

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

RELAÇÕES DE CONTATO ENTRE ROCHAS ALCALINAS MÁFICAS E
SIENÍTICAS NA PRAIA DO JABAQUARA, SETOR N DA ILHA DE SÃO
SEBASTIÃO, SP

Marco Timich

Orientador: Prof. Dr. Rogério Guitarrari Azzone

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-16/36)

SÃO PAULO
2016

RELAÇÕES DE CONTATO ENTRE ROCHAS ALCALINAS MÁFICAS E
SIENÍTICAS NA PRAIA DO JABAQUARA, SETOR N DA ILHA DE SÃO
SEBASTIÃO, SP

Marco Timich



Orientador: Prof. Dr. Rogério Guitarrari Azzone

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-16/36)

IGc-Instituto de Geociências



Relações de contato entre rochas alcalinas máficas e
sieníticas na praia do Jabaquara, setor N d

M27112

SÃO PAULO

2016

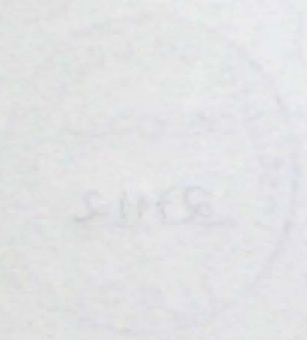
TF
T583
M. n

INSTITUTO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO
DE MATERIAIS E COMPONENTES

RELATÓRIO DE CONTATO COM O PÚBLICO ALVO
DURANTE A PRIMA SEMANA DE ABRIL DE 2012

DESENVOLVIDO POR

DESENVOLVIDO POR

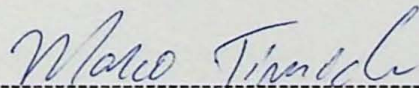


Coordenador: Prof. Dr. Roberto Gonçalves

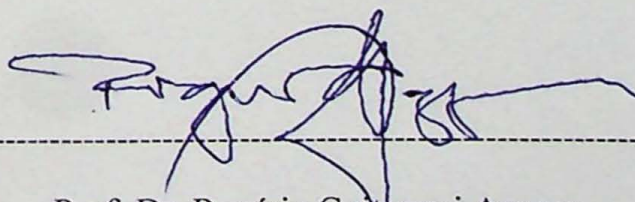
INSTITUTO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO
(IN-PEDE)

SAO PAULO
2012

São Paulo, 04 de novembro de 2016

Handwritten signature of Marco Timich in blue ink, written over a dashed horizontal line.

Marco Timich

Handwritten signature of Prof. Dr. Rogério Guittarrari Azzone in blue ink, written over a dashed horizontal line.

Prof. Dr. Rogério Guittarrari Azzone

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com a ajuda de muitas pessoas inspiradoras para ser realizado. Agradeço principalmente ao professor Rogério por ter abraçado o projeto e me orientado de forma exemplar o que me fez crescer em aspectos pessoais e profissionais da minha vida.

Ao Pedro, Emanuel, Gaston e Saulo que entre marretadas, fotografias e caiaques me ajudaram muito nos trabalhos de campo. Sem falar nos amigos que ao longo do ano contribuiriam com dicas e julgamentos sinceros do meu trabalho.

A todos os professores pelo conhecimento que me foi passado durante todos os anos de graduação, funcionários do IGc, pelo suporte, ao CNPq pela concessão de bolsa de iniciação científica, ao projeto temático FAPESP 2012/06082-6 pelo apoio financeiro e NAP Geoanalítica-USP no auxílio às análises.

À minha família que nunca falhou em me dar todo suporte necessário durante estes 25 anos de vida. Dedico o trabalho à minha Avó, Helene Legge, que por muitos anos foi uma segunda mãe.

RESUMO

O foco do trabalho foi o estudo geológico, petrográfico e geoquímico de detalhe das rochas magmáticas de tendência alcalina de um conjunto de afloramentos no costão rochoso a NE na Praia do Jabaquara, no setor norte da Ilha de São Sebastião, litoral norte do estado de São Paulo, mais especificamente, na borda do stock sienítico de Serraria e próximo ao corpo gábrico estratificado de Canas. Neste sentido foram realizados trabalhos de campo, croquis esquemáticos, análises petrográficas e geoquímicas de rocha-total por fluorescência de raios X e ICP-MS. Os afloramentos apresentam variedade sienítica hololeucocrática hospedando mega-, macro- e microxenólitos de diferentes litotipos, formando agmatitos. Cinco unidades principais são descritas: álcali feldspato sienitos, melassienitos, kaersutita metadiabásios, melagabros e clinopiroxenitos cumuláticos, e metagabros. Geoquimicamente, o magmatismo bimodal encontrado na ilha é bem representado pelas rochas dos afloramentos estudados. Os melassienitos apresentam características petrográficas sugestivas de interação entre magmas máficos e félsicos e possuem comportamento intermediário entre estes extremos, sendo considerada uma variedade híbrida. A sequência de eventos magmáticos interpretada a partir destes afloramentos, em ordem de ocorrência, seria: (1) colocação e cristalização de pulsos de magmas básicos de tendência alcalina, em ambiente de câmara, gerando as variedades gábricas cumuláticas encontradas, principalmente melagabros e clinopiroxenitos, e mesmo brechas de matriz gábrica, classificadas como metagabros; (2) intrusão de novos pulsos de magma básico alcalino, cristalizando-se como possíveis diques de granulação fina a média, e representados pelos fragmentos de kaersutita metadiabásios; (3) intrusão de pulso sienítico na câmara máfica que fragmentou o gabro já parcialmente (mush) ou totalmente cristalizado, carregando ampla proporção de xenocristais, microxenólitos e de alguns xenólitos maiores, gerando rochas classificadas como melassienitos; (4) nova intrusão de pulso sienítico, posterior à cristalização do melassienito, que fragmenta todo o sistema formando um agmatito com megaxenólitos e microxenólitos de gabro cumuláticos, kaersutita metadiabásio, agmatitos de matriz gábrica (metagabros) e melassienito; (5) veios e diques de pegmatito e aplito de sienitos com quartzo cortam todos os litotipos. Todos os tipos amostrados como xenólitos apresentam algum grau de recristalização e de reação/difusão química com o magma sienítico final que os hospeda.

ABSTRACT

This study focuses on a detailed geological, petrographic and geochemical investigation of alkaline magmatic rocks, from an outcrop at the Jabaquara beach, at the northern sector of the São Sebastião island, in São Paulo state north shore, more precisely at the syenitic Serraria stock next to the Canas gabbroic stock. In this sense, field work, schematic sketches, petrographic analysis and geochemical whole-rock X-ray fluorescence and ICP-MS analysis were made. The outcrops show a hololeucocratic syenitic host rock containing mega-, macro- and microxenoliths of various other lithotypes, forming an agmatite. Five main rock units were identified and described: alkali feldspar syenite, melasyenite, kaersutite metadiabase, melagabbro/clinopiroxenite cumulates, and metagabbros. Geochemically, the bimodal magmatism shown on this island is well represented by the rocks studied at these outcrops. The melasyenite presents petrographic characteristics that suggest an interaction between felsic and mafic magmas; they show an intermediate behavior between those two extremes, therefore being interpreted as a hybrid rock. The sequence of magmatic events interpreted for these rocks is the following: (1) emplacement and crystallization of successive basic alkaline magma batches in a chamber environment, forming the gabbroic cumulates, consisting mainly of melagabbros and clinopiroxenites, even breccias with gabbroic matrix, classified as metagabbros; (2) New intrusions of alkaline basic magma batches, crystallized as possible dikes, forming fine- to medium- grained rocks, represented by kaersutite metadiabase fragments; (3) Syenitic magma intrusion in the mafic chamber, which fragmented the partially (mush) or completely crystallized gabbro, carrying many xenocrystals, microxenoliths and some mega-scale xenoliths, forming the rocks classified as melasyenite; (4) New intrusion of a syenitic magma, posterior to the crystallization of the melasyenite, which fragments the whole system forming an agmatite with megaxenoliths and microxenoliths of cumulatic gabbro, kaersutite metadiabase, agmatite with gabbroic matrix (metagabbro) and melasyenite; (5) Quartz-bearing syenitic pegmatites and aplites veins and dikes crosscut every other lithotypes. All xenolithic rock present some degree of recrystallization and chemical reaction/diffusion with the syenitic host magma.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	2
4. LOCALIZAÇÃO	2
5. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
5.1 Contexto magmático regional.....	3
5.2 Magmatismo alcalino na Ilha de São Sebastião	4
6. MATERIAIS E MÉTODOS	8
6.1 Trabalhos de campo.....	8
6.2 Microscopia óptica e determinações modais	8
6.3 Preparação das Amostras para Análise Geoquímica	8
6.3 Tratamento dos Dados Geoquímicos	12
7. Geologia e Petrografia	12
7.1. Descrição das unidades	12
7.2. Relações de contato.....	19
8. CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA	22
9. DISCUSSÃO	35
10. CONCLUSÕES	40
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
ANEXOS	

1. INTRODUÇÃO

As rochas alcalinas compõem volumetricamente menos de 1% de todas as rochas da crosta. Na Plataforma Sul-Americana, a atividade magmática alcalina Mesozoica a Cenozoica deixou registros no Brasil, Paraguai, Bolívia e Uruguai. Ao todo somam mais de 100 ocorrências que, por Riccomini et al. (2005), foram separadas em 15 províncias.

Uma destas é a Província Serra do Mar. Nela encontram-se todas as ocorrências localizadas em ilhas costeiras do leste do Estado de São Paulo, além do maciço de Ponte Nova, as ocorrências na região do Cretáceo Superior do Arco de Ponta Grossa e Lages (Riccomini et al., 2005). A associação entre rochas alcalinas félsicas com rochas gábricas e ultramáficas cumuláticas de filiação alcalina, é uma característica marcante (Ulbrich & Gomes 1981).

A área de estudo do presente projeto se encontra no setor norte da Província Alcalina Serra do Mar, na Ilha de São Sebastião. As primeiras menções sobre a geologia da ilha vieram de Derby (1887) e Freitas (1947). Posteriormente, estudos de Hennies & Hasui (1977), Bellieni et al. (1990) e Montes-Lauar et al. (1995) contribuíram com mais dados petrográficos, geoquímicos, estruturais e geocronológicos. Nestes trabalhos a presença de três corpos de caráter alcalino e um corpo gabróide menor, no norte da ilha, é bem definida. Posteriormente, Augusto (2003) e Pabst (2014) contribuíram com a descrição de mais um corpo gabróide de menor expressão na porção sul da ilha. Evidências das relações de contato entre rochas gábricas e sieníticas são encontradas em Augusto (2003) e Pabst (2014) para a região sul da ilha, no stock São Sebastião. Apesar de haver um estudo detalhado do corpo gábrico da porção norte (Ponta das Canas) (Lima 2001), o mesmo não registra a existência de tais contatos ou mesmo de relações temporais entre estes litotipos.

Este projeto exhibe ineditamente afloramentos que mostram a interação entre rochas gábricas e sieníticas no maciço de Serraria, na praia do Jabaquara, região norte da Ilha de São Sebastião. A descoberta desse afloramento exibindo feições peculiares da interação de rochas do stock sienítico de Serraria com rochas gábricas possivelmente relacionadas ao stock Ponta das Canas motivou o estudo mais profundo das feições observadas em campo, para um melhor entendimento dos processos magmáticos envolvidos e a relação temporal entre os diversos litotipos.

2. OBJETIVO

Ocorrências alcalinas *in situ* na região da Ilha de São Sebastião e cercanias já foram temas mencionados na literatura (vide revisão em Enrich et al., 2005), mas ainda há conhecimentos petrográficos e geoquímicos que merecem mais estudos de detalhe sobre relações de contato, variações composicionais e evolução magmática dos litotipos presentes. Esse trabalho, portanto, visa contribuir para com esse conhecimento.

Para tal, afloramentos-chave da região da praia do Jabaquara, no litoral norte da Ilha de São Sebastião, foram estudados em detalhe e amostras provenientes destes afloramentos passaram por análise de microscopia óptica buscando diferenças texturais, microestruturais e mineralógicas. Além disso, algumas amostras foram selecionadas para serem analisadas para uma caracterização geoquímica de elementos maiores e traços (FRX e ICP-MS) visando um melhor entendimento dos processos magmáticos ocorridos.

Assim, busca-se entender as relações temporais entre magmas máficos e félsicos neste complexo, procurando-se estabelecer uma sequência de eventos magmáticos responsáveis por sua colocação.

Vale ressaltar que este trabalho de formatura dá continuidade ao projeto de iniciação científica realizado pelo aluno no período de agosto de 2014 a agosto de 2015. Portanto, o projeto já conta com um acervo de 46 amostras, 18 lâminas e 17 análises geoquímicas por FRX. Estudos petrográficos foram refinados e reavaliados, e algumas amostras passaram por análise de elementos-traço por ICP-MS

4. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo encontra-se no município de Ilhabela, próximo a São Sebastião, SP. Localizada a cerca de 200 km da capital São Paulo, seu acesso é feito pela Rodovia Ayrton Senna sentido NE continuando pela Rodovia Governador Carvalho Pinto até a Rodovia dos Tamoios, que leva a Caraguatatuba. De Caraguatatuba faz-se o trajeto até a cidade de São Sebastião pela Avenida Januário do Nascimento rumo à balsa que atravessa o canal para chegar ao município de Ilhabela na Ilha de São Sebastião. A praia do Jabaquara, onde se localizam os principais afloramentos estudados, é de fácil acesso. Basta, ao sair da balsa, tomar o rumo norte pela principal via que atravessa a ilha de norte a sul e seguir por 20 km até chegar à praia. O melhor acesso aos afloramentos é feito por uma trilha utilizada por pescadores que leva ao costão rochoso do lado oeste da praia do Jabaquara. A entrada desta trilha se localiza a cerca de 50 m acima do nível da praia, pouco metros antes do mirante que dá vista à mesma (figura 1).



Figura 1. Mapa de localização da Ilha de São

5. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Contexto magmático regional

Os complexos alcalinos de idade Mesozoica e Cenozoica do Sudeste na Plataforma Sul Americana estão distribuídos principalmente ao longo de faixas móveis ligadas ao Ciclo Brasileiro, nas margens da Bacia do Paraná, Santos e Pelotas. Conforme Gomes & Comin-Chiaramonti (2005) diversos pulsos de atividade magmática alcalina na Plataforma Sul Americana deixaram registros distribuídos entre Brasil, Paraguai, Bolívia e Uruguai. Assume-se que, para a colocação dessas rochas, lineamentos e zonas de falha com orientação NE-, NS- e NWW do embasamento que passaram por reativação no Mesozoico (reativação Wealdiana de Almeida 1967) junto a profundas fraturas, paralelas e alongadas, com orientação NW-, transversais ao eixo da Bacia do Paraná e englobando-a, tiveram grande importância. Ao todo são mais de 100 registros conhecidos de rochas alcalinas, Riccomini et al. (2005) propôs uma divisão para as várias ocorrências que permite distingui-las em 15 províncias alcalinas diferentes como mostra a figura 2.

No Brasil, as ocorrências alcalinas estão predominantemente no leste do país, mas também formam vários corpos em arranjo linear seguindo dois agrupamentos principais que se estendem por centenas de quilômetros. Um dos agrupamentos é conhecido como Província Serra do Mar (Riccomini et. al. 2005) e tem orientação clara para NE sendo paralelo à linha de costa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro; o outro cinturão tem orientação aproximada E-W e relaciona intrusões intracontinentais (ex. Taiúva) com intrusões na costa (ex. Cabo Frio). Ocorrências próximas aos limites da Bacia do Paraná são abundantes nas áreas centrais e mais ao sul do país onde podem ser agrupadas seguindo três alinhamentos para NW (Rio Verde-Iporá, Alto Parnaíba e Ponta Grossa). Por outro lado, na região sul do país os corpos alcalinos são mais escassos (Riccomini et. al. 2005).

A Província Serra do Mar foi dividida em três setores: norte, centro e sul - correspondendo a áreas de soerguimentos cenozoicos da região costeira onshore do sudeste brasileiro (Riccomini et al., 2005). A orientação dessa província, paralela à linha de costa do estado de São Paulo, tem sido relacionada ao magmatismo alcalino ligado à evolução da margem continental passiva (e.g. Almeida 1976, 1983, 1986; Ulbrich & Gomes, 1981; Morbidelli et al., 1995), uma vez que nesse ambiente extensional zonas de fraqueza, principalmente zonas de cisalhamento do Proterozoico, que hoje estão paralelas à costa, foram reativadas. Indícios disso seriam os lineamentos NE-SW observados em imagens de satélite, ocorrências alcalinas paralelas à costa do estado de São Paulo e diques máficos com a mesma orientação.

A Ilha de São Sebastião, local que contém a área de estudo do presente projeto, encontra-se no setor norte da Província Alcalina Serra do Mar junto a outras quatro ocorrências, sendo elas a Ilha Monte de Trigo, Ilha de Búzios, Ilha de Vitória e o maciço plutônico de Ponte Nova nos altos da Serra da Mantiqueira. A Ilha de São Sebastião é uma das maiores ilhas inteiramente marinhas do Brasil e cobre uma área de 336 km², os três maciços alcalinos (Serraria, Mirante e São Sebastião) representam cerca de 300 km² dessa área (um dos maiores maciços alcalinos do Brasil), menor apenas que os complexos de Poços de Caldas, Itatiaia e Passa Quatro.

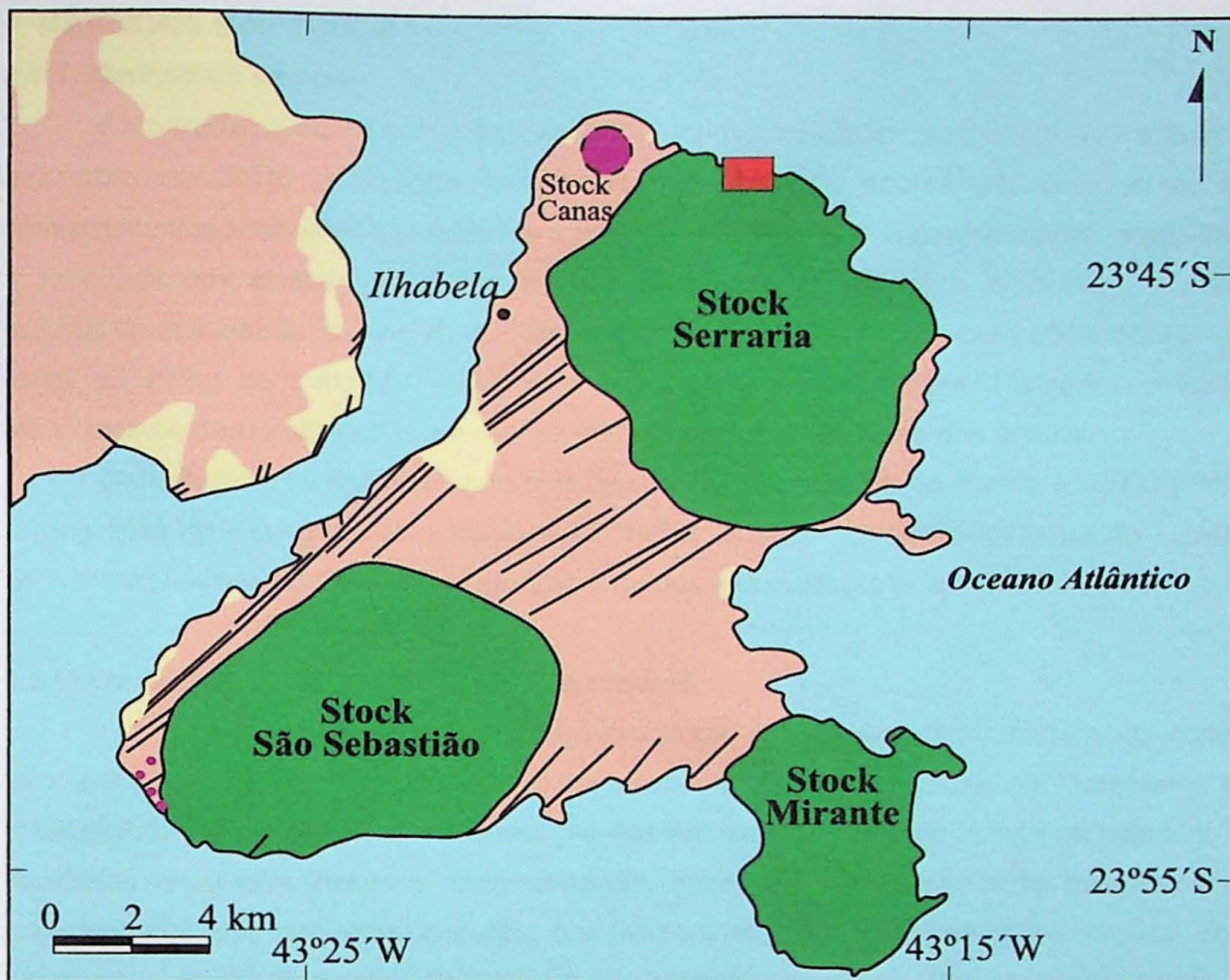
5.2 Magmatismo alcalino na Ilha de São Sebastião

As primeiras menções sobre a geologia da ilha de São Sebastião vieram de Derby (1887), Freitas (1947) e Hennies e Hasui (1977). Todos citam a presença de três grandes maciços de rocha alcalina na região (figura 3). O magmatismo ocorrido na ilha é caracterizado, conforme Lima (2001) em três estágios magmáticos mesozoicos principais: o primeiro sendo o magmatismo vulcânico inicial, em seguida o plutonismo principal e finalmente o magmatismo hipoabissal a subvulcânico. As principais características de cada estágio estão resumidas a seguir:

- *Magmatismo subvulcânico inicial*, evento marcado por diques que cortam o embasamento (unidade granito gnáissica migmatítica, Perrota et al. 2005), mas não são registrados cortando os maciços alcalinos. Os litotipos predominantes são rochas básicas a andesíticas máficas e lamprófiros ultramáficos, além de raramente ocorrerem leucoandesitos e dacitos porfiríticos e ultrabásitos ricos em carbonato magmático. A idade desse evento é do cretáceo inferior, baseado em idades de cristalização pelo método K/Ar que resultaram no intervalo de 120 a 140 Ma (Amaral et al., 1996; Bellieni et al., 1990).

- *Plutonismo principal*, evento principalmente representado pelos stocks de Serraria, São Sebastião e Mirante além de intrusões menores como o corpo gabróide estratiforme da Ponta da Pacuíba, no norte da Ilha (Lima e Schorscher, 1999) e outras ocorrências gábricas estratiformes registradas por Augusto (2003) no sul da Ilha. As datações dos stocks feitas por Sato (2006) pelo método U/Pb em zircão nas rochas sieníticas deram resultados de $84,7 \pm 0,6$ Ma para o stock de São Sebastião e $85,0 \pm 0,3$ Ma para o stock Serraria. A petrografia dos stocks é predominantemente de quartzo sienito e nefelina sienito (zonados), porfiríticos, com granulometria média a grossa, e com fenocristais de feldspato alcalino; localmente podem ocorrer variedades com granulometria fina, como por exemplo, nefelina microsienitos (Enrich et al. 2005). Os principais minerais máficos são clinopiroxênio, biotita e anfibólio. Minerais acessórios típicos são apatita, titanita e opacos além de chevkinita-perrierita e thorita muito raramente. O stock gábrico de Canas, no norte da ilha, se diferencia na mineralogia, contendo como principais minerais máficos clinopiroxênio sódico, olivina, opacos, kaersutita e biotita rica em Ti. A fase félsica principal é labradorita (Lima, 2001). No sul da Ilha a ocorrência gabróide estratiforme possui mineralogia predominante de olivina, clinopiroxênio, clinoanfíbólio, biotita, ilmenita e magnetita. Zircão e apatita são acessórios típicos (Augusto 2003).
- *magmatismo hipoabissal a subvulcânico*, evento representado por diques, veios e corpos intrusivos que cortam todas as outras rochas referentes aos eventos anteriores. São de composição em geral alcalina, podendo apresentar textura fanerítica muito grossa (pegmatito) a muito fina (aplito). Podem ocorrer clinopiroxenitos, teschenitos, diabásios, microssienitos diversos, fonolitos e traquitos (Augusto 2003; Enrich et al. 2005). Idades K/Ar sugerem um intervalo de colocação amplo, de 55 até 81 Ma (Amaral et al. 1967; Bellieni et al. 1990; Garda et al. 1995)

O presente trabalho mira o estudo das relações de contato entre rochas sieníticas e gábricas no stock Serraria, norte da Ilha de São Sebastião, mais precisamente na praia do Jabaquara. Relações de contato entre gabros e sienitos já foram descritas no extremo sul da ilha por Augusto (2003) e Pabst (2014) no stock São Sebastião. Na Ponta da Pacuíba, no norte, existem registros de um corpo gabróide estratiforme (Lima 2001), mas não exibindo feições de interação com rochas sieníticas. Durante o projeto de iniciação científica do aluno, na praia do Jabaquara, foi encontrado uma sequencia de afloramentos que exibem relações de contato entre sienitos e gabros, similares às descritas por Pabst (2014) no sul da ilha. Por ser um registro inédito no norte da ilha, este projeto pioneiro visa descrever e caracterizar detalhadamente as feições observadas em campo, assim como os caracterizar os diferentes litotipos envolvidos e entender a relação temporal das rochas.



- Sedimentos Quaternários
- Diques Alcalinos (Cretáceo Superior)
- Rochas Alcalinas (Cretáceo Superior)
- Ocorrências Gábricas
- Diques Básicos e Ácidos (Cretáceo Inferior)
- Embasamento (Pré-cambriano)

Figura 3. Mapa geológico da Ilha de São Sebastião extraído de Enrich et al. (2005)

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Trabalhos de campo

Este trabalho conta com três etapas de campo realizadas no período entre 2014 e dezembro de 2015, totalizando 7 dias de campo e 14 pontos de afloramento. Os caminhamentos realizados abrangeram o costão a N e S da Praia do Jabaquara, mas, dada a variedade dos litotipos presentes e a complexidade das relações entre eles, o maior esforço se concentrou no costão a N da praia, na ponta das fumas, num afloramento com cerca de 200m de extensão exibindo sienitos, gabros e diabásios. Na tabela 1 estão resumidos os dados coletados em campo e na figura 4 a localização dos pontos.

Os trabalhos contaram com auxílio de mapas topográficos na escala 1:10000 (Plano Cartográfico do Estado de São Paulo, IGC, 1977), imagens georreferenciadas de satélite, GPS e ferramentas básicas de campo (martelo, bússola, cademeta, etc...).

6.2 Microscopia óptica e determinações modais

O estudo das seções delgadas ao microscópio petrográfico de luz transmitida contou com amostras que foram preparadas para a laminação no Laboratório de Tratamento de amostras do NAP Geoanalítica. A indicação das amostras analisadas consta na tabela 1, as atividades realizadas incluíram caracterização, descrição e documentação fotográfica da mineralogia e dos aspectos texturais das rochas além de determinações modais com *charriot* e contador de pontos. Foi utilizado um microscópio petrográfico da marca Olympus, modelo BX40 que conta com três objetivas de aumento 4X, 10X e 40X. e outro microscópio da mesma marca, mas do modelo BX 50 com quatro objetivas de aumento 1,25X, 4X, 10X e 50X e uma câmera digital Olympus E330 acoplada para tirar fotomicrografias das lâminas.

A análise das lâminas buscou identificar as fases minerais presentes e a textura da rocha, para então poder-se sugerir uma sequência de cristalização de cada unidade. O teor de anortita em plagioclásio das rochas máficas foi efetuado através do método das extinções simétricas na zona {010} de Michell-Levy.

Contagens modais foram efetuadas nas amostras mais representativas de cada unidade; a quantificação modal foi realizada com *charriot* e contador manual de pontos, seguindo-se a metodologia proposta por Chayes (1956). Foram considerados cerca de 1500 pontos por amostra, distribuídos segundo uma malha quadrada regular, com espaçamento de 0,5 x 05, mm, cobrindo uma área aproximadamente de 800 mm². As rochas sieníticas e gábricas foram classificadas segundo critérios propostos por Le Maitre (2002).

6.3 Preparação das Amostras para Análise Geoquímica

Para análise geoquímica foram colhidas amostras que estivessem com grau de intemperismo muito baixo para não haver interferência nos resultados. Quanto ao tamanho,

segundo Potts (1987), um cubo de arestas com tamanho dez vezes maior que a maior fase mineral encontrada já seria representativo da amostra

No Laboratório de Tratamento de Amostras (LTA) do NAP – Geoanalítica – USP as amostras foram reduzidas a frações pequenas. No processo foi tomado o devido cuidado de limpar os aparelhos utilizados antes e depois do processamento das amostras. Com um volume de aproximadamente 100 ml, as amostras foram pulverizadas num moinho de anéis de ágata por cerca de 15 minutos. Antes da pulverização, uma das amostras foi utilizada para “sujar” a panela de moinho e posteriormente foi descartada. A fração granulométrica obtida nessa etapa foi aproximadamente 200 mesh.

Posteriormente, as amostras foram microionizadas (cerca de 7,5 g) com álcool por aproximadamente 20 minutos e seguiram para secagem em estufa (1 a 2 dias). Acrescentou-se ao pó gerado 20% em peso de parafina e homogenizou-se à mão, produzindo pastilhas de pó prensadas para análise de elementos traços por FRX. Para essa análise, utilizou-se um espectrômetro de FRX de comprimento de onda dispersivo, da marca PANalytical, modelo Axios MAX Advanced.

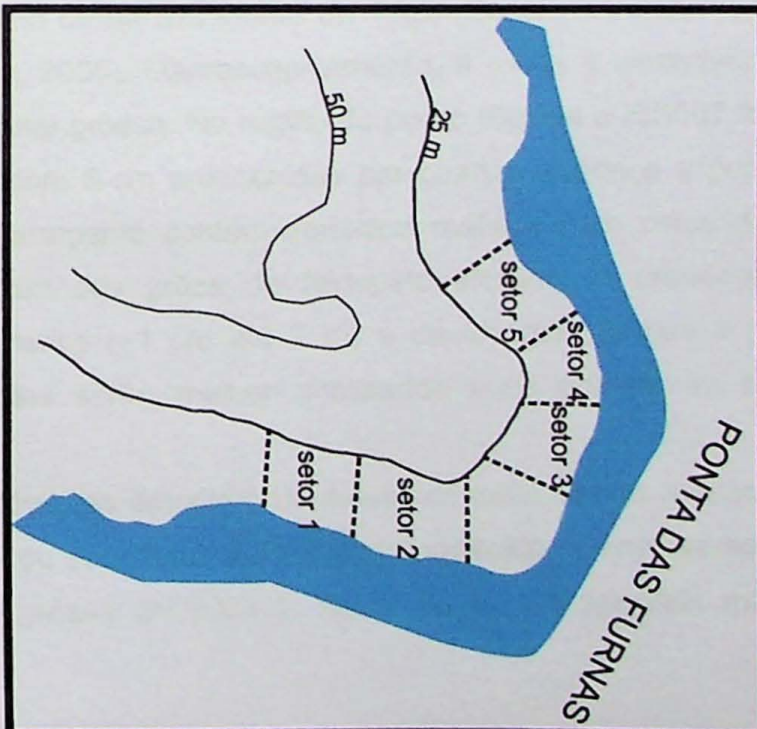
Alíquotas das amostras pulverizadas a partir do moinho de ágata foram pesadas ($1 \pm 0,001\text{g}$) e a elas acrescentaram-se fundentes químicos (metaborato e tetraborato de Lítio, $9 \pm 0,001\text{g}$) e nitrato de amônio para produção de pastilhas fundidas em cadinhos de platina (após homogeneização do material) no Laboratório de FRX do Geoanalítica - USP. As pastilhas ficaram prontas após 20 minutos de fundição, utilizando-se de máquina de fusão TheOX, do fabricante Classie, e foram enviadas para análise de elementos maiores por FRX. Duplicatas foram feitas a cada 5 amostras para controle de possíveis oscilações na análise geoquímica do equipamento utilizado.

A Perda ao Fogo por técnica de gravimetria foi realizada no Laboratório de Química do NAP – Geoanalítica - USP. Após secagem em estufa, fez-se a pesagem das amostras em cadinhos de porcelana para aproximadamente 0,5 g. Após o aquecimento a $\pm 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, uma nova pesagem foi feita, comparando-se a porcentagem de voláteis que se dispersou.

Para análise de elementos-traço e terras-raras, alíquotas das amostras pulverizadas foram pesadas (0,05 g) e sofreram ataque-ácido com 5 mL de ácido nítrico (HNO_3) e 15 mL de ácido fluorídrico (HF). Foram levadas para dissolução no microondas 7 amostras: ISS004B01, ISS004C01, ISS004F01, ISS004G02, ISS004H01, ISS007C01 e ISS007E01). Uma duplicata foi feita para a análise em microondas. Essas amostras seguiram para análise por ICP-MS, em instrumento da marca Perkin Elmer, modelo Quadrupolo ELAN 6100 DRC.

Tabela 1. Tabela com a indicação do local dos pontos de afloramento, assim como as amostras coletadas e as laminadas com sua devida classificação.

PONTO	AMOSTRA	UTM 23 K		PETROGRAFIA	GEOQUÍMICA	LITOTIPO
		m E	m S			
ISS001	A	471288	7375109		X	álcali feldspato sienito
	B			X	X	álcali feldspato sienito e aplito
ISS002	A	471200	7374819	X	X	álcali feldspato sienito
ISS003	A	471158	7374670	X	X	fonolito
ISS004	A	470085	7375098	X		gabro cumulático
	B			X	X	kaersutita metadiabásio
	C			X	X	álcali feldspato sienito e gabro cumulático
	D			X		álcali feldspato sienito e kaersutita metadiabásio
	E					kaersutita metadiabásio
	F				X	gabro cumulático
	G			X	X	gabro cumulático
	H			X	X	kaersutita metadiabásio
	I			X		melassienito
	J			X	X	álcali feldspato sienito
	K			X		kaersutita metadiabásio
	L			X		álcali feldspato sienito
	M			X		kaersutita metadiabásio
ISS005	A	464831	7374498	X		melassienito
	B				X	álcali feldspato sienito
	C			X	X	gabro cumulático
ISS006		470042	7375196			zona de brecha
ISS007	A	470150	7375267	X		kaersutita metadiabásio e gabro cumulático
	B			X		álcali feldspato sienito e melassienito
	C			X	X	melassienito
	D			X		melassienito e gabro cumulático
	E			X	X	álcali feldspato sienito
	F			X		álcali feldspato sienito
	G			X		álcali feldspato sienito e melassienito
	H			X	X	álcali feldspato sienito
	I			X		kaersutita metadiabásio
	J			X		kaersutita metadiabásio
ISS008	A	470397	7374890			álcali feldspato sienito e gabro cumulático
ISS100	A	470085	7375098	X		álcali feldspato sienito
ISS101	A	470085	7375098	X		gabro cumulático e metadiabásio
ISS102	A	470059	7375188	X		álcali feldspato sienito
ISS103	A	470085	7375098	X		gabro cumulático
	B			X		gabro cumulático e álcali feldspato sienito
	C			X		gabro cumulático e álcali feldspato sienito
	D			X		gabro cumulático
	E			X		gabro cumulático
ISS104	A	469868	7375012	X		gabro cumulático
	B			X		gabro cumulático
ISS105	A	470150	7375267	X		álcali feldspato sienito
	B			X		melassienito
	C			X		kaersutita metadiabásio, melassienito e metagabro



6.3 Tratamento dos Dados Geoquímicos

A relação das amostras que passaram pela análise geoquímica consta na tabela 1. Os resultados referentes às análises de FRX foram tratados com auxílio dos programas Microsoft Excel 2010, MinPet (versão 2.0) e Petrograph2beta. Foi feita uma classificação com base nos dados geoquímicos utilizando os diagramas TAS, segundo recomendações da IUGS (Le Maitre, 2002), e R1 – R2 (De La Roche et al., 1980). Nas análises geoquímicas realizadas, apenas os valores de Fe_2O_{3T} foram determinados. Como é necessário os valores de FeO e Fe_2O_{3T} para o cálculo da norma, uma estimativa para tais valores foi feita utilizando-se procedimentos de Le Maitre (1976). A mineralogia normativa CIPW foi calculada por uma planilha no Excel da IUGS, segundo as recomendações e sequência de passos de Le Maitre (2002).

Diagramas bivariantes foram utilizados para caracterizar os comportamentos geoquímicos e tendências, usando o número de magnésio (mg#). É expresso como $[\text{MgO}/(\text{MgO}+\text{FeO}_T)]$, em proporção molecular.

7. Geologia e Petrografia

7.1. Descrição das unidades

Com base nas observações feitas em campo as rochas da área de estudo foram separadas em cinco litotipos principais: Álcali feldspato sienito, melassienito, kaersutita metadiabásio, gabro cumulático e metagabro. Os pegmatitos e aplitos têm ocorrência mais restrita e foram agrupados em uma unidade homônima.

Álcali feldspato sienito: O álcali feldspato sienito é o litotipo predominante, ele aflora em enormes blocos rolados, lajedos e afloramentos de costões, ambos *in situ* e próximos ao mar ou em descampados nas encostas das montanhas. Uma característica marcante desta rocha é a formação de sulcos oriundos do intemperismo, como caneluras, tal feição também é observada em outros sienitos como os da ilha Monte de Trigo (Enrich et al. 2009) e do maciço de Itatiaia, RJ (Enrich et al., 2005). Macroscopicamente, a rocha é alaranjada, de estrutura maciça e textura equigranular grossa. Na região do ponto ISS004 e ISS007 foram observadas cavidades miarolíticas com 5 cm preenchidas por quartzo euédrico e porções com textura traquitoide que não raramente contém xenólitos máficos com cerca de 20 centímetros suborientados à direção dos grãos de feldspato alcalino. A presença de xenólitos com tamanhos muito variados (<1 cm até 7 m) e de diversas formas é muito marcante nesta unidade, mas estes serão melhor analisados mais adiante no tópico Relações de Contato.

Sob o microscópio petrográfico, as amostras de álcali feldspato sienito apresentam textura inequigranular seriada com ou sem orientação fluidal traquitoide, e observa-se uma granulometria variando de fina a grossa (ANEXO 1, figura A1.1). Os minerais máficos

ocorrem intersticiais ao feldspato alcalino, por vezes formando agregados (ANEXO 1, figura A1.2). Mineralogicamente, a rocha é composta principalmente por feldspato alcalino, clinopiroxênio da série diopsídio-hedenbergita, biotita, opacos e uralita. O feldspato alcalino predomina amplamente nas amostras, compondo ~91% em volume da rocha, o clinopiroxênio compõe ~4%, a biotita representa ~1%, a assembleia de minerais de alteração ocupa ~3% e apatita, zircão e titanita ocorrem como traços (<1% em volume). Os dados de porcentagem modal dos minerais estão resumidos na tabela 2. O índice de máficos para esta rocha é cerca de ~9% em volume. Os valores modais plotados no diagrama QAP classificam esta unidade como um álcali-feldspato sienito (figura 8).

O feldspato alcalino, pertítico, ocorre com formato subidiomórfico a xenomórfico e o tamanho dos cristais varia de 0,5 mm a 1,3 cm. Nas variedades com textura maciça o contato entre os grãos de feldspato é geralmente interlobado ou cúspide (ANEXO 1, figura A1.1), enquanto que, quando a textura se apresenta fluidal traquitoide, o contato é geralmente retilíneo. No encontro com grãos de biotita formam um padrão serrilhado, já com clinopiroxênio formam contatos abruptos. A maioria dos cristais apresenta geminação tipo carlsbad ou geminação cruzada. Inclusões de biotita, opacos e apatita são comuns.

O clinopiroxênio é da série diopsídio-hedenbergita. Ele ocorre com coloração bege e verde em tons pastéis. Comumente apresenta zoneamento sendo o centro em cor bege a cinza (augita) e a borda esverdeada (hedenbergita) (ANEXO 1, figura A1.3). Os cristais são idiomórficos a subidiomórficos, variando de 1 mm a 1,5 mm. Inclusões de biotita, apatita e alteração para uralita são comuns. Não raramente, associadamente aos cristais de clinopiroxênio ocorrem cristais de titanita. Por vezes, ocorrem pseudomorfos de clinopiroxênio completamente ou parcialmente substituídos por uralita e óxidos (ANEXO 1, figura A1.2) ou por muscovita, carbonato, óxidos, opacos envolvidos por biotita esverdeada (ANEXO 1, figura A1.4).

O clinioanfíbólio corresponde predominantemente à uralita e faz parte da assembleia de minerais de alteração. Os grãos são idiomórficos ou subidiomórficos, com 0,2 mm a 1,5 mm e geralmente estão associados à clinopiroxênio, biotita e opacos. Os cristais maiores de uralita representam pseudomorfos de clinopiroxênio. Inclusões de opacos, apatita e óxidos são comuns (ANEXO 1, figura A1.2).

A biotita ocorre desde subidiomórfica até intersticial com 0,1 mm a 1,5 mm, geralmente associada a clinopiroxênio, uralita e opacos. Por vezes os grãos aparecem sobrecrescidos ao clinopiroxênio (ANEXO 1, figura A1.3) e em volta de grãos de opacos (ANEXO 1, figura A1.2). Inclusões de titanita, apatita e opacos são comuns. Uma variedade esverdeada de biotita parece representar um estágio hidrotermal pós-magmático; esta variedade apresenta-se como cristais subidiomorfos com 0,2 mm a 1,5 mm concêntricos a pseudomorfos de clinopiroxênio (ANEXO 1, figura A1.4).

Minerais opacos idiomórficos e subidiomórficos com 0,3 mm a 1 mm, provavelmente correspondem a magnetita (ANEXO 1, figura A1.2). Os grãos ocorrem inclusos em feldspato alcalino, clinopiroxênio, biotita e uralita e por vezes contém inclusões de apatita.

Os minerais acessórios mais comuns são apatita e titanita. As apatitas ocorrem idiomórficas ou arredondadas (ANEXO 1, figura A1.2) inclusas em biotita, clinopiroxênio, opacos e feldspato alcalino. A titanita é subédrica ou amorfa e alcança no máximo 1 mm, geralmente está inclusa em biotita e adjacente ao clinopiroxênio (ANEXO 1, figura A1.3).

A amostra ISS001B03 tem textura semelhante a todos os sienitos, mas exhibe uma feição interessante. Esta rocha é cortada por um veio microssienítico com quartzo de granulação fina e textura traquitoide. Mineralogicamente, o veio é composto basicamente por ripas de feldspato alcalino (mesopertítico) com quartzo, opacos e anfibólio intersticiais (ANEXO 1, figura A1.5).

Na figura 5 foi proposta uma sequência de cristalização baseada nas observações texturais das lâminas petrográficas desta unidade. A ampla predominância de feldspato alcalino com textura média a grossa e clinopiroxênio intersticial da série diopsídio-hedenbergita refletem a cristalização de uma rocha alcalina provavelmente insaturada em sílica.

Melassienito: O melassienito foi observado na região dos pontos ISS004 e ISS007 em contato abrupto com o álcali feldspato sienito ou como xenólitos com cerca de 3 m² hospedados no álcali feldspato sienito. Macroscopicamente, se apresenta com textura inequigranular média. A cor cinza escura decorrente de um maior teor de minerais máficos diferencia bem o melassienito do álcali feldspato sienito de coloração alaranjada. O melassienito hospeda alguns xenólitos máficos gabróides parcialmente recristalizados que serão abordados no tópico Relações de Contato.

Microscopicamente, o melassienito representa unidade com ampla variação textural. Em geral a textura é inequigranular com cristais de tamanho fino a médio, mas localmente ocorrem megacristais de plagioclásio, xenólitos anortosíticos subarredondados de textura granoblástica e granulometria fina e locais com teor de máficos elevado, geralmente sob forma de pequenos agregados, também entendidos como representativos de xenólitos.

Mineralogicamente, a análise modal indica que a rocha é composta por ~56% de feldspato alcalino, ~21% de plagioclásio, ~8% de clinopiroxênio (kaersutita), ~8% de biotita, ~5% de clinopiroxênio, sendo a maioria augita e variedades da série diopsídio-hedenbergita subordinadamente, e finalmente 1% de apatita. O índice de cor para esta rocha é ~23. Os dados de porcentagem modal dos minerais estão resumidos na tabela 2. Os valores modais plotados no diagrama QAP indicam a classificação desta unidade como um sienito (figura 8).

O feldspato alcalino com formato subidiomórfico ou amórfico compõe a maior parte das lâminas de melassienito analisadas. Os cristais têm entre 0,3 mm e 3 mm, eles

apresentam contatos interlobados entre si, com grãos de biotita e de kaersutita. No encontro com bolsões granoblásticos de anortosito os contatos são abruptos (ANEXO 2, figura A2.1) e, na interface com macrocristais de plagioclásio, o contato é difuso (ANEXO 2, figura A2.2). Por vezes agregados de feldspato alcalino com textura xenomórfica aparecem como bolsões arredondados de 1 mm contidos em meio a xenólitos de anortositos com textura granoblástica (ANEXO 2, figura A2.3). Poucas inclusões de apatita são observadas.

Os xenólitos anortosíticos tem textura granoblástica, com cristais de plagioclásio granulares entre 0,1 mm e 0,5 mm; cristais de plagioclásio, quando aparecem como macrocristais (prováveis xenocristais), chegam a ter 7 mm (ANEXO 2, figura A2.2). A maioria dos cristais não apresenta geminação lei da albita, possuem extinção ondulante e aspecto límpido, diferentemente do feldspato alcalino. O contato entre os grãos granulares é geralmente poligonizado com junções tríplices com ângulos em 120°, e no encontro com minerais máficos é mais anguloso.

Clinopiroxênio corresponde na maioria dos cristais à augita, mas localmente ocorrem augitas com bordas de hedenbergita. Estes cristais ocorrem subédricos com cerca de 0,7 mm ou granulares com 0,1 mm a 0,3 mm intersticiais ao plagioclásio. Muitas vezes os grãos ocorrem manteados por kaersutita (ANEXO 2, figura A2.4). Pseudomorfos substituídos por kaersutita apresentam alguns fragmentos reliquias de clinopiroxênio. Inclusões de opacos, biotita, kaersutita e apatita são muito comuns (ANEXO 2, figura A2.5).

O clinofibrolito corresponde a kaersutita, ela forma cristais subédricos e anédricos entre 0,2 mm e 2 mm. Os cristais maiores são normalmente subédricos e ocorrem muito associados a titanita e biotita (ANEXO 2, figura A2.6). Os grãos menores ocorrem sobrecrecidos ao clinopiroxênio ou intersticiais ao plagioclásio granular. Foram observadas inclusões de opacos, apatita e plagioclásio.

A biotita é idiomórfica ou subidiomórfica com 0,1 mm a 1,5 mm. Quando ocorre adjacente a minerais máficos, geralmente forma grãos maiores euédricos e, quando está sobrecrecida ou manteado grãos de opacos, kaersutita e clinopiroxênio, a biotita ocorre como grãos menores subédricos e anédricos. Inclusões de apatita, clinopiroxênio e opacos são recorrentes.

Os minerais opacos ocorrem subédricos com cerca de 0,5 mm ou anédricos com 0,1 mm geralmente inclusos em clinopiroxênio e kaersutita. Apatita acicular com 0,1 mm, ou como prismas com 1 mm e cristais subarredondados, ocorrem inclusos em kaersutita, clinopiroxênio e biotita. Titanita euédrica ou subédrica, com 0,1 mm a 0,5 mm, ocorre associada a kaersutita, clinopiroxênio e biotita.

Gabro cumulático: Esta unidade foi observada nos pontos ISS004, ISS007 e ISS104. Em todos os locais o gabro aflora como xenólitos em sua maioria angulosos no álcali feldspato sienito; porém, algumas exposições são tão grandes (de extensões métricas a quase

decamétricas) que não é possível confirmar se todas as exposições desta unidade estão completamente envoltas pelo álcali feldspato sienito ou não. Não raramente o gabro também foi observado em xenólitos menores (1 cm a 20 cm) subarredondados contidos no melassienito. Macroscopicamente, a rocha possui estrutura maciça e texturalmente apresenta variedades equigranulares grossas a muito grossas, caráter cumulático, sendo que em algumas amostras possuem cristais de clinopiroxênio com 2 cm. Apesar da proximidade deste afloramento com a Ponta da Pacuíba onde Lima (2001) observou blocos de gabro com estratificação ígnea, tal feição não foi observada na região em escala megascópica.

Microscopicamente, o gabro é cumulático e se apresenta com estrutura bandada em algumas porções, sendo inequigranular média a grossa (ANEXO 3, figura A3.1). Texturas subofítica e poiquilítica também são encontradas (ANEXO 3, figura A3.3). Os gabros bandados encontrados em algumas porções são compostos por intercalações de rocha leucocrática (anortosito), mesocrática (gastro) e melanocrática (melagastro); as bandas tem cerca de 6 mm. Em todos os níveis observa-se uma orientação subparalela dos grãos ao bandamento: no nível leucocrático, rico em plagioclásio tabular, essa feição é mais evidente (ANEXO 3, figura A3.4). A porção melanocrática exibe bem a estrutura cumulática da rocha; nela é possível observar clinopiroxênio e plagioclásio como fases cumulus e kaersutita como fase intercumulus (ANEXO 3, figura A3.2). Algumas amostras da unidade podem ser classificadas, inclusive, como clinopiroxenitos; porém nota-se a predominância de melagabros.

Mineralogicamente, o clinopiroxênio predomina na amostra compondo ~34% em volume da rocha, ~27% corresponde a clinofibólio, 24% a plagioclásio, ~11% a opacos, e ~4% refere-se a minerais de alteração; apatita ocorre como traço (<1%). Nos minerais de alteração estão inclusos opacos, biotita, carbonato, epidoto e uralita. Os dados de porcentagem modal dos minerais estão resumidos na tabela 2. O índice de máficos desta rocha varia muito, mas em geral é elevado, por volta 75% em volume. No diagrama QAP esta rocha plota no campo do gastro (figura 8), sendo classificada como melagastro.

O clinopiroxênio com coloração bege-pálido e fracamente pleocróico corresponde a augita, com bordas de titanaugita. Este aparece como grãos idiomórficos ou subidiomórficos, por vezes até xenomórficos e sua granulometria varia de 0,5 mm a 2,5 mm predominando grãos com 1,5 mm. Comumente os grãos se dispõem suborientados (ANEXO 3, figura A3.2). Inclusões de opacos, apatita e plagioclásio em textura subofítica são recorrentes.

O clinofibólio apresenta pleocroísmo marrom-vermelho a amarelo típico de kaersutita. Os cristais aparecem subidiomórficos, mas predominantemente são xenomórficos com granulometria fina a média. Ocorrem sobrecrescidos e mantendo a augita, provavelmente substituindo-a. Alguns grãos formam oicocristais com cerca de 1 cm

englobando augita e plagioclásio (ANEXO 3, figura A3.2). Inclusões de opacos e apatita são comuns.

Plagioclásio subidiomórfico aparece como cristais tabulares, localmente granulares, com 0,5 mm a 2,5 mm. O teor médio de anortita, medido em grãos com geminação lei da albita, é An_{60} , sendo classificados como labradorita. A maioria dos cristais apresentam extinção ondulante e raramente observa-se inclusões de opacos e apatita.

Minerais opacos e apatita formam cristais subédricos a granulares de até 1 mm que fazem parte da assembleia cumulus. Por vezes, estão inclusos em clinopiroxênio e plagioclásio; alguns opacos ocorrem também de modo intersticial, também parte do intercumulus.

Com relação aos minerais de alteração, a uralita ocorre xenomórfica sobrecrecida a kaersutita e associada ao carbonato, a biotita tem tom avermelhado e também aparece sobrecrecida a kaersutita. O epidoto foi observado em um cristal de plagioclásio saussuritizado.

Na figura 6 foi proposta uma sequência de cristalização baseada nas observações texturais das lâminas petrográficas desta unidade. O plagioclásio, o piroxênio, opacos idiomórficos e apatita granular cristalizam-se inicialmente formando a fase cumulus, anfibólio poiquilítico e opacos xenomórficos compõem a fase intercumulus do gabro cumulático. Biotita, uralita e carbonato representam uma fase de alteração hidrotermal posterior.

Metagabro: Este litotipo é encontrado em xenólitos no álcali feldspato sienito coexistindo com todos os outros litotipos, na medida em que compõe a matriz de brecha que contém xenólitos de gabro cumulático, melassienito e kaersutita metadiabásio. Sua mineralogia é similar às variedades da unidade de gabro cumulático, porém com maior proporção de plagioclásio (rocha mesocrática), e textura granoblástica predominante. Esta textura fica bem evidente em grãos de plagioclásio recristalizados formando agregados granulares com contato reto comumente em 120° . A presença de grãos de augita muito fraturados e sobrecrecido por kaersutita e biotita também é marcante. Os megaxenólitos ao qual esta unidade está vinculada podem se classificados como agmatitos de matriz gábrica. Devido à transformação textural apresentada, preferiu-se utilizar o prefixo meta para descrever a matriz destas brechas.

Kaersutita metadiabásio: O kaersutita metadiabásio, assim como o gabro, aflora em xenólitos em sua maioria angulosos no álcali feldspato sienito na mesma região. Macroscopicamente apresenta estrutura maciça com textura equigranular fina, localmente porfírica com matriz fina e fenocristais de clinopiroxênio de até 2 cm.

Microscopicamente a rocha é holocristalino apresentando textura fanerítica inequigranular, por vezes porfírica; texturas subofítica, intergranular e glomeroporfírica

também são localmente encontradas. A granulometria varia de fina a média e pode apresentar macrocristais de clinopiroxênio ou plagioclásio. Usualmente nas amostras ricas em macrocristais euédricos a matriz é muito fina e nas amostras com menos macrocristais a matriz é fina a média e eles se apresentam xenomórficos com bordas de sobrecrecimento marcadas por inclusões de opacos e contatos interlobados com outros cristais (ANEXO 4, figura A4.3). Em geral a matriz da rocha é composta por plagioclásio granoblástico, agregados máficos são compostos por cristais de augita e kaersutita e bolsões glomeroporfíricos são de plagioclásio (ANEXO 4, figura A4.1), e podem corresponder a xenólitos.

Mineralogicamente, a rocha é composta em porcentagem de volume por: ~41% de plagioclásio, ~38% de clinofibólio, ~16% de clinopiroxênio, ~3% de opacos, ~1% de olivina, ~1,5% por minerais de alteração e apatita ocorre como traço (<1%). O índice de máficos é ~60. Os dados de porcentagem modal dos minerais estão resumidos na tabela 2.

O plagioclásio ocorre geralmente em textura granular (0,1 mm a 0,5 mm) esparsa na lâmina ou restrito a bolsões glomeroporfíricos subarredondados, nestes bolsões forma grãos maiores (0,3 mm a 0,7 mm). O contato entre os grãos é muitas vezes poligonizado com junções tripliques com ângulos em 120° (ANEXO 4, figura A4.1) e o teor médio de anortita, medido em grãos com geminação lei da albita, é An₅₃, classificados como labradorita.

Os cristais de clinopiroxênio se dispõem com formato granular anédrico ou subédrico de tamanho entre 0,1 mm a 0,2 mm esparsos na lâmina frequentemente apresentam lamelas de exsolução (ANEXO 4, figura A4.2), nos agregados os grãos tem entre 0,5 mm e 1 mm (ANEXO 4, figura A4.2) e quando ocorrem como macrocristais chegam a ter 3 mm (ANEXO 4, figura A4.5). Frequentes inclusões de opacos e apatita, por vezes, fornecem ao clinopiroxênio textura poiquilitica.

O clinofibólio corresponde a kaersutita devido ao pleocroísmo típico. Este mineral apresenta formas granulares, subidiomórficos ou xenomórficos e variam entre 0,1 mm e 0,2 mm. Quando estão xenomórficos aparecem mantendo e sobrecrecendo a augita. Inclusões de opacos e apatita são comuns e de clinopiroxênio são raras.

Em duas amostras foi registrada a presença de grãos subédricos de olivina com cerca de 0,2 mm a 1 mm. Os cristais ocorrem geralmente concentrados formando agregados junto ao clinopiroxênio (ANEXO 4, figura A4.4). A maioria das olivinas está substituída por iddingsita.

O prefixo “meta” para esta unidade se fundamenta nas texturas metamórficas observadas; como exemplo destas tem-se: grãos de plagioclásio com textura granoblástica na matriz e em bolsões subarredondados, porcentagem elevada de fibólio e os agregados granulares de augita.

Minerais opacos aparecem geralmente xenomórficos sobrecrecido a clinopiroxênio ou intersticiais com cristais que variam de 0,1 mm a 0,5 mm. Apatita ocorre prismática ou arredondada com 0,1 mm inclusa em augita e kaersutita. Como minerais de alteração ocorrem uralita, carbonato e iddingsita.

Na figura 7 foi proposta uma sequência de cristalização baseada nas observações texturais das lâminas petrográficas desta unidade. A predominância de plagioclásio e clinopiroxênio com lamelas de óxido de titânio, além da alta porcentagem de kaersutita e a presença de olivina refletem a cristalização de uma rocha com nítida filiação alcalina. A kaersutita se apresenta euédrica na fase magmática e sobrecrecida à augita na fase pós magmática. Apatitas ocorrem aciculares intersticiais e iddingsita e carbonato representam uma alteração hidrotermal posterior.

7.2. Relações de contato

As relações de contato entre os litotipos acima descritos evidenciadas nos afloramentos na região da Praia do Jabaquara são muito interessantes e podem ajudar a revelar ao menos uma fração do que é a complexa história evolutiva do setor norte da Ilha de São Sebastião. Estas feições foram registradas no costão a N da Praia do Jabaquara, correspondem aos pontos ISS004 e ISS007 do trabalho (Tabela 1); dadas as dimensões do afloramento e por fins organizacionais ele foi subdividido em setores. O ponto ISS004 contém os setores 1 e 2 e o ponto ISS007 contém os setores 2, 3 e 4, conforme exibido no detalhe da figura 4.

A feição mais evidente no local é uma brecha magmática. Segundo sugerido por Ulbrich (1986), uma brecha magmática que apresenta blocos angulosos a arredondados de rocha encaixante (gabro, kaersutita metadiabásio e melassienito) em matriz de rocha plutônica (álcali feldspato sienito) com os blocos compondo mais de 25% classificar-se-á como um agmatito.

Os fragmentos de gabro apresentam tamanho desde subcentimétrico até blocos quase decamétricos. Xenólitos menores (com até 50 cm) se apresentam subarredondados ou angulosos podendo ocorrer isolados ou agrupados em grandes quantidades (ANEXO 7, figura A7.3). Além disso, também são encontrados com formato sinuoso alongado e afunilado nas extremidades, normalmente adjacente a xenólitos maiores (ANEXO 6, figura A6.1). Os fragmentos maiores são angulosos, em sua maioria (ANEXO 6, figura A6.2). Sob o microscópio, os xenólitos menores apresentam formato subarredondado e tem contato abrupto com o sienito (ANEXO 5, figura A5.4).

O kaersutita metadiabásio ocorre em xenólitos grandes e pequenos (centimétricos a decamétricos) menos frequentes que o gabro. Em geral os fragmentos são angulosos ou subarredondados e formam, no setor 1, na região da amostra B, um padrão que se assemelha a um dique tabular rompido e mais acima pequenos fragmentos se dispõem em

Tabela 2: Porcentagem modal (%) dos principais litotipos das rocha na região da Praia do Jabaquara, setor norte da Ilha de São Sebastião.

Lâmina	feldspato alcalino	plagioclásio	clinopiroxênio	clinoanfíbólio	opaco	biotita	olivina	apatita	minerais de alteração	total	pontos	índice de cor	litotipo
ISS004 D 04	0.0	40.7	15.8	38.0	3.0	0.0	0.8	0.2	1.5	100.0	1517	59.3	kaersutita metadiabásio
ISS004 G 01	0.0	24.3	33.7	26.9	10.7	0.0	0.0	0.5	3.9	100.0	1507	75.7	melagabro
ISS004 L 01	91.5	0.0	3.9	0.0	0.8	0.7	0.0	0.2	2.8	100.0	1659	8.5	álcali feldspato sienito
ISS007 C 01	56.1	20.5	4.4	8.2	1.8	7.7	0.0	1.1	0.0	100.0	1577	23.4	melassienito

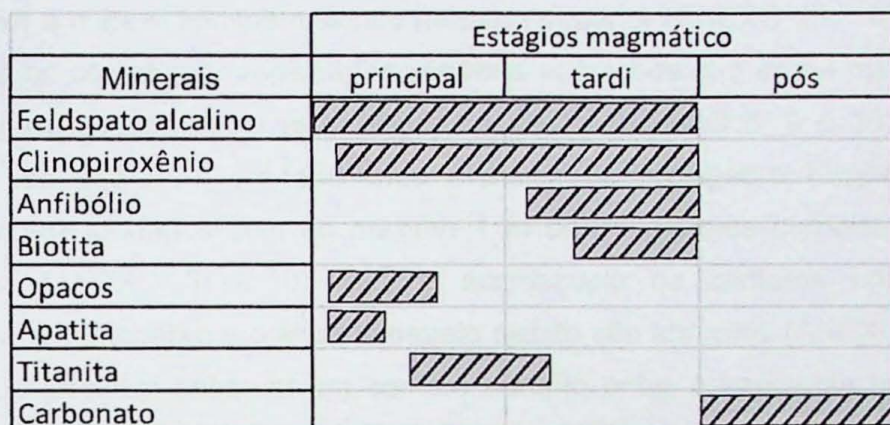


Figura 5: Sequência de cristalização mineral para o álcali feldspato sienito.

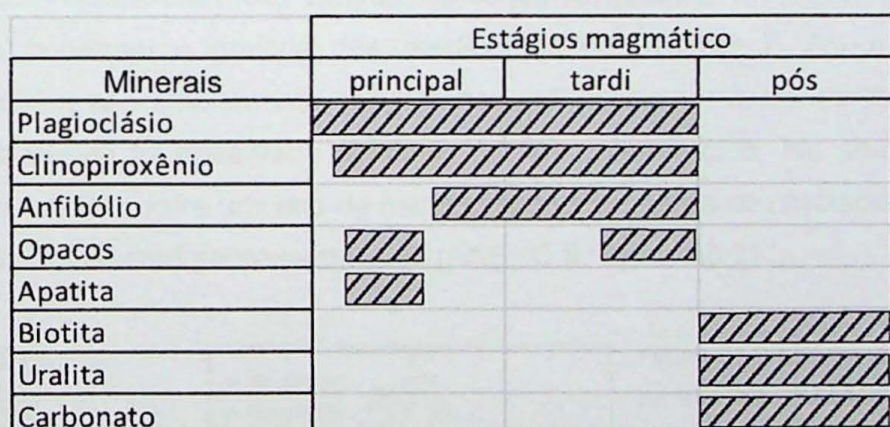


Figura 6: Sequência de cristalização mineral para o gabro cumulático.

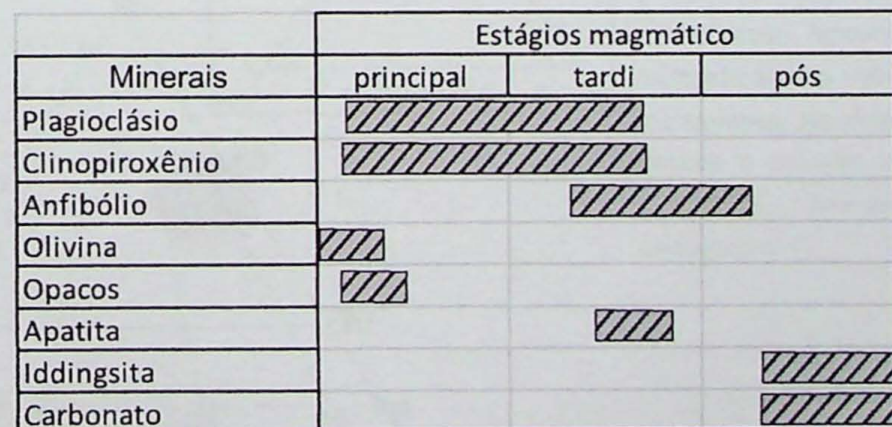


Figura 7: Sequência de cristalização mineral para o kaersutita metadiabásio.

forma concêntrica. Porém, pelos contatos e as texturas de reequilíbrio encontradas, entende-se que representem apenas fragmentos de megaxenólitos que se fraturaram paralelamente e que mantem proximidade com o xenólito maior.

O melassienito aflora nos setores 4 e 5 marcando um contato abrupto com o álcali feldspato sienito; a zona de contato tem orientação paralela à linha de costa e se estende por cerca de 10 m. A interface é bem marcada pela diferença de cor das rochas e por uma leve sobrelevação possivelmente decorrente do afinamento da granulometria nesta região. Um xenólito de granulometria mais fina foi observado na interface estando o melassienito na porção inferior e o álcali feldspato sienito na parte superior (ANEXO 9 e 10, figura 4). Ainda assim, acima do contato são registrados xenólitos angulosos (0,5 m a 4 m) de agmatitos de matriz gábrica (metagabro) no álcali feldspato sienito (ANEXO 8, 9 e 10). A maioria dos fragmentos são polilíticos, predominando a matriz de metagabro hospedando xenólitos angulosos a arredondados com no máximo 1 m de melagabros cumuláticos e kaersutita metadiabásio (ANEXO 8 e 10). Sob o microscópio os contatos entre o kaersutita metadiabásio, o metagabro e o álcali feldspato sienito são abruptos (ANEXO 5, figura A5.1). Além disso, é possível observar um contato abrupto entre o kaersutita metadiabásio e o kaersutita metadiabásio porfirítico (ANEXO 5, figura A5.3)

Veios e diques pegmatóides com composição sienítica foram registrados em todos os setores com espessura muito variada, de subcentimétrica a 1m (ANEXO 7, figura A7.1). Estes veios penetram a maioria dos megaxenólitos (ANEXO 7, figura A7.2). Vênulas aplíticas também são amplamente encontradas, intrusivas em todos os litotipos. No ponto ISS001 uma vênula foi observada cortando um veio pegmatóide. Na amostra ISS103A02 observa-se o contato entre um veio de microssienito com kaersutita metadiabásio e este por sua vez, em contato com gabro cumulático (ANEXO 5, figura A5.2).

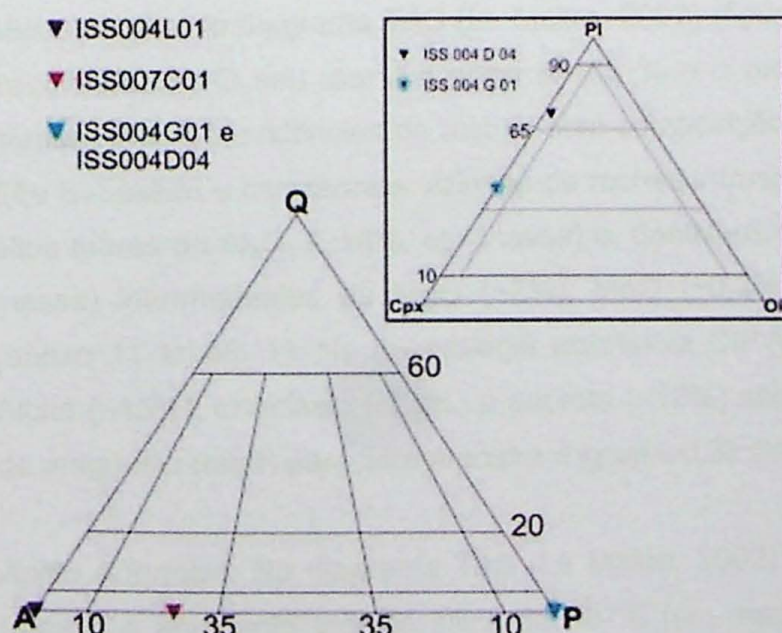


Figura 8: Diagrama de classificação QAP da I.U.G.S (Le Maitre, 2002) para os dados modais obtidos nos principais litotipos da região da Praia do Jabaquara (Norte da Ilha de São Sebastião). Classificação: Amostra ISS004L01 - álcali feldspato sienito ; Amostra ISS007C01 - melassienito; No diagrama PI-Cpx-Ol em detalhe a amostra ISS004G01 - Gabro cumulático; Amostra ISS004D04 - Leucogabro.

8. CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA

A seguir são apresentadas as considerações a cerca das amostras analisadas por geoquímica de rocha-total para os litotipos da região da Praia do Jabaquara, no stock sienítico de Serraria, setor norte da Ilha de São Sebastião. Os dados analíticos obtidos por FRX para elementos maiores, menores e alguns traços, além da mineralogia normativa CIPW, constam no anexo 11 - tabela 1. Os dados analíticos obtidos por ICP-MS de elementos-traço e elementos terras-raras constam no anexo 11 - tabela 2. Um resumo da mineralogia normativa CIPW e dos índices de diferenciação magmática (mg#, I.D., I.A.) obtidos para as amostras analisadas estão apresentados na tabela 3.

Álcali feldspato sienito: Esta variedade classifica-se como traquito no diagrama TAS (Le Maitre, 2002) (figura 9). O seu teor em sílica varia entre 60% e 65% e o teor de álcalis entre 12% e 14% (em massa). Uma amostra que foi coletada em um local mais distante da Praia do Jabaquara, próximo a Ponta das Canas, plota no campo do tefrifonólito. Ela apresenta teor de sílica próximo de 55% (em massa) e teor de álcalis semelhante ao das outras amostras. Apenas algumas amostras coincidem com dados obtidos da literatura para rochas sienítica da Ilha Monte de Trigo (Enrich, 2005) e Ilha dos Búzios (Alves, 1995). A maior parte preenche uma região sem dados prévios para as rochas da Ilha de São Sebastião e ocorrências alcalinas adjacentes, sugerindo que estas variedades não haviam sido contempladas em trabalhos anteriores (figura 10). O teor de Al_2O_3 nessas amostras é elevado, ~18% (em massa), já os teores (em massa) de Fe_2O_{3T} (~3%), TiO_2 (~1%), MnO (~0,2%), MgO (~0,6%), CaO (~2%) e P_2O_5 (~0,2%) são baixos (anexo 11 tabela 1). Na mineralogia normativa CIPW destacam-se os minerais: albita (~50%), ortoclásio (~38%), diopsídio (~3%) e nefelina (~2%). O número de magnésio (mg#) para estas amostras varia entre 0,13 e 0,33. (tabela 3).

Melassienito: No diagrama TAS (Le Maitre, 2002) (figura 9) esta unidade classifica-se como traquiandesito. O seu teor em sílica é ~56 % e o teor de álcalis é próximo de 10% (em massa). Não há evidências de rochas com composição parecida na literatura para a Ilha de São Sebastião e ocorrências vizinhas de rochas intrusivas (figura 10). Esta rocha apresenta altos teores de Al_2O_3 (~18%, em massa) e, dentre os outros litotipos, apresenta teores (em massa) intermediários de MgO (~2%), MnO (~0,2%), TiO_2 (~1,78%) e Fe_2O_{3T} (~3,5%) (anexo 11 tabela 1). Na mineralogia normativa CIPW os minerais mais abundantes são: Albita (~45%), ortoclásio (~23%) e anortita (~12%) seguido de 3,7% de nefelina. O número de magnésio (mg#) para esta amostra é igual a 0,37 (tabela 3).

Aplito e fonólito: No diagrama TAS (Le Maitre, 2002) (figura 9) o aplito classifica-se como traquito e apresenta teor de sílica de ~67% (em massa), o mais elevado dentre todas as

amostras. O teor de álcalis é semelhante ao do álcali feldspato sienito (~13%, em massa). No diagrama TAS estes dados coincidem com alguns obtidos para sienitos da Ilha dos Búzios por Alves (1997) (figura 10). A mineralogia normativa CIPW principal contém albita (~51%), ortoclásio (~36%) e é a única que possui quartzo (~5%). O número de magnésio (mg#) para estas amostras varia entre 0,05 e 0,08 (tabela 3). O fonolito tem classificação química homônima à classificação petrográfica no diagrama TAS (Le Maitre, 2002) (figura 9). A única amostra deste tipo analisa plota isoladamente às outras sieníticas, tendo teor de álcalis mais elevado de todos (~15%, em massa), o teor de sílica fica próximo de 60%, em massa (figura 10). A mineralogia normativa CIPW predominante é: Ortoclásio (~37%), albita (~21%), nefelina (~20%) e diopsídio (~5%), entre todas as amostras esta tem o maior valor de nefelina normativa. Em contrapartida ela apresenta valor de número de magnésio (mg#) igual a 0,05, praticamente o mais baixo de todos (tabela 3).

Kaersutita metadiabásio: Das duas amostras analisadas, uma classifica-se como basanita e outra como traquibasalto no diagrama TAS (Le Maitre, 2002) (figura 9). O teor de sílica para estas rochas é cerca de 46% (em massa) e de álcalis entre 5% e 6% (em massa). Estas rochas plotam no TAS junto às ocorrências de gabros cumuláticos de Ponta das Canas (Lima 2001) (figura 10). Além disso, são registrados altos teores (em massa) de Al_2O_3 (~16%), CaO (~11%), $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$ (~5%), MgO (~5%), TiO_2 (~3%) e P_2O_5 (~1%) (anexo 11 tabela 1). A mineralogia normativa CIPW é composta principalmente por albita e anortita representando ~22% da amostra cada mineral; em menor quantidade ocorrem diopsídio (~18%), ortoclásio (~13%), olivina (~6%) e nefelina (~4%). O número de magnésio (mg#) para as duas amostra é igual a 0,42 (tabela 3).

Gabro cumulático: Esta unidade classifica-se no diagrama TAS (Le Maitre, 2002) como basalto e picro-basalto, uma amostra cai no campo do foidito. O teor de sílica nessas amostras varia de ~39% a ~46% e o teor de álcalis varia de ~2% a ~5% (em massa) (figura 9). Estas amostras coincidem com composições de gabros encontrados na Ilha Monte de Trigo por Enrich (2005) e de gabros cumuláticos da Praia da Armação (Lima, 2001) (figura 10). Em geral estas amostras apresentam teores de Al_2O_3 mais baixos que a maioria (~14%, em massa), já os teores de CaO (~14%), $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$ (~5%), MgO (~8%), TiO_2 (~3%) e P_2O_5 (~1%) (em massa) são maiores que o das outras unidades (anexo 11 tabela 1). A mineralogia normativa CIPW é composta principalmente por: Diopsídio (~31%), anortita (~25%), olivina (~10%); apenas uma amostra (ISS004F01) contém albita em maior quantidade (~20%) e outra (ISS004G02) tem leucita normativa (~4%). O número de magnésio (mg#) para esta unidade é cerca de 0,5, o mais alto dentre as outras unidades (tabela 3).

Tabela 3: Valores para o número de magnésio (#mg), índice agpático (I.A), índice de diferenciação (I.D), índice de cor (I.C), indicação da mineralogia normativa em ordem decrescente e principais elementos traços presentes nas amostras da região da Praia do Jabaquara analisadas por FRX.

amostra	classificação Petrográfica	mg#	I.A.	I.D.	I.C.	saturação em sílica	mineralogia normativa	elementos traços mais abundantes 100 ppm
ISS001 A 02	álcali feldspato sienito	0.22	0.97	89.86	7.86	ne (2,7)	Ab,Or,Di,Mt,Ne,Il,N a,Hm,Ap,Wo	Ba,Sr,Zr,Cl,F
ISS001 A 03	álcali feldspato sienito	0.2	0.97	89.66	7.77	ne (2,3)	Ab,Or,Di,Mt,Il,An,W o,Hm,Ap	Ba,Sr,Zr,Cl,F,S
ISS002 A 01	álcali feldspato sienito	0.22	0.93	86.56	9.46	ne (1,1)	Ab,Or,Mt,Di,An,Il,N e,Ap,Hm,Ol	Ba,Ce,Sr,Zn,Zr,Cl,F, S
ISS004 C 01	álcali feldspato sienito	0.23	0.50	38.30	36.13	ne (1,2)	Ab,Or,Di,Mt,Il,Ne,A p,Ac	Ba,Ce,Sr,Zr,Cl,F,S
ISS004 C 03	álcali feldspato sienito	0.21	0.38	29.25	42.02	ne (2,0)	Ab,Or,Di,Mt,Ne,Il,Ac Ap	Ba,Ce,Sr,Zr,Cl,F,S
ISS004 J 01	álcali feldspato sienito	0.19	1.00	91.34	7.30	ne (0,8)	Ab,Or,Mt,Di,Il,Ne,Ac Ap	Ba,Sr,Zr,Cl,F,S
ISS005 B 01	álcali feldspato sienito	0.33	1.00	91.10	7.15	ne (9,2)	Ab,Or,Ne,An,Di,Mt,I l,Ap,Ol	Ba,Ce,Nb,Rb,Sr,Zr,Cl F,S
ISS007 E 01	álcali feldspato sienito	0.14	1.03	88.22	10.28	ne (1,7)	Ab,Or,Di,Mt,Ac,Ne,Il Ap	Ce,Rb,Zr,Cl,F,S
ISS007 E 02	álcali feldspato sienito	0.13	1.01	89.38	8.64	ne (1,0)	Ab,Or,Mt,Di,Il,Ac,Ne Ap	Ce,Rb,Zn,Zr,Cl,F,S
ISS007 H 01	álcali feldspato sienito	0.14	1.02	89.47	9.16	ne (1,6)	Ab,Or,Mt,Di,Il,Ne,A p,Ac	Ba,Ce,Rb,Zn,Zr,Cl,F, S
ISS001 B 01	aplito	0.08	1.05	91.50	8.39	q (4,6)	Ab,Or,Q,Ac,Di,Mt,Il, Ap,Wo	Ba,Ce,La,Nb,Nd,Rb,Y Zn,Zr,Cl,F,S
ISS001 B 02	aplito	0.05	1.06	91.91	8.02	q (5,1)	Ab,Or,Q,Ac,Di,Il,Mt, Ac,Hy	Ba,Ce,La,Nb,Nd,Rb,Y Zr,Cl,F,S
ISS003 A 01	fonolito	0.05	1.11	85.05	14.57	ne (20,8)	Or,Ab,Ne,Ac,Di,Il,Ol Ns,Ac	Ce,La,Nb,Rb,Zn,Zr,Cl F,S
ISS004 B 01	kaersutita metadiábasio	0.42	0.48	38.85	35.88	ne (2,9)	An,Ab,Di,Or,Mt,Ol,Il Ne,Ap	Ba,Ce,Sr,V,Zn,Zr,Cl, F,S
ISS004 H 01	kaersutita metadiábasio	0.42	0.41	20.77	55.67	ne (5,3)	An,Ab,Di,Or,Mt,Ol,Il Ne,Ap	Ba,Ce,Cu,Sr,V,Zn,Zr, C,F,S
ISS004 F 01	gabro cumulático	0.5	0.26	29.19	41.95	ne (4,1)	An,Di,Ab,Ol,Mt,Il,Or Ne,Ap	Ba,Sr,V,Zr,Cl,F,S
ISS004 G 02	gabro cumulático	0.45	0.41	20.80	55.57	ne (6,8)	Di,An,Ol,Mt,Il,Ne,Lc Cs,Ap	Ba,Sr,V,Zn,Zr,Cl,F,S
ISS005 C 04	gabro cumulático	0.59	1.01	91.87	6.28	ne (10,0)	Di,An,Ne,Or,Ol,Mt,Il Ap,Ab	Ba,Cr,Ni,Sr,V,Zr,Cl,F, S
ISS007 C 01	melassienito	0.37	0.77	71.32	15.79	ne (3,7)	Ab,Or,An,Di,Mt,Ne,I l,Ol,Ap	Ba,Ce,Sr,Zn,Zr,Cl,F, S

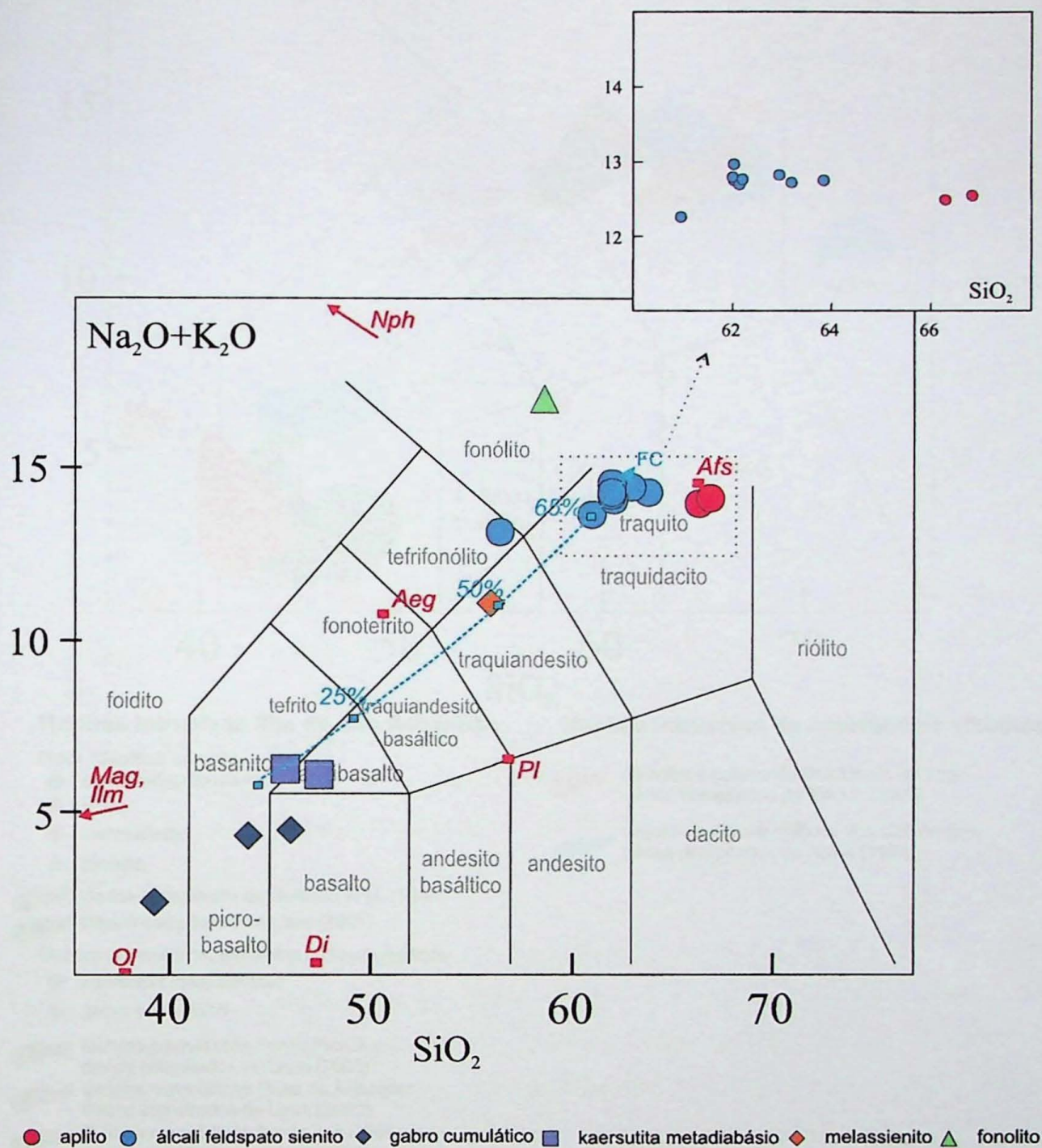
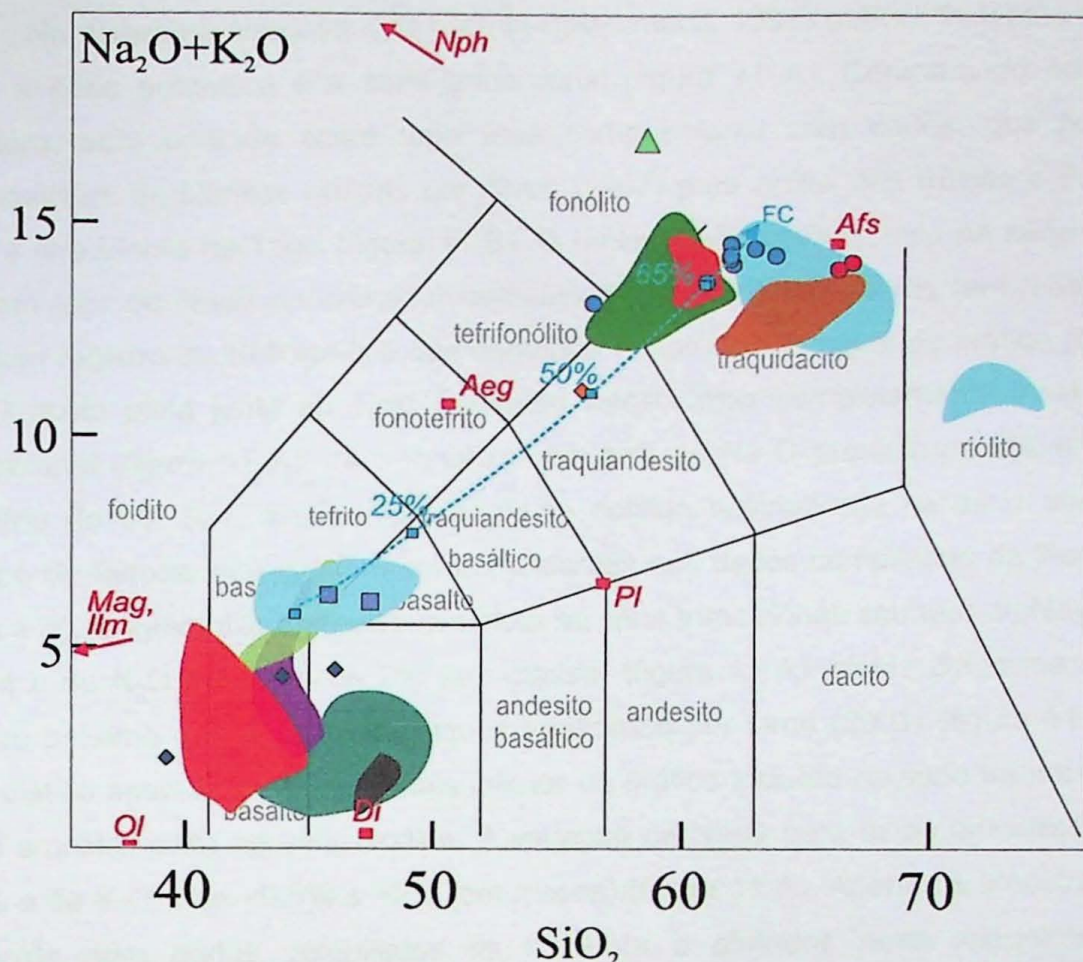


Figura 9. Diagrama TAS (Total de Álcis vs Sílica, em % de peso - recalculados para base anidra) de classificação das rochas ígneas segundo a IUGS (Le Maitre, 2002), aplicado para rochas da região da Praia do Jabaquara, setor norte do Complexo Alcalino da Ilha de São Sebastião (SP). A linha azul representa este modelo proposto de cristalização fracionada feito utilizando o algoritmo MELTS para cálculo do líquido inicial calculado com base na composição de um basanita. Os números na linha representam a porcentagem de cristalização fracionada da fase sólida no sistema. As condições iniciais inferidas para esse modelo são: T_{inicial} ~1200°C, P=1 kbar, fO₂=QFM. Os retângulos vermelhos representam campos de estabilidade mineral. krs - kaersutita, fsp - grupo dos feldspatos, ol - olivina, bt - biotita, pl - plagioclásio.



Rochas Intrusivas Ilha de São Sebastião

Stock Sienítico Serraria

- álcali feldspato sienito
- aplito
- melassienito
- ▲ fonólito

● Dados compilados de Belliene et al. (1990)

● Dados compilados de Lima (2001)

Gabros cumuláticos, diabásios e diques máficos

- kaersutita metadiabásio
- ◆ gabro cumulático

● Gabros cumuláticos Ponta Pacuíba:
dados compilados de Lima (2001)

● Gabros cumuláticos Praia da Armação:
dados compilados de Lima (2001)

● Gabros cumuláticos Ponta das Canas:
dados compilados de Lima (2001)

● Gabros cumuláticos Ponta das Canas:
dados compilados de Lima (2001)

Suite de Diques

● Dados compilados de Belliene et al. (1990)

● Dados compilados de Lima (2001)

Rochas Intrusivas de ocorrências vizinhas

● Sienitos e gabros da Ilha Monte de Trigo:
dados compilados de Enrich (2005)

● Sienitos e diques máficos Ilha dos Búzios:
dados compilados de Alves (1997)

Figura 10. Diagrama TAS (Total de Álcis vs Sílica, em % de peso - recalculados para base anidra) de classificação das rochas ígneas segundo a IUGS (Le Maitre, 2002), aplicado para rochas da região da Praia do Jabaquara, setor norte do Complexo Alcalino da Ilha de São Sebastião (SP). Para comparação, são também plotados dados compilados da literatura. A linha azul representa este modelo proposto de cristalização fracionada feito utilizando o algoritmo MELTS para cálculo do líquido inicial calculado com base na composição de um basanita. Os números na linha representam a porcentagem de cristalização fracionada da fase sólida no sistema. As condições iniciais inferidas para esse modelo são: $T_{inicial} \sim 1200^{\circ}\text{C}$, $P=1$ kbar, $fO_2=QFM$. Os retângulos vermelhos representam campos de estabilidade mineral. krs - kaersutita, fsp - grupo dos feldspatos, ol - olivina, bt - biotita, pl - plagioclásio.

No diagrama Na_2O vs K_2O (Comin-Chiaramonti, 1997) o álcali feldspato sienito plota entre a série potássica e a série transicional (figura 11 A). Comparando aos dados da literatura, esta unidade cobre uma área composicional sem dados, que fica entre as composições de sienitos obtidas por Alves (1997) para a Ilha dos Búzios e Enrich (2005) para a Ilha Monte de Trigo (figura 11 B). O melassienito plota isolado na série transicional, ele tem teor de Na_2O aproximadamente 6% e de K_2O cerca de 4% (em massa). Não há nenhum registro de bibliográfico que contenha dados nessa região do gráfico (figura 11 A e B). O aplito plota junto ao álcali feldspato sienito, mas completamente inserido na série transicional (figura 11 A). Já o fonolito, com teor de Na_2O próximo de 9% e teor de K_2O próximo de 6% (em massa), apresenta-se contido inteiramente na série sódica. Para o campo do fonolito não existem correspondentes nos dados compilados da literatura (figura 11 A e B). O kaersutita metadiabásio plota na série transicional, seu teor de Na_2O é cerca de 3% e o de K_2O por volta de 2% (em massa) (figura 11 A). Neste diagrama esta unidade ocorre próxima a uma suíte de diques analisados por Lima (2001) (figura 11 B). O gabro cumulático aparece na porção mais inferior do gráfico incluído na série transicional, apenas uma amostra plota na série sódica. A variação de Na_2O para estas amostras é de ~1% a ~3% e de K_2O é de ~0,5% a ~2% (em massa) (figura 11 A). Apenas a amostra ISS004G02 coincide com dados compilados da literatura e plotados neste diagrama; os dados coincidentes são os de Lima (2001) para os gabros cumuláticos da Ponta da Pacuíba e os de Enrich (2005) para os gabros da Ilha monte de Trigo (figura 11 B).

O diagrama de índices normativos de diferenciação (ID) por índice de cor (IC) apresenta uma correlação negativa para os álcali feldspato sienitos que apresentam intervalo de IC entre ~6 a 10% e de ID ~92% a 78% (figura 12 A). Uma tendência similar é observada nos sienitos da Ilha dos Búzios analisados por Alves (1997). A amostra ISS005B01 plota isoladamente às outras; com IC ~14% e ID~78%, ela coincide aproximadamente com as amostras de sienito da Ponta da Pacuíba analisada por Lima (2001) (figura 12 B). O melassienito plota relativamente próximo à amostra ISS005B01 com IC~16% e ID~71% (figura 12 A). Não há registros na bibliografia de outras amostras na região da Ilha de São Sebastião e ocorrências adjacentes que tenham composição similar a do melassienito (figura 12 B). O aplito plota nas proximidades do álcali feldspato sienito seu ID é um pouco mais alto que a maioria, por volta de 92% e seu IC ~8% (figura 12 A). O fonolito tem IC semelhante ao da amostra ISS005B01 (IC~14%) e ID intermediário entre essa amostra e as outras de álcali feldspato sienito, sendo seu ID próximo a 87% (figura 12 A). Ambas as amostras coincidem os índices obtidos por Alves (1997) para amostras da Ilha dos Búzios (figura 12 B). As amostras de kaersutita metadiabásio plotam muito próximas neste diagrama, o valor do IC é ~38% e o ID ~36% (figura 12 A). Os dados obtidos para gabros cumuláticos da Ponta das Canas por Lima (2001) coincidem com os obtidos para

estas amostras. A unidade gabro cumulático apresenta correlação negativa, partindo da amostra com índices IC~40% e ID~30% e seguindo até a amostra com IC~62% e ID~8% (figura 12 A). A amostra com maior ID e menor IC coincide com os dados de Lima (2001) para os gabros cumulático da Ponta das Canas e a amostra com maior ID e IC coincide com dados obtidos por Lima (2001) para gabros cumuláticos da Ponta da Pacuíba e dados de Enrich (2005) para os gabros da Ilha Monte de Trigo (figura 12 B)

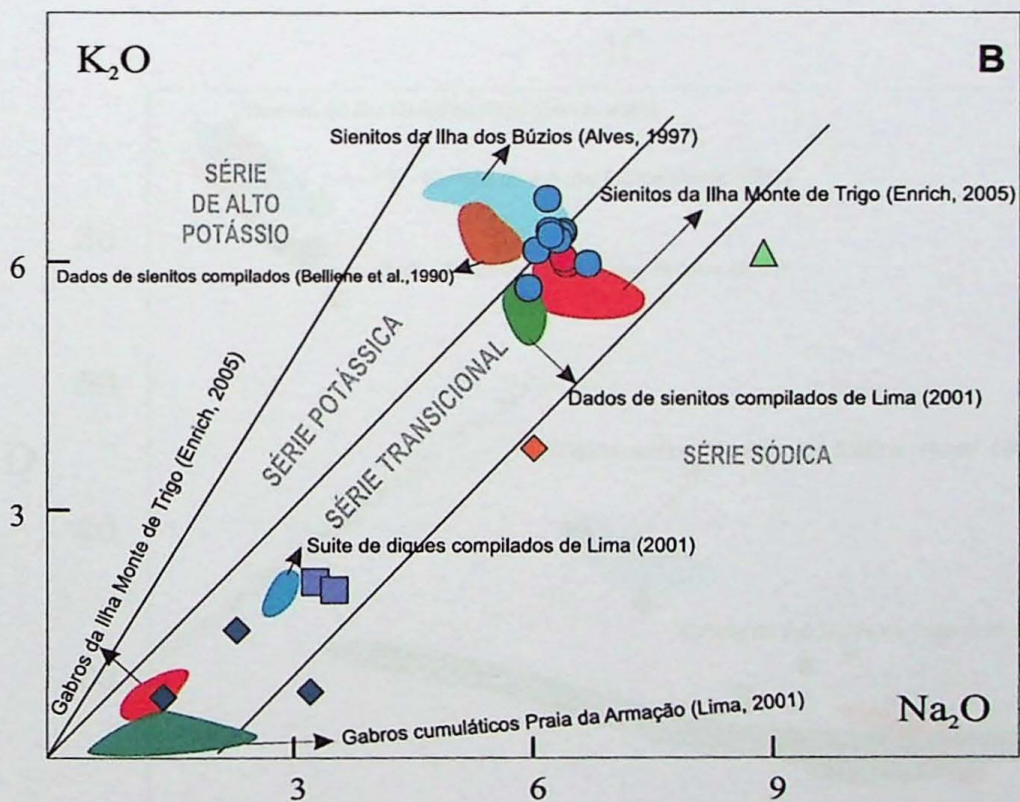
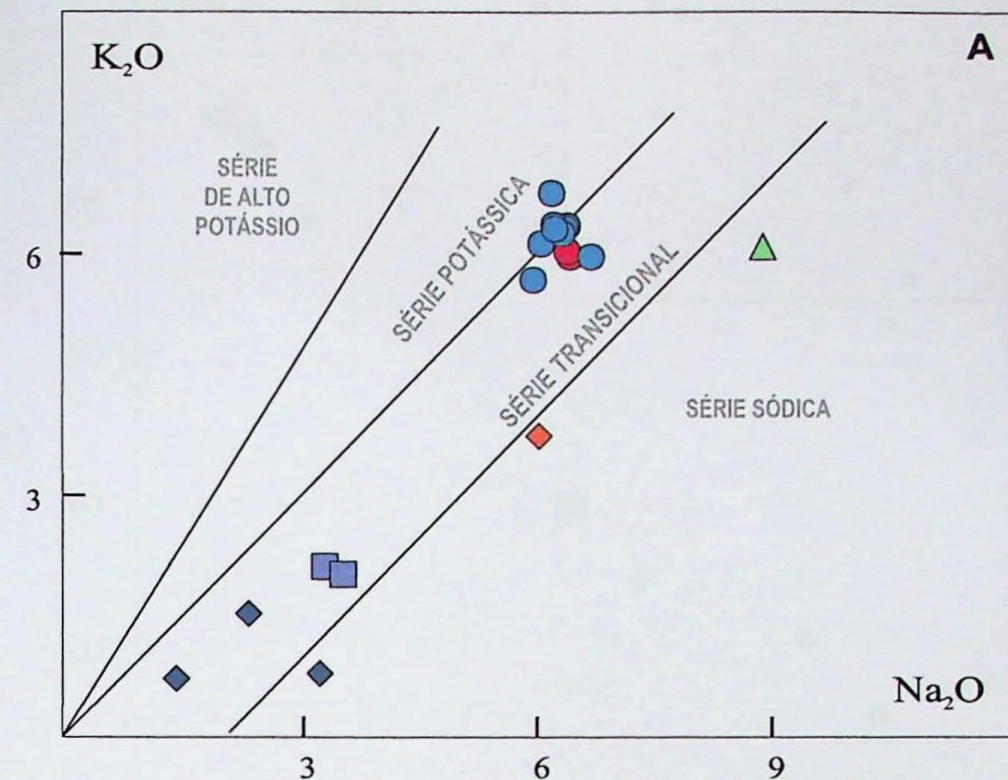
Nos diagramas bivariantes de mg# por elementos maiores e menores nota-se, para o álcali feldspato sienito, uma correlação positiva nos diagramas por Al_2O_3 e MgO e negativa para Na_2O , SiO_2 e K_2O . Para os diagramas por MnO e FeO_T não há um padrão definido da distribuição das amostras. Além disso, em todos os diagramas, exceto no de MnO, ocorre uma separação das amostras em três grupos, o primeiro contém três amostras com valor do mg# em ~12% (em massa), o segundo tem 6 amostras e o valor do mg# ~20% (em massa), o terceiro grupo tem apenas uma amostra com valor do mg# ~33% (em massa) (figura 13). Pelos diagramas, nota-se que os aplitos apresentam maior saturação em sílica que as outras unidades e possuem os menores teores de MgO e P_2O_5 . O fonolito tem comportamento semelhante ao do aplito para MgO e P_2O_5 , mas possui enriquecimento em Al_2O_3 e Na_2O (figura 13). O melassienito, em todos os diagramas, ocorre com comportamento intermediário à correlação geral apresentada pelas amostras como um todo. O maior enriquecimento que demonstra é em Al_2O_3 (figura 13). As amostra de kaersutita metadiabásio tem valores praticamente iguais de mg# (~41%, em massa) e os teores de FeO_T , MgO, K_2O , Na_2O e Al_2O_3 são muito parecidos. No diagrama de MnO e SiO_2 nota-se uma leve diferença no teor das amostras e a maior discrepância ocorre no diagrama por P_2O_5 (figura 13), provavelmente relacionado a algum fracionamento de apatita. O gabro cumulático apresenta certa correlação positiva para o diagrama de P_2O_5 e K_2O , mas em geral há uma dispersão de dados. As amostras apresentam enriquecimento em FeO_T e MgO e baixos teores de Na_2O e K_2O (figura 13).

Os diagramas bivariantes de mg# por elementos-traço mostram que algumas amostras de álcali feldspato sienito com mg# ~20% (em massa) têm enriquecimento em até 2000 ppm de bário e de até 1200 ppm de zircônio. A amostra ISS005B01 (mg# ~33%) tem enriquecimento em bário de cerca de 1800 ppm e de 900 ppm em estrôncio (figura 14). A amostra ISS005B01 (mg# ~33%) tem enriquecimento em bário de cerca de 1800 ppm e de 900 ppm em estrôncio (figura 14). As amostras de aplito apresentam enriquecimento em Cério de até 600 ppm, em zircônio de 1000 ppm, em nióbio de 250 ppm e em ítrio de 170 ppm. O fonolito tem enriquecimento de aproximadamente 300 ppm em nióbio e 1200 ppm em zircônio (figura 14). O melassienito tem enriquecimento em bário e estrôncio de 2300 ppm e 1300 ppm, respectivamente (figura 14). O kaersutita metadiabásio, assim como o melassienito, tem enriquecimento em bário e estrôncio. Uma amostra tem cerca de 1000 ppm de bário e outra cerca de 1600 ppm, já de estrôncio uma amostra tem 900 ppm e outra

1500 ppm (figura 14). O gabro cumulático apresenta enriquecimento apenas em estrôncio sendo que duas amostras tem cerca de 700 ppm e outra aproximadamente 1000 ppm (figura 14).

No diagrama de elementos terras-raras normalizados em relação ao condrito (Sun e McDonough, 1995) as amostras de álcali feldspato sienito apresentam enriquecimento de 300 vezes em relação a este reservatório e tendência retilínea, com enriquecimento em ETR leves em relação aos pesados. Além disso, exibem uma anomalia negativa de Eu. Fora esta anomalia observada, existe uma sobreposição destes dados com os de sienitos obtidos por Alves (1997) para a Ilha dos Búzios (figura 15). As amostras de kaersutita metadiabásio apresentam enriquecimento de 350 e 400 vezes em relação ao condrito e tem enriquecimento em ETR leves em relação aos pesados com uma tendência retilínea (figura 15). O melassienito apresenta enriquecimento intermediário entre as amostras de kaersutita metadiabásio e também apresenta enriquecimento de ETR leves em relação aos pesados com uma tendência retilínea. A amostra também exibe uma leve anomalia em Eu (figura 15). As amostras de gabro cumulático tem enriquecimento de 100 vezes em relação ao condrito com uma tendência retilínea e enriquecimento de terras raras leves em relação aos pesados. Nota-se também uma anomalia positiva de Eu em uma das amostras (figura 15).

O diagrama multielementar para elementos-traço normalizado segundo o manto primitivo (Sun e McDonough, 1995) mostra que o álcali feldspato sienito tem enriquecimento de 30 vezes em relação a este reservatório e possui anomalias negativas de bário e estrôncio. Os dados obtidos para sienitos da Ilha dos Búzios por Alves (1997) aparentam ter comportamento similar aos obtidos neste trabalho (figura 16). O melassienito apresenta também enriquecimento de 30 vezes e tem anomalia positiva de bário (figura 16). O kaersutita metadiabásio tem enriquecimento variável entre 20 e 35 vezes em relação ao manto primitivo. Ambas demonstram ter anomalia positiva de bário e negativa de chumbo (figura 16). O gabro cumulático tem enriquecimento de 15 vezes em relação ao manto primitivo e, assim como o kaersutita metadiabásio, apresenta anomalia positiva de bário e negativa de chumbo (figura 16).



● aplito ● álcali feldspato sienito ◆ gabro cumulático ■ kaersutita metadiabásio ◆ melassienito ▲ fonolito

Figura 11. A) e B) Diagrama Na_2O vs K_2O com os campos das séries de alto potássio, potássica, transicional e sódica de Comin-Chiaramonti *et al.* (1997) aplicado para rochas da região da Praia do Jabaquara, setor norte do Complexo Alcalino da Ilha de São Sebastião (SP). B) Para comparação, são também plotados dados compilados da literatura.

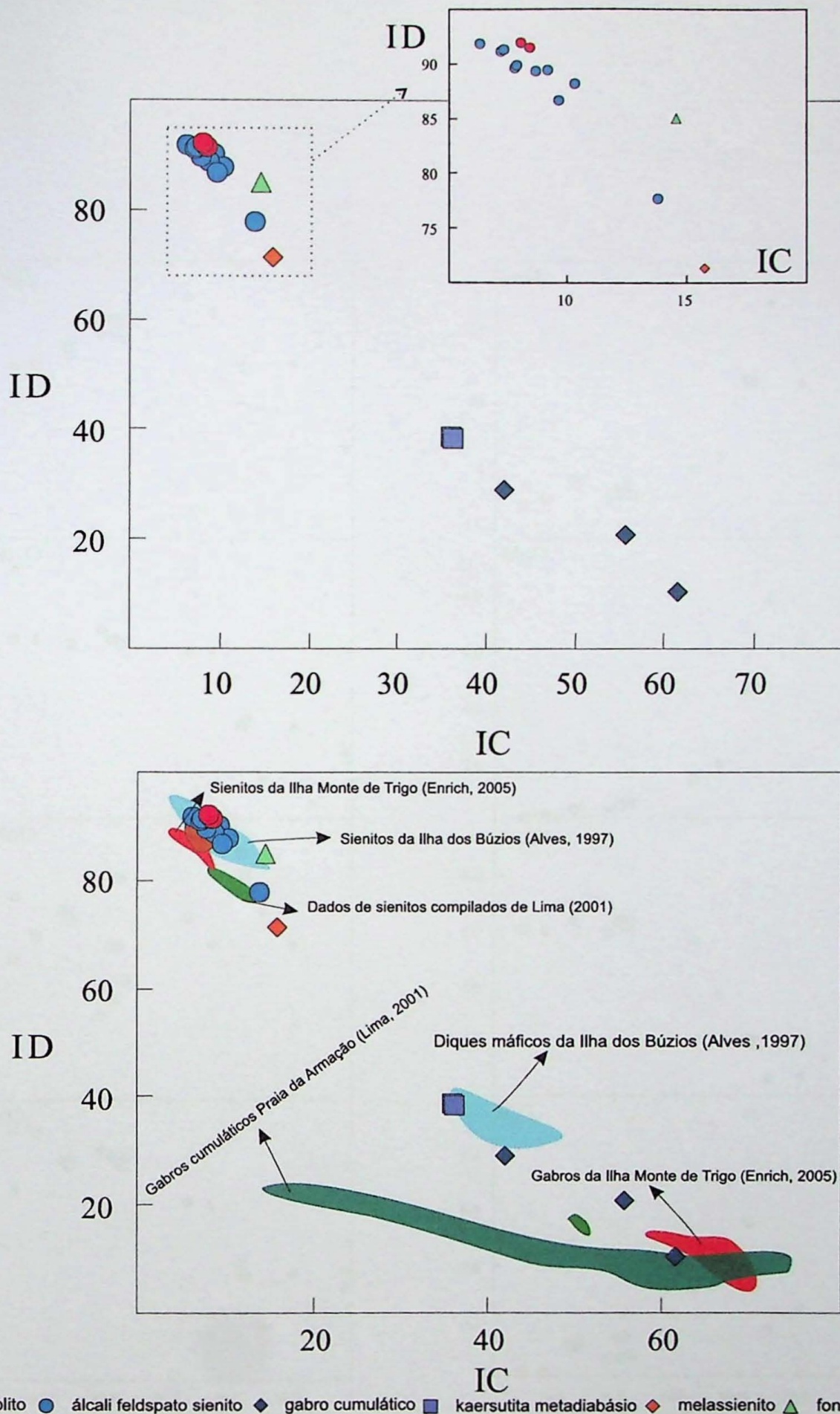


Figura 12. A) e B) Índices normativos ID (índice de diferenciação: $ne + q + or + ab + lc + ks$) vs IC (índice de cor: $di + hy + ol + mt + hm + ilm + ac$) aplicado para rochas da região da Praia do Jabaquara, setor norte do Complexo Alcalino da Ilha de São Sebastião (SP). B) Para comparação, são também plotados dados compilados da literatura.

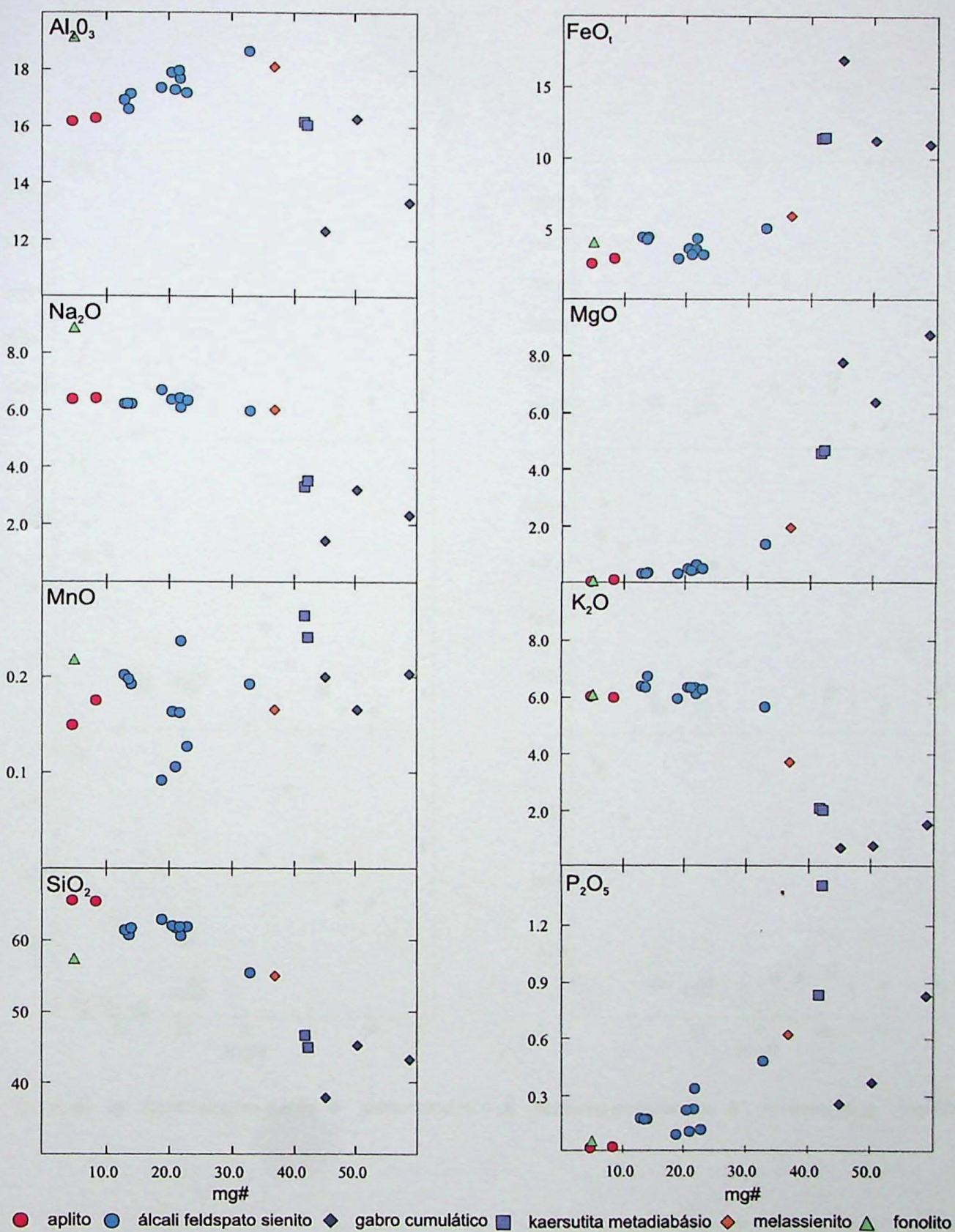


Figura 13. Diagramas $mg\#$ ($MgO \cdot 100 / (MgO + FeO_t)$) vs elementos maiores e menores (% em peso) aplicado para rochas da região da Praia do Jabaquara, setor norte do Complexo Alcalino da Ilha de São Sebastião (SP).

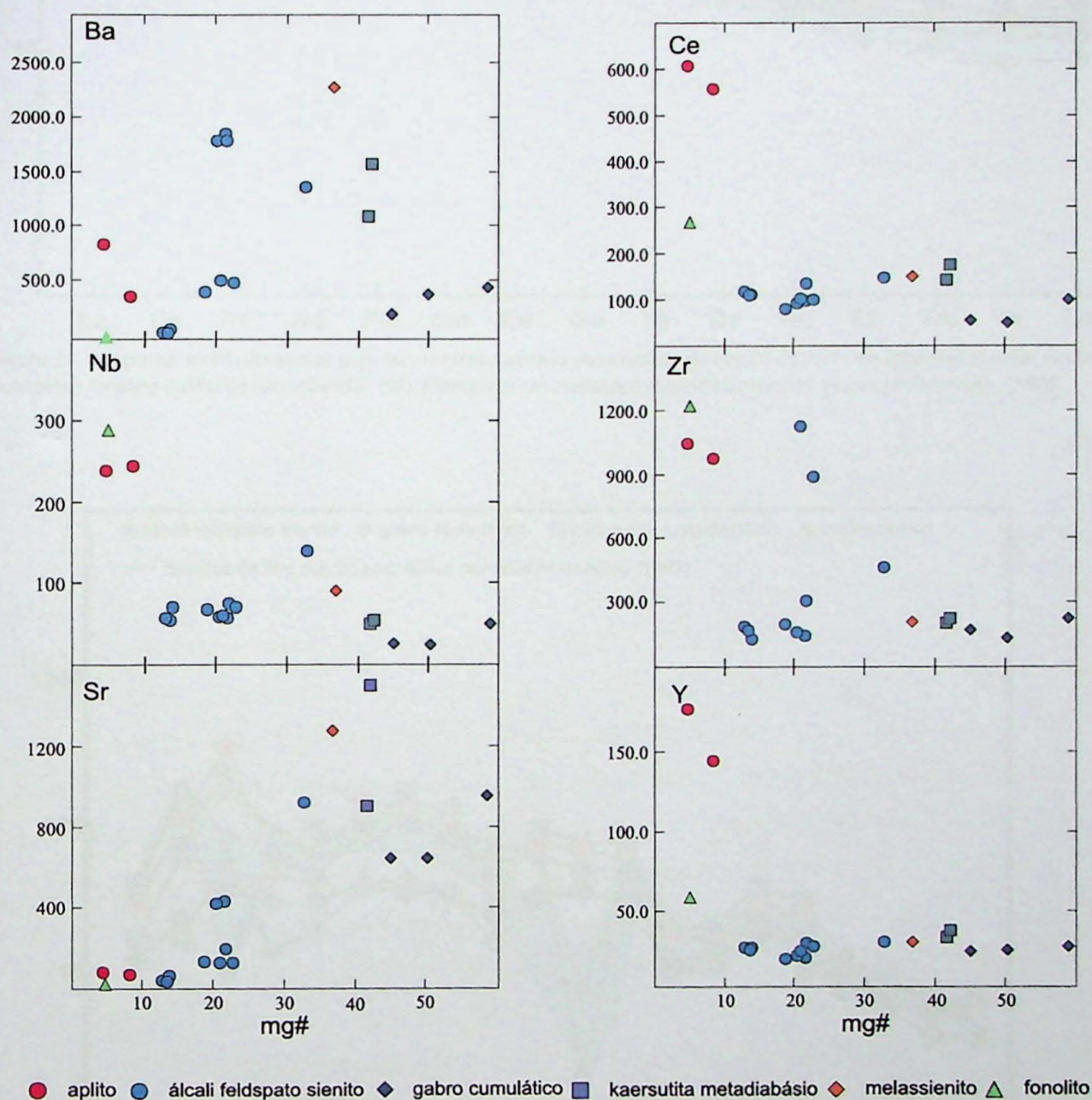


Figura 14. Diagramas mg# ($\text{MgO} \cdot 100 / (\text{MgO} + \text{FeO}_x)$) vs elementos traços (ppm) aplicado para rochas da região da Praia do Jabaquara, setor norte do Complexo Alcalino da Ilha de São Sebastião (SP).

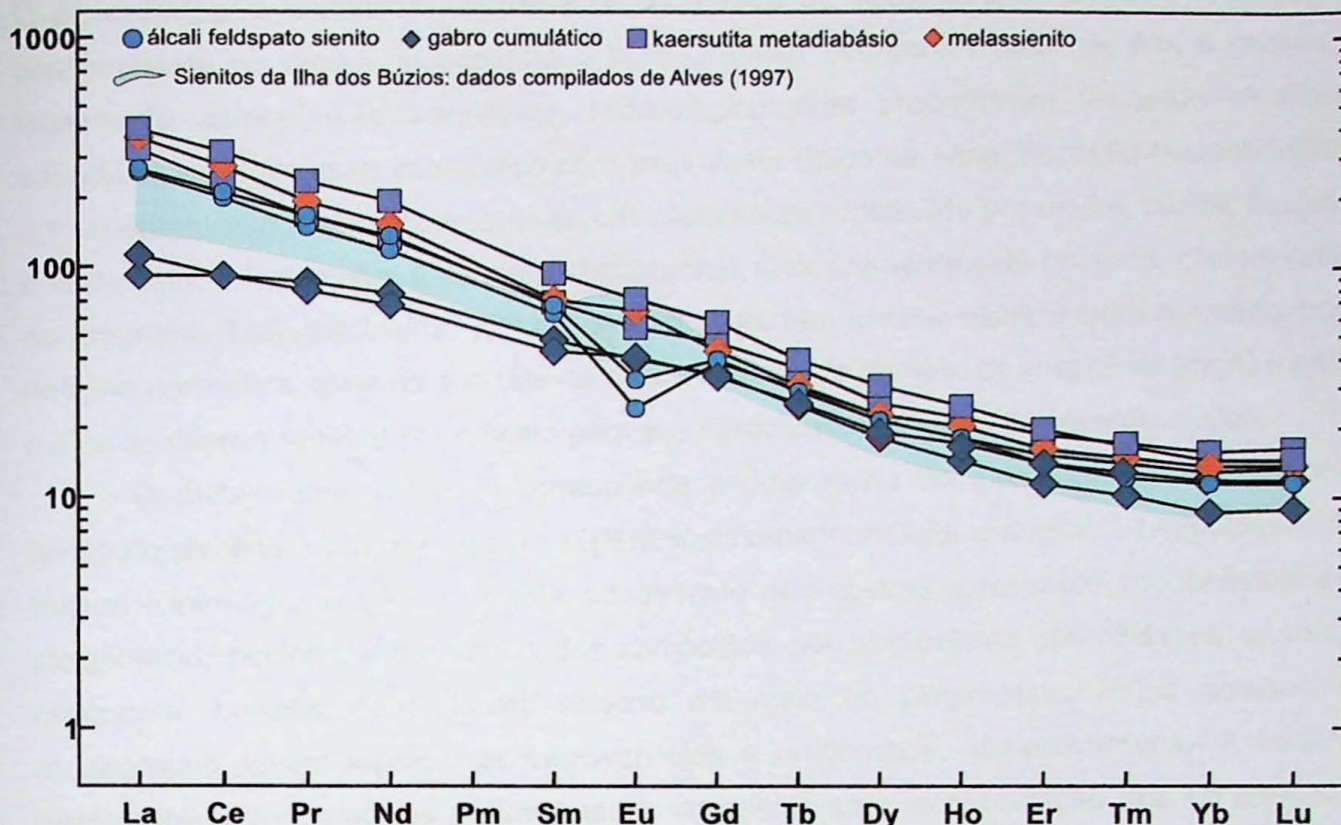


Figura 15. Diagrama multi-elementar para terras raras aplicado para rochas da região da Praia do Jabaquara, setor norte do Complexo Alcalino da Ilha de São Sebastião (SP). Elementos normalizados segundo o condrito (Sun e McDonough, 1989).

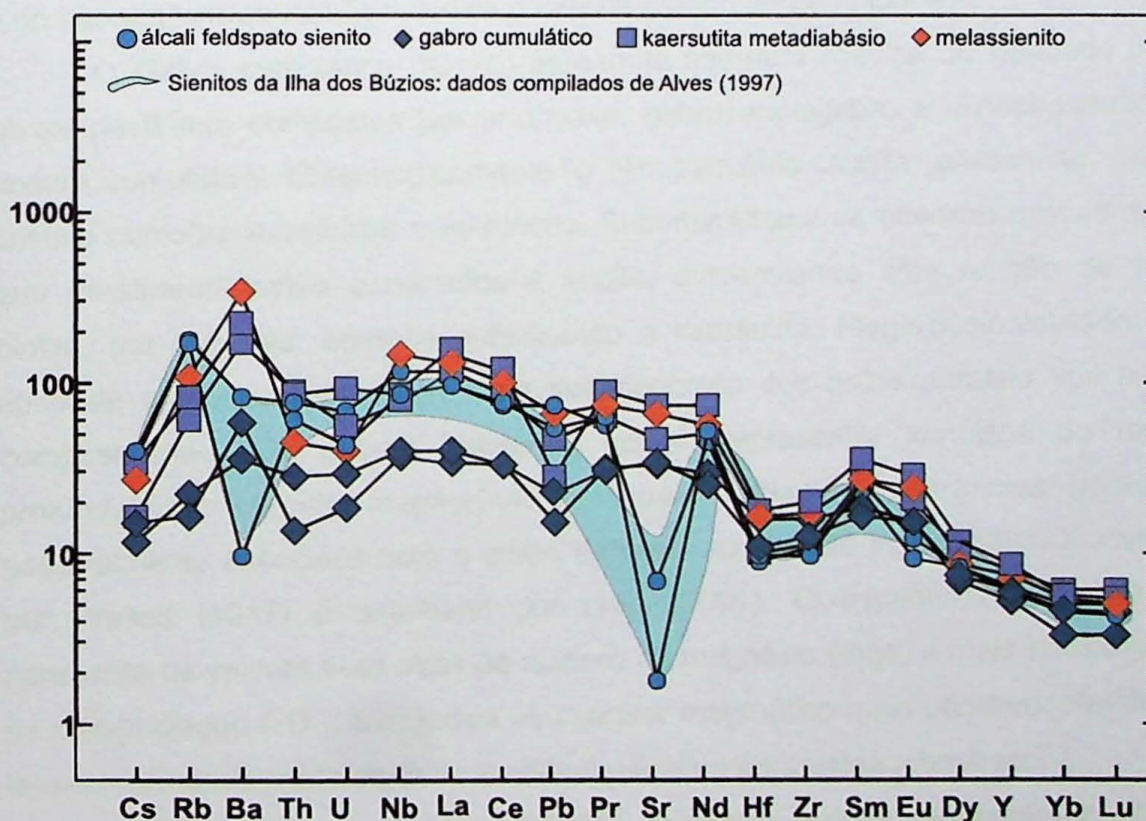


Figura 16. Diagrama multi-elementar para elementos-traço aplicado para rochas da região da Praia do Jabaquara, setor norte do Complexo Alcalino da Ilha de São Sebastião (SP). Elementos normalizados segundo o manto primitivo de Sun e McDonough (1995).

9. DISCUSSÃO

O álcali feldspato sienito (IC=8) pertence ao maciço de Serraria. Esta unidade é a rocha predominante na região, sua textura é inequigranular seriada variando de fina a grossa, localmente apresenta-se traquitoide. Mineralogicamente predominam feldspato alcalino subédrico, clinopiroxênio idiomórfico com plecroísmo típico da série diopsídio-hedenbergita e frequentemente está parcialmente ou completamente substituído por uralita, biotita, óxidos e carbonato, relacionados à alteração hidrotermal. Quimicamente esta unidade, classificada no diagrama TAS (Le Maitre, 2002) como traquito, tem caráter alcalino bem marcado por nefelina normativa, além do alto teor de álcalis. Seu baixo número de magnésio (mg#) e alto índice de diferenciação (I.D.) indicam para sua característica magmática mais evoluída.

O melassienito (IC ~23) corresponde a uma rocha composta principalmente por feldspato alcalino, clinopiroxênio da série diopsídio-hedenbergita e augita, e plagioclásio. A textura é inequigranular fina a média, usualmente as amostras apresentam megacristais de plagioclásio, bolsões subarredondados compostos por plagioclásio granoblástico e, mais raramente, bolsões de feldspato alcalino em meio ao plagioclásio. Estes bolsões e megacristais devem representar microxenólitos e xenocristais, respectivamente. A textura granoblástica dos xenólitos possivelmente representa uma recristalização que foi causada pelo aumento de temperatura no momento da intrusão do sienito. Quimicamente classifica-se esta rocha como um traquiandesito no diagrama TAS (Le Maitre, 2002). O teor dos óxidos, geralmente intermediário aos teores do álcali feldspato sienito, do gabro cumulático e do kaersutita metadiabásio, indica o caráter híbrido desta unidade.

O Gabro cumulático (IC~75) apresenta estrutura maciça ou bandada intercalando níveis de 6 mm compostos por anortosito, gabro, melagabro e clinopiroxenito, todos de textura cumulática. Mineralogicamente, o clinopiroxênio (augita) predomina, apresentando cristais *cumulus* subédricos e euédricos. Subordinadamente ocorrem cristais de kaersutita que geralmente estão associados à augita, evidenciando uma reação de substituição; biotita, por sua vez, aparece substituindo a kaersutita. Plagioclásio labradorítico (An₆₀), ripiforme e tabular marca bem uma suborientação dos grãos paralela aos bandamentos composicionais. Os gabros bandados podem representar xenólitos de regiões mais profundas da câmara magmática. Entende-se que as ocorrências gabróides estão possivelmente associada com o corpo de maior expressão mapeado na Ponta das Canas por Freitas (1947) e detalhado por Lima (2001). Quimicamente o gabro cumulático apresenta os valores mais altos de número de magnésio (mg#) e mais baixos para o índice de diferenciação (I.D.), isso indica seu caráter magmático mais primitivo. Nefelina, olivina e leucita normativa conferem forte tendência alcalina para estas amostras.

O kaersutita metadiabásio (IC~60) apresenta textura inequigranular fina a média, mineralogicamente predomina plagioclásio labradorítico (An₅₃) e clinopiroxênio, com textura granoblástica predominante na rocha. Estas características permitem assumir que a unidade

é um hornfels, embora localmente ainda se reconheça alguma textura ígnea. Por vezes, ocorrem variedades porfíricas exibindo macrocristais de clinopiroxênio euédricos ou anédricos com bordas de sobrecrecimento, evidenciando um possível desequilíbrio químico entre cristais precocemente formados e o magma. Localmente, foram observados grãos de olivina formando agregados. A presença de kaersutita, e de uma concentração relativamente importante de olivina permite afirmar que esta unidade também é de filiação alcalina. Quimicamente, classifica-se esta unidade como basanita a traquibasalto no diagrama TAS (Le Maitre, 2002). Um caráter magmático mais primitivo, assim como nos gabros cumuláticos, também é indicado pelo alto número de magnésio (mg#) e baixo índice de diferenciação (I.D.). A presença de nefelina e olivina na mineralogia normativa revela seu caráter alcalino.

No diagrama TAS (Le Maitre, 2002) (figura 9) nota-se um magmatismo bimodal bem definido pelo gabro cumulático e o kaersutita metadiabásio em um extremo e o álcali feldspato sienito em outro extremo. Embora haja um gap composicional entre SiO_2 ~48% e ~55% no diagrama, é possível sugerir que a partir do fracionamento do clinopiroxênio e de olivina de um líquido basáltico alcalino, seja possível gerar líquidos sieníticos, tal qual apresentado por Gomes et al. (2016) para as rochas da Ilha dos Búzios. A linha azul na figura 10 representa o modelo proposto de cristalização fracionada proposto por estes autores utilizando o algoritmo MELTS a partir de líquido inicial de composição basanítica. Os números na linha representam a porcentagem de cristalização fracionada da fase sólida no sistema. As condições iniciais inferidas para esse modelo são: $T_{\text{inicial}} \sim 1200^\circ\text{C}$, $P=1$ kbar, $f\text{O}_2=\text{QFM}$. A partir deste modelos, Gomes et al. (2016) indicam que o fracionamento de cumulos gábricos (formados por olivina, clinopiroxênio, magnetita, plagioclásio e apatita) a partir de um fundido basanítico poderia ser responsável pela formação de um magma sienítico. Embora aplicado para as ocorrências de Búzios, este modelo pode ser aplicado às tendências composicionais observadas para a porção Norte da Ilha de São Sebastião.

No diagrama R1-R2 (De La Roche, 1980) (figura 17) as rochas gábricas e o kaersutita metadiabásio plotam próximos aos seguintes polos minerais: olivina, plagioclásio, kaersutita e clinopiroxênio. O álcali feldspato sienito plota na região do polo mineral do grupo dos feldspatos e próximo ao polo da nefelina, biotita, magnetita e ilmenita. Isso traz a sugestão de que, a partir do fracionamento principal de olivina e clinopiroxênio, com plagioclásio e magnetita subordinados, podem ser geradas rochas ricas em feldspato alcalino, com nefelina subordinada. A partir das observações de campo e dos dados obtidos neste trabalho, onde os fragmentos cumuláticos são carregados por diferentes pulsos finais sieníticos, é possível se supor que em ambientes de câmara profunda, um líquido básico de tendência alcalina possa gerar, por fracionamento, rochas sieníticas. As composições plotadas neste diagrama coincidem principalmente com dados obtidos para rochas gábricas e sienítica na Ilha Monte de Trigo por Enrich (2005) (figura 18).

A sequência de eventos magmáticos interpretada a partir destes afloramentos, em ordem de ocorrência, seria: (1) colocação e cristalização de pulsos de magmas básicos de tendência alcalina, em ambiente de câmara, gerando as variedades gábricas cumuláticas encontradas, principalmente melagabros e clinopiroxenitos, e mesmo brechas de matriz gábrica, classificadas como metagabros; (2) intrusão de novos pulsos de magma básico alcalino, cristalizando-se como possíveis diques de granulação fina a média, e representados pelos fragmentos de kaersutita metadiabásios; (3) intrusão de pulso sienítico na câmara que fragmentou o gabro já parcialmente (mush) ou totalmente cristalizado, carregando ampla proporção de xenocristais, microxenólitos e de alguns xenólitos maiores, gerando rochas classificadas como melassienitos; (4) nova intrusão de pulso álcali feldspato sienítico, posterior à cristalização do melassienito, que fragmenta todo o sistema formando um agmatito com megaxenólitos e microxenólitos de gabro cumuláticos, kaersutita metadiabásio, agmatitos de matriz gábrica (metagabros) e melassienito. A alta temperatura deste magma sienítico no momento de sua colocação pode ter ocasionado o reequilíbrio estático do plagioclásio observado como textura granoblástica em amostras de metagabro e kaersutita metadiabásio. Sugestivamente, as elevadas concentrações de kaersutita em metadiabásios e nos megaxenólitos de gabro cumulático poderiam também estar associados à reações de fluidos mais ricos em voláteis derivados dos magmas sieníticos (ou mesmo deste próprio magma) com os litotipos pouco hidratados previamente formados. Todos os tipos amostrados como xenólitos apresentam algum grau de recristalização e de reação/difusão química com o magma sienítico final que os hospeda. (5) Por último todo o sistema foi cortado por líquidos finais bem supersaturados em sílica formando veios e diques de pegmatito e aplito de composição sienítica com quartzo.

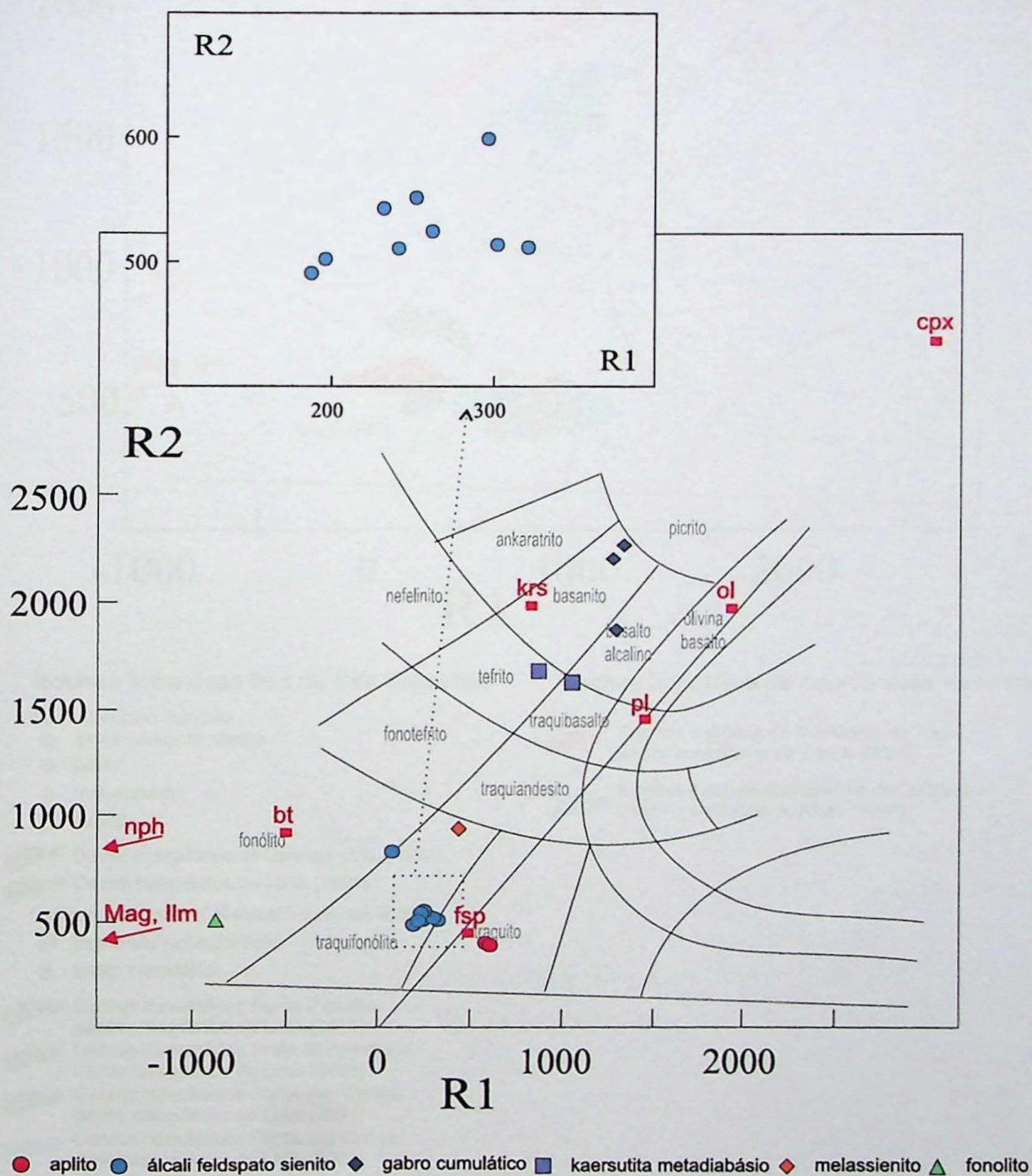
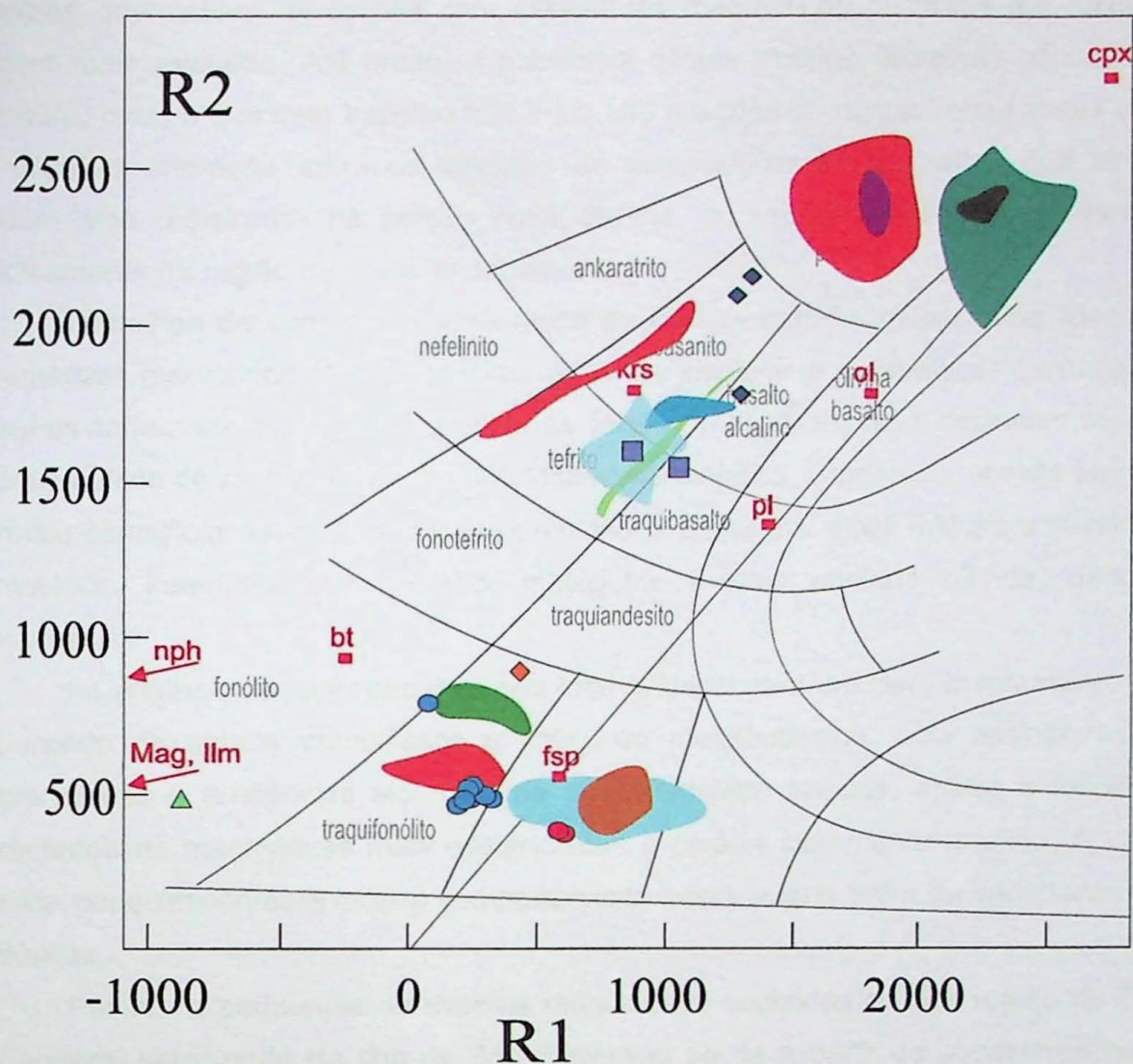


Figura 17. Diagrama R1-R2 de classificação segundo De La Roche (1980) aplicado para rochas da região da Praia do Jabaquara, setor norte do Complexo Alcalino da Ilha de São Sebastião (SP) krs - kaersutita, fsp - grupo dos feldspatos, ol - olivina, bt - biotita, pl - plagioclásio. Os retângulos vermelhos representam campos de estabilidade mineral. krs - kaersutita, fsp - grupo dos feldspatos, ol - olivina, bt - biotita, pl - plagioclásio.



Rochas Intrusivas Ilha de São Sebastião

Stock Sienítico Serraria

- álcali feldspato sienito
- aplito
- ◆ melassienito
- ▲ fonólito

■ Dados compilados de Belliene et al. (1990)

■ Dados compilados de Lima (2001)

Gabros cumúlaticos, diabásios e diques máficos

- kaersutita metadiabásio
- ◆ gabro cumúlático

■ Gabros cumúlaticos Ponta Paculba:
dados compilados de Lima (2001)

■ Gabros cumúlaticos Praia da Armação:
dados compilados de Lima (2001)

■ Gabros cumúlaticos Ponta das Canas:
dados compilados de Lima (2001)

■ Gabros cumúlaticos Ponta das Canas:
dados compilados de Lima (2001)

Suite de Diques

■ Dados compilados de Belliene et al. (1990)

■ Dados compilados de Lima (2001)

Rochas Intrusivas de ocorrências vizinhas

■ Sienitos e gabros da Ilha Monte de Trigo:
dados compilados de Enrich (2005)

■ Sienitos e diques máficos Ilha dos Búzios:
dados compilados de Alves (1997)

Figura 18. Diagrama R1-R2 de classificação segundo De La Roche (1980) aplicado para rochas da região da Praia do Jabaquara, setor norte do Complexo Alcalino da Ilha de São Sebastião (SP). Para comparação, são também plotados dados compilados da literatura. Os retângulos vermelhos representam campos de estabilidade mineral. krs - kaersutita, fsp - grupo dos feldspatos, ol - olivina, bt - biotita, pl - plagioclásio.

10. CONCLUSÕES

A Ilha de São Sebastião localizada no litoral norte do estado de São Paulo apresenta litologias que variam de rochas com assinaturas magmáticas primitivas até rochas com caráter mais evoluído. Até então, a existência destes litotipos já consta há décadas na literatura, mas, o que este trabalho traz à luz são relações de contato entre essas rochas e de possível interação entre os magmas de composições contrastantes que ainda não haviam sido registradas na porção norte da ilha, no maciço alcalino de Serraria, mais precisamente na região da Praia de Jabaquara.

Trabalhos de campo e a elaboração de croquis permitiram encontrar, descrever e caracterizar macroscopicamente rochas alcalinas sienítica e estabelecer qualitativamente relações temporais entre estas. Dentre as feições mais marcantes destacam-se mega e microxenólitos de rocha máfica em um hospedeiro sienítico. A posterior análise petrográfica permitiu classificar os litotipos em cinco unidades principais: álcali feldspato sienito, gabro cumulático, kaersutita metadiabásio, metagabro e uma unidade híbrida, denominada melassienito.

As análises geoquímicas de rocha total evidenciaram um claro magmatismo bimodal separando os gabros cumuláticos e kaersutita metadiabásios, com assinaturas menos diferenciadas e tendências alcalinas, de álcali feldspato sienitos, aplitos e fonolitos com características magmáticas mais diferenciadas e caráter claramente alcalino. A variedade híbrida geoquimicamente mostra comportamento intermediário entre as variedades máficas e félsicas.

Por fim a sequência de eventos magmáticos sugeridos para a região da Praia do Jabaquara, setor norte da Ilha de São Sebastião se dá a partir de sucessivos pulsos de magma básico alcalino, que se cristalizou em ambiente de câmara rasa, intrudido por sucessivos pulsos de magma sienítico, gerando as feições e relações descritas anteriormente.

Este trabalho motivou-se em somar aos escassos, mas importantes dados sobre a petrologia da Ilha de São Sebastião, mais conhecida como Ilhabela. Ainda existe muito a se compreender dos inúmeros processos que contribuíram para formação deste arquipélago e de muitas outras ocorrências compreendidas no magmatismo alcalino na plataforma Sul-Americana. A evolução das técnicas de investigação e do conhecimento científico permitirá uma visão cada vez mais clara da cena que se busca entender.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida F.F.M. (1976). The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 48 (suplemento), 15-26.
- Almeida F.F.M. (1983). Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-Americana. *Revista Brasileira de Geociências* 13, 139-158.
- Almeida F.F.M. (1986). Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-paleozóico do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências* 16, 325-349.
- Almeida, F. F. M. (1967). Origem e evolução da plataforma brasileira. DNPM.
- Alves, F.R. (1997). Contribuição ao conhecimento geológico e petrológico das rochas alcalinas da Ilha dos Búzios, SP. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências, 274p.
- Amaral, G., Bushee, L., U. G., Kawashita, K., Reynolds, J. H. (1967). Potassium-argon ages of alkaline rocks from southern Brazil. *Geochimica et cosmochimica Acta* 31, 117-142.
- Augusto, T. (2003). Petrografia e quimismo mineral de rochas gábricas e sieníticas do maciço de São Sebastião, SP. Monografia de Trabalho de Formatura, Universidade de São Paulo
- Bellieni, G., Montes-Lauar, C. R., De Min, A., Piccirillo, E. M., Cavazzini, G., Melgl, A. J., Pacca, I. G., (1990). Early and Late Cretaceous Magmatism from São Sebastião Island (SE-Brazil): Geochemistry and Petrology. *Geochim. Brasil.*, 4(1), 59-83.
- Chayes, F. (1956). Petrographic modal analysis: An elementary statistical appraisal, 113 p.
- De La Roche, H., Leterrier, J. T., Grandclaude, P., & Marchal, M. (1980). A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major-element analyses—its relationships with current nomenclature. *Chemical geology*, 29(1-4), 183-210.
- Derby, O.A. (1887). On nephelinic rocks in Brazil, with special reference to the association of phonolite and foyaite. *Quarterly Journal of the Geological Society of London* 43, 457-473.
- Enrich, G. E. R., Azzone R. G., Ruberti, E., Gomes, C. B., Comin-Chiaramonti, P., (2005). Itatiaia Passa Quatro and São Sebastião Island. The major alkaline syenitic complexes from the Serra do Mar region. In: Comin-Chiaramonti, P.; Gomes, C.B. (eds.) *Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform*. Edusp/Fapesp, São Paulo, 2005, p. 419-442.
- Freitas, R. O. (1947). Geologia e petrologia da Ilha de São Sebastião. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Geologia* 85, 1-244.
- Garda, G. M., Schorscher, J. H. D., Esperança, S., Carlson, R. W. (1995). The petrology and geochemistry of coastal dykes from São Paulo State Brazil: implications for variable lithospheric contributions to alkaline magmas from the western margins of the South Atlantic. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 67, 191-216.
- Gomes, C.B., Comin-Chiaramonti, P. (2005). An introduction to the alkaline and alkaline-carbonatitic magmatism in and around the Paraná Basin. In: Comin-Chiaramonti, P.; Gomes, C.B. (eds.) *Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform*. Edusp/Fapesp, São Paulo, 2005, p. 21-30.
- Gomes, C.B., Alves, F.R., Azzone, R.G., Enrich, G.E.R., Ruberti, E. (2016). O maciço alcalino da Ilha dos Búzios: SE Brasil: Geoquímica e petrologia. *48º Congresso Brasileiro de Geologia*. São Paulo: SBG. Acesso em 30 de outubro de 2016, <http://sbg.sitepessoal.com/anais48cbg/sts/st11.htm>.
- Hennies, W.T., Hasui, Y. (1977). Contribuição ao reconhecimento da geologia da Ilha de São Sebastião. *I Simpósio de Geologia Regional*, São Paulo, Atas, p. 199-209.

- Instituto Geográfico e Cartográfico (São Paulo, SP). Plano Cartográfico do Estado de São Paulo: Folha Ponta das Furnas: Mapa. São Paulo, 1977. Escala 1:10000.
- Le Maitre, R. W. (1976). Some problems of the projection of chemical data into mineralogical classifications. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 56(2), 181-189.
- Le Maitre, R. W. (2002). Igneous rocks. A classification of igneous rocks and glossary of terms. 2nd. ed. Cambridge: *Cambridge University Press*, p. 236.
- Lima, G. A., Schorscher, J.H.D. (1999). Complexo gábrico estratiforme da Ponta da Pacuiba _Ilha de São Sebastião. In: *Simpósio de Geologia do Sudeste*, 6, São Pedro – São Paulo, 1999. Boletim de Resumos. P.65.
- Lima, G. A., (2001). Gabros estratiformes da região norte da Ilha de São Sebastião, SP. Diss. Universidade de São Paulo.
- Montes-Lauar, C. R., Pacca, I. G., Melfi, A. J., & Kawashita, K. (1995). Late Cretaceous alkaline complexes, southeastern Brazil: paleomagnetism and geochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, 134(3), 425-440.
- Morbidelli, L., Gomes, C.B., Beccaluva, L., Brotzu, P., Conte, A.M., Ruberti, E., Traversa, G. (1995). Mineralogical, petrological and geochemical aspects of alkaline and alkaline-carbonatite associations from Brazil. *Earth Science Review.*, 39, 135-168.
- Pabst, L., (2014). Gabros estratiformes e sienitos supersaturados da Ilha de São Sebastião, SP: Relações geológicas e petrografia na região da Ponta da Sepituba. Monografia de Trabalho de Formatura, Universidade de São Paulo.
- Perrota, M.M., Salvador, E.D., Lopes, R.C., D'Agostinho, L.Z., Peruffo, N., Gomes, S.D., Sachs, L.L.B., Meira, V.T., Garcia, M. G. M., Lacerda Filho, J.V., (2005). Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750,000. *Programa Geologia do Brasil – PGB, CPRM*. São Paulo.
- Riccomini, C., Velásquez, F. V., Gomes, C. B. (2005). Tectonic controls of the Mesozoic and Cenozoic alkaline magmatism in the central-southeastern Brazilian Platform. In: Comin-Chiaramonti, P.; Gomes, C.B. (Eds.) *Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform*. Edusp/Fapesp, São Paulo, 2005, p.31-56.
- Rock N. M. S., (1987). The nature and origin of lamprophyres: an overview. *Geological Society Special Publication* (30):191-226.
- Sato, E.N., (2006). Petrografia e geocronologia U/Pb (TIMS) de rochas alcalinas da Ilha de São Sebastião (SP). Monografia de Trabalho de Formatura, Universidade de São Paulo, 56p.
- Sun, S. S., McDonough, W. S., (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42(1), 313-345.
- McDonough, W. F., Sun, S. S., (1995). The composition of the Earth. *Chemical geology*, 120(3), 223-253.
- Ulbrich, H. H. G. J., (1986). As brechas de origem ígnea: revisão e proposta para uma classificação geológica. *Boletim IG-USP, Publicações especiais*, São Paulo, n. 3, maio.
- Ulbrich, H.H.G.J., Gomes, C.B. (1981). Alkaline rocks from continental Brazil. *Earth-Science Review* 17, 135-154.

ANEXO 1

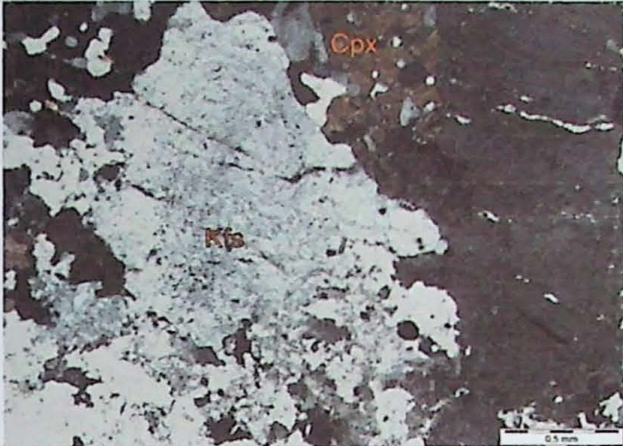


Figura A1.1: Fotomicrografia de sienito hololeucocrático apresentando o aspecto geral da textura inequigranular fina a grossa com clinopiroxênio intersticial ao feldspato alcalino. Amostra ISS007 G 01 com polarizadores cruzados.



Figura A1.2: Fotomicrografia de sienito hololeucocrático apresentando aglomerado de minerais máficos composto por clinopiroxênio euedrico substituído por uralita associado a opacos manteado por biotita e apatitas prismáticas ou subarredondadas. Amostra ISS004 L 01 com luz polarizada.

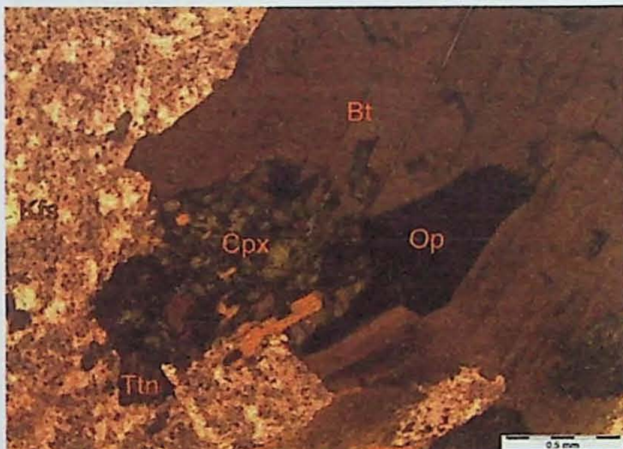


Figura A1.3: Fotomicrografia de sienito hololeucocrático apresentando um cristal de clinopiroxênio da série diopsídio-hedenbergita associado a titanita, opaco e biotita. Amostra ISS001 A03 com luz polarizada.



Figura A1.4: Fotomicrografia de sienito hololeucocrático exibindo cristal de clinopiroxênio substituído por opacos, muscovita e óxidos envolto por biotita. Amostra ISS100 com luz polarizada.

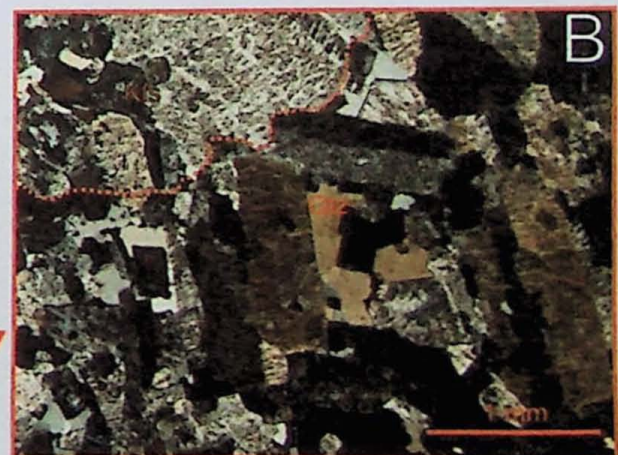


Figura A1.5: (A) Lâmina escaneada e (B) fotomicrografia de sienito hololeucocrático exibindo contato entre um veio de microssienito com o sienito hololeucocrático. O microssienito aparece na porção inferior da fotomicrografia apresentando quartzo intersticial e feldspato alcalino traquitóide. Amostra ISS001 B 03 com polarizadores cruzados.

ANEXO 2



Figura A2.1: Fotomicrografia de melassienito exibindo contato abrupto entre anortosito (esquerda) com plagioclásio granoblástico e álcali-feldspato sienito (direita). Amostra ISS007 C 01 com polarizadores cruzados.



Figura A2.2: Fotomicrografia de melassienito exibindo possível xenocrystal de plagioclásio em contato difuso com álcali-feldspato sienito. Amostra ISS007 C 01 com polarizadores cruzados.

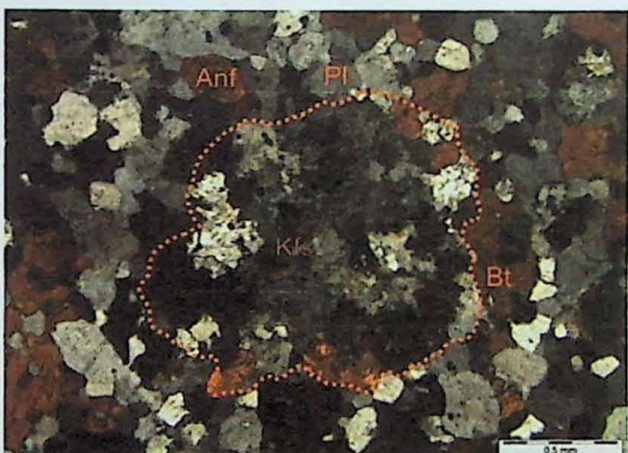


Figura A2.3: Fotomicrografia de melassienito com xenólito subarredondado de álcali-feldspato sienito xenomórfico em meio a anortosito com textura granoblástica. Amostra ISS007 G 01 com polarizadores cruzados.



Figura A2.4: Fotomicrografia de melassienito apresentando cristal de augita manteado por kaersutita em meio a anortosito com textura granoblástica. Amostra ISS007 G 01 com polarizadores cruzados.

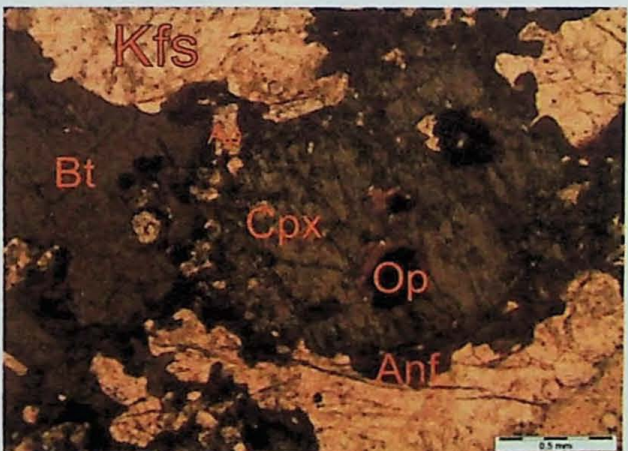


Figura A2.5: Fotomicrografia de melassienito apresentando cristal arredondado de augita manteado e sobrecrecido por kaersutita associado a biotita e com inclusões de apatita e opacos. Amostra ISS007 C 01 com luz polarizada.

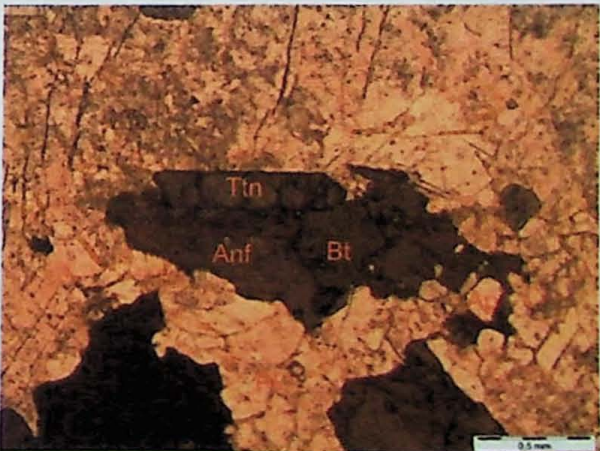


Figura A2.6: Fotomicrografia de melassienito apresentando cristal de kaersutita associado a titanita e biotita euedricos. Amostra ISS007 C 01 sob luz polarizada.

ANEXO 3

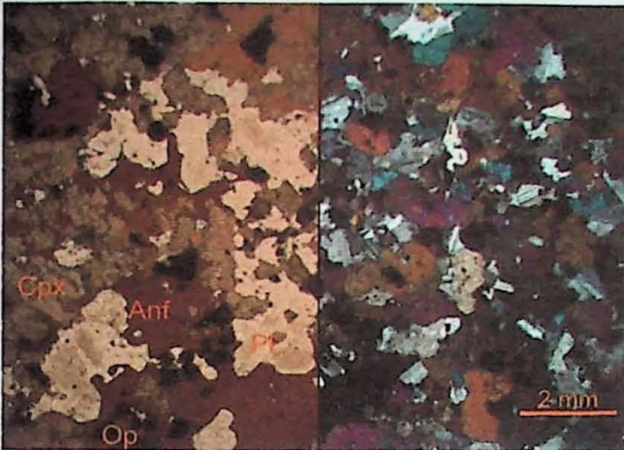


Figura A3.1: Fotomicrografia de gabro mostrando o aspecto geral da textura do gabro cumulático com cristais de augita, kaersutita, plagioclásio e opacos. Amostra ISS004 G 01 sob polarizadores cruzados (direita) luz polarizada (esquerda).



Figura A3.2: Fotomicrografia de melagabro de textura cumulática exibindo cristais subédricos de augita suborientados e kaersutita poquilítica no intercumulus. Amostra ISS104 A com polarizadores cruzados.



Figura A3.3: Fotomicrografia de gabro apresentando textura subofítica e veio de anortosito com textura granoblástica. Amostra ISS103 A 01 com polarizadores cruzados.

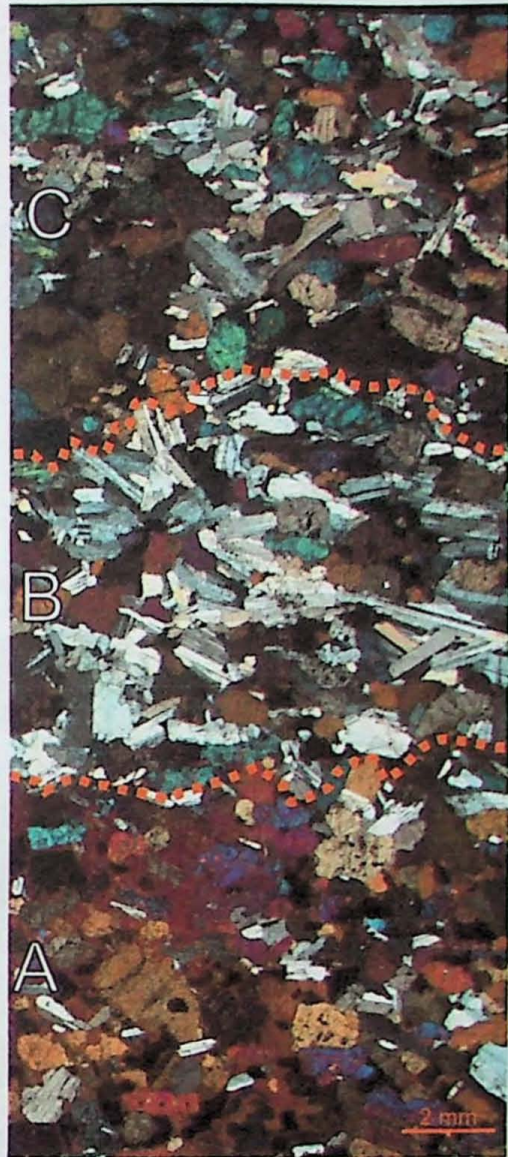


Figura A3.4: Fotomicrografia de gabro bandado: A - melagabro; B - Anortosito; C - gabro mesocrático. Em todas as porções os cristais de plagioclásio, clinopiroxênio e anfólio estão suborientados. Amostra ISS104 B sob polarizadores cruzados.

ANEXO 4

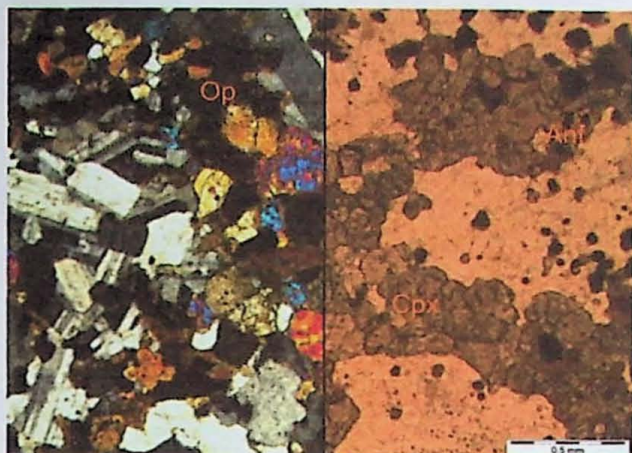


Figura A4.1: Fotomicrografia de metadiabásio com textura granoblástica predominante e com agregados de augita (Cpx) e kaersutita (Anf) e bolsões glomeroporfíricos de plagioclásio. Amostra ISS004 F 01 com luz polarizada (direita) e polarizadores cruzados (esquerda).

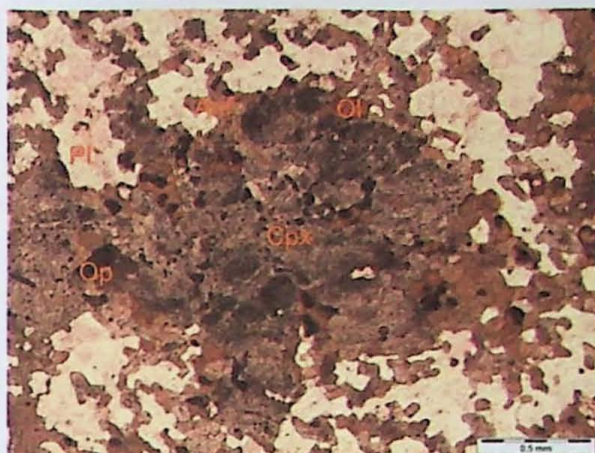


Figura A4.2: Fotomicrografia de metadiabásio com agregado de augita (Cpx) granular com lamelas de óxido de titânio. Também ocorre kaersutita (Anf), opacos e iddingsita (sobre olivina). Amostra ISS004 D 04 com luz polarizada.



Figura A4.3: Fotomicrografia de metadiabásio com macrocristal de augita (Cpx) com sobrecrecimento marcado por regiões com muitas inclusões de opacos. Amostra ISS004 K 01 com polarizadores cruzados.



Figura A4.4: Fotomicrografia de metadiabásio com aglomerado de olivina e macrocristal de plagioclásio e augita em matriz fina granoblástica de plagioclásio. Amostra ISS004 B 01 com polarizadores cruzados.

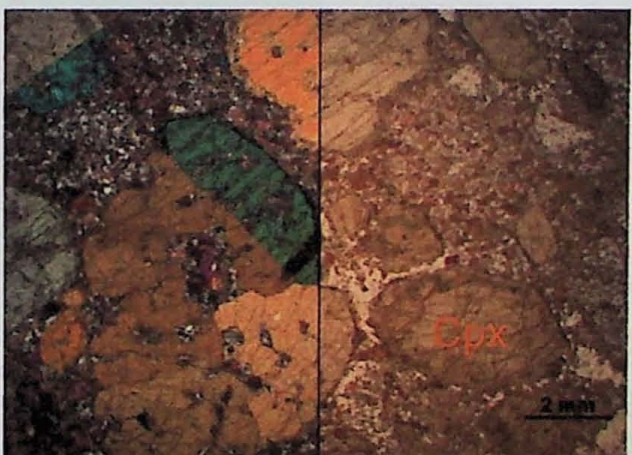


Figura A4.5: Fotomicrografia de metadiabásio apresentando textura porfírica com fenocristais de augita (Cpx) euedricos ou subedricos, geminados e com finas bordas de sobrecrecimento. Amostra ISS103 E 01 com polarizadores cruzados (esquerda) e luz polarizada (direita).

ANEXO 5



Figura A5.1: Fotomicrografia de melassienito em campo exibindo: A - microgabro com plagioclasio ripiforme suborientado formando bandas incipientes; B - metalucogabro com cristais de plagioclasio granoblásticos; C - vênula de álcali feldspato sienito; D - metadiabásio com cristais de plagioclasio granoblásticos. Amostra ISS105 C sob polarizadores cruzados.

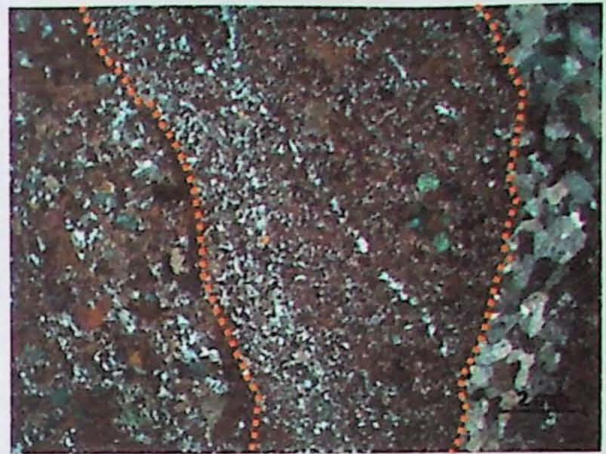
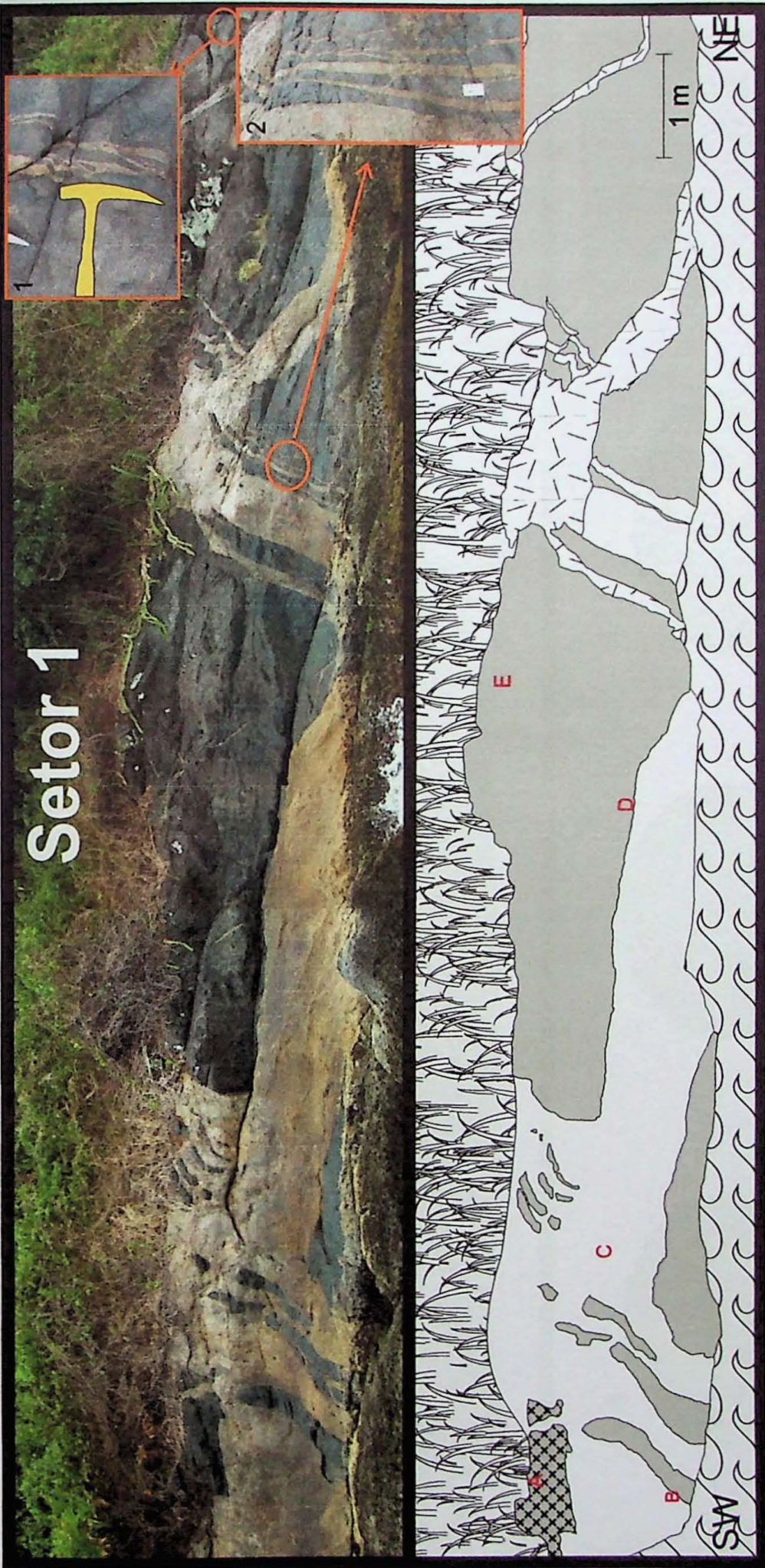


Figura A5.2: Fotomicrografia de gabro exibindo o contato entre um veio de microssienito com quartzo (direita) e metadiabásio cortado por vênula metaanortositica, ambos com textura granoblástica predominante (centro), em contato com gabro cumulático com mineirais intercumulus com contatos poligonalizados. Amostra ISS103 A 02 sob polarizadores cruzados.

Figura A5.3: Fotomicrografia de gabro exibindo: (A) metadiabásio porfirítico em contato abrupto com (B) metadiabásio que por sua vez apresenta contato abrupto com (C) leucogabro. Amostra ISS103 E 02 sob polarizadores cruzados.



Figura A5.4: (A) Lâmina escaneada e (B) fotomicrografia evidenciando xenólito de gabro (em baixo) em contato abrupto com o sienito hololeucocrático (em cima). Amostra ISS103 C 02 com polarizadores cruzados.



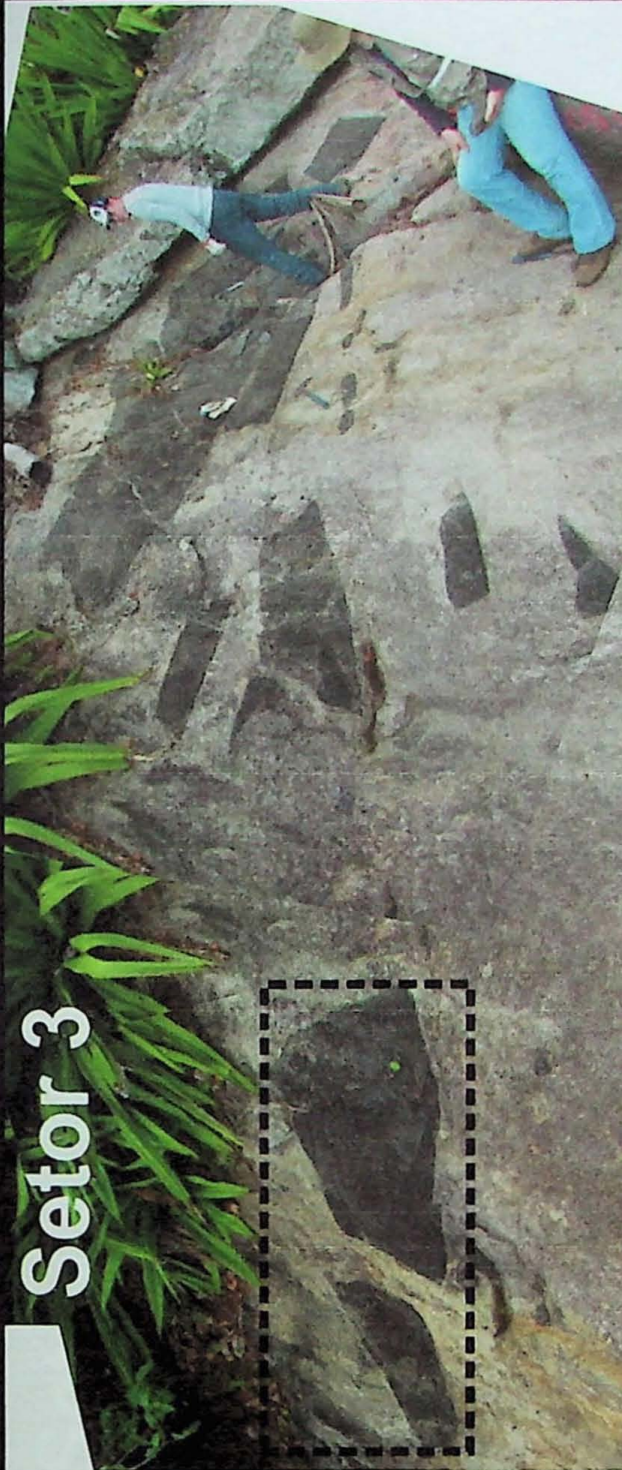
ANEXO 6: Croqui do setor 1. As letras em vermelho correspondem a pontos de coleta de amostra. A - ISS004E; B - ISS004D; C - ISS004F; D - ISS004L; E - ISS004K. Figura A6.1 - microxenólitos alongados e afunilados; Figura A6.2 - fragmentos gerados por fraturas paralelas do xenólito maior encontrado ao lado.

Setor 2



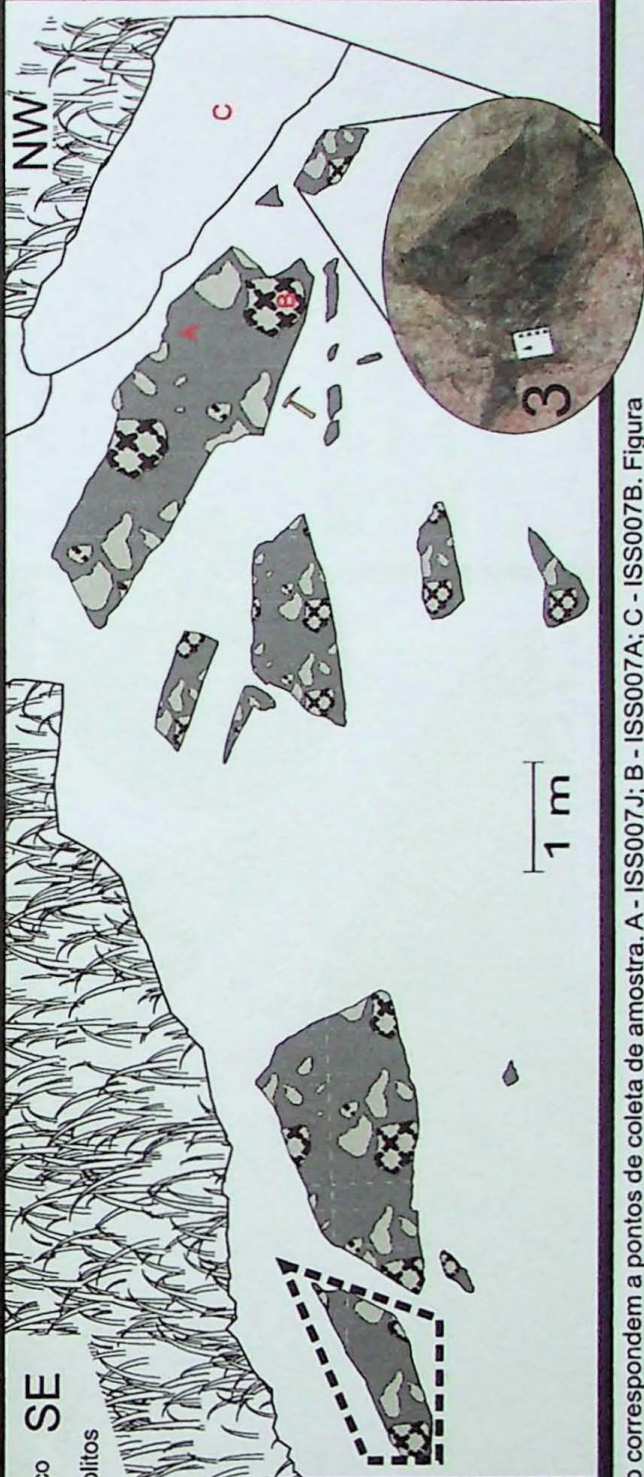
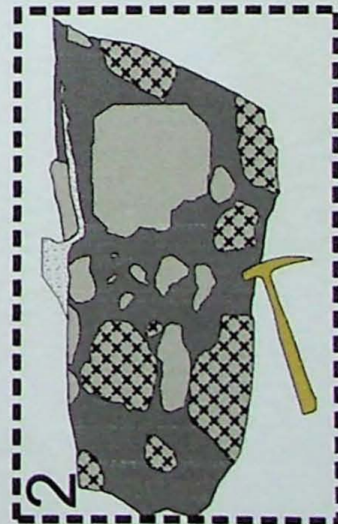
ANEXO 7: Croqui do setor 2. As letras em vermelho correspondem a pontos de coleta de amostra. A - ISS004G; B - ISS004J; C - ISS004C; D - ISS004H; E - ISS004M; F - ISS004A e B. Figura A7.1 - veio pegmatóide; Figura A7.2 - xenólitos angulosos; Figura A7.3 - região com muitos xenólitos; Figura A7.4 - faixa com muitos xenólitos..

Setor 3



- álcali feldspato sienito
- metadiabásio
- metagabro
- gabro cumulático
- pegmatitos e apilitos

SE

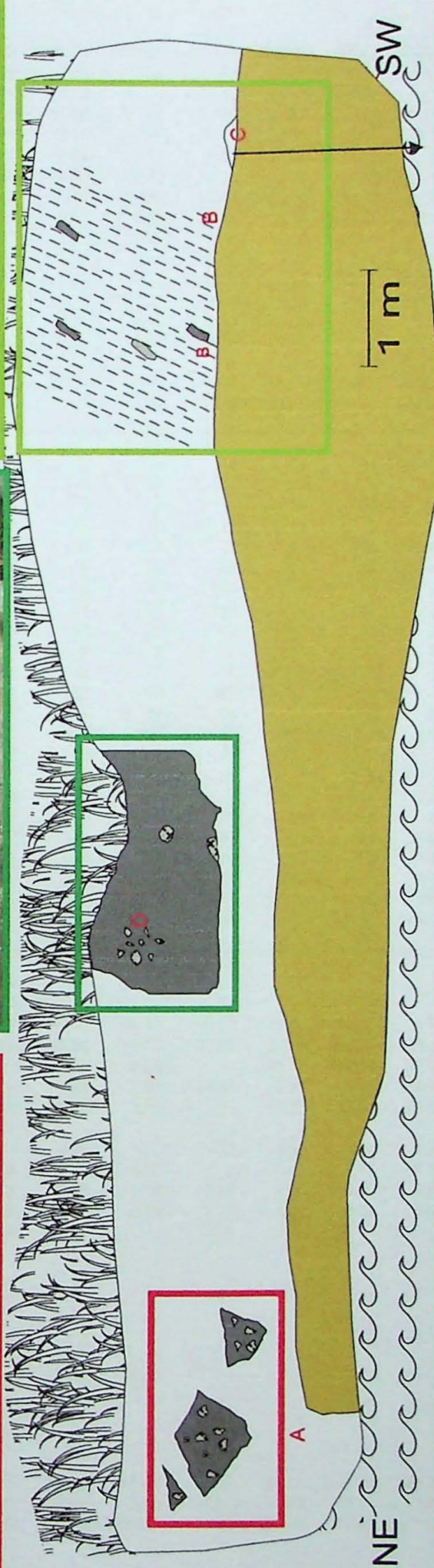
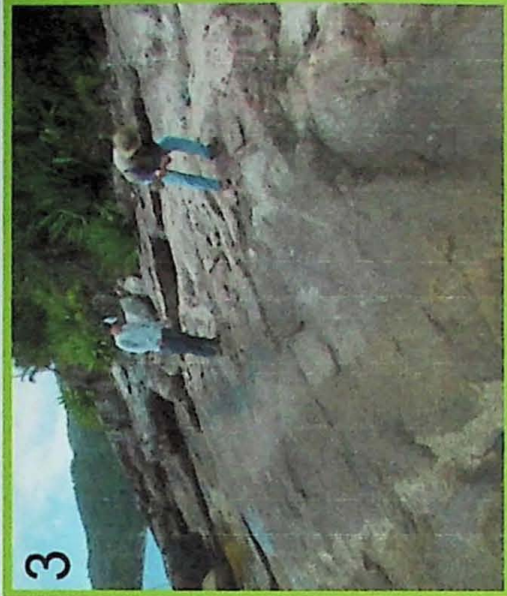
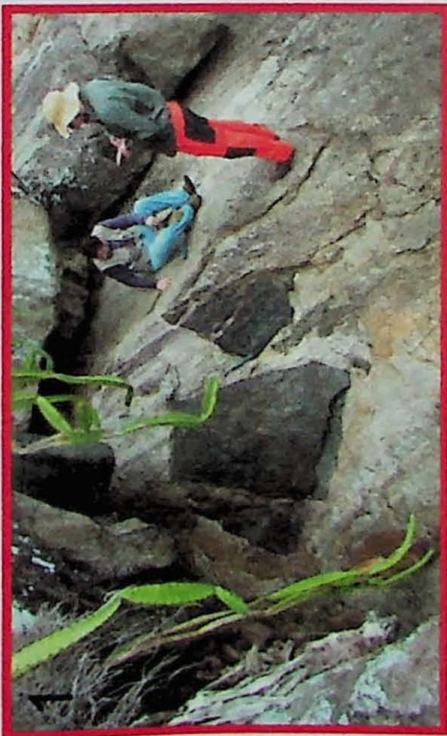


ANEXO 8: Croqui do setor 3. As letras em vermelho correspondem a pontos de coleta de amostra. A - ISS007A; B - ISS007J; C - ISS007B. Figura A8.1 - imagem dos xenólitos polifíticos; Figura A8.2 - croqui de um xenólito polifítico; Figura A8.3 - xenólito polifítico anguloso.



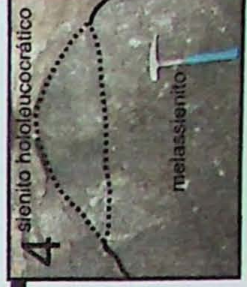
ANEXO 9: Croqui do setor 4. As letras em vermelho correspondem a pontos de coleta de amostra. A - ISS 007E; B - ISS007F; C - ISS007C; D - ISS007D; E - ISS105A; F - ISS105B. Figura A9.1 - Foto da zona de contato entre melassienito (direita) e álcali feldspato sienito (esquerda).

Setor 5



- alcali feldspato sienito
- metadiabásio
- metagabro
- gabro cumulático
- melassienito

ANEXO 10: Croqui do setor 5. As letras em vermelho correspondem a pontos de coleta de amostra. A - ISS007; B - ISS007H; C - ISS007G; D - ISS105C. Figura A10.1 - Xenólitos políliticos angulosos; Figura 10.2 - Megaxenólito polílitico; Figura 10.3 - região da zona de contato entre melassienito e álcali feldspato sienito; Figura 10.4 - xenólito de sienito com granulometria mais fina que a do melassienito e do álcali feldspato sienito no contato deles.



Amostra ISS	001A02	001A03	001B01	001B02	002A01	002A01	003A01	004B01	004H01	004F01	004F01	004G02
Classif. Petrog.	Afs	Afs	Ap	Ap	Afs	Afs	Fo	Kmd	Kmd	Gc	Gc	Gc
SiO ₂	61.77	61.97	65.38	65.57	60.13	60.59	57.40	46.62	44.93	45.54	45.24	37.95
TiO ₂	0.800	0.810	0.408	0.356	0.909	0.920	0.321	2.452	2.874	2.533	2.516	3.773
Al ₂ O ₃	17.95	17.90	16.26	16.15	17.48	17.67	19.14	16.17	16.07	16.35	16.28	12.34
Fe ₂ O ₃	4.01	4.09	3.24	2.86	4.78	4.89	4.59	12.65	12.73	12.59	12.50	18.78
FeOT	3.61	3.68	2.92	2.57	4.30	4.40	4.13	11.38	11.45	11.33	11.25	16.90
MnO	0.162	0.164	0.175	0.149	0.234	0.238	0.218	0.264	0.242	0.168	0.166	0.200
MgO	0.56	0.53	0.15	0.07	0.67	0.69	0.12	4.58	4.71	6.42	6.37	7.77
CaO	1.53	1.63	0.72	0.63	1.99	2.04	1.21	10.13	10.54	11.58	11.52	14.71
Na ₂ O	6.41	6.39	6.43	6.39	5.96	6.08	8.88	3.32	3.54	3.27	3.24	1.44
K ₂ O	6.36	6.35	5.98	6.04	6.02	6.14	6.09	2.12	2.05	0.80	0.80	0.74
P ₂ O ₅	0.230	0.225	0.033	0.030	0.329	0.338	0.066	0.834	1.408	0.368	0.369	0.259
Loi	0.30	0.16	0.42	0.44	0.55	0.59	0.75	0.16	0.76	0.32	0.34	0.93
Total	100.08	100.22	99.20	98.69	99.05	100.19	98.79	99.30	99.85	99.94	99.34	98.89
R1	231.4	251.9	582.5	606.2	339.4	296.4	-875.7	1052.1	865.2	1305.7	1299.0	1277.8
R2	543.3	551.8	403.4	387.7	589.0	599.1	510.9	1628.3	1676.6	1878.3	1868.0	2201.5

Elementos Traços

Ba	1915	1852	410	899	1840	1845	33	1149	1635	422	432	248
Ce	98	93	557	607	121	135	268	143	176	53	51	56
Co	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	35	31	38	36	77
Cr	< 13	< 13	< 13	< 13	< 13	< 13	< 13	< 13	< 13	88	88	< 13
Cu	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	56	106	66	66	47
Ga	18	19	28	26	22	22	33	20	19	20	21	22
La	58	59	419	496	75	72	139	69	86	< 28	< 28	29
Nb	58	59	244	238	74	75	288	50	54	26	25	26
Nd	36	33	188	245	47	51	78	62	78	30	38	40
Ni	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	55	10	86	87	39
Pb	6	4	9	10	12	11	17	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
Rb	87	86	184	184	82	83	202	33	48	8	7	10
Sc	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	25	20	36	36	41
Sr	433	421	69	82	195	197	22	902	1499	647	645	644
Th	< 7	< 7	89	92	8	7	40	< 7	< 7	< 7	< 7	< 7
U	< 3	< 3	10	11	< 3	< 3	9	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
V	< 9	< 9	< 9	< 9	13	9	< 9	271	268	320	322	619
Y	21	22	144	176	30	30	59	34	38	27	26	25
Zn	82	83	100	92	101	103	131	102	124	95	96	108
Zr	144	161	973	1041	304	307	1219	205	225	136	136	171
Cl	934	744	485	507	869	829	2312	844	1629	284	258	157
F	< 500	< 500	< 500	< 500	< 500	< 500	2875	< 500	< 500	< 500	< 500	< 500
S	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550	3165	< 550	< 550	3366

NORMA CIPW

Quartzo (Q)	-	-	4.65	5.16	-	-	-	-	-	-	-	-
Corindon(C)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortoclásio(Or)	37.73	37.56	35.82	36.37	36.19	36.51	36.77	12.74	12.32	4.79	4.82	-
Albita(Ab)	49.39	49.71	51.03	50.38	49.26	48.22	27.39	23.21	20.67	20.28	20.17	-
Anortita(An)	1.43	1.40	-	-	3.22	2.80	-	23.34	22.28	27.91	28.02	25.90
Nefelina(Ne)	2.74	2.39	-	-	1.11	1.92	20.89	2.90	5.31	4.19	4.20	6.83
Diopsídio(Di)	3.03	2.86	2.86	2.61	3.62	3.74	4.99	17.97	17.38	22.38	22.32	34.75
Hiperstênio(Hy)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Olivina(Ol)	-	-	-	-	0.02	-	0.27	5.98	6.03	8.29	8.33	11.51
Magnetita(Mt)	2.75	2.81	1.12	0.53	3.93	3.90	-	7.19	7.17	6.48	6.44	7.82
Ilmenita(Il)	1.53	1.54	0.79	0.69	1.76	1.76	0.62	4.74	5.55	4.87	4.87	7.42
Apatita(Ap)	0.54	0.52	0.08	0.07	0.78	0.79	0.16	1.97	3.32	0.86	0.87	0.62
Acmita(Ac)	-	-	3.63	4.16	-	-	8.69	-	-	-	-	-
Leucita(Lc)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.55
K-Metasilicato(Ks)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na-Metasilicato(Ns)	-	-	-	-	-	-	0.22	-	-	-	-	-
CaDiSilicato(Cs)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.65
Kaliofilita(Kp)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wollastonita(Wo)	0.33	0.65	0.03	-	-	0.15	-	-	-	-	-	-
Hematita(Hm)	0.56	0.56	-	-	0.14	0.23	-	-	-	-	-	-
Titanita(Tn)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rutilo(Ru)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perovskita(Pf)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcita(Cc)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I.D.	89.86	89.66	91.50	91.91	86.56	86.64	85.05	38.85	38.30	29.25	29.19	10.38
I.C.	7.86	7.77	8.39	8.02	9.46	9.62	14.57	35.88	36.13	42.02	41.95	61.49
Total	100.01	100.01	100.00	100.00	100.01	100.01	100.00	100.03	100.03	100.04	100.04	100.04

Amostra ISS	005C04	005C04	004C01	004C03	004J01	005B01	007C01	007E01	007E01	007H01
Classif. Petrog.	Gc	Gc	Afs	Afs	Afs	Afs	Ms	Afs	Afs	Afs
SiO2	43.25	43.27	61.83	61.71	62.86	55.40	54.94	60.67	61.43	61.68
TiO2	2.071	2.099	0.650	0.671	0.490	1.413	1.751	0.839	0.882	0.942
Al2O3	13.31	13.33	17.16	17.27	17.33	18.62	18.09	16.59	16.92	17.12
Fe2O3	11.96	12.18	3.56	3.61	3.26	5.67	6.65	4.79	4.93	4.93
FeOT	10.76	10.96	3.20	3.25	2.93	5.10	5.98	4.31	4.44	4.44
MnO	0.199	0.203	0.127	0.106	0.092	0.192	0.166	0.198	0.202	0.192
MgO	8.77	8.76	0.53	0.48	0.38	1.40	1.96	0.38	0.37	0.40
CaO	14.64	14.67	1.41	1.52	1.43	3.66	4.55	1.48	1.50	1.25
Na2O	2.32	2.33	6.33	6.37	6.70	5.97	6.04	6.26	6.23	6.20
K2O	1.54	1.55	6.26	6.33	5.96	5.67	3.73	6.34	6.39	6.73
P2O5	0.811	0.827	0.126	0.112	0.096	0.487	0.624	0.180	0.186	0.176
Loi	0.51	0.48	1.03	1.28	1.26	0.58	0.60	1.15	0.92	0.80
Total	99.38	99.70	99.01	99.46	99.86	99.06	99.10	98.88	99.96	100.42
R1	1344.9	1334.2	302.2	261.9	321.0	67.7	432.3	195.6	240.6	187.0
R2	2262.7	2265.8	513.8	525.2	511.8	826.3	938.9	502.6	510.7	489.4

Elementos Traços

Ba	513	495	536	562	451	1424	2343	73	72	114
Ce	98	102	101	103	80	149	152	112	119	110
Co	47	48	< 6	< 6	< 6	< 6	10	< 6	< 6	< 6
Cr	130	130	< 13	< 13	< 13	< 13	< 13	< 13	< 13	< 13
Cu	90	91	8	14	22	< 5	10	< 5	< 5	< 5
Ga	18	17	22	22	23	21	20	23	23	24
La	57	55	53	53	46	96	83	54	64	59
Nb	50	50	70	61	67	139	91	54	57	70
Nd	48	53	39	38	30	51	60	41	53	43
Ni	130	128	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Pb	< 4	< 4	7	10	12	< 4	< 4	7	8	8
Rb	31	32	99	93	94	140	64	104	108	136
Sc	40	39	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14
Sr	942	951	127	130	131	918	1273	38	39	64
Th	< 7	< 7	< 7	< 7	< 7	< 7	< 7	< 7	< 7	< 7
U	< 3	< 3	< 3	3	< 3	< 3	< 3	< 3	3	< 3
V	287	287	24	23	13	52	83	< 9	< 9	< 9
Y	27	28	28	25	20	31	31	26	27	27
Zn	80	80	44	38	43	89	104	98	100	120
Zr	227	229	889	1122	202	464	209	174	189	132
Cl	855	787	351	483	485	1679	1721	467	491	949
F	< 500	< 500	< 500	< 500	< 500	856	< 500	< 500	< 500	< 500
S	< 550	< 550	3408	5926	4917	< 550	550	< 550	< 550	< 550

NORMA CIPW

Quartzo (Q)	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Corindon(C)	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortoclásio(Or)	9.28	9.31	37.81	38.16	35.77	34.11	22.45	38.41	38.20	40.00
Albita(Ab)	1.49	1.32	52.28	50.92	55.24	34.31	45.09	48.04	50.13	47.81
Anortita(An)	21.77	21.68	-	-	-	7.39	11.44	-	-	-
Nefelina(Ne)	10.04	10.14	1.25	2.03	0.86	9.27	3.77	1.76	1.04	1.66
Diopsídio(Di)	37.56	37.50	2.92	2.64	2.08	6.13	5.77	3.04	2.02	2.17
Hiperstênio(Hy)	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Olivina(Ol)	8.05	8.07	-	-	-	0.50	1.61	-	-	-
Magnetita(Mt)	5.95	6.05	2.65	2.55	2.58	3.85	4.89	2.96	3.78	3.44
Ilmenita(Il)	4.01	4.05	1.26	1.30	0.95	2.73	3.39	1.63	1.69	1.80
Apatita(Ap)	1.92	1.95	0.30	0.26	0.23	1.15	1.47	0.43	0.44	0.41
Acmita(Ac)	0.00	-	0.14	0.28	0.66	-	-	2.65	1.13	1.66
Leucita(Lc)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K-Metasilicato(Ks)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na-Metasilicato(Ns)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CaDiSilicato(Cs)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kaliofilita(Kp)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wollastonita(Wo)	-	-	1.07	1.49	1.63	-	-	1.08	1.55	0.96
Hematita(Hm)	-	-	0.33	0.39	0.02	0.57	0.12	-	0.02	0.09
Titanita(Tn)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rutilo(Ru)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perovskita(Pf)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcita(Cc)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I.D.	20.80	20.77	91.34	91.10	91.87	77.69	71.32	88.22	89.38	89.47
I.C.	55.57	55.67	7.30	7.15	6.28	13.78	15.79	10.28	8.64	9.16
Total	100.06	100.06	100.01	100.01	100.01	100.02	100.02	100.01	100.01	100.01

Anexo 12 - Tabela 1. Dados geoquímicos (ppm) de elementos traços e elementos terras raras para as rochas do setor norte da Ilha de São Sebastião.

Amostra ISS- Classif. Petrog.	004B01	004C01	004F01	004G02	004H01	007C01	007E01
	Kmd	Afs	Kmd	Gc	Kmd	Ms	Afs
Rb	36.8	106	9.81	13.6	50.4	64.8	102
Sr	908	136	670	652	1476	1300	35.3
Y	33.8	27.6	25.8	22.0	36.6	31.0	24.7
Zr	116	113	132	170	209	182	101
Nb	52.6	76.5	26.3	24.1	55.7	97.6	56.8
Cs	0.34	0.76	0.32	0.24	0.73	0.57	0.83
Ba	1113	551	392	234	1493	2288	62.6
La	76.2	62.0	26.3	21.9	93.8	85.8	63.4
Ce	143	122	55.9	55.4	193	166	130
Pr	15.8	14.3	7.60	8.15	22.5	18.3	15.8
Nd	62.4	56.3	32.0	35.9	90.6	71.3	64.3
Sm	10.8	9.59	6.73	7.45	14.4	11.0	10.4
Eu	3.16	1.41	2.38	2.34	4.27	3.76	1.90
Gd	9.59	7.93	6.95	7.04	11.7	8.94	8.12
Tb	1.36	1.12	0.98	0.94	1.49	1.15	1.09
Dy	6.62	5.56	4.97	4.60	7.72	5.88	5.50
Ho	1.28	1.04	0.98	0.83	1.40	1.15	1.03
Er	3.12	2.57	2.37	1.93	3.26	2.73	2.32
Tm	0.45	0.36	0.33	0.26	0.43	0.38	0.31
Yb	2.71	2.20	2.05	1.47	2.50	2.35	1.97
Lu	0.42	0.34	0.30	0.22	0.37	0.34	0.30
Hf	2.87	2.52	3.07	4.56	5.01	4.65	2.69
Pb	6.83	11.0	3.37	2.29	4.25	9.93	8.21
Th	6.98	6.17	1.10	2.27	6.90	3.51	4.91
U	1.16	1.38	0.38	0.60	1.86	0.81	0.87

Afs - álcali feldspato sienito; Ms - melassienito; Kmd - kaersutita metadiabásio; Gc - gabro cumulático

