

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Magmatismo granítico e alteração hidrotermal: exemplo do Pluton
Desembarque, Maciço Guaraú (SP), Província Graciosa

Rodolfo Pedroso Garcia

Orientador: Prof. Dr. Silvio Roberto Farias Vlach

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2011 /45)

SÃO PAULO
2011

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Magmatismo granítico e alteração hidrotermal: exemplo do Pluton
Desemborque, Maciço Guaraú (SP), Província Graciosa

Rodolfo Pedroso Garcia



Orientador: Prof. Dr. Silvio Roberto Farias Vlach

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2011 /45)

DEDALUS - Acervo - IGC



30900030267

SÃO PAULO
2011

TF
G.2.16
RP.m

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Magmatismo granítico e alteração hidrotermal: exemplo do Pálio
Bosamborue, Maciço Guama (SP), Província Graciosa



Roberto F. de Sá

Orlando, Prof. Dr. Roberto F. de Sá

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FUNDAMENTAÇÃO
(11-2011/2012)

SÃO PAULO
2012

Agradecimentos

Aos meus pais pela confiança nas minhas escolhas e por todo o suporte do mundo.

Ao meu irmão, Roberto, por ser calmo, paciente e prestativo além de meu melhor companheiro.

Ao Silvio pela amizade, dedicação, paciência e bom humor. Obrigado pela orientação nesses 4 anos, sem dúvida, devo a maior parte do geólogo que serei a você.

A república Panapia em toda a sua totalidade e as safras geológicas 2005 e 2006.

Ao companheiro Átila pela ajuda nos trabalhos de campo e de FRX e a Marcos Mansueto por todo o auxílio na microsonda .

Agradeço a Sabugo pelos suprimentos de informática (pen drives e mouse) e apoio moral e por ser o melhor despertador que já tive.

Ao CNPq e Fapesp pelo apoio financeiro.

Rodolfo P. Garcia

Rodolfo Pedroso Garcia

Silvio Roberto Farias Valch

RESUMO

O pluton Desembarque, de idade neoproterozóica, é parte do denominado Maciço Guaraú, aflorante na região sul do estado de São Paulo. É composto por biotita sienogranitos a álcali feldspato granito, metaluminosos a moderadamente peraluminosos, que apresentam assinaturas geoquímicas típicas de granitos de tipo-A, como conteúdos relativamente altos de álcalis, além de concentrações significativas de elementos LIL e HFS. Além disso, é um bom exemplo de rochas graníticas que apresentam alteração hidrotermal em graus variáveis, claramente evidenciados tanto pelas texturas quanto pelas composições registradas em seus minerais essenciais e acessórios.

Os feldspatos alcalinos são pertitas ou mesopertitas zonadas. Algumas composições químicas integradas exibem valores entre $Or_{53-58}Ab_{42-46}$ (núcleos) e $Or_{68-71}Ab_{29-32}$ (bordas). A maior parte das composições obtidas dos plagioclásios correspondem a albita, com poucos cristais classificados oligoclásio sódico. Albita pura e pós magmática ocorre intersticialmente aos feldspatos ou como microvenulações. As principais fases máficas são micáceas, e três principais tipos foram reconhecidos: biotitas castanhas (annita) e esverdeadas (protolitionita-siderofilita) aparecem como fases primárias, enquanto zinwaldita é de origem pós-magmática, relacionada a alteração hidrotermal de feldspatos como também das micas primárias, claramente retratadas em alguns greisens.

Minerais acessórios foram examinados e estudados com imageamento BSE e análises quantitativas por EDS. Os mais comuns são: zircão, allanita, torita, cassiterita, galena, hematita, ilmenita, monazita, xenotímia, columbita e fluoretos de terras raras. Entre eles, os primários (e.g. zircão, allanita e cassiterita) exibem microestruturas ou transformações químicas relacionadas à alteração hidrotermal, enquanto outros foram desenvolvidos durante este processo, como hematita, galena, xenotima e fluoretos de elementos terras raras.

Os granitos típicos do Desembarque são relativamente homogêneos com um estreito intervalo composicional, como SiO_2 (76-77% em peso), álcalis (Na_2O até 4,1 % e K_2O até 4,5 %), Al_2O_3 (ca. 12%) e Fe_2O_3 (~1%). Outros óxidos comuns contribuem com concentrações bem baixas (CaO : 0,5 %, MnO , TiO_2 e P_2O_5 inferiores a 0,03%, 0,05% e 0,005%, respectivamente). Os valores de MgO encontram-se próximos ou mesmo abaixo do limite (0,01%) As rochas hidrotermais exibem relativo enriquecimento em Fe_2O_3 (5,27 % em peso para o greisen) e empobrecimento em

Na₂O (0,26%); F, Rb, Y e Zn encontram-se relativamente enriquecidos nessas amostras.

As temperatura de saturação em Zr fornecem valores entre 750-800° C, se aproximando bastante do líquido de tal sistema magmático. Dados geológicos, petrográficos e normativos indicam colocação em níveis rasos, com pressões não muito maiores que 1 kbar e cristalização em fugacidades de oxigênio relativamente baixas.

ABSTRACT

The Neoproterozoic Desemborque Pluton is a part of the so-called Guaraú Granitic Massif, which crops out in the southern region of the state of São Paulo. It is made of metaluminous to moderately peraluminous biotite sienogranites and alkali-feldspar granites which present geochemical signatures most typical of A-type granites, as for the relatively high total alkali, LILE and HFSE contents. Moreover, it is a good example of granitic rocks which present hydrothermal alteration imprints to a variable grade, as clearly evidenced by textural as well as compositional features registered in its essential and accessory minerals.

Alkali-feldspars are zoned perthite or meso-perthite. Some integrated chemical compositions gave values between $Or_{53-58}Ab_{42-46}$ (crystal cores) and $Or_{68-71}Ab_{29-32}$ (crystal rims). Most of the obtained plagioclase compositions correspond to albite, a minor number being classified as sodic oligoclase. Post-magmatic, almost pure albite, occurs interstitially to feldspars or as minor veinlets. Micas are the main mafic minerals and three main types were recognized: red-brown annitic biotite and a green protolithionite-siderofilite appear as primary phases, while a zinwaldite-like mica is of post-magmatic origin, related to the hydrothermal alteration of feldspars as well as of the primary micas, as clearly depicted in some greisens.

Accessory minerals were examined and studied with BSE imaging and EDS qualitative analysis. The most common are zircon, allanite, thorite, cassiterite, galena, hematite, ilmenite, monazite, xenotime, columbite, fluorite and REE fluorides. Among them, the primary ones (e.g., zircon, allanite, cassiterite) show micro-structural or chemical transformations related to the hydrothermal alteration, while others were developed during such process, as for hematite, galena, xenotime, and the REE fluorides.

The main Desemborque granites are relatively homogenous, with a narrow chemical compositional range as for SiO_2 (76-77% wt %), alkalis (Na_2O up to 4.1 % e K_2O up to 4.5 %), Al_2O_3 (ca. 12%) e Fe_2O_3 (~1%). Other common oxides contribute with very low concentrations (CaO : 0,5 %, MnO , TiO_2 and P_2O_5 lower than 0,03%, 0.05% and 0.005%, respectively). MgO contents are close or even below normal detection limits (0.01 wt.%). Hydrothermal rocks show relatively Fe_2O_3 enrichment (up to 5.3 wt.% in the greisen sample) and depletion in Na_2O (down to 0.26 wt.%); F, Rb, Y, and Zn are relatively enriched as well in these rocks.

Zircon saturation temperature gives values in the 750-800° C range, which approaches well the liquidus of such magmatic system. Geologic, petrographic, and

normative data indicate relative lower emplacement levels, at pressures no greater than ca. 1 Kbar, and crystallization under a relatively low f_{O_2} .

Sumário

1.Introdução.....	1
2.Objetivos.....	1
3.Revisão Bibliográfica e Métodos.....	2
3.1 A Província Graciosa.....	2
3.2 O Maciço Guaraú.....	4
3.3 Materiais e Métodos.....	8
4. Geologia Geral e Petrografia.....	11
4.1 Geologia Local.....	11
4.2 Susceptibilidade Magnética.....	13
4.3. Petrografia Microscópica	14
4.3.1 Rochas graníticas	14
4.3.2. Rochas associadas aos estágios tardi- a pós magmáticos	18
4.4 Quantificação modal.....	20
5- Mineralogia e Química Mineral.....	21
5.1 Minerais essenciais: micro-estruturas e química mineral.....	21
5.1.1 Grupos dos Feldspatos.....	21
5.1.2 Os grupos da micas.....	25
5.2 Minerais acessórios: caracterização e micro-estruturas.....	36
5.2.1 Silicatos.....	37
5.2.2. Óxidos.....	39
5.2.3 Sulfetos.....	41
5.2.4 Fluoretos.....	41
5.2.5 Fosfatos.....	42
6. Geoquímica de rocha total.....	43
6.1 Apresentação do resultados.....	43
6.2Classificação Geoquímica das Rochas Graníticas.....	44
6.3 Caracterização geoquímica das rochas hidrotermalizadas.....	52
7. Condições de Cristalização.....	54
8. Discussões e Conclusões.....	55
 Referências Bibliográficas	 58

1.Introdução

Províncias magmáticas de granitos e rochas associadas de “tipo-A”, colocados em ambientes extensionais, ocorrem desde o arqueano até o presente no planeta. Diversas são caracterizadas pela ocorrência de minerais de minério, que concentram elementos de importância econômica (Sn, Nb, Ta, U, Elementos Terras Raras (ETR), etc., (cf. Eby, 1990; Pitcher, 1993). Estes minerais são formados particularmente durante os estágios tardi- a pós-magmáticos de evolução das rochas hospedeiras, em resposta à interação destas com fluídos residuais e/ou derivados das encaixantes regionais e se concentram particularmente em *greisens* e outras rochas geradas pela atividade hidrotermal (Taylor, 1979).

A Província Graciosa de granitos e sienitos neoproterozóicos que aflora na região S-SE do Brasil (Gualda e Vlach, 2007) não é exceção. Os trabalhos geológicos, mineralógicos e petrológicos que vem sendo desenvolvidos pelo orientador e estudantes com apoio do CNPq e da FAPESP (e.g., Vilalva, 2008; Vlach e Vilalva, 2007; Garcia e Vlach, 2010) ao lado da bibliografia existente (e.g., Oliveira et al., 1987; Vasconcellos et al 1999 a e b) mostram que a evolução do magmatismo conduziu a concentração de elementos LIL (*Large Ion Litophile*) e HFS (*High Field Strength*) em plutons graníticos de afinidades tanto peralcalinas quanto moderadamente peraluminosas. Diversos *greisens* e metassomatitos hidrotermais com cassiterita e columbita-tantalita, entre outros minerais de minério, são descritos associados às rochas peraluminosas, particularmente nos Maciços Graníticos Mandira e Guaraú, Sul do Estado de São Paulo (Oliveira et al., 1987; Pereira et al, 2007).

Embora algumas ocorrências estejam descritas com significativo detalhe geológico, petrográfico e mineralógico (e.g., Oliveira et al., 1987), faltam informações texturais, micro-estruturais e particularmente geoquímicas em rocha total e minerais que, integradas, permitam identificar e reconstruir possíveis trajetórias evolutivas, bem como avaliar eventuais assinaturas metalogenéticas

A integração das informações obtidas representa significativo avanço para o conhecimento da evolução do magmatismo e do hidrotermalismo no maciço com implicações metalogenéticas.

2.Objetivos

Este projeto visa (1) caracterização geológica e estrutural de ocorrências selecionadas de biotita granitos, pegmatitos, aplitos e rochas hidrotermais associadas ao Maciço Guaraú, com destaque para a Unidade Desemborque, (2) identificar e

definir as micro-estruturas, texturas, mineralogia e seqüências de cristalização em amostras representativas, (3) quantificar as composições químicas das fases minerais principais presentes e suas variações no tempo e espaço, (4) identificar e caracterizar a assinatura geoquímica das rochas magmáticas e hidrotermais da Unidade Desembarque e compará-las com províncias similares de interesse econômico, (5) integrar os dados obtidos para avaliar possíveis modelos evolutivos. A integração das informações representará significativo avanço para o conhecimento da evolução do magmatismo e do hidrotermalismo no maciço, com possíveis implicações metalogenéticas.

3.Revisão Bibliográfica e Métodos

3.1 A Província Graciosa

A Província Graciosa, formada há ca. 580 Ma (Gualda & Vlach 2007, Vlach et al., 2006) e definida inicialmente por Kaul (1984) como Suíte Intrusiva Serra do Mar, localiza-se na região sul-sudeste do Brasil, entre as regiões sudeste de São Paulo e nordeste de Santa Catarina (Figura 1).

A região é caracterizada por apresentar mais de uma dezena de ocorrências importantes de plútons graníticos e sieníticos, dispostos em geral de forma subparalela à costa atlântica do continente sul americano e ao longo das escarpas da Serra do Mar.

Em sua maior parte, esses plutons são intrusivos em rochas arqueanas da placa Luiz Alves, constituída por gnaissés granulíticos do Complexo Granulítico Santa Catarina (Figueiredo et al., 1991) formados em pelo menos dois eventos metamórficos de alto grau, um Transamazônico (1,8 – 2,2 Ga) e outro, mais antigo, com idades entre 2,6 e 2,7 Ga, e em rochas da microplaca Curitiba, composta por gnaissés e migmatitos do Complexo Atuba (Siga Jr et al., 1995), também formados no Transamazônico, com migmatização no Ciclo Brasileiro (620-550 Ma) e granitóides deformados com idades do Ciclo Brasileiro (720 Ma U-Pb e 580 Ma Rb-Sr). Outros três domínios tectônicos são relevantes para o contexto geológico regional: os Cinturões Ribeira e Dom Feliciano, ambos formados durante o Pan-Africano, em duas principais orogenias (Brasileiro I, de 650-600 Ma e Rio Doce, entre 600-535 Ma), ao norte e ao sul respectivamente da região enfocada, e o cinturão Granitóide Costeiro ou Domínio Paranaguá, que é composto de monzogranitos porfíricos, leucogranitos com duas micas, também de idades brasileiras (ca. 600-620 Ma). Metassedimentos

neoproterozóicos da Sequência Rio das Cobras (ca. 580 – 610 Ma, Helibron et al., 2004, Prazeres Filho et al., 2003) afloram principalmente para Leste dos plutons que compõem a província.

Os granitos e sienitos da Província Graciosa (cf. Figura 1) distribuem-se de forma aproximadamente paralela ao contato entre o Domínio Paranaguá e o bloco formado pelas placas Luiz Alves e Curitiba, sendo intrusivos nesse último bloco (Kaul 1984, Siga Jr et al. 1993). Algumas ocorrências cortam os metassedimentos do Complexo Costeiro. As principais ocorrências incluem os plutons que afloram na região da Serra da Graciosa (cf. Gualda & Vlach, 2007) e os plutons Guaraú, Alto Turvo, Agudos, Dona Francisca, Pirai e Corupá, além do Complexo Morro Redondo (e.g. Kaul, 1997).

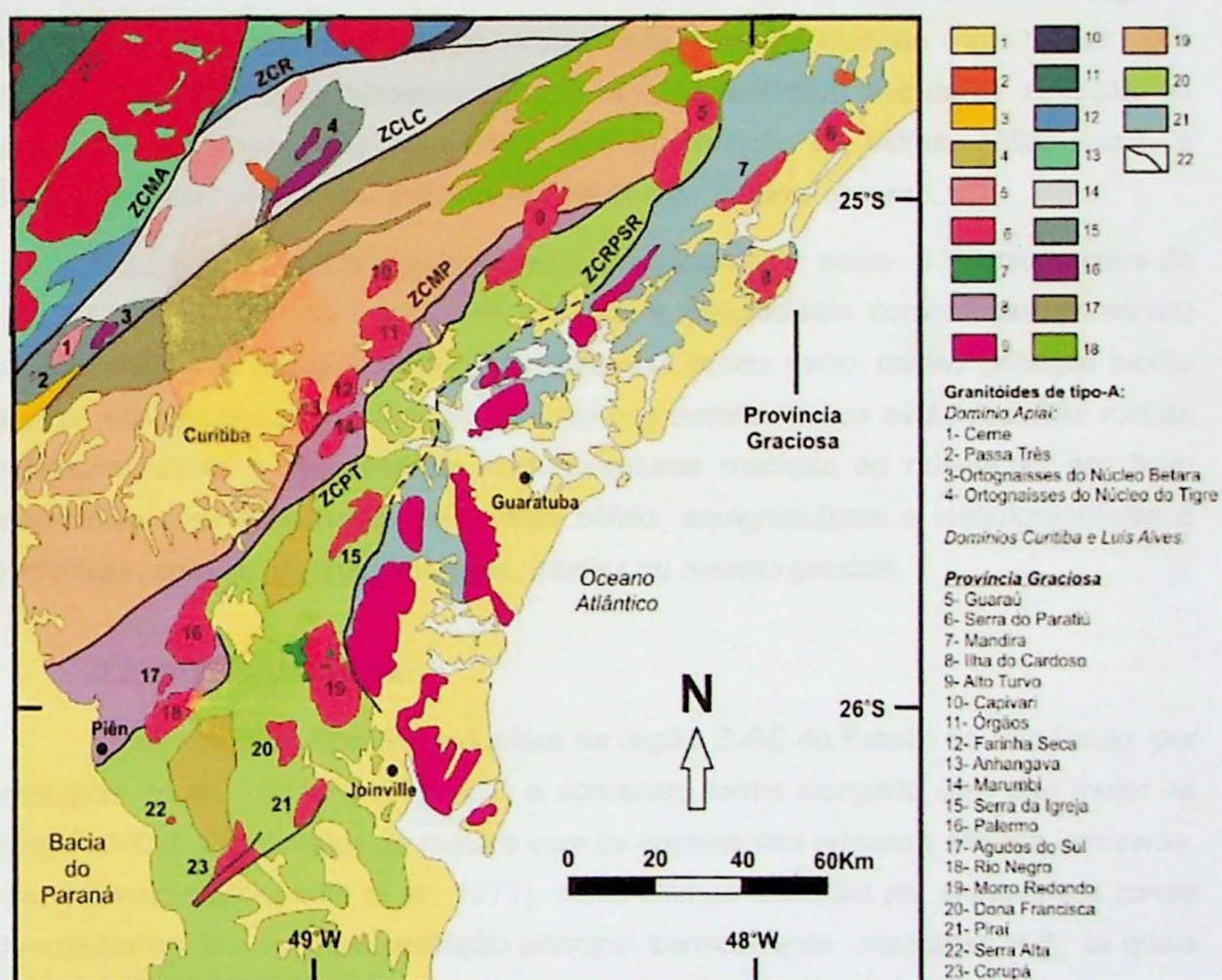


Figura 1. Mapa geológico esquemático das principais unidades geológicas do sul-sudeste brasileiro (adaptado e modificado de Prazeres Filho et al., 2003 e Helibron et al., 2004): 1 - Coberturas Fanerozóicas; 2 - Complexos alcalinos mesozóicos; 3 - Bacia Eopaleozóica; 4 - Bacias Neoproterozóicas; [Neoproterozóico] 5 - Stocks graníticos de características de tipo-A do Domínio Apiaí; 6 - Granitos e sienitos de tipo-A da Província Graciosa; 7 - Batólito cálcio-alcalino Piên-Mandirituba; 8 - Batólito Paranaguá; **DOMÍNIO APIAÍ:** 9 - Batólito Três Córregos e Stocks graníticos menores; 10 - Formação Iporanga; 11 - Grupo Itaiacoca; 12 - Subgrupo Lageado; [Mesoproterozóico] 13 - Formação Águas Claras; 14 - Formação Votuverava; [Paleoproterozóico] 15 - Formação Perau; 16 - Núcleos granito-gnáissicos alcalinos (tipo-A); **DOMÍNIO CURITIBA:** [Neoproterozóico] 17 - Formação Capiru; 18 - Sequência Turvo-Cajati; [Paleoproterozóico] 19 - Complexo Atuba; **DOMÍNIO LUÍZ ALVES:** [Arqueano-Paleoproterozóico] 20 - Complexo Granulítico de Santa Catarina; **DOMÍNIO PARANAGUÁ:** [Neoproterozóico] 21 - Metassedimentos protomiloníticos

(Sequência Rio das Cobras); 22 - Zonas de cisalhamento (ZCI: Zona de Cisalhamento Itapirapuã; ZCMA: Morro Agudo; ZCR: Ribeira; ZCLC: Lancinha-Cubatão; ZCMP: Mandirituba-Piraquara; ZCRPSR: Rio Palmital-Serrinha; ZCPT: Piên-Tijucas.

O volume mais significativo das rochas intrusivas está constituído por variedades metaluminosas e fracamente peraluminosas; rochas tipicamente peralcalinas são menos abundantes (Gualda e Vlach 2007). De acordo com estes autores e a exemplo de diversas outras províncias conhecidas (e.g., Pitcher, 1995), as rochas graníticas e sieníticas podem ser agrupadas em duas associações petrográficas principais, uma denominada alcalina, outra aluminosa (e/ou subalcalina).

A associação alcalina está constituída principalmente por álcali-feldspato sienitos e álcali-feldspato granitos *hipersolvus* (com um único feldspato alcalino como fase primária), variando de carácter metaluminoso a peralcalino (Gualda & Vlach 2007) que apresentam olivina faialítica, piroxênios da série egrina-augita ou hedenbergita e anfibólios sódico-cálcicos e sódicos como fase minerais máficas mais típicas. São rochas leucocráticas a hololeucocráticas que apresentam estruturas maciças ou orientadas por fluxo magmático e/ou por deformação de estado sólido, equi- a inequigranulares com granulações finas, médias ou mesmo grossas.

A associação aluminosa apresenta principalmente sieno- e monzogranitos de natureza *subsolvus* (com feldspato alcalino e plagioclásio como fases primárias) metaluminosos a marginalmente peraluminosos tendo como máfico principal biotita anítica, acompanhada por anfibólio cálcico nos termos menos evoluídos. São rochas hololeucocráticas a leucocráticas com estruturas maciças ou orientadas por fluxo magmático e/ou deformação de estado sólido, equigranulares a inequigranulares e porfíricas, com de granulações finas, médias ou mesmo grossas.

3.2 O Maciço Guaraú

O Maciço Granítico Guaraú aflora na região S-SE do Estado de São Paulo por uma área de ca. 100 km² (Figura 2) e apresenta forma alongada com eixo maior na direção N37E. Os contatos do maciço com as encaixantes regionais são ora intrusivos, ora tectônicos (Morgental et al., 1975), estes últimos definidos por expressivas zonas de cisalhamento com movimentação principal transcorrente, orientadas N-S, as quais marcam os limites oriental e ocidental da parte N do maciço.

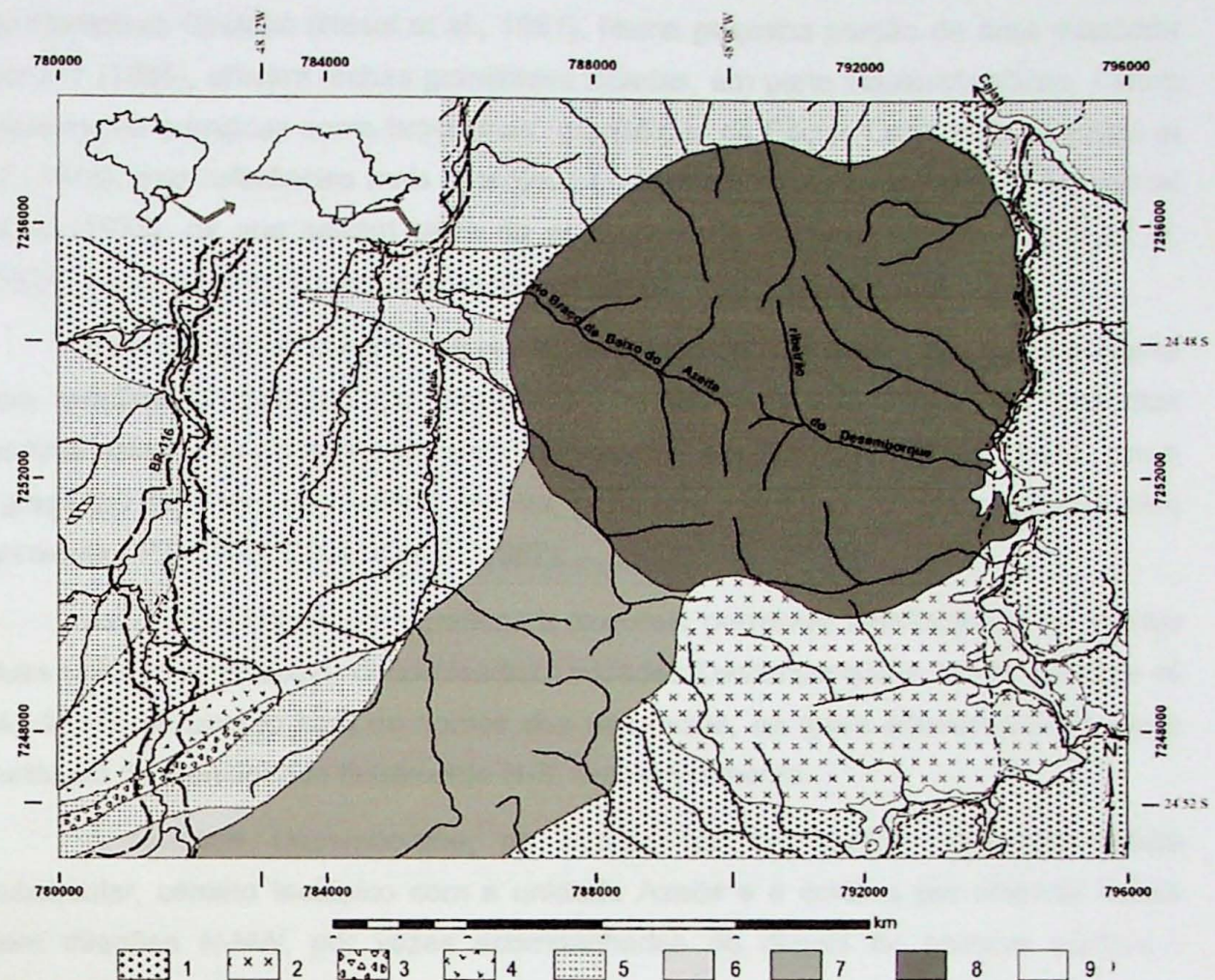


Figura 2. Mapa geológico simplificado da porção Nordeste do Maciço Guaraú, destacando a Unidade Desemborques. Notar a forma bem circular desta unidade.. 1 = hornblenda biotita gnaisses tonalíticos a graníticos; 2 = biotita gnaisses de composição granítica; 3 = migmatito ocelar; 4 = gnaisses e migmatitos paraderivados com calciossilicáticas e dolomitos; 5 = biotita-quartzo xisto, cinza escuro e biotita gnaisses, contendo tremolitos e diopsiditos (Seqüência Turvo-Cajati); 6 = biotita monzogranito; 7 = biotita álcáligranito róseo (Unidade Azeite); 8 = biotita sienogranito cinza (Plúton Desemborques); 9 = depósitos sedimentares aluviais. Fonte: Pereira et al 2007 adaptado de Vasconcellos et al 1999.

Na borda W, junto à cabeceira do Rio do Azeite, os granitos são intrusivos em variedades de aspecto gnáissico e natureza blastomilonítica. Battola Jr et al. (1981) e Silva et al. (1981) correlacionaram estas unidade aos gnaisses Barra do Azeite do Complexo Turvo-Cajati, enquanto Campos Neto (1983) correlacionou-as aos Gnaisses Capelinha. Segundo o IPT (IPT, 1985), estas rochas poderiam representar uma janela estrutural no complexo Turvo-Cajati, em que afloram rochas mais antigas do Complexo Costeiro.

Na região Norte e em uma estreita faixa a Oeste, acompanhando o Ribeirão Palmital, as rochas encaixantes correspondem a variedades de xistos da subsequência Cajati do Complexo Turvo-Cajati (IPT, 1985), enquanto que ao longo da

borda leste, observa-se contato tectônico com rochas gnáissico-migmatíticas referíveis ao Complexo Costeiro (Hasui et al., 1981). Numa pequena porção da área mapeada por IPT (1985), afloram rochas granitóides foliadas, em parte blastomiloníticas. Foram inicialmente admitidas como brasileiras (granitóides da Fácies Cantareira de Hasui et al., 1978), mas referências mais recentes parecem confirmar a hipótese de Morgental et al. (1975), de que seriam parte do embasamento retrabalhado. Battola Jr et al. (1981) colocam-as no Proterozóico Indiferenciado.

A colocação do Maciço Guaraú gerou metamorfismo de contato, mais evidente nas sequências pelíticas do Complexo Turvo-Cajatí, nas quais são descritos porfiroblastos pós-cinemáticos com disposição aleatória de biotita, bem como agregados regulares de clorita e sericita, possíveis pseudomorfos de andaluzita e/ou cordierita (IPT, 1985; Oliveira et al., 1987).

As características petrográficas e texturais permitem individualizar no maciço duas unidades principais, denominadas Unidades Desembarque e Azeite (Oliveira et al., 1987), de acordo com os nomes dos rios locais, as quais afloram a nordeste e sudoeste do mencionado falhamento N-S, respectivamente.

A Unidade Desembarque, na porção NE do Maciço, apresenta forma subcircular, contato tectônico com a unidade Azeite e é cortada por diversas falhas com direções N-NW, por vezes acompanhadas de diques de granitos pórfiros - relacionados ao magmatismo principal - bem como diques de diabásios e lamprófiros mais jovens, mesozóicos (Oliveira et al., 1987). O formato subcircular é bastante ressaltado por estudos de aerogamaespectrometria devido a anomalias de U e Th. (Vasconcellos et al 1999)

A rocha típica é um biotita sienogranito de coloração cinza claro a creme ou mesmo esbranquiçado, equigranular, de granulação fina a média e estrutura maciça. (Oliveira et al., 1987) Uma ocorrência de greisen micáceo, em forma de bossas centimétricas a decimétricas, com cores cinza escura a preta e textura afanítica a fanerítica fina é descrita pela mencionada autora na borda sudeste. Nas zonas de contato entre os greisens e o granito principal inalterado, observa-se uma zona centimétrica a decimétrica constituída por um granito maciço de aspecto mais aplítico, "albitizado", com coloração cinza clara e granulação fina com contatos mais ou menos gradacionais para o granito inalterado, sendo a rocha intermediária um granito albitizado e parcialmente greisenizado de cor cinza claro e granulação fina (Garcia, 2010). Na borda Oeste do pluton são descritas porções "albitizadas", próximas aos contatos tectônicos com os gnaisses regionais. São rochas com estrutura maciça a

levemente orientada, equigranulares com granulação fina, com concentrações de sulfetos diversos (Oliveira et al., 1987).

A Unidade Azeite aflora nas porções E e S do maciço, com forma mais irregular, alongada na direção NE, e seus contatos, tanto com as encaixantes quanto com a Unidade Desembarque, são predominantemente tectônicos. É constituída por rochas de coloração rósea, equigranulares a inequigranulares, de granulação média a grossa e estrutura maciça. Greisens com topázio e concentrações de sulfetos Zn e de Cu, são encontrados em matacões e blocos de granitos de coloração cinzenta, estrutura maciça e granulação fina a média, associados a zonas de falha orientadas N-S e E-W (Oliveira et al 1987).

Toda a porção mapeada do maciço (IPT, 1985) acha-se recortada por diques de granitos pórfiros, orientados preferencialmente N-NW. São rochas de coloração cinza escura a rósea, textura porfírica, matriz afanítica a fanerítica fina, com fenocristais milimétricos de feldspato alcalino e/ou de quartzo. Na borda Oeste, junto à cabeceira do Rio Azeite, aflora um "stock" expressivo, com aproximadamente 0,5 km² de área. Apresenta forma circular regular e contatos intrusivos com os xistos da Sequência Turvo-Cajati e tectônicos com as rochas blastomiloníticas do Complexo Costeiro. A rocha tem coloração cinza rosada a esbranquiçada, estrutura maciça e granulação fina e corresponde petrograficamente a álcali-feldspato granito pórfiro de natureza peralcalina.

Diques mesozóicos recortam todo o maciço e incluem diabásios e lamprófiros. Os primeiros, orientados NW, são rochas de coloração cinza escuro a preto, estrutura maciça e textura afanítica (Oliveira et al., 1987), enquanto os lamprófiros têm coloração cinza escura a esverdeada, estruturas maciça e ocelar, granulação fina e textura porfírica e ocorrem em fraturas orientadas N-S/N35W, subverticais a verticais (IPT, 1985). São principalmente biotita-augita lamprófiros e augita -forsterita -biotita lamprófiros.

Estudos recentes (Castro, 2007) revelam que os granitos do pluton Desembarque apresentam caráter marginalmente peraluminoso e apresentam uma vasta gama de minerais acessórios como cassiterita, columbita, zircão rico em Hf, itrio-fluorita, e minerais de Th e U.

3.3 Materiais e Métodos

Trabalhos de campo

Foram realizados durante uma semana ao início de 2011 e enfatizaram o reconhecimento geológico do Maciço Guaraú, especialmente o Pluton Desembarque ao N do maciço, e coleta de amostras. A exemplo das demais ocorrências da província (e.g., Gualda e Vlach, 2007a) a área é de difícil acesso e amostragem. Foram utilizados como materiais de apoio mapas topográficos 1:50.000 do IBGE (folha Rio Guaraú – SG.22-X-B-VI-4), geológicos (Vasconcellos et al 1999 a e b) e equipamento GPS para posicionamento geográfico. Foram coletadas cerca de 35 amostras.

Susceptibilidade magnética (SM)

Medidas de SM's foram realizadas com o aparelho portátil SM 20 da GF Instruments em afloramentos e em fatias de rocha. Foram tomadas em torno de 10 medidas por amostra para um conjunto de 19 amostras fescas. No caso das fatias foram consideradas precauções para evitar interferências de eventuais resíduos metálicos da serra. A SM, dada em unidades SI, mede a relação entre o momento magnético dipolar por volume unitário, J , e a intensidade do campo magnético aplicado, H , sendo que: $SM = J/H$, e é diretamente proporcional ao volume de minerais ferro-magnéticos, contidos na rocha. É um parâmetro de grande valia para contrastar as associações alcalina e aluminosa da Província Graciosa. (Gualda e Vlach 2007a).

Petrografia

As análises petrográficas foram efetuada em seções delgadas normais e delgadas polidas no Laboratório de Microscopia Petrográfica com microscópio Olympus BX-40, considerando-se técnicas clássicas (e.g., Mckenzie et al 1995) e enfatizando o reconhecimento das fases minerais acessórias e suas relações texturais, procurando distinguir eventos magmáticos e pós-magmáticos de formação de fases minerais. A determinação do teor de anortita dos plagioclásios foi feita com o método de Michel Levy. A documentação digital da mineralogia e micro-estruturas foi obtida com a máquina Olympus C5050 acoplada ao foto-microscópio BXP-50. Cerca

de 45 seções foram estudadas. Determinações modais para um subconjunto representativo serão efetuadas durante a segunda etapa do projeto.

Contagem modal

Cerca de 8 amostras representativas tiveram sua mineralogia quantificada através de contagem dos cristais com espaçamento entre pontos de 0,5 mm sendo examinadas três malhas de 1cm X 1,25cm (500 pontos) de trechos representativos da amostra, em seguida são tiradas as médias e estimadas as proporções de cada fase mineral.

Geoquímica de Rocha Total

Análises litogeoquímicas foram obtidas no Laboratório de Fluorescência de raios X com o equipamento Phillips PW 2400 provido de tubo de Rh, obedecendo-se procedimentos descritos em Potts (1996) e Mori et al (1999). Cerca de 14 amostras foram preparadas no Laboratório de Tratamento de Amostras do GMG e passaram por processos de britagem, quarteamento e moagem (< 200 meshes) em moinho de ágata e micronização. O material micronizado foi utilizado para a preparação de pastilhas prensadas e fundidas, para a determinação de elementos traços e maiores e menores, respectivamente. A perda ao fogo foi determinada por gravimetria e aquecimento a 1000 °C por uma hora. Encontram-se disponíveis resultados para 11 amostras de biotita granitos, uma de pórfiro, uma de albita granito e uma de greisen. Determinações adicionais de elementos traços e ETR com ICP-MS não puderam ser obtidos por dificuldades técnicas no Laboratório de Química e ICP-MS.

O tratamento, cálculos petroquímicos e a diagramação dos dados foram efetuados com *softwares* específicos (e.g., Janousek et al 2008). Os resultados foram analisados e interpretados à luz da literatura moderna enfatizando a identificação da assinatura geoquímica das rochas graníticas, albita-granito e greisen, possíveis tendências evolutivas e alguns parâmetros termométricos (e.g., temperaturas de saturação de Zr).

Microsonda Eletrônica

Análises de química mineral foram realizadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica, durante o mês de Junho, com o equipamento JEOL-JXA8600S, acoplado

ao sistema de automação Voyager 4.3.. Foram obtidas análises de imagens de elétrons retroespalhados (BEI) e análises pontuais qualitativas por dispersão de energia (EDS) e quantitativas por dispersão de comprimentos de onda (WDS) em amostras e cristais selecionados a partir das análises petrográficas. Análises pontuais (WDS) foram obtidas para feldspatos (130 análises) e micas (134 análises) de amostras representativas das rochas graníticas principais, do albita-granito, do greisen e do pegmatito. As análises foram efetuadas sobre seções delgadas polidas com espessura convencional, cobertas com fina película de C (ca. 250 nm) com evaporador da Edwards. As condições analíticas foram 15 kV, 20 nA e 5 μ m para a voltagem de aceleração da coluna, corrente e diâmetro do feixe eletrônico respectivamente. Sempre que possível foram analisados pontos representativos de núcleo, zonas intermediárias e bordas dos cristais selecionados.

No caso dos feldspatos, foram analisados os seguintes elementos e respectivas linhas espectrais; Si K α , Ti K α , Al K α , Fe K α , Mn K α , Mg K α , Ca K α , Sr L α , Ba L α , Na K α , KK α . Para as micas, foram analisados além destes elementos (exceto o Sr), Zn L α , F K α e Cl K α . Os tempos de integração de contagem de pulsos variaram entre 5s para os elementos mais abundantes ou susceptíveis ao feixe a 40s no caso de Sr, Ba e Zn. As rotinas e os padrões utilizados correspondem aos registrados no laboratório. A correção dos efeitos de matriz, bem como a conversão para quantidades em peso de elementos ou óxidos foi efetuada com o programa PROZA (Bastin & Heillijers, 1990).

Paralelamente foi efetuado um estudo com imageamento BEI e análises qualitativas EDS para o reconhecimento das fases minerais e micro-estruturas associadas à mineralogia acessória (zircão, torita, monazita, columbita, etc.). Estas análises foram efetuadas sob as mesmas condições, mas com diâmetro mínimo para o feixe eletrônico.

O tratamento e a apresentação dos resultados foram realizados utilizando software específicos (e.g., Janousek et al 2008).

Integração composicional de fases exsolvidas

As amostras estudadas apresentam pertitas com grossas lamelas de exsolução, sendo importante quantificar não só as duas fases presentes, mas tentar estimar a composição primária dos cristais para uma melhor caracterização petrológica. Situação análoga é encontrada para os intercrescimentos granofínicos.

Foram realizadas imagens de elétrons retroespalhados e com a utilização do software corel PHOTOPAINT, pode-se estimar as composições globais de zonas de núcleo e de borda através do histograma de frequência de tons de cinza gerados pelo programa, que representam a proporção em área de cada fase. A exemplificação detalhada do método é demonstrada em Gualda, 2001.

Estimativa de Li₂O

Um característica fundamental das micas estáveis em rochas tardi- a pós-magmáticas associadas ao magmatismo granítico, particularmente no caso de greisens, é o conteúdo muito significativo de Li, um elemento que, devido ao seu número atômico muito baixo, não pode ser quantificado em microsonda eletrônica. Por outro lado, este elemento é essencial, não somente para a classificação, mas também para a compreensão da evolução química destes minerais nestes ambientes. Para minimizar este problema, utilizou-se do método sugerido por Tischendorf et al. (1997), que propõe uma equação para estimativa do conteúdo de Li₂O a partir dos teores em SiO₂, formulação baseada em correlações observadas para número significativo de amostras de ocorrências clássicas entre estas quantidades e válida para micas com SiO₂ > 34 % e MgO < 6% (em peso). A fórmula proposta pelos autores é :

$$\text{Li}_2\text{O} = (0.289 \text{ SiO}_2) - 9.658 \text{ com } R^2 = 0.912, n = 232$$

A confiabilidade estatística do método parece ser muito boa e as micas analisadas neste projeto apresentam composições no mencionado intervalo.

4. Geologia Geral e Petrografia

4.1 Geologia Local

Os levantamentos de campo efetuados nesta etapa, aliados aos efetuados em períodos anteriores permitiram reunir um acervo considerável de amostras de rochas graníticas, pegmatitos e greisens, além de micro-gabros e lamprófiros ultramáficos de idades mesozóicas. Ao total foram visitados e descritos cerca de 56 afloramentos e coletadas mais de 60 amostras de litologias diversas, cujas localizações aparecem no mapa apresentado no anexo 1.

No Pluton Desembarque, devido às dificuldades de topografia e vegetação inerentes da região, os trabalhos foram concentrados na borda SE e, em parte, nas regiões NW e central. Os granitos foram caracterizados em campo como biotita leucosienogranitos de estrutura maciça (localmente com alguma foliação associada à fluxo magmático) e textura equigranular, localmente com variações para fácies mais inequigranulares ou mesmo porfíricas, com granulações finas a médias e coloração cinza rosada (Anexo 1, Prancha A, Fotos A e B). Apresentam, em geral, Índices de Cor (IC) entre 3 e 6 %, embora algumas amostras com ICs pouco maiores ocorram em algumas áreas. O mineral máfico típico é a biotita, que com frequência aparece variavelmente alterada para clorita. Feldspato alcalino é o mineral félsico mais abundante, constituindo cerca de 40 a 50% em volume modal da rocha, sendo seguido por quartzo (25 - 35%), e plagioclásio entre (15 -20 %). Localmente foram encontrados enclaves microgranulares félsicos (entre 3 e 4 cm) de composição granítica com IC entre 2 e 3% e teores pouco mais elevados de plagioclásio (Anexo 1, Prancha A, Foto C).

Contatos entre as variedades graníticas são raramente observados. No extremo sudeste do maciço, foram encontrados contatos bruscos entre a variedade mais típica e uma variedade porfírica, de coloração mais acinzentada. (Anexo 1, Prancha A, Foto D). Nesta mesma área ocorrem também duas ocorrências de granitos pórfiros de coloração rosada exibindo fenocristais de feldspato alcalino e, em menor abundância, de quartzo, em matriz quartzo-feldspática muito fina com algum (Anexo 1, Prancha A, Foto E)

Os granitos apresentam-se cortados por falhas e fraturas diversas (Anexo 1, Prancha A, Foto F), as quais podem estar preenchidas por diques com espessuras que variam de decimétricas a métricas de granitos pórfiros, bem como de diabásios e lamprófiros ultramáficos, estes últimos, mesozóicos, com atitudes NW e NS, subverticais.

A frequência de falhas e fraturas em diversos afloramentos sugere que essas possam ter sido "canais" para percolação de fluidos que alavancaram processos de alteração hidrotermais. Evidências da superimposição de processos tardi- a pós-magmáticos são observadas em maior ou menor grau na maioria dos afloramentos visitados e incluem, além da presença relativamente abundante de clorita, um aspecto mosqueado, dado por pontuações avermelhadas ou acastanhadas associadas ao feldspato alcalino e/ou aos minerais máficos e possivelmente devidas a formação de óxidos (e.g., hematita) e/ou hidróxidos de Fe e/ou Mn.

Rochas pegmatíticas, com granulações grossas a muito grossas, ocorrem na forma de bolsões e ou venulações com dimensões centimétricas a decimétricas em diversos dos afloramentos visitados (Anexo 1, Prancha A, Foto G). Apresentam contatos bruscos a gradacionais com o granito principal (Anexo 1, Prancha A, Foto H), que junto ao contato apresentam biotitas relativamente bem desenvolvidas ($IC \approx 8\%$) sugerindo aumento relativo na atividade de H_2O ; nas zonas de contato, observam-se com frequência venulações finas, acinzentadas, preenchidas principalmente por micas verdes que sugerem fluxo de material do granito para o pegmatito através de micro-fraturas.

Os constituintes principais são feldspato alcalino (2 - 3 cm) e quartzo (1 - 2,5 cm) que por vezes apresentam inclusões escuras, não identificadas, e evidências de deformação leve. Em proporções menores aparecem cristais de plagioclásio (Albita?) de 0,5 a 0,7 cm e mica escura (biotita?) que se concentram em bolsões (1-2cm), os quais mostram ramificações entre as bordas dos grãos das demais fases minerais, muitas vezes crescendo sobre elas (Prancha A, Foto D), como evidenciado por um cristal de 1 cm de mica com núcleo de feldspato alcalino (0,4 cm). Em proporção menor observam-se micas verdes com características semelhantes e fluorita. Uma estrutura zonal, dada por bordas mais ricas em feldspato potássico e micas e núcleos mais ricos em quartzo é comum nestes pegmatitos.

Uma típica ocorrência de greisen aparece no afloramento GUA-08. A rocha apresenta coloração cinza escuro a preta, estrutura maciça e granulação fina a média, com porções concentradas de minerais máficos; em amostra de mão verifica-se quartzo abundante, mica escura, minerais diminutos com brilho metálico diminutos e algum feldspato. Esta rocha forma um pequeno bolsão (ca. 10 cm x 6 cm x 5 cm) em contato bem definido com uma zona decimétrica constituída de rocha granítica (albita granito) de cor cinza média a clara e granulação fina, que aparece contornando o greisen, a qual encontra-se em contato, também bem definido, com o leuco granito principal, de granulação média (Anexo 1, Prancha A, Foto I e J)

4.2 Susceptibilidade Magnética

As medidas realizadas em fatias de rocha e afloramentos são apresentadas na tabela 1, Anexo 2 e revela que metade das amostras do maciço Guaraú exibe valores de $SM's$ menores que $1 \times 10^{-3} SI$ e somente quatro amostras superam o valor de $2 \times 10^{-3} SI$. Conforme verificado na figura 3, uma quantidade significativa das amostras tem valores muito baixos ($< 0,1 \times 10^{-3} SI$). Vale ressaltar os valores obtidos pela amostra GUA-12, são os maiores medidos e podem ser justificados por um possível

hidrotermalismo associado a falhamento. Para efeito de comparação a amostra GUA-61 pertence ao pluton Azeite e apresenta valores superiores ao Desembarque.

Um histograma de frequências (Figura 4) com todas as medidas mostra que os valores obtidos são relativamente mais baixos do que os encontrados para associação aluminosa da Província Graciosa e são concordantes com as amostras da associação alcalina (Gualda & Vlach 2007 e Vilalva 2007).

Tal característica está associada as condições de cristalização do Pluton Desembarque e serão discutidas em capítulos posteriores.

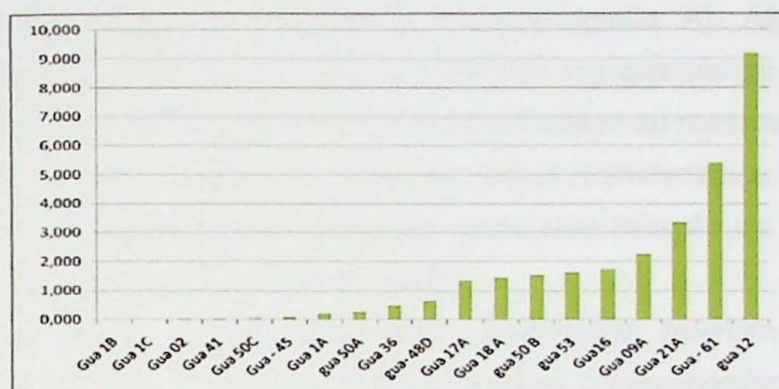


Figura 3 – Média das medidas de susceptibilidade magnética obtidas para as amostras do maciço Guaraú. Todas as medidas em $SI \times 10^{-3}$

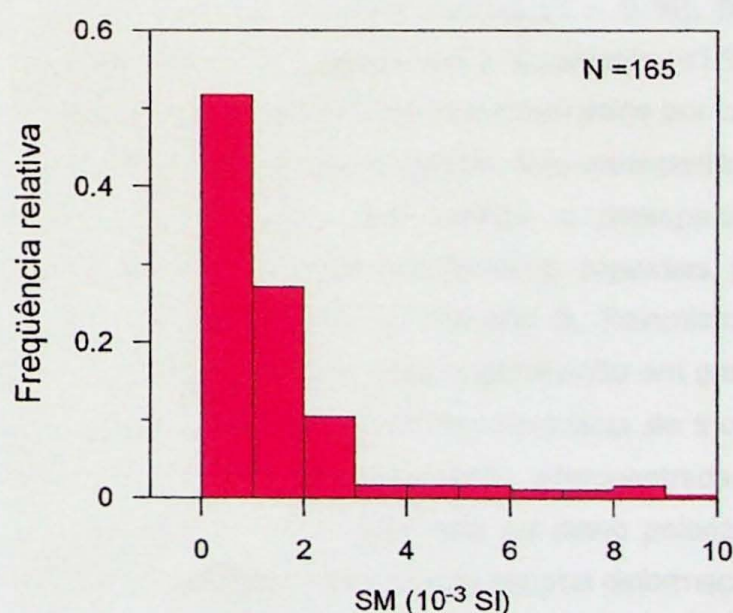


Figura 4 – Histograma de Frequências de medidas de susceptibilidade magnética obtidas para as amostras do maciço Guaraú. Todas as medidas em $SI \times 10^{-3}$

4.3. Petrografia Microscópica

4.3.1 Rochas graníticas

O granito principal e suas variações faciológicas

O exame de seções delgadas e delgadas polidas ao microscópio petrográfico de cerca de 45 amostras do Pluton Desembarque, revela que o granito principal típico é relativamente homogêneo e apresenta estrutura maciça, coloração branca a localmente rosada, textura equigranular hipidiomórfica e granulação fina a média, com M' próximo a 5% (Anexo 3, Prancha B, Fotomicrografia A). Algumas amostras apresentam texturas mais tipicamente xenomórficas equigranulares com granulação mais fina, outras são hipidiomórficas mais inequigranulares ou mesmo porfíricas, com megacristais de feldspato alcalino (4-7 mm) em matriz submilimétrica (0,5 mm) (Anexo 3, Prancha B, Fotomicrografia B). Variedades como leve foliação de fluxo magmático e/ou foliação milonítica também estão presentes.

As composições modais estimadas visualmente revelam teores modais variáveis: ca. 40 – 60 % de feldspato alcalino peritítico a mesopertítico, 20 – 40 % de quartzo e 15 – 25 % de oligoclásio. Os minerais máficos comumente aparecem isolados, e subordinadamente em agregados, são eles: biotita (3 – 7 %), clorita (2 – 4%), mica verde clara (2 – 5 %), minerais opacos (3 – 5 %), fluorita (1 – 3 %), muscovita (ca. 1 %), zircão (até 1 %), epidoto (até 1 %), allanita (<1 %).

O feldspato alcalino é representado em sua maior parte por cristais subeudrais, submilimétricos a milimétricos (até 4mm) de pertita e/ou mesopertita. Nas variedades porfíricas, atinge 7 mm. A albita das pertitas e mesopertitas apresenta-se predominantemente na forma de lamelas relativamente espessas, podendo alcançar entre 40 a 50 (% vol.) do grão (Anexo 3, Prancha B, Fotomicrografia C e D). A geminação simples, de Carlsbad, é típica, mas a geminação em grade no hospedeiro é difusa ou mesmo ausente, sugerindo tratar-se microclínio de triclinicidade baixa a moderada. As bordas dos cristais são tipicamente interpenetradas. Apresentam-se quase sempre com aspecto turvo e/ou “sujo” sob luz plano polarizada e por vez as geminações encontram-se curvadas, evidenciando alguma deformação plástica.

O quartzo apresenta-se como cristais bem desenvolvidos (em geral de 1 mm a 2,5 mm), com forma globular e/ou subeudral com contornos de tendência hexagonal. Extinção ondulante é uma característica comum nas amostras analisadas, localmente observa-se formação de subgrãos e recristalização, que conferem texturas do tipo

mosaico e aspecto de *ribbons* em algumas variedades. (Anexo 3, Prancha B, Fotomicrografia E).

Quartzo e feldspato alcalino aparecem também como intercrescimentos de tipo microgranofírico, principalmente intersticiais (Prancha B, Fotomicrografia B), muitas vezes com contatos lobados, dando caráter xenomórfico a rocha. Adicionalmente ambos podem apresentar textura “mortar”.

O plagioclásio aparece em cristais subeudrais a euhedrais mais ripiformes, submilimétricos a milimétricos, com geminação segundo a Lei da Albita, combinada ou não com a Lei de Carlsbad. As determinações ópticas indicam tratar-se de oligoclásio sódico, com leve zonamento normal e/ou oscilatório, obtendo-se teores de An variáveis entre 15 e 20. Sericitização parcial ou praticamente total, bem como saumuritização (alteração para sericita, calcita e/ou bluerita e/ou epidoto e albita) são comuns na maioria dos cristais das amostras estudadas.

A biotita exibe hábito em geral subédrico aparece em geral mais intersticial, os contornos dos cristais sendo limitados pelos minerais félsicos. Algumas variedades apresentam cristais mais desenvolvidos, que alcançam 2,2 mm O pleocroísmo varia em tons de verde muito claro a verde escuro, e em algumas porções de incolor a acastanhado. Em diversas amostras apresenta sinais de deformação (Anexo 3, Prancha B, Fotomicrografia H). As alterações, que por vezes substituem quase que totalmente a biotita, incluem clorita e micas brancas e verde claras (Anexo 3, Prancha B, Fotomicrografia G e I), às quais se associam minerais opacos e fluorita.

Os minerais acessórios típicos incluem, além de minerais opacos diminutos euhedrais a subhedrais, zircão que aparece como cristais diminutos com coloração castanha a creme, que aparecem isolados ou, mais freqüentemente, como inclusões, particularmente em feldspatos alcalino e, em menor grau, em biotita, situação em que gera halos pleocróicos. Allanita ocorre associada aos agregados máficos como cristais raros, diminutos, idiomórficos, muito metamictizados.

Os minerais de alteração mais típicos são mica verde, mica branca, sericita, clorita, epidoto, minerais opacos e fluorita.

Nas amostras estudadas diversas texturas e a formação de minerais de alteração de temperaturas relativamente baixas sugerem a superimposição de processos tardi- a pós-magmáticos.

O desenvolvimento de albita tardi- a pós-magmática caracteriza praticamente todas as amostras examinadas. Albita límpida aparece substituindo feldspato alcalino, em bordas de grãos, na forma de *patches* nas pertitas e franjas albiticas, já no plagioclásio, ocorrem formando bordas adicionadas nas zonas de contato com

feldspato alcalino. Aparece também intergranular intersticial, formando *swapped rims*, bem como micro-venulações diversas.

Dentre os processos tardi a pós magmáticos, a greisenização é a mais típica. É marcada pela alteração pervasiva de feldspatos alcalinos e biotitas para micas verdes claras e brancas/incolores. Quando substituindo a biotita primária, estas micas associam-se tipicamente à fluorita e minerais opacos. Dentro desse contexto, o mineral de alteração mais comum no granito Desemborque é a mica verde clara, que Oliveira et al 1987 sugere como de conteúdo flúor-litínifero, podendo tratar-se de zinnwaldita (Scherba, 1970). Em algumas amostras, estas micas substituem totalmente as biotitas e parcialmente os feldspatos, alcançando dimensões superiores a 1 cm (Prancha B, Fotomicrografia J), em outros aparecem em bolsões e/ou venulações milimétricas de cristais anédricos a euédricos associados com mica incolor, fluorita anédrica a euédrica e minerais opacos por vezes com hábito lamelar (Prancha B, Fotomicrografia L).

Granito Porfíritico

Presente somente na porção sul da área, essa rocha exhibe estrutura maciça, granulação média e textura porfíritica muito bem marcada por fenocristais de feldspato alcalino e quartzo (25%) que exibem dimensões maiores que 0,5 cm em uma matriz xenomórfica (75%) composta adicionalmente por plagioclásio sódico, com An em torno de 15, além de biotita verde e de mica verde clara a incolor.

O feldspato alcalino é bem semelhante ao do granito típico, com presença de lâmelas albiticas bem espessas e o quartzo apresenta-se bastante anédrico e localmente globular.

As feições tardi- a pós-magmáticas, assim como no granito típico, são bem marcadas pelo desenvolvimento de albita límpida, vênulas de mica verde clara entre feldspato alcalino, cloritização das biotitas e formação de micas típicas de processos de greisenização.

Granito pórfiro

Foram analisadas três amostras de granitos pórfiros. São rochas porfíriticas em matriz muito fina com alguma orientação planar de fluxo magmático. Intercrescimento granofíricos são característicos nestas rochas (Anexo 3, Prancha B, Fotomicrografias F e M).

Ao microscópio, observa-se que a proporção entre fenocristais e matriz é próxima a 35:65. Os fenocristais apresentam dimensões médias entre (0,5 - 2 mm) e correspondem a feldspato alcalino perítico, com geminação de Carlsbad, e, em menor abundância, quartzo, frequentemente com seções subhexagonais indicativas da cristalização original do polimorfo β de alta temperatura, e extinção ondulante. Mais raramente ocorrem fenocristais de oligoclásio, variavelmente sericitizado, com geminações combinadas Carlsbad e Albita. Fragmentos líticos (0,5 - 1,5 mm), muito similares textural e composicionalmente ao granito principal hospedeiro aparecem ocasionalmente como “enclaves”.

A matriz, quartzo feldspática, é muito fina (< 0,5 mm) e está constituída de intercrescimentos micrográficos entre feldspatos e quartzo, por vezes estes intercrescimentos apresentam morfologias fibroradiadas com formas subcirculares a elípticas, indicando resfriamento muito rápido.

Minerais opacos e biotita cloritizada são os máficos dominantes; na amostra GUA-12A ocorre epidoto, que deve estar associado em zonas com deformação dútil. Em geral, os minerais máficos encontram-se restritos à matriz da rocha e com alguma frequência contornam os minerais félsicos (fenocristais e matriz).

4.3.2. Rochas associadas aos estágios tardi- a pós magmáticos

Leuco albíta granito

Esta rocha ocorre apenas nas zonas de contato entre greisen e o granito típico principal. Apresenta coloração cinzenta clara característica quando fresca, textura mais tipicamente xenomórfica equi- a inequigranular e granulação mais fina (até 1 mm).

Uma amostra representativa foi analisada ao microscópio petrográfico. As características mais marcantes observadas correspondem a abundância das transformações tardi- a pós-magmáticas, incluindo a “greisenização” e a “albitização”. Os máficos primários não estão presentes e/ou foram totalmente substituídos.

A “greisenização” se manifesta pela abundância de mica incolor a levemente esverdeada (ca. 25 % em volume modal) que aparece substituindo parcial ou totalmente os feldspatos e preenchendo os interstícios e micro-fraturas da rocha. Associam-se alguma fluorita (5 %) e quantidades subordinadas de minerais opacos, esfalerita e possível topázio.

A “albitização” está associada ao desenvolvimento de albita, praticamente pura, que alcança ca. 10 % em volume da rocha, em substituição do feldspato alcalino e plagioclásio sódico originais.

Os cristais de quartzo aparecem em geral como mosaicos de subgrãos, bem recristalizados em algumas porções. Por vezes encontra-se fraturados, as fraturas sendo preenchidas por mica.

Greisens

Foi analisada uma amostra de greisen (Anexo 3, Prancha C, Fotomicrografia A e B). A rocha apresenta estrutura maciça, textura heterogranoblástica de granulação fina, composta essencialmente por quartzo inequigranular, muitas vezes com formação de subgrãos e alta taxa de recristalização, e micas verde e/ou branca, que aparecem com cristais isolados ou, mais tipicamente formando aglomerados, possivelmente frutos de alteração pervasiva dos feldspatos do granito original (Anexo 3, Prancha C, Fotomicrografia C). Em alguma porções ainda ocorrem em boa proporção cristais de feldspato potássico, com bordas e/ou núcleos alterados para mica branca, plagioclásio alterado para sericita e biotitas reliquiares, geralmente alteradas para clorita e principalmente por agregados de mica com opacos e fluorita associados (Anexo 3, Prancha C, Fotomicrografia D).

Os minerais acessórios encontrados são em geral euhedrais a subhedrais e incluem minerais opacos, zircão com tonalidades acastanhadas e aspecto pouco límpido, dado por elevado número de micro-inclusões, alguma esfalerita de coloração alaranjada e poucos cristais diminutos de topázio. Os cristais de zircão causam halos pleocróicos bem acentuados nas micas coloridas, bem como alguns opacos, sugerindo concentrações significativas de elementos radioativos nestes últimos.

Pegmatitos

As lâminas obtidas para as rochas pegmatíticas correspondem em geral às zonas de contato com o granito principal. Em um caso foi obtida uma seção delgada polida de grande área (correspondente a três seções convencionais) para análise mais adequada. Os pegmatitos analisados são todos de tipo simples, constituídos essencialmente por feldspato alcalino, quartzo e mica. Apresentam-se zonados, com bordas mais ricas em feldspato alcalino e núcleo mais rico em quartzo e mica.

Nas zonas de contato com o granito principal ocorrem com frequência venulações preenchidas com micas branca e verde clara entre os contatos dos

minerais félsicos ou preenchendo micro-fraturas e um envoltório constituído por intercrescimento granofírico entre feldspato potássico e quartzo.

Os cristais de feldspato alcalino apresentam colorações vermelhas e dimensões entre 1,0 e 2,5 cm. São pertíticos e apresentam microfraturas preenchidas por mica branca (Anexo 3, Prancha C, Fotomicrografia E), as quais também preenchem os interstícios entre os cristais individuais. O quartzo (1 - 2 cm) apresenta extinção ondulante e formação de subgrãos. A mica ocorre como mica branca a levemente esverdeada com lamelas de micas mais esverdeadas de dimensões da ordem de centímetros (Anexo 3, Prancha C, Fotomicrografia F)

4.4 Quantificação modal

A quantificação modal permite obter dados mais confiáveis do que as estimativas visuais para uma classificação mais precisa das amostras. Algumas fases minerais exigem grande cautela, como no caso das estimativas de plagioclásio e albita, já que as rochas estudadas sofreram albitização e tal tema será discutido no capítulo 5.

As fases obtidas foram quartzo, k-feldspato, albita, plagioclásio, biotita, zinwaldita, opacos e acessórios (Anexo 4, tabela 2). Os dados dos minerais félsicos foram plotados no diagrama QAP (Figura 5) e mostram que as amostras do pluton Desembarque variam de sienogranitos a álcali feldspato, com teores de An entre 6 e 13%.

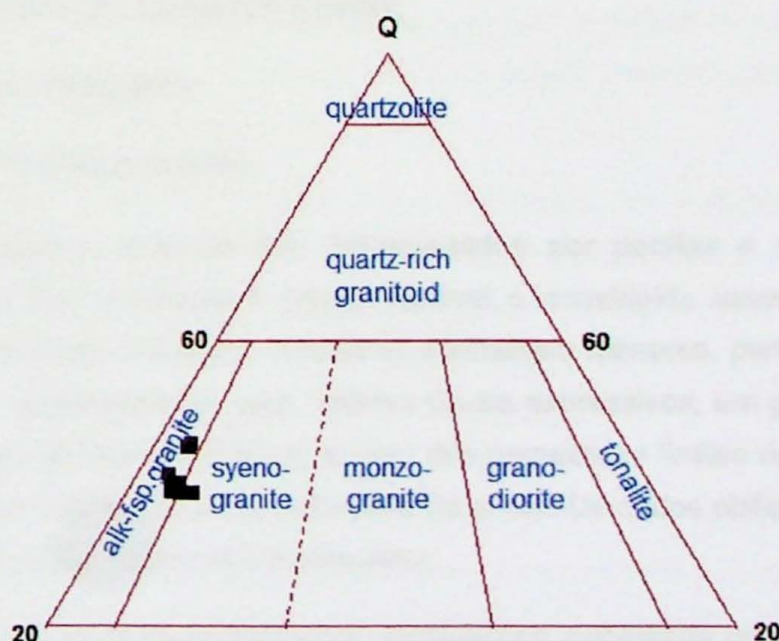


Figura 5 – Diagrama QAP (Streckeisen, 1974).

Vale ressaltar as porcentagens bastante expressivas de zinwaldita, ocorrendo em maiores proporções que a biotita e apresentando-se como máfico dominante nas lâminas quantificadas (Figura 6), evidenciando o forte papel da greisenização no pluton estudado.

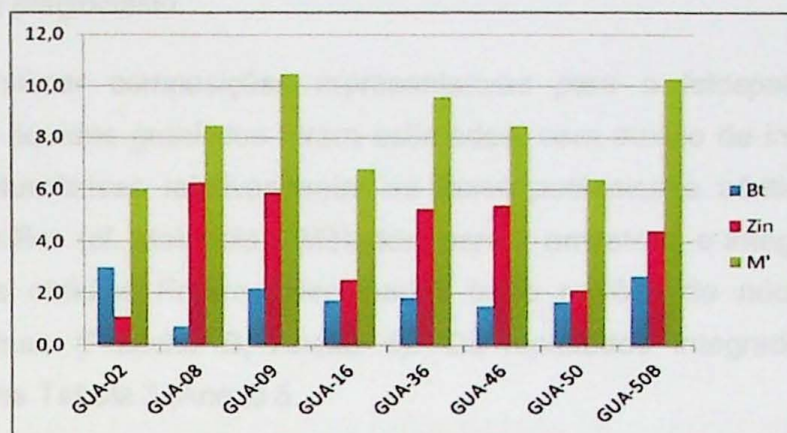


Figura 6 – Relação entre biotita, zinwaldita e IC. Notar porcentagens superiores de zinwaldita em relação a biotita.

5- Mineralogia e Química Mineral

5.1 Minerais essenciais: micro-estruturas e química mineral

Os grupos dos feldspatos alcalinos e plagioclásios, quartzo e micas são os minerais essenciais encontrados nas variedades de rochas graníticas e no greisen. Neste item detalham-se os resultados obtidos pelas análises micro-estrutural e química quantitativa dos feldspatos e micas.

5.1.1 Grupos dos Feldspatos

5.1.1.1 Feldspato Alcalino

Os feldspatos alcalinos são representados por pertitas e mesopertitas. A composição da fase potássica é pouco variável e constituída essencialmente pela molécula de ortoclásio (Tabela 3, Anexo 5). Elementos menores, particularmente Ca, Ba, Sr e Fe^{+3} , apresentam-se com valores pouco expressivos, em geral inferiores a 0,04 % em peso de óxidos e mesmo abaixo dos respectivos limites de detecção (ca. 0,01 para óxidos de Fe, Ca, e ca. 0,03 para Ba e Sr). Os dados obtidos indicam uma composição molecular média de $Or_{98}Ab_{02}An_{00}$.

As lamelas albíticas de exsolução apresentam igualmente composições pouco variáveis, com proporções da molécula albítica sempre superiores a 99 %, com

contribuições muito reduzidas das moléculas de Or e An (Prancha A, Fotomicrografias 1 e 2). A maioria dos demais elementos analisados aparece também em teores abaixo do limite de detecção. Situação similar é observada para a albita intersticial, para as “swapped rims” e para as bordas albiticas que sobrecrecem os cristais mais idiomórficos de plagioclásio.

Para estimar composições representativas para o feldspato alcalino que cristalizou dos líquidos graníticos foram estimadas, com auxílio de imagens BSE, as proporções volumétricas relativas entre as fases potássica e albitica, com auxílio software específico (cf. Materiais e Métodos) para 2 amostras, e integrados os dados composicionais obtidos. Foram selecionadas tanto regiões de núcleos quanto de bordas cristalinas (Prancha B, Anexo 5). Os resultados integrados obtidos são apresentados na Tabela 3, Anexo 5.

Os resultados obtidos, indicam para a amostra GUA-50A (biotita granito típico) núcleos e bordas com composições moleculares $Or_{58}Ab_{42}$ e $Or_{71}Ab_{29}$ respectivamente. No caso da GUA-50C (granito porfiritico) as composições obtidas foram $Or_{53}Ab_{46}$ e $Or_{68}Ab_{32}$. Em ambos os casos, a contribuição da moléculas de anortita é pouco expressiva (<0,5% mol.). Estes resultados sugerem, alternativamente, que os feldspatos alcalinos apresentam zonamento composicional original, magmático, com as bordas significativamente mais ricas em Or, ou, que parte da albita exsolvida nas zonas marginais foi expulsa do hospedeiro, precipitando intersticialmente ou como mantos pós-magmáticos em plagioclásio. A segunda hipótese parece mais plausível, uma vez que admitindo-se uma cristalização magmática normal no sistema An-Ab-Or (Figura 7), espera-se que os feldspatos alcalinos sejam progressivamente mais ricos em Ab com o avançar da cristalização.

Nas rochas tardi- a pós-magmáticas estudadas, os feldspatos alcalinos só aparecem como cristais mais límpidos nas rochas pegmatíticas, em que as composições médias são concordantes com as descritas no granito. No albita granito e no greisen estes minerais não foram analisados devido aos processos de alteração mais intensos.

5.1.1.2 Plagioclásio

As composições dos plagioclásios das rochas estudadas apresentam variações pouco mais significativas (Tabela 4, Anexo 5). Chama a atenção que a maioria das análises efetuadas correspondem a albita e apresentam teores na molécula de Ab

superiores a 95 % e mesmo a 99 % em diversos casos; de fato, mais de 85 % dos pontos analisados apresentam $An < 5\%$. As composições mais cálcicas, obtidas em núcleos cristalinos correspondem a um oligoclásio $Ab_{78}An_{19}Or_3$ e, em maior número a variedades mais sódicas. As contribuições da molécula de Or também é muito reduzida e os teores em Fe^{3+} , Sr e Ba muito baixos.

Os resultados obtidos devem, por outro lado ser analisados com alguma cautela, tendo em vista questões como a alteração maior nos núcleos cristalinos e processos pós-magmáticos de substituição dos cristais originais de plagioclásio por albita. De qualquer forma, os dados litoquímicos obtidos (cf. Capítulo 6) mostram que as rochas apresentam valores muito reduzidos para CaO, resultando em composições para o plagioclásio normativo também muito albiticas.

Assim, como comentado no item sobre petrografia, a classificação petrográfica modal deve ser analisada com os merecidos cuidados.

No albita granito e no greisen, as composições obtidas são essencialmente albiticas e correspondem as composições mais ricas na molécula de Ab encontradas, sempre superiores a 99 % mol. de albita.

As composições obtidas (integrada dos feldspatos alcalinos) e dos plagioclásios/albita são representadas no diagrama An-Ab-Or na Figura 7, destacando-se "tie lines" de fases coexistentes.

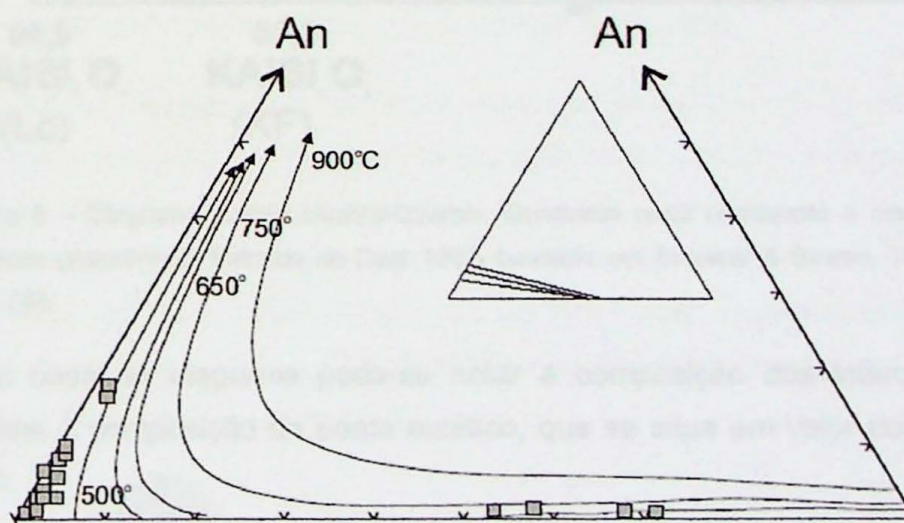


Figura 7 – Diagrama ternário Ab-An-Or. Notar composições do feldspato alcalino entre pertita e mesopertita; plagioclásios plotam preferencialmente no campo da albita, com poucos cristais de oligoclásio. Extraído de Hess, 1989. $P_{H_2O} = 1\text{Kbar}$

5.1.1.3 Intercrescimentos granofíricos

Essa textura, em que quartzo com hábito tipicamente cuneiforme aparece intercrescido com feldspato alcalino, é característica particularmente do granito pórfiro (Amostra GUA-50B), em que chega a alcançar 30-40 % em volume das lâminas examinadas (anexo, Prancha C).

A exemplo da estimativa efetuada para os feldspatos alcalinos, as imagens BSE permitiram calcular a proporção relativa entre as fases feldspática e de quartzo, obtendo-se como valor médio 55% (em peso) de FA e 45% de SiO_2 . Este resultado é representado no diagrama de fases Leucita-Polimorfo de Sílica (Figura 8) e corresponde perfeitamente às composições esperadas para o ponto eutético, em temperaturas $\sim 990^\circ\text{C}$, em condições anidras a 1 atm de pressão.

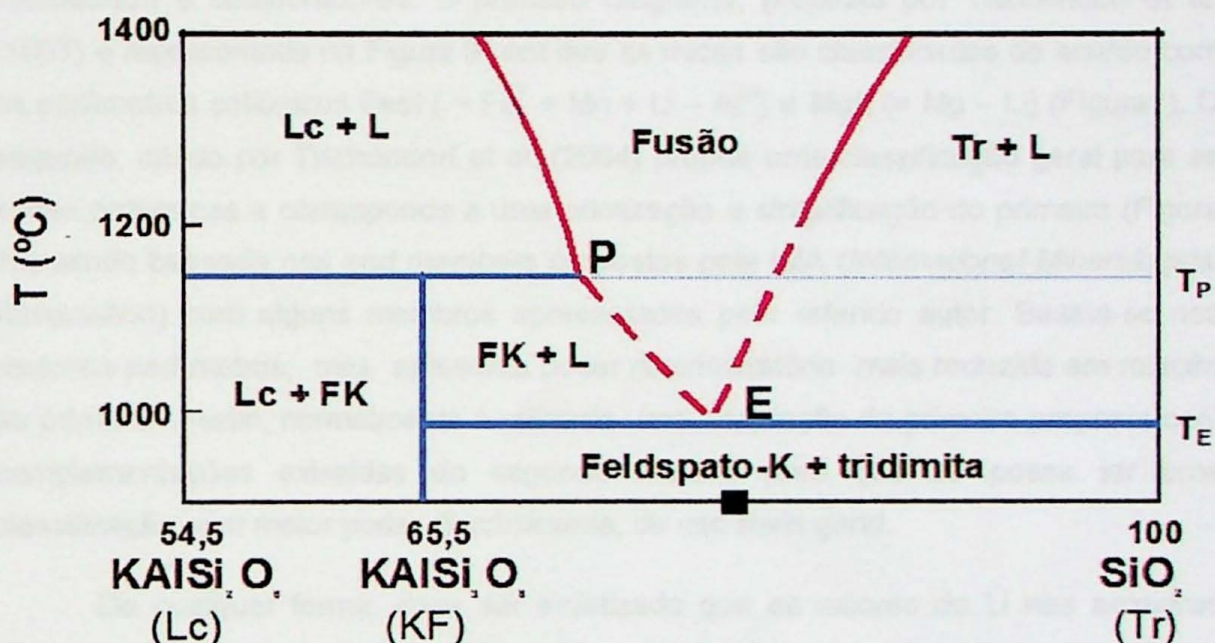


Figura 8 – Diagrama binário Leucita-Quartzo. Quadrado preto representa a composição dos intercrescimentos granofíricos. Extraído de Deer 1982, baseado em Schairer & Bowen, 1955, *Amer. J. Sci.*, **253**, 681-746.

Com base no diagrama pode-se notar a composição dos intercrescimento muito próxima a composição do ponto eutético, que se situa em valor pouco inferior aos 1000°C .

V.1.2 Os grupos da micas

Os minerais dos grupos das micas são os minerais máficos típicos dos granitos estudados. Apresentam variações composicionais significativas e incluem

composições características dos denominados granitos especializados (Taylor, 1979), razão pela qual apresenta-se uma breve introdução sobre o tema.

V.1.2.1 *Classificação de micas de granitos especializados e rochas associadas: uma introdução.*

A classificação convencional de micas di-octaédricas e tri-octaédricas de rochas graníticas, por exemplo, a classificação das biotitas baseada nos conteúdos das moléculas de siderofilita, annita, flogopita (e.g., Deer et al., 2004) não é de valia suficiente para as variedades presentes em granitos especializados e rochas tardi- a pós-magmáticas associadas (e.g., Tischendorf et al., 1997), particularmente pela não consideração de Li, que pode aparecer em conteúdos catiônicos bem significativos.

Assim, no presente trabalho utilizam-se os diagramas propostos por Tischendorf e colaboradores. O primeiro diagrama, proposto por Tischendorf et al. (1997) é representado na Figura 9, em que as micas são classificadas de acordo com os parâmetros catiônicos **Feal** ($= \text{Fe}^{\text{T}} + \text{Mn} + \text{Li} - \text{Al}^{\text{VI}}$) e **Mgli** ($= \text{Mg} - \text{Li}$) (Figura 1). O segundo, criado por Tischendorf et al. (2004) propõe uma classificação geral para as micas potássicas e corresponde a uma otimização e simplificação do primeiro (Figura 10) sendo baseada nos *end members* propostos pela IMA (*International Mineralogical Association*) com alguns membros apresentados pelo referido autor. Baseia-se nos mesmos parâmetros, mas apresenta poder discriminatório mais reduzido em relação ao primeiro. Assim, normalmente é utilizada uma adaptação da primeira proposta com complementações extraídas do segundo modelo para que se possa ter uma classificação com maior poder discriminante, de uso mais geral.

De qualquer forma, deve ser enfatizado que os valores de Li nas amostras estudadas foram estimados a partir da formulação dos referidos autores, conforme destacado no Capítulo sobre materiais e métodos. Portanto os resultados ora apresentados devem ser considerados uma aproximação, principalmente para micas primárias, onde as proporções estimadas podem estar superestimadas. Dados analíticos mais sofisticados (e.g., LA-IPM-MS) são necessários para determinações mais acuradas de Li nas micas estudadas.

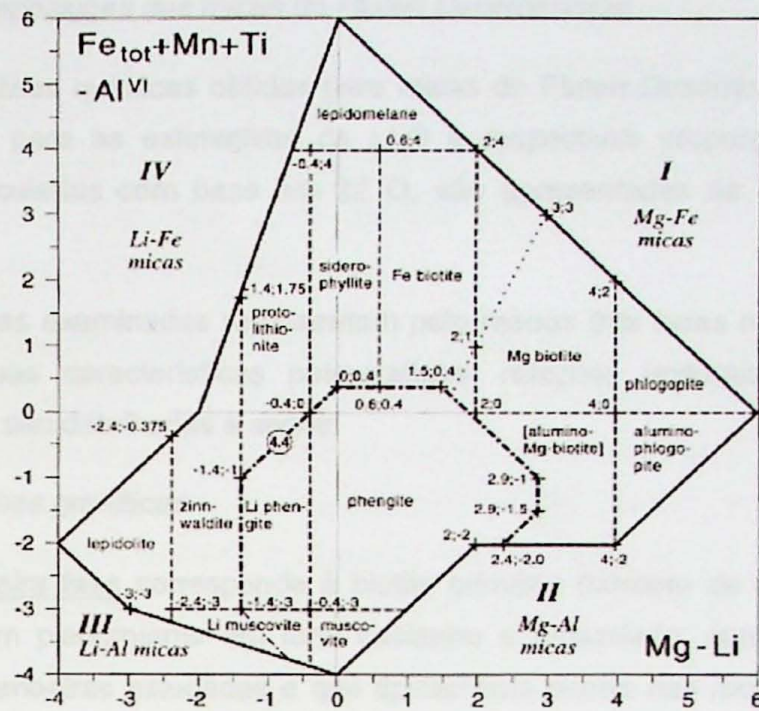


Figura 9 – Diagrama de classificação das micas baseado nos valores de $\text{FeAl} (\text{Fe}^{\text{T}} + \text{Mn} + \text{Li} - \text{Al}^{\text{VI}})$ e $\text{MgLi} (\text{Mg} - \text{Li})$. Valores baseados nas proporções catiônicas para 22 oxigênios. Tischendorf et al 1997.

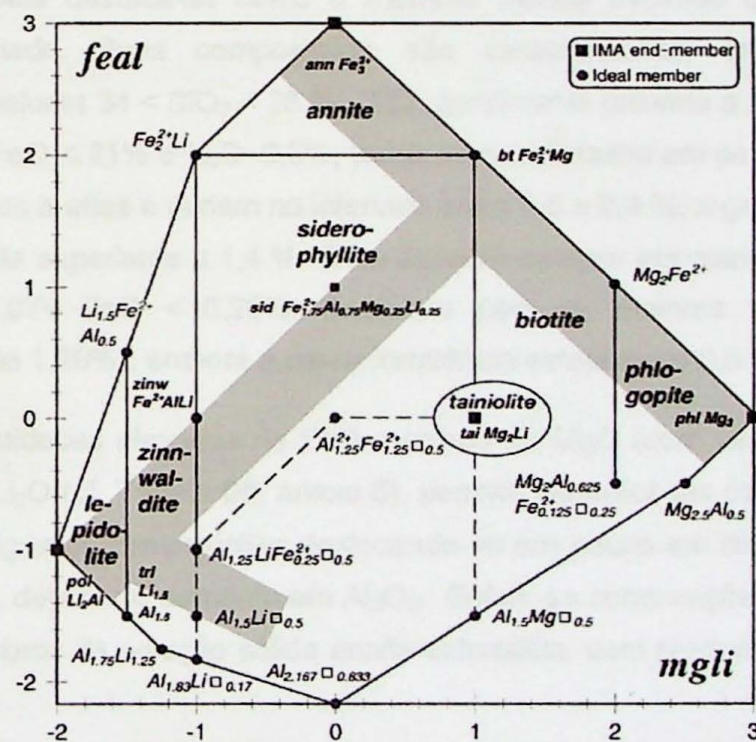


Figura 10 – Diagrama com os principais campos composicionais e as principais séries de solução sólida das micas propostas pela IMA. Notar o menor número de campos de classificação. Tischendorf et al 2004

V.1.2.2 As composições das micas do Pluton Desembarque

As análises químicas obtidas para micas do Pluton Desembarque, bem como os resultados para as estimativas de Li_2O e respectivas proporções catiônicas e aniônicas, calculadas com base em 22 O, são apresentadas na Tabelas 5, 6 e 7 /Anexo 6.

As micas examinadas representam pelo menos três fases muito contrastadas quanto as suas características petrográficas, relações texturais e composições químicas, que são detalhadas a seguir.

Micas nas rochas graníticas

A primeira fase corresponde à biotita primária (número de análises, $n = 26$), subédrica, com pleocroísmo em tons castanho a amarelado, com ocorrência mais discreta nas amostras estudadas e que tipicamente ocorre nas rochas graníticas em porções onde os processos de alteração hidrotermal não foram pervasivos. Frequentemente encontra-se alterada para outras micas e parcialmente cloritizada.

Esta biotita destaca-se como o membro menos evoluído quimicamente do conjunto estudado. Suas composições são caracterizadas, entre outros, por apresentarem valores $34 < \text{SiO}_2 < 36 \%$, TiO_2 geralmente próximo a 2 %, $16 < \text{Al}_2\text{O}_3 < 18 \%$, $26\% < \text{FeO} < 31\%$ e $\text{K}_2\text{O} \sim 9,5\%$, todas as quantidades em peso. Os teores em F são moderados a altos e variam no intervalo entre 0,8 e 2,3 %, a grande maioria dos dados resultando superiores a 1,4 %. O Zn aparece sempre em quantidades singelas, no intervalo $0,07 < \text{ZnO} < 0,29\%$. Destaque para os maiores valores de MnO encontrados (até 1,29%), embora a maior frequência esteja entre 0,5 – 0,9%.

As quantidades elevadas de FeO e baixas de MgO (com valores $\text{fe}^\# > 0,98$), bem como de Li_2O (cf. Tabela 05, anexo 6), permite classificá-las convencionalmente como annita, algumas composições deslocando-se um pouco em direção ao membro final siderofilita, devido ao aumento em Al_2O_3 . Enfim, as composições obtidas situam-nas como membros da solução sólida annita-siderofilita, com predomínio da molécula annita.

Estas micas podem apresentar variações composicionais em suas bordas associadas aos processos de alteração hidrotermal (Prancha A, Fotomicrografia 1, anexo 6), gerando micas composicionalmente mais evoluídas que serão descritas nos itens posteriores.

A segunda fase (n = 26) corresponde a uma mica presente nas variedades que hospedam as amostras de pegmatito e greisen estudadas, e ocorrem nos granitos com maior frequência, quando comparada a mica da primeira fase. Está representada por cristais subhedrais de biotita verde que substituem a mica castanha primária. Em diversas amostras esta mica verde aparece como bordas de cristais que ainda preservam núcleos reliquiares castanhos.

As composições obtidas (Tabela 06, anexo 6) situam-se nos intervalos $36 < \text{SiO}_2 < 39 \%$, $0,2 < \text{TiO}_2 < 1,3$, $18 < \text{Al}_2\text{O}_3 < 20 \%$ e $24 < \text{FeO} < 28 \%$ e K_2O entre 9,5 e 10% (quantidades em peso). Os valores para Mn e Mg são pouco expressivos, entre 0,6 - 0,85 % e 0,15 a 0,56 %, respectivamente. Os valores de F são em média superiores aos da mica primária e situam-se entre 1,3 e 2,7 %. Os valores de $\text{Fe}^\#$ são moderadamente maiores, com valores sempre superiores a 0,98. Os valores de Zn são em média inferiores, situando-se no intervalo 0,07 a 0,21 %.

Estes membros apresentam maior abundância de Al no sítio octaédrico e a relação Fe/Al é reduzida para o intervalo entre 2 e 3, quase a metade do observado na primeira fase (entre 4 e 6). São assim micas com contribuições bem mais significativas da molécula siderofilita. Os conteúdos em estimados para Li já são mais expressivos, situando-se entre 0,5 a 1 cátions por fórmula unitária (c.p.f.u.).

A terceira fase, também bastante característica, que resulta de processos locais de “greisenização” corresponde as micas com tonalidades que variam de verde claro a incolor (n = 51), as quais substituem as micas verdes e castanhas das segunda e primeira fases (Prancha A, Fotomicrografia 2 e 3, anexo 6). A substituição se dá tanto de forma parcial, cristalizando-se as últimas nas bordas dos grãos das anteriores, quanto de forma pervasiva, em que as micas da primeira e da segunda fases são totalmente substituídas.

Exibem intervalos composicionais bem delimitados, com $43,5 < \text{SiO}_2 < 48,6 \%$ (em peso), em geral superior a 45 % e uma análise com ca. 53 % (cf. Tabela 07, anexo 6), $20,8 < \text{Al}_2\text{O}_3 < 29,7 \%$, $5,8 < \text{FeO} < 17,0 \%$, em geral entre 10,0 e 13,0 % e bem inferior aos das demais fases e $0,2 < \text{TiO}_2 < 0,4 \%$. Os valores de K_2O são sempre superiores a 10 %. Os valores de MnO são bem inferiores, assim como o FeO, entre 0,1 e 0,4 %; Mg e Zn também mostram alguma redução. Os valores medidos de F são bem variáveis, mas em geral são superiores a 2 %, alcançando até 3,05 %. As quantidades estimadas para Li_2O já são muito significativas, alcançando valores entre

2,9 e 4,4 %. O parâmetro $fe\#$ situa-se entre 0,95 e 0,98, ultrapassando 0,99 em algumas casos.

Nessas micas fica evidente o amplo predomínio de Al no sítio octaédrico em detrimento de Fe, observando-se valores Fe/Al entre 0,3 e 0,7, nunca maiores que a unidade. O Li estimado corresponde a 2-2,4 c.p.f.u. na estrutura deste mineral. Neste panorama, esta variedade é mais propriamente classificada como zinnwaldita, com algumas composições mais ricas em Fe (Prancha A, Fotomicrografia 4, anexo 6).

Micas no albita granito

No albita granito, as micas ($n = 6$) apresentam em geral intervalos composicionais mais restritos. Observam-se valores $44,0 < SiO_2 < 45,5$ (% em peso), $26,3 < Al_2O_3 < 30,5$, % e $7,9 < FeO < 10,7\%$. Os óxidos aparecem em concentrações similares às observadas para a zinwaldita, com exceção do F, inferior, alcançando no máximo 1,8 % e do Li_2O que fica entre 3,1 e 3,5 % (cf. Tabela 08, anexo 6).

Embora bastante semelhante a mica da terceira fase que ocorre nos granitos principais, essas micas exibem relação Fe/Al entre 0,5 e 0,3 e apresentam maior contribuição do Al no sítio octaédrico quando comparadas às presentes no granito. O Li apresenta uma contribuição de 1,7 – 1,9 c.p.f.u. Correspondem também à zinwaldita, porém com contribuição mais expressiva de Al quando comparada a de Li.

Greisen

A amostra de greisen estudada exhibe os membros mais evoluídos do grupo das micas ($n = 11$). Apresentam intervalos de sílica entre $41,8 < SiO_2 < 47,2$ (% em peso), em que os termos mais aluminosos alcançam teores de 31,8% de Al_2O_3 com menores valores para FeO, 6,6 % em peso. São similares em geral as micas presentes no albita granito.

Assim apresentam também expressiva contribuição de Al e Li no sítio octaédrico e classificam-se igualmente como zinwaldita (Prancha A, Fotomicrografia 6, anexo 6). Essas micas apresentam o mais alto grau de evolução encontrado nas amostras estudadas, com valores $fe\#$ sempre superiores a 0,99 salvo algumas exceções. Os conteúdos de ZnO são pouco expressivos (0,05 – 0,12%, cf. Tabela 08, anexo 6).

Pegmatitos

Os pegmatitos hospedam cristais de zinwaldita ($n = 6$) e de biotita verde ($n = 4$). A zinwaldita é mais rica em Fe (10,18 – 19,41% em peso de óxido) quando comparada as demais estudadas. Exibem os valores mais altos medidos para F (~3%). (Prancha A, Fotomicrografia 5). Apresentam ainda, $42,45 < \text{SiO}_2 < 48,58$ (% em peso), $21,41 < \text{Al}_2\text{O}_3 < 24,46\%$, valores bastante semelhantes aos das fases anteriormente descritas.

As biotitas verdes são quimicamente muito semelhantes as descritas anteriormente, valendo ressaltar um relativo empobrecimento em FeO, com intervalos entre 21 e 24%.

V.1.2.3 Evolução das composições das micas do Pluton Desembarque

Classificação

As classificações e nomenclaturas adotadas no item anterior se baseiam no diagrama proposto (Figura 11), de acordo com a abordagem de Tischendorf et al 1997, acrescida do campo da annita proposto pelos mesmos autores em 2004.

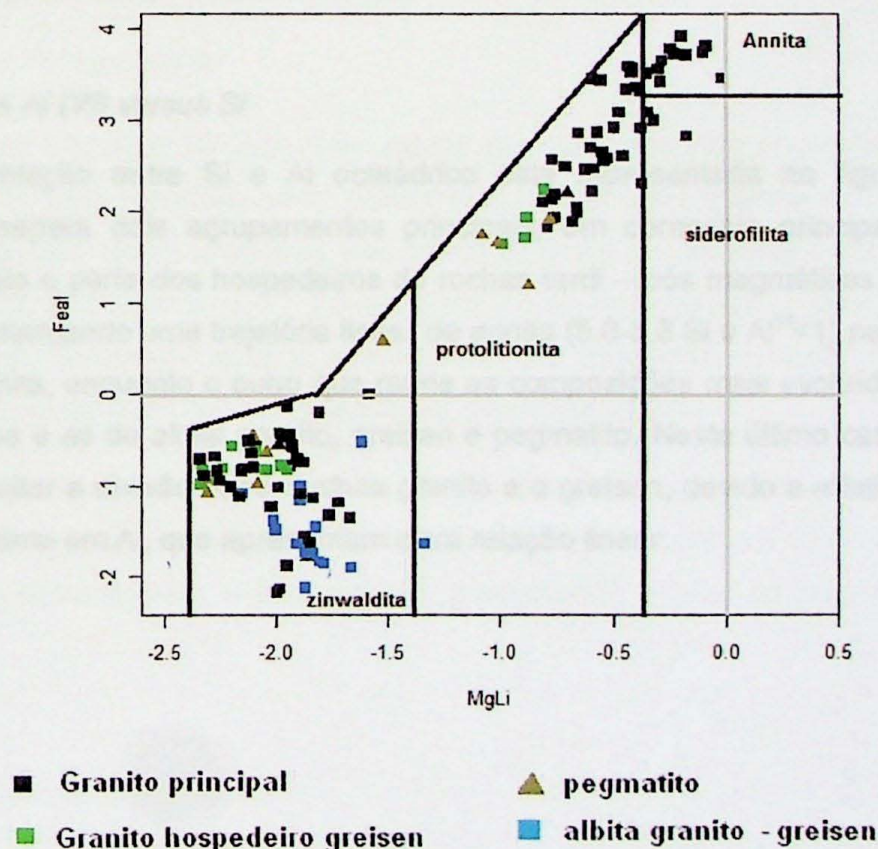


Figura 11 – Adaptado de Tischendorf et al (1997) e (2004). Classificação das micas presentes no estudo em gráfico que mescla parte das duas propostas feitas pelo referido autor e que apresentou maior poder discriminante.

Nele fica clara a presença bem marcada das três fases minerais caracterizadas anteriormente, bem como uma evolução que indica uma migração de uma tendência composicional bastante enriquecida em Fe para uma rica em Al e Li. Neste ponto, vale destacar que valores superestimados de Li podem causar certa distorção plotando mais a esquerda do que deveriam, principalmente no limite siderofilita e protolitionita

As micas presentes nos granitos típicos do Desembarque concentram-se no campo das annitas (biotita castanha – MgLi entre -0.6 - 0, e Feal = 2.5 - 4), representando os membros mais primitivos analisados, depois há um trend bem marcado de siderofilita para protolitionita (biotita verde MgLi = -0.6 - -1.2 e Feal = 2.6 - 1.8) e por último uma concentração que apresenta todos os dados que se agrupam na zinnwaldita, sendo distintos dois subgrupos: um mais enriquecido em Fe (MgLi = -1.9 - -2.4 e Feal = -0.4 - -1.1) e outro em Al, este último marcado pela ocorrência de dados obtidos nas amostras de albita granito e greisen (MgLi = -1.6 - -2, Feal = -1.1 - -2.1) que apresentam os valores mais distoantes de Al, caracterizando a importância dos processos hidrotermais atuantes.

O granito que hospeda o greisen, as rochas pegmatíticas e a amostra GUA-02 não apresentam annita, somente dois outros membros com uma tendência de concentração no campo das zinnwalditas.

O diagrama Al (VI) versus Si

A relação entre Si e Al octaédrico está representada na figura 12. Este diagrama separa dois agrupamentos principais: um composto principalmente pelo granito típico e parte dos hospedeiros de rochas tardi – pós magmáticas (entre 5.7 e 6.1 de Si) marcando uma trajetória linear de annita (5.6-5.8 Si e $Al^{VI} < 1$) para siderofilita e protolitionita, enquanto o outro que reúne as composições mais evoluídas presentes nos granitos e as do albita granito, greisen e pegmatito. Neste último caso é possível ainda ressaltar a divisão entre o albita granito e o greisen, devido a relativa perda em Si e acréscimo em Al, que apresentam clara relação linear.

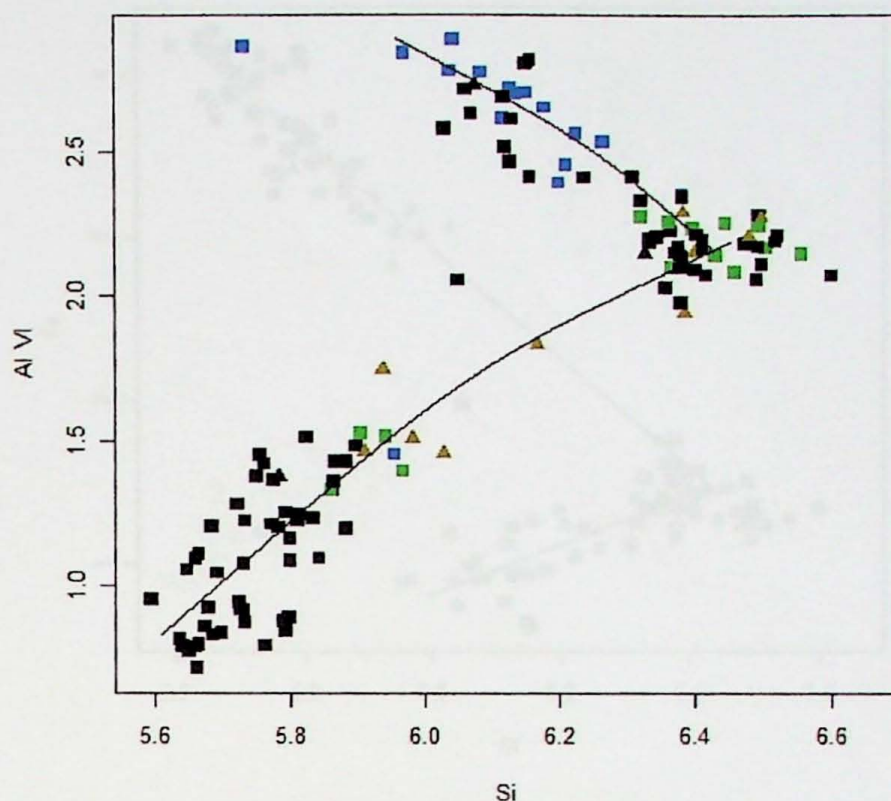


Figura 12 – Variação de Al^{VI} e Si. Retas representam tendências lineares. Valores em proporções catiônicas. Legenda como na Figura 11.

O diagrama Fe^{+2} versus Si

Neste diagrama ficam também claros dois agrupamentos principais (Figura 13). O primeiro tem um comportamento praticamente linear entre a perda de Fe e aumento de Si na composição dos minerais (marcando as fases das biotitas) e outro concentra-se valores de Fe inferiores a 1.7 átomos por fórmula, onde ocorre uma tendência linear inversa, onde ocorre perda de Si e redução de Fe concomitantemente, tal variação é fruto do enriquecimento em Al verificado no diagrama anterior.

Nesse diagrama também fica muito bem marcados os fatos de que as composições nos pegmatitos e no granito hospedeiro do greisen são mais evoluídas no primeiro agrupamento, e marcam bem a subdivisão inferior do segundo, mais rica em Si.

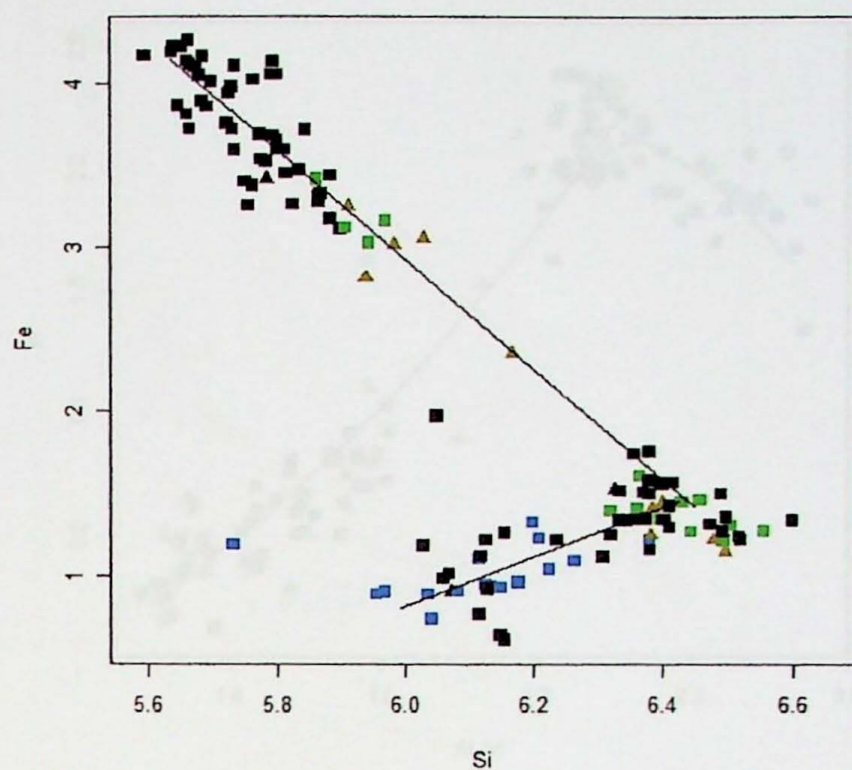


Figura 13 – Variação de Fe e Si. Retas representam tendências lineares. Valores em proporções catiônicas. Legenda como na Figura 11.

O diagrama Li versus Al^{VI}

Em virtude da estimativa de Li ter sido realizada através da quantidade de sílica presente no mineral, esse elemento apresenta comportamento semelhante, definindo praticamente a mesma linha de agrupamentos e tendências (Figura 14), com o aumento de Al^{VI} concomitante ao enriquecimento em Li, e depois com tendência de crescimento do alumínio em detrimento da perda de lítio para o greisen e albita granito.

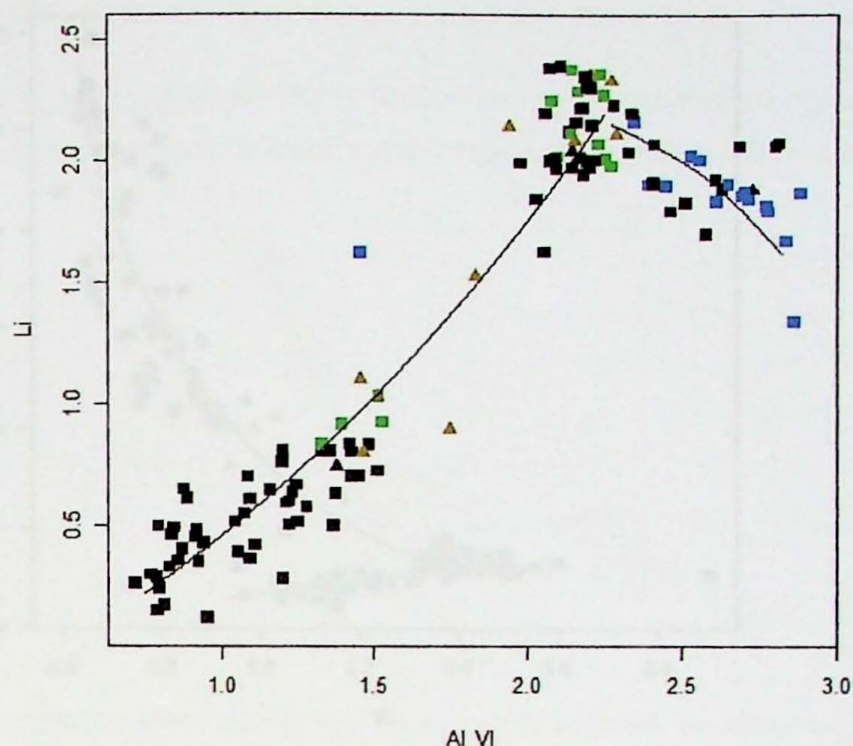


Figura 14 – Variação de Al^{VI} e Li. Retas representam tendências lineares. Valores em proporções catiônicas. Legenda como na Figura 11.

O diagrama Fe/Al^{VI} versus Si

Entre os diagramas apresentados, este diagrama (Figura 15) é o que apresenta o melhor poder discriminatório para as micas estudadas, conseguindo subdividi-las nos 3 trends descritos anteriormente com suas tendências de aumento de Si dos granitos típicos para os membros que hospedam greisen e pegmatito (entre 6,5 e 7 átomos de Si), passando por membros intermediários. E ainda é notável uma quarta tendência, definida pelo greisen e albita granito, com perda de Si compensada pelo aumento de Al^{VI} .

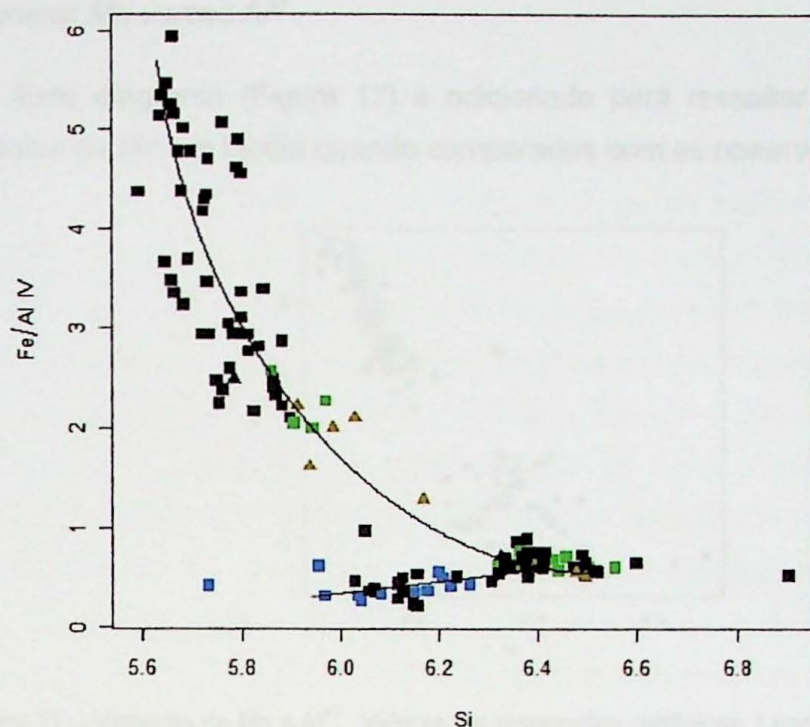


Figura 15 – Variação de Al^{VI} e Si. Retas representam tendências lineares. Valores em proporções catiônicas. Legenda como no na Figura 11.

O diagrama Ti versus Al^{VI}

Foram elaborados diversos diagramas envolvendo Ti, observando-se que o que representa melhor as variações deste elemento envolve a relação com Al^{VI} (Figura 16). Neste diagrama destaca-se uma tendência linear de alta declividade que mostra a variação dos granitos típicos onde as biotitas contém valores mais expressivos de Ti para uma outra reta de caráter horizontal onde as quantidades de Ti ficam próximas de zero, demonstrando o maior grau de evolução dessas micas (zinwalditas).

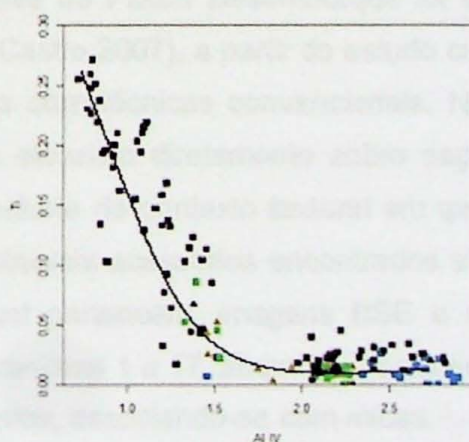


Figura 16 – Variação de Ti e Al^{VI} . Retas representam tendências lineares. Valores em proporções catiônicas. Legenda como na Figura 11.

O diagrama Mn versus Al^{VI}

Este diagrama (Figura 17) é adicionado para ressaltar as quantidades mais expressiva de Mn em biotita quando comparadas com as observadas em zinwaldita.

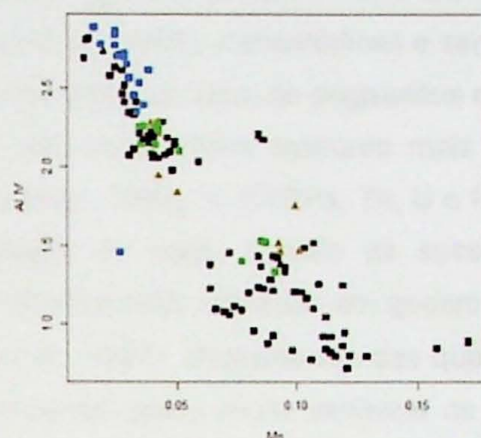


Figura 17 – Variação de Mn e Al^{VI} . Valores em proporções catiônicas. Legenda como no Figura 11.

Os dados obtidos e os diagramas apresentados abrem ainda perspectivas bem interessantes para detalhamentos futuros das reações de substituição envolvidas nas micas estudadas.

5.2 Minerais acessórios: caracterização e micro-estruturas

Uma das características mais marcantes dos granitos de tipo-A, quando comparados aos demais tipos de granitos, é a concentração mais elevada de elementos LIL e HFS (cf. capítulo 6). Parte significativa destes elementos encontra-se concentrada na mineralogia acessória e, neste sentido, o estudo dos minerais acessórios é essencial em quaisquer estudos de maior detalhe. A mineralogia acessória de amostras do Pluton Desembarque foi objeto de estudos recentemente (Pereira et al 2007; Castro, 2007), a partir do estudo com MEV e EDS de concentrados de pesados, obtidos com técnicas convencionais. Neste trabalho, apresenta-se um estudo similar, mas efetuado diretamente sobre seções delgadas polidas, as quais permitem melhor controle do contexto textural em que estes minerais se encontram. Por facilidade, os minerais acessórios encontrados são descritos a seguir de acordo com a classe a qual pertencem, imagens BSE e espectros qualitativos EDS são apresentados nas pranchas 1 a 17, anexo 7. Os minerais estudados encontram-se ora isolados, ora agrupados, associando-se com micas.

5.2.1 Silicatos

5.2.1.1 Zircão

Zircão [ZrSiO_4] é um mineral de simetria tetragonal [$4_1/\text{amd}$] que ocorre principalmente em rochas ígneas, principalmente as plutônicas com quantidades apreciáveis de Na (Deer et al., 1992), metamórficas e sedimentares, neste último caso particularmente como fase detrítica, além de pegmatitos e rochas hidrotermais. Fe, em forma trivalente, e Hf são constituintes menores mais importantes na maioria dos cristais de zircão (Deer et al., 1992); Y, ETRPs, Th, U e P são elementos que ocorrem em geral em quantidades de traço. Devido as suas características químicas e distribuição é um dos minerais mais utilizados em geocronologia, particularmente para datações U-Pb (Deer et al., 1992). Dependendo das quantidades de Th e U e da sua idade, zircão pode apresentar graus muito variáveis de metamictização, ocasionada por decaimento radioativo, que promove bombardeamento da sua estrutura cristalina por partículas α .

Zircão é um dos acessórios mais típicos, encontrado em todas as amostras estudadas e se associa com a maioria dos demais acessórios encontrados. Em geral apresenta-se variavelmente transformado por efeito de transformações tardi- a pós-magmáticas, as quais se superpõem efeitos de metamictização e consequentes transformações químicas. A maior parte dos cristais é idiomórfica a subdiomórfica, por vezes exibindo fraturamento radial devido ao decaimento radioativo (Anexo V.2, prancha 1). Os cristais apresentam zonamentos composicionais diversos: zonamentos mais finos, regulares e recorrentes (Anexo 7, Prancha 2 e 15), normalmente associados à cristalização magmática, enquanto zonamentos irregulares, por vezes associados com texturas em “esponja”, inclusões diversas distribuídas de forma mais irregular, bem como cristalização de fases minerais mais tardias (Anexo 7, Prancha 3).

Alguns cristais apresentam núcleos constituídos por intercrescimentos entre zircão e torita, originados por processos de alteração, possivelmente associados a uma fase primária mais rica em Th (Anexo 7, Prancha 1). Cristais com núcleos bem límpidos sem inclusões e bordas com inclusões e buracos também foram observadas. Os principais acessórios associados ao zircão correspondem a torita, columbita, monazita, cassiterita, galena e fluoretos de ETR. Torita, columbita e columbita são primárias e/ou secundárias; galena, monazita e fluoretos de ETR são certamente secundários. Xenotima aparece em uma única ocorrência, na forma de diminutos sobrecrecimentos (Anexo 7, prancha , cf. item 5.2.5.2).

Os dados de espectroscopia de dispersão de energia indicam que as principais variações composicionais devem-se as variações no conteúdo em Fe, Ca, Hf e, possivelmente, ETRP. Em geral as quantidades de Hf são qualitativamente maiores nas bordas cristalinas (Anexo 7, Prancha 3) confirmados por análises semiquantitativas (cf. Pereira et al 2007, Castro 2007). Teores anômalos de Ca, Fe e Th são encontrados no zircão presente nos núcleos intercrescidos, tais como o ilustrado no Anexo 7, prancha 1.

5.2.1.2 Torita

A torita $[\text{ThSiO}_4]$ é isoestrutural com o zircão. É um acessório comum, embora em quantidades diminutas, em algumas rochas ígneas, carbonatitos, ocorrendo principalmente em pegmatitos. As principais variações composicionais envolvem U, Fe e ETRPs, que substituem o Th, enquanto o P substitui o Si, de acordo com as substituições $\text{U}^{+4} \leftrightarrow \text{Th}^{+4}$ e $\text{ETR}^{+3} + \text{P}^{+5} \leftrightarrow \text{Th}^{+4} + \text{Si}^{+4}$ (Speer, 1982). Deve ser destacado que a torita, devido aos conteúdos muito altos em Th e, menores em U, é um mineral que torna-se totalmente metamórfico em poucas centenas de milhões de anos, dificultando o seu reconhecimento em rochas mais antigas.

No Pluton Desembarque a torita aparece como mineral primário (Anexo V.2, Prancha 5) e secundário (Anexo V.2, Prancha 2 e 4) e que aparece quase sempre associado ao zircão. Quando mais tipicamente secundário, aparece associada a outros minerais mais tardios junto a zonas de maior alteração em zircão.

5.2.1.3 Allanita

A allanita $[(\text{Ca}, \text{Ce})_2(\text{Fe}^{+2}, \text{Fe}^{+3})\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)(\text{SiO}_7)(\text{OH})]$ é um mineral do grupo do epidoto com simetria monoclinica $[\text{P}_2/\text{m}]$, aparecendo como acessório em diversas rochas ígneas e metamórficas, além de pegmatitos e hidrotermalitos (e.g., Deer et al. 1992). Nas rochas graníticas, em geral é o principal portador das ETRL em variedades metaluminosas a moderadamente peraluminosas, associando-se a biotita e/ou hornblenda. Estes mineral apresenta amplo espectro de variações composicionais, as quais refletem a composição dos magmas primários, bem como os ambientes de cristalização (e.g., Vlach e Gualda, 2007). Apresenta teores variáveis, embora relativamente reduzidos, de Th e U, que promovem metamictização dos cristais originais.

Nas amostras estudadas, é um acessório primário, mais comum no granito pórfiro, associado com as micas e minerais opacos. Nos biotita granitos é mais raro.

Em geral, os cristais observados são idiomórficos e os cristais dimensões superiores a 1 mm. Apresentam zonamentos notáveis em imagens BSE, os quais são muito ressaltados pelos fenômenos de alteração hidrotermal e/ou metamictização (Anexo V.2, Prancha 6, ver também Vlach & Gualda, 2007 e referências lá citadas). Em termos composicionais, correspondem a uma allanita-(Ce) e/ou ferriallanita-(Ce).

5.2.2. Óxidos

5.2.2.1 Óxidos de Fe e Ti

Os óxidos de Fe e/ou Ti encontrados e descritos a seguir são ilmenita magnetita e hematita. Estes óxidos são importantes particularmente porque podem fornecer informações relevantes sobre as condições ox-red de cristalização magmática e/ou pós-magmática (Dallagnol e Oliveira, 2007).

5.2.2.1.1. Ilmenita

Ilmenita [FeTiO_3], com simetria hexagonal, é acessório comum em rochas ígneas. Apresenta variações composicionais associadas principalmente a variações nos conteúdos de Mn, Mg e Nb (e.g., Deer et al. 1992).

É o mineral opaco mais comum nas amostras do Pluton Desembarque, ocorrendo com hábitos tabulares a mais granulares. É de natureza primária e pós-magmática, neste último caso ocorrendo principalmente associado as micas mais tardias, concentrado Fe e Ti por elas liberado no processo de alteração (Anexo 7, Prancha 8). Aparece também associada à magnetita, na forma de lamelas de exsolução (Anexo 7, Prancha 7). É interessante notar que, em algumas amostras, parece guardar uma relação de reação com a columbita primária, aparecendo como típicas bordas sobre esta última (Anexo V.2, Prancha 9).

As principais variações composicionais notadas correspondem as variações de Ti e Nb.

5.2.2.1.2. Magnetita

Magnetita [Fe_3O_4], de simetria cúbica, é um mineral do grupo do espinélio, que constitui um grupo de minerais relacionados por complexas soluções sólidas.

É um mineral relativamente raro nas rochas estudadas. Em algumas amostras, aparece idiomórfica e contém lamelas de exsolução de ilmenita, e parece ser de

natureza primária (Anexo 7, prancha 7). Em outros casos é tipicamente pós-magmática, aparecendo associada na forma de diminutos agregados juntamente com outros minerais tardios.

5.2.2.1.3. Hematita

Hematita [Fe_2O_3], de simetria hexagonal, é relativamente rara em rochas ígneas. Aparece mais tipicamente associada a processos hidrotermais ou meteóricos de alteração (e.g., Deer et al., 1992).

Nas rochas estudadas aparece com hábitos tabulares a lamelares, associados aos produtos de alteração de biotita e à zinwaldita. São os principais minerais opacos pós-magmáticos contidos nas lâminas, associando-se à ilmenita, columbita, e localmente preenchendo fraturas em fluorita, associada aos fluoretos de ETRs.

5.2.2.2. Columbita

A columbita representa o membro final da solução sólida columbita [(Fe,Mn)Nb₂O₆] - tantalita [(Fe,Mn)Ta₂O₆]. É um mineral ortorrômbico com simetria P₂ca, que ocorre tipicamente em algumas rochas graníticas e pegmatitos (Klein & Hurlbut, 1993). Pode apresentar conteúdos variáveis de Sn e W.

A columbita é um acessório comum, aparecendo em todas as amostras analisadas, associada aos demais acessórios, bem como as micas, seja como cristais pequenos isolados, seja como inclusões (Anexo 7, Prancha 8), ou ainda bordas de alteração.

Cristais primários, idiomórficos, apresentam frequentemente zonamentos composicionais bem marcados, com bordas significativamente mais ricas em Ta (Anexo V.2, Prancha 10). Neste cristal, análises EDS semi-quantitativas, sugerem por exemplo, variações de Ta entre ca. 4-5 % e ca. 33-38 % (em peso). Columbita aparece também como inclusões de hábitos variados em mica, cassiterita, fluorita e fluoretos de ETRs e, por vezes, associada com zircão (Anexo V.2, Prancha 4). Pode apresentar inclusões de galena e Fluoretos de ETRs e, em um caso, evidencia relação de reação com ilmenita, esta última aparecendo como um "manto" (Anexo V.2, Prancha 9).

5.2.2.3 Cassiterita

Cassiterita [SnO₂] é isoestrutural com zircão. É encontrada em rochas graníticas, pegmatitos, greisens e skarns. Apresenta conteúdos variáveis de Mn, Ti, Sc, Ta e Nb (Taylor 1979, Deer et al 1992).

Este mineral aparece principalmente nas amostras coletadas nas porções mais centrais do Pluton Desembarque. Aparece ora como cristais idiomórficos, mais tipicamente de natureza primária, ou associado às micas hidrotermais, e por vezes, com zircão, nestes casos ora como inclusão (Anexo V.2, Prancha 13), ora associando-se com minerais de alteração e sendo de natureza possivelmente pós-magmática.

Apresenta tipicamente inclusões de columbita, ora mais idiomórficas, ora evidenciando possíveis corrosões (Anexo V.2, Pranchas 11 e 12).

As principais variações composicionais observadas em espectros EDS são devidas ao Nb e ao Fe.

5.2.3 Sulfetos

O único sulfeto encontrado nas rochas graníticas corresponde à galena [PbS], mineral de simetria cúbica. É um mineral relativamente raro, que aparece mais tipicamente como inclusões em zircão e columbita (Anexo 7, Prancha 8 e 14), ou ainda em micas (Anexo V.2, Prancha 9). Apresenta conteúdos significativos de Fe e de Zn em sua composição.

5.2.4 Fluoretos

5.2.4.1 Fluorita

Fluorita [CaF₂] de simetria cúbica, é mineral acessório muito comum em rochas graníticas e pegmatitos e bastante recorrente em processos hidrotermais associados a minerais de minério, como galena, cassiterita e esfalerita. Os elementos terras raras, particularmente Y e ETRs, podem substituir o Ca na sua estrutura (Deer et al 1992, Klein & Hurlbut, 1993).

É um dos acessórios mais comuns e típicos das rochas estudadas, associando-se às micas e aos demais acessórios. Exibe hábitos idiomórficos a xenomórficos, e localmente apresenta marcado zonamento composicional, caracterizado por zonas marginais com conteúdos bem significativos de Y e ETRs, particularmente ETRPs (Anexo V.2, Prancha 14). Em muitas amostras encontra-se fraturada, com preenchimento de hematita e fluoretos de ETRs.

5.2.4.2 Fluoretos de elementos terras raras

Fluoretos de ETRs são minerais comuns nas amostras estudadas. Os espectros EDS obtidos sugerem que a maioria deles é caracterizada pela abundância de ETRLs, tratando-se possivelmente de parasita (e.g. Clark 1993 apud Larsen; Castro 2007).

Estes fluoretos ocorrem tipicamente como minerais pós-magmáticos, ocorrendo nas bordas dos demais acessórios, ou ainda nas zonas alteradas de minerais como zircão e columbita (Anexo 7, Pranchas 7, 9 e 15). Em fluorita, estes minerais aparecem tipicamente preenchendo fraturas ou nas bordas dos cristais (Anexo 7, Prancha 5 e 14).

5.2.5 Fosfatos

5.2.5.1 Monazita

Monazita $[(Ce, La, Nd, Th)PO_4]$, de simetria $P2_1/n$, é mineral acessório típico de granitos e metassedimentos de médio a alto grau de afinidades peraluminosas, bem como de pegmatitos e hidrotermalitos diversos. Apresenta variações composicionais significativas, envolvendo principalmente Si, Ca e U (e.g., Chang et al. 1998).

É relativamente rara nas rochas estudadas, aparecendo como cristais diminutos, associados a áreas de alteração de zircão, com fluorita e com Fluoretos de ETRs (Anexo V.2, Pranchas 4 e 16).

5.2.5.2 Xenotima

Xenotima $[(Y, ETRP, U)PO_4]$, isoestrutural com zircão, é um acessório ocasional em granitos e em rochas metamórficas (e.g. Nesse, 1991).

Este mineral aparece em uma única amostra entre as estudadas, ocorrendo como sobrecrescimento epitaxial em zircão (Anexo 7, Prancha 17), associados às transformações minerais pós-magmáticas. Intercrescimentos deste tipo, embora relativamente comuns em algumas rochas sedimentares psamíticas e certas rochas hidrotermais (e.g., Nesse, 1991), aparentemente ainda não foram descritos em rochas graníticas como as estudadas.

6. Geoquímica de rocha total

Os dados obtidos para as 14 amostras analisadas para elementos maiores, menores e alguns traços são apresentados nas Tabelas 9 e 10, Anexo 8. Apresentam-se a seguir a caracterização das assinaturas observadas, bem como comentários e interpretações.

6.1 Apresentação do resultados

6.1.1 Rochas graníticas

As composições dos biotita granitos principais são em geral bem similares, destacando-se os valores relativamente altos para SiO_2 (76-77% em peso) e álcalis (Na_2O até 4,1 % e K_2O até 4,5 %) e modestos para Al_2O_3 (ca. 12%) e Fe_2O_3 (~1%) (Tabela 9, Anexo 8). Os demais elementos aparecem em concentrações bem baixas (CaO : 0,5 %, MnO , TiO_2 e P_2O_5 inferiores a 0,03%, 0.05% e 0.005%, respectivamente). Os valores de MgO encontram-se próximos ou mesmo abaixo do limite de detecção (cf. Tabela 9).

Entre os elementos traços (Tabela 10, Anexo 8), os que aparecem em quantidades (em ppm) de destaque incluem Ce (55-47), Ga (30), Nb (60-66), Rb (400-432), Th (30), U (7), Zn (46-33), Zr (141-125), Y (161-119) e F (3805 – 2784).

Dentre este conjunto de amostras, a amostra GUA-50B, representativa do granito pórfiro, se destaca, por um lado, pelos valores mais elevado para K_2O (4,96%) e inferior para Na_2O (3,58%), mas os contrastes mais marcantes ficam definidos pelos elementos traços, observando-se que diversos elementos, que nos granitos aparecem em abundâncias inferiores aos limites de detecção, ocorrem em quantidades significativas, como Ba (127), Cr (69), La (55) e Sr (19). Por outro lado, as abundâncias de alguns elementos, como Rb, Y e Nb, são tipicamente inferiores: 291, 82 e 29 ppm, respectivamente (Tabela 1). Já a amostra GUA-50C, uma variedade de granulação algo mais grossa do granito típico, exibiu também alguns valores de traços superiores aos das demais amostras, como Ba (47 ppm), Ce (75), La (53), Nd (30), Y (188), porém com um relativo empobrecimento em Nb e Zr. Ambas amostras apresentam teores de SiO_2 inferiores as observadas nos granitos típicos (Tabela 1).

A amostra GUA-21, também merece destaque devido ao maior conteúdo de SiO_2 nessas rochas e principalmente La (92,7 ppm), Y (258,90), Pb (48,5) e Zr (194).

6.1.2 Rochas Hidrotermais

As amostras analisadas de albita granito e greisen apresentam algumas variações muito bem marcadas em relação às rochas graníticas hospedeiras, que revelam as tendências dos processos de alteração hidrotermal e são parcialmente ressaltadas a seguir.

A amostra GUA-08C, que representa o biotita granito em contato com as rochas hidrotermais, apresenta, comparativamente aos granitos típicos, valores levemente mais altos de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 e menores em álcalis, sendo também mais ricos em alguns elementos traços, com destaque para Ce, Zn, Zr e F (Tabela 9, Anexo 8).

Entre as rochas hidrotermais propriamente dito, o albita granito apresenta, em relação à amostras GUA-08C, teores mais elevados em Fe_2O_3 (2,1% em peso) e menores de Na_2O (2,96%). Entre os elementos traços (Tabela 10, anexo 8) destacam-se principalmente os teores algo mais elevados de Rb (470 ppm), Y (161), Zn (62) e F (6424).

Os dados da amostra de greisen indicam, por sua vez, variações bem mais marcantes. Os teores em SiO_2 , Fe_2O_3 e MnO alcançam, por exemplo 78,22, 5,27 0,133 (% em peso) respectivamente, K_2O alcança 3,92 % e Al_2O_3 cai para ca. 10 %. Na_2O apresenta a maior variação, caindo para apenas 0,26 % (Tabela 1). Entre os elementos traços, as maiores variações observadas são para Rb (865) e Zn (135), além de Ba (46), Ga (36), Th (36), U (9) e Zr (153). Destacam-se os valores mais altos de F encontrados: 9000 ppm.

6.2 Classificação Geoquímica das Rochas Graníticas

6.2.1 Elementos Maiores e Diagramas Classificatórios

Apresentam-se a seguir diagramas geoquímicos de classificação para as rochas graníticas e pórfiro do Pluton Desemborque.

Os Índices de Saturação em Alumina e Agpaítico

O Índice de Saturação em Alumina (ISA, ou A/CNK) é representado pela quantidade $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ em moles e mede o grau de saturação em Al relativo a Ca, Na e K, da amostra considerada (Shand, 1943). O Índice agpaítico (IA), por sua vez, é representado pela quantidade NK/A ou seu inverso A/NK

$[=Al_2O_3/(Na_2O + K_2O)]$. Os valores ISA para feldspatos são idealmente iguais a unidade, portanto em rochas feldspáticas portadoras de quartzo, quaisquer excessos ou deficiências em Al estão necessariamente registrados na mineralogia máfica e/ou acessória. Rochas que apresentam $ISA > 1$ são classificadas como peraluminosas e se caracterizam pela presença de minerais máficos que incluem, entre outros, biotita, muscovita, granada, turmalina e cordierita.. Rochas que apresentam $ISA < 1$ e $IA < 1$ ($A/NK > 1$) são denominadas metaluminosas e apresentam minerais como clinopiroxênio cálcico, hornblenda, biotita, titanita, allanita, entre outros. Rochas peralcalinas, contendo piroxênios e anfibólios sódicos, apresentam tipicamente $IA > 1$ ($A/NK < 1$).

No diagrama apresentado na Figura 18, verifica-se que os dados definem uma tendência aproximadamente linear. Os biotita granitos principais são rochas moderadamente metaluminosas, com A/CNK pouco inferiores a 1. O pórfiro apresenta $A/CNK \approx 1$, enquanto o a variedade de granulação mais grossa dos biotita granitos (GUA-50C) já é moderadamente peraluminosa. O biotita granito que hospeda o albita granito e o greisen (GUA-08C), por sua vez, é tipicamente peraluminoso com valor A/CNK superior a 1,1. Uma, entre as explicações para esta tendência, seria o efeito da alteração hidrotermal e paralela lixiviação em metais alcalinos, particularmente Na.

À exceção desta última amostra, os dados obtidos para o Pluton Desembarque são compatíveis e plotam no campo definido pelas rochas da associação aluminosa de granitos de tipo-A da Província Graciosa (e.g., Vlach e Gualda, 2007). A amostra GUA-08C apresenta os maiores valores de A/CNK e A/NK de toda a província.

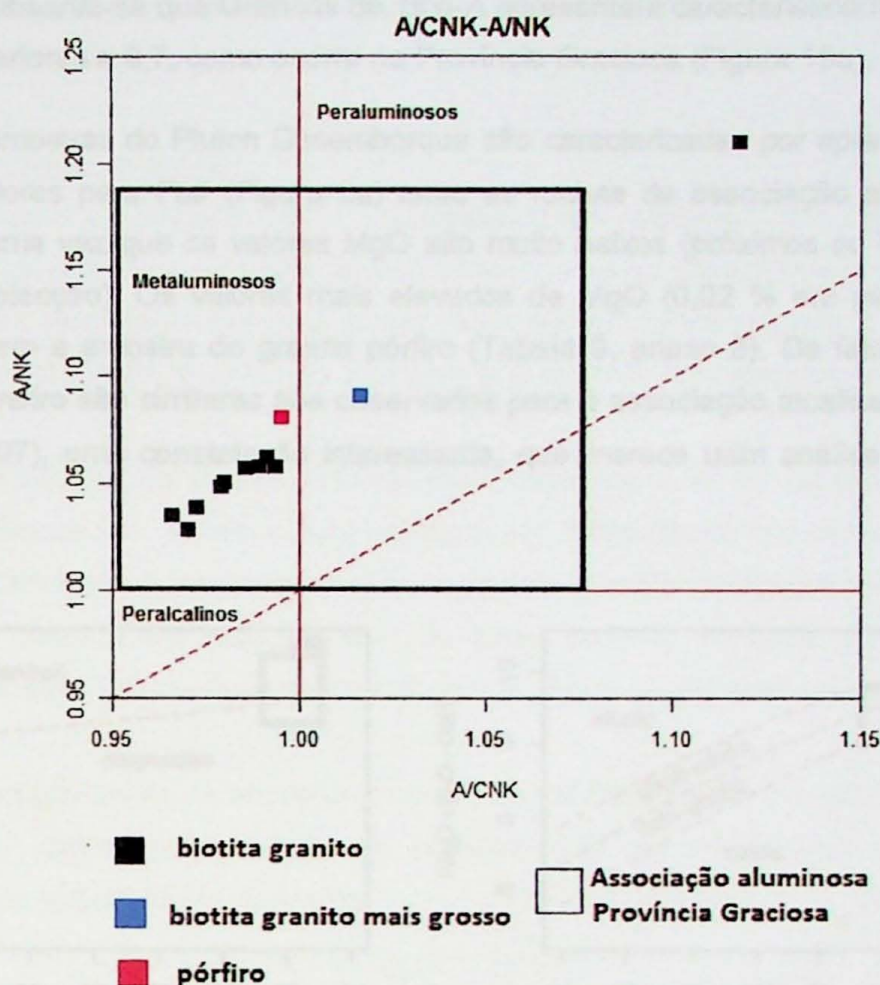


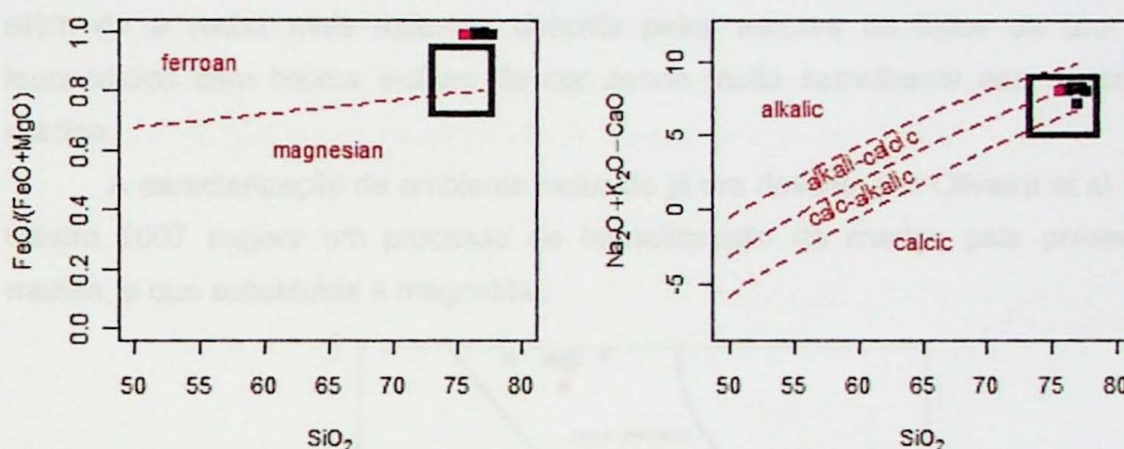
Figura 18 - Diagrama - A/CNK vs A/NK.

O Número Fe (Fe#)

O número Fe (Fe#) aqui definido como $\text{FeOT}/(\text{FeOT} + \text{MgO})$, em % em peso de óxidos, em função de SiO_2 , também expresso em % em peso de óxidos, foi utilizada inicialmente por Miyashiro (1975) para discriminar a série basáltica toleítica (caracterizada pelo marcado enriquecimento em Fe nos seus termos intermediários) da série calcioalcalina (ou de alto Al), que não apresenta tal enriquecimento. Mais recentemente, Frost et al. (2001) propuseram a classificação das rochas graníticas e associadas em um grupo *Ferroan* ("Ferroano") e outro *Magnesian* ("Magnesiano"), no mesmo diagrama, que tem sido em geral empregada na literatura internacional. Os grupos Ferroano e Magnesiano destes últimos autores guardam, naturalmente, correspondência com os originais definidos por Miyashiro (1975). Mais recentemente, Frost e Frost (2011) sugerem inclusive que o termo "tipo-A" seja substituído por

“Ferroan”. Observa-se que Granitos de Tipo-A apresentam caracteristicamente valores de $Fe\#$ superiores a 0,7, como ocorre na Província Graciosa (Figura 19a).

As amostras do Pluton Desembarque são caracterizadas por apresentarem os maiores valores para $Fe\#$ (Figura 2a) entre as rochas da associação aluminosa da província, uma vez que os valores MgO são muito baixos (próximos ou inferiores ao limite de detecção). Os valores mais elevados de MgO (0,02 % em peso) obtidos, correspondem a amostra do granito pórfiro (Tabela 9, anexo 8). De fato, os valores deste parâmetro são similares aos observados para a associação alcalina (cf. Vlach e Gualda, 2007), uma constatação interessante, que merece uma análise futura mais detalhada.



Figuras 19a e 19b- $Fe\#$ Vs SiO_2 e índice MALI. Legendas como na figura 18. Todos os cálculos envolvidos em quantidades em peso de óxido, cf. Frost et al 2001.

O Índice MALI

O índice MALI, é definido $Na_2O + K_2O - CaO$ e normalmente representado em diagramas como uma função de SiO_2 , considerando % em peso dos óxidos (Figura 2b), foi definido por Frost et al. (2001) como uma modificação para otimizar a classificação das rochas ígneas segundo as séries alcalina, álcali-cálcica e cálcio-alcalina, conforme definidas originalmente em função da intersecção das tendências de variação de $Na_2O + K_2O$ e de CaO vs SiO_2 (Peacock, 1931). Os granitos de tipo-A situam-se geralmente nos campos alcalinos, álcali-cálcicos e marginalmente cálcio-alcalinos (Frost et al. 2001).

Na Figura 2b, estão representados o campo definido pelos dados disponíveis para a Província Graciosa e os pontos representativos das amostras do Pluton Desembarque. Estas últimas, assim como as demais ocorrências da associação

aluminosa da província plotam preferencialmente no campo dos granitos álcali-cálcicos e cálcio-alcalinos.

Relação Al_2O_3 e Fe#

Dallagnol & Oliveira 2007 correlacionaram medidas de susceptibilidade magnética com análises químicas de rocha total, conseguindo contrastar bem campos de ocorrência de granitos de tipo-A cristalizados em ambientes reduzidos ou oxidantes devido a relação entre o óxido de alumínio e o número Fe proposto por Frost et al 2001.

As amostras do pluton Desembarque concentram-se no campo das rochas reduzidas (Figura 20), devido a suas baixas quantidades de Mg que elevam o número Fe. Tal classificação é concordante com os valores das SM's obtidas para o maciço, além de a rocha mais reduzida descrita pelos autores se tratar de um granito leucocrático com baixos índices de cor sendo muito semelhante aos descritos no maciço.

A caracterização de ambiente reduzido já era descrita por Oliveira et al 1987, e Castro 2007 sugere um processo de hematitização do maciço pela presença de martita, o que substituiria a magnetita..

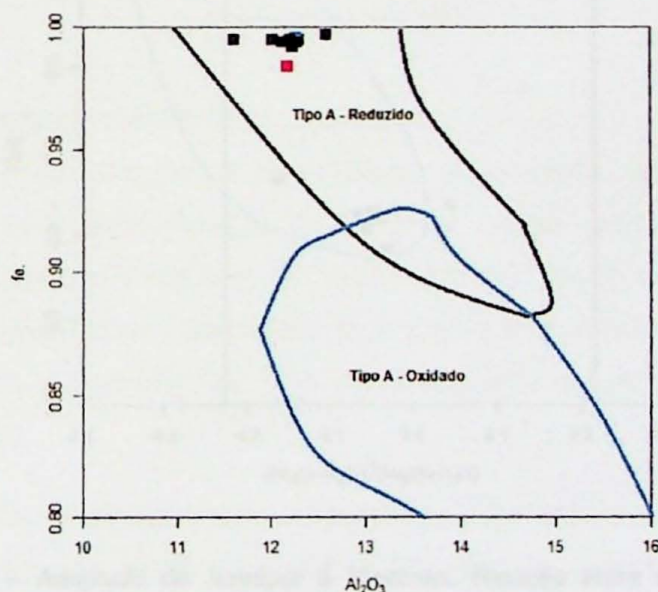


Figura 20 – Fe# vs. Al_2O_3 . Notar campos dos granitos de tipo-A oxidados e reduzidos. Extraído de Dallagnol & Oliveira 2007. Legendas como na figura 18.

Afinidades Metalogenéticas

Pensando em uma abordagem para distinguir os tipos graníticos mais suscetíveis a mineralizações de Sn, foi extraído de Juniper e Kleeman (1979) um diagrama ternário K-Na-Ca, que apresenta um campo onde os granitos são mineralizados em

detrimento de suas composições. Como este não apresenta alto poder espectral em virtude do peso de Ca (relativamente baixos para tais granitos), foi realizada uma adaptação e consequentemente geração de novo parâmetro, que engloba a série de preferência das rochas pelos óxidos de sódio ou potássio vs a quantidade de CaO, onde um novo campo de granitos mineralizados foi plotado baseado nos valores calculados na referência citada.

Tal parâmetro é apresentado na figura 21, onde discrimina a preferência das rochas por Na ou K, e fornece, ainda, a proporção em peso de quanto um é maior ou menor que o outro em relação a soma de suas quantidades.

Através desse parâmetro foi possível visualizar que as amostras do Maciço Guaraú encontram-se totalmente concentradas no campo referido aos granitos mineralizados a Sn e exibindo maior afinidade por K (entre 0 e -0,1) e são concordantes com amostras aluminosas da Província Graciosa, do granito Madeira (Lenharo et al, 2003) e do Maciço Oriente Novo (Leite Júnior, 2002).

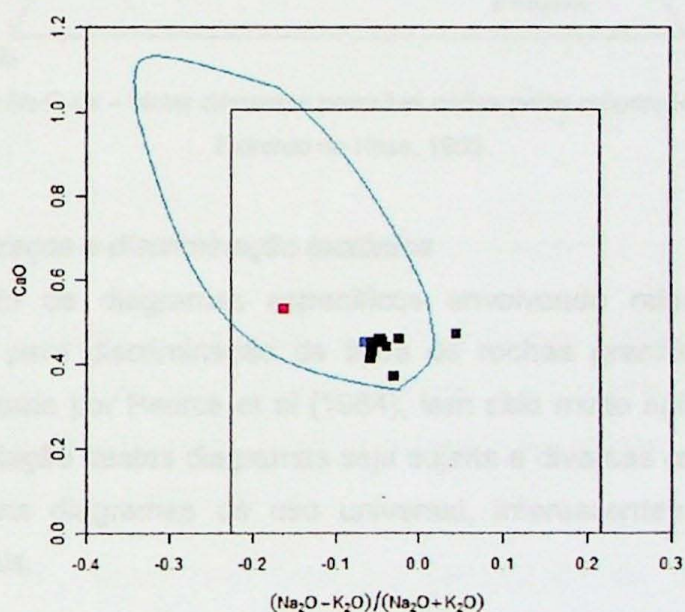


Diagrama 21 – Adaptado de Junniper & Kleeman. Relação entre sódio, potássio e cálcio. Destaque para o campo dos granitos mineralizados a Sn. Legendas como no diagrama 1. Elipse azul indica ocorrência de amostras aluminosas da Província Graciosa, Maciços Madeira e Oriente Novo. Legendas como na figura 18.

Norma CIPW

As normas calculadas encontram-se na tabela 9, anexo 8, e indicam que os principais constituinte do maciço estudado são Q, Ab, e Or com índice de

diferenciação (ID) entre 93 e 96% e teores de An abaixo de 7,5. Os minerais máficos aparecem em pequenas proporções, apresentam corindon e diopsídio normativos para as amostras peraluminosas e metaluminosas, respectivamente.

Através dos dados normativos foi possível montar um diagrama Ab-Q-Or, onde encontram-se plotadas diferentes pressões de colocação (Figura 22). As amostras do pluton Desemborque demonstram um ambiente de colocação rasa, entre 0,1 e 0,2 Gpa.

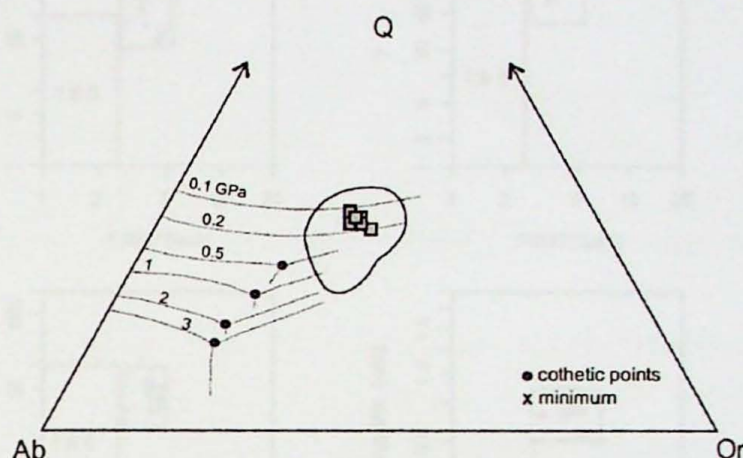


Figura 22 -Diagrama Ab-Q-Or – Notar diferentes pressões dadas pelas proporções entre os elementos.

Extraído de Hess, 1989

6.2.2 Elementos traços e discriminação tectônica

A aplicação de diagramas específicos envolvendo relações entre alguns elementos traços para discriminação de tipos de rochas graníticas e ambientação tectônica, pioneirizada por Pearce et al (1984), tem sido muito aplicada em literatura. Embora a interpretação destes diagramas seja sujeita a diversas críticas, apresentam-se a seguir alguns diagramas de uso universal, interessantes pelo menos para comparações gerais.

Na Figura 23, apresentam-se os diagramas propostos por Whalen et al. (1987) para a discriminação dos granitos de tipo-A das demais associações graníticas, em função das concentrações (expressas em ppm) dos elementos traços Zr, Ce, Nb, Y e Zn, além do índice agpaítico vs. a razão Ga/Al. As amostras da Província Graciosa em geral e do Pluton Desemborque em particular plotam externamente ao campo característico dos granitos de tipo I e S, tradicionalmente interpretados como derivados de protólitos crustais ígneos e sedimentares, respectivamente.

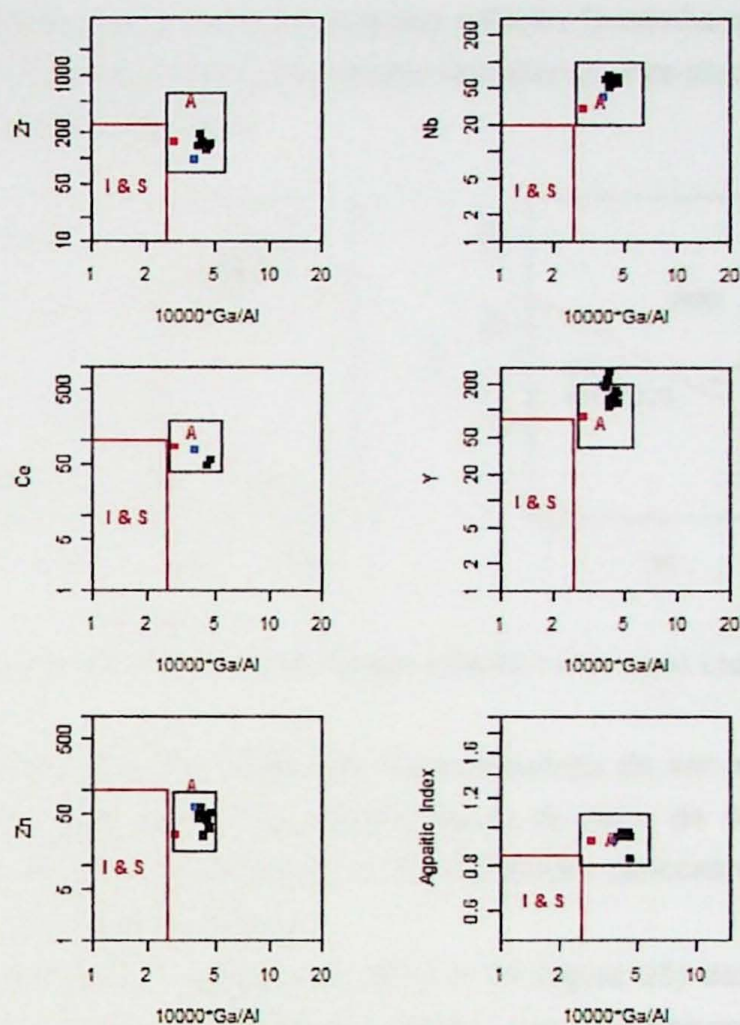


Figura 23 – Relação entre traços e razão Ga/Al. Legenda como na figura 18. Extraído de Whalen et al 1987.

Tal diagrama marca o comportamento dos principais elementos HFS presentes no maciço estudado, sendo seus valores bastante concordantes com a associação aluminosa da Província Graciosa, valendo ressaltar os valores relativamente mais altos de Nb, Y e Zn e mais baixos de Zr.

Pearce et al. (1984), baseados em compilação de dados geoquímicos existentes para as ocorrências mais típicas de associações graníticas fanerozóicas que afloram em ambientes tectônicos bem definidos, introduziram os diagramas apresentados na Figura 25, em que se plotam as variações (em ppm) dos elementos traços Rb (LIL), Y e Nb (HFS), os quais definem campos mais típicos para as rochas formadas em ambientes de arcos vulcânicos (VAG), sin-colisionais (Syn-COLG), Dorsais Oceânicas (ORG) e intra-placa (WPG).

Os dados para a Província Graciosa e Pluton Desembarque são apresentados na figura 24 e demonstram o seu caráter tipicamente intra-placa, uma característica comum aos granitos de tipo-A.

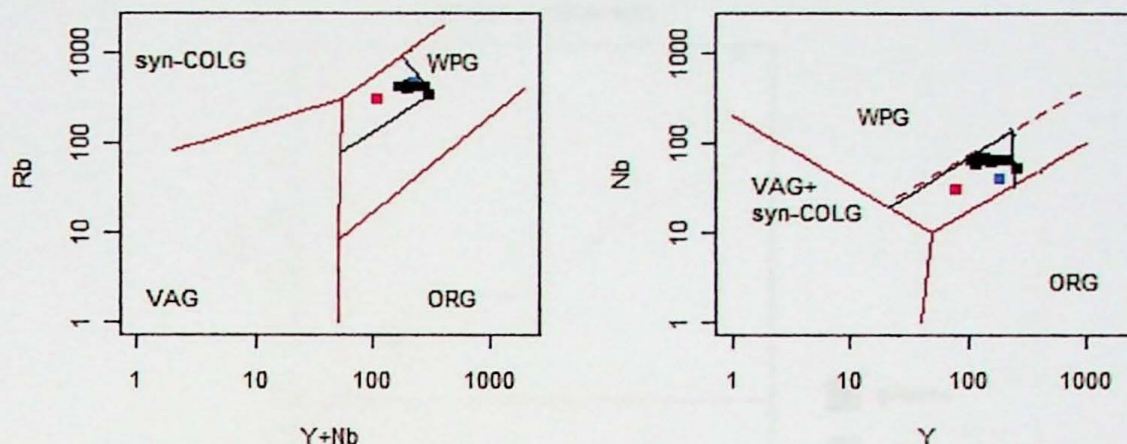


Figura 24 – Extraído de Pearce et al 1984. Relação entre Rb, Y e Nb (ppm). Legenda como na figura 18.

As razões Rb/Sr e Rb/Ba não foram possíveis de ser efetuada para a maior parte das amostras devido aos valores abaixo do limite de detecção de Sr e Ba, sugerindo uma forte concentração de Rb, totalmente concordante com as amostras aluminosas da Província Graciosa.

As quantidades significativas de U e Th (figura 25) das análises confirmam dados obtidos por aerogamaespectrometria que determinam anomalias desses elementos no pluton Desembarque (Vasconcellos et al 1999 a e b, Castro 2007)

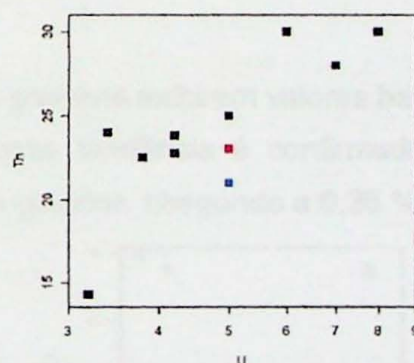


Figura 25 – Razão Th VS. U(log). Legenda como na figura 1.

6.3 Caracterização geoquímica das rochas hidrotermalizadas

O diagrama A/CNK (Figura 26) demonstra uma linearidade bem marcante, onde a evolução química do processo hidrotermal fica explícito, tendo as amostras um

progressivo aumento desde o granito hospedeiro até albita granito, com o greisen exibindo valores muito superiores, explicados pelos baixos valores de sódio encontrados na amostra.

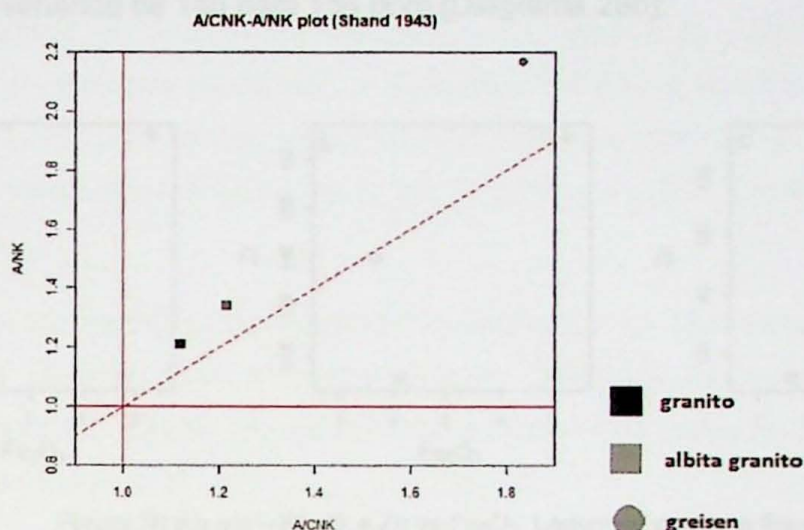


Figura 26 – Diagrama A/CNK vs A/NK. Notar grandes valores obtidos para o greisen.

Os valores de óxido de alumínio marcam bem a diminuição do teor de Al dos granitos para o greisen que apresenta teores em torno de 10 % enquanto os outros membros atingem valores superiores a 12 % (Figura 27a). Nota-se também um enriquecimento em sílica do greisen chegando a 78%.

Um elemento que demonstra bem os processos hidrotermais no maciço Guaraú é o ferro, pois há um leve aumento do granito para o albita granito (2,1%) e um aumento significativo para o greisen chegando a valores superiores a 5% (Figura 27 a,b e c).

É característico dos greisens exibirem valores baixos de óxido de sódio (Taylor, 1979), e na figura 27b, essa tendência é confirmada tendo a amostra analisada valores muito inferiores aos granitos, chegando a 0,26 %.

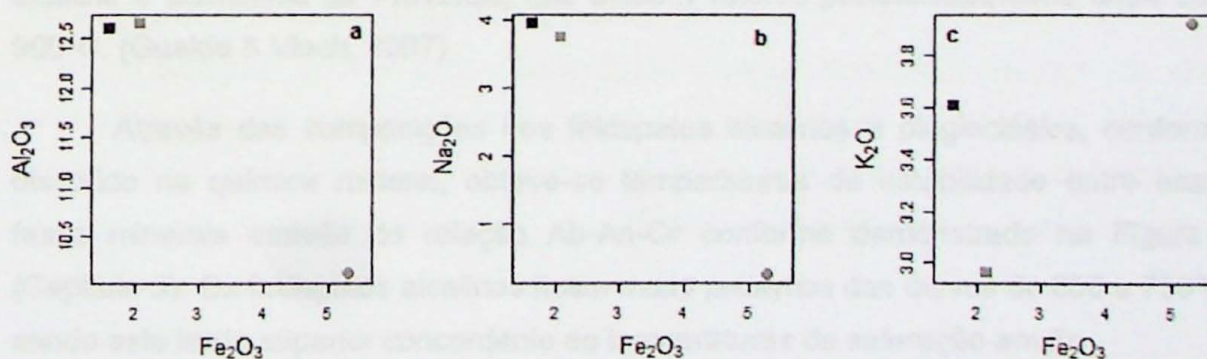


Figura 27 a,b e c – Al₂O₃, Na₂O e K₂O vs Fe₂O₃. Legendas como na figura 27.

Quanto aos elementos traços, os que apresentaram maior variação foram Rb e Zn, cujos valores praticamente dobraram dos granitos para o greisen, chegando a 865 e 120 ppm, respectivamente (Figura 28 a e c). Outro elemento que teve uma elevação moderada Zr variando de 145 para 154 ppm (Diagrama 28b).

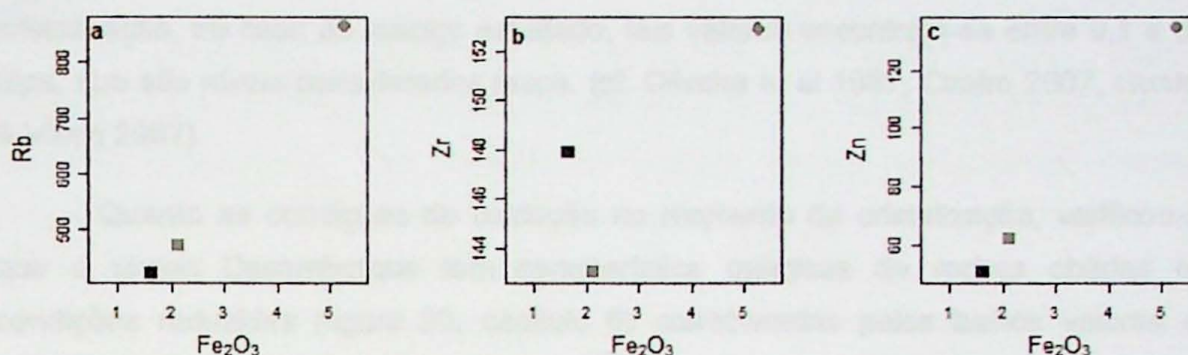


Figura 28 a,b e c – Rb, Zr e Zn vs Fe₂O₃. Legendas como na figura 27.

7. Condições de Cristalização

Esse capítulo visa estimar as principais condições de pressão e temperatura de cristalização através das temperaturas de saturação de Zr, composições dos feldspatos e intercrescimentos granofíricos, além dos dados normativos e relação entre óxidos da litogeoquímica.

Usando as temperaturas de saturação pode-se estimar as temperaturas mínimas do líquido granítico através de fases acessórias primárias como o zircão e a apatita (Watson & Harrison, 1983). A equação utilizada para a saturação em Zr é aplicável para temperaturas entre 750 e 1000° C e $M \left(\frac{[Na+K+2Ca]}{[Si*Al]} \right)_{Cat}$ entre 0,9-1,7. Os valores obtidos para as amostras do Pluton Desemborque encontram-se entre 746 e 795° C (Tabela 10, anexo 8), pouco inferiores aos obtidos para as associações alcalina e aluminosa da Província, que exibem valores preferencialmente entre 850-900°C. (Gualda & Vlach, 2007)

Através das composições dos feldspatos alcalinos e plagioclásios, conforme discutido na química mineral, obteve-se temperaturas de estabilidade entre essas fases minerais através da relação Ab-An-Or conforme demonstrado na Figura 7 (Capítulo 5). Os feldspatos alcalinos ficam muito próximos das curvas de 650 e 750°C, sendo este limite superior concordante as temperaturas de saturação em Zr.

A composição média entre quartzo e k-feldspato nos intercrescimentos granofíricos (Capítulo 5, item 5.1.1.3) fornece uma composição muito próxima a do ponto eutético ($T \sim 990^\circ$) em condições anidras e com 1 atm de pressão.

O diagrama Ab-Q-Or normativo (Figura 22, capítulo 6) exhibe os campos de estabilidade dos minerais relacionando suas composições a possíveis pressões de cristalização, no caso do maciço estudado, tais valores encontram-se entre 0,1 e 0,2 Gpa, que são níveis considerados rasos. (cf. Oliveira et al 1987, Castro 2007, Gualda & Vlach 2007)

Quanto as condições de oxidação no momento da cristalização, verificou-se que o pluton Desembarque tem característica químicas de rochas obtidas em condições reduzidas (figura 20, capítulo 6) corroboradas pelos baixos valores de susceptibilidade magnética.

8. Discussões e Conclusões

Discussões

O pluton Desembarque é caracterizado como um biotita sienogranito a álcali feldspato granito com baixos IC's (Índice de Cor), que apresenta como minerais máficos principais biotita e zinwaldita. O feldspato potássico é perítico com lamelas relativamente espessas, o quartzo apresenta formato globular e os cristais de plagioclásio encontram-se com bordas albitizadas. A albitização é marcada por cristais intersticiais e microvenulações, além de recristalização nas borda de outros feldspatos. A zinwaldita tem proporções superiores às da biotita e são características do processo de greisenização.

Apresenta 3 fases micáceas bem caracterizadas petrograficamente e quimicamente: Annita, enriquecida em Fe e Ti; siderofilita a protolitionita, com maiores contribuições de Li e Al^{VI} e uma terceira fase de caráter hidrotermal que corresponde a zinwaldita, com conteúdos significativos de Si, Li e Al^{VI} .

O feldspato alcalino é representado por cristais de pertita e mesopertita, onde as fases exsolvidas são praticamente ortoclásio e albita puros. A verificação das áreas ocupadas por cada fase nos cristais resultou numa composição global variando entre $Or_{58}Ab_{42}$ e $Or_{53}Ab_{47}$ para os núcleos, já as bordas, que apresentam menor densidade de exsoluções, variam entre $Or_{71}Ab_{29}$ e $Or_{68}Ab_{32}$.

Os intercrescimentos granofíricos são compostos por 55% de feldspato alcalino e 45% de quartzo, sendo que tais proporções se situam próximas ao ponto de eutético no sistema leucita-quartzo.

O plagioclásio é pouco cálcico e é classificado quimicamente como albita, com alguns poucos cristais caindo no campo do oligoclásio, apresentado no máximo 17% de An.

A mineralogia acessória é constituída de zircão, torita, allanita, ilmenita, magnetita, hematita, cassiterita, columbita, fluorita, fluoreto de ETR's, galena, monazita e xenotímia. Tais minerais apresentam feições petrográficas, relações microtexturais e composicionais que apontam para um processo hidrotermal que concentrou alguns elementos incompatíveis.

As amostras estudadas apresentam assinaturas geoquímicas (alto Fe#, K₂O e Na₂O) e presença consideráveis de elementos LIL (Rb) e HFS (Nb, Y, Zr e ETR) podendo ser classificado como de tipo-A (Whalen et al 1987). Trata-se de um granito de caráter metaluminoso a peraluminoso com baixos valores de SM's.

Esses granitos apresentam alto conteúdo de SiO₂, elevado índice de diferenciação (ID), e baixos valores de MgO e CaO, bastante perceptíveis na composição de micas e feldspatos, respectivamente.

As litogeoquímica do albita granito e greisen, mostra um enriquecimento em SiO₂ e Fe₂O₃, e em elementos traços como Rb e Zn, enquanto há grande redução das quantidades de sódio, como esperado para essas rochas (Taylor, 1979).

Pode-se afirmar que a colocação desse corpo se deu em níveis rasos pela ocorrência de intercrescimentos granofíricos e quartzo globular, e através da relação Ab-Q-Or que determina a composição dessas rochas no campo de estabilidade em torno de 2 kbar. (Figura 22, capítulo VI). As temperaturas de cristalização obtidas pela saturação de Zr ficam 750-800° C e o diagrama Ab-An-Or exhibe intervalos de estabilidade entre as fases próximos das isotermas de 650 e 750°C.

As quantidades apreciáveis de Li e F para as zinwalditas são concordantes a processos hidrotermais que geram mineralizações a Sn (cf. Stone, 1982)

Conclusões

O pluton Desembarque apresenta-se bastante concordante com a associação aluminosa da Província Graciosa conforme verificado no capítulo 6, porém exhibe algumas características semelhantes as da associação alcalina como alto número de Fe# e baixos valores de susceptibilidade magnética.

Os baixos teores de CaO e MgO exibidos na litogeoquímica podem ser verificados na mineralogia essencial, com feldspatos apresentando baixos índices de An e as micas, altas razões Fe/Mg. A mineralogia acessória é responsável por armazenar boa parte dos elementos LIL e HFS, como o Zr, Y e Nb.

As condições de cristalização são coerentes com as da Província Graciosa (Gualda & Vlach, 2007), ocorrendo a níveis crustais rasos (2kbar) com temperaturas de saturação em Zr próximas de 750-800° C. Um aspecto importante é a condição de cristalização reduzida no maciço estudado, comprovada quimicamente e pelos baixos valores de SM's como proposto por Dallagnol & Oliveira, 2007.

O pluton Desembarque apresenta diversas características que comprovam suas afinidades metalogenéticas. Quimicamente, as rochas concentram-se no campo dos granitos mineralizados a Sn (Figura 21, capítulo 6) concordante a ocorrências econômicas de caráter aluminoso como o Pluton Madeira e o maciço Oriente Novo, além de apresentarem micas hidrotermais com valores relativamente altos de F e Li, que segundo Stone, 1982 implicam em mineralizações de Sn em granitos aluminosos tanto oxidantes quanto reduzidos, com maior concentração nesse último campo.

A presença de greisenização é bastante expressiva no maciço estudado e minerais de minério como cassiterita e columbita são recorrentes, porém os teores apresentados (Castro, 2007) não são considerados econômicos e podem ser explicados pela baixo fraturamento hidráulico (Castro 2007), tal afirmação é confirmada pela falta de *stockworks*, sendo os greisens rochas encontradas localmente e que representam porções diminutas dos afloramentos. Outra alternativa proposta por Oliveira, 1987 é a da erosão da cúpula granítica que abriga preferencialmente este tipo de mineralização (Taylor, 1979).

Tais premissas sugerem estudos mais aprofundados principalmente de quantificação de elementos traços na mineralogia essencial e acessória, além de análises de elementos terras raras em rocha total.

Referências Bibliográficas

- Bastin, G.F; Heillijers, H.J.M, 1990. Progress in electron-probe micro-analysis. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*. 21, 90-92.
- Campos Neto M. C. 1983. Os gnaisses do alto Jacupiranguinha e xistos Cajati: relações estruturais e estratigráficas. *Atas IV Simp. Reg. Geol., SP, Brasil*, p. 91-102
- Castro, C.C. 2007. Metais raros associados ao granito Desembarque: estudo mineralógico e químico utilizando MEV-EDS. Dissertação de Mestrado. UERJ. 85p.
- Dall'agnol, R., Oliveira, C.O. 2007. Oxidized, magnetite series, rapakivi granites of Carajas, Brazil: Implications for classification and petrogenesis of A-type granites. *Lithos* 93, 215-233.
- Deer, W.A., Zussman, J., Howie, R.A. 1992. An introduction to rock forming minerals. Longman Scientific & Technical. 696p.
- Eby, G. N. (1990) The A-Type Granitoids: A review of their occurrences and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. *Lithos*, **26**:115-134
- Figueiredo, M. C. H.; Basei, M. A. S.; Mantovani, M. S. M.; Fryer, B. J. 1991. O complexo granulítico de Santa Catarina: um arco insular arqueano?. *Boletim IG-USP: Publicação Especial*, v. 9, p. 35-39
- Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J., Arculus R.J. & Frost C.D. 2001. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, **42**: 2033-2048
- Frost, C.D; Frost R.B. 2011. On ferroan (A-Type) granitoids: Their compositional variability and modes of origin. *Journal of Petrology*. 52, 39-53.
- Garcia R.P. 2010. Evolução petrográfica e mineralógica de rochas tardi e pós magmáticas associadas aos granitos do Maciço Guaraú, SP. Relatório final de Iniciação Científica – Cnpq. 27p.
- Gualda, G.A.R. 2001. Evolução petrográfica e mineralógica das associações alcalinas e aluminosas dos granitos tipo-A da Graciosa, PR. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências da USP. 151p.
- Gualda G.A.R. & Vlach S.R.F. 2007a. The Serra da Graciosa A-type Granites and Syenites, southern Brazil. Part 1: Regional setting and geological characterization. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 79: 405-430.
- Hasui Y., Carneiro C.D.R. & Bistrichi C.A. 1978. Os granitos e granitóides da região de dobramentos Sudeste nos estados de São Paulo e Paraná. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 30, Recife, SBG, V.6, p.2594-2608.
- Hasui, Y.; Dantas, A. S. L.; Carneiro, C. D. R.; Bistrichi, C. A. O embasamento Pré-Cambriano e Eopaleozóico em São Paulo. In: Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Pró-Minério, IPT. v. 1, p. 12-45, 1981
- Hess, P.C. 1989. Origin of igneous rocks. Harvard University Press. 344p.
- Heilbron M. L., Pedrosa-Soares A. C., Campos Neto M. C., Silva L. C., Trouw R. & Janasi V. A. 2004. Província Mantiqueira. In: V.M. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro & Brito-Neves, B.B. (orgs.): *Geologia do Continente Sul-Americano*. São Paulo, Editora Beca, p. 203-234.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT 1985. Avaliação preliminar do potencial mineral do maciço granítico Guaraú. São Paulo. 71 p. (Relatório 22578).

- Janousek, V., Farrow, C. M. & Erban, V. 2008. Geochemical Data Toolkit (GCDkit).
- Kaul P.F.T. 1984. Significado dos granitos anorogênicos da Suíte Intrusiva Serra do Mar na evolução da crosta do sul-sudeste do Brasil, no âmbito das folhas SG.22 - Curitiba e SG.23 - Iguape. In: *SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 33, *Anais*, 6: 2815-2947. 30
- Kaul P.F.T. 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.
- Klein, C. Hurlbut Jr, C. 1993. *Manual of Mineralogy*. Wiley & Sons. 681 p.
- Leite Júnior, W. B. (2002). A Suíte Intrusiva Santa Clara (RO) e a mineralização primária polimetálica (Sn, W, Nb, Ta, Zn, Cu, Pb) associada. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo: 305.
- Lenharo S.L.R., Moura M.A. & Botelho N.F. 2002. Petrogenetic and mineralization processes in Paleoproterozoic rapakivi granites: examples from Pitinga and Goiás, Brazil. *Precambrian Research*, **119**: 277-299
- Mckenzie W.S., Donaldson C.H., GUILFORD C., 1995. *Atlas of igneous petrology and their textures*. Longman, Harlow, 148p.
- Mori, P.E.; Reeves, S.; Correia, C.T.; Haukka, M. 1999. Development of a fused glass XRF facility and comparison with the pressed power pellet technique at Instituto de Geociências, São Paulo University. *Revista Brasileira de Geociências*. 29 (3), 441-446.
- Miyashiro A (1974) Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *Am J Sci* 274, 321-355.
- Morgental A., Batolla JR. F., Pinto G.G., Paiva I.P. & Drumond J.B.V. 1975. *Projeto Sudelpa: relatório final*. São Paulo: Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais, 18 v.
- Nesse, W.D. 1991, *Introduction to Optical Mineralogy*. Oxford University Press. 335p.
- 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: I Simpósio Sul-Brasileiro Geologia, 1. Curitiba. SBG. *Atas*, 2: 571-594.
- Pereira, R. M.; Ávila, C. A., Mendes, J. C.; Neumann, R.; Castro, C. (2007) Pluton Desembarque: exemplos de corpos a metais raros (Nb, Zr, Hf) e estanho no estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, **37**: 257-267
- Peacock, M.A. 1931. Classification of igneous rock series. *Journal of geology*, 39, 54-67.
- Pearce, J.A.; Harris, N.B.W.; Tindle, A.G.; 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25, 956-983.
- Pitcher W.S. 1993. *The Nature and Origin of Granite*. Blackie Academic & Professional, Londres, 321 p.
- Poots, P.J. 1987. *A handbook of silicate rock analysis*. Blackie, Glasgow and London. 622p.
- Prazeres Filho H.J., Harara O.M., Basei M.A.S., Passareli C.R. & Siga Jr. O. 2003. Litoquímica, Geocronologia U-Pb e Geologia Isotópica (Sr-Nd-Pb) das Rochas Graníticas dos Batólitos Cunhaporanga e Três Córregos na Porção Sul do Cinturão Ribeira, Estado do Paraná. *Geologia USP Série Científica*, 3: 51-7.
- Siga Jr. O. O. 1995. Domínios tectônicos do sudeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina: geocronologia e evolução crustal. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 212 p.

- Siga Jr. O., Basei M.A.S. & Machiavelli A. 1993. Evolução geotectônica da porção NE de Santa Catarina e SE do Paraná, com base em interpretações geocronológicas. *Revista Brasileira de Geociências*, 23: 215-223.
- Silva A.T.S. & Algarte J.P. 1981a. Contribuição à geologia da sequência Turvo-Cajati entre o Rio Pardo e Pariquera-Açu, Estado de São Paulo I: litologia e petrografia. *Atas III Simp. Reg. Geol.*, Curitiba, PR, Brasil, p. 109-120.
- Shand (1943) *Eruptive Rocks*. John Wiley & Sons.
- Speer, A.J. 1982. The Actinide Orthosilicates in Ortho-Silicates. *Reviews in Mineralogy*. Volume 5. Chapter 4. 113-135
- Stone, M. 1982 The behavior of tin and some other trace elements during granite differentiation, West Cornwall, England. In: *Metallization with Acid Magmatism*. Edited by Evans, M.A.. Wiley Interscience. 339-356.
- Streckeisen, A. 1974. Classification and nomenclature of plutonic rocks. *Geol Rundsch* 63: 773-786
- Taylor. 1979. Geology of tin deposits. *Developments in Economic Geology*, 11. Elsevier scientific production. 543 p.
- Tischendorf G, Gottesman B, Forster H.J., Trumbull, R.B. 1997. On Li-Bearing Micas: estimating from electron microprobe analyses and a improved diagram for graphical represent. In: *Mineralogical Magazine*, 1997, Vol. 61, pp. 809-834.
- Tischendorf, G., Gottesman B., Forster H.J., Rieder, M. 2004. A new graphical presentation and subdivision of potassium micas. *Mineralogical Magazine*. v. 68; no. 4; p. 649-667
- Taylor. 1979. Geology of tin deposits. *Developments in Economic Geology*, 11. Elsevier scientific production. 543 p.
- Vasconcelos C.S., Dehler N.M., Yamato L.A., Lopes JR. I, Obata O.R., Sintoni A. 1999a. *Projeto Jacupiranga-Rio Guaraú*. São Paulo, Convênio Secretaria de Estado de Energia/CPRM - Serviço Geológico do Brasil.
- Vasconcelos C.S., Dehler N.M., Yamato L.A., Lopes JR. I, Obata O.R., Sintoni A. 1999b. Geologia, geoquímica, processamento aerogeofísico e metalogenia das folhas Jacupiranga (SG.22-X-B-VI-2) e Rio Guaraú (SG.22-XB-VI-4), sul do Estado de São Paulo. In: SBG, Simp. Geol. Sudeste, 6, *Bol. de Resumos Expandidos*, p. 38.
- Vilalva, F.C.J. (2008) Evolução petrográfica e mineralógica de granitos de tipo-A: o exemplo do Pluton Papanduva, Complexo Morro Redondo (PR/SC). Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da USP.. 214 p.
- Vlach, S.R.F.; Gualda, G.A.R. 2007. Allanite and chevkinite in A-type granites and syenites of the Graciosa Province, southern Brazil. *Lithos* 97, 98-121.
- Vlach, S. R. F.; Vilalva, F. C. J. (2007) Ocorrência de narsarsukita, britholita-(Ce) e nacareniobsita-(Ce) em granitos peralcalinos do Complexo Morro Redondo (PR/SC), Província Graciosa. In: Congresso Brasileiro de Geoquímica, 11. Atibaia. SBGq. CD-ROM.
- Whalen J.B., Curie K.L. & Chappel B.W. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95: 407-41

Anexo 1

Anexo 1

Prancha A

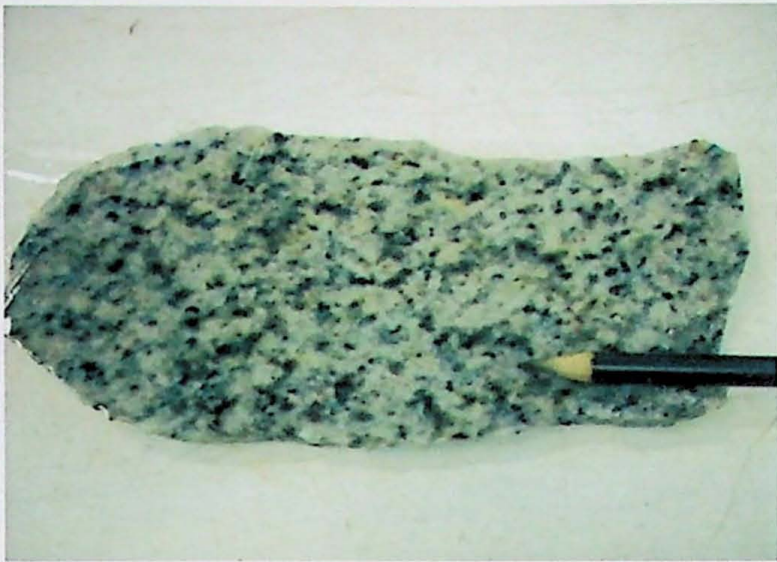


Foto A – Aspecto geral das amostras do Pluton Desemborque. Amostra GUA-50A



Foto B – Aspecto rosado conferido a amostra do maciço guarauí. Amostra 9A.

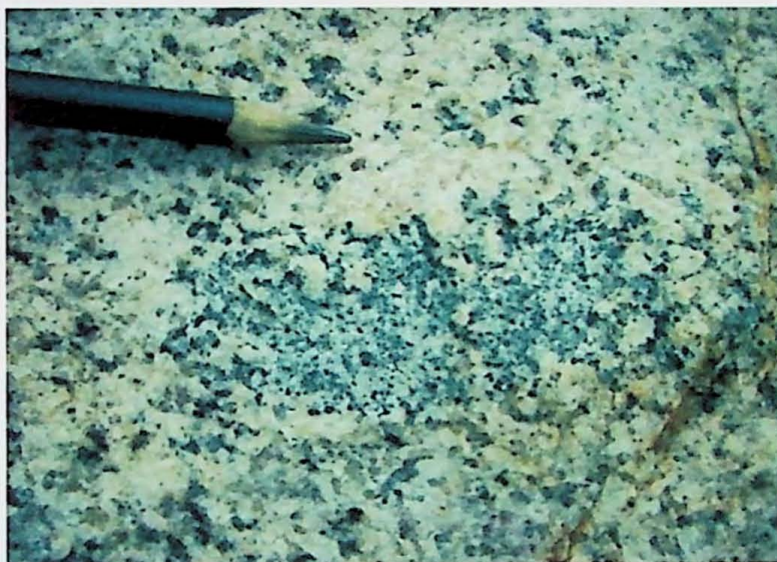


Foto C – Enclave Microgranular félsico. Ponto Gua-50.

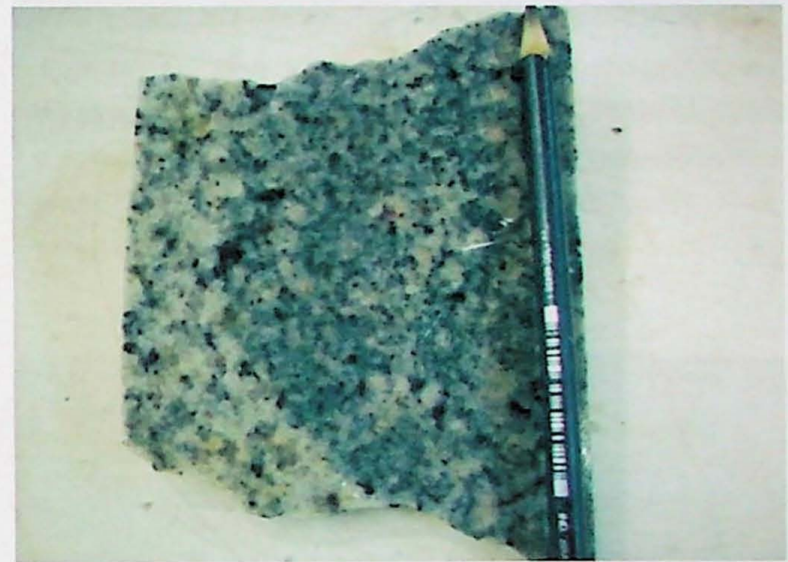


Foto D – Contato entre variedade típica e porfírica. Ponto Gua-50



Foto E – Aspecto geral de granito pórfiro. Amostra Gua- 50B.



Foto F – Sistema de fraturas com mergulho pra NE. Ponto Gua-51.



Foto G – Venulação pegmatítica de dimensão centimétrica em leucogranito cinza claro a esbranquiçado. Afloramento GUA - 09.



Foto H – Detalhe do contato entre o granito principal e bolsão pegmatítico. Observar concentração de biotita e a presença de zona feldspática com intercrescimento granofírico (a esquerda da moeda de referência). Amostra 09B.



Foto I – Zona de contato entre o leuco granito cinza médio claro equigranular, de aspecto algo sacaróide ("aplitico"), com o greisen, mais escuro (à direita da imagem). Amostra 08B. Afloramento GUA 08



Foto J – Detalhe do contato do greisen (à direita). Observar concentração de minerais máficos no greisen e o contato nítido com o leuco granito cinza. Amostra 08B. Afloramento GUA - 08.

Anexo 2

Tabela 1. Valores e médias para susceptibilidades magnéticas ($\text{SI} \cdot 10^{-3}$) medidos em amostras/fatias de rocha selecionadas do Pluton Desembarque. Errp = Erro Padrão da Média

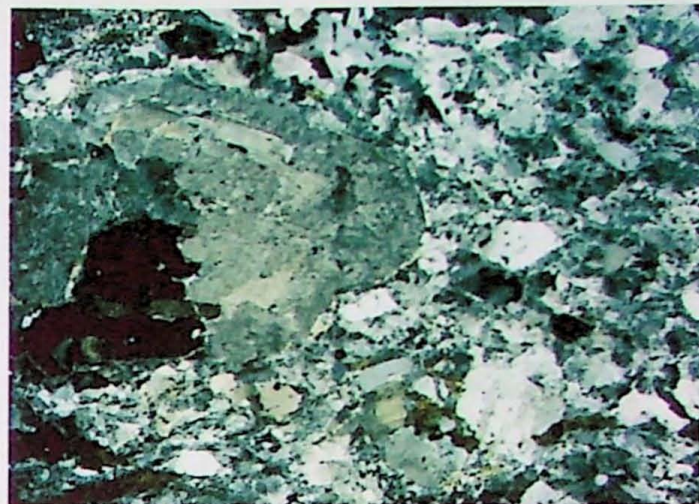
Amostra	GUA-1A	GUA-1B	GUA-1C	GUA-02	GUA-9A	GUA-12	GUA-16	GUA-17A	GUA-18A	Gua-21A	GUA-36	GUA-41	GUA-45	GUA-48D	GUA-50A	GUA-50B	GUA-50C	GUA-53	GUA-61
1	0,101	0,027	0,025	0,036	2,550	11,700	1,640	1,130	1,420	3,580	0,656	0,032	0,108	0,671	0,311	1,710	0,077	1,360	6,620
2	0,240	0,022	0,033	0,059	2,220	10,100	1,820	1,260	1,370	2,920	0,333	0,047	0,057	0,710	0,298	1,690	0,066	1,080	4,420
3	0,323	0,015	0,028	0,026	1,950	7,370	2,040	1,220	1,490	4,180	0,594	0,056	0,098	0,695	0,314	0,844	0,069	1,580	5,330
4	0,294	0,010	0,038	0,032	1,590	10,300	1,500	1,840	1,430	2,020	0,418	0,049	0,122	0,789	0,204	1,520	0,071	1,640	6,230
5	0,301	0,016	0,029	0,020	1,980	9,060	1,550	1,040	1,670	3,070	0,489	0,031	0,083	0,764	0,221	1,340	0,050	2,240	5,660
6	0,180	0,010	0,026	0,033	2,610	10,900	1,970	0,891	1,250	2,740	0,513	0,047		0,715	0,171	1,490	0,051	2,100	5,520
7	0,114	0,024	0,022	0,020	2,970	8,550	1,930	1,740	1,770	2,720	0,559	0,041		0,536	0,248	1,750	0,052	1,610	4,010
8	0,159			0,041	2,140	8,280	1,290	1,790	1,170	3,570	0,351			0,606	0,428	2,090	0,053	2,040	
9	0,152			0,019	2,340	8,490	1,790	1,370		2,990				0,442	0,329	1,350	0,050	1,350	
10				0,023	2,380	7,150		1,080							0,194	1,680	0,045	1,330	
								1,350											
Média	0,207	0,018	0,029	0,031	2,273	9,190	1,726	1,337	1,446	3,088	0,489	0,043	0,094	0,659	0,272	1,546	0,058	1,633	5,399
ErrP	0,028	0,003	0,002	0,004	0,123	0,477	0,083	0,097	0,071	0,208	0,041	0,003	0,011	0,037	0,025	0,104	0,004	0,121	0,350

Anexo 3

PRANCHA B



Fotomicrografia A – . Aspecto geral da textura equigranular hipidiomórfica do granito principal da Unidade Desembarque, notar baixo IC, e biotitas sendo cloritizadas. Amostra GUA-02. Polarizadores cruzados. Lado maior da foto: 8,32mm



Fotomicrografia B – Textura porfirítica com recristalização na borda de fenocristal em matriz com intercrescimento granofírico. Amostra GUA-12A Polarizadores cruzados. Lado maior da foto: 1,63 mm



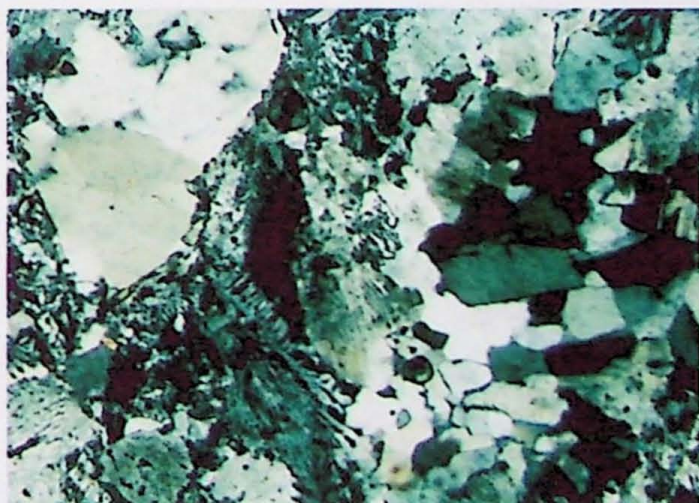
Fotomicrografia C – Granito Principal. Pertita com aspecto de manchas . Amostra GUA-02. Polarizadores cruzados. Lado maior da foto: 3,25mm



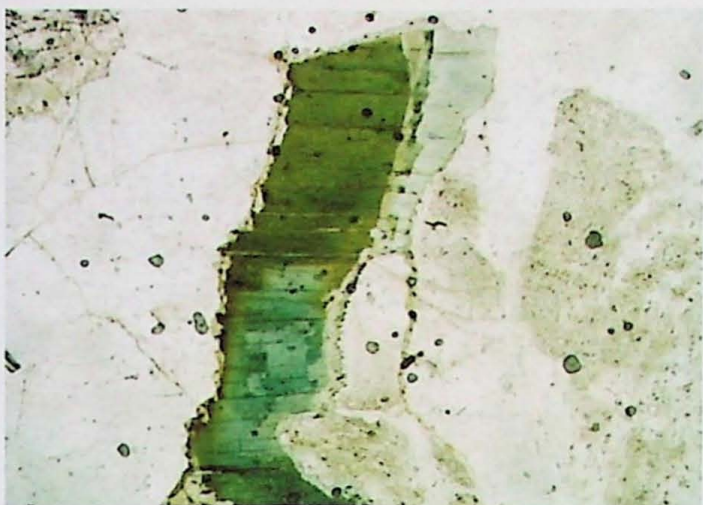
Fotomicrografia D – Granito Principal .Cristais de albita crescidos sobre pertita. Amostra GUA-02. Lado maior da foto: 3,25 mm



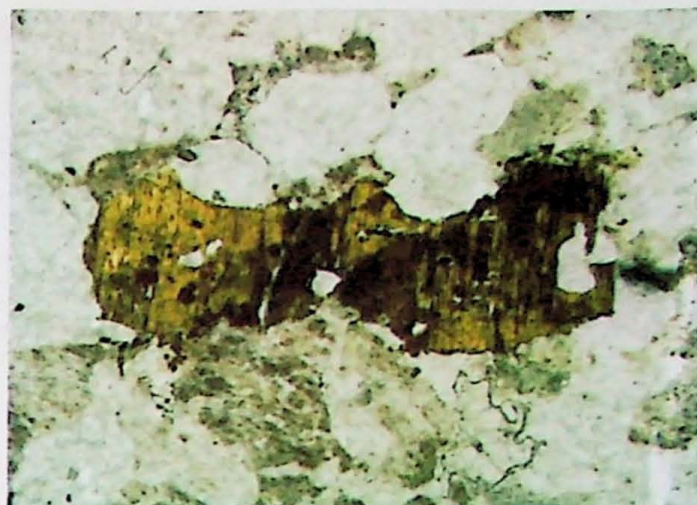
Fotomicrografia E – Granito Principal. Quartzo com extinção ondulante e albita na borda de grão de mesopertita. Polarizadores cruzados. Amostra GUA-02. Lado maior da foto: 3,25 mm



Fotomicrografia F – Granito Porfirítico. Porção com quartzo recristalizado e intercrescimentos microgranofíricos. Amostra GUA-12A .Polarizadores cruzados. Lado maior da foto: 1,63 mm



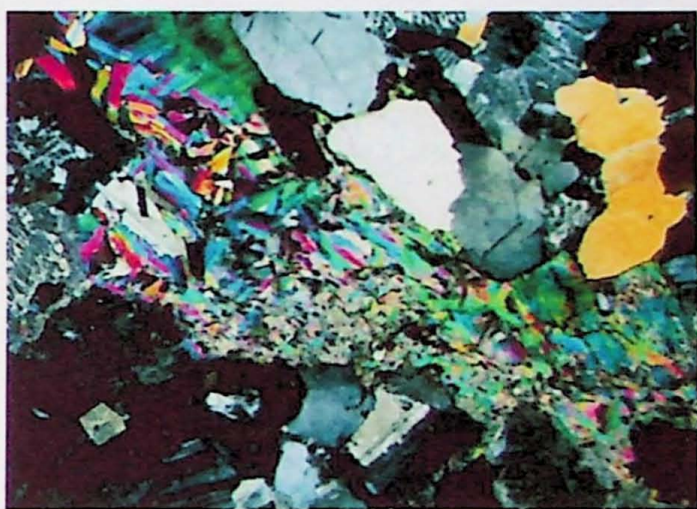
Fotomicrografia G – Cristal de biotita sendo alterado para mica verde clara. Amostra GUA-18A . Luz Plano Polarizada. Lado maior da foto: 3,25 mm



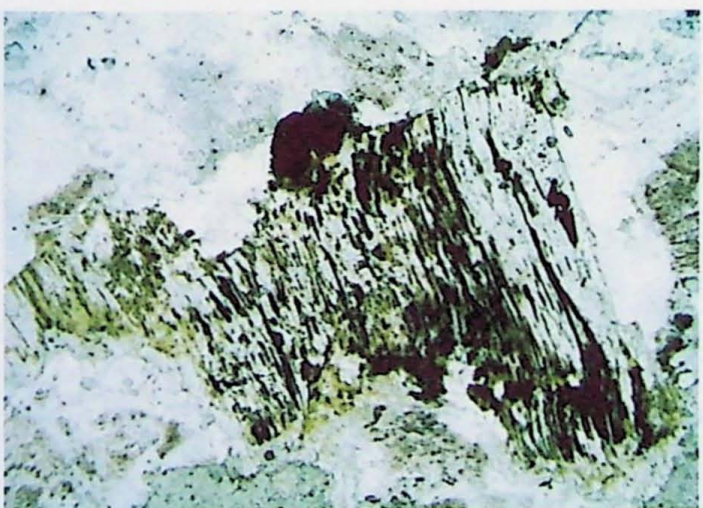
Fotomicrografia H – Cristal de biotita intersticial deformado. Luz Plano Polarizada. Amostra GUA-09A Lado maior da foto: 5,2 mm



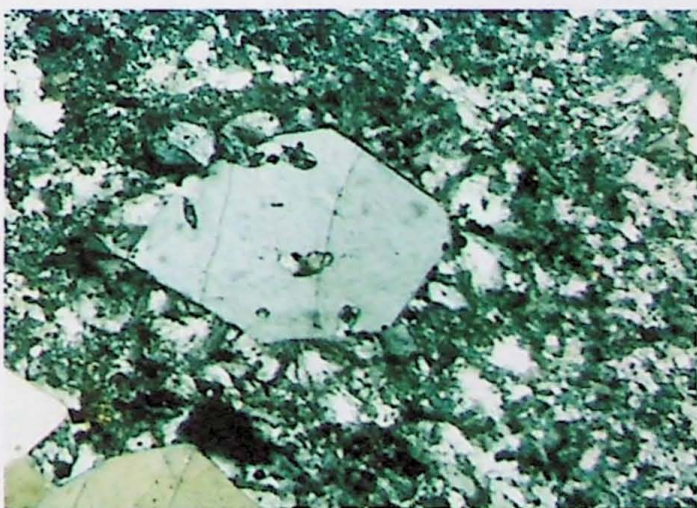
Fotomicrografia I – Aglomerado de opacos, fluorita e mica branca com allanita (cristal marrom na parte superior esquerda). Luz Plano Polarizada. Amostra GUA-02. Lado maior da foto: 1.63 mm



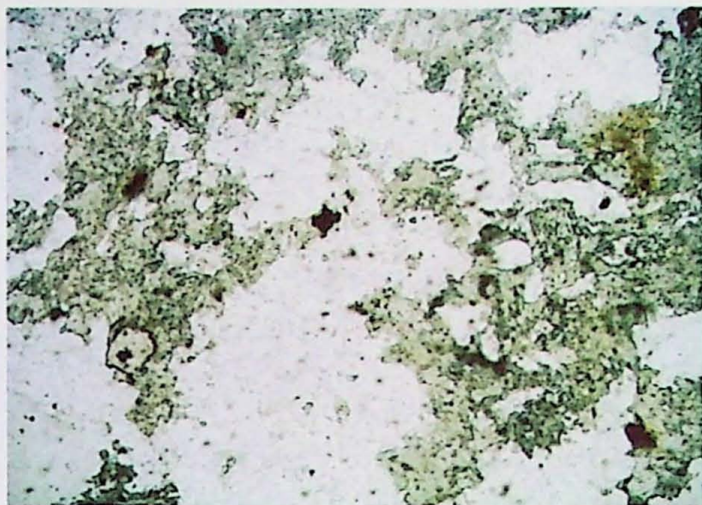
Fotomicrografia J – Megacristal de mica verde. Notar alteração de albita à esquerda. Amostra GUA-17A. Polarizadores cruzados. Lado maior da foto: 10.40 mm



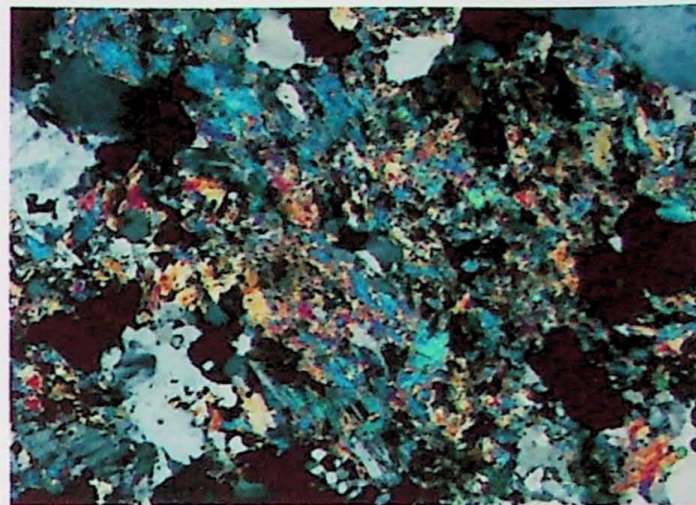
Fotomicrografia L – Cristal de mica incolor com porções esverdeadas com opacos lamelares. Amostra GUA-09A. Luz Plano Polarizada. Lado maior da foto: 3,25 mm



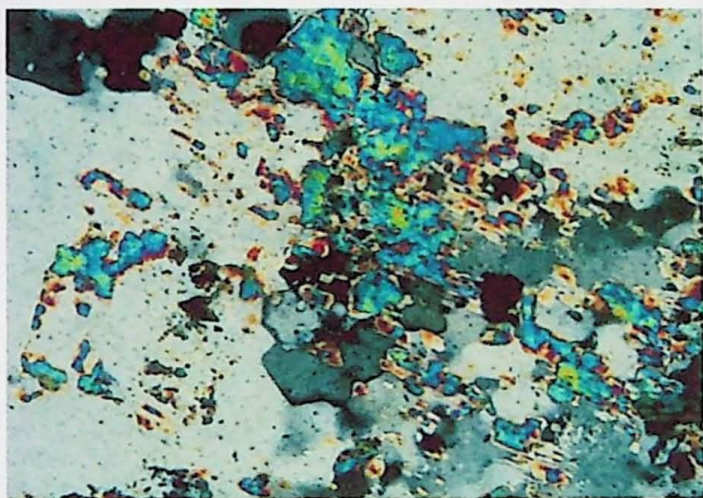
Fotomicrografia M – Aspecto de granito pórfiro. Fenocristal de quartzo, com seções subhexagonais, em parte com figuras de corrosão (embayement). Polarizadores cruzados. Lado maior da foto: 1,63



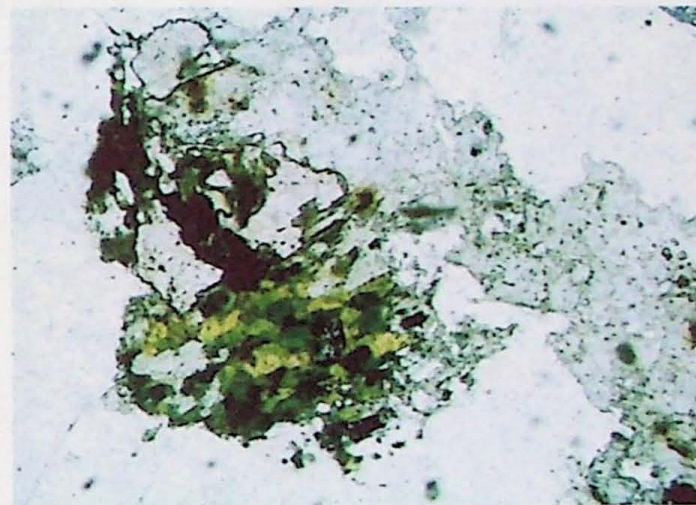
Fotomicrografia A – Aspecto geral do greisen (GUA-08B), notar padrão anédrico das micas com inclusão de zircão com halos pleocróicos. Luz plano polarizada. Lado maior da foto: 3,25 mm



Fotomicrografia B – Alteração pervasiva de mica incolor. Amostra 08B. Polarizadores cruzados. Lado maior da foto: 3,25 mm



Fotomicrografia C – Alteração de mica branca sobre os grãos. Amostra 08B. Polarizadores cruzados Lado maior da foto: 0,65 mm



Fotomicrografia D – Biotita reliquiar pouco cloritizada alterada para opacos, fluorita e mica verde. Notar aspecto de venulação da mica. Amostra 08B. Luz plano polarizada. Lado maior da foto: 2.03 mm



Fotomicrografia E – Megacristal de feldspato alcalino com alteração de mica verde nas fraturas do grão. Amostra 09B. Polarizadores cruzados. Lado maior da foto: 10,40 mm



Fotomicrografia F – Mica verde clara, notar venulação na parte superior da foto. Amostra 09B. Luz plano polarizada. Lado maior da foto: 10,40 mm

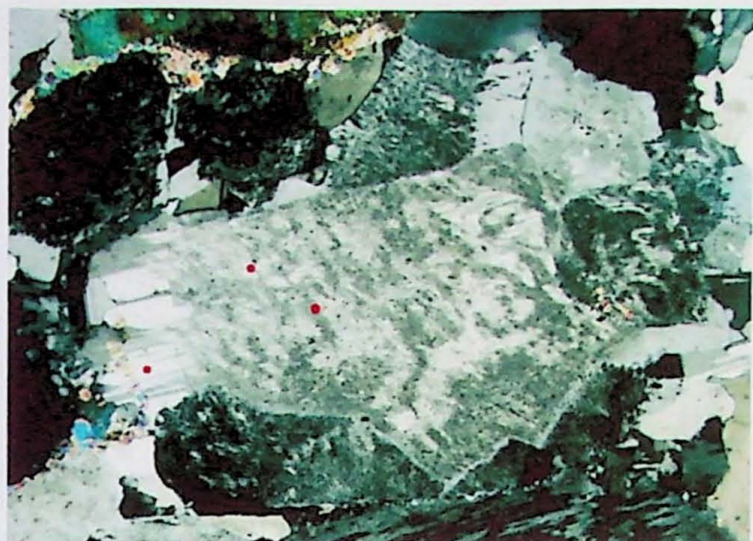
Anexo 4

Tabela 2. Dados modais (% vol) e parâmetros modais para amostras do Pluton Desembarque

	GUA-02	GUA-08	GUA-09	GUA-16	GUA-36	GUA-46	GUA-50	GUA-50B
Q	36,4	35,2	36,9	42,4	36,3	41,2	36,2	35,7
FK	47,8	46,0	44,5	44,6	44,9	43,7	45,7	45,0
Alb	4,8	4,3	4,7	2,2	4,4	2,7	4,4	4,7
Plg	5,0	6,0	3,4	4,0	4,9	3,9	7,3	4,3
Bt	3,0	0,7	2,2	1,7	1,9	1,5	1,7	2,7
Zin	1,1	6,3	5,9	2,5	5,3	5,4	2,1	4,4
Op	0,4	0,4	0,6	0,8	0,8	0,9	0,6	1,2
Ac	1,5	1,1	1,8	1,7	1,7	0,7	2,0	2,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
M'	6,00	8,47	10,47	6,80	9,60	8,47	6,40	10,27
A/(A+P)	0,91	0,89	0,94	0,92	0,91	0,92	0,87	0,92
Q/(Q+A+P)	0,39	0,38	0,41	0,45	0,40	0,45	0,39	0,40

Zin = zinwaldita, Op = minerais opacos, Ac = minerais acessórios não opacos

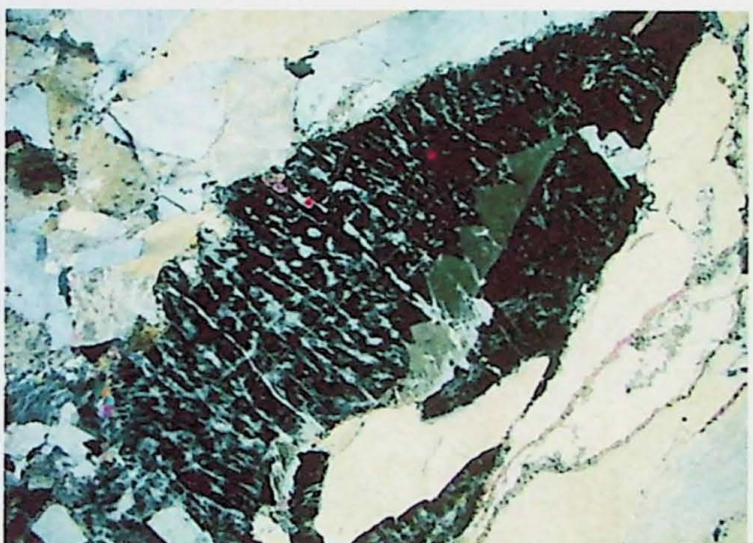
Anexo 5



Fotomicrografia 1 – Granito principal. Perthita com exsoluções e borda de albita. Amostra GUA-09A. Polarizadores cruzados. Pontos indicam localização das análises. Lado maior da foto: 3,25 mm



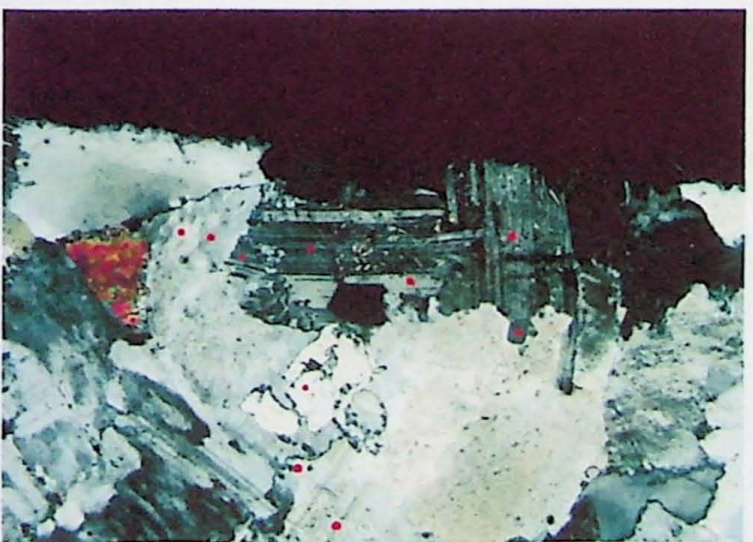
Fotomicrografia 2 – Granito Principal. Mesopertita com forte padrão de exsolução e bordas albíticas. Amostra GUA-18A. Polarizadores cruzados. Lado maior da foto: 3,25 mm



Fotomicrografia 3 – Pegmatito. Perthita com mais de 1 cm e destaque para borda serrilhada.. Amostra GUA-09B. Polarizadores cruzados. Lado maior da foto: 8,32 mm



Fotomicrografia 4 – Granito Principal. Oligoclásio Sódico (An =17%) com borda de albita pura. Amostra GUA-09A. Polarizadores cruzados. Lado maior da foto: 3,25 mm



Fotomicrografia 5 – Granito Principal. Diversos cristais de albita em contanto cm perthita e zinwaldita. Amostra GUA-08C. Polarizadores cruzados. Lado maior da foto: 3,25 mm



Fotomicrografia 6 – Albita granito. Destaque para considerável presença de cristais de albita pura. Amostra GUA-08B CLAR. Polarizadores cruzados. Lado maior da foto: 5,2 mm

Gua 09B - Pegmatito				Gua 50A				gua 50 C - porfirítico				gua 36				50a (estimativa)			
pertita 2		pertita 1		pertita 1		pertita 1		pertita 1		pertita 2		pertita 1		pertita 1		pertita			
hosp	lam	hosp	lam	hosp	lam	hosp	lam	hosp	lam	lam	hosp	hosp	hosp	lam	hosp	nucleo	borda		
63,58	69,29	64,05	67,83	68,77	68,57	63,17	63,68	67,14	67,68	63,49	64,64	68,67	65,41	64,70					
18,76	19,72	18,78	19,83	19,91	19,96	18,96	18,66	20,14	19,92	18,64	18,68	19,76	19,34	19,22					
0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00					
0,00	0,00	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,05	0,04	0,02	0,02	0,03	0,06	0,03	0,03					
0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01					
0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00					
0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,37	0,22	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02					
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,11	0,04	0,07	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00					
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
0,20	11,47	0,33	11,41	12,04	12,06	0,23	0,28	11,62	11,88	0,24	0,12	12,16	4,94	3,44					
16,55	0,17	17,12	0,06	0,07	0,06	17,23	16,68	0,08	0,08	16,78	17,15	0,07	10,38	12,56					
99,15	100,68	100,31	99,19	100,85	100,75	99,64	99,48	99,45	99,92	99,29	100,62	100,78	100,12	99,97					
11,889	12,005	11,877	11,934	11,927	11,910	11,813	11,887	11,824	11,869	11,883	11,929	11,926	11,860	11,845					
4,133	4,026	4,105	4,112	4,070	4,086	4,178	4,105	4,180	4,116	4,112	4,062	4,045	4,133	4,147					
0,000	0,000	0,003	0,004	0,004	0,002	0,004	0,007	0,005	0,003	0,003	0,004	0,007	0,004	0,004					
16,022	16,031	15,985	16,050	16,000	15,999	15,994	15,999	16,010	15,988	15,998	15,996	15,978	15,997	15,996					
0,000	0,000	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000					
0,003	0,000	0,000	0,000	0,003	0,004	0,000	0,000	0,000	0,002	0,004	0,000	0,000	0,001	0,001					
0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,001	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000					
0,004	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,003	0,070	0,042	0,000	0,000	0,003	0,004	0,005					
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,011	0,004	0,007	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000					
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000					
0,073	3,851	0,118	3,891	4,047	4,063	0,083	0,102	3,968	4,041	0,087	0,043	4,093	1,737	1,221					
3,948	0,038	4,050	0,013	0,015	0,012	4,110	3,972	0,019	0,019	4,007	4,037	0,015	2,401	2,934					
4,033	3,896	4,168	3,907	4,066	4,084	4,199	4,091	4,067	4,114	4,108	4,082	4,118	4,144	4,161					
98,09	0,98	97,17	0,33	0,36	0,30	97,86	97,42	0,47	0,46	97,86	98,94	0,36	57,97	70,52					
1,80	98,86	2,83	99,67	99,64	99,70	1,98	2,50	97,82	98,52	2,14	1,06	99,56	41,93	29,36					
0,10	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,07	1,72	1,03	0,00	0,00	0,08	0,10	0,12					

50c (estimativa)		
pertita		
nucleo	borda	
65,28	64,71	
19,26	19,06	
0,01	0,01	
0,03	0,03	
0,01	0,01	
0,01	0,00	
0,14	0,09	
0,08	0,09	
0,01	0,01	
5,36	3,65	
9,34	11,82	
99,52	99,48	

11,867	11,873
4,127	4,121
0,004	0,005
15,999	15,999
0,001	0,001
0,001	0,002
0,002	0,001
0,026	0,018
0,008	0,009
0,001	0,000
1,890	1,299
2,166	2,766
4,095	4,097

53,05	67,74
46,30	31,81
0,65	0,45

Tabela 4 - Composição de plagioclásio e albitas do Pluton Desembarque.

Rocha amostra	Biotita granito									
	GUA - 02					GUA 17A				
crystal	1		2		3		4		5	
posição	nuc	bord	nuc	bord	nuc	bord	nuc	bord	nuc	bord
SiO ₂	65,99	68,25	68,22	67,91	66,78	67,71	67,41	69,10	68,50	68,76
Al ₂ O ₃	21,14	20,10	20,01	19,83	20,07	19,92	20,04	19,99	20,34	20,02
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	0,06	0,00	0,06	0,04	0,05	0,03	0,00	0,00	0,06	0,00
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	1,67	0,31	0,26	0,33	0,80	0,19	0,35	0,02	0,42	0,27
SiO	0,26	0,06	0,03	0,08	0,15	0,03	0,10	0,00	0,09	0,07
BaO	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,06	0,03	0,08	0,00	0,00
Na ₂ O	10,61	11,46	11,39	11,20	11,09	11,30	11,18	11,40	11,33	11,36
K ₂ O	0,11	0,07	0,08	0,07	0,05	0,07	0,10	0,08	0,06	0,07
Total	99,84	100,39	100,04	99,48	98,99	99,33	99,20	100,69	100,81	100,55

Fórmula estrutural, com base em 32 O										
Si	11,621	11,894	11,912	11,924	11,818	11,909	11,879	11,970	11,877	11,939
Al	4,387	4,129	4,118	4,104	4,186	4,129	4,162	4,082	4,157	4,096
FeIII	0,008	0,000	0,007	0,006	0,006	0,004	0,000	0,000	0,008	0,000
Soma T	16,016	16,023	16,037	16,033	16,011	16,041	16,041	16,052	16,041	16,036
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,315	0,058	0,048	0,062	0,151	0,035	0,066	0,004	0,078	0,051
Sr	0,026	0,006	0,003	0,008	0,015	0,003	0,010	0,000	0,009	0,007
Ba	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,004	0,002	0,006	0,000	0,000
Na	3,623	3,872	3,857	3,813	3,805	3,854	3,821	3,828	3,808	3,823
K	0,025	0,016	0,018	0,015	0,012	0,015	0,022	0,017	0,013	0,016
Soma M	3,990	3,962	3,925	3,902	3,984	3,918	3,921	3,857	3,911	3,897

Proporções moleculares										
An	7,95	1,47	1,22	1,59	3,82	0,90	1,69	0,10	2,01	1,31
Ab	91,41	98,12	98,31	98,02	95,88	98,72	97,75	99,46	97,65	98,29
Or	0,63	0,41	0,47	0,39	0,30	0,38	0,56	0,44	0,34	0,40

Gua 09A

1

2

GUA 17A

1

6

5

4

3

2

1

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

bord

nuc

Gua 08C

	2		3		4		1		2		3		4		5	
inter	nuc	borda	nuc	borda	nuc	borda	nuc	borda	bord	nuc	bord	nuc	bd1	bd2	nuc	bd1
68,33	67,47	67,93	67,49	68,34	67,08	67,75	67,75	67,53	68,52	67,17	68,31	68,88	68,79	68,74	67,68	67,51
20,09	20,17	20,08	20,44	20,14	20,49	20,16	20,62	19,63	19,67	20,29	19,95	19,77	20,03	19,66	20,18	19,91
0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
0,07	0,02	0,02	0,06	0,07	0,00	0,00	0,02	0,09	0,02	0,26	0,00	0,04	0,04	0,00	0,02	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,18	0,03	0,82	0,25	0,78	0,23	0,08	0,39	0,00	0,39	0,35	0,04	0,10	0,03	0,57	0,30
0,00	0,04	0,00	0,10	0,06	0,12	0,04	0,00	0,09	0,00	0,05	0,04	0,00	0,00	0,00	0,11	0,05
0,04	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,08	0,04	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,11
11,19	11,46	11,32	10,79	11,44	10,97	11,13	11,33	11,49	11,49	11,04	11,47	11,62	11,51	11,76	11,32	11,43
0,07	0,07	0,07	0,06	0,16	0,06	0,07	0,11	0,10	0,08	0,49	0,05	0,10	0,06	0,05	0,07	0,07
99,78	99,46	99,58	99,75	100,47	99,52	99,48	99,96	99,31	99,88	99,72	100,17	100,43	100,58	100,27	99,95	99,38

11,938	11,859	11,912	11,827	11,893	11,794	11,892	11,838	11,904	11,978	11,810	11,917	11,972	11,940	11,971	11,851	11,888
4,138	4,178	4,151	4,221	4,130	4,246	4,171	4,247	4,078	4,051	4,203	4,101	4,049	4,098	4,035	4,164	4,131
0,009	0,003	0,002	0,007	0,009	0,000	0,000	0,002	0,012	0,002	0,035	0,000	0,005	0,005	0,000	0,003	0,000
16,084	16,040	16,065	16,055	16,032	16,041	16,063	16,087	15,994	16,032	16,048	16,018	16,026	16,044	16,007	16,018	16,019
0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,034	0,006	0,154	0,046	0,147	0,043	0,015	0,073	0,000	0,074	0,066	0,007	0,019	0,006	0,107	0,056
0,000	0,004	0,000	0,010	0,006	0,012	0,004	0,000	0,009	0,000	0,005	0,004	0,000	0,000	0,000	0,011	0,005
0,003	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,005	0,003	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,008
3,789	3,904	3,848	3,667	3,861	3,740	3,788	3,837	3,926	3,893	3,763	3,880	3,915	3,873	3,971	3,843	3,902
0,014	0,016	0,016	0,013	0,036	0,014	0,016	0,024	0,021	0,019	0,110	0,010	0,021	0,013	0,010	0,016	0,015
3,806	3,964	3,878	3,845	3,954	3,916	3,859	3,881	4,030	3,919	3,956	3,960	3,943	3,908	3,991	3,976	3,986

0,00	0,85	0,15	4,02	1,16	3,77	1,12	0,38	1,83	0,00	1,88	1,66	0,19	0,48	0,15	2,69	1,42
99,62	98,74	99,43	95,63	97,93	95,88	98,47	99,01	97,64	99,53	95,33	98,08	99,28	99,20	99,60	96,92	98,19
0,38	0,41	0,42	0,35	0,91	0,35	0,41	0,62	0,53	0,47	2,79	0,26	0,53	0,32	0,25	0,39	0,39

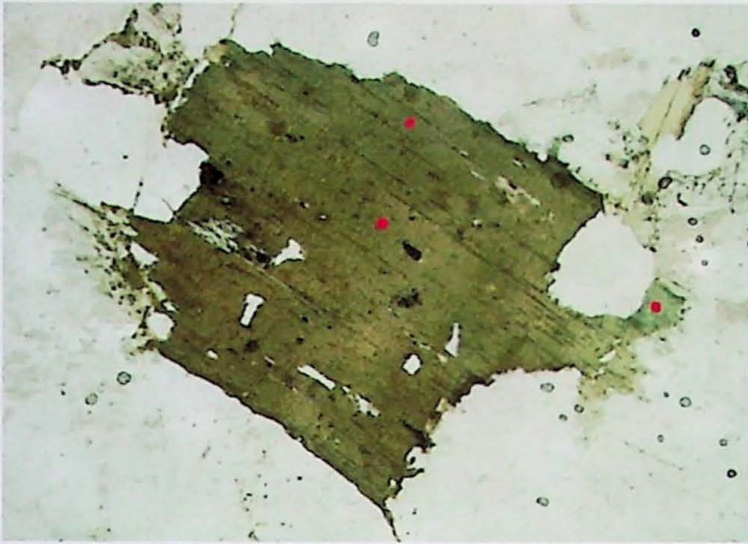
[illegible]

Gua 53		Gua 16		Gua 01C		Gua 18a	
1	nuc	1	nuc	1	nuc	1	nuc
67,20	67,16	68,05	67,58	67,96	66,67	66,71	66,71
20,45	19,92	19,93	19,91	19,88	20,40	20,26	20,26
0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
0,15	0,22	0,11	0,09	0,00	0,03	0,02	0,02
0,03	0,04	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,29	0,40	0,74	0,44	0,99	0,10	1,16	1,16
0,06	0,00	0,00	0,03	0,03	0,05	0,00	0,00
0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,06	0,04	0,04
11,28	11,34	11,01	11,73	11,41	11,12	10,98	10,81
0,11	0,15	0,13	0,04	0,08	0,09	0,46	0,17
100,57	99,23	100,02	99,84	100,38	99,08	99,34	99,15
11,740	11,852	11,897	11,858	11,866	11,754	11,776	11,788
4,210	4,143	4,105	4,118	4,148	4,227	4,246	4,219
0,020	0,030	0,014	0,012	0,000	0,004	0,004	0,002
15,970	16,024	16,016	15,988	16,021	15,981	16,026	16,009
0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,004	0,004	0,000
0,004	0,006	0,000	0,004	0,000	0,000	0,002	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,242	0,076	0,139	0,083	0,258	0,222	0,122	0,219
0,006	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,005	0,000
0,000	0,000	0,003	0,000	0,002	0,003	0,004	0,003
3,820	3,878	3,732	3,989	3,957	3,817	3,761	3,703
0,024	0,034	0,029	0,008	0,016	0,026	0,103	0,037
4,096	3,994	3,905	4,088	4,022	4,097	4,001	3,962
5,92	1,91	3,56	2,03	2,62	5,46	3,06	5,54
93,50	97,22	95,70	97,77	96,41	94,03	94,36	93,51
0,58	0,86	0,73	0,20	0,97	0,51	2,58	0,95

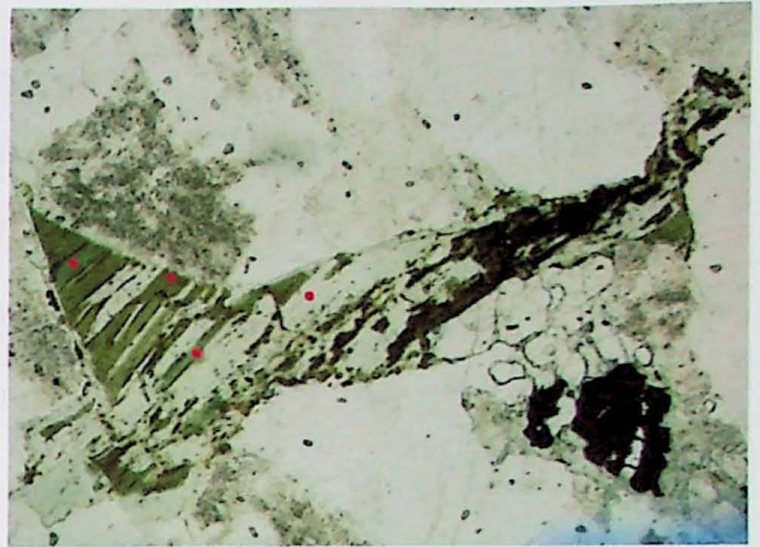
Albita granlito				Greslen									
GUA 08B				GUA 08A									
2		1		2		3		4		1		2	
bord	nuc	bord	nuc	bord	nuc	bord	nuc	bord	nuc	bord	nuc	bord	nuc
68,76	68,73	68,51	68,73	68,56	68,65	67,86	69,33	68,85	67,87	68,29	68,29	68,29	68,29
20,21	20,20	20,17	19,54	19,78	19,52	19,76	19,80	19,35	19,85	19,65	19,65	19,65	19,65
0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
0,02	0,00	0,07	0,00	0,05	0,00	0,06	0,00	0,02	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02
0,04	0,22	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11,48	11,31	11,14	11,58	11,56	11,78	11,82	11,67	11,51	11,73	11,88	11,88	11,88	11,88
0,06	0,07	0,82	0,05	0,04	0,04	0,09	0,09	0,04	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06
100,56	100,52	100,72	99,95	99,99	100,00	99,65	100,88	99,80	99,62	100,04	100,04	100,04	100,04
11,928	11,927	11,910	11,997	11,965	11,986	11,914	11,990	12,029	11,908	11,941	11,941	11,941	11,941
4,131	4,131	4,132	4,019	4,067	4,017	4,088	4,035	3,985	4,105	4,048	4,048	4,048	4,048
0,003	0,000	0,009	0,000	0,006	0,000	0,008	0,000	0,003	0,003	0,007	0,007	0,007	0,007
16,062	16,057	16,051	16,016	16,038	16,003	16,010	16,026	16,017	16,016	15,995	15,995	15,995	15,995
0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,005	0,003	0,003	0,003	0,003
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,004	0,004	0,004
0,008	0,041	0,000	0,005	0,000	0,000	0,004	0,000	0,004	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,005	0,005	0,005	0,005
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	4,028	4,028	4,028	4,028
3,860	3,805	3,756	3,919	3,913	3,986	4,024	3,912	3,901	3,991	0,012	0,012	0,012	0,012
0,012	0,015	0,182	0,011	0,008	0,009	0,020	0,020	0,009	0,015	0,012	0,012	0,012	0,012
3,880	3,860	3,938	3,938	3,921	3,997	4,050	3,932	3,914	4,019	4,053	4,053	4,053	4,053
0,20	1,06	0,00	0,13	0,00	0,00	0,09	0,00	0,11	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00
99,48	98,56	95,37	99,59	99,79	99,78	99,41	99,50	99,66	99,42	99,69	99,69	99,69	99,69
0,32	0,38	4,63	0,28	0,21	0,22	0,50	0,50	0,23	0,37	0,31	0,31	0,31	0,31

Anexo 6

Prancha A



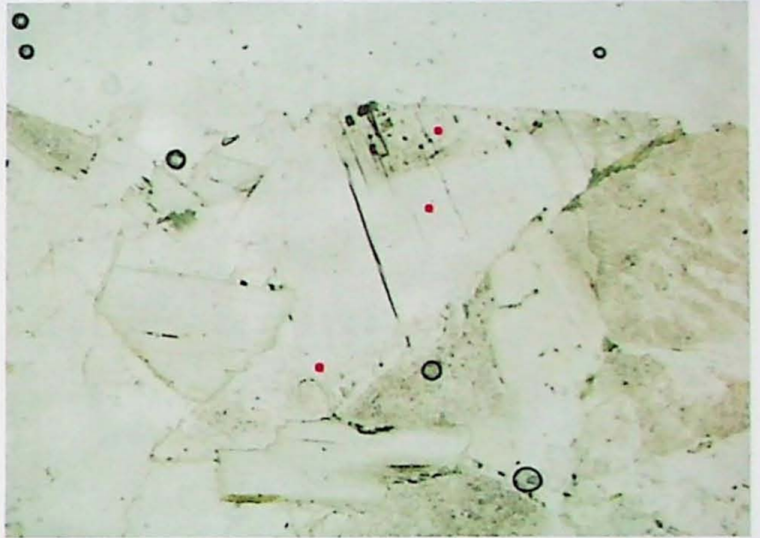
Fotomicrografia 1 – Granito principal. Bt castanha com borda de bt verde. Pontos indicam localização das análises. Amostra GUA 18A. Luz plano polarizada. Lado maior da foto: 3,25 mm



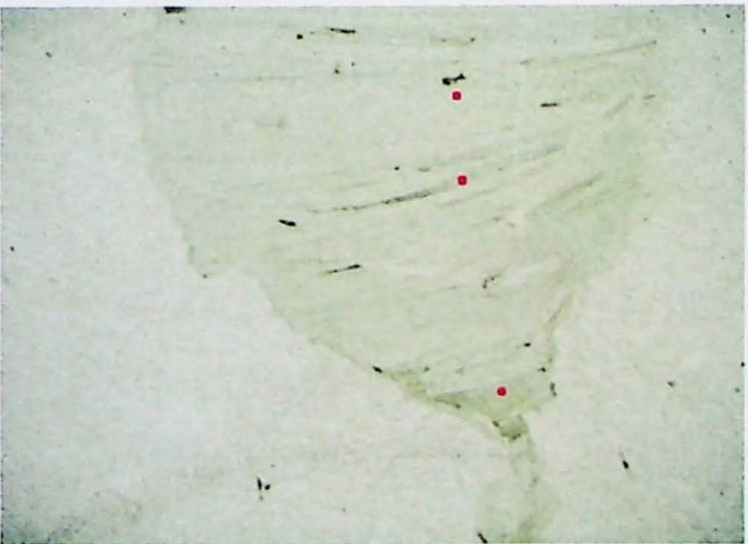
Fotomicrografia 2 – Granito principal. Cristal de biotita verde sendo alterado para zinwaldita. Amostra GUA 09A. Luz plano polarizada. Lado maior da foto: 3,25 mm



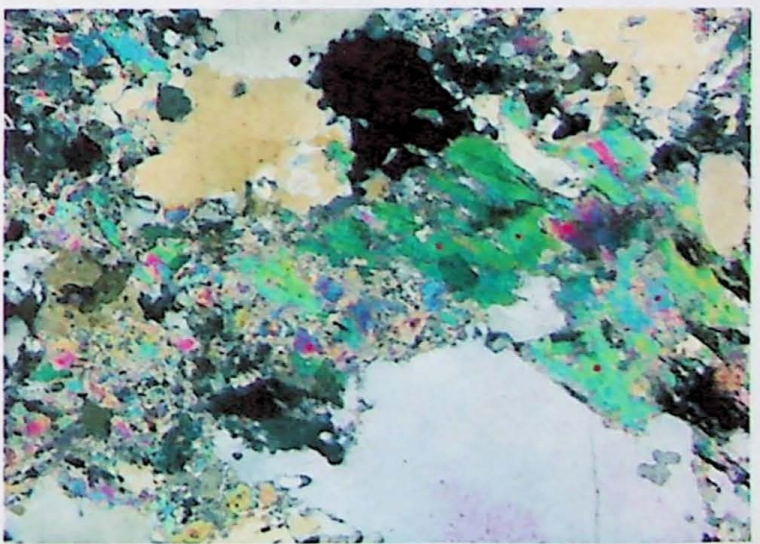
Fotomicrografia 3 – Granito principal. Notar aspecto pervasivo da alteração para zinwaldita. Amostra GUA 08C. Luz plano polarizada. Lado maior da foto: 3,25 mm



Fotomicrografia 4 – Granito principal. Cristal de zinwaldita bastante incolor, grande variação do conteúdo de Fe do núcleo para borda. Amostra GUA 09A. Luz plano polarizada. Lado maior da foto: 3,25 mm



Fotomicrografia 5 – Pegmatito. Megacristal de zinwaldita. Amostra GUA 09B. Luz plano polarizada. Lado maior da foto: 10,40 mm



Fotomicrografia 6 – Greisen. Zinwalditas de caráter pervasivo e birrefringência variável. Amostra GUA 08B ESC. Polarizadores cruzados. Lado maior da foto: 2,03 mm

Tabela 7 - Análises micas verdes claras (número de análises = 51)

sample	gua - 18 a qua - 05			qua - 17a			2			gua 08c			2			3			4			5		
crystal	3	1	2	3	4	1	2	1,n	2,b	1,n	3,n	1,n	2,b	3,b	1,n	2,b	1,n	3,n	1,n	2,b	3,b	1,n	2,b	3,b
id point	2,b	1,b	1,n	2,b	3,b	1,n	2,b	1,n	2,b	1,n	3,n	1,n	2,b	3,b	1,n	2,b	1,n	3,n	1,n	2,b	3,b	1,n	2,b	3,b
SiO2	45.82	53.49	45.38	47.43	46.21	45.55	46.52	45.59	45.48	46.28	43.46	46.28	45.92	47.94	48.56	48.58	47.88	45.72	47.67	48.58	47.88	45.72	48.58	45.72
TiO2	0.43	0.17	0.23	b.d.l	0.15	0.20	0.31	0.23	b.d.l	0.14	0.39	0.14	0.13	0.09	0.15	b.d.l	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.15
Al2O3	23.59	20.82	23.42	23.48	23.70	29.64	25.71	29.10	29.65	23.57	24.43	23.57	22.86	24.04	22.80	22.80	22.70	24.28	22.70	22.80	22.70	24.28	22.80	23.84
FeO	11.62	10.03	13.04	10.66	13.34	8.08	9.85	9.10	8.83	11.66	16.96	11.66	13.87	11.28	12.59	10.84	12.91	12.07	12.91	10.84	12.91	12.07	12.91	12.19
MnO	0.34	0.28	0.39	0.38	0.42	0.17	0.24	0.21	0.23	0.36	0.35	0.36	0.43	0.30	0.35	0.37	0.34	0.36	0.34	0.37	0.35	0.36	0.37	0.31
MgO	0.30	0.14	0.09	0.14	0.17	0.08	0.22	0.06	0.02	0.12	0.20	0.12	0.16	0.03	0.11	0.11	0.26	0.14	0.26	0.11	0.24	0.14	0.15	0.15
CaO	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	0.03	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	0.03	0.03	0.03	0.04	b.d.l	0.04	b.d.l	0.04	b.d.l	0.04	0.04	0.01
Na2O	3.58	5.80	3.46	4.05	3.21	3.51	3.79	3.52	3.49	3.72	2.80	3.72	3.61	4.20	3.80	4.38	4.12	3.56	4.12	4.38	4.18	3.56	3.56	3.59
K2O	0.06	0.07	0.06	0.06	0.07	0.15	0.06	0.14	0.23	0.09	0.06	0.09	0.07	0.08	0.06	0.06	0.08	0.10	0.08	0.06	0.06	0.08	0.08	0.10
ZnO	10.53	9.16	10.63	10.47	10.51	10.67	10.80	11.21	10.86	10.86	10.46	10.86	10.50	10.72	10.73	10.77	10.90	10.62	10.90	10.77	10.73	10.62	10.77	10.18
Cl	b.d.l	0.02	b.d.l	b.d.l	0.13	0.13	b.d.l	0.09	b.d.l	0.05	0.05	0.05	b.d.l	0.09	0.06	0.08	0.07	0.04	0.07	0.08	0.06	0.04	0.04	0.04
F	2.42	1.85	1.70	2.65	2.17	1.93	1.20	1.09	b.d.l	2.01	1.33	2.01	2.05	1.96	1.77	2.21	2.69	1.80	2.69	2.21	1.72	1.80	2.12	2.12
Total(*)	98.68	101.83	98.39	99.31	100.87	98.51	98.69	100.37	98.77	98.88	100.57	98.88	99.62	100.76	99.12	101.26	101.80	98.58	101.80	101.26	99.69	98.58	98.58	98.51
(F/Cl)=OH	1.02	0.78	0.72	1.12	0.92	0.81	0.51	0.46	0.00	0.85	0.56	0.85	0.86	0.83	0.75	0.94	1.13	0.68	1.13	0.94	0.72	0.68	0.89	0.89
Total	97.66	101.04	97.67	98.19	99.65	98.45	98.19	99.91	98.77	98.03	100.01	98.03	98.76	99.94	98.37	100.32	100.66	97.90	100.66	100.32	98.97	97.90	97.90	97.62
Si	6.363	6.904	6.333	6.494	6.356	6.072	6.307	6.063	6.059	6.396	6.049	6.396	6.365	6.443	6.430	6.493	6.458	6.320	6.458	6.493	6.503	6.320	6.458	6.360
Al IV	1.637	1.096	1.667	1.506	1.644	1.928	1.693	1.932	1.941	1.604	1.951	1.604	1.635	1.557	1.570	1.507	1.542	1.680	1.542	1.507	1.497	1.680	1.507	1.640
soma	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Al VI	2.224	2.072	2.184	2.283	2.030	2.729	2.414	2.633	2.715	2.234	2.056	2.234	2.100	2.251	2.141	2.241	2.082	2.275	2.082	2.241	2.168	2.275	2.275	2.257
Fe	1.350	1.083	1.522	1.220	1.745	0.801	1.117	1.013	0.984	1.347	1.974	1.347	1.608	1.268	1.454	1.211	1.462	1.396	1.462	1.211	1.308	1.396	1.414	1.414
Ti	0.045	0.016	0.024	0.000	0.022	0.010	0.031	0.023	0.000	0.014	0.040	0.014	0.014	0.009	0.015	0.000	0.007	0.008	0.007	0.000	0.008	0.008	0.015	0.015
Mn	0.039	0.030	0.046	0.044	0.059	0.019	0.028	0.024	0.026	0.042	0.042	0.042	0.051	0.034	0.041	0.041	0.039	0.042	0.039	0.041	0.040	0.042	0.036	0.036
Mg	0.063	0.028	0.018	0.028	0.036	0.017	0.044	0.012	0.003	0.025	0.041	0.025	0.033	0.006	0.023	0.022	0.052	0.028	0.052	0.022	0.049	0.028	0.031	0.031
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.009	0.000	0.005	0.005	0.005	0.000	0.009	0.006	0.008	0.007	0.004	0.007	0.008	0.006	0.004	0.005	0.005
Li	2.001	3.011	1.941	2.230	1.841	1.880	2.065	1.883	1.868	2.067	1.625	2.067	2.014	2.269	2.110	2.355	2.245	1.977	2.245	2.355	2.283	1.977	2.004	2.004
soma	5.722	6.239	5.734	5.805	5.733	5.671	5.699	5.697	5.595	5.733	5.782	5.733	5.819	5.846	5.791	5.879	5.894	5.730	5.894	5.879	5.860	5.730	5.762	5.762
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.004	0.005	0.006	0.000	0.005	0.000	0.006	0.000	0.005	0.002	0.002
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.016	0.017	0.015	0.015	0.015	0.039	0.014	0.036	0.058	0.023	0.016	0.023	0.018	0.020	0.017	0.016	0.020	0.021	0.017	0.016	0.015	0.021	0.028	0.028
K	1.865	1.508	1.892	1.828	1.915	1.859	1.868	1.903	1.846	1.915	1.858	1.915	1.857	1.837	1.890	1.836	1.883	1.873	1.860	1.836	1.860	1.873	1.801	1.801
soma	1.881	1.525	1.908	1.843	1.938	1.898	1.883	1.941	1.904	1.939	1.874	1.939	1.879	1.861	1.917	1.858	1.903	1.899	1.875	1.858	1.875	1.899	1.831	1.831
Soma	15.603	15.764	15.642	15.648	15.671	15.707	15.582	15.638	15.499	15.673	15.656	15.673	15.698	15.707	15.708	15.737	15.796	15.629	15.796	15.737	15.735	15.629	15.592	15.592

Anions

Cl	0.003	0.004	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
F	1.111	0.812	0.786	1.209	1.298	0.054	0.541	0.478	0.000	0.923	0.606	0.923	0.941	0.878	0.813	0.989	1.216	0.732	0.779	0.989	1.216	0.732	0.973	0.973
Soma	1.114	0.817	0.786	1.209	1.298	0.059	0.541	0.478	0.003	0.923	0.606	0.923	0.941	0.878	0.813	0.996	1.216	0.732	0.779	0.996	1.216	0.732	0.973	0.973
Fe#	0.956	0.975	0.968	0.977	0.980	0.982	0.962	0.988	0.997	0.982	0.980	0.982	0.980	0.995	0.984	0.982	0.966	0.980	0.964	0.982	0.966	0.980	0.979	0.979
Fe/Al	0.607	0.523	0.697	0.535	0.860	0.330	0.463	0.385	0.362	0.603	0.960	0.603	0.766	0.563	0.679	0.540	0.702	0.613	0.603	0.540	0.702	0.613	0.626	0.626
Mg/I	-1.939	-2.964	-1.922	-2.202	-1.805	-1.864	-2.021	-1.870	-1.865	-2.042	-1.584	-2.042	-1.981	-2.263	-2.087	-2.333	-2.193	-1.949	-2.234	-2.333	-2.193	-1.949	-1.973	-1.973
Feal	-0.760	-0.943	-0.592	-1.018	-0.204	-1.750	-1.238	-1.573	-1.705	-0.831	-0.001	-0.831	-0.427	-0.940	-0.630	-0.989	-0.574	-0.830	-0.813	-0.989	-0.574	-0.830	-0.792	-0.792

GUA 09A			GUA 50A			Gua 50c			GUA 50b			GUA 48D			GUA 36		
5.b	2		4	5	6	1		3	2	3		3.i	2.b	1.i	1	2	3
	3.b	4.b	1.n	1.b	4.b	2.b	1.b	1.n	3.b	1.n	2.i						
48.53	47.37	46.22	47.98	46.96	46.22	47.14	48.44	44.95	45.77	44.95	45.32	47.03	47.03	45.66	45.66	45.78	48.40
0.05	0.11	0.23	0.09	0.12	0.23	0.04	0.09	0.32	0.34	0.32	0.13	0.27	0.27	0.17	0.14	0.14	0.11
22.56	23.03	22.75	23.04	23.71	24.89	22.02	21.64	27.42	28.41	26.84	25.75	29.84	30.22	21.87	22.09	22.41	23.14
11.28	11.55	11.07	10.73	11.83	10.93	13.04	11.77	9.86	8.25	10.62	10.62	7.05	5.60	15.07	13.38	13.38	11.02
0.31	0.33	0.27	0.30	0.34	0.27	0.35	0.35	0.24	0.24	0.24	0.29	0.10	0.12	0.41	0.38	0.40	0.35
0.22	0.34	0.22	0.25	0.24	0.22	0.36	0.52	0.32	0.38	0.32	0.34	0.54	0.39	0.18	0.14	0.21	0.13
0.04	0.04	b.d.i	0.05	0.03	b.d.i	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
b.d.i	b.d.i	b.d.i	b.d.i	b.d.i	b.d.i	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03
4.37	4.03	3.70	4.21	3.91	3.70	3.96	4.34	3.33	3.57	3.33	3.44	3.94	3.93	3.54	3.54	3.57	4.33
0.10	0.08	0.08	0.11	0.04	0.08	0.02	0.02	0.08	0.24	0.07	0.07	0.24	0.21	0.06	0.09	0.12	0.10
10.73	10.48	10.91	10.63	10.72	10.73	10.67	11.16	10.99	10.82	10.99	10.89	10.81	10.77	10.75	11.05	10.67	10.92
0.09	0.03	0.09	0.12	0.08	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
b.d.i	b.d.i	0.03	0.02	b.d.i	0.03	1.33	1.08	0.96	0.80	0.96	1.13	0.40	0.23	1.91	3.05	2.52	2.18
2.37	2.06	1.52	1.70	1.75	1.52	0.06	0.08	0.10	0.10	0.09	0.05	0.00	0.03	0.09	0.11	0.05	0.05
100.63	99.45	98.87	99.22	99.70	98.87	99.01	100.23	98.63	98.96	98.63	98.01	100.43	98.73	100.01	99.14	98.91	100.76
1.00	0.87	0.74	0.72	0.74	0.65	0.57	0.47	0.42	0.36	0.42	0.49	0.17	0.10	0.82	1.09	0.90	0.93
99.63	98.68	98.45	98.50	98.97	98.23	98.44	99.76	98.21	98.60	97.76	97.62	100.26	98.63	99.19	98.06	98.01	99.83
6.556	6.473	6.492	6.520	6.402	6.320	6.469	6.155	6.118	6.128	6.125	6.235	6.116	6.155	6.411	6.378	6.399	6.518
1.444	1.527	1.508	1.480	1.598	1.680	1.511	1.845	1.882	1.872	1.875	1.765	1.884	1.845	1.589	1.622	1.584	1.482
8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
2.147	2.182	2.173	2.209	2.212	2.331	2.060	2.412	2.516	2.611	2.466	2.411	2.889	2.816	1.979	2.075	2.091	2.191
1.274	1.319	1.271	1.219	1.348	1.250	1.502	1.266	1.123	0.824	1.219	1.222	0.767	0.612	1.431	1.573	1.584	1.241
0.005	0.012	0.023	0.009	0.009	0.023	0.004	0.020	0.033	0.034	0.028	0.013	0.026	0.018	0.018	0.014	0.015	0.011
0.035	0.038	0.036	0.034	0.039	0.032	0.040	0.033	0.022	0.027	0.033	0.033	0.011	0.013	0.049	0.045	0.047	0.040
0.045	0.068	0.060	0.051	0.049	0.045	0.074	0.021	0.065	0.076	0.070	0.070	0.105	0.076	0.046	0.029	0.044	0.026
0.009	0.003	0.009	0.012	0.008	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.373	2.216	2.213	2.300	2.145	2.034	2.165	1.912	1.824	1.822	1.789	1.903	2.058	2.071	1.988	2.000	2.008	2.345
5.887	5.839	6.784	5.835	6.813	5.721	6.875	5.663	5.589	5.694	5.600	5.652	5.659	5.606	5.888	5.735	5.769	5.954
0.006	0.005	0.000	0.007	0.004	0.000	0.005	0.009	0.008	0.007	0.007	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.002	0.002	0.001
0.025	0.021	0.024	0.028	0.009	0.021	0.005	0.035	0.021	0.063	0.021	0.017	0.060	0.054	0.015	0.017	0.032	0.027
1.850	1.828	1.910	1.843	1.864	1.872	1.874	1.921	1.911	1.849	1.911	1.911	1.793	1.797	1.775	1.981	1.903	1.876
1.881	1.864	1.934	1.877	1.877	1.893	1.884	1.967	1.937	1.919	1.935	1.928	1.868	1.851	1.794	2.008	1.942	1.905
15.768	15.693	15.718	15.712	16.690	15.616	16.759	15.630	15.527	16.513	15.535	15.680	15.527	15.458	16.662	15.763	15.711	15.769
0.000	0.000	0.005	0.005	0.000	0.007	0.577	0.460	0.99	0.339	0.99	0.99	1.00	1.00	0.97	0.98	0.97	0.98
1.069	0.939	1.119	0.773	0.791	0.689	0.014	0.019	0.021	0.022	0.043	0.011	0.164	0.095	0.824	1.349	0.932	0.930
1.069	0.939	1.123	0.777	0.791	0.697	0.591	0.478	0.433	0.360	0.365	0.802	0.164	0.101	0.845	1.375	0.944	0.941
0.966	0.951	0.955	0.960	0.965	0.965	0.953	0.984	0.945	0.924	0.945	0.946	0.879	0.890	0.969	0.979	0.973	0.979
0.593	0.605	0.585	0.552	0.610	0.536	0.729	0.525	0.446	0.354	0.494	0.507	0.285	0.217	0.662	0.889	0.748	0.566
-2.328	-2.148	-2.153	-2.249	-2.097	-1.990	-2.121	-1.891	-1.759	-1.846	-1.719	-1.833	-1.953	-1.995	-2.109	-1.950	-1.964	-2.319
-0.833	-0.813	-0.844	-0.947	-0.812	-1.026	-0.515	-1.092	-1.333	-1.627	-1.143	-1.143	-1.885	-2.173	-0.656	-0.153	-0.443	-0.900

GUA 39		GUA 63		GUA 50D	
1	1	1	2	1	2
1,n	2,j	3,b	1,b	2,b	2,b
45.86	45.60	45.88	45.54	48.41	48.88
0.20	0.26	0.26	0.21	0.15	0.10
23.19	23.56	23.78	22.93	24.26	23.07
11.63	11.56	11.67	12.94	11.73	12.24
0.73	0.71	0.72	0.42	0.34	0.29
0.52	0.47	0.47	0.23	0.23	0.24
0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.09	0.07	0.00
3.60	3.52	3.60	3.50	4.33	4.47
0.08	0.07	0.07	0.05	0.05	0.05
10.66	10.70	10.78	10.49	10.96	10.92
0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.39	2.47	2.52	1.66	2.10	2.24
0.13	0.07	0.07	0.11	0.11	0.10
99.02	98.99	99.83	98.22	102.74	102.60
1.03	1.06	1.08	0.73	0.91	0.97
97.99	97.93	98.75	97.49	101.84	101.93
6.375	6.343	6.331	6.369	6.410	6.497
1.625	1.657	1.669	1.631	1.590	1.503
8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
2.173	2.204	2.198	2.149	2.196	2.110
1.352	1.344	1.346	1.513	1.299	1.360
0.021	0.027	0.027	0.022	0.015	0.010
0.086	0.084	0.084	0.049	0.038	0.032
0.107	0.097	0.097	0.048	0.045	0.047
0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.010	1.970	1.969	1.971	2.307	2.388
5.754	5.727	6.751	5.752	6.900	5.948
0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.005	0.004	0.000
0.021	0.018	0.018	0.014	0.012	0.013
1.891	1.898	1.897	1.871	1.851	1.852
1.911	1.916	1.915	1.895	1.867	1.865
15.665	15.643	15.666	15.647	16.767	15.813
0.93	0.93	0.93	0.97	0.97	0.97
1.050	1.088	1.100	0.735	0.878	0.943
0.030	0.016	0.016	0.026	0.025	0.022
1.080	1.104	1.116	0.761	0.903	0.965
0.927	0.933	0.933	0.969	0.967	0.967
0.622	0.610	0.613	0.704	0.592	0.645
-1.903	-1.873	-1.902	-1.923	-2.262	-2.342
-0.714	-0.749	-0.740	-0.564	-0.843	-0.708

Tabela 8 - Análises de micas do albita granito, greisen e pegmatitos (número de análises = 26).

sample	GUA 08A GREISEN										GUA 08B - PEGMATITO									
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
grain	1,n	2,n	1,n	2,n	3,n	4,n	5,n	6,n	7,n	8,n	9,n	10,n	1,n	2,n	3,n	4,n	5,n	6,n	7,n	8,n
id point	1,n	2,n	1,n	2,n	3,n	4,n	5,n	6,n	7,n	8,n	9,n	10,n	1,n	2,n	3,n	4,n	5,n	6,n	7,n	8,n
SiO ₂	45.06	45.47	45.33	44.86	44.00	46.23	44.94	46.20	45.01	45.53	47.14	45.38	41.83	30.84	32.93	43.63	46.94	42.45	48.58	3.b
TiO ₂	b.d.l	0.16	0.25	0.21	0.23	0.08	b.d.l	0.06	0.11	0.07	0.09	0.17	0.02	1.43	1.12	0.07	0.14	0.03	0.08	3.b
Al ₂ O ₃	28.68	27.96	26.30	29.93	30.48	26.74	29.42	27.32	28.09	30.98	24.88	26.04	31.78	23.59	26.56	30.76	23.63	21.41	23.74	3.b
FeO	8.32	8.46	10.74	7.87	7.94	9.64	8.01	9.21	9.71	6.63	10.75	11.61	10.40	31.11	25.82	7.78	12.45	19.41	10.95	3.b
MnO	0.24	0.25	0.28	0.16	0.24	0.29	0.21	0.27	0.33	0.13	0.29	0.31	0.21	0.76	0.51	0.22	0.36	0.41	0.37	3.b
MgO	0.03	b.d.l	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.06	b.d.l	0.04	0.04	0.03	0.08	0.06	0.04	0.17	0.03	0.18	3.b
CaO	b.d.l	0.02	0.03	b.d.l	b.d.l	b.d.l	0.02	b.d.l	0.03	b.d.l	b.d.l	b.d.l	0.29	b.d.l	0.05	0.02	b.d.l	0.02	b.d.l	3.b
BaO	b.d.l	b.d.l	b.d.l	0.04	0.04	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	0.07	b.d.l	0.12	3.b
Li ₂ O	3.36	3.48	3.44	3.31	3.40	3.70	3.33	3.69	3.35	3.50	3.96	3.46	2.43	-0.74	-0.14	2.95	3.91	2.61	4.38	3.b
Na ₂ O	0.12	0.11	0.11	0.17	0.12	0.08	0.15	0.18	0.08	0.17	0.08	0.06	0.09	0.03	0.03	0.15	0.05	0.21	0.10	3.b
K ₂ O	10.87	10.79	10.60	11.00	10.67	10.42	10.81	10.79	10.49	10.94	10.59	10.86	10.15	8.61	8.90	10.29	10.89	10.01	10.93	3.b
ZnO	b.d.l	0.04	0.05	b.d.l	0.05	b.d.l	b.d.l	0.11	0.06	0.08	0.05	b.d.l	b.d.l	0.12	0.09	b.d.l	0.05	0.20	0.12	3.b
Cl	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	0.02	b.d.l	0.04	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	0.03	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	3.b
F	0.97	1.57	1.28	1.64	1.40	1.03	1.09	1.69	1.80	0.24	1.66	1.49	1.31	0.52	0.80	1.22	1.59	2.73	2.26	3.b
Total(°)	97.64	98.31	98.43	99.17	98.05	98.26	98.00	98.57	99.10	98.25	99.54	99.43	98.54	98.35	96.75	97.14	100.25	99.51	101.80	3.b
(F:Cl)=OH	0.41	0.66	0.54	0.69	0.59	0.74	0.46	0.72	0.76	0.10	0.70	0.63	0.55	0.22	0.34	0.51	0.67	1.15	0.95	3.b
Total	97.23	97.65	97.89	98.48	97.46	97.82	97.54	98.86	98.34	98.14	98.84	98.80	97.98	98.13	96.40	96.82	99.58	98.36	100.85	3.b
Si	6.126	6.177	6.208	6.036	6.149	6.263	6.082	6.224	6.116	6.041	6.380	6.169	5.732	4.973	5.097	5.956	6.384	6.167	6.477	3.b
Al/IV	1.874	1.823	1.792	1.964	1.851	1.737	1.918	1.776	1.884	1.959	1.620	1.901	2.268	3.027	2.903	2.044	1.616	1.833	1.523	3.b
soma	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	3.b
Al/VI	2.720	2.654	2.453	2.781	2.706	2.533	2.775	2.562	2.615	2.886	2.349	2.392	2.864	1.456	1.941	2.905	2.172	1.834	2.208	3.b
Fe	0.946	0.961	1.230	0.886	0.928	1.092	0.907	1.037	1.103	0.736	1.217	1.327	1.192	4.196	3.342	0.889	1.416	2.358	1.221	3.b
Ti	0.000	0.016	0.026	0.021	0.013	0.009	0.000	0.006	0.011	0.006	0.009	0.018	0.002	0.173	0.130	0.007	0.014	0.003	0.008	3.b
Mn	0.028	0.029	0.032	0.018	0.025	0.034	0.024	0.030	0.038	0.015	0.033	0.036	0.024	0.104	0.067	0.026	0.042	0.050	0.042	3.b
Mg	0.005	0.000	0.005	0.004	0.006	0.008	0.006	0.003	0.011	0.000	0.007	0.009	0.006	0.020	0.014	0.008	0.034	0.007	0.035	3.b
Zn	0.000	0.004	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.006	0.007	0.005	0.000	0.000	0.014	0.010	0.000	0.005	0.021	0.012	3.b
Li	1.840	1.903	1.896	1.790	1.855	2.017	1.812	2.001	1.831	1.868	2.158	1.869	1.339	-0.483	-0.088	1.621	2.138	1.525	2.349	3.b
soma	5.539	5.568	5.647	5.500	5.548	5.692	5.523	5.651	5.615	5.617	5.780	5.681	5.427	5.480	5.416	5.464	5.821	5.798	5.875	3.b
Ca	0.000	0.002	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.043	0.000	0.007	0.003	0.000	0.003	0.000	3.b
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.006	3.b
Na	0.031	0.028	0.030	0.043	0.027	0.020	0.039	0.047	0.021	0.042	0.022	0.017	0.025	0.009	0.009	0.040	0.013	0.060	0.025	3.b
K	1.885	1.870	1.851	1.888	1.856	1.800	1.867	1.855	1.818	1.851	1.829	1.863	1.774	1.771	1.758	1.792	1.889	1.855	1.859	3.b
soma	1.816	1.900	1.885	1.931	1.888	1.820	1.908	1.902	1.843	1.893	1.851	1.910	1.842	1.780	1.774	1.836	1.906	1.918	1.890	3.b
Soma	15.454	15.468	15.532	15.431	15.428	15.512	15.431	15.553	15.458	15.411	15.630	15.891	15.269	15.261	15.190	15.289	15.727	15.716	15.765	3.b
Anions																				3.b
Cl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	3.b
F	0.437	0.704	0.578	0.729	0.627	0.463	0.487	0.752	0.809	0.105	0.749	0.871	0.586	0.284	0.392	0.545	0.719	1.299	1.008	3.b
Soma	0.437	0.704	0.578	0.729	0.627	0.467	0.487	0.762	0.809	0.105	0.749	0.871	0.586	0.284	0.399	0.545	0.719	1.299	1.008	3.b
Fe#	0.694	1.000	0.696	0.995	0.994	0.993	0.994	0.997	0.990	1.000	0.994	0.993	0.995	0.995	0.996	0.991	0.977	0.997	0.972	3.b
Fe/Al	0.348	0.362	0.501	0.319	0.347	0.431	0.327	0.405	0.422	0.255	0.518	0.855	0.416	2.882	1.721	0.306	0.652	1.286	0.553	3.b
Mg/Al	-1.834	-1.903	-1.891	-1.785	-1.855	-2.009	-1.806	-1.998	-1.819	-1.868	-2.151	-1.860	-1.334	0.503	0.102	-1.612	-2.104	-1.518	-2.314	3.b
Fe/Al	-1.747	-1.647	-1.165	-1.856	-1.712	-1.398	-1.844	-1.489	-1.462	-2.129	-1.090	-1.011	-1.646	3.017	1.598	-1.984	-0.700	0.578	-0.937	3.b

GUA 38 - PEGMATITO

2	1				2	
	1,n	2,b	2,l	3,b	1,n	2,b
46.67	38.42	48.33	37.82	39.24	39.65	46.40
0.15	b.d.l	b.d.l	0.11	0.46	0.37	0.16
24.26	20.92	23.84	19.28	19.64	19.13	23.08
10.92	21.81	10.18	24.85	23.70	24.05	12.53
0.36	0.76	0.34	0.76	0.71	0.72	0.42
0.12	0.10	0.10	0.08	0.11	0.10	0.19
0.02	0.06	0.03	0.05	0.03	0.05	0.02
b.d.l	0.00	b.d.l	0.00	0.00	0.00	0.00
3.83	4.31	4.31	1.44	1.27	1.80	3.75
0.09	0.30	0.09	0.18	0.20	0.15	0.08
10.90	11.14	11.14	9.52	9.93	9.75	10.84
0.13	0.03	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00
b.d.l	0.02	0.02	3.06	2.52	2.98	1.91
2.15	2.22	2.22	0.21	0.18	0.15	0.08
99.59	100.62	100.62	96.71	97.16	98.63	99.58
0.90	1.34	0.94	1.10	1.29	0.85	0.88
98.69	99.69	98.69	96.37	96.06	97.18	98.70
6.380	6.496	6.496	5.938	5.912	6.029	6.400
1.620	1.504	1.504	2.062	2.088	1.971	1.600
8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
2.289	2.273	2.273	1.748	1.464	1.457	2.153
1.249	1.144	1.144	2.820	3.250	3.059	1.446
0.015	0.000	0.013	0.013	0.025	0.043	0.016
0.042	0.039	0.039	0.099	0.101	0.092	0.049
0.024	0.020	0.020	0.023	0.019	0.024	0.039
0.013	0.003	0.003	0.000	0.003	0.000	0.000
2.106	2.329	2.329	0.898	0.799	1.032	2.081
5.738	5.809	5.809	6.601	5.662	5.775	5.783
0.003	0.005	0.005	0.009	0.008	0.005	0.003
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.025	0.023	0.023	0.089	0.053	0.058	0.016
1.901	1.911	1.911	1.876	1.980	1.897	1.907
1.928	1.938	1.938	1.974	2.041	1.959	1.926
15.666	15.747	15.747	16.575	15.702	16.693	15.709
0.000	0.004	0.004	0.054	0.047	0.038	0.018
0.975	0.995	0.995	1.498	1.247	1.438	0.891
0.975	0.999	0.999	1.552	1.293	1.476	0.909
0.981	0.983	0.983	0.992	0.994	0.992	0.974
0.546	0.503	0.503	1.613	2.219	1.988	0.672
-2.081	-2.309	-2.309	-0.874	-0.780	-1.008	-2.042
-0.983	-1.090	-1.090	1.184	1.911	1.654	-0.643

Anexo 7

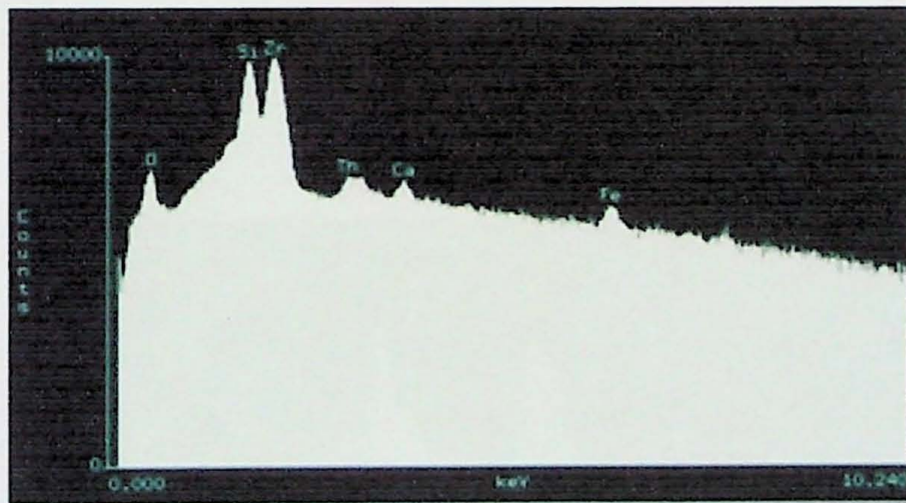
Prancha 1 - Zircão - Amostra Gua- 50B



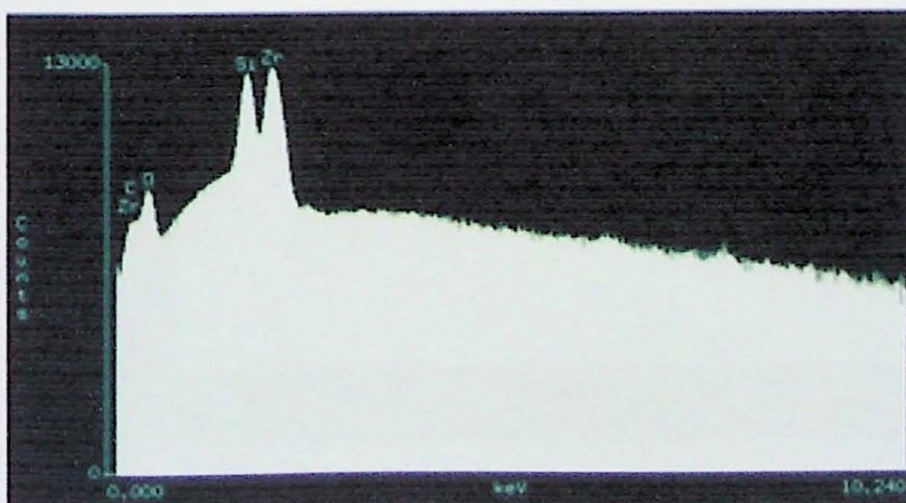
1 - Intercrescimento entre
Zircão e Thorita

2 e 3 - Zircão

1



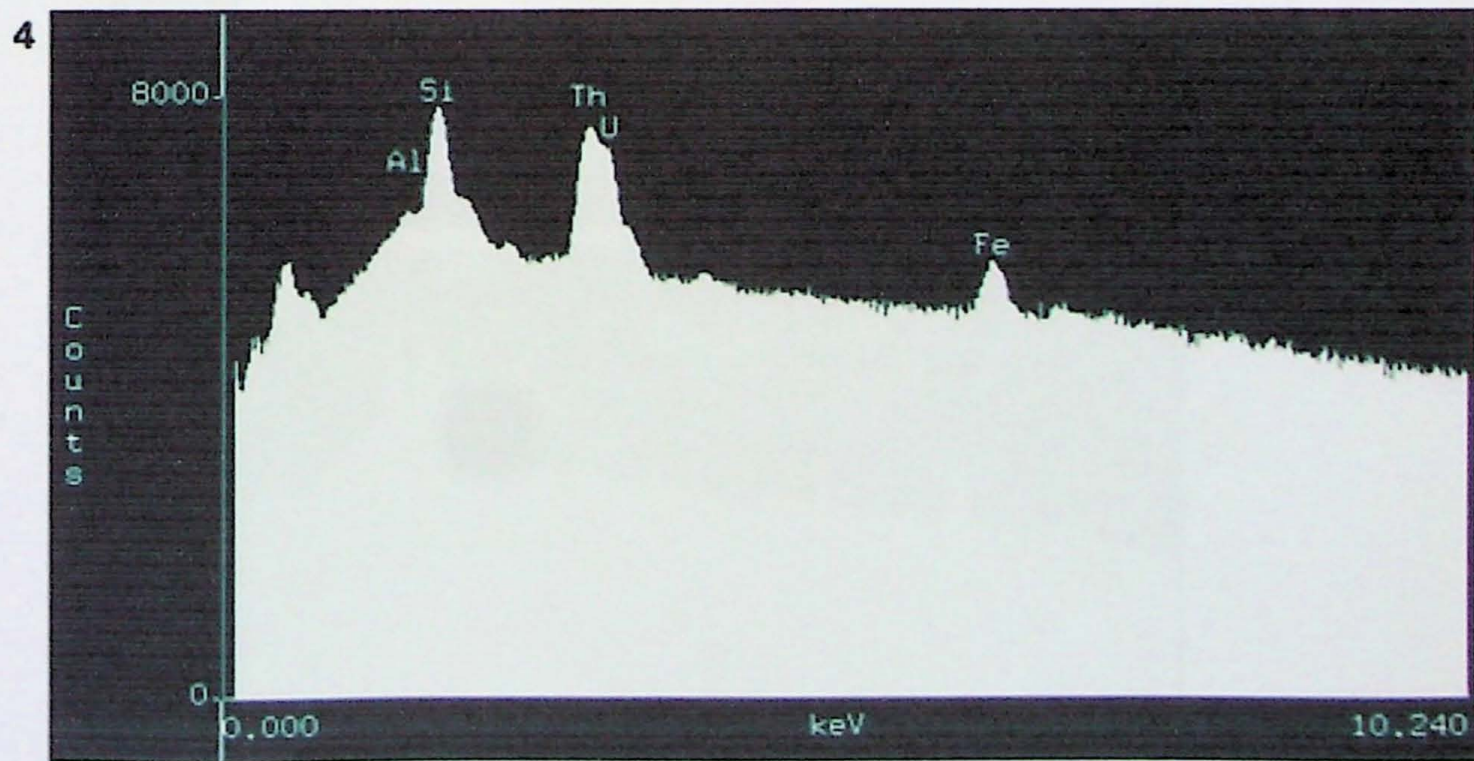
3



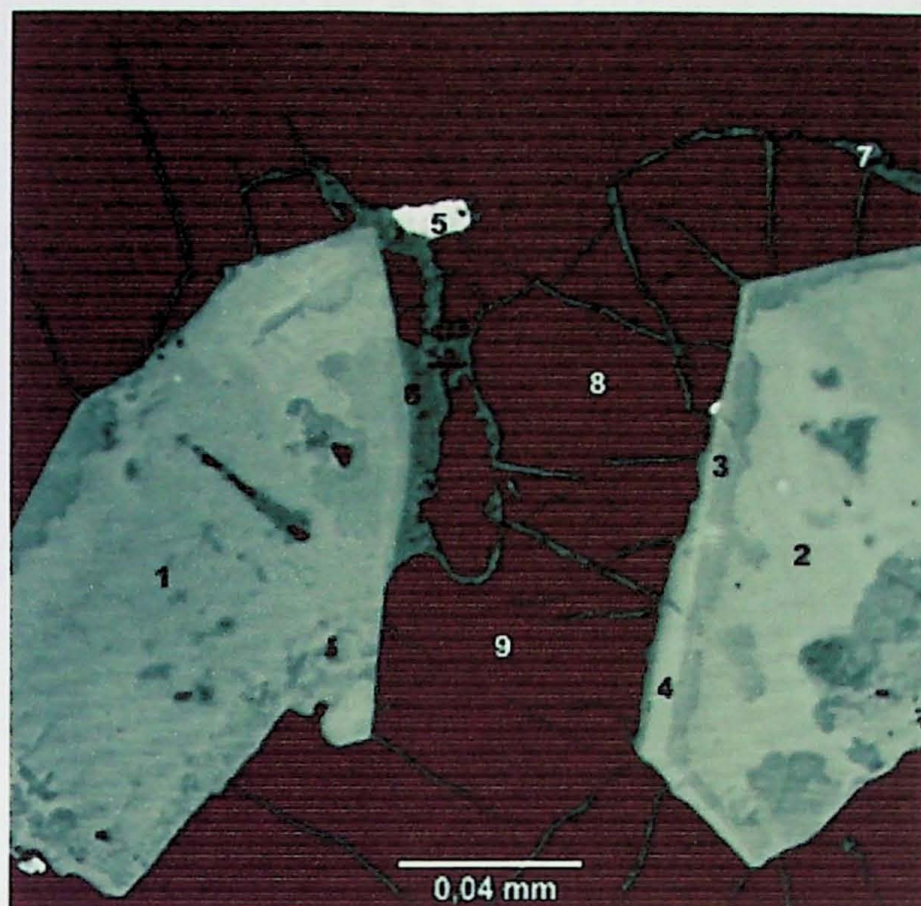
Prancha 2 - Zircão com inclusão de torita - Amostra Gua 48D



- 1-Zircão zonado
- 2 e 3 - Zircão Hidrotermalizado
- 4 - Torita



Prancha 3 - Zircão, Fluorita e F (ETR)



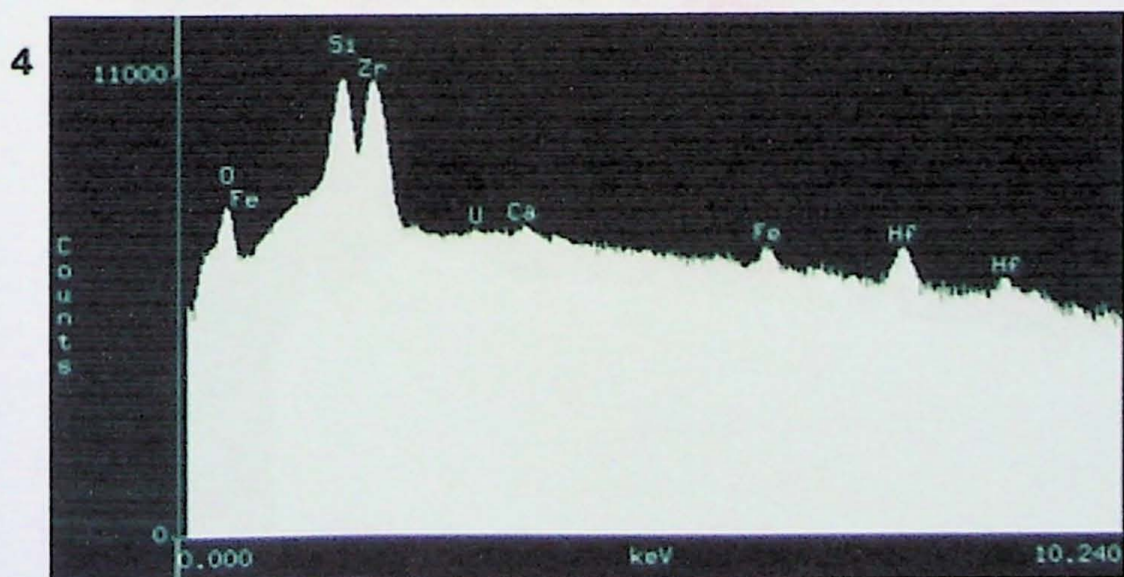
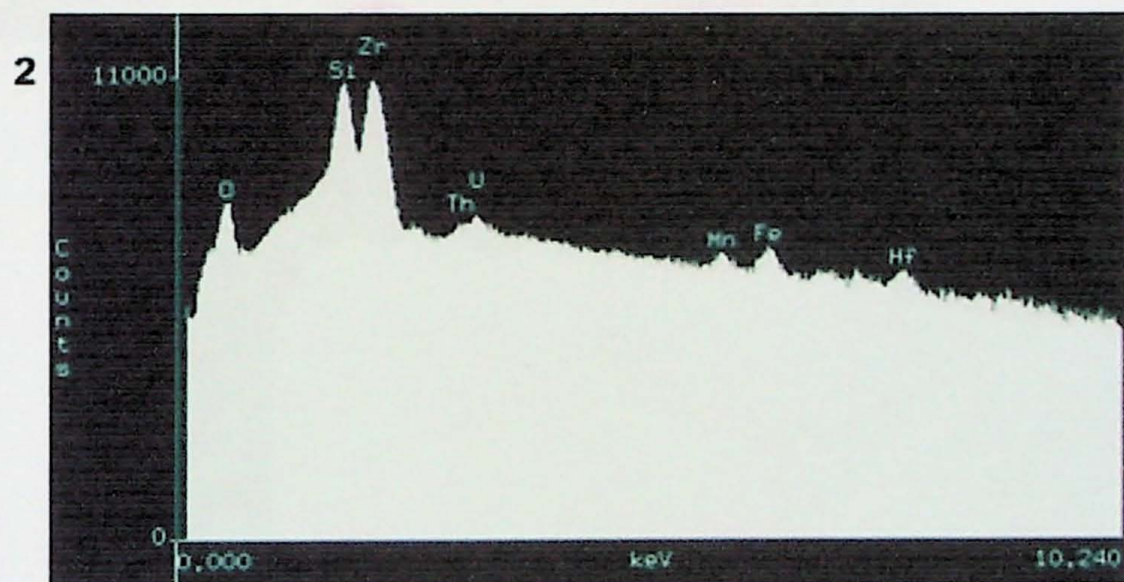
1,2 e 3 - Zircão

4 - Zircão rico em Hf

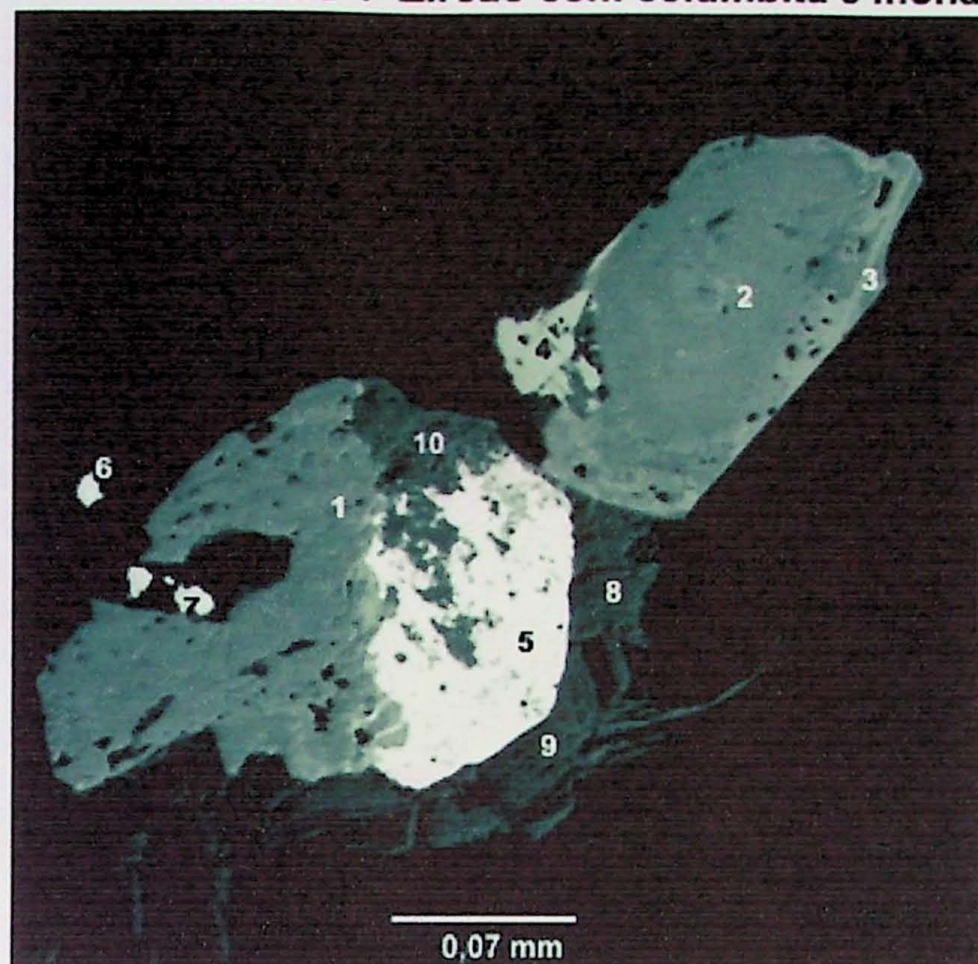
5- Fluoreto de ETR

6 e 7- óxido de ferro

8 e 9 - Fluorita

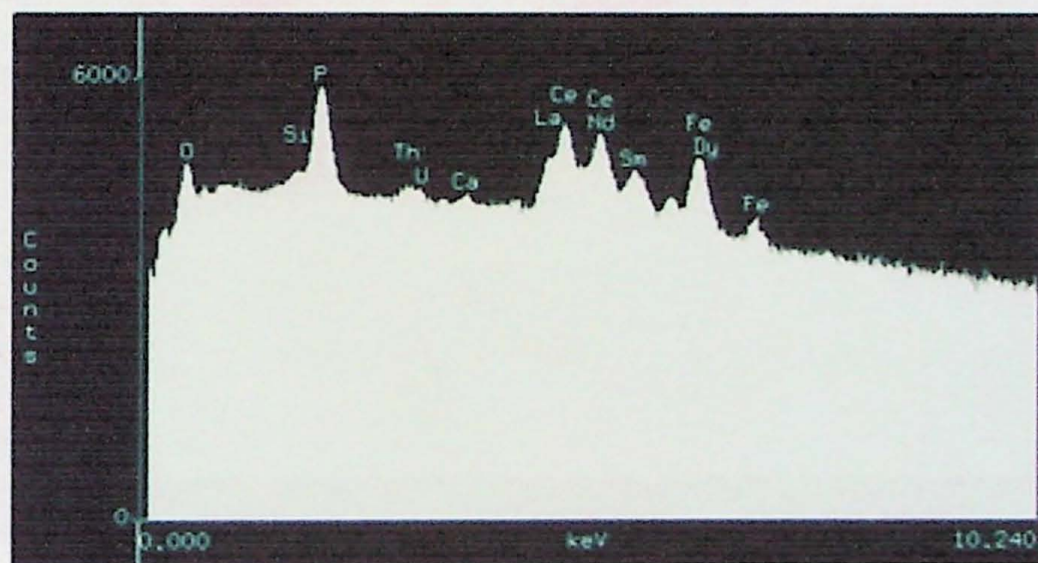


Prancha 4 -Zircão com columbita e monazita - Gua 53

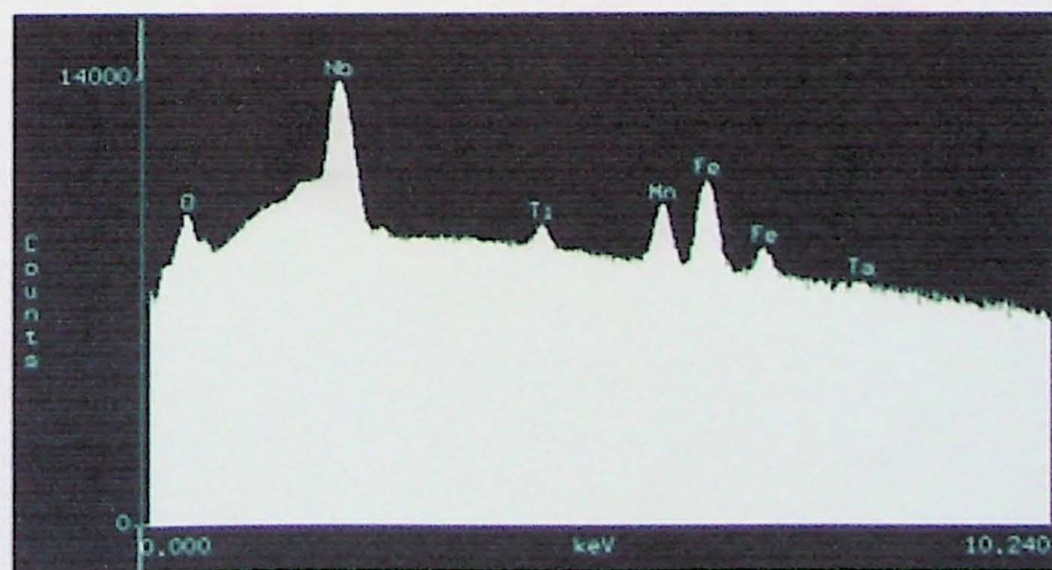


- 1 - Zircão
- 2 - Núcleo Zircão límpido
- 3- Zircão Borda com inclusões
- 4 - Columbita
- 5 - Torita
- 6 e 7 - Monazita
- 8 a 10 - óxido de ferro

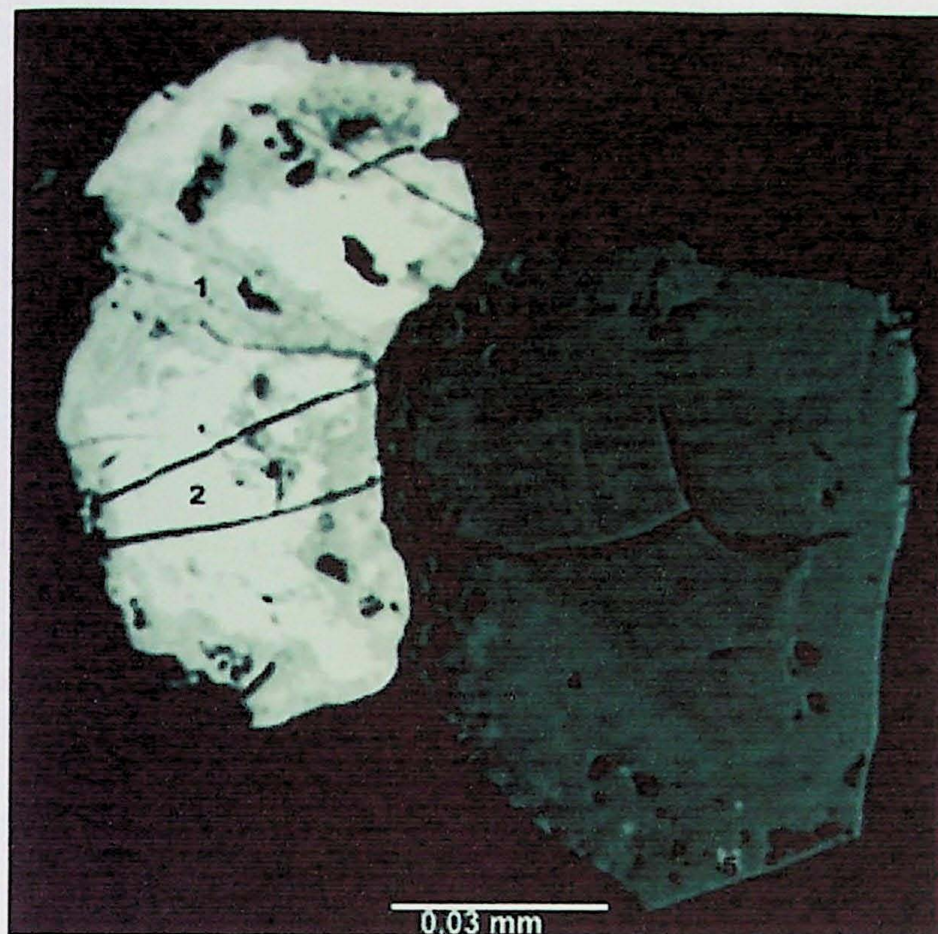
7



4



Prancha 5 - Torita e zircão

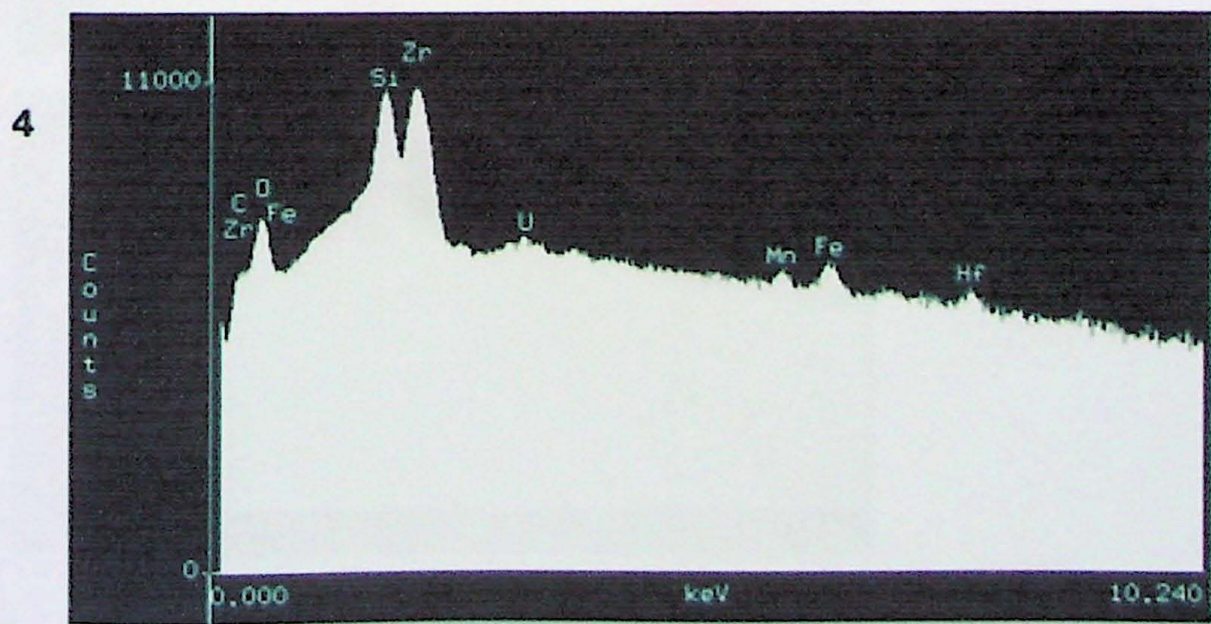
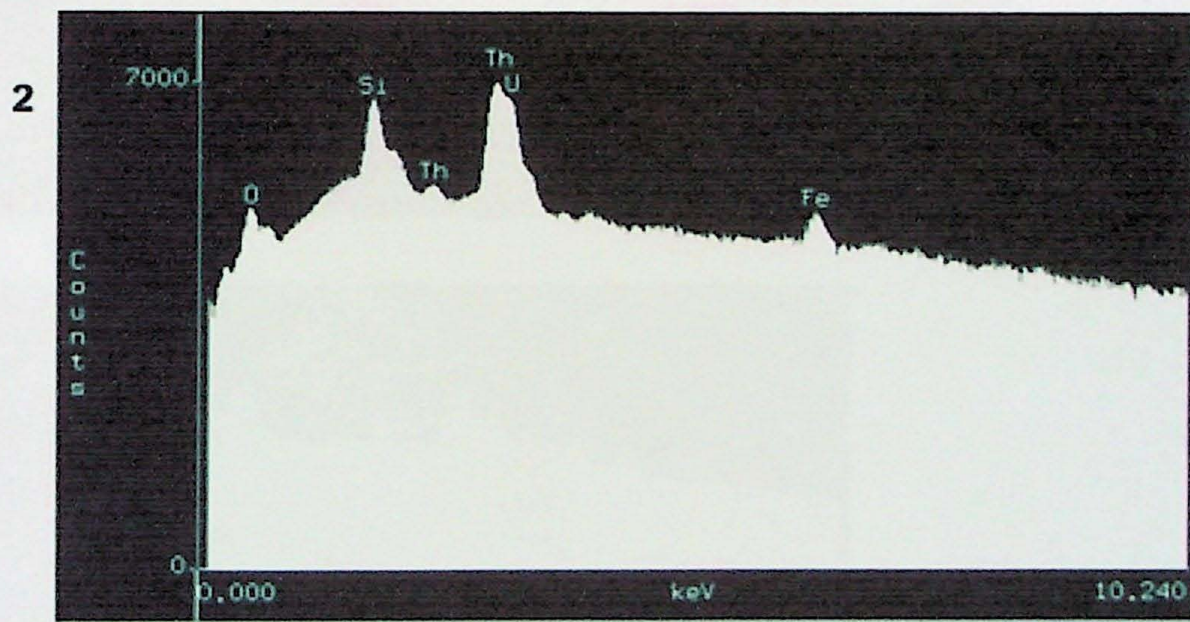


1-Torita

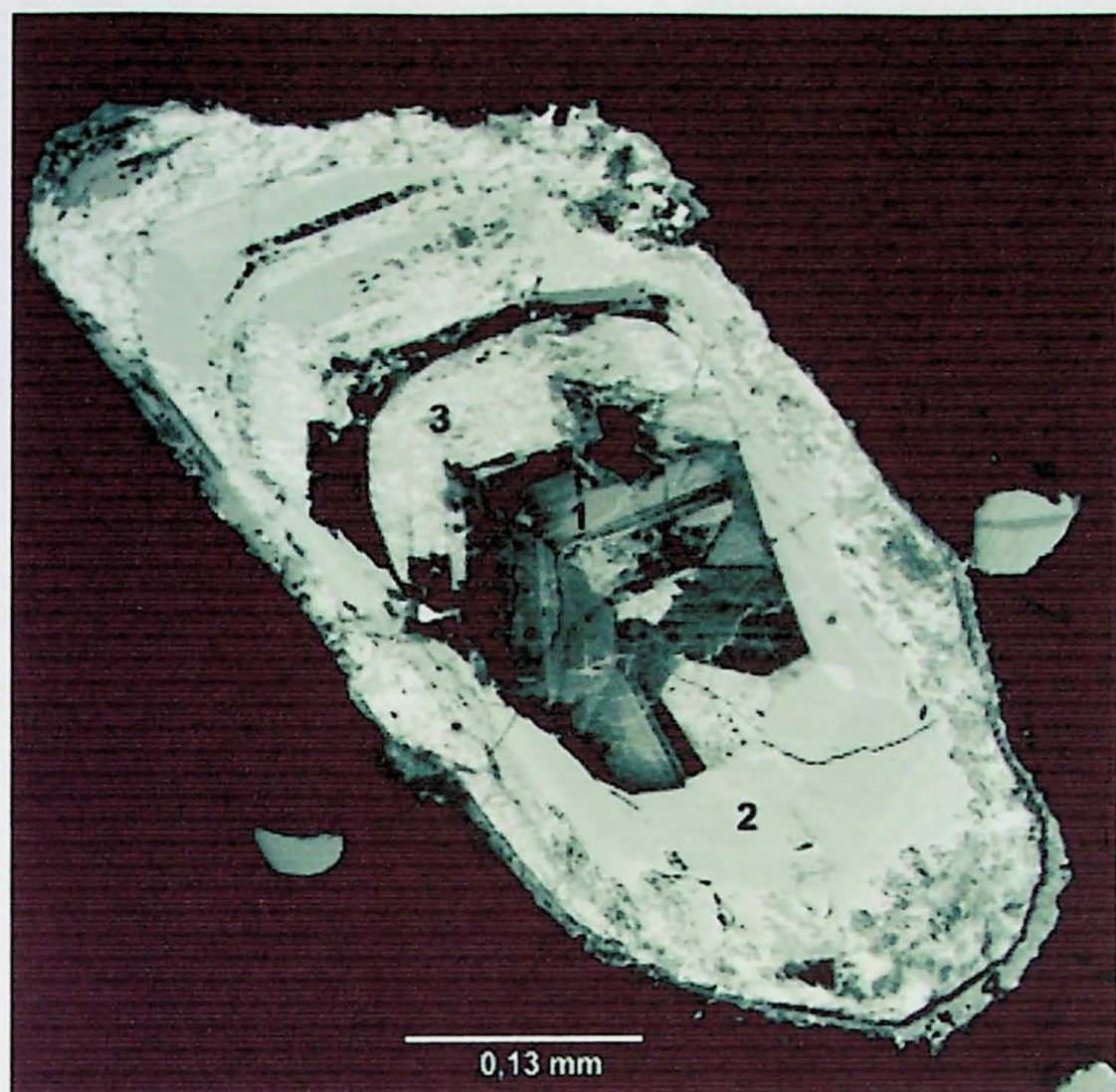
2-Torita relativamente rica em Th

3 e 4- Zircão

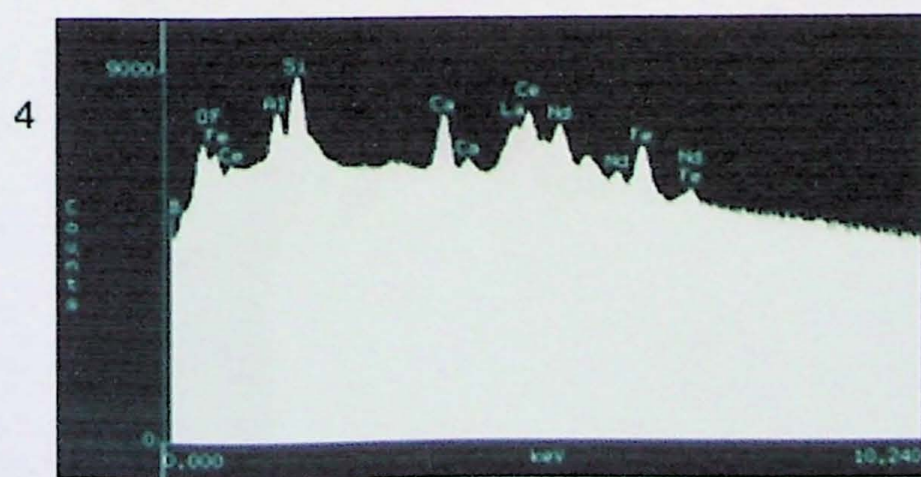
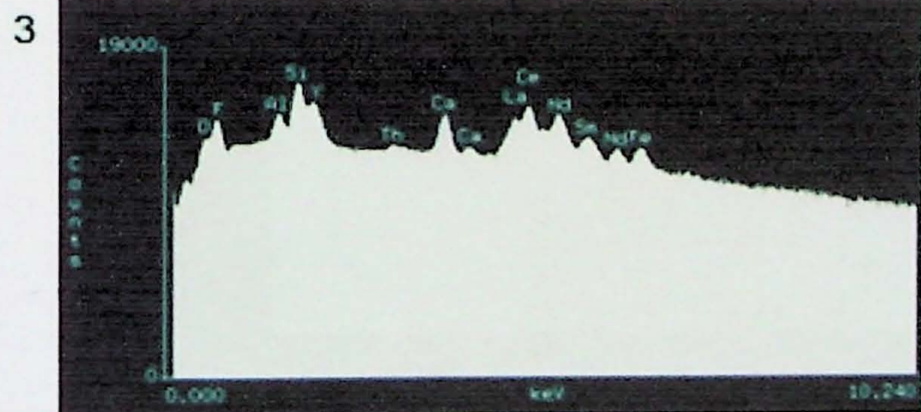
5- Inclusão de Columbita



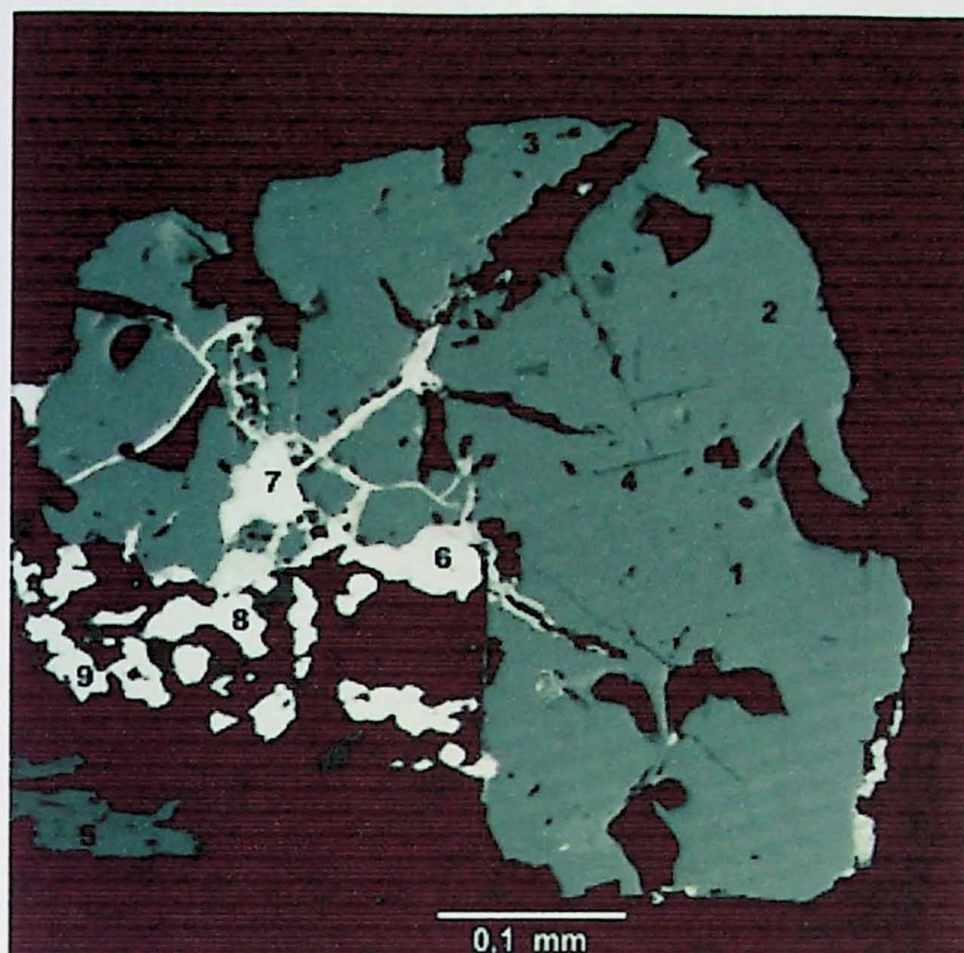
Prancha 6 - Allanita - amostra Gua 50B



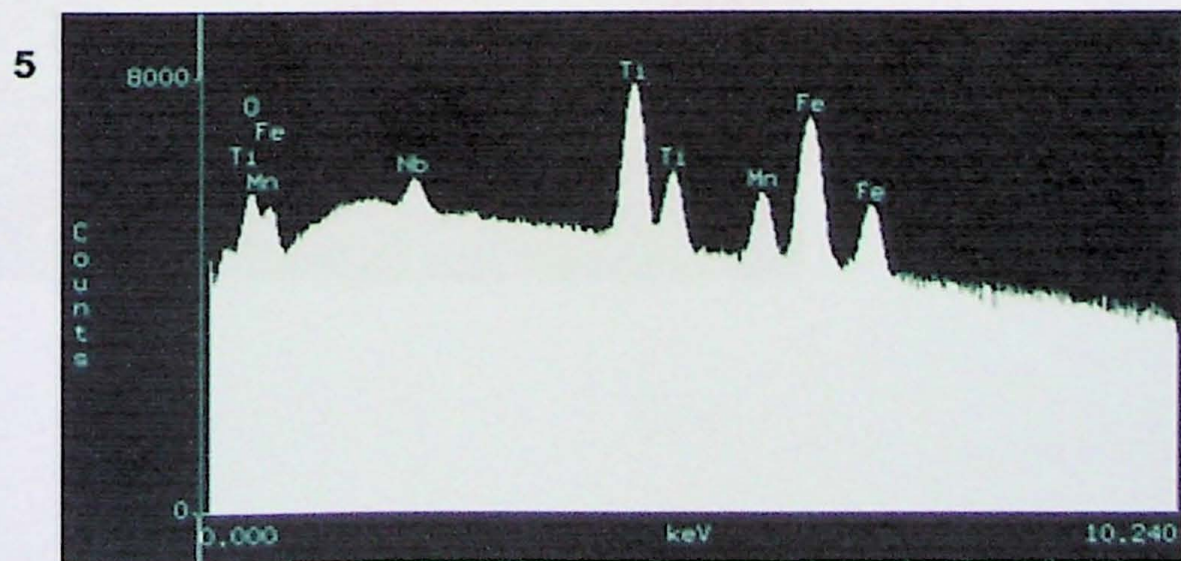
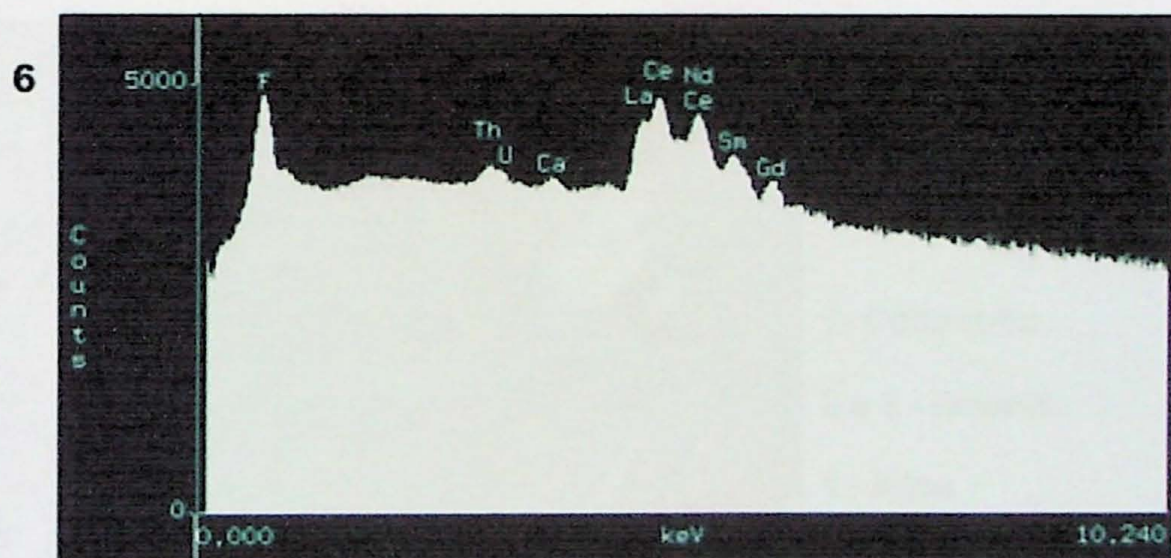
1 a 4 - Allanita



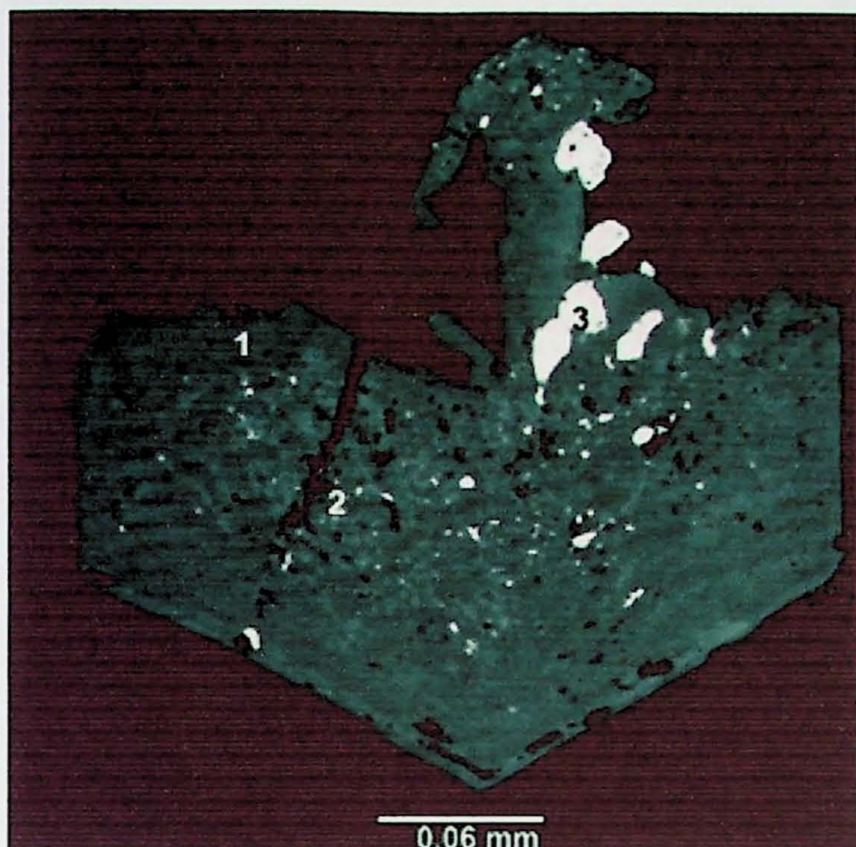
Prancha 7 - Magnetita com ilmenita e (ETR)F - Amostra Gua 9A



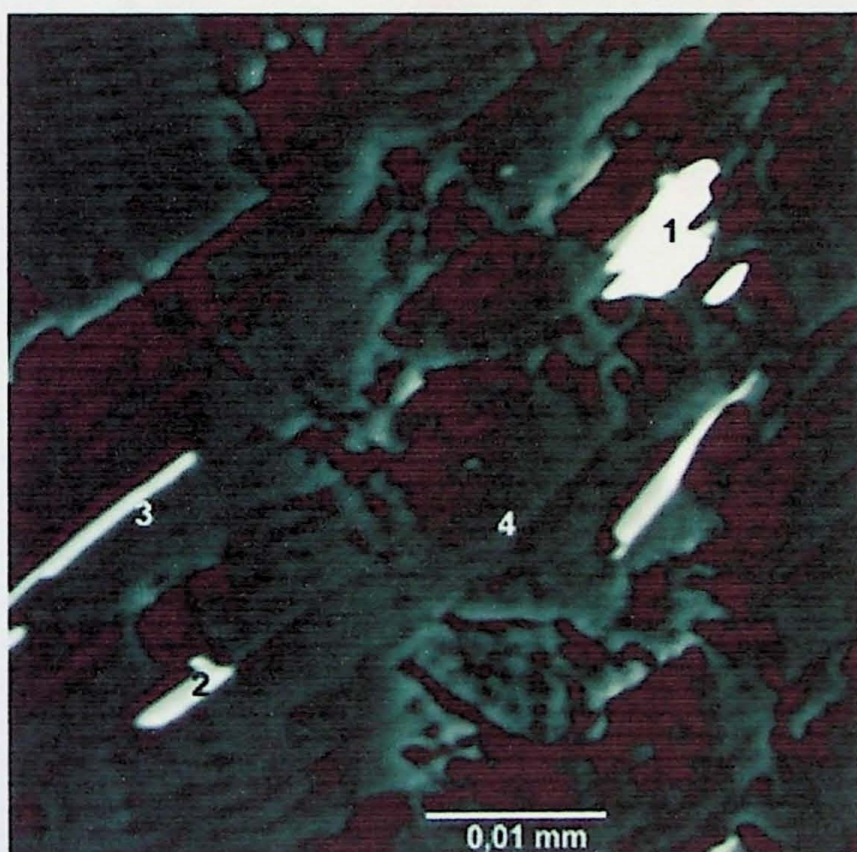
- 1 a 3 - Magnetita
- 4 - Exsolução ilmenita
- 5 - Ilmenita
- 6 a 9 - (ETR)F



Prancha 8 - Zircão e ilmenita e columbita inclusas em mica - Gua 8BE

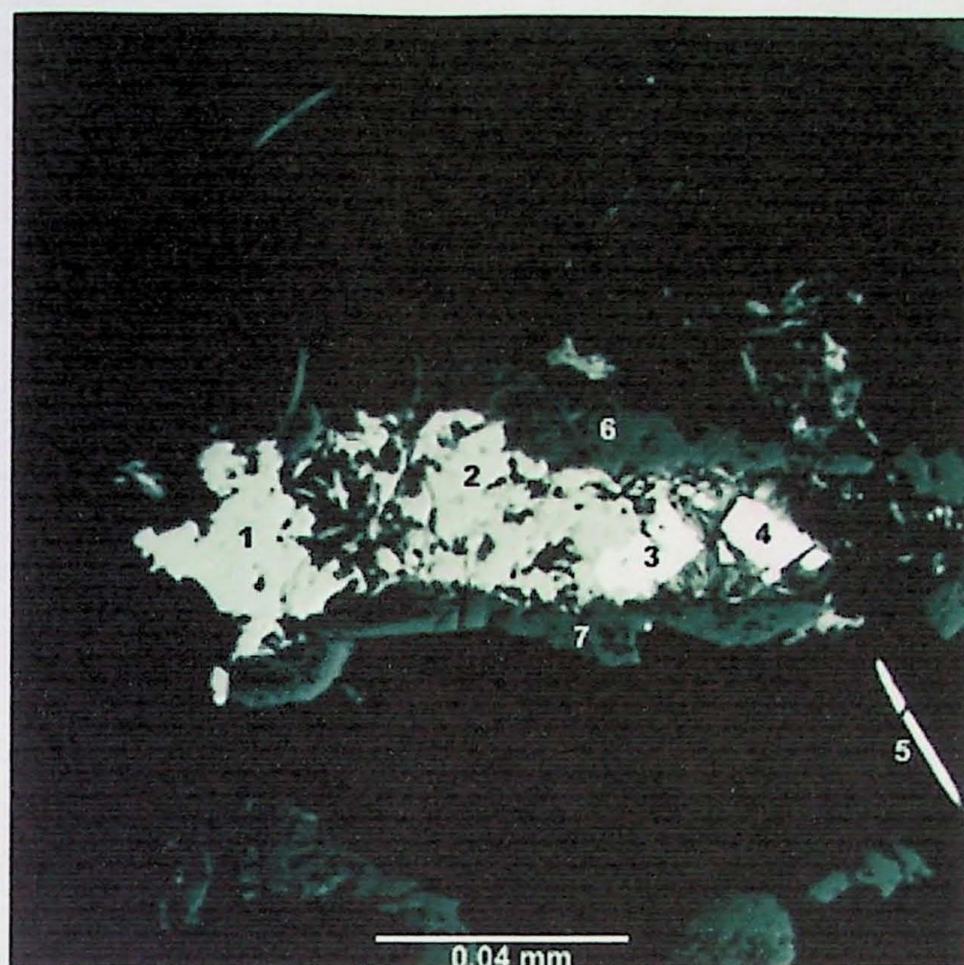


- 1- Zircão borda sem inclusões
- 2- Inclusão galena
- 3- Torita



- 1- Columbita
- 2 e 3 - Ilmenita
- 4 - Mica

Prancha 9 - Columbita e Galena - Amostra Gua 48D

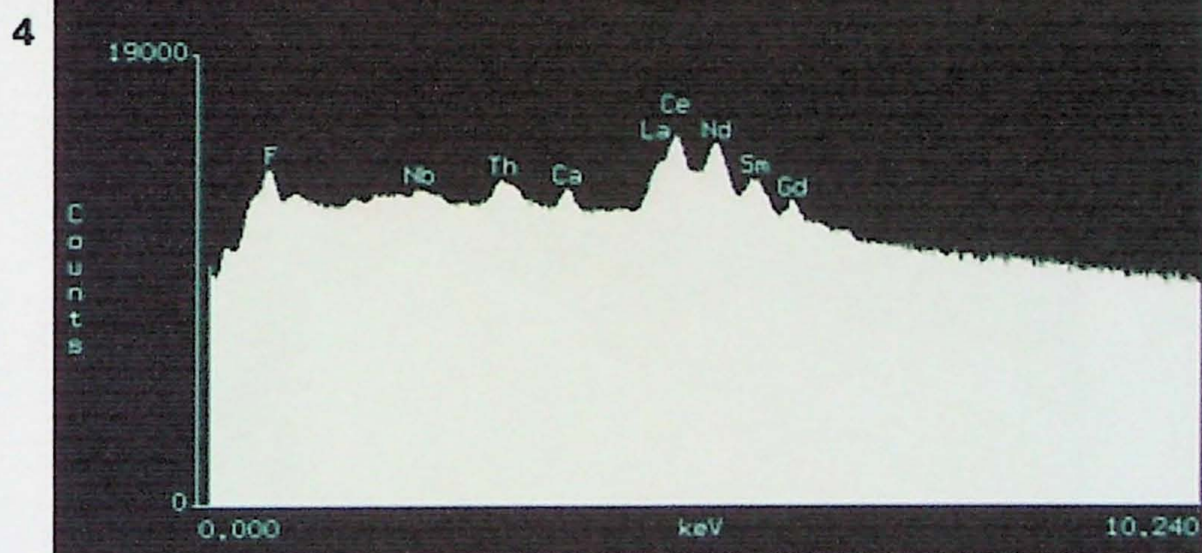


1 e 2 - Columbita

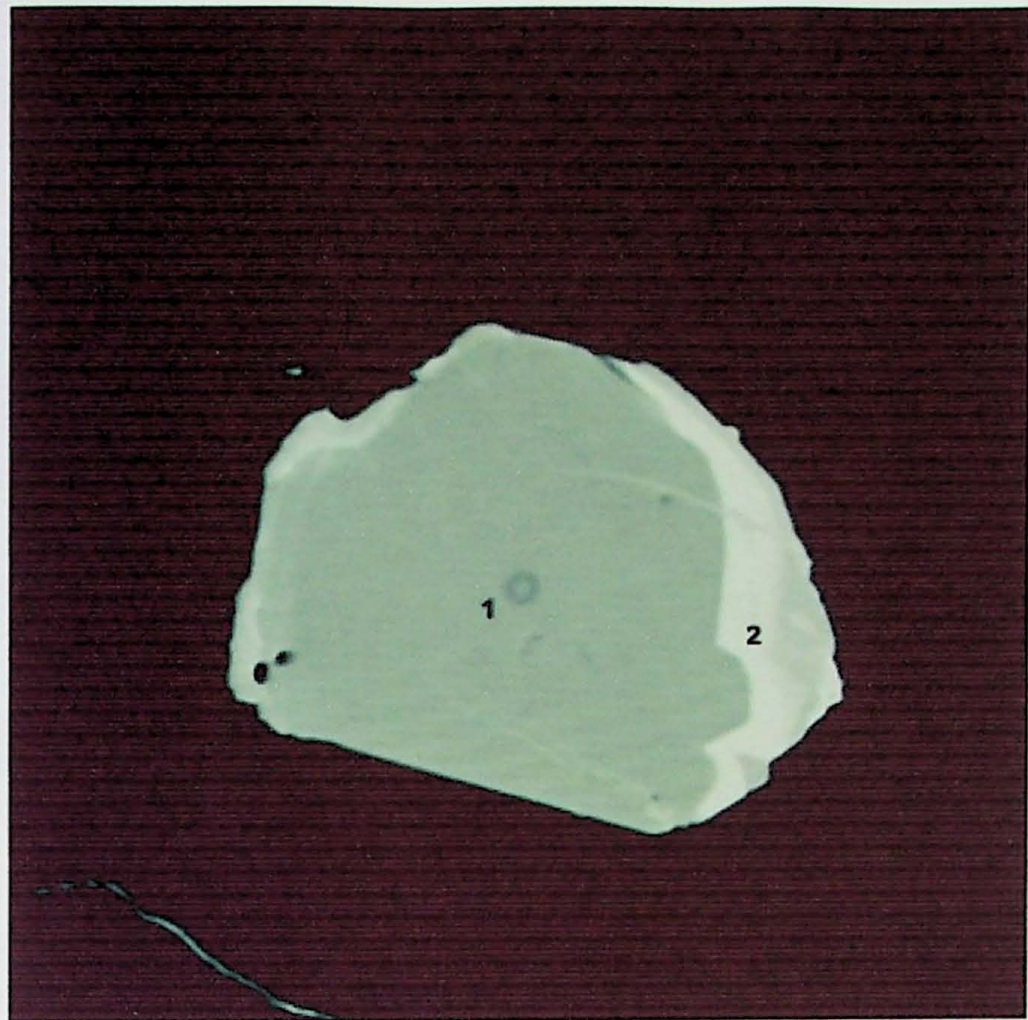
3 e 4 - Fluoreto de ETR

5 - Galena

6 e 7 - Ilmenita



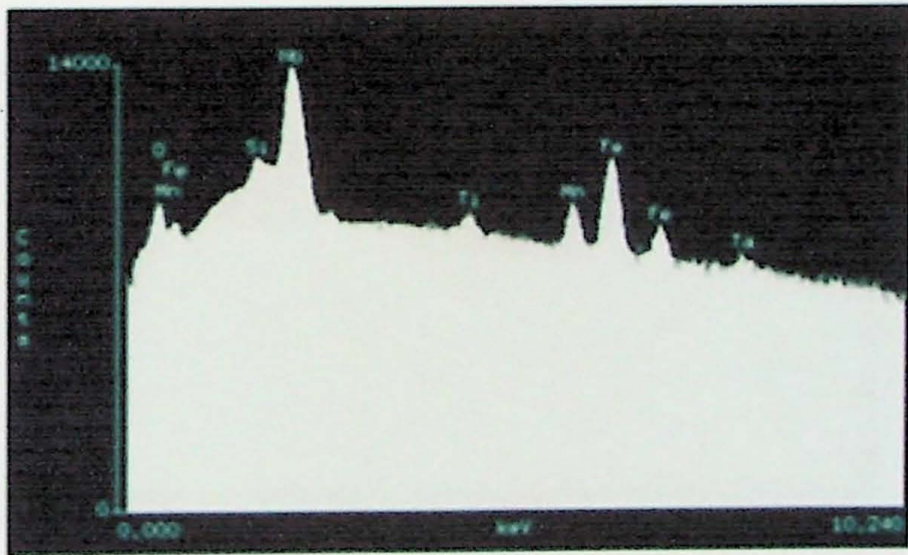
Prancha X - Columbita com borda de columbita-tantalita



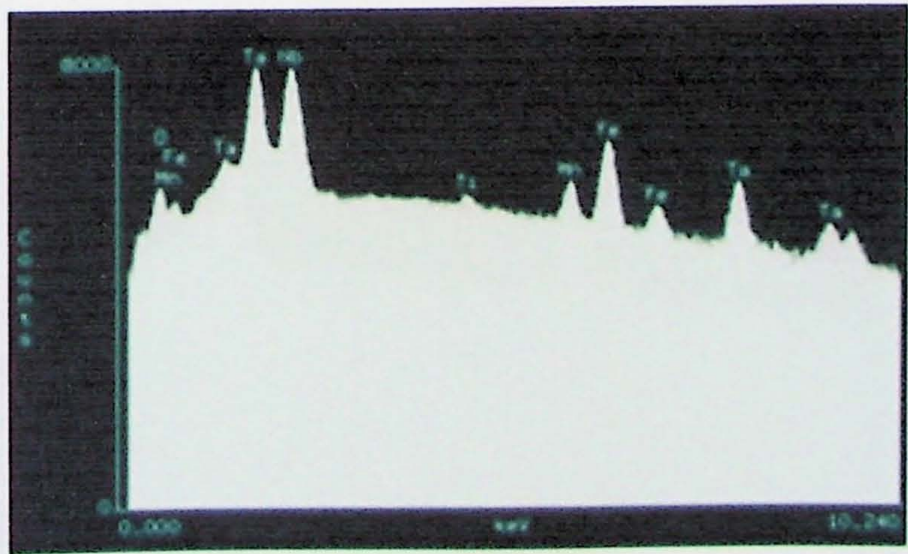
1- Columbita

2 - Columbita - Tantalita

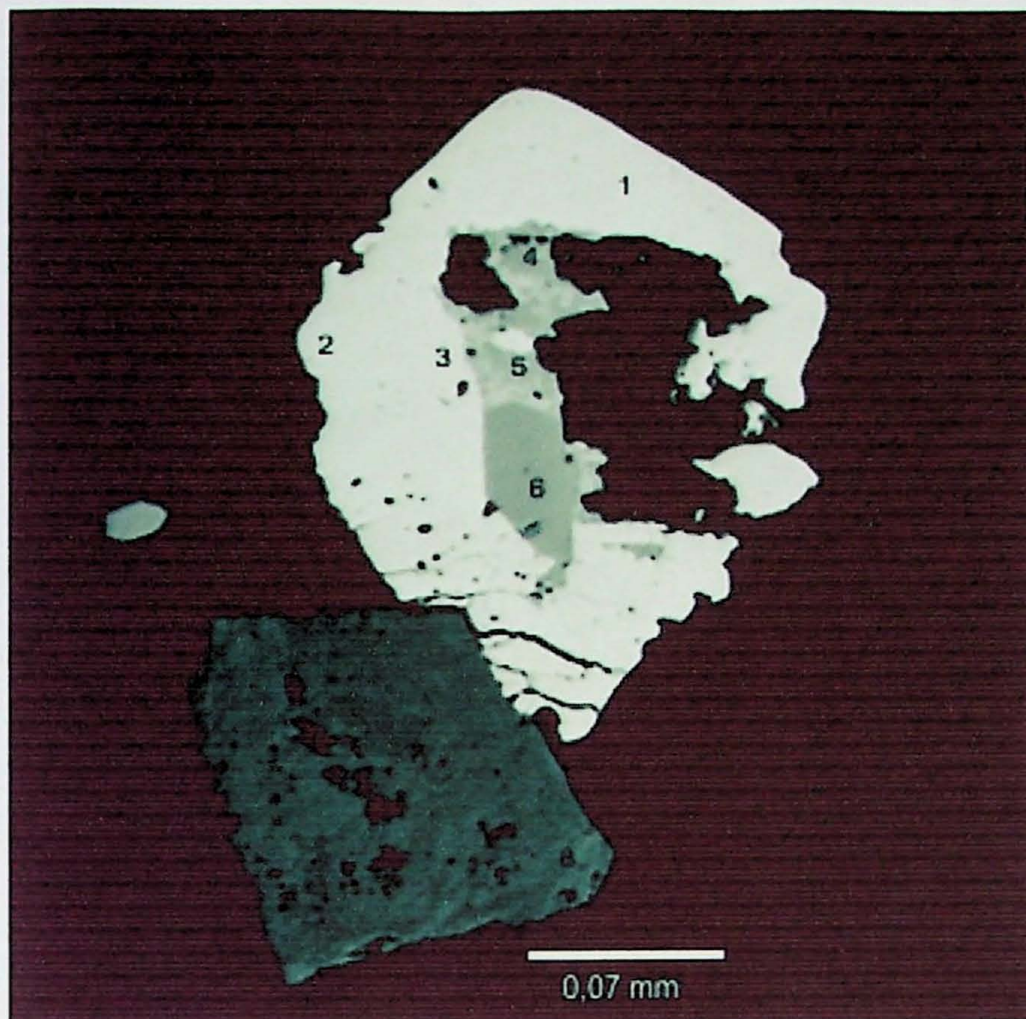
1



2



Prancha 11 - Cassiterita - Gua - 36



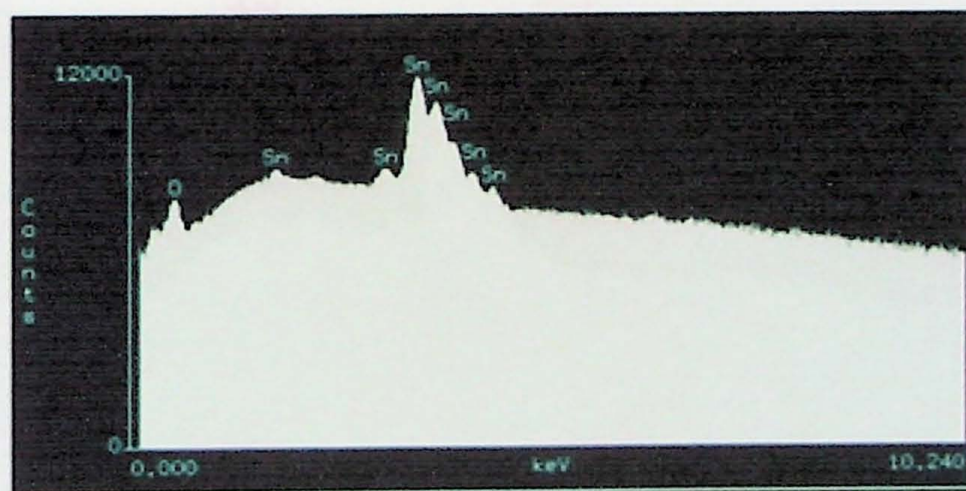
1, 2 e 3 - Cassiterita

4 - Intercrescimento
cassiterita e columbita

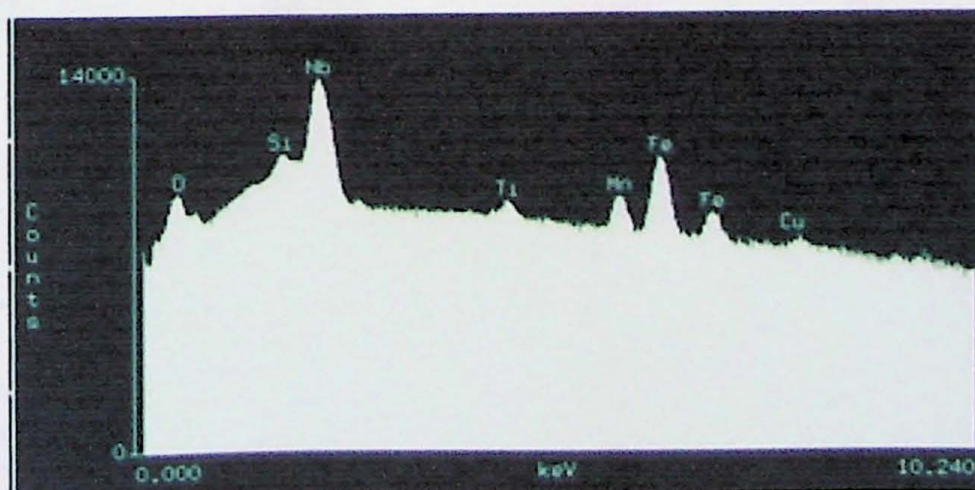
5 e 6 - Columbita

7 e 8 - Zircão

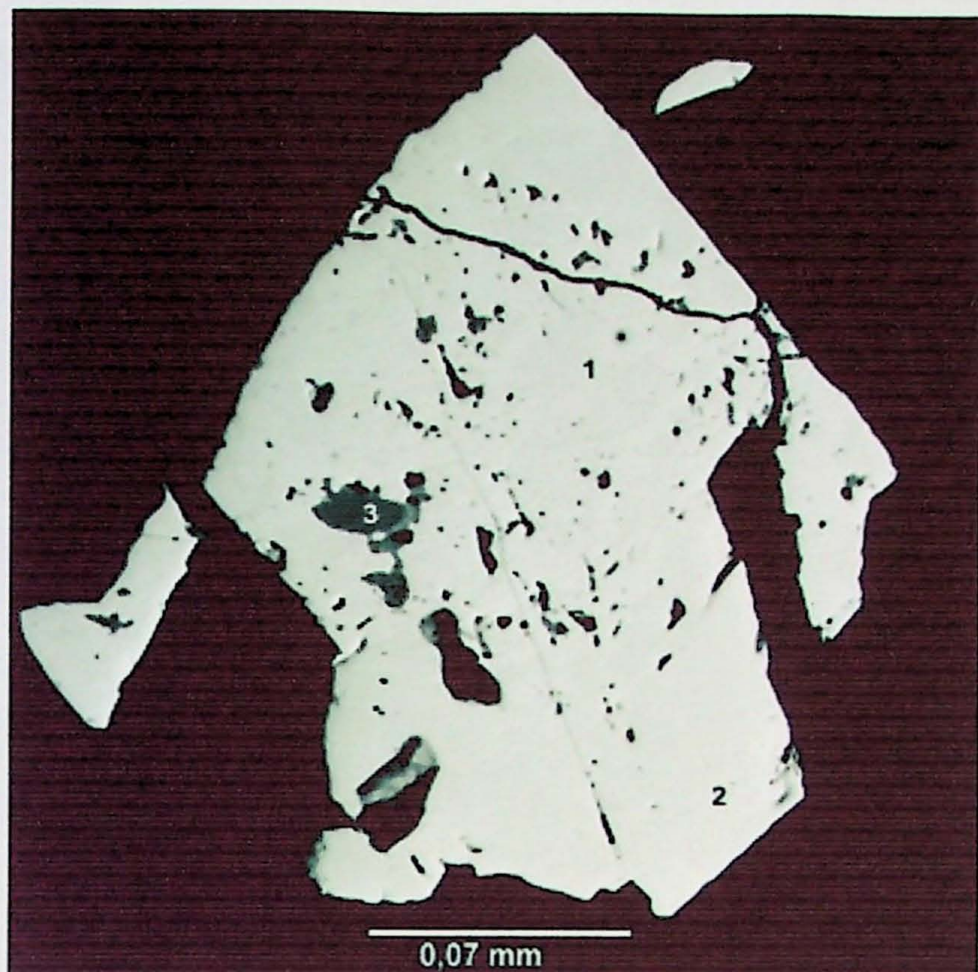
1



6



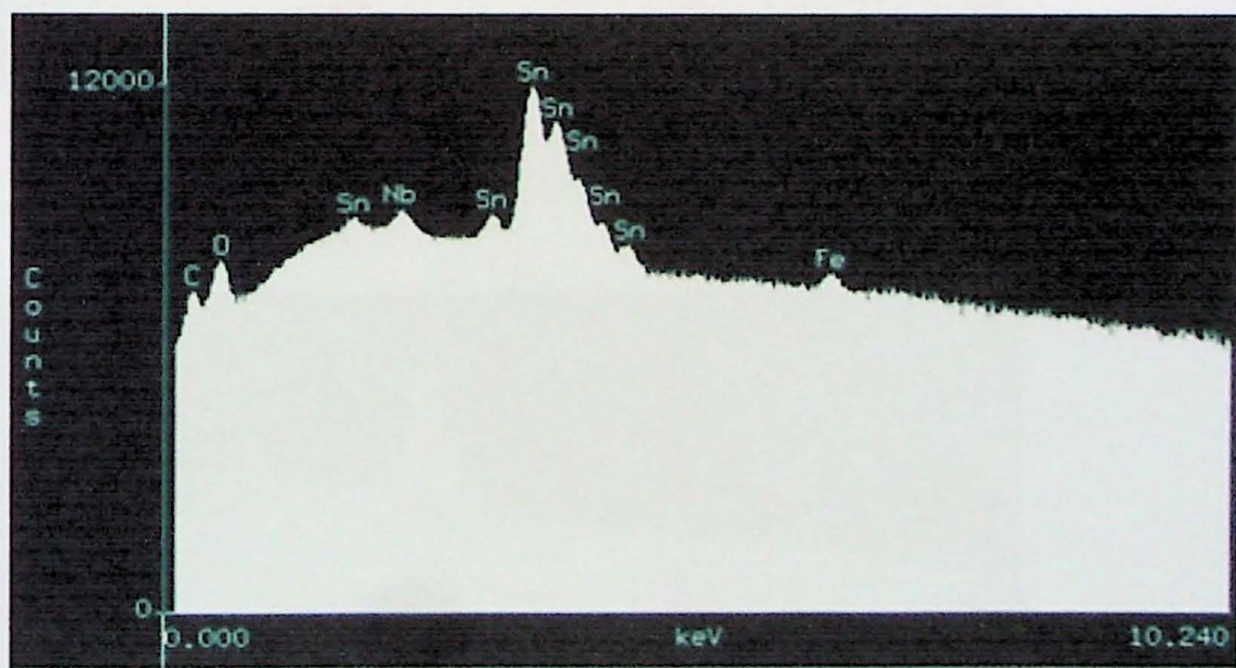
Prancha 12 - Cassiterita - Amostra Gua-39



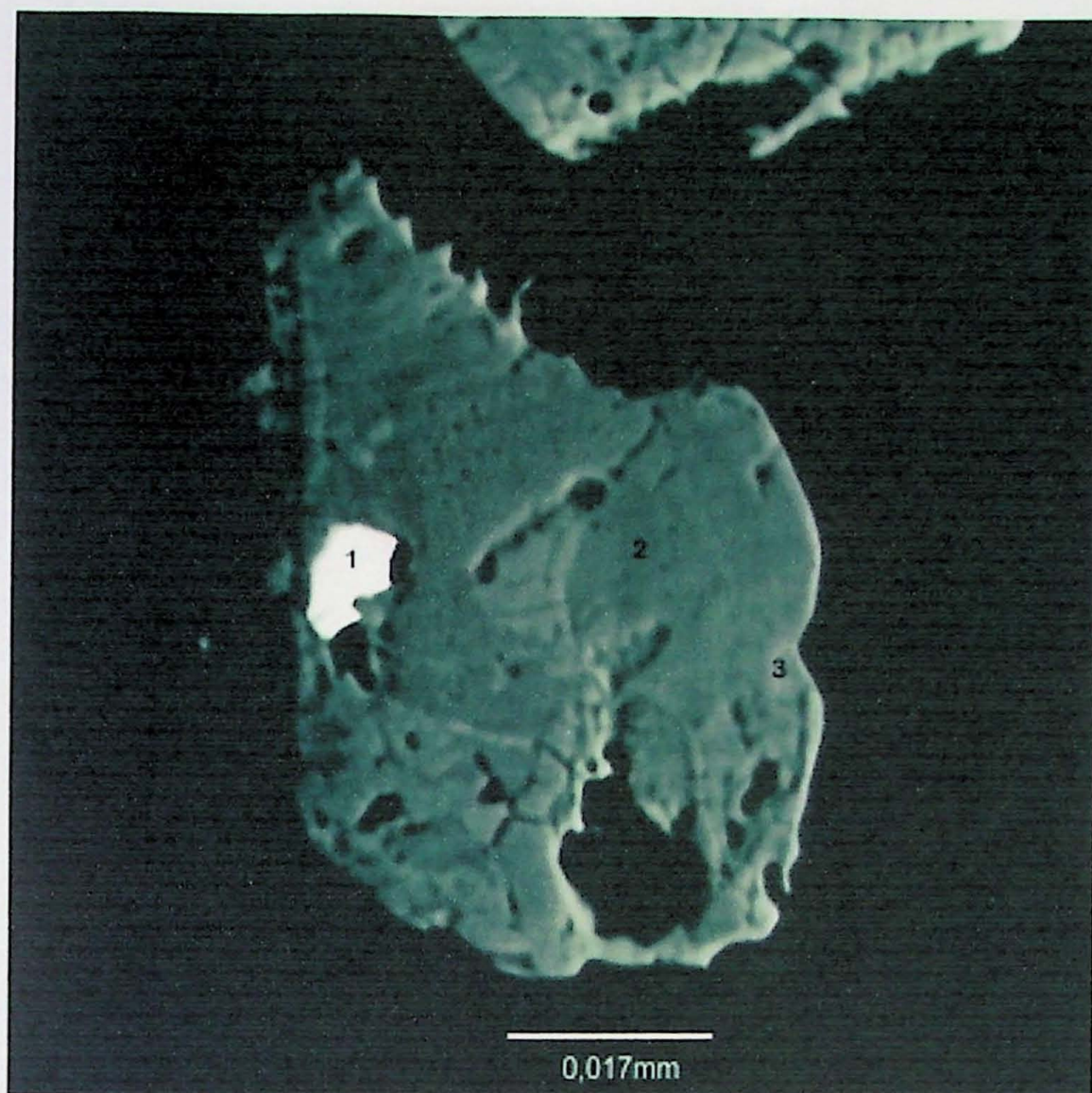
1 e 2 - Cassiterita

3 - Columbita

1



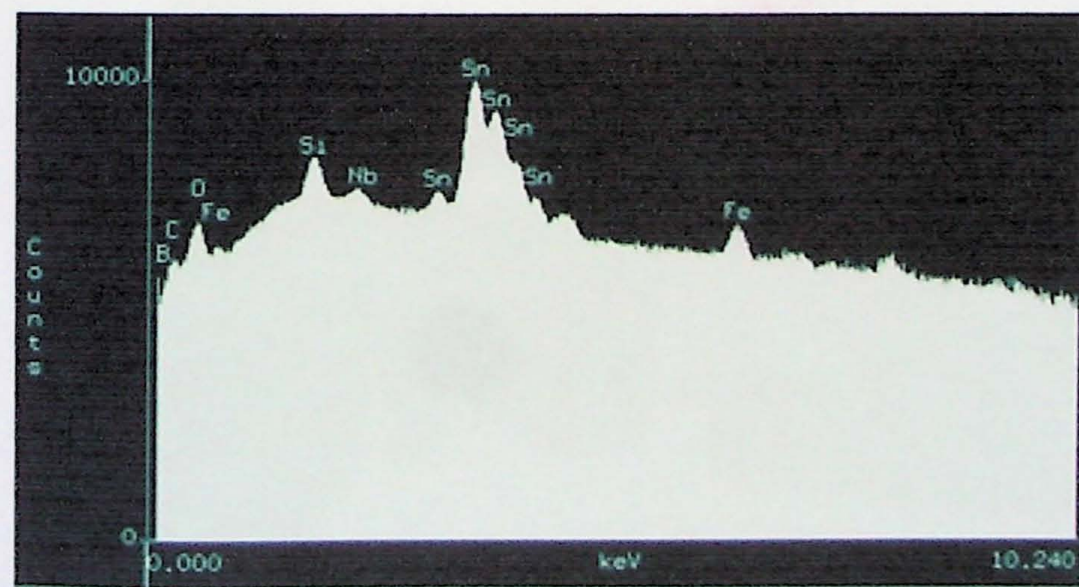
Prancha 13 - Inclusão cassiterita em zircão - Gua 38



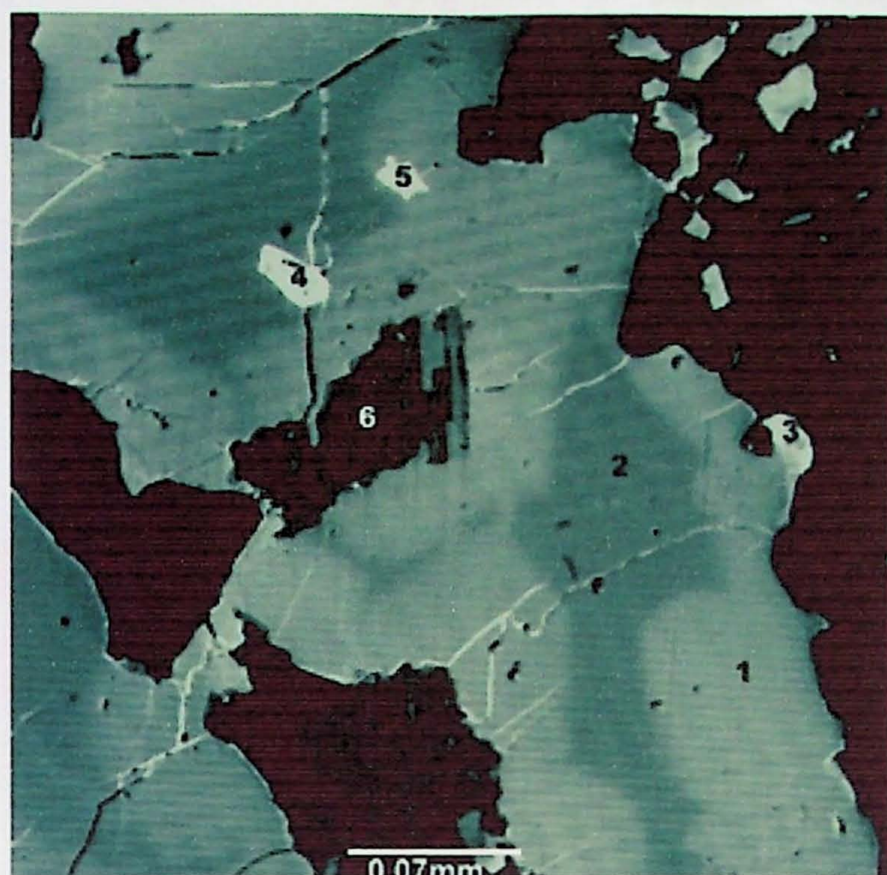
1- Cassiterita

2 e 3 - Zircão

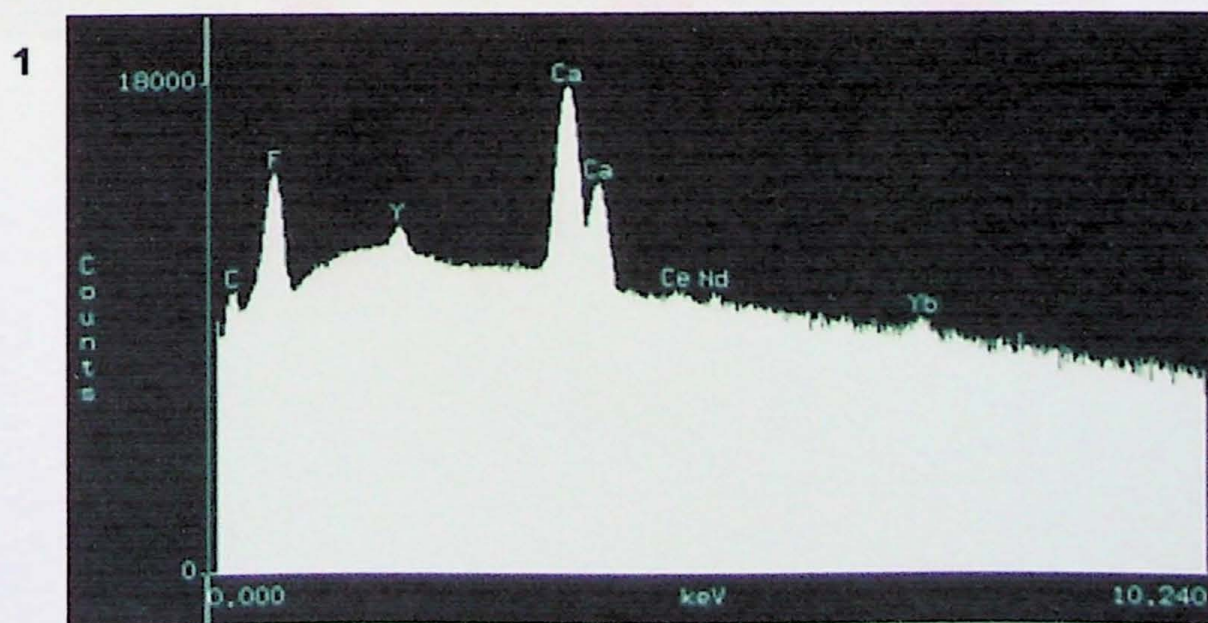
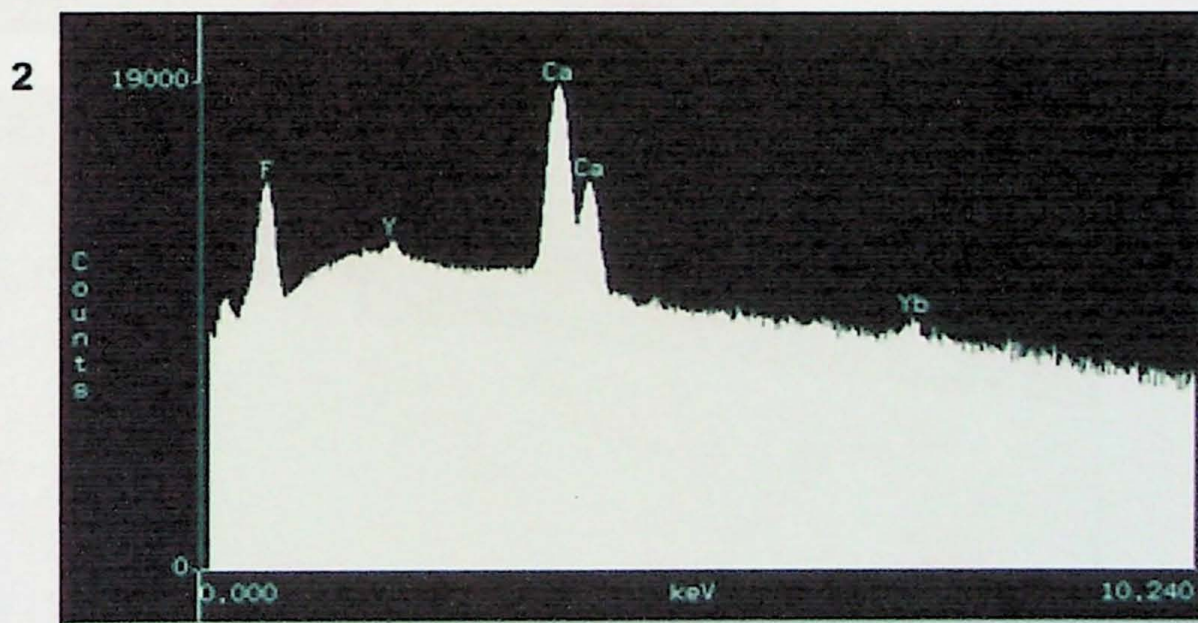
1



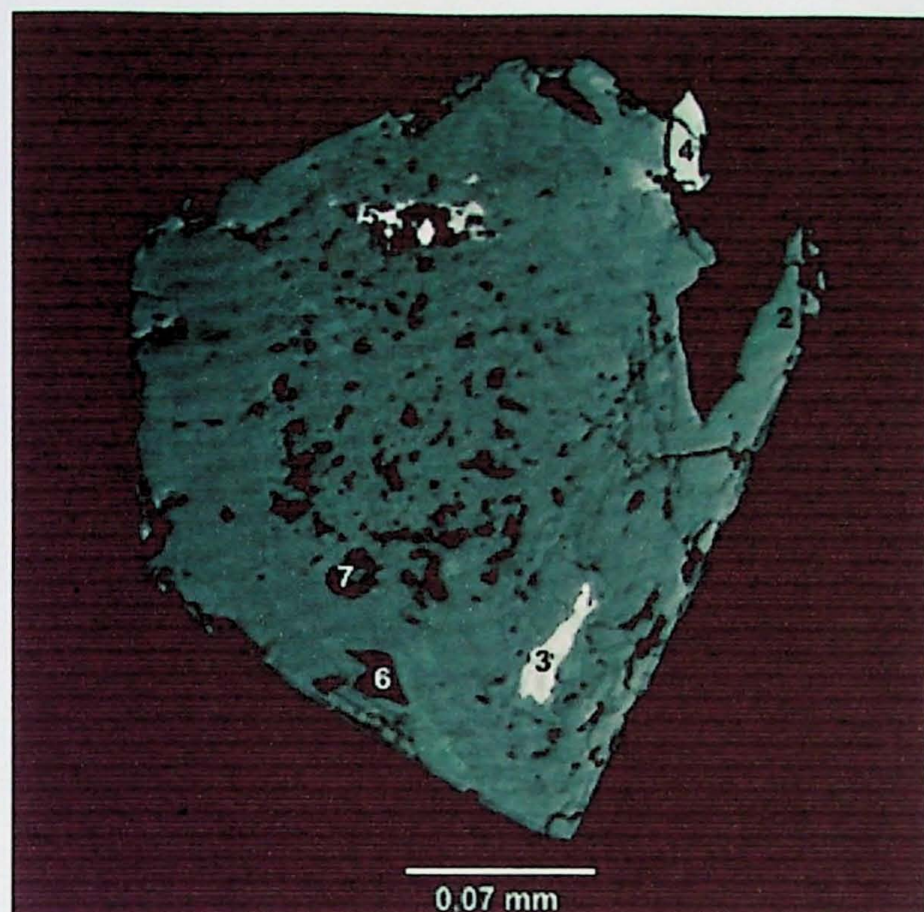
Prancha 14 - Fluorita zonada - Amostra Gua 9A



- 1- Fluorita
- 2- Fluorita rica em Y e ETR
- 3- Fluoreto de ETR
- 4 - Columbita com inclusão de galena
- 5- Columbita com inclusão de (ETR)F
- 6- Mica



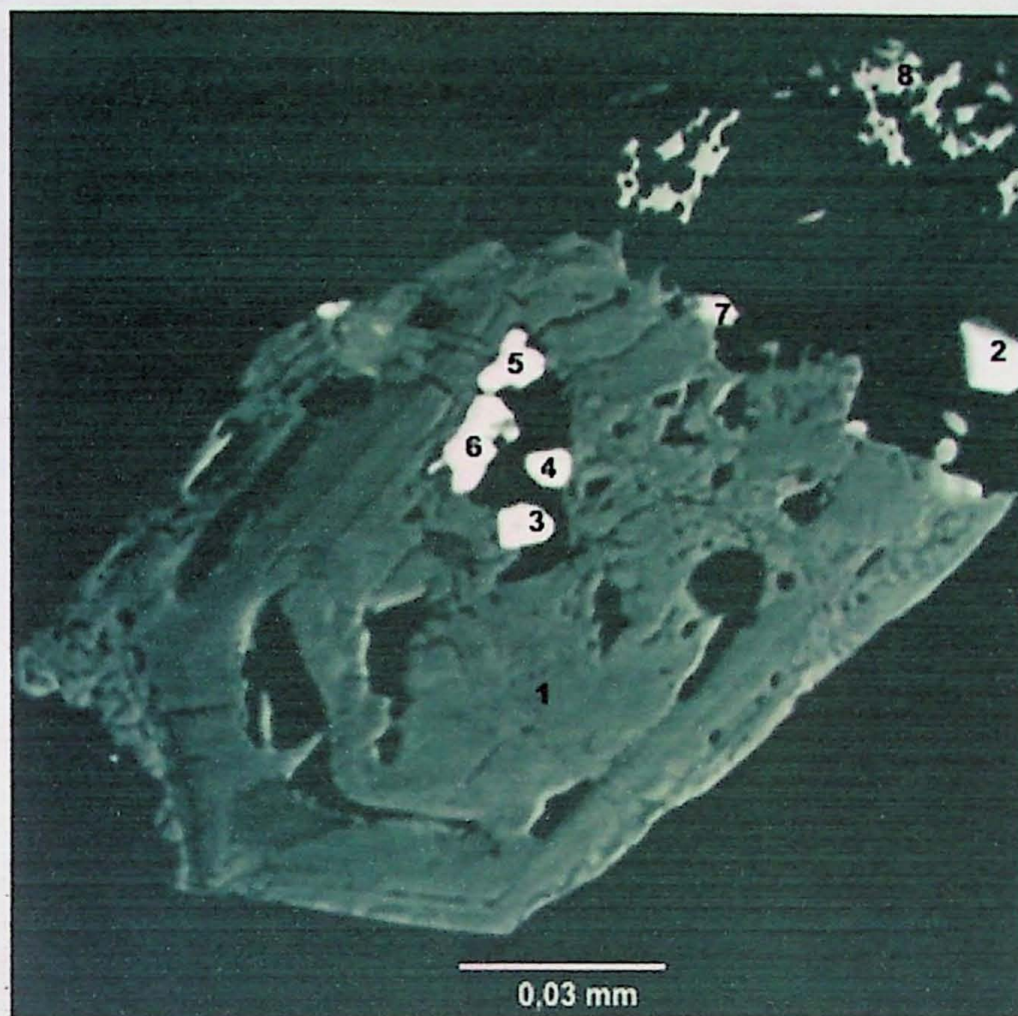
Prancha 15 - Zircão - Amostra Gua 39



- 1 - Zircão núcleo com inclusões
- 2 - Zircão borda límpida
- 3 e 4 - Columbita
- 5 - Fluoreto de ERT
- 6 e 7 - Óxido de Ferro

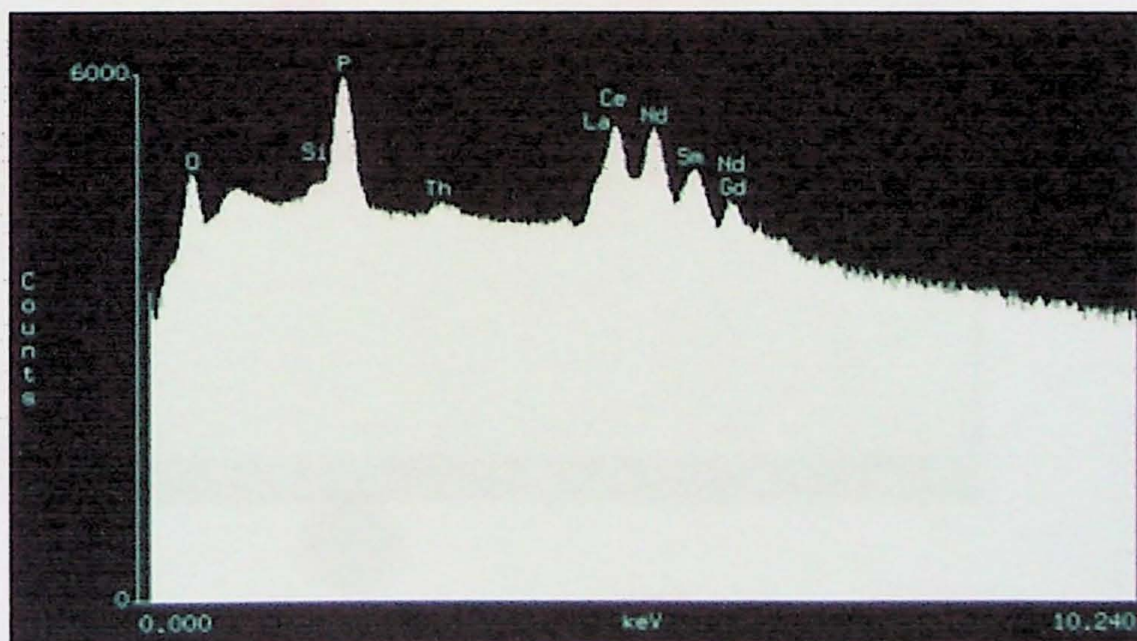


Prancha 16 - Zircão com inclusão de monazita - Amostra Gua 48D

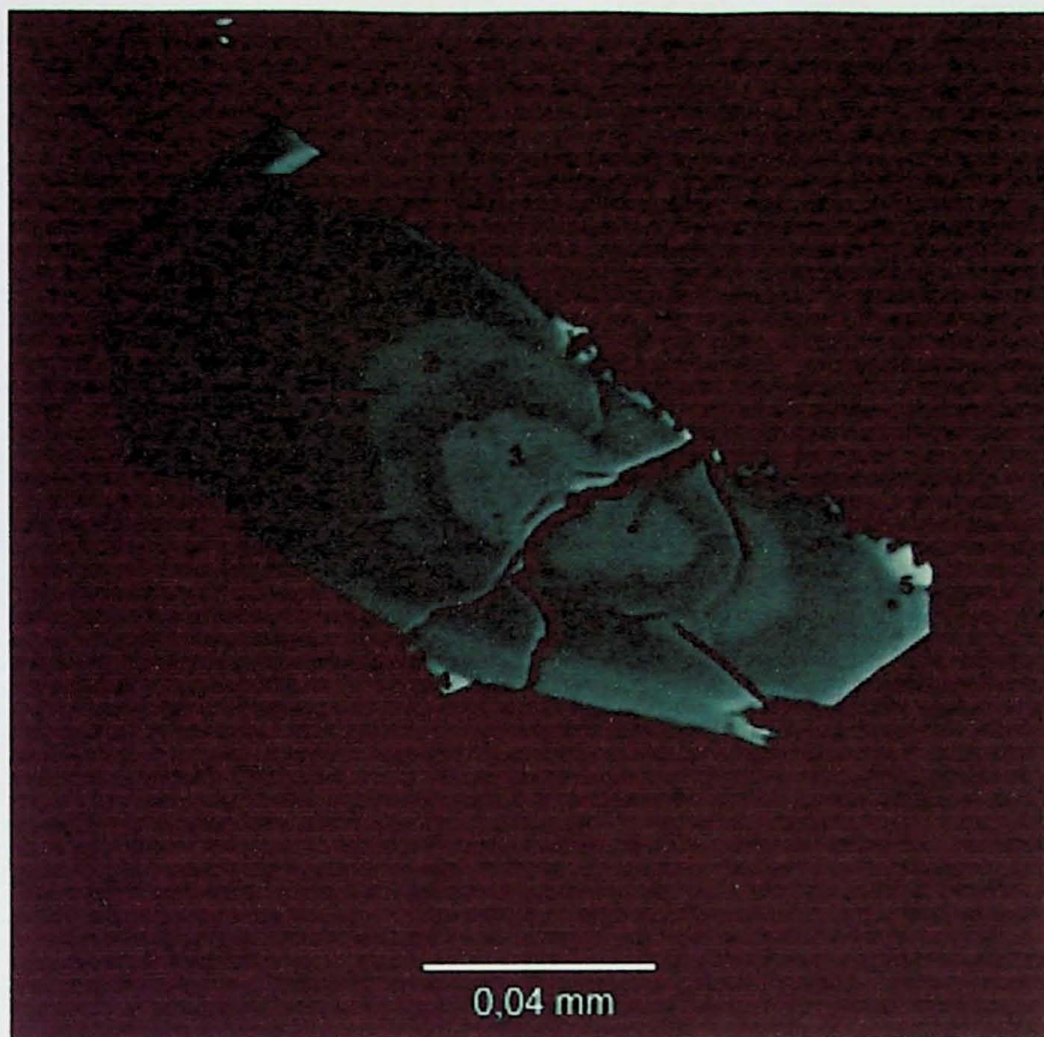


- 1-Zircão
- 2 a 5- Monazita
- 6 -Fluotero de ETR
- 7 - Torita
- 8- Columbita

3



Prancha 17 - Zircão com xenotima - Gua 50C



1, 2 e 3 - Zircão

4 e 5 - Xenotima

4



Anexo 8

Tabela 9. Análises químicas (FRX, elementos maiores e menores, % em peso), normas CIPW e parâmetros petroquímicos para amostras do Pluton Desembarque

Amostra	GUA-08A	GUA-08B	GUA-08C	GUA-16	GUA-17A	GUA-18A	GUA-02	GUA-50B	GUA-50C	GUA-01B	GUA-01C	GUA-21A	GUA-50A	GUA-53
Rocha	greisen	alb granito	bt granito	bt granito	bt granito	bt granito	bt granito	Gr pórfiro	bt granito pif	bt granito	bt granito	bt granito	bt granito	bt granito
SiO ₂	78.22	76.80	77.02	76.27	76.88	76.00	76.67	75.62	76.35	77.39	76.83	77.74	77.07	76.38
TiO ₂	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.13	0.08	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05
Al ₂ O ₃	10.13	12.64	12.59	12.22	12.29	12.01	12.12	12.17	12.26	12.23	12.17	11.61	12.20	12.26
Fe ₂ O ₃	5.27	2.12	1.62	1.09	1.10	1.05	0.99	1.40	1.25	0.73	0.94	1.01	1.05	0.98
MnO	0.13	0.06	0.05	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
MgO	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.02	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
CaO	0.47	0.53	0.47	0.46	0.44	0.43	0.46	0.53	0.45	0.41	0.45	0.37	0.45	0.46
Na ₂ O	0.26	3.78	3.95	4.11	4.13	4.05	4.21	3.58	3.91	4.04	4.11	4.04	4.02	4.09
K ₂ O	3.92	2.96	3.61	4.50	4.46	4.53	4.42	4.96	4.44	4.54	4.48	4.29	4.50	4.50
P ₂ O ₅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	< 0.003	0.00	0.00
PF	1.48	0.98	0.69	0.44	0.38	0.36	0.62	0.93	0.62	0.54	0.54	0.54	0.66	1.08
Total	99.94	99.93	100.06	99.18	99.76	98.51	99.57	99.39	99.40	99.95	99.59	99.68	100.03	99.83
ISA	1.833	1.217	1.118	0.980	0.989	0.973	0.966	0.996	1.017	0.994	0.979	0.971	0.992	0.986
IA	0.461	0.745	0.826	0.952	0.946	0.963	0.966	0.925	0.917	0.945	0.954	0.972	0.941	0.946
fe#(*)	0.999	0.997	0.997	0.995	0.995	0.995	0.994	0.984	0.996	0.992	0.994	0.995	0.995	0.994
Normas CIPW														
Q	nc	nc	38.61	33.90	34.51	34.00	34.17	34.25	35.21	35.41	34.61	36.87	35.17	34.12
C	nc	nc	1.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Or	nc	nc	21.33	26.59	26.36	26.77	26.12	29.31	26.24	26.83	26.48	25.35	26.59	26.59
Ab	nc	nc	33.42	34.78	34.95	34.27	35.62	30.29	33.09	34.19	34.78	34.19	34.02	34.61
An	nc	nc	2.31	1.60	1.82	1.21	1.12	2.49	2.19	1.83	1.53	0.87	1.95	1.80
Di	nc	nc	0.00	0.59	0.30	0.80	0.10	0.04	0.00	0.18	0.63	0.85	0.25	0.43
Hy	nc	nc	1.36	0.57	0.74	0.43	0.26	1.03	0.99	0.49	0.43	0.35	0.73	0.58
Mt	nc	nc	2.35	1.58	1.60	1.52	1.44	2.03	1.81	1.06	1.36	1.46	1.52	1.42
Il	nc	nc	0.11	0.11	0.09	0.10	0.10	0.25	0.15	0.10	0.10	0.11	0.10	0.10
Ap	nc	nc	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
An	nc	nc	6.45	4.41	4.96	3.41	3.04	7.59	6.22	5.07	4.20	2.49	5.43	4.95
ID	nc	nc	93.37	95.27	95.82	95.04	95.92	93.85	94.54	96.43	95.87	96.41	95.78	95.32

PF = perda ao fogo. ISA = $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ e IA = $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ (em moles); fe# = $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$, em óxidos (se $\text{MgO} < 0.01$, $\text{MgO} = 0.005$).
 Norma calculada com base em Hutchinsonson 1974 An = $100 \cdot \text{An}/(\text{An}+\text{Ab}+\text{Or})$; ID = $\text{qz}+\text{ab}+\text{or}$; nc = não calculado.

Tabela 10. Análises químicas (FRX, elementos em traço, ppm) e parâmetros petroquímicos para amostras do Pluton Desemboque. Tsat em °C, nc = não calculado.

Amostra	GUA-08A	GUA-08B	GUA-08C	GUA-16	GUA-17A	GUA-18A	GUA-02	GUA-50B	GUA-50C	GUA-01B	GUA-01C	GUA-21A	GUA-50A	GUA-53
Rocha	greisen	alb granito	bt granito	bt granito	bt granito	bt granito	bt granito	Gr pórfiro	bt granito prf	bt granito	bt granito	bt granito	bt granito	bt granito
Ba	46.3	<37	<37	<37	<37	<37	<37	127.0	47.1	<37	<37	<37	<37	<37
Ce	44.8	44.4	54.9	46.6	<35	<35	<35	82.7	75.1	<35	<35	72.3	48.3	40.7
Co	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6
Cr	<13	<13	<13	36.5	<13	<13	<13	68.5	<13	<13	<13	<13	<13	43.0
Cu	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ga	35.7	31.6	30.8	28.7	29.5	28.1	29.1	19.1	25.0	27.2	26.9	25.6	26.2	25.7
La	<28	31.8	<28	<28	<28	<28	<28	54.6	52.6	<28	<28	92.7	<28	40.1
Nb	65.6	61.3	63.8	59.6	57.4	65.9	62.0	28.5	38.8	62.0	67.6	52.0	62.0	61.2
Nd	13.8	<14	<14	21.0	<14	<14	<14	17.6	29.6	<14	<14	32.0	17.8	19.0
Ni	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Pb	10.9	17.5	20.0	27.0	26.9	27.5	24.4	15.7	29.7	19.8	19.9	48.5	23.4	23.6
Rb	865.3	469.1	421.6	429.4	399.7	432.3	410.0	291.3	448.1	415.5	390.8	322.2	397.8	415.6
Sc	<14	<14	<14	<14	<14	<14	<14	<14	<14	<14	<14	<14	<14	<14
Sr	3.9	8.0	5.3	1.9	<2	<2	2.5	19.0	7.0	<2	<2	4.2	3.2	5.6
Th	35.5	32.0	29.7	30.4	27.9	29.8	25.0	22.7	20.5	22.5	24.0	14.3	22.8	23.8
U	9.4	7.7	8.1	7.7	6.9	6.3	5.0	4.6	4.8	3.8	3.4	3.2	4.2	4.2
V	<9	<9	<9	9.7	<9	<9	<9	<9	<9	<9	13.0	11.0	<9	9.0
Y	145.3	160.8	148.7	161.3	118.9	140.5	121.3	81.9	187.7	107.3	130.2	258.9	218.9	179.5
Zn	135.1	62.3	49.8	45.6	32.7	38.0	30.5	26.0	58.1	25.6	23.9	58.5	46.5	40.5
Zr	153.3	142.8	148.2	140.6	138.4	125.2	149.3	158.3	92.9	140.0	153.6	194.2	143.1	139.6
F	8999.5	6423.5	5920.3	3804.9	2784.0	3522.6	2852.1	3185.9	4624.4	3451.6	3399.6	4842.3	3844.5	5328.5
Cl	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
S	<550	<550	<550	<550	<550	<550	<550	<550	<550	<550	<550	<550	<550	<550
Tsat(Zr)	nc	nc	795	777	777	766	781	789	746	779	785	806	780	777
Rb/Sr	221.87	58.64	79.55	226.00	nc	nc	164.00	15.33	64.01	nc	nc	76.71	124.31	74.21
Ba/Sr	11.87	nc	nc	nc	nc	nc	nc	6.68	6.73	nc	nc	nc	nc	nc
Y/Ce	3.24	3.62	2.71	3.46	nc	nc	nc	0.99	2.50	nc	nc	3.58	4.53	4.41
Nb/Ce	1.46	1.38	1.16	1.28	nc	nc	nc	0.34	0.52	nc	nc	0.72	1.28	1.50
Th/U	3.78	4.16	3.67	3.95	4.04	4.73	5.00	4.93	4.27	5.92	7.06	4.47	5.43	5.67

DOAÇÃO
<i>IGC-USP</i>
Data: <i>02/02/12</i>

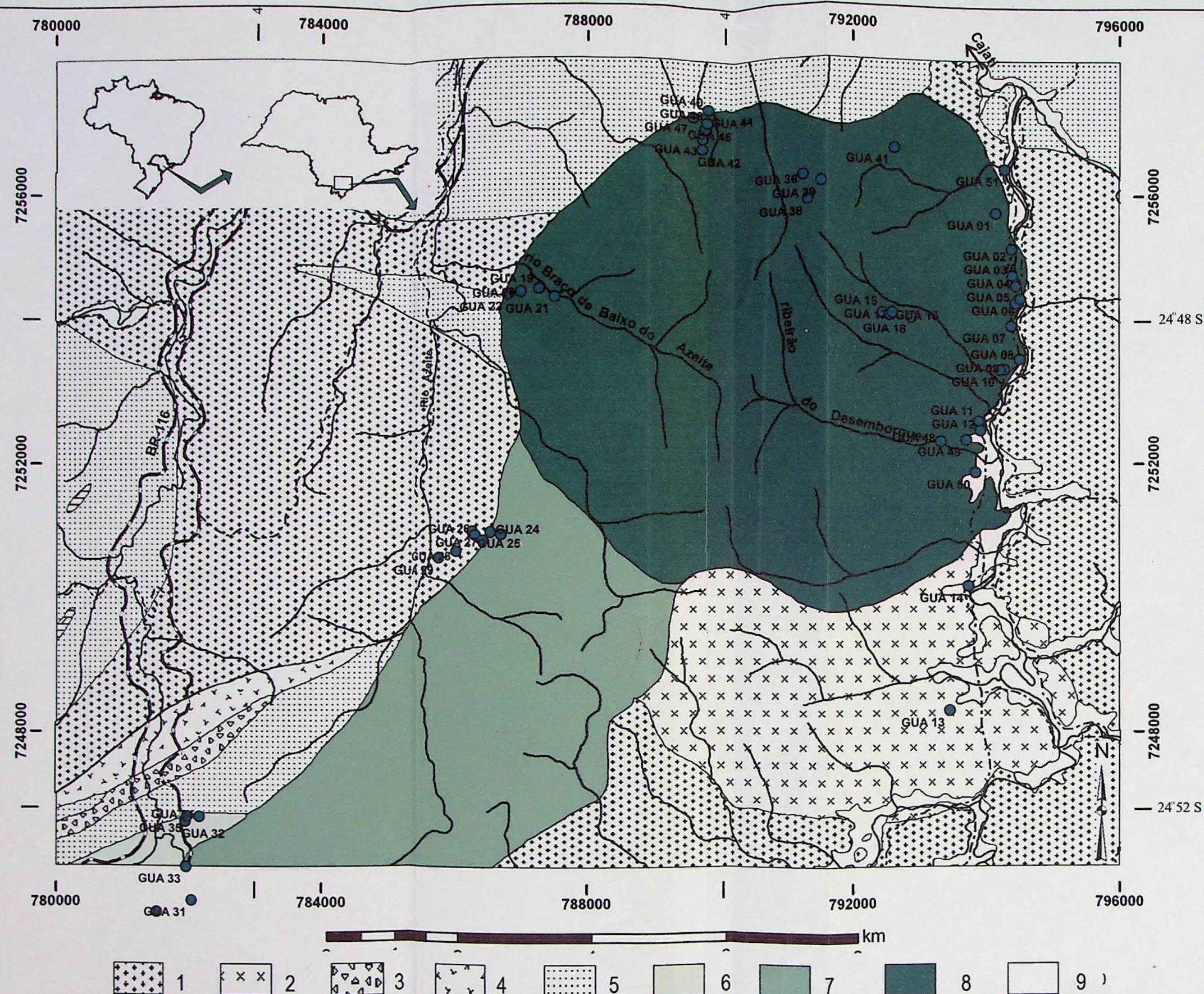


Figura 2. Mapa geológico simplificado da porção Nordeste do Maciço Guaraú, destacando a Unidade Desembarque. Notar a forma bem circular desta unidade.. 1 = hornblenda biotita gnaisses tonalíticos a graníticos; 2 = biotita gnaisses de composição granítica; 3 = migmatito ocelar; 4 = gnaisses e migmatitos paraderivados com calciossilicáticas e dolomitos; 5 = biotita-quartzo xisto, cinza escuro e biotita gnaiss, contendo tremolititos e diopsiditos (Seqüência Turvo-Cajati); 6 = biotita monzogranito; 7 = biotita álcaligranito róseo (Unidade Azeite); 8 = biotita sienogranito cinza (Plúton Desembarque); 9 = depósitos sedimentares aluviais. Fonte: Pereira et al 2007 adaptado de Vasconcellos et al 1999.

