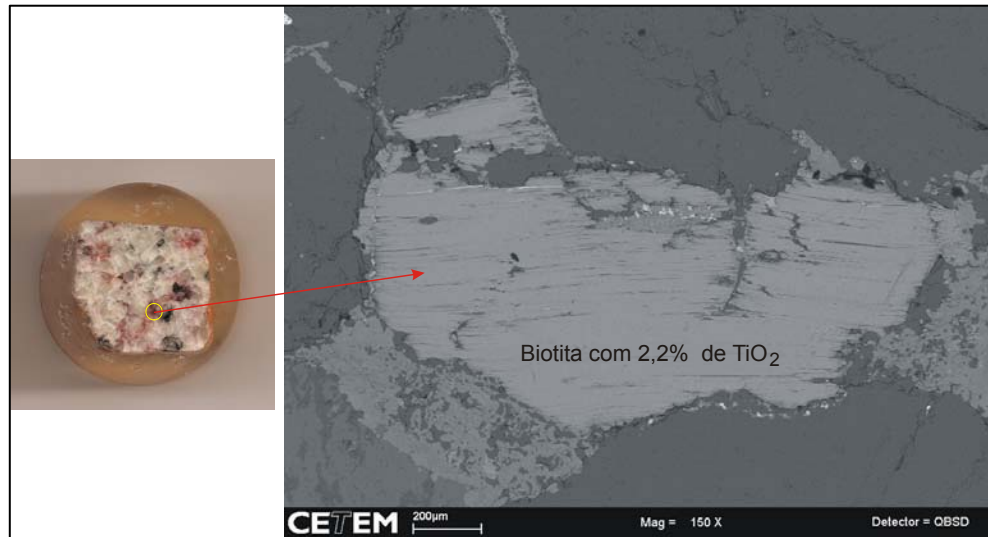


Figura 5.5. Seção polida do ponto RG-06-12 com análise em MEV-EDS de biotita titanífera.

Há evidências, dadas pelos grãos de quartzo e feldspato que mostram bordos crenulados e extinção ondulante, de que processos deformacionais pouco intensos atuaram sobre o corpo granítico.

5.1.3 Alterações

As rochas do Granito Desemborque foram afetadas de forma incipiente por metassomatismo sódico e por greisenização (Oliveira *et al.* 1987). Os greisens, no geral, apresentam granulação milimétrica a submilimétrica, tons acinzentados e são constituídos por quartzo, biotita verde e castanha, moscovita verde clara e branca, com zircão, fluorita, topázio, esfalerita e cassiterita como os principais minerais acessórios (Oliveira *et al.* 1987).

Além desses processos, os estudos mineralógicos em amostras de concentrados de bateia, de córregos que cortam exclusivamente o granito, permitiram inferir, através da identificação de cristais de magnetita transformados em martita, que na borda leste do corpo houve a atuação de um outro processo de alteração hidrotermal e que corresponde a hematitização.

5.2 Geoquímica do Granito Desemborque

As treze análises químicas de rocha total selecionadas do Granito Desemborque (quatro delas dosadas para elementos terras raras) podem ser observadas na tabela 5.1.

A classificação química das rochas indica que as amostras do Granito Desemborque apresentam uma pequena variação composicional. Os dados apontam que estas são ácidas, com variação nos teores de SiO_2 de 75,4% a 78,3%. Tal homogeneidade na composição é também evidenciada pelas concentrações dos demais elementos maiores. O seu caráter é levemente peraluminoso (figura 5.6). Os teores significativos de K_2O e Na_2O juntamente com o baixo conteúdo de CaO , altas razões Fe/Mg e altos conteúdos de elementos traços como Nb e Y atestam a afinidade alcalina do granito estudado, que pode, desta maneira, ser classificado como sendo tipo A (Whalen *et al.* 1987).

A figura 5.7 apresenta diagramas de variação para alguns dos elementos analisados. O $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{t}$ foi escolhido como índice de diferenciação por propiciar melhor distribuição das amostras nos gráficos. Elementos traços importantes na evolução de magmas de tendência alcalina, tais como Zr, Y, Nb e Rb, têm suas variações de concentração realçadas, mas somente o Rb e Zr apontam uma clara correlação com o $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{t}$, aumentando seus teores com a diminuição deste último.

Tabela 5.1. Análises químicas de elementos maiores (% em peso) e elementos traços (incluindo ETR), em ppm, para amostras do Granito Desemborque.

	12A	12B	GD01	GD02	JAC20A	JAC20B	RG-06-02	RG-06-04	RG-06-05D	RG-06-07	RG-06-08	RG-06-12A	RG-06-13
SiO₂	76,17	76,25	77,15	76,96	78,27	76,84	76,45	77,24	76,50	77,90	77,16	77,10	76,12
TiO₂	0,04	0,04	0,01	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,07	0,06	0,04	0,04
Al₂O₃	12,74	12,65	13,17	12,90	12,55	12,54	13,14	12,71	12,95	12,46	12,17	12,94	13,12
Fe₂O_{3t}	1,35	1,54	1,39	1,44	1,34	1,22	1,06	1,00	1,30	1,10	1,27	0,72	1,05
MnO	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
MgO	ld	ld	ld	ld	ld	ld	ld	ld	ld	ld	ld	ld	ld
CaO	0,43	0,45	0,41	0,39	0,29	0,37	0,41	0,07	0,49	0,03	0,30	0,45	0,46
Na₂O	4,13	4,24	4,27	4,09	4,06	4,28	4,24	4,08	4,25	4,09	4,12	4,12	4,29
K₂O	4,44	4,46	4,38	4,58	4,46	4,50	4,63	4,49	4,47	4,30	4,35	4,67	4,70
P₂O₅	ld	ld	0,01	ld	ld	ld	ld	ld	ld	ld	ld	ld	ld
LOI	0,42	0,50	0,25	0,32	0,22	0,38	0,73	0,60	0,56	0,50	0,64	0,65	0,60
Total	99,75	100,16	101,07	100,74	101,25	100,19	100,73	100,26	100,61	100,48	100,10	100,71	100,40
Rb	434	391	416	403	318	323	520	496	479	357	392	432	447
Ba	290	298	321	276	299	315	278	255	285	277	282	269	248
Sr	ld	ld	ld	ld	ld	ld	ld	ld	ld	ld	ld	ld	ld
Nb	67	62	61	58	55	48	62	66	75	44	66	67	70
Zr	104	104	117	97	130	142	144	174	187	207	240	160	174
Y	186	155	156	139	178	216	206	98	217	70	152	181	214
Ga	21	20	20	20	20	20	28	31	29	31	34	30	33
La	-	-	23,60	21,10	93,60	83,60	-	-	-	-	-	-	-
Ce	-	-	59,90	50,70	106,20	107,10	-	-	-	-	-	-	-
Pr	-	-	7,61	6,32	18,01	17,37	-	-	-	-	-	-	-
Nd	-	-	28,40	24,80	62,20	62,70	-	-	-	-	-	-	-
Sm	-	-	8,80	7,40	15,30	15,90	-	-	-	-	-	-	-
Eu	-	-	0	0	0,14	0,11	-	-	-	-	-	-	-
Gd	-	-	9,78	8,47	14,23	15,72	-	-	-	-	-	-	-
Tb	-	-	2,43	2,01	3,09	3,64	-	-	-	-	-	-	-
Dy	-	-	15,75	13,21	18,33	19,98	-	-	-	-	-	-	-
Ho	-	-	3,52	2,66	3,63	3,83	-	-	-	-	-	-	-
Er	-	-	12,19	9,47	11,54	11,60	-	-	-	-	-	-	-
Tm	-	-	2,06	1,64	1,87	1,90	-	-	-	-	-	-	-
Yb	-	-	14,91	11,17	12,09	11,93	-	-	-	-	-	-	-
Lu	-	-	2,35	1,72	1,77	1,84	-	-	-	-	-	-	-
Total ETR	-	-	191,30	160,67	362,00	357,22	-	-	-	-	-	-	-

ld: teores abaixo do limite de detecção.

Os teores de Y são elevados refletindo a presença de alguma fase acessória como fluoretos de terras raras. A participação desses minerais acessórios na composição modal do granito também é sugerida pelas expressivas concentrações de elementos terras raras particularmente nas amostras JAC20A e JAC20B, nas quais os teores de elementos terras raras leves são bastante altos.

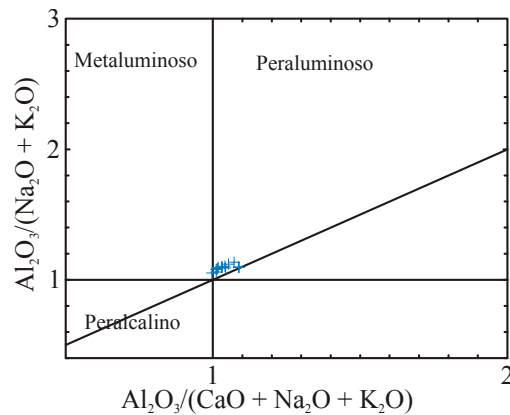


Figura 5.6. Diagrama de Shand para o Granito Desemborque. (+) - amostras do Granito Desemborque. Análises por FRX efetuadas na UFRJ.

Na distribuição de elementos terras raras para o Granito Desemborque se observa um padrão pouco fracionado, quase horizontalizado, com forte anomalia negativa de Eu (Figura 5.8). Esse comportamento sugere um possível controle de fases acessórias como fluoretos de terras raras e zircão na distribuição dos ETR. Pode-se interpretar que, dentro do intervalo composicional considerado, esses minerais acessórios não foram submetidos a fracionamento expressivo e, desta maneira, o teor total de ETR não foi muito modificado. A conspícua anomalia negativa de Eu revela a importância do fracionamento de feldspatos para a geração dessas rochas.

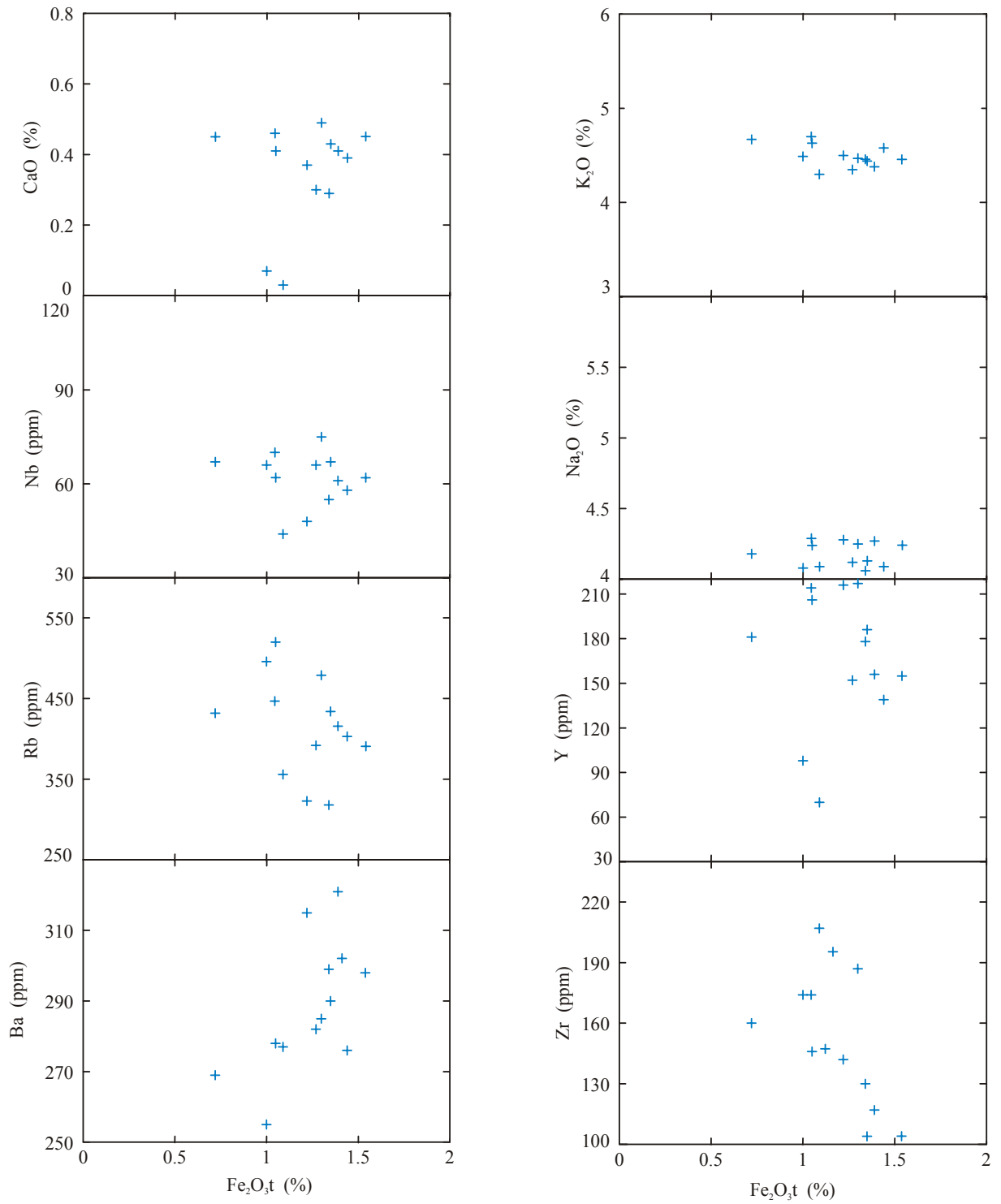


Figura 5.7. Diagramas de variação para as rochas estudadas. Símbolos como na figura 5.6.

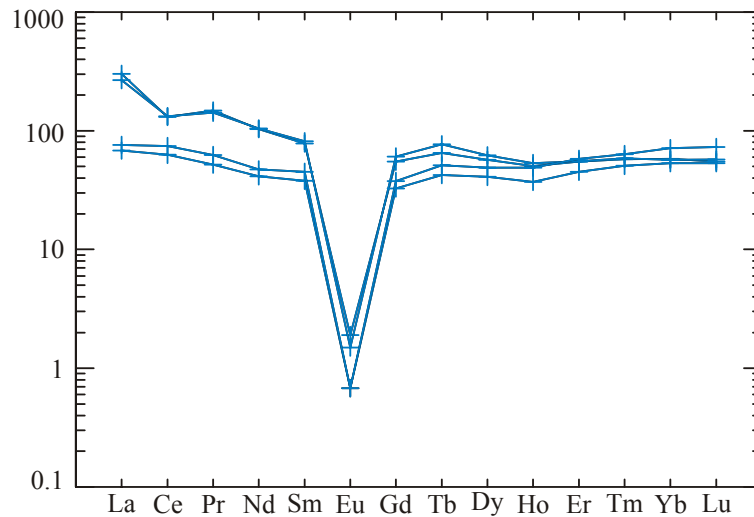


Figura 5.8. Padrão de elementos terras raras para o Granito Desemborque. Valores normalizados pelo condrito de Boynton (1984).

Nos diagramas de discriminação tectônica de Pearce *et al.* (1984), as amostras analisadas se situam preferencialmente no campo dos granitos intraplacas (WPG), o que está coerente com a composição mineralógica do Granito Desemborque (Fig. 5.9).

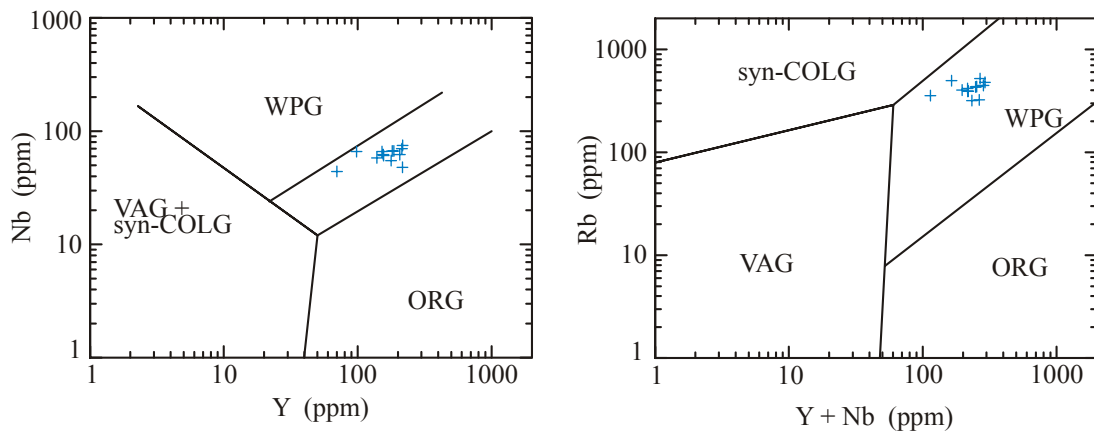


Figura 5.9. Diagramas de discriminação tectônica de Pearce *et al.* (1984) para o Granito Desemborque. Símbolos como na figura 5.6. WPG = granito intraplaca; ORG = granito de cadeia-oceânica; VAG = granito de arco vulcânico; Syn-COLG = granito sin-colisional.

6. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS TRABALHOS DESENVOLVIDOS E RESULTADOS ALCANÇADOS

6.1 Introdução

Este capítulo tem como objetivo principal apresentar os resultados dos trabalhos desenvolvidos na presente dissertação. Para isso estruturou-se o capítulo começando pela parte prospectiva (prospecção mineral) e terminando pelas análises de química mineral em MEV-EDS. Os resultados dessas análises (MEV-EDS) são apresentados de forma individualizada obedecendo ao tipo de mineral (*e.g.* columbita, cassiterita e zircão) seguido da sua origem (*e.g.* columbita proveniente do granito e do pegmatito).

6.2 Prospecção Mineralométrica

No total foram consideradas sessenta e sete amostras, das quais, cinquenta e quatro são concentrados de bateia de leito ativo, onze concentrados de minerais pesados de rocha sã e dois concentrados de minerais pesados de saprólito. Dentre estes, cinquenta e cinco pontos foram aproveitados de campanhas prospectivas dos anos de 2003 e 2005.

Ao término das análises em lupa binocular confeccionaram-se os mapas de distribuição da columbita-tantalita, cassiterita, zircão, fluorita e cromita. Os primeiros foram escolhidos por serem os principais minerais de metais raros presentes na área.

A cromita também foi arrolada em virtude da sua presença constante em toda a área de estudo.

A sùmula dos minerais acessórios, obtida após a lavagem e concentração em bateia de diversas amostras do Granito Desemborque (rocha sã, saprólitos, sedimento de leito ativo), é representada por: magnetita, martita, columbita, zircão hafnífero, zircão, pirita, molibdenita, cassiterita, epídoto, fluorita, anfibólio (tremolita-actinolita), biotita (comum e esverdeada), turmalina, topázio e cromita.

6.2.1 Columbita-tantalita

A columbita-tantalita foi observada em vinte e dois pontos amostrados. Destes, nove representam concentrados de minerais pesados de rocha sã, dez de concentrado de bateia de sedimento de leito ativo e três de concentrados de minerais pesados de saprólito (Fig. 6.1). Esta é geralmente encontrada como cristais prismáticos de cor cinza aço de brilho metálico e tamanho submilimétrico, podendo, entretanto, chegar a até 1,3 mm de comprimento.

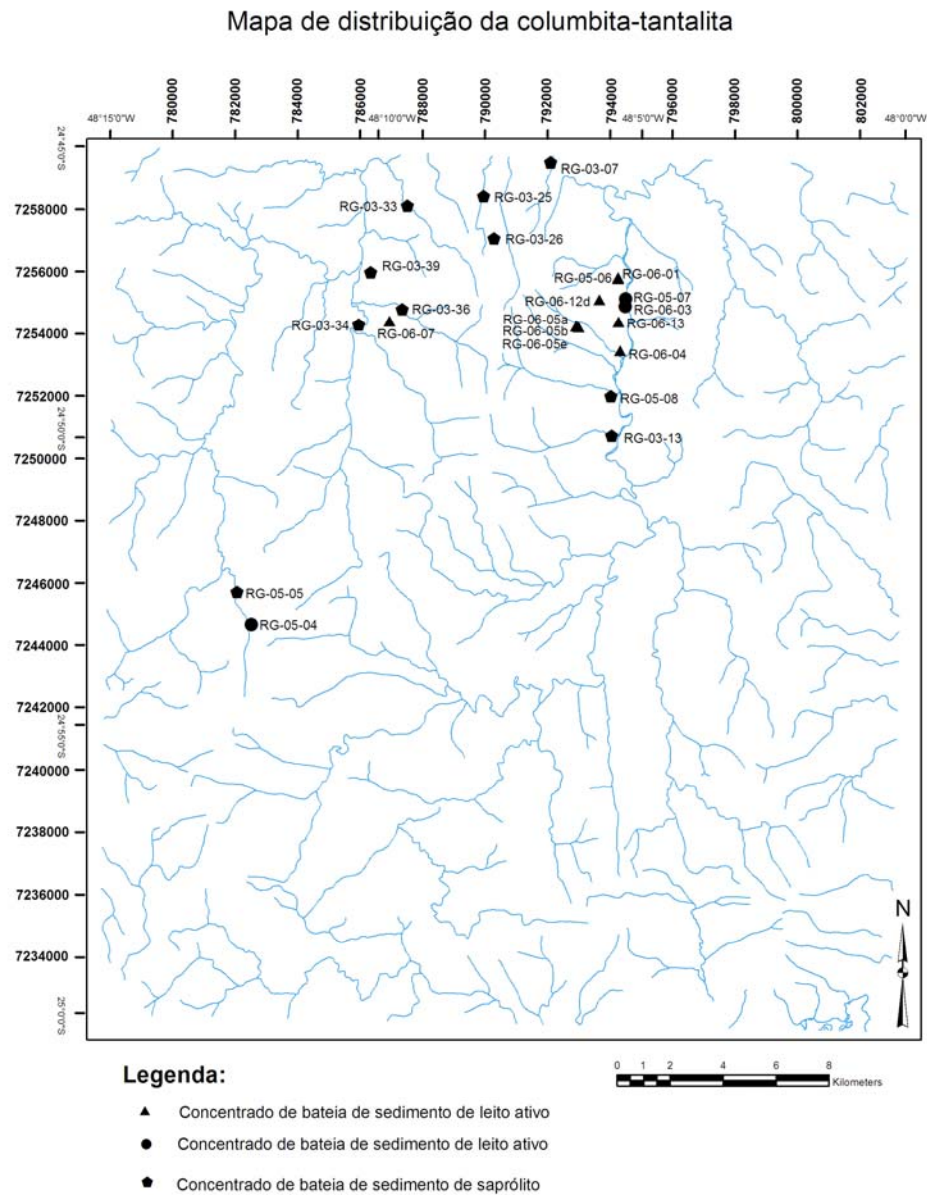


Figura 6.1. Mapa de distribuição da columbita-tantalita na área de estudo.

6.2.2 Cassiterita

A cassiterita foi observada em dezoito pontos amostrados destes, cinco são de concentrados de minerais pesados de rocha sã e treze de concentrado de bateia de sedimento de leito ativo (Fig. 6.2). De modo geral, ela se apresenta em pequenos cristais com tamanhos de até um milímetro, às vezes com formas bipiramidais ou com a característica geminação

tipo bico de estanho e cor variando de preta (com sobretons avermelhados) ao castanho escuro.

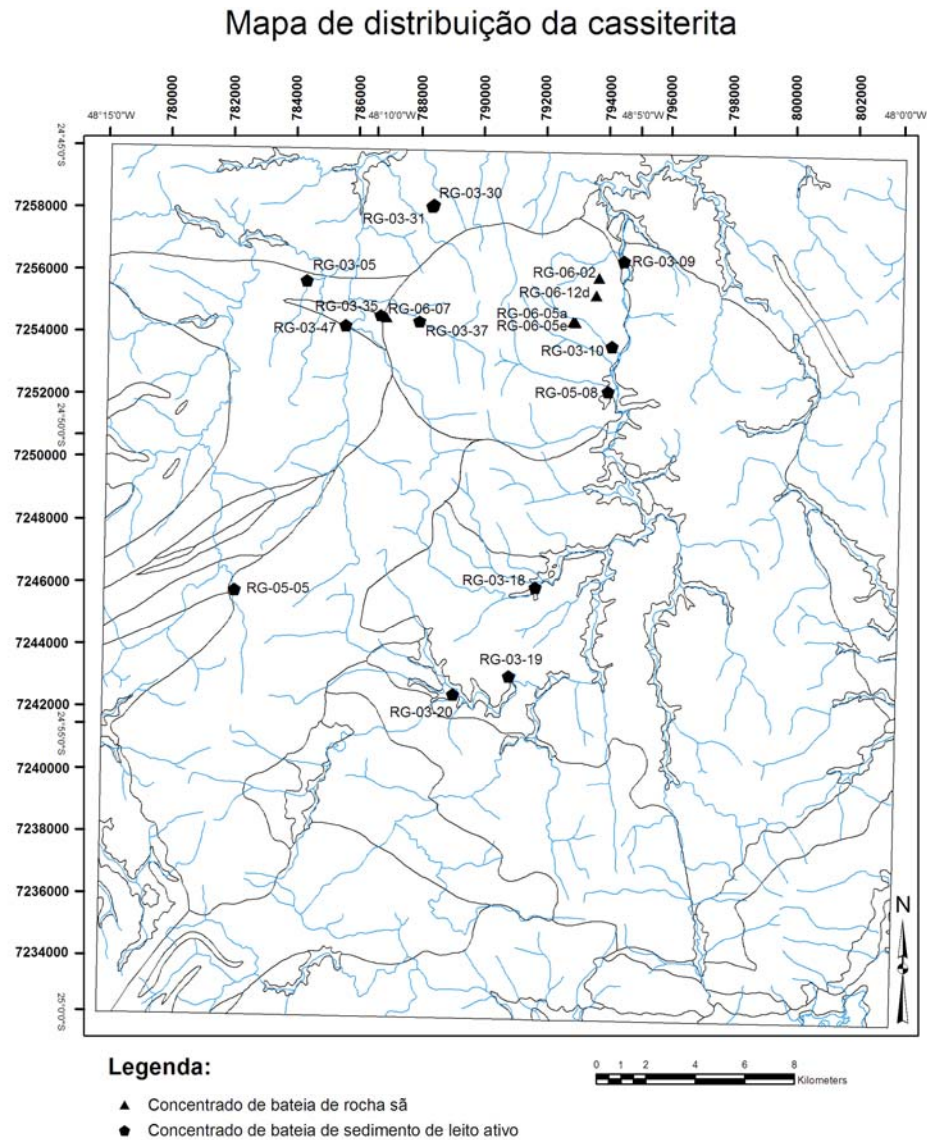


Figura 6.2. Mapa de distribuição da cassiterita na área de estudo.

6.2.3 Zircão

O zircão hafnífero foi observado em nove pontos. Destes, sete são de concentrados de minerais pesados de rocha sã, um de concentrado de bateia de sedimento de leito ativo e um de concentrados de minerais pesados de saprólito (Fig. 6.3). O zircão raramente ultrapassa um milímetro de comprimento, ocorre em cristais prismáticos cujas principais formas

assemelham-se à do tipo G1 (Fig. 6.4a) da classificação de Puppín (1980), passando por tipos com as formas ligeiramente mais curtas como o que pode ser observado na figura 7.4b. As cores dos cristais são variadas, destacando-se os tipos castanhos e creme claro.

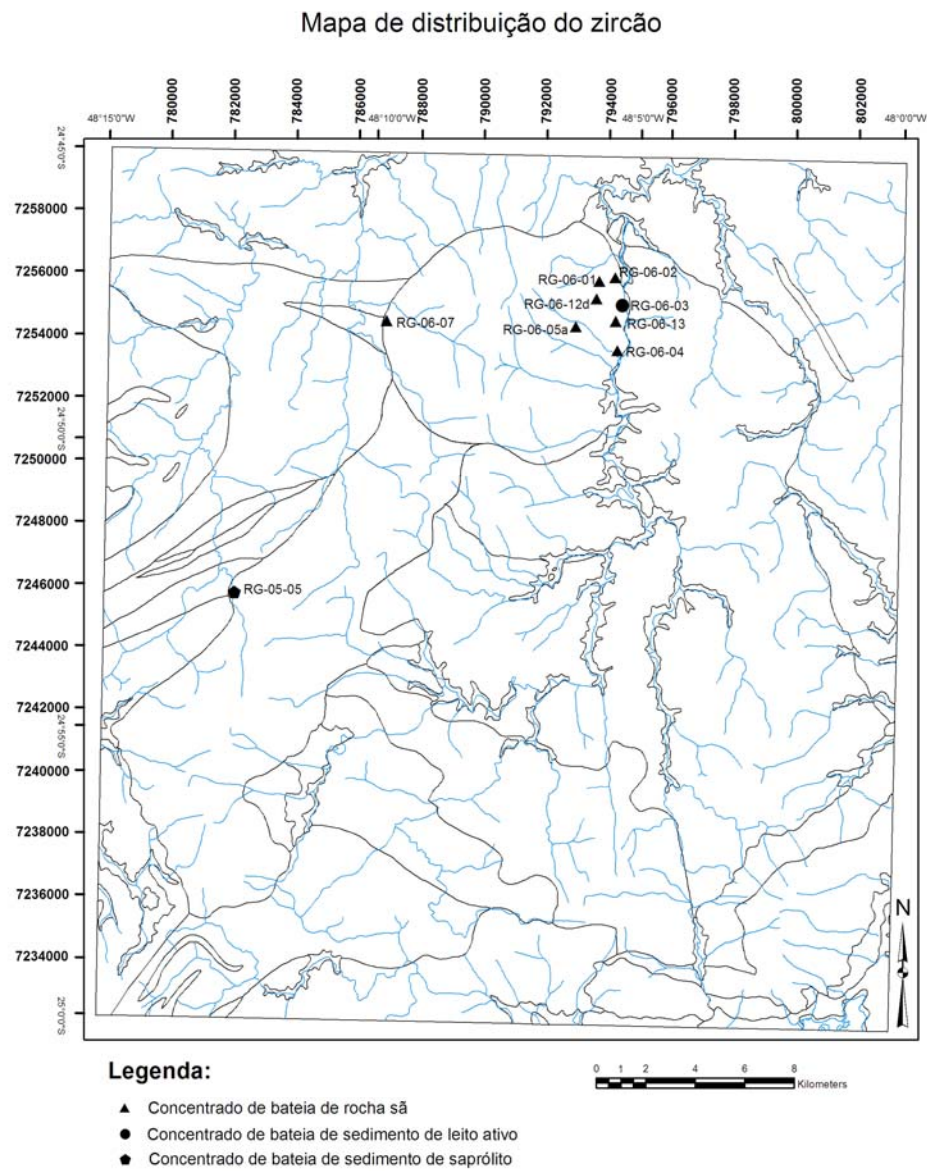


Figura 6.3. Mapa de distribuição do zircão na área de estudo.

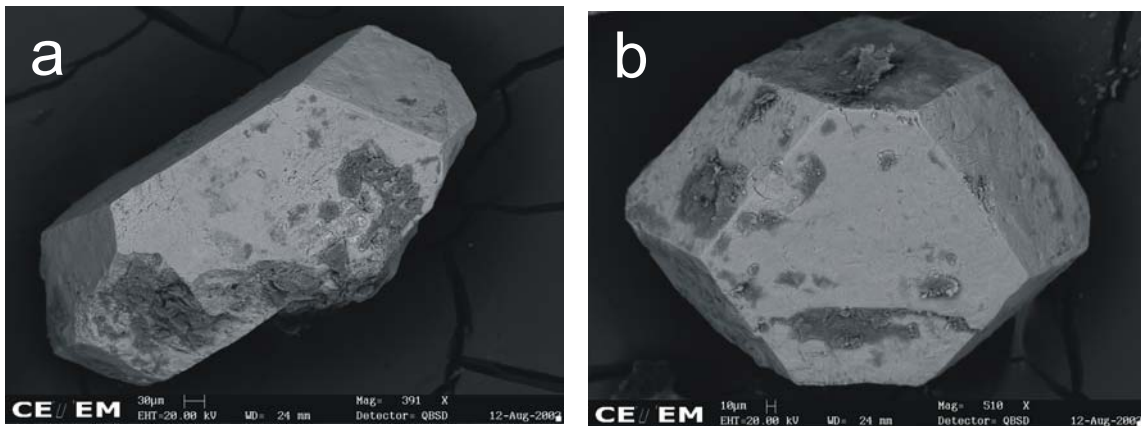


Figura 6.4. a = Imagem de Cristal de zircão hafnífero do tipo G1; b = Imagem de Cristal de zircão hafnífero.

6.2.4 Fluorita

A fluorita foi observada em nove pontos. Cinco são de concentrados de minerais pesados de rocha (sã e saprólito) e quatro de concentrado de bateia de sedimento de leito ativo (Fig. 6.5). Raramente ultrapassa um milímetro de comprimento e ocorre como cristais hialinos a arroxeados na borda ou somente hialinos.

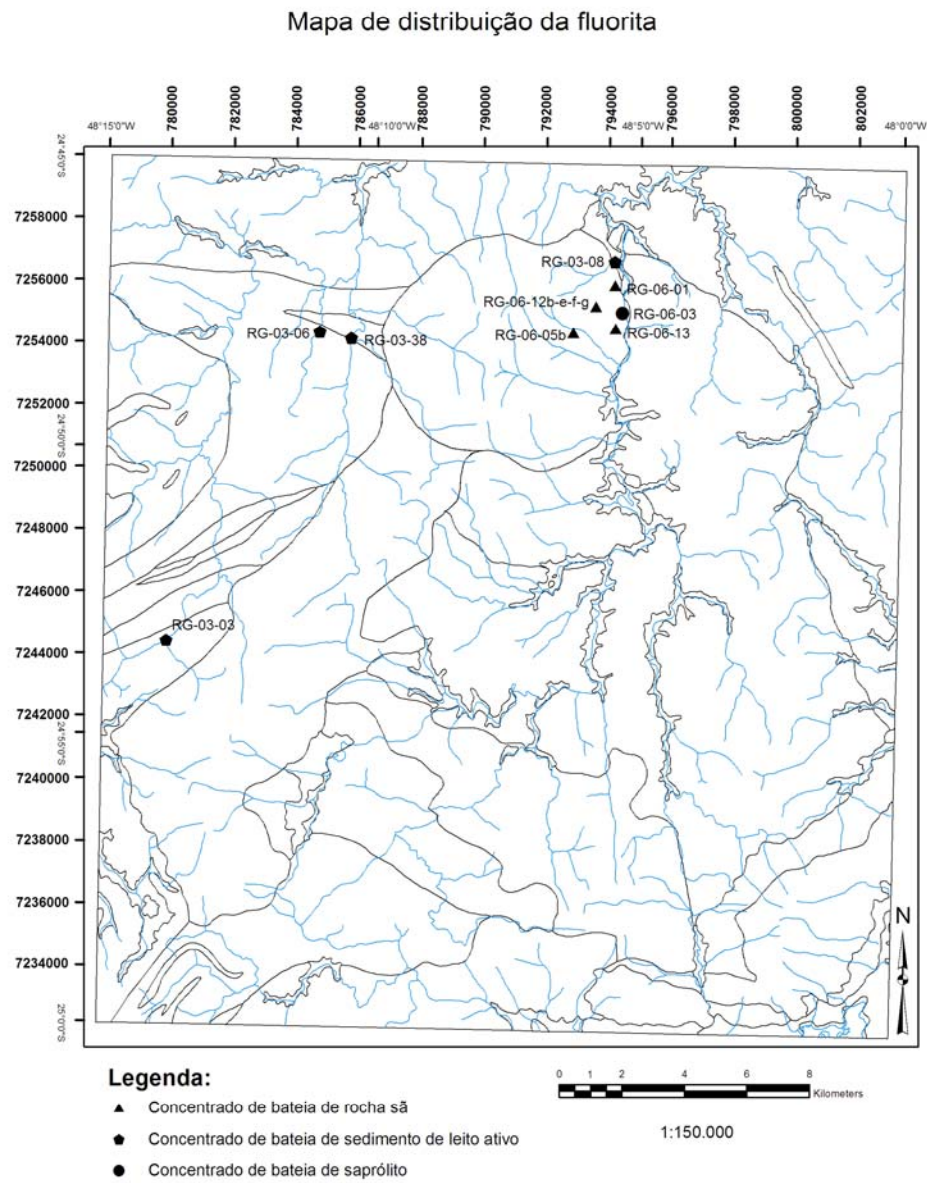


Figura 6.5. Mapa de distribuição da fluorita na área de estudo.

6.2.5 Cromita

A cromita foi observada em quarenta e quatro dos sessenta e sete pontos amostrados, todos de concentrado de bateia de sedimento de leito ativo (Fig. 6.6). Esta ocorre como cristais octaédricos com a sua cor variando de preta a cinza-escuro.

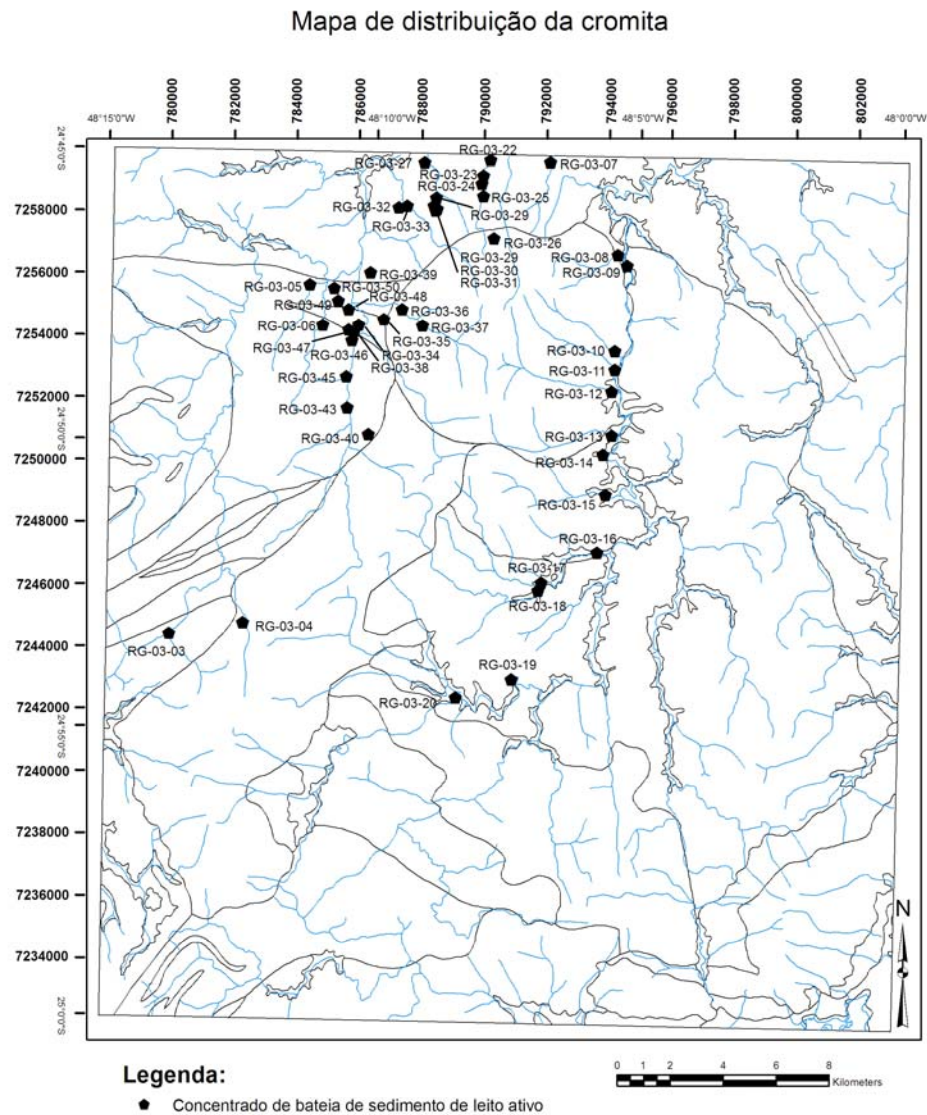


Figura 6.6. Mapa de distribuição da cromita na área de estudo.

6.3 Análises em MEV/EDS

6.3.1 Columbita-tantalita

As análises efetuadas em cristais de columbita-tantalita foram feitas em amostras provenientes do granito (pontos RG-06-12D e JAC20B, RG-06-12G e RG-06-02) e do pegmatito (ponto RG-06-05A). Também foram efetuadas análises em inclusões deste mineral em cristais de cassiterita e zircão provenientes do granito (pontos RG-06-12B e RG-06-04) e do pegmatito (pontos RG-06-02 e RG-06-5A). Foi feita ainda uma análise em columbita-

tantalita incluída em columbita do pegmatito (ponto RG-06-05A). No total das análises em grãos de columbita provenientes do granito, cinco delas foram extraídas de Pereira *et al.* (2007).

6.3.1a Columbita-tantalita derivada do granito

O nióbio-tantalato associado ao granito (vinte e uma análises) foi caracterizado como uma columbita, em função dos seus elevados teores de Nb_2O_5 , entre 75,8% e 55,5% e mais baixos de Ta_2O_5 , que variaram de 2,2% a 18,8% (Tabela 6.1).

Além do nióbio e do tântalo o Fe, Mn, Ti e W, estão presentes em todas as análises. As médias dos seus teores são 18,2% de FeO, 6,0% de MnO, 2,1% de TiO_2 e 1,1% de WO_3 .

De forma geral, a columbita encontra-se destituída de inclusões sólidas, ocorrendo ao MEV ou com tom monocromático de cinza (Fig. 6.7) ou com diversos tons de cinza. Essas variações nas tonalidades de cinza correspondem a variações na composição química do cristal. As partes mais escuras observadas nas imagens são mais niobíferas e as mais claras mais tantalíferas. Apenas um grão de columbita mostrou zoneamento normal (Fig. 6.8).

Em dois pontos foram observados cristais de columbita com hábitos eudral/subeudral e tamanho diminutos inclusos em grão de feldspato potássico (RG-06-02, Fig. 6.9) e de quartzo (RG-06-12G, Fig. 6.10). A columbita da amostra RG-06-02 tem cerca de 170 μm de tamanho e apresenta variações marcantes, fundamentalmente nas bordas superior e inferior do cristal, facilmente observadas pelos contrastes de tons de cinza (Fig. 6.11). Nas partes mais claras o Ta_2O_5 e o Nb_2O_5 tiveram em média teores de 18,2% e 57,5%, enquanto nas partes mais escuras 4,4% e 69%, respectivamente. Já o aspecto homogêneo da columbita (125 μm de tamanho) da amostra RG-06-12G indica que não há variação composicional no cristal. O Ta_2O_5 apresentou teores de 3,5 e 3,9% e o Nb_2O_5 de 71,2 e 72,8%.

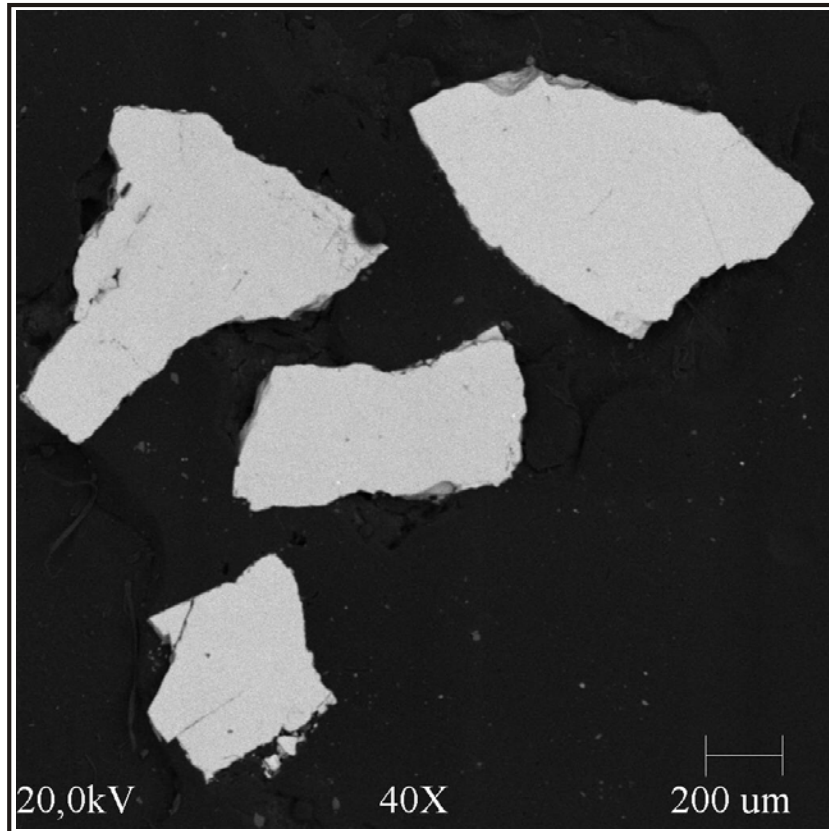


Figura 6.7. Imagem de cristais de columbita-tantalita com tons de cinza homogêneos e destituídos de inclusões sólidas, ponto RG-06-12D.

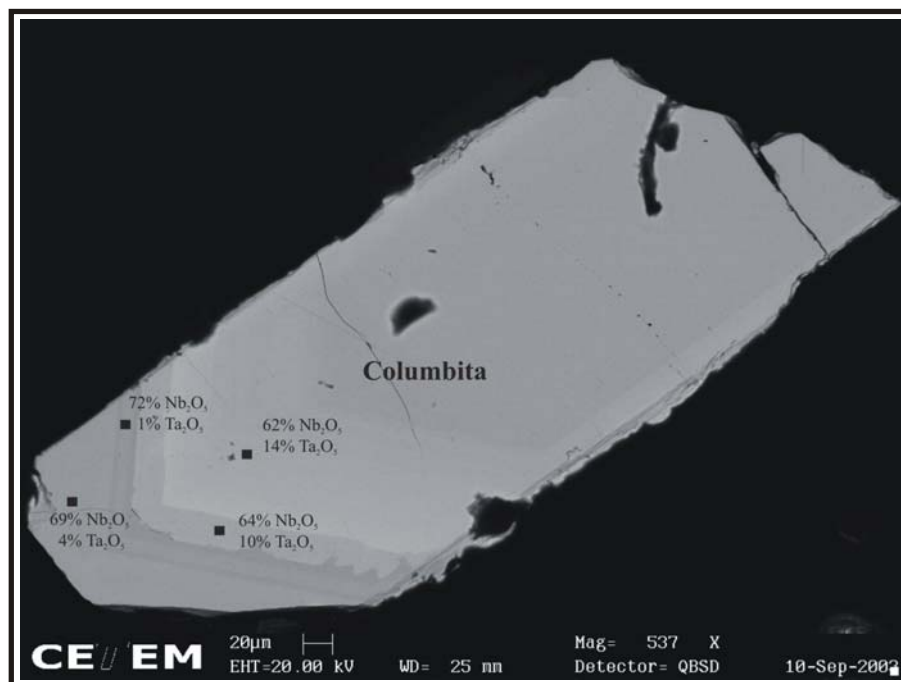


Figura 6.8. Imagem de cristal de columbita-tantalita com zoneamento normal.

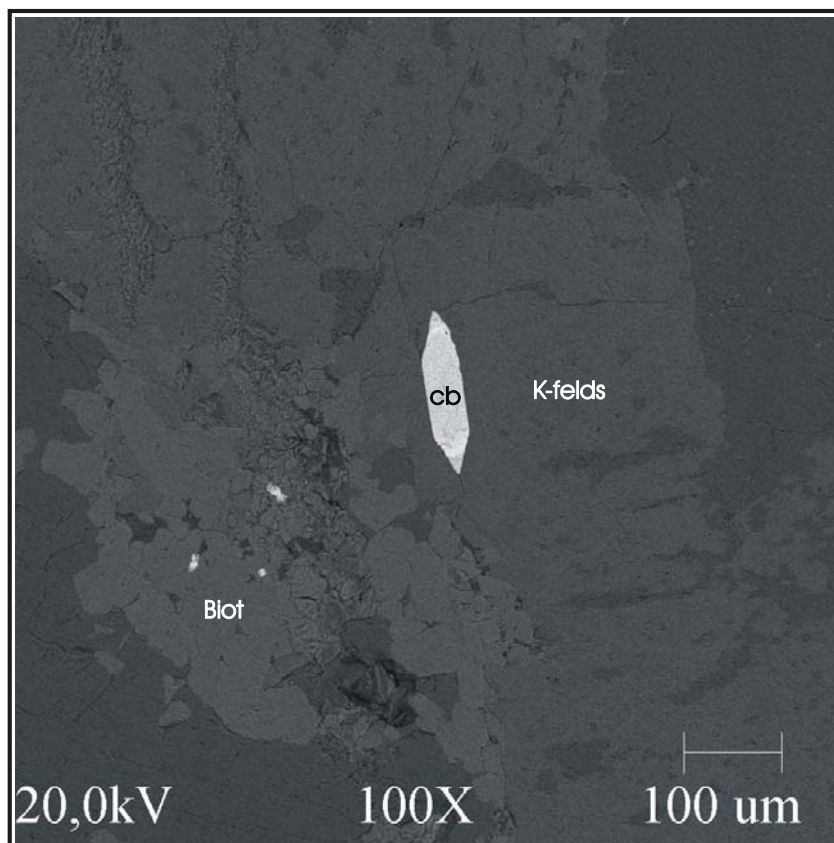


Figura 6.9. Imagem de cristal de columbita-tantalita com hábito euédrico inclusa em k-feldspato, ponto RG-06-02.

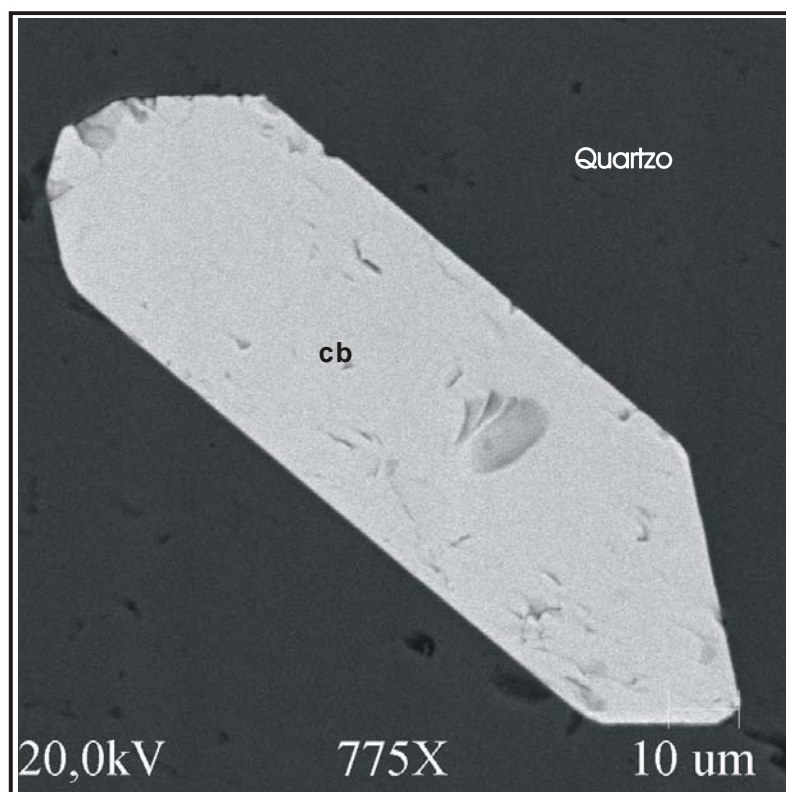


Figura 6.10. Imagem de cristal de columbita-tantalita com hábito euédrico inclusa em quartzo, ponto RG-06-12G.

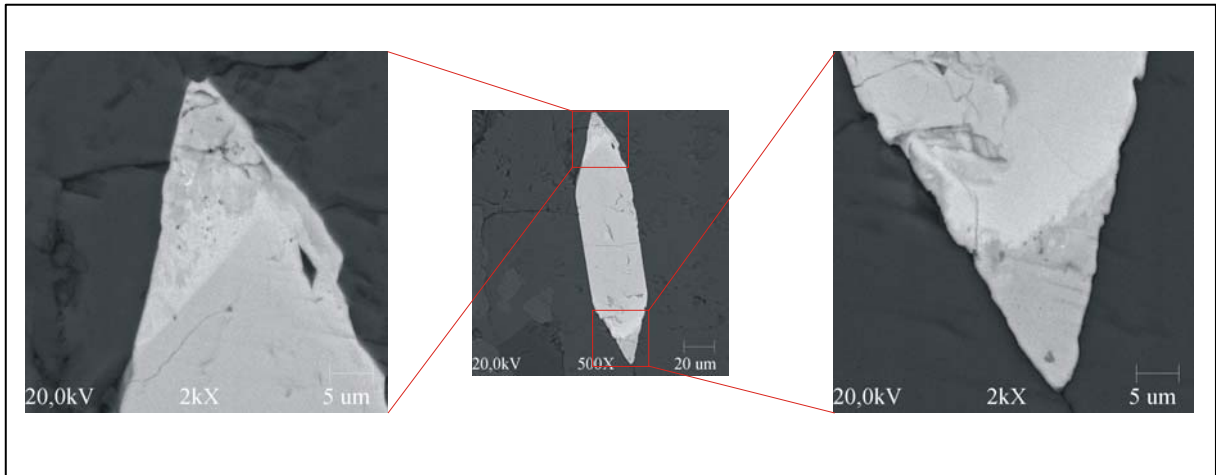


Figura 6.11. Imagem de cristal de columbita-tantalita (ponto RG-06-02) mostrando variações nos tons de cinza. Partes claras Ta_2O_5 18,2% e o Nb_2O_5 57,5%. Partes mais escuras Ta_2O_5 4,4% e Nb_2O_5 69,0%.

6.3.1b Columbita derivada do pegmatito

Nos cristais de columbita analisados os teores de Nb_2O_5 determinados variaram entre 57,8% e 55,9% e o de Ta_2O_5 , entre 4,3% a 5,6%.

Além do nióbio e do tântalo o Fe, Mn, Ti e o W, estão presentes em todas as análises. As médias dos seus teores são 26,6% de FeO, 5,7% de MnO, 1,5% de TiO_2 e 2,2% de WO_3 (Tabela 6.2).

Tabela 6.2. Análises de grãos de columbita derivada do pegmatito do ponto RG-06-5A.

Columbita	Grão 1		Grão 2		Grão 3	
	Análise 1	Análise 2	Análise 1	Análise 2	Análise 1	Análise 2
Nb_2O_5	55,9	56,7	57,4	57,5	57,7	57,8
Ta_2O_5	5,6	5,2	4,7	4,3	4,5	4,9
FeO	26,8	25,9	25,4	28,0	27,9	27,0
MnO	5,1	6,4	5,7	5,5	5,8	6,0
WO_3	3,8	2,4	1,6	2,2	2,5	2,4
TiO_2	1,4	1,5	1,6	1,2	1,5	1,8
Dy_2O_3	0,7	1,5	0,5	1,0	0,0	0,5
Yb_2O_3	1,3	0,3	2,2	0,4	0,0	0,8
Er_2O_3	0,0	0,1	1,8	0,1	0,9	0,0
Gd_2O_3	0,0	0,0	0,2	0,3	0,0	0,2
CaO	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
SnO_2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
TOTAL	100,7	100,0	101,1	100,6	101,1	101,4

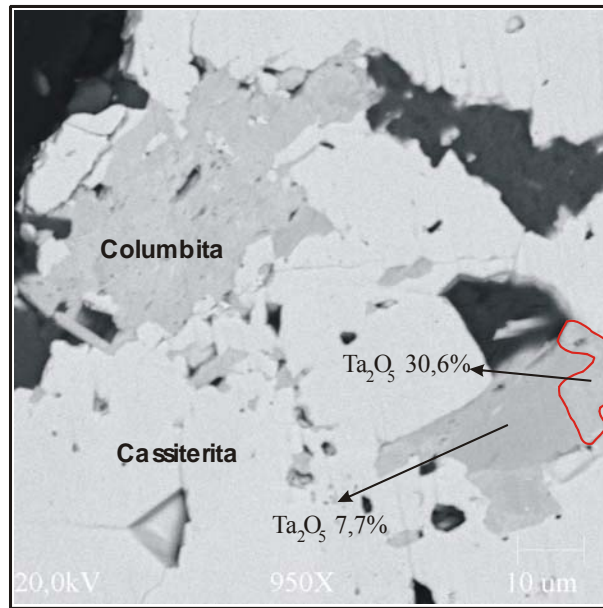


Figura 6.12. Imagem de inclusão de columbita-tantalita em grão de cassiterita do granito (ponto RG-06-12B), mostrando o enriquecimento de Ta_2O_5 do centro para as bordas da columbita.

6.3.1d Columbita-tantalita como inclusão em cristais de cassiterita do pegmatito

Inclusões de columbita-tantalita foram encontradas em cristais de cassiterita provenientes do pegmatito do ponto RG-06-02 (Fig. 6.13). As análises indicaram uma composição com teores médios de Nb_2O_5 e Ta_2O_5 de 40,4% e 30,1%, respectivamente. Teores de 4,4% TiO_2 , 4,9%, FeO , 17,1% MnO e 3,0%, SnO_2 completam a análise (Tabela 6.5).

]

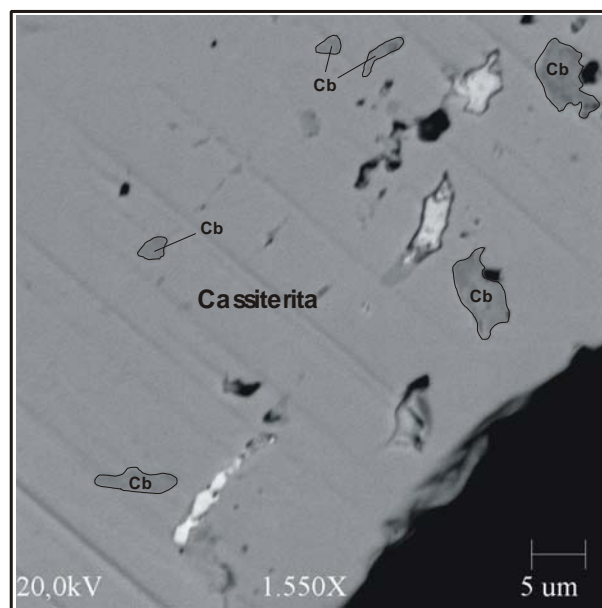


Figura 6.13. Imagem de inclusão de columbita-tantalita em cassiterita do pegmatito (ponto RG-06-02).

Tabela 6.5. Análises semiquantitativas em MEV-EDS das inclusões de columbita-tantalita em cristais de cassiterita do pegmatito.

Análises	6	11	15	18	Média
Nb ₂ O ₅	35,4	44,3	40,8	41,2	40,4
Ta ₂ O ₅	34,9	24,8	30,5	30,4	30,2
FeO	21,5	13,6	14,6	18,8	17,1
MnO	1,2	9,8	6,1	2,7	5,0
TiO ₂	4,3	4,4	4	4,9	4,4
SnO ₂	2,6	3	4,1	2,1	3,0
Total	100	100	100	100	100

6.3.1e Columbita-tantalita inclusa em cristal de zircão do granito

No zircão proveniente do granito (Fig. 6.14) foi encontrada apenas uma inclusão de columbita (ponto RG-06-04). Os teores de Nb₂O₅ e Ta₂O₅ determinados foram de 75,5% e 1,8%, respectivamente. O FeO e MnO correspondem a 16,54% e 6,06%, respectivamente.

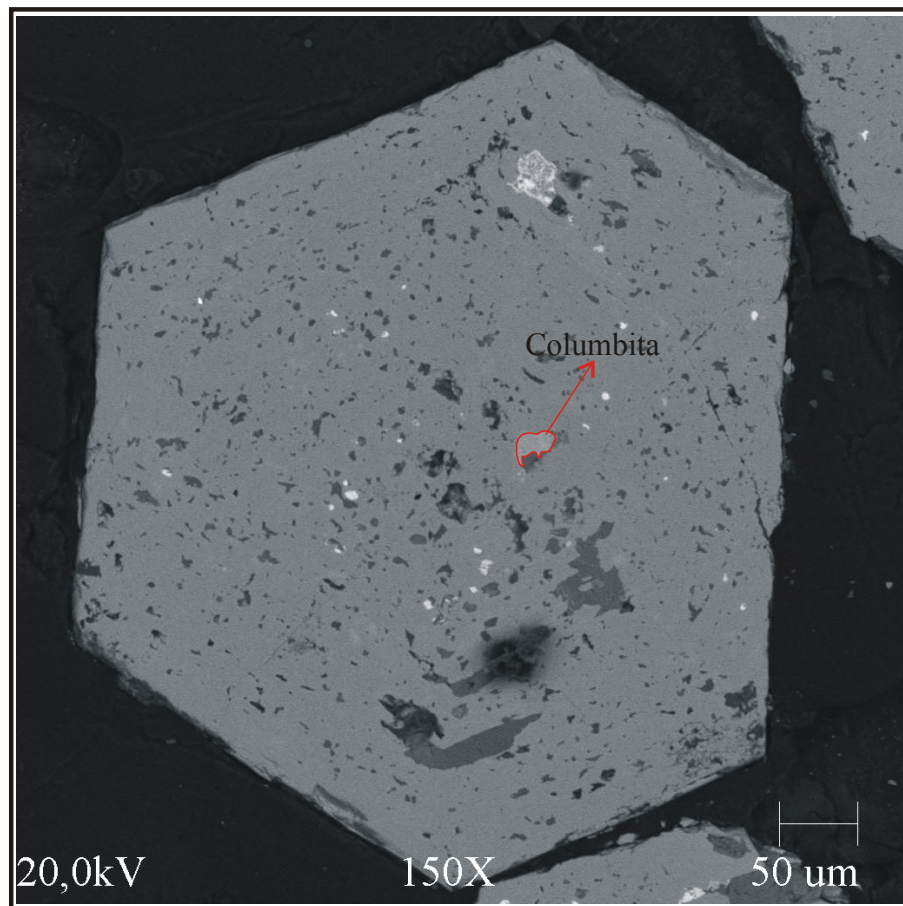


Figura 6.14. Imagem de inclusão de columbita-tantalita em cristal de zircão do granito (ponto RG-06-04).

6.3.1f Columbita como inclusão no cristal de zircão do pegmatito

No zircão proveniente dos pegmatitos também foi encontrada apenas uma inclusão de columbita no ponto RG-06-5A. Os conteúdos de Nb₂O₅ e Ta₂O₅ foram de 59,4% e 10,8%,

respectivamente. Os óxidos de manganês com teor de 27,86% e de ferro com teor de 1,96% completam a composição da columbita (Fig. 6.15).

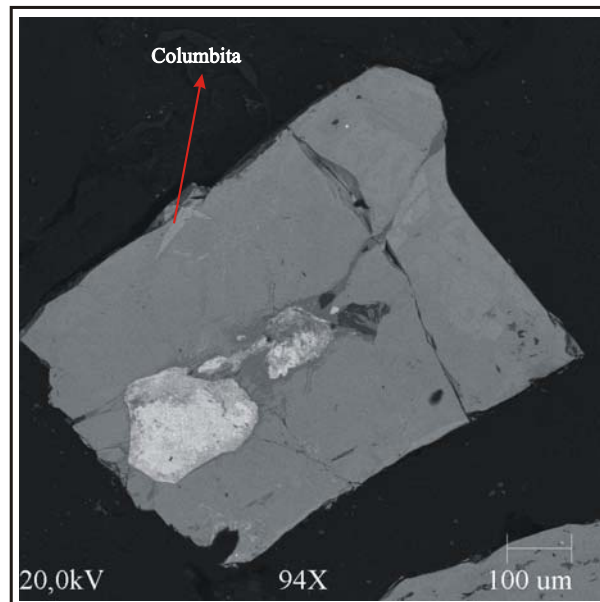


Figura 6.15. Imagem de inclusão de columbita-tantalita em cristal de zircão do pegmatito (ponto RG-06-05A).

6.3.2 Zircão

Foram realizadas análises em cristais de zircão provenientes do granito (pontos RG-06-04 e RG-06-07) e do pegmatito (pontos RG-06-02, RG-06 e RG-06-5A) bem como em grãos deste mineral incluso em cristais de cassiterita e columbita associadas ao pegmatito (ponto RG-06-02 e RG-06-5A).

6.3.2a Zircão derivado do granito

No zircão proveniente do granito constatou-se uma diferença marcante na composição química das amostras dos pontos RG-06-04 e RG-06-07. Esses pontos estão em posições diametralmente opostas em relação ao Granito Desemborque. O ponto RG-06-04 apresenta-se na borda leste enquanto o ponto RG-06-07 encontra-se na borda oeste do corpo. No ponto RG-06-07 o zircão possui composição mais complexa (Tabela 6.6), contendo óxidos de Mn, Yb e Th. Os conteúdos médios de MnO, Yb₂O₃, HfO₂, ThO₂ e UO₃ foram de 4,0%, 2,0%, 3,3%, 5,4% e 2,5%, respectivamente. Já o zircão do ponto RG-06-04 (Tabela 6.6) apresenta os óxidos de Fe, Hf e U com teores médios de 0,6%, 4,7% e 0,1%, sendo, portanto mais hafnífero do que o encontrado no ponto RG-06-07.

Tabela 6.6. Análises semiquantitativas em MEV-EDS de grãos de zircão proveniente da borda oeste e leste do granito.

Análises	Ponto RG-06-07 (Borda W)			Ponto RG-06-04 (Borda E)			Média
	80	81	Média	84	89	93	
ZrO ₂	57,6	51,3	54,4	61,5	61,5	70,3	64,4
SiO ₂	32,1	24,6	28,3	32,3	33,5	24,5	30,1
HfO ₂	3,3	3,4	3,3	4,3	4,5	5,2	4,7
ThO ₂	1,9	8,8	5,4	x	x	x	x
MnO	1,3	6,7	4	x	x	x	x
UO ₃	1,3	3,7	2,5	0	0,5	0	0,2
Yb ₂ O ₃	2,7	1,4	2	x	x	x	x
FeO	x	x	x	1,9	0	0	0,6
Total	100	100	100	100	100	100	100

x= elemento não detectado na análise.

Os cristais de zircão destes pontos possuem além de variações nas suas composições químicas, um conjunto de inclusões notadamente diferentes. No zircão do ponto RG-06-07 observou-se apenas a biotita como inclusão, enquanto, no do ponto RG-06-04 as inclusões foram mais variadas, sendo representadas por: columbita, torita, torogumita e itrofluorita.

6.3.2b Zircão derivado do pegmatito

Na composição química do zircão derivado do pegmatito ocorrem óxidos de Al, Na e Ca. Nos mesmos é patente um leve enriquecimento de U e Hf em relação ao zircão derivado do granito (Tabela 6.7).

O háfnio encontra-se presente em todas as análises atingindo um valor máximo de 18,3% de HfO₂ (ponto RG-06-02). Nas demais análises o teor de HfO₂ foi praticamente constante, variando de 7,4% a 9,0%. Estes valores permitiriam considerar estes cristais de zircão com sendo do tipo enriquecido em háfnio.

Assim como na amostra de zircão do granito, as inclusões sólidas contidas na amostra do pegmatito variaram significativamente. Na do ponto RG-06-5A identificou-se a torianita e a columbita-tantalita e na do ponto RG-06-02 e 5E, a torogumita, a itrofluorita e a uraninita.

Tabela 6.7. Análises semiquantitativas em MEV-EDS de grãos de zircão proveniente do pegmatito.

Análises	Ponto RG-06-5A				Pontos RG-06-02 e RG-06-5E				Média
	72	73	75	78	51	52	53	54	
ZrO ₂	48,2	57,1	53,6	41,5	41,9	44,5	43,7	47,1	47,2
SiO ₂	30,7	32,9	32,4	34,1	24,3	22,7	26,7	27,9	29,0
HfO ₂	7,6	7,4	8,9	7,7	8,8	9	7,8	8,3	8,2
FeO	0	2,3	2,1	1,4	17,2	5	1,9	1,1	3,9
ThO ₂	5,4	0	1,2	11,9	4,2	8,5	6,5	4,9	5,3
UO ₃	6	0	1,8	3,4	2,2	6,7	10,5	6,9	4,7
Al ₂ O ₃	0	0	0	0	0,9	2,3	1,8	1,6	0,8
NaO	0,8	0,2	0	0	0	0	0	0	0,1
CaO	0	0	0	0	0,4	1,3	0	0	0,2
MnO	1,3	0	0	0	0	0	1,1	2,1	0,6
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Nas imagens em MEV-BSD dos cristais de zircão, pode-se observar que há variações nos tons de cinza registrados, os mais claros (com mais HfO₂) nas proximidades das bordas e os mais escuros (com menos HfO₂) nas partes mais internas dos grãos (Fig. 6.16a).

A torita representa a exsolução mais freqüente. Há, também, registros de inclusões de óxido de ferro, provavelmente magnetita, além de quartzo, mica, tremolita, monazita de Ce, uraninita, torogumita e possivelmente bastnäsita (Fig. 6.16b).

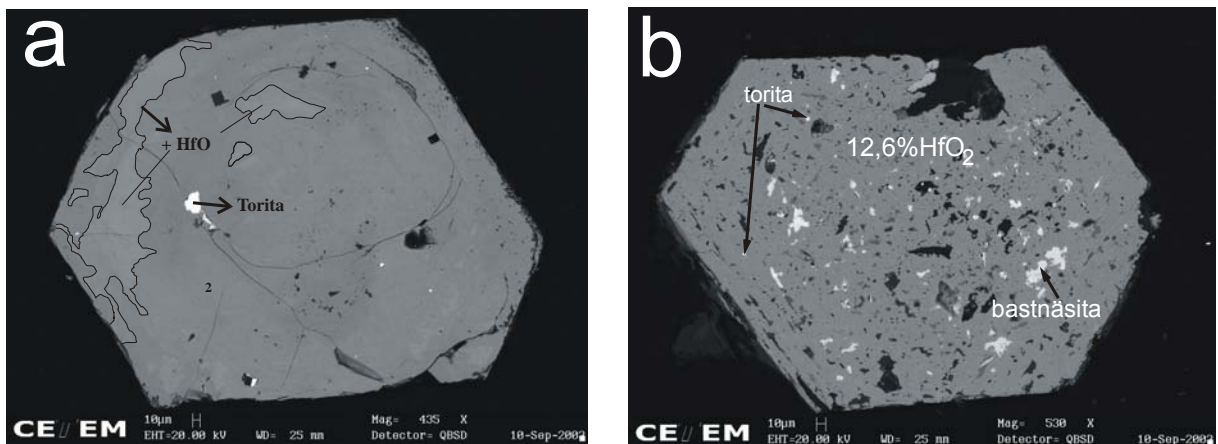


Figura 6.16. a = Imagem de cristal de zircão com as bordas mais claras mais enriquecidas em háfnio, b = Imagem de cristal de zircão com exsoluções e inclusões.

6.3.2c Zircão como inclusão na cassiterita do pegmatito

Uma única inclusão de zircão em cassiterita proveniente do pegmatito foi identificada no ponto RG-06-02. O zircão possui 39,9% de SiO₂, 24,4% de ZrO₂, 1,2% de HfO₂, 3,6% de FeO, 6,1% de ThO₂ e 21,7% de UO₃.

6.3.2d Zircão como inclusão na columbita do pegmatito

Uma única inclusão de zircão foi identificada na columbita derivada do pegmatito do ponto RG-06-5A. Esta possui 58,2% de ZrO₂, 8,2% de HfO₂ e 30,2% de SiO₂, sendo os 3,1% restantes ThO e FeO.

6.3.3 Cassiterita

Foram analisados cristais de cassiterita provenientes de amostras do granito (ponto RG-06-12B) e do pegmatito (ponto RG-06-02).

6.3.3a Cassiterita derivada do granito

A cassiterita derivada do granito possui concentrações médias de SnO₂ de 98,7%, tendo um valor máximo de 99,5% e um valor mínimo de 98% de SnO₂ (Tabela 6.8).

Na composição química (predominante) da cassiterita das amostras do granito, além do óxido de estanho, só ocorrem óxidos de Fe, Nb e Ta. O Nb₂O₅ foi detectado em apenas uma análise (análise 29 do ponto RG-06-12B) apresentando teor de 0,5%. O óxido de Fe só se faz presente apenas na análise 20 com o teor de 0,7%. O Ta₂O₅ encontra-se presente em quase todas as análises realizadas, com teor máximo de 2,0%, mínimo de 1,0% e médio de 1,2%.

Tabela 6.8. Análises semiquantitativas* em MEV-EDS de grãos de cassiterita proveniente do granito.

Análise	20	21	23	24	29	32	38	41	42	43	47	48	Média
SnO ₂	98,3	98,5	99,1	98,6	99,5	98,0	98,6	98,8	98,5	98,6	98,8	99,0	98,7
Ta ₂ O ₅	1,0	1,5	0,9	1,4	0,0	2,0	1,4	1,2	1,5	1,4	1,2	1,0	1,2
Total	99,3	100,0	100,0	100,0	99,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9

* Os óxidos de Fe e Nb devido aos baixos valores determinados não foram relacionados.

Os cristais de cassiterita das amostras do granito são, normalmente, destituídos de inclusões sólidas (Fig. 6.17 a,b). Quando as mesmas ocorrem, a columbita-tantalita representa o único mineral determinado.

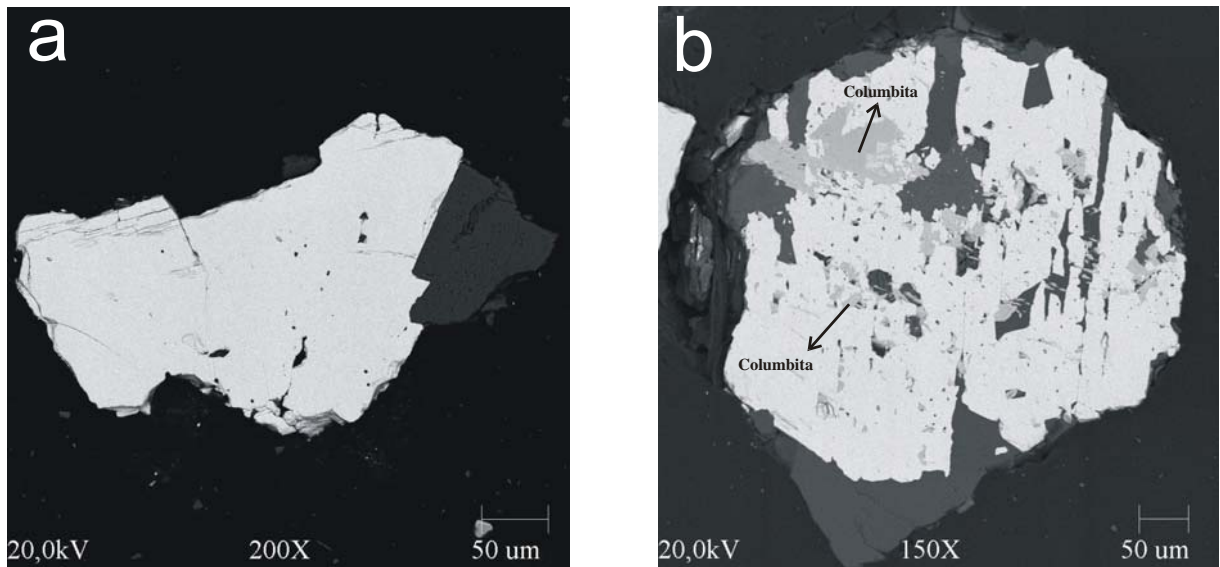


Figura 6.17. a = Imagem de cristal de cassiterita destituído de inclusões, b = Imagem de cristal de cassiterita com inclusões de columbita-tantalita.

6.3.3b Cassiterita derivada do pegmatito

Os cristais de cassiterita derivados do pegmatito possuem concentrações médias de SnO_2 de 94,1%, tendo um valor máximo de 94,9% e um valor mínimo de 93,3% de SnO_2 .

Assim como a cassiterita do granito, a cassiterita do pegmatito apresenta em sua composição química, além do SnO_2 , os óxidos de Fe, Nb e Ta (Tabela 6.9). Todavia, diferentemente do que ocorre nas primeiras, estes óxidos estão presentes nas análises realizadas. Os teores médios de FeO , Nb_2O_5 e Ta_2O_5 foram de 1,2%, 2,1% e 2,5%, respectivamente.

Tabela 6.9. Análises semiquantitativas em MEV-EDS de grãos de cassiterita proveniente do pegmatito.

Análises	1	10	16	Média
SnO_2	93,3	94,9	94,1	94,1
Ta_2O_5	3,5	1,5	2,6	2,5
Nb_2O_5	2,0	2,4	2,0	2,1
FeO	1,1	1,2	1,3	1,2
Total	100,0	100,0	100,0	100,0

Na cassiterita do pegmatito as inclusões são mais frequentes e representadas pela columbita-tantalita e zircão (ponto RG-06-02). Em um dos cristais estudados foi observada uma fratura preenchida por óxido de ferro (provavelmente magnetita) (Fig. 6.18).

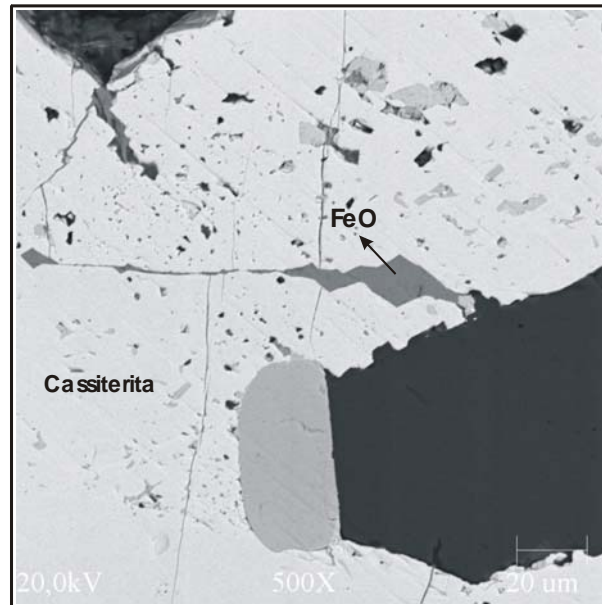


Figura 6.18. Imagem de óxido de ferro (provavelmente magnetita) preenchendo fratura em um cristal de cassiterita do pegmatito (RG-06-02).

6.3.4 Minerais de ETR

Minerais de REE foram encontrados em amostras do granito (pontos JAC20B e RG-06-12G), como inclusões no zircão do granito (pontos RG-06-04 e RG-06-07) e como inclusões no zircão (pontos RG-06-02 e RG-06-5E) e na columbita (ponto RG-06-05E) do pegmatito. As análises realizadas permitiram identificar quatro minerais portadores de ETR: itrofluorita, parisita de Ce, monazita de Ce e óxido de cério.

Na lâmina polida do ponto RG-06-12G a parisita de Ce ocorre como uma inclusão sólida contida na itrofluorita. Esse último mineral encontra-se, por sua vez, preenchendo uma fratura em um cristal de quartzo (Fig. 6.19 a, b). A itrofluorita é composta por F, CaO e Y_2O_3 , com teores médios de 30,9%, 67,6% e 1,5%, respectivamente (Tabela 6.10).

A itrofluorita também foi observada na seção polida do granito (ponto JAC20B), bem como incluída em cristais de zircão provenientes do granito e do pegmatito (Fig. 6.20).

Segundo Gaines *et al.* (1997), a parisita de Ce possui em sua composição química básica o CeO_2 , La_2O_3 , F e o CaO, possuindo a fórmula geral $Ca(Ce,La)_2(CO_3)_3F_2$. Nas análises da parisita de Ce os teores médios determinados de CeO_2 , La_2O_3 , F e CaO, foram de 48,6%, 19,2%, 1,9% e 4,6%, respectivamente. O Nd_2O_3 presente em todas as análises possui um teor médio de 9,6%. Os demais óxidos presentes, UO_3 , ThO_2 e PbO somam os 5% restantes (Tabela 6.11).

Tabela 6.11. Análises semiquantitativas em MEV-EDS de parisita de Ce.

Análise	RG-06-12G				JAC20B	
	3	6	4	7	6	Média
CeO ₂	49,8	52,9	44,5	47,0	48,7	48,6
La ₂ O ₃	17,1	17,7	18,5	16,6	25,9	19,2
F	9,2	9,7	21,6	22,8	6,2	13,9
Nd ₂ O ₃	10,5	6,8	11,8	9,7	9,0	9,6
CaO	6,5	6,8	3,6	3,9	2,0	4,6
ThO ₂	3,2	4,1	0,0	0,0-	8,2	3,9
UO ₃	1,5	2,1	0,0	0,0	0,0	0,7
PbO	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

A monazita contendo cério foi identificada somente na lâmina polida do granito do ponto RG-06-12G, ocorrendo como uma inclusão na itrofluorita. Foram realizadas cinco análises em três grãos. Esta possui em sua composição química CeO₂, P₂O₅, Nd₂O₃, La₂O₃, ThO₂ e UO₃ (Tabela 6.12).

O óxido de cério apresenta-se como principal elemento terras raras com teor médio de 41%. O P₂O₅ ocorre com teor médio de 34%. A monazita de Ce ocorre inclusa em grãos de itrofluorita, apresentando hábito anedral e tamanho entre 10 e 30µm (Fig. 6.21).

Tabela 6.12. Análises semiquantitativas em MEV-EDS de grãos de monazita de Ce.

Análise	5,8 e 10	17	19	Média
CeO ₂	42,8	38,0	38,7	39,8
P ₂ O ₅	33,4	38,8	31,2	34,5
Nd ₂ O ₃	11,6	10,8	22,4	14,9
La ₂ O ₃	9,9	9,1	5,9	8,3
ThO ₂	1,9	2,4	1,6	2,0
UO ₃	0,4	0,9	0,2	0,5
Total	100	100	100	100

Na seção polida de cristais de columbita provenientes do pegmatito (ponto RG-06-05E), foi observado que o óxido de Ce também encontra-se preenchendo uma fratura (Fig. 6.22).

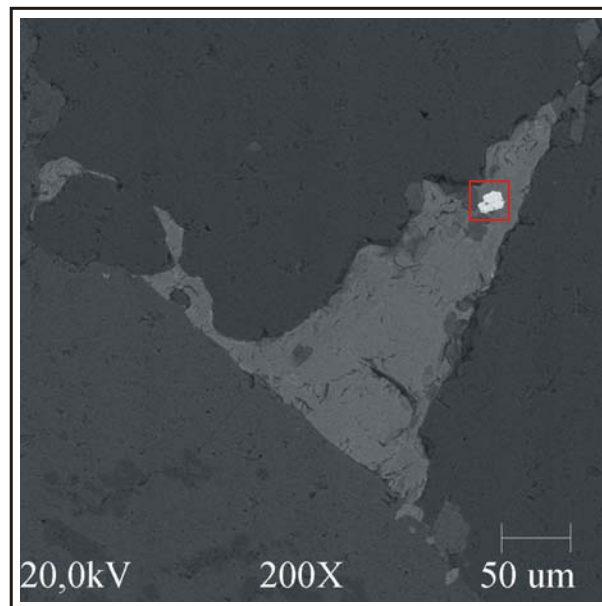


Figura 6.21. Imagem de monazita de Ce incluída em itrofluorita, ponto RG-06-12G.

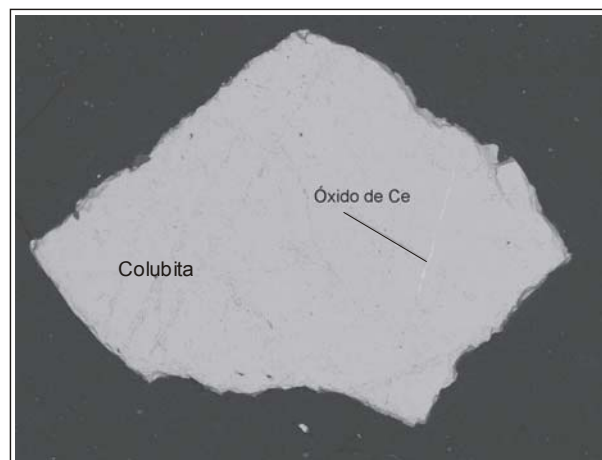


Figura 6.22. Imagem de óxido de cério preenchendo fratura na columbita proveniente do pegmatito.

6.3.6 Minerais de Th e U

Os minerais de Th e U só foram identificados preenchendo fraturas e na forma de inclusões sólidas e exsoluções. A primeira restringe-se ao preenchimento de fraturas nos grãos de zircão do pegmatito (pontos RG-06-02 e 5E). De forma mais abundante, as inclusões aparecem nos cristais de zircão do pegmatito (pontos RG-06-02, 5A e 5E) e do granito (pontos RG-06-04, 07 e 12G).

Os principais minerais de Th e U reconhecidos foram: torita, torianita, torogumita, uraninita e um mineral de Th e U com Pb.

A composição química da torita que ocorre inclusa nos cristais de zircão do granito (pontos RG-06-04 e 07), apresenta teores de 15,6 % de SiO_2 , 47,9% de ThO_2 e 36,4% UO_3 .

A torianita ocorre inclusa somente em um cristal de zircão do pegmatito (ponto RG-06-5A). A borda do cristal encontra-se enriquecida em U e Ta e empobrecida em Th, em relação à parte central do mesmo (Tabela 6.13). Os teores de ThO_2 e UO_3 na zona mais interna do cristal foram de 88,2% e de 10,8%, respectivamente. Já na borda os teores de ThO_2 e UO_3 foram de 74,1% e 24,2. O enriquecimento em Ta na borda do grão em relação ao seu núcleo, foi de 1,7% de Ta_2O_5 . Esta variação composicional resultou no registro de diferentes tons de cinza no cristal (Fig. 6.23), mais escuro (mais UO_3 , menos ThO_2 e com Ta_2O_3) e mais claro (menos UO_3 e mais ThO_2 e com PbO).

Tabela 6.13. Análises semiquantitativas em MEV-EDS das inclusões de torianita em cristal de zircão do pegmatito.

Análise	76	77
ThO_2	88,2	74,1
UO_3	10,8	24,2
PbO	1,0	0,0
Ta_2O_5	0,0	1,7
Total	100,0	100,0

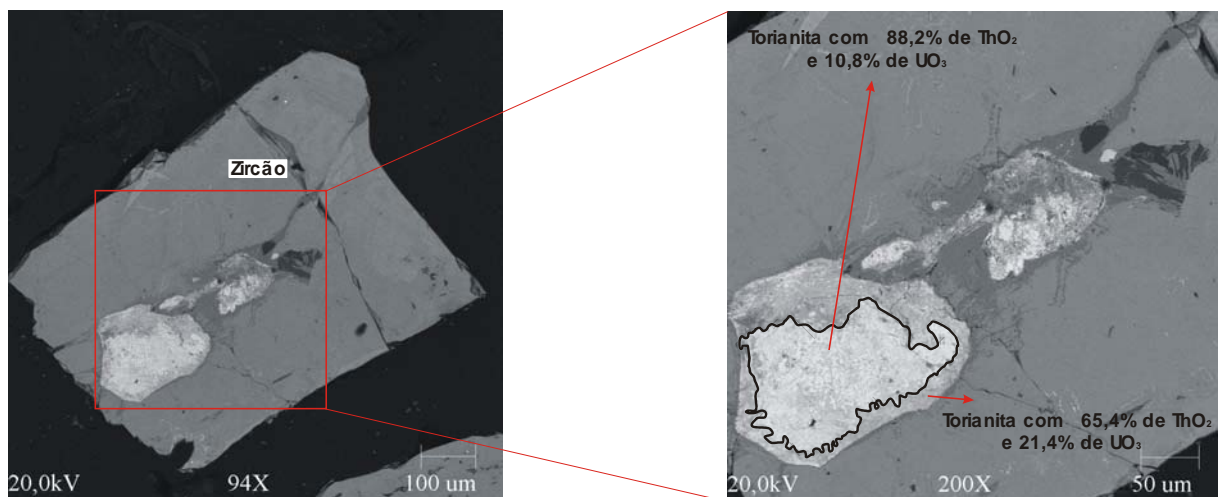


Figura 6.23. Imagem de torianita inclusa em zircão do pegmatito, ponto RG-06-05A. A figura mostra o enriquecimento em Ta na borda do grão em relação ao seu núcleo.

A uraninita ocorre inclusa somente em cristais de zircão do pegmatito (pontos RG-06-02 e RG-06-5A). Além do UO_3 com um teor de 90,5%, a uraninita possui em sua composição, óxidos de Fe e Pb com teores de 2,0% e 7,5%.

A torogumita ocorre sempre inclusa nos cristais de zircão, seja este derivado do pegmatito (pontos RG-06-02 e RG-06-5E), seja derivado do granito (pontos RG-06-04 e RG-06-07). Isto se justifica por a torogumita pertencer ao grupo do zircão (Gaines *et al.* 1997), tendo em sua fórmula dois elementos básicos, Th e Si.

As quatro análises realizadas mostram teores médios de SiO_2 , ThO_2 e UO_3 de 12,9%, 46,1%, 20,1%, respectivamente (Tabela 6.14).

Tabela 6.14. Análises semiquantitativas em MEV-EDS de torogumita.

Análise	55	56	57	82	Média
ThO ₂	44,9	30,3	53,9	55,2	46,1
UO ₃	23,7	12,4	23,8	20,5	20,1
SiO ₂	13,6	17,2	12,1	8,8	12,9
FeO	8,8	20,7	4,7	9,1	10,8
ZrO ₂	7,0	14,6	2,8	5,2	7,4
PbO	1,6	2,1	1,9	1,2	1,7
Al ₂ O ₃	0,4	2,7	0,0	0,0	0,8
CaO	0,0	0,0	0,7	0,0	0,2
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

7. DISCUSSÃO

7.1 Discussão dos resultados

Segundo Dostal & Chatterjee (2000), o nióbio e o tântalo são dois *high-field-strength elements* (HFSE) que tem valência (+5) e raio iônico similar. Conseqüentemente, eles têm um comportamento geoquímico muito parecido durante vários processos geológicos e a razão Nb/Ta é considerada bastante constante em muitos sistemas geológicos. Para Belkasmi *et al.* (2000), os minerais do grupo da columbita têm uma fórmula geral AB_2O_6 onde o A pode ser ocupado pelo (Mn, Fe) e o B principalmente pelo (Nb, Ta), hospedando também em menor proporção o Ti, W, Sn e Sc.

No Granito Desemborque o nióbio-tantalato presente apresenta teores de Nb_2O_5 (66,2% em peso) expressivamente superiores aos teores de Ta_2O_5 (6,5% em peso) e, portanto, pode ser classificado como uma columbita. Isto pode se dar devido à maior disponibilidade de nióbio no sistema que gerou o Granito Desemborque em detrimento do tântalo.

Por si só, a presença da columbita como um dos minerais constituintes do granito já apontaria para uma maior disponibilidade do nióbio no magma que gerou o Granito Desemborque. Comparativamente aos demais granitos da Suíte Intrusiva Serra do Mar - a exceção dos granitos Alto Turvo, Mandira e Serra Alta - verifica-se que é nítido o enriquecimento de Nb do Granito Desemborque em relação aos demais corpos (Tabela 7.1). Estendendo-se essa comparação em relação a alguns granitos a metais raros verifica-se que o Granito Desemborque apresenta concentrações de Nb superiores a diversos granitos mineralizados em metais raros (Tabela 7.2), como o Plúton Nova Scotia (Canadá) (Dostal & Chatterjee 2000), Batólito Khao Kata Khwam (Tailândia) (Pollard *et al.* 1995) e Granito Ychun (China) (Schwartz 1992).

Tabela 7.1. Teor de Nb em granito da Suíte Intrusiva Serra do Mar.

Granito		Nº de análises	Nb (ppm)
Alto turvo*	Alcalino/Calcioalcalino	1	82
Granito Desemborque	Alcalino	13	61,61(44-75)
Serra Alta*	Alcalino	1	46
Corupá*	Alcalino/Peralcalino	6	20,33 (12-26)
Mandira*	Alcalino/Peralcalino	3	30 (10-58)
Subida*	Alcalino	5	27 (21-40)
Serra do Paratiú*	Alcalino	1	20
Ilha do Cardoso*	----	1	20
Serra da Igreja*	Alcalino	1	<20
Morro Redondo*	Alcalino	3	10,33 (5-21)
Dona Francisca*	Alcalino	1	5
Pirai*	Alcalino	1	5
Agudos*	Alcalino	4	3,25 (5-8)
Anhangava*	Alcalino	1	ld
Graciosa*	Alcalino	1	ld
Marumbi*	Alcalino	1	ld

ld. Abaixo do limite de detecção. Fonte: *Kaul *et al.* (1984).

Tabela 7.2. Teores de Nb e Ta em granitos mineralizados a metais raros.

Granito	Litologia	Nº de análises	Nb (ppm)	Ta (ppm)
Plúton Nova Scotia (Canadá) *1	Leucomonzogranito	1	10,29	1,04
	Leucogranito	1	9,17	1,19
Batólito Khao Kata Khwam (Tailândia) *2	Biotita Granito	18	30,94 (23-45)	-
Granito Ychun (China) *3	Granito duas-micas	5	43 (32-48)	22 (12-29)
	Muscovita Granito	4	59 (53-66)	55 (44-65)
	Lepidolita Granito	6	62 (56-68)	183 (168-219)
Granito Beauvoir (França) *4	Topázio-lepidolita albíta granito	9	66,88(27-158)	103,04 (27-425)
Granito Madeira (Brasil, Pitinga) *5	Albíta Granito	10	1095,5 (880-2504)	155,80 (104-283)
Granito Água Boa (Brasil, Pitinga) *5	Biotita Granito	8	74,75 (61-89)	7,5 (5-10)
Granito Desemborque	Biotita sienogranito	13	61,61(44-75)	-

Fonte: *1- Dostal & Chatterjee (2000), *2- Pollard *et al.* (1995), *3- Schwartz (1992), *4- Cuney *et al.* (1992), *5- Marine *et al.* (2005).

Rucheng *et al.* (2000), indica que em rochas alcalinas (e.g. carbonatitos, sienitos e álcali granitos) os minerais do grupo da columbita são frequentemente ferrocolumbitas. Isso de fato ocorre na fácies à biotita do Granito Suzhou, na China que possui a ferrocolumbita como o principal representante dos minerais do grupo da columbita (Wang *et al.* 1997).

A ferrocolumbita é definida através das razões iônicas Ta/(Ta+Nb) e Mn/(Mn+Fe), cálculo só possível de se estabelecer através da obtenção dos teores por análise em microsonda eletrônica. Porém, de acordo com Gaines *et al.* (1997), columbitas com teores de

FeO acima de 21,28% podem ser classificadas como ferrocolumbitas. Com isso, verifica-se que, adotando-se esse critério, os cristais de columbita provenientes do Granito Desemborque (ponto RG-06-12D) e do pegmatito com teores de FeO acima de 21,28% podem ser caracterizadas como ferrocolumbita (vide tabela 6.1).

Com relação ao caráter magmático ou hidrotermal da columbita encontrada no Granito Desemborque verifica-se que, no geral, minerais acessórios com formas relativamente euedrais são formados normalmente nos estágios magmático iniciais, enquanto que, agregados policristalinos de minerais acessórios indicam uma formação em um estágio envolvendo a presença de fluidos (Rucheng *et al.* 2000). No corpo em questão, a columbita ocorre com hábito euédrico, tamanho diminuto (aproximadamente 170 μ m e 125 μ m) e inclusa em minerais magmáticos, como cristais de feldspato potássico (ponto RG-06-02) e de quartzo (ponto RG-06-12G) (Fig. 7.1a,b) fato que leva a crer que todos esses minerais formaram-se no estágio inicial da cristalização magmática.

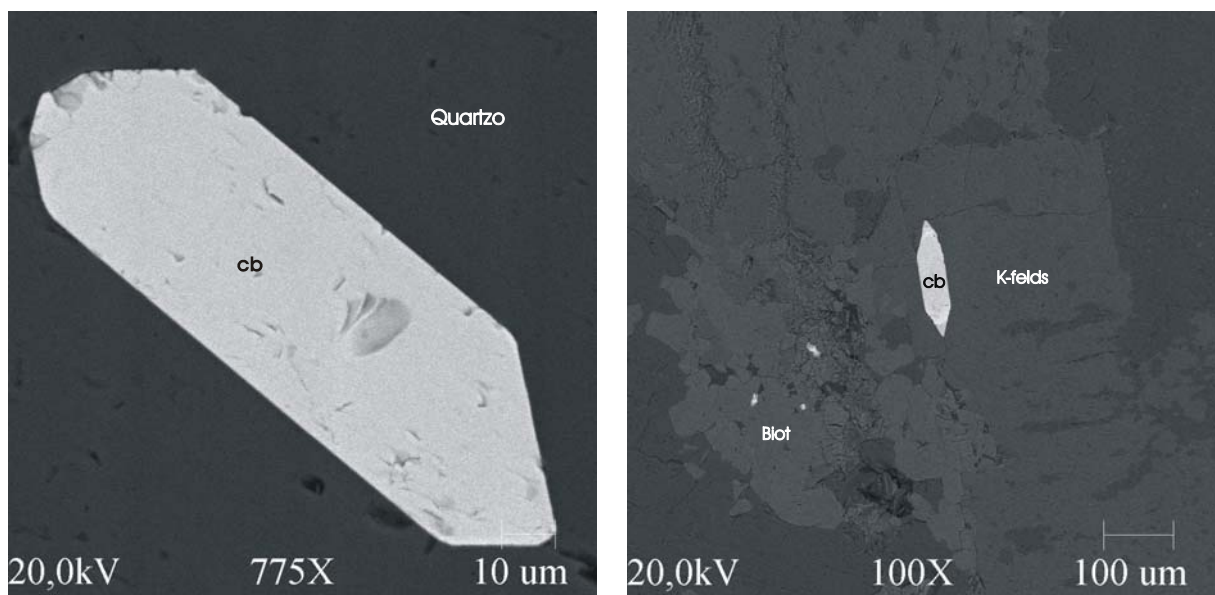


Figura 7.1. a= Imagem de cristal de columbita inclusa em quartzo (ponto RG-06-12G); b= Imagem de cristal de columbita inclusa em k-feldspato (ponto RG-06-02).

Cristais de columbita inclusos em minerais de origem magmática são comumente encontrados em exemplos mundiais de granitos a metais raros. Segundo Cuney *et al.* (1992), no Granito Beauvoir (França), a columbita ocorre inclusa na lepidolita, apatita e no núcleo do topázio com um tamanho de 10 a 20 μ m, assim, indicando um estágio inicial da cristalização magmática. No Granito Suzhou (China), a columbita ocorre inclusa na biotita.

A columbita constitui um sistema de quatro componentes em que o zoneamento químico é frequentemente observado e ocorre principalmente devido a substituições isovalentes de (Nb \leftrightarrow Ta) e (Fe \leftrightarrow Mn). Lahti (1987) definiu, nesse mineral, padrões de zoneamento do tipo normal e reverso. O zoneamento é normal se nos cristais a razão Ta/Nb decresce e a razão Mn/Fe decresce do núcleo para a borda do cristal. No caso oposto, o zoneamento é reverso. Em adição, Belkasmí *et al.* (2000), argumenta que o zoneamento em cristais de columbita-tantalita apresenta-se periodicamente com pequenas oscilações.

No Granito Desemborque as imagens de elétrons retroespalhados da columbita derivada do granito, apresentam-se com tons de cinza homogêneos (Vide fig. 6.7), indicando uma composição química estável. Somente um grão apresentou zoneamento (Vide fig. 6.8).

Belkasmí *et al.* (2000), propõem que o *emplacement* de sucessivos pulsos magmáticos causariam um forte enriquecimento da razão Ta/(Ta+Nb) com moderada variação da razão Mn/(Mn+Fe) durante o crescimento dos cristais zonados. Desse modo, a quase ausência de cristais zonados de columbita no Granito Desemborque, sugere que o corpo granítico desenvolveu-se através de um único pulso magmático.

No Granito Desemborque a columbita ocorre associada ao granito, ao pegmatito e como inclusão em cristais de cassiterita e zircão provenientes tanto do granito quanto dos pegmatitos que cortam esse corpo.

Na tabela 7.2 pode-se observar que normalmente o teor de Nb excede o teor de Ta, só sendo ultrapassado nas fases finais da cristalização magmática, quando o magma é extremamente enriquecido em elementos voláteis. Como exemplo, pode-se citar as fácies albita granito dos granitos Madeira (Brasil) e Beauvoir (França) onde tal fato ocorre.

Isso particularmente não se reflete nos resultados de química mineral aqui apresentados (Tabela 7.3), pois, os valores de Nb e Ta são equivalentes tanto na columbita derivada do granito quanto na do pegmatito.

Tabela 7.3. Composição média da columbita proveniente do granito e do pegmatito.

	Proveniente do granito	Proveniente do pegmatito
Nb ₂ O ₅	66,2	57,2
Ta ₂ O ₅	6,5	4,9
FeO	18,2	26,8
MnO	6,0	5,8

Assim como o Nb e o Ta, Dostal & Chatterjee (2000) apresentam o zircônio e o háfnio como dois *high-field-strength elements* (HFSE) que tem valência (+4) e raio iônico similar. Conseqüentemente, estes dois elementos também possuem uma razão relativamente constante na maioria dos sistemas geológicos.

No Granito Desemborque o zircão aparece associado ao granito, ao pegmatito e incluso na cassiterita e na columbita provenientes do pegmatito. A tabela 7.4 mostra os valores médios dos teores de ZrO₂, SiO₂, HfO₂, ThO₂ e UO₃ do zircão.

Tabela 7.4. Composição média do zircão.

	Proveniente do granito	Proveniente do pegmatito	Inclusão em cassiterita do pegmatito	Inclusão em columbita do pegmatito
ZrO ₂	59,4	47,1	24,4	58,2
SiO ₂	29,2	29,1	39,9	30,2
HfO ₂	4,0	9,3	1,2	8,2
ThO ₂	5,4	4,8	6,1	1,0
UO ₃	1,4	4,4	21,7	0,3

Segundo Wang *et al.* 2000, os grãos de zircão de granitos tipo-I são pobres em elementos traços (HfO₂ <2 %, UO₂ + ThO₂ + Y₂O₃ <1%), contudo cristais de zircão de granitos tipo-A são ricos em Hf, U, Th e Y. Wang *et al.* 2000, afirmam ainda que a concentração de Hf nos grãos de zircão é variável e depende do grau de evolução do magma original. A concentração média de Hf nos grãos de zircão das rochas da suíte Tipo-I de Laoshan é 1,43%. O zircão das rochas tipo-A é mais enriquecido em Hf, e contém, em média, 2,92 % de HfO₂. Para Rucheng *et al.* 2000, o zircão com Hf-Th-U-Y representa um dos mais importantes minerais acessórios da fácies primária (HfO₂, ThO₂, UO₂ e YO₂ com 7,01%, 4,27%, 1,26% e 2,94%, respectivamente) enquanto o zircão da fácies tardia se torna pobre em Th e U, entretanto mais enriquecido em Hf (valor máximo de 12,37% de HfO₂).

No Granito Desemborque o zircão derivado do granito apresenta em média 4,0 % de HfO₂, 5,4% de ThO₂ e 1,35% de UO₂. Com esse valor de Hf, pode-se considerar o zircão proveniente do Granito Desemborque (granito) como um zircão rico em háfnio. O elemento Y não foi detectado nas análises realizadas. Estes resultados indicam que o Granito Desemborque é um granito do tipo-A mais evoluído em relação ao magma original.

Wang *et al.* (1996) e Rucheng *et al.* (2000), citam que as bordas do zircão são geralmente mais enriquecidas em Hf em relação ao núcleo do cristal. Com relação aos cristais

de zircão provenientes do Granito Desemborque, somente em um deles foram observadas, nas imagens geradas em MEV-BSD, variações nos tons de cinza registrados, que são mais claros (com mais HfO_2) nas proximidades das bordas e mais escuros (com menos HfO_2) nas partes mais internas dos grãos (vide fig. 6.16a).

A falta de inclusões de zircão em minerais magmáticos (inclusive na columbita) do granito corrobora a idéia de que esse mineral cristalizou preferencialmente em uma fase tardia da cristalização magmática do Plúton Desemboque. O fato das inclusões de columbita hospedadas no zircão apresentarem características composicionais semelhantes às registradas para a columbita do granito (Tabela 7.5), reforça a idéia de que o zircão cristalizou de fato durante o estágio magmático tardio sofrendo, posteriormente, os efeitos dos processos hidrotermais manifestado pelo enriquecimento em háfnio. Aliás, a maior concentração de Hf e a grande variedade de inclusões de minerais hidrotermais (particularmente os dos elementos terras raras) no zircão do ponto RG-06-04, ou seja, da borda leste do plúton sugerem que esta porção do plúton possa ter sofrido com mais intensidade os efeitos de processos hidrotermais.

De acordo com Huang *et al.* (2002) um zircão que apresenta freqüentemente um núcleo poroso e bordas intactas, sugere que o núcleo represente um cristal relicto e que a borda cresceu durante a cristalização do magma granítico. Tal feição também foi registrada no Granito Desemborque onde o zircão (do granito) apresenta-se com forma euedral a subeuedral e com núcleo poroso preenchido por inclusões de biotita, itrofluorita, torita, torianita, torogumita e columbita (Vide Fig. 6.16b).

Tabela 7.5. Composição da columbita proveniente do granito e incluída em zircão do granito.

	Proveniente do granito	Inclusão em zircão do granito
Nb_2O_5	66,2	75,5
Ta_2O_5	6,5	1,8
FeO	18,2	16,5
MnO	6,0	6,1

Assim como o Nb, Ta, Zr e Hf, o Sn por sua estreita afinidade também pode ser considerado como um metal raro, ocorrendo associado aos elementos citados na maioria dos granitos mineralizados a metais raros mundiais.

No Granito Desemborque a cassiterita ocorre associada ao granito (ponto RG-06-12B) e ao pegmatito (ponto RG-06-02). A cassiterita proveniente do granito apresenta em média

um teor de 98,7% de SnO_2 e 1,2% de Ta_2O_5 não sendo o Nb_2O_5 detectado nas análises realizadas.

Com relação à etapa em que se deu a cristalização da cassiterita, pode-se indicar que a sua composição química, a ausência de inclusões de cassiterita em minerais magmáticos modais ou acessórios (*e.g.* columbita e zircão) do granito e a sua presença restrita nesse corpo rochoso (em bolsões) apontam que ela encontra-se associada às últimas fases de cristalização magmática em estágio pós-magmático (hidrotermal).

Uma outra evidência que também parece indicar para uma origem mais tardia (hidrotermal) da cassiterita do granito seria o fato dela incluir cristais correspondentes aos membros finais (mais tardios) do grupo da columbita. De acordo com Povarennykh *et al.* (1990), os membros finais desse grupo da columbita são enriquecidos em Ta_2O_5 e MnO . A composição química dessas inclusões (ponto RG-06-12B) onde se registrou um baixo teor de Nb_2O_5 (47,3%) e o enriquecimento em Ta_2O_5 (27,5%) e MnO (9,6%) apontam para isso.

A presença de cristais encurvados ou falhados-e-soldados de columbita (Fig. 7.2 a,b) associada a cristais de quartzo (e feldspato) com bordos serrilhados e extinção ondulante, seriam uma evidência da atuação de esforços deformacionais poucos intensos que atuaram em um estágio pós-cristalização magmática. Não há, entretanto, evidência desse processo de deformação ter atuado sobre a cassiterita (cristais sem extinção ondulante). Portanto, acredita-se que tenham ocorrido episódios diferenciados para a formação desses dois minerais econômicos associados ao granito. Desta forma acredita-se que, dos minerais econômicos intrinsecamente relacionados ao granito, a columbita tenha, provavelmente, origem magmática e que minerais como a cassiterita possam ter sido gerados, posteriormente, em estágio pós-magmático (hidrotermal).

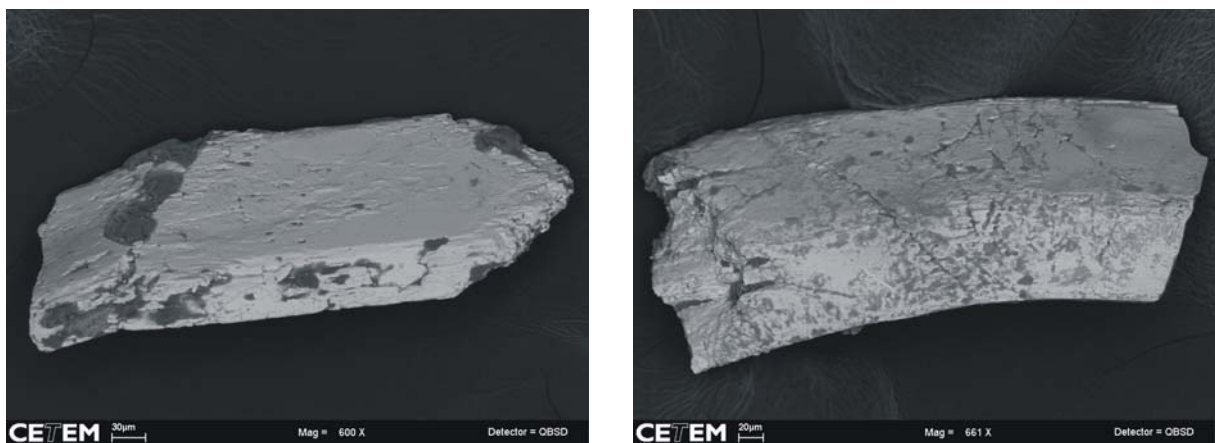


Figura 7.2. a = Imagem de cristal de columbita falhado-e-soldado b = Imagem de cristal de columbita encurvado.

A cassiterita proveniente do pegmatito apresenta em média um teor de 94,1% de SnO₂, 2,5% de Ta₂O₅, 2,1% de Nb₂O₅ e 1,2% de FeO. Ela apresentou uma diminuição do teor de SnO₂ em relação à cassiterita proveniente do granito, (de 98,7% para 94,1%), juntamente com o aumento do teor de Ta₂O₅ (de 1,2% para 2,5%) e o surgimento do Nb₂O₅ na composição da cassiterita com teor de 2,1%.

O enriquecimento em Ta na cassiterita do pegmatito é uma tendência natural em virtude do elemento ficar disponibilizado nas fases finais de cristalização, sendo carregado pelo líquido que gera os pegmatitos, conforme evidenciado por Belkasmí *et al.* (2000).

Esse maior enriquecimento em Ta₂O₅ também se manifesta nas inclusões de columbita-tantalita hospedadas na cassiterita proveniente do pegmatito (ponto RG-06-02), atingindo em média 30,2% (40,4% em média de Nb₂O₅).

A Tabela 7.6 mostra os valores médios dos teores de SnO₂, Ta₂O₅, Nb₂O₅ e FeO₂, da cassiterita em % peso.

Tabela 7.6. Composição média da cassiterita proveniente do granito e do pegmatito.

	Proveniente do granito	Proveniente do pegmatito
SnO ₂	98,7	94,1
Ta ₂ O ₅	1,2	2,5
Nb ₂ O ₅	0,0	2,1
FeO	0,0	1,2

No Granito Desemborque os minerais de ETR (itrofluorita, parisita de Ce, monazita de Ce e óxido de cério) aparecem de quatro maneiras: associado ao granito; como inclusões no zircão do granito; como inclusões no zircão e na columbita do pegmatito.

A associação de minerais exóticos de ETR está relacionada à atividade hidrotermal, sugerindo que durante os últimos estágios de cristalização do magma tipo-A, fluidos enriquecidos F⁻, CO₃ e PO₄ foram ativos (Wang *et al.* 1996). No caso do Granito Desemborque, isso pode ser evidenciado pela forma com que esses minerais se apresentam: pelo seu hábito anédrico, preenchendo fraturas nos cristais e como inclusões hospedadas neles mesmos.

No Granito Desemborque a itrofluorita ocorre como inclusão no zircão do pegmatito e preenchendo uma fratura no grão de quartzo no ponto RG-06-12G (vide fig 7.19a). No ponto RG-06-5A o óxido de Ce também preenche uma fratura em um grão de columbita proveniente do pegmatito (vide fig. 6.22). A monazita de Ce também foi identificada somente na lâmina polida do granito do ponto RG-06-12G, ocorrendo sob a forma de inclusão na itrofluorita.

Esta possui em sua composição química CeO_2 , P_2O_5 , Nd_2O_3 , La_2O_3 , ThO_2 e UO_3 . O hábito anédrico da monazita também aponta para a origem hidrotermal deste mineral.

A itrofluorita possui em média 29,0% de F, 69,0% de CaO e 1,9% de Y_2O_3 .

A parisita de Ce é composta por CeO_2 , La_2O_3 , F e o CaO, com teores médios de 48,6%, 19,2%, 1,9% e 4,6% respectivamente. O Nd_2O_3 possui um teor médio de 9,6%. Os UO_3 , ThO_2 e PbO somam 5% restantes. Parisita de Ce ocorre inclusa na itrofluorita no ponto RG-06-12G (vide fig. 6.21).

Os minerais de Th e U (torita, torianita, torogumita e uraninita) aparecem no Granito Desemborque como inclusões e preenchendo fraturas no zircão do granito e como inclusões no zircão do pegmatito.

As inclusões dos minerais de Th e U preferencialmente em cristais de zircão, seja este proveniente do granito, seja proveniente do pegmatito se justifica devido a afinidade química entre o Zr e esses elementos. No zircão proveniente do pegmatito observou-se um enriquecimento em Hf, Th e U. Os teores médios das análises foram de 9,3% de HfO_2 , 4,8% de ThO_2 e 4,4% de UO_3 .

Conforme já mencionado, o Granito Desemborque apresenta teores de tório acima de 16 ppm (Vasconcelos *et al.* 1999). Dessa forma, esses minerais (torita, torianita e torogumita), além dos teores mais elevados de tório determinados na composição do zircão devem ser os responsáveis pela anomalia gamaespectrométrica determinada neste corpo.

Segundo Pollard (1995), os depósitos hospedados em granitos encontram-se em corpos colocados em níveis crustais relativamente rasos (<4km). Cuney *et al.* (1992), através do estudo de inclusões fluidas do Granito Beauvoir indicaram uma profundidade de *emplacement* de aproximadamente 3 km para este corpo. Para Raimbault *et al.* (1995), foi essa profundidade de colocação do Granito Beauvoir, em torno de três quilômetros, que restringiu a presença de mineralizações apicais (greisens) e periféricas (filões) associados a esse corpo. Nessa profundidade já haveria uma limitação para o desenvolvimento do fraturamento hidráulico o que, conseqüentemente, impediria a plena circulação dos fluidos hidrotermais, dificultando a formação das zonas mineralizadas.

Para Oliveira *et al.* (1987), a mineralização que ocorre associada ao Granito Desemborque seria disseminada e na forma de zonas greisenizadas e albitizadas bem restritas. Como visto acima, pode-se considerar a ausência ou limitação do fraturamento hidráulico como uma das causas para o Granito Desemborque não apresentar concentrações significativas de Nb-Hf-Sn. Analogamente, portanto, também seria lícito considerar uma profundidade de posicionamento semelhante a do Granito Beauvoir para o Granito

Desemborque. Caracterizou-se ainda, a presença da textura granofírica do tipo franja radial por cristais de feldspato bordejados por intercrescimento de quartzo e feldspato alcalino, apontando para um nível crustal raso (subvulcânico?) para o posicionamento do Granito Desemborque.

Em adição, a quase total ausência de concentrações minerais econômicas associadas ao Granito Desemborque poderia ser também imputada ao caráter anídrico do magma (tipo-A) que, por si só, não teria condições de disponibilizar, em um volume adequado, os fluidos necessários para, em um estágio pós-magmático, favorecer os processos de alterações hidrotermais capazes de propiciar a formação de depósitos minerais.

Para Denisenko & Dukhovskiy (1980) dentro de plútons graníticos a mineralização em metais raros geralmente ocorre por volta de 200 a 400 metros das zonas apicais.

Martins *et al.* (2004), estudando o Granito Serra do Paratiú, corpo granítico que compõe a Suíte Serra do Mar e próximo ao Granito Desemborque, indicaram um nível de erosão avançado, no corpo em questão, de cerca de 150 a 180 metros. Pela proximidade entre os corpos, pode-se imputar um nível erosivo equivalente para o Granito Desemborque.

Entretanto, essa hipótese da remoção erosiva da zona de cúpula para explicar a possível ausência de concentrações minerais econômicas - conforme sugerido por diversos autores para este e outros corpos semelhantes encontrados na região do Vale do Ribeira (Oliveira *et al.* 1987, Boin *et al.* 1982, Martins *et al.* 2004) - não se coaduna com os resultados encontrados nas diversas amostras de concentrados de bateia coletadas no cerne do corpo granítico, aonde a constante presença da cromita indicaria a preservação de restos de teto da rocha encaixante (ortognaisses com boudins de rochas ultrabásicas).

7.2. Minerais de metais raros e suas relações com o Granito Desemborque

Através da química mineral por MEV-EDS dos principais minerais a metais raros encontrados associados ao Granito Desemborque foi possível discriminar duas fases evolutivas; uma francamente magmática (granítica e pegmatítica) e uma fase hidrotermal.

A columbita é nitidamente gerada na fase magmática sendo que na subfase granítica ela tem presença ubíqua e caráter disseminado (Figura 8.3). O zircão, por sua vez, ocorre na fase magmática, sendo que na subfase granítica ele teria um caráter mais tardio. Na fase hidrotermal, é que se desenrolariam os processos de enriquecimento em Hf desse mineral.

A cassiterita tem a sua formação na fase magmática (pegmatítica) e na a fase hidrotermal.

Os minerais de ETR e boa parte dos minerais radioativos tem a sua formação restrita a fase hidrotermal.

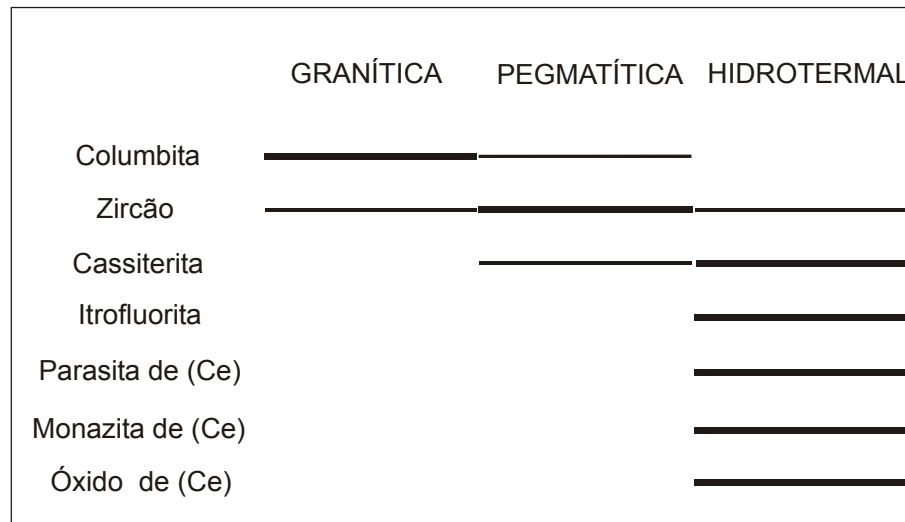


Figura. 7.3. Evolução paragenética dos minerais em metais raros do Granito Desemborque.

7.3 Enquadramento do Granito Desemborque nos modelos correntes

No presente item, em função dos dados obtidos para a elaboração da presente dissertação, procurar-se-á classificar o Granito Desemborque dentro de um dos modelos de plutonitos mineralizados a metais raros disponíveis na literatura internacional.

Com restrições em termos de modelo, o Granito Desemborque poderia se aproximar daquele dos granitos peralcalinos mineralizados a metais raros que formam depósitos ou ocorrências de nióbio, zircônio e terras raras, com um grande conteúdo de lantanídeos pesados e ítrio (Kovalenko & Yarmolyuk 1995).

Os senões, a esse enquadramento prendem-se ao fato de que o Granito Desemborque apesar das características de granitos do tipo alcalino é um tipo peraluminoso e não, peralcalino como o desejado. Além disso, apesar das análises químicas das amostras do granito indicarem certo enriquecimento em Y (até 217 ppm) e de terem sido determinados alguns minerais contendo esse elemento nas suas composições, cabe mencionar que o mineral de ítrio mais comum, o xenotímio, e um dos principais minerais que contém elementos terras raras, a monazita, só foram registrados como traços nos concentrados de bateia efetuados nos sedimentos retirados das drenagens da área. Os potenciais minerais de Y e ETR registrados no Granito Desemborque ocorrem, particularmente, como inclusões minerais (poucas) hospedadas nos grãos de cassiterita (ítriocolumbita) e na forma de itrofluorita.

8. CONCLUSÃO

O Granito Desemborque foi individualizado e tratado como um corpo à parte em função de algumas características muito próprias: por ser um corpo a columbita; por apresentar uma feição circular; pela sua assinatura aerogamaespectrométrica distinta; pelos diferentes estados de oxidação em que se encontram os corpos (Desemborque, reduzido e Azeite, oxidado); e pelos padrões de alinhamentos topográficos, estruturais e de drenagem diferenciados.

As amostras do Granito Desemborque apresentam quimicamente pequena variação composicional. Corresponde a um granito tipo A, alcalino, com caráter peraluminoso. Tectonicamente corresponde a um granito intraplaca.

A sùmula dos minerais acessórios do Granito Desemborque é representada por: magnetita, martita, columbita, zircão hafnífero, zircão, pirita, molibdenita, cassiterita, fluorita, anfíbólio (tremolita-actinolita), biotita (comum e esverdeada), turmalina e topázio. Os minerais de elementos raros são representados pela columbita, zircão rico em Hf, cassiterita e minerais de ETR.

Foram caracterizadas duas fases de formação dos minerais de elementos raros: uma magmática (granítica e pegmatítica) e outra hidrotermal.

O hábito euédrico/subédrico, tamanho diminuto (170 μm e 125 μm) e por estar inclusa em minerais magmáticos (quartzo e feldspato) apontam para a formação da columbita no estágio inicial da cristalização magmática.

A falta de inclusões de zircão nos minerais magmáticos (inclusive na columbita) corrobora a idéia de que esse mineral cristalizou preferencialmente em uma etapa tardia. As evidências para a sua formação também na fase hidrotermal são relacionadas ao seu enriquecimento em Hf e na presença de uma grande variedade de inclusões de minerais hidrotermais (particularmente os dos elementos terras raras).

A ausência de inclusões de cassiterita em minerais magmáticos modais ou acessórios (columbita, zircão) do granito e a sua presença restrita a certas porções do Granito Desemborque apontam para a sua formação nas últimas fases da cristalização, já em um estágio pós-magmático (hidrotermal).

A origem hidrotermal da cassiterita associada ao granito seria evidenciada pelo fato dela incluir cristais correspondentes aos membros finais (mais tardios) do grupo da columbita.

A fase hidrotermal é a responsável pela formação de uma associação de minerais exóticos de REE como: itrofluorita, parisita de Ce, monazita de Ce e óxido de cério. Esses

minerais geralmente apresentam-se com hábito anédrico e/ou estão preenchendo fraturas nos cristais e como inclusões hospedadas neles mesmos.

Minerais de Th e U como torita, torianita, torogumita e uraninita ocorrem associados (como inclusões e ou exsoluções) à cristais de zircão preferencialmente na fase magmática pegmatítica.

A presença de minerais de Th e os teores mais elevados de tório determinados na composição do zircão são provavelmente os responsáveis pela anomalia gamaespectrométrica em tório determinada neste corpo.

O Granito Desemborque, em termos de modelo, se aproxima dos granitos peralcalinos mineralizados a metais raros possuidores de depósitos ou ocorrências de nióbio, zircônio e terras raras e com um grande conteúdo de lantanídeos pesados e ítrio. As restrições a esse enquadramento são as de que o Granito Desemborque corresponde a um granito do tipo alcalino e que apesar de possuir certo enriquecimento em Y (até 217 ppm), os minerais xenotímio e monazita não fazem parte da sua composição mineralógica.

Os potenciais minerais de Y e ETR registrados no Granito Desemborque ocorrem, particularmente, como inclusões minerais (poucas) hospedadas nos grãos de zircão (itrofluorita) e de itrofluorita (parasita de Ce e monazita de Ce).

A falta de concentrações minerais econômicas de Nb-Hf-Sn associadas ao Granito Desemborque pode ser imputada ao caráter anédrico do magma (tipo-A), a ausência ou limitação do fraturamento hidráulico. A ausência de concentrações minerais econômicas em virtude da remoção erosiva da zona de cúpula, conforme sugerido por diversos autores para este e outros corpos semelhantes encontrados na região do Vale do Ribeira não se coaduna com os resultados prospectivos encontrados, onde a constante presença da cromita nas amostras coletadas no cerne do corpo granítico indica a preservação de restos de pendentes de teto da rocha encaixante (ortognaisses com boudins de rochas ultrabásicas).

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. de, HASUI, Y., BRITO NEVES, B.B. 1976. The Upper Precambrian of South America. *Bol. IG-USP*, São Paulo, **7**: 45-80.
- BASEI, M.A.S., SIGA JÚNIOR, O., MACHIAVELLI, A., MANCINI, F., 1992. Evolução tectônica dos terrenos entre cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR-SC). *Rev. Bras. Geoc.* **22**(2): 216-221.
- BATCHELOR, R.A., BOWDEN, P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rocks series using multicationic parameters. *Chem. Geol.*, **48** (1), 43-55.
- BELKASMI, M., CUNEY, M., POLLARD, P.J., BASTOUL, A. 2000. Chemistry of Ta-Nb-Sn-W oxide minerals from the Yichun rare metal granite (SE China): genetic implications and comparison with Moroccan and French Hercynian examples. *Mineralogical Magazine*, **64**(3): 507-523.
- BEUS, A.A. 1982. Metallogeny of Precambrian rare-metal granitoids. *Rev. Bras. Geoc.* **12**(1-3): 410-413.
- BOIN, M.N., SILVA, J.R.B., SILVA, R.B., MELLO, I.S.C. 1982. Mineralizações polimetálicas hidrotermais, associadas aos granitóides alcalinos de Mandira, SP. *In: Cong. Bras. Geol.*, 22. *Anais*, v.3, p. 945-955.
- BOYNTON, W.V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth element: meteorite studies. *In: Henderson, P. (ed.), R. Earth Element Geochem.* Amsterdam, Elsevier, pp: 63-114.
- CAMPAGNOLI, F. 1996. Considerações sobre a seqüência Turvo Cajati, na região do Alto Rio Jacupiranguinha (SP). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 93 p.
- CAMPO NETO, M.C. 2000. Orogenic Systems from Southwestern Gondwana: na approach to Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage in southeastern Brazil. *In: CORDANI, U.G. & MILANI, E.J. & THOMAZ FILHO, A. & CAMPOS, D.A. Tectonic Evolution of South América*, Rio de Janeiro, 2000, p. 335-365.
- CORDANI, U.G. & BITTENCOURT, I. 1967. Determinações de idades potásio/argônio em rochas do Grupo Açungui. *In: SBG, Cong. Bras. Geol.*, 21, *anais*, p. 159-165.
- _____; KAWASHITA, K. 1971. Estudos geocronológicos pelo método Rb/Sr de rochas graníticas intrusivas no Grupo Açungui. *In: SBG, Cong. Bras. Geol.*, 25, *anais*, v.1, p. 105-110.

- _____; GIRARDI, V.A.V., GOMES, C.B., LELLIS, H.S., MELCHER, G.C., MELFI, A.J. 1971. Geologia da Folha Eldorado (SP). *In*: SBG, Cong. Bras. Geol., 25, *anais*, p. 176.
- CUNEY, M., MARIGNAC, C., WEISBROD, A. 1992. The Beauvoir Topaz-Lepidolite Albite Granite (Massif Central, France): The disseminated magmatic Sn-Li-Ta-Nb-Be mineralization. *Economic Geology*, **87**(3):1766-1794.
- DENISENKO, V.K., DUKHOVSKIY, A.A. 1980. Three-dimensional models of rare-metal ore zones. *Transactions (Doklady) of the USSR Academy of Sciences*. **252**: 69-71.
- DOSTAL, J., CHATTERJEE, A.K. 2000. Contrasting behaviour of Nb/Ta and Zr/Hf ratios in a peraluminous granitic pluton (Nova Scotia, Canada). *Chemical Geology*, 163: 207-218.
- GAINES, R.V., SKINNER, H.C.W., FOORD, E.E., MASON, B. Dana's New Mineralogy. 8^a ed. New York: John Wiley & Sons, Inc; 1997.
- HASUI, Y & OLIVEIRA, M.A.F. 1984. Províncias Mantiqueira setor central. *In*: Almeida, F.F.M. de & Hasui, Y. (eds.). *O Pré-cambriano do Brasil*. Edgard Blücher, pp.: 308-344.
- _____; CARNEIRO, C.D.R., COIMBRA, A.M. 1975. The Ribeira folded belt. *Rev. Bras. Geoc.* **5**(4): 257-262.
- HUANG, X.L., WANG, R.C., CHEN, X.M., HU, H., LIU, C.S. 2002. Vertical variations in the mineralogy of the Yichun Topaz-lepidolite Granite, Jiangxi Province, southern China. *The Canadian Mineralogist*, 40: 1047-1068.
- IBGE, 1987. Folha Rio Guaraú 1:50.000SG-22-X-B-VI-4. Mapa Topográfico.
- ISHIHARA, S. 1979. The magnetite-series and ilmenite – series granitoids and their bearing on tin mineralization, particularly of the Malay Península region. *Geol. Soc. Malaysia Bulletin*. **11**:103-110.
- KAUL, P.F.T., ISSLER, R.S., FERNANDES, E., BONOW, C.W., COUTINHO, J.B.L. 1984. Suíte Intrusiva Serra do Mar. *Rev. Mineração. e Metalurgia*. **51**(484): 31-37.
- _____. 1997. O magmatismo na Serra do Mar e adjacências (sul do Brasil) no final do Neoproterozóico e seus condicionantes tectônicos. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 293 p.
- _____; CORDANI, U.G. 2000. Geochemistry of the Serra do Mar granitoid magmatism and tectonic implications, southern Brazil. *Rev. Bras. Geoc.* **30**(1): 115-119.

- KOVALENKO, V.I., 1978. The genesis of rare metal granitoids and related ore deposits. *In*: STEMPROK, M., BURNOL, L., TISCHENDORF, G., eds. Metalization associated with acid magmatism, v.3, Prague Geological Survey p.235-247.
- _____; KOVALENKO, N.I. 1976. Ongonites (topaz-bearing quartz-keratophyres) subvolcanic analogues of rare-metal Li-F granites. Nauka, 124p.
- _____, YARMOLYUK, V.V. 1995. Endogenous rare metal ore formations and rare metal Metallogeny of Mongolia. *Economic Geology*, **90**(3):530-547.
- LAHTI, S. I. 1987. Zoning in columbite-tantalite crystals from the granitic pegmatites of Erajarvi area, southern Finland. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51: 509-517.
- LEHMANN, B. 1990. Metallogeny of tin. Berlin, Springer-Verlag, 211p.
- MARINI, O.J., TREIN, E., FUCK, R.A. 1967. O Grupo Açungui no Estado do Paraná. *Boletim Paranaense Geociências*, Curitiba, 23/25: 43-104.
- MARINE, O.J., QUEIROZ, E.T., RAMOS, B.W. 2005. Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia. ADIMB/DNPM. Brasília, DF.
- MARTINS, F.A.G., SILVA, A.C.G., OLIVEIRA, M.C.B. 2004. Petrografia, petroquímica e metalogenia do Granito Serra do Paratiú, Cananéia, Estado de São Paulo. *Bol. Paranaense de Geociências*, **54**:19-39.
- MORTEGAL, A., BATOLLA JÚNIOR, F., PINTO, G.G., PAIVA, I.P., DRUMOND, J.B.V. 1975. Projeto Sudelpa: relatório final. São Paulo:CPRM, 18V.
- NASCIMENTO, M.A.L, SOUZA, Z.S., NASCIMENTO, R.S.C., GALINDO, A.C. 2003. *Rev.Bras. Geoc.* **33**(2): 225-236.
- CORREIA NEVES, J.M.; LOPES NUNES, J.E. & SAHAMA, G. 1974. High hafnium of the zircon-hafnion series from the granite pegmatites of Zambézia, Mozambique. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **48**(1): 73-80.
- OLIVEIRA, M.C.B, RODRIGUES, E.P. COUTINHO, J.M.V., MARTINS, F.A.G., FIGUEIREDO, M.C.H., ZAPAROLLI, L.H., 1987. Petrologia de parte do maciço granítico Guaraú - SP. *In*: SBG, Simp. Sul-Brasileiro Geol., *Atas*, v. **2**: 571-594.
- PASSARELLI, C.R. 2001. Caracterização estrutural e geocronológica dos domínios tectônicos da porção sul-oriental do Estado de São Paulo. Inst. Geociências, USP, São Paulo, Tese de Doutorado, 254 p.
- _____. 2004. Geocronologia e geologia isotópica dos terrenos pré-cambrianos da porção sul-oriental do Estado de São Paulo. *Rev. USP Sér. Cient.* **4**(1): 55-74.

- PEARCE, J.A., HARRIS, N.B.W., TINDLE, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Jour. Petrol.*, **25**(4): 956-983.
- PEREIRA, R.M., ÁVILA, C.A., MENDES, J.C., NEUMANN, R., CASTRO, C.C. 2007. Granito Desemborque: exemplo de corpo a metais raros (Nb, Zr, Hf) e estanho no Estado de São Paulo. *Rev.Bras. Geoc. (aceito)*.
- PIEKARZ, G.F. 1981. Reconhecimento de unidades correlacionáveis à seqüência mineralizada do Perau, Estado de São Paulo. *In: SBG, SIMP. REG. DE GEOL, 3, Atas, v. 1: 148-154.*
- POLLARD, P.J. 1995. Geology of rare metal deposits: an introduction and overview. *Economic Geology*, **90**(3):489-494.
- _____; NAKAPADUNGRAT, S., TAYLOR, R.G. 1995. The Phuket Supersuite, southwest Thailand: Fractionated I-type granites associated with tin-tantalum mineralization. *Economic Geology*, **90**(3):586-602.
- POVARENENYKH, M.Y., KULIKOVA, I.M., DYAKIN, V.I., POGIBEL'NYY, A.A. 1990. Composition, physical properties, distribution and relationships of tantalite-columbite and wolframite in different fácies of a rare-metal granite pluton. *Transactions (Doklady) of the USSR Academy of Sciences*.**303**(4): 191-195.
- PUPPIN, J.P. 1980. Zircon and granite petrology. *Contrib. Mineral. Petrol*, **73**: 207-220.
- RAIMBOULT, L., CUNEY, M., AZENCOTTE, C., DUTHOU, J.L., JORON, J.L., 1995. Geochemical evidence for a multistage magmatic genesis of Ta-Sn-Li meralization in the granite at Beauvoir, French Massif Central. *Economic Geology*, **90**:548-576.
- RUCHENG, W., GUANGTAO, Z., DEZI, W., JIANJUN, L., SHIJIN, X. 2000. Differentiation and accumulation of fluids in A-type granites: Evidence from accessory mineral study. *Chinese Science Bulletin*, **45**(17): 1609-1613.
- SCHWARTZ, M.O. 1992. Geochemical criteria for distinguishing magmatic and albite-enrichment in granitoids – examples from the Ta-Li granite Yichun (China) and the Sn-W deposit Tikus (Indonesia). *Mineral Deposita*. **27**: 101-108.
- SIGA JR, O. 1995. Domínios tectônicos do sudoeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina: geocronologia e evolução crustal. Inst. Geociências, USP, São Paulo, Tese de Doutorado, 212p.
- STRECKEISEN, A.C. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Sci. Rev.*, **12**, p.1-33.

- VASCONCELOS, C.S., DEHLER, N.M., YAMATO, L. A., LOPES Jr., I, OBATA, O.R., SINTONI, A. 1999. Projeto Jacupiranga-Rio Guaraú. Convênio Secretaria de Estado de Energia / CPRM - Serviço Geológico do Brasil, São Paulo.
- WANG, R.C., FONTAN, F., XU, S J., CHEN, X.M., MONCHOUX, P. 1997. the association of columbite, tantalite and tapiolite in the Suzhou Granite, China. *The Canadian Mineralogist*, 35: 699-706.
- _____; ZHAO, G.T., LU, J.J., CHEN, X.M., XU, S.J., WANG, D.Z. 2000. Chemistry of Hf-rich zircons from the Laoshan I- and A-type granites, Eastern China. *Mineralogical Magazine*, Wang et al 2000 (5): 867-877.
- _____; FONTAN, F., XU, S.J., CHEN, X.M., MONCHOUX, P. 1996. Hafnian zircon from the apical part of the Suzhou Granite, China. *The Canadian Mineralogist*, 34: 1001-1010.
- WHALEN, J.B., CURRIE, K.L., CHAPPELL, B.W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petrol*, **95**: 407-419.
- WILLIAMS, H., TURNER, F.J. & GILBERT, C.M. 1970. *Petrografia*. Editora Polígono, São Paulo, SP.

ANEXO A

Ao todo, analisaram-se seis seções polidas no MEV-EDS, enumeradas abaixo com a quantidade, o mineral, gênese e ponto de ocorrência:

1. Quatro grãos de columbita-tantalita do granito (ponto RG-06-12D);
2. Dez grãos de cassiterita do granito (ponto RG-06-12B);
3. Três grãos de cassiterita do pegmatito (ponto RG-06-02);
4. Dez grãos de zircão do granito (cinco do ponto RG-06-07 e cinco do ponto RG-06-04);
5. Cinco grãos de zircão do pegmatito (ponto RG-06-02 e 5E);
6. Seis grãos de zircão do pegmatito (ponto RG-06-05A).