

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

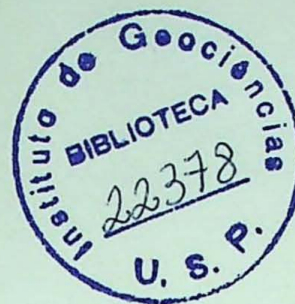
**GEOLOGIA E PETROGRAFIA DA SUÍTE ALCALINA
DE BOM REPOUSO, MG**

Pedro Augusto da Silva Rosa

Orientador: Prof. Dr. Excelso Ruberti

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-09/20)

SÃO PAULO
2009



GEOLOGIA E PETROGRAFIA DA SUÍTE ALCALINA DE BOM REPOUSO, MG

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-09/20)

DEDALUS - Acervo - IGC



30900026777

Aluno: Pedro Augusto da Silva Rosa

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Pedro", written over a horizontal line.

Orientador: Prof. Dr. Excelso Ruberti

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Excelso", written over a horizontal line.

Dedico este trabalho aos meus pais, Maurício e Carmen Lúcia, à minha irmã, Jaqueline, aos meus avôs,

Geraldo e Joaquim, e minhas avós
(in memoriam) Maria do Carmo e
Elza.

Dedico este trabalho aos meus pais, Maurício e Carmen Lúcia, à minha irmã, Jaqueline, aos meus avôs, Geraldo e Joaquim, e minhas avós (in memoriam) Maria do Carmo e Elza.

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, Maurício e Carmen Lúcia, por terem aberto a estrada que me fez chegar até aqui, me oferecendo sempre toda a ajuda, oportunidade e confiança necessária, além de minha irmã, Jaqueline, pela paciência tida comigo. Aos meus avôs, Geraldo Pereira da Rosa e Joaquim Bento da Silva Neto, que me deram muitas lições de vida e sabedoria que vão muito além de livros e aulas. E à Maria Elisa, pelo apoio, companhia e carinho durante boa parte de minha vida.

Ao professor Excelso Ruberti, pelo grande conhecimento oferecido e atenção dedicada nesses dois anos e meio de convivência. Ao professor Gaston pela grande ajuda nos programas, diagramas, tabelas, minerais, campo e no que mais precisasse. Ao Dr. Rogério pelos conselhos e discussões. E ao professor Ulbrich, pela revisão do *abstract*.

Ao CNPq (*Processos 303428/2005-8 e 303593/2008-3*) pelo apoio financeiro que viabilizou grande parte desse trabalho.

Ao Instituto de Geociências por toda a estrutura oferecida, e aos funcionários que me ajudaram Marcos e Paulo (Microsonda), José Paulo (LTA), Paulinho (Fluorescência RX), Angélica (Óptica), Sandra (biblioteca), dentre outros.

Aos professores que me acompanharam durante a graduação Valdecir, Fábio Ramos, Sílvio, Renato Moraes, Gergely, Mário Campos, Egydio, Basei, Boggiani, Giannini, Bley e Ginaldo pelos quais possuo especial apreço. À professora Marly e à Dra. Milene, por terem me iniciado na ciência e ajudado a despertar minha visão crítica.

À Mineração Curimbaba, especialmente ao senhor Marcos Aurélio Chavasco, que me apresentou a área da suíte, e ao geólogo Lúcio Rampazzo, pelo interesse e incentivo à minha pesquisa e possibilitando o acesso à área de mineração. E também ao senhor Adriano, pelas informações, acesso e acompanhamento em sua propriedade.

Aos amigos que sempre estiveram ao meu lado em momentos felizes e tristes, e me ajudaram nas escolhas e trilhas que segui Tiago, Iago, Daniel Lima, João Paulo Bueno, Gabriel Cenato, Samuel, Marcos Vinícius (Missinho), Cristiano (Mingau), Cristina, Diego, Pedrinho, João Paulo (Sagüi), Patrícia, Berta, Lúcio, Léo e Diogo.

Aos amigos que encontrei aqui e tornaram os momentos de trabalho, estudo e diversão mais agradáveis Lucas Takeshi (Sal), Lucas Gonçalves (Marmota), Diego (Pesca), Victor (Pré), Guilherme (Sol), Danilo (Gonzo), Vinícius (Rebita), Giovanna (Fura), José Manuel (Jabá), Sara, Viviane (Jeba), Pedro Lazaneo (Pamonha), Adinan (Placenta), Lyvia (Saravá), Cíntia (Fun) e Katherine.

Aos meus tios, tias e familiares que sempre me apoiaram, especialmente Irene, Noêmia, Toninho e Eliana, Zé Loquinho e Neguinha. Ao Edinho e Nô pela companhia e pales caronas.

Aos colegas, professores e funcionários da Escola Ana Bueno, especialmente D^a Virgínia e D^a Cecília, e também aos colegas do Colégio Meta.

E todas as demais pessoas que me auxiliaram direta ou indiretamente nessa caminhada.

Cego

Móveis Coloniais de Acaju

Letra e Música: Roberto Mejía

Quando vi, parado ali,
Um cego a se questionar porquê
Não via só a luz do sol
Como a cor do céu

Direcionou o olhar a mim
Enquanto evitava o encontro ao seu
E com tristeza no falar
Também me perguntou:

"será mesmo, realmente
amarelo o sol, e azul o céu
por que não ser lilás, vermelho
ou quem sabe seja apenas som?"

Agoniado ao pensar
No que o cego estava a falar
Olhos azuis a escurecer
Meu Deus, o que vai ser

Sentei, chorei e compreendi
Que não havia só um cego ali
E perturbado ao dizer,
Escute aí você:

"quem é que não enxerga aqui
será eu ou você que não percebe?"

Resumo

A suíte alcalina de Bom Repouso (70 Ma?; SABR) reúne-se numa pequena área localizada no Extremo Sul do Estado de Minas Gerais (22°31'S e 46°10'W), entre os municípios de Bom Repouso e Senador Amaral. Aflora como duas ocorrências, uma principal, que configura uma elevação em forma de lua crescente, ocupando uma superfície de 1 km², e um pequeno *plug* satélite, com diâmetro em torno de 100m. Do ponto de vista petrográfico e químico, compõem-se essencialmente de rochas fonolíticas peralcalinas (I.A. entre 0,9 a 1,17) pertencentes à série sódica, com teores normativos elevados de *ne* e *ab* (*ab/or* cerca de 3/2), pouca *ac* (até ~3% mol) e *lc* ausente. Os principais minerais identificados são feldspato alcalino, nefelina, aegirina, anfibólio sódico (arfvedsonita/eckermanita) e abundantes minerais exóticos, como enigmatita, astrofilita, serandita, catapleíta, criolita, eudialita e niobofilita. Os dados químicos indicam teores elevados de elementos incompatíveis e razões Zr/Nb entre 4,8 e 3,9. As características petrográficas e químicas da SABR são comparáveis às das rochas agpaíticas de Poços de Caldas, principalmente aos fonolitos e khibinitos, sugerindo uma possível afinidade petrogenética entre si. A SABR insere-se em granitóides pré-cambrianos do Complexo Paraisópolis, entre as províncias alcalinas representadas pelo Setor Norte da Serra do Mar e pelo Lineamento Magmático Cabo Frio, próxima de Poços de Caldas (62km a NNW) e Ponte Nova (53 km a SE). O presente trabalho apresenta os primeiros estudos geológicos e petrográficos de detalhe, com dados de química de rocha e mineral.

Abstract

The Late Cretaceous (70 Ma?) alkaline suite of Bom Repouso (ASBR) is exposed over a small area in Southern Minas Gerais State (22°31'S, 46°10'W), near the towns of Bom Repouso and Senador Amaral. It outcrops as two occurrences, the main body covering a crescent-shaped area with about 1 km², the other one presents a small plug of about 100m in diameter. Petrographically and chemically, both consist mainly of sodic peralkaline phonolitic rocks (A.I. 0.9 to 1.17), with high normative contents of *ne* and *ab* (*ab/or* ~ 3/2), some *ac* (up to ~3% mol) and *lc* missing. Main minerals are alkaline feldspar, nepheline, aegirine, sodic amphiboles (arfvedsonite/eckermanite) and significant amounts of rare minerals, such as aenigmatite, astrophyllite, serandite, catapleiite, cryolite, eudialyte and niobophyllite. Chemical data point to high contents of incompatible elements and Zr/Nb ratios of 3.9 up to 4.8 (the higher value from the plug). Both the petrographic and chemical compositions of ASBR are comparable to the agpaitic rocks from the Poços de Caldas massif, mainly its phonolites and khibinites, indicating a possible petrogenetic affinity. The ASBR is emplaced into Precambrian granitoids of the Paraisópolis basement, between the alkaline Provinces represented by the northern sector of the Serra do Mar and the Cabo Frio Magmatic Lineament, close to Poços de Caldas (62km to the NNW) and Ponte Nova (53 km to the SE). This paper presents the first detailed geologic and petrographic studies, with chemical data on rocks and mineral.

Sumário

1. Introdução.....	1
2. Localização e Acesso	2
3. Metas e Objetivos	2
4. Desenvolvimento do Trabalho	3
5. Histórico do Conhecimento da SABR.....	4
6. Levantamento Bibliográfico	5
6.1. Geologia Regional	5
6.2. Contexto Geológico Magmático Alcalino	6
6.3. Levantamento Bibliográfico da SABR	9
7. Trabalho de Campo	10
8. Geologia Local.....	12
8.1. Corpo Principal	12
8.2. <i>Plug</i> Satélite.....	15
9. Petrografia	15
9.1. Fonolito porfirítico (Fpf)	16
9.2. Fonolito afírico (Faf).....	18
9.3. Fonolito mosqueado (Fmq)	24
10. Química de rocha.....	28
10.1. Preparação das amostras, obtenção e tratamento dos dados.....	28
10.2. Resultados e Discussões.....	29
11. Química mineral.....	35
11.1. Feldspato	36
11.2. Nefelina	37
11.3. Sodalita e Analcima	38
11.4. Clinopiroxênio	38
11.5. Anfibólio.....	40
11.6. Biotita.....	40
11.7. Minerais Exóticos.....	41
12. Considerações Finais	44
13. Referências.....	46

1. Introdução

A Suíte Alcalina de Bom Repouso (SABR) representa uma das inúmeras ocorrências que se insere no contexto magmático alcalino da Plataforma Sul-Americana, de idade Meso-Cenozóica, e juntamente com a maioria delas situa-se na região sul da latitude 15°S. Estas se dispõem em torno dos limites leste e nordeste da Bacia do Paraná, onde afloram o maior número de ocorrências, e da região costeira marginal à Bacia de Santos, nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Apesar da importância dessas rochas, muitas das ocorrências contam apenas com estudos preliminares, enquanto outras ainda são desconhecidas na literatura geológica, como o caso da “*Suíte Alcalina de Bom Repouso*”.

Nas províncias alcalinas da Serra Mar (Setor Norte) e do Lineamento Magmático Cabo Frio (Almeida, 1983 e 1991; Riccomini *et al.*, 2005), as ocorrências alcalinas estariam condicionadas por feições tectônicas maiores, distribuindo-se segundo duas direções principais, respectivamente NE e NW.

Fora destes dois grupamentos principais, estariam as ocorrências de Ponte Nova, SP-MG (Azzone *et al.* 2009), que se localiza na região alta da Serra da Mantiqueira entre os estados de Minas Gerais e São Paulo, e “foge” daqueles lineamentos por quilômetros, e as ocorrências no interior de Bacias tafrogênicas, como de Volta Redonda (Riccomini *et al.* 1983).

Neste contexto regional, a Suíte Alcalina de Bom Repouso seria de pronto uma terceira ocorrência, que se situa isoladamente entre aquelas duas províncias. Entretanto, dois fatos tornam-se importantes. O primeiro é que a intrusão encontra-se aproximadamente posicionada num aparente alinhamento ligando duas associações alcalinas bem distintas, pertencentes às províncias das áreas adjacentes: Poços de Caldas, 62 km a NNW, e Ponte Nova, 53 km a SE. O segundo deve-se à semelhança mineralógica, petrográfica e química impressionante com as rochas agpaíticas de Poços de Caldas, muito diferente de qualquer outra ocorrência descrita na região.

Em vista das características peculiares e carência de informações da SABR, entendeu-se que o estudo dessa ocorrência poderá contribuir significativamente para o melhor entendimento do magmatismo alcalino da região, e de suas possíveis correlações geológicas e petrológicas com as províncias alcalinas da Serra Mar Setor Norte e do Lineamento Magmático Cabo Frio.

Este trabalho apresenta o primeiro mapa geológico, os primeiros estudos petrográficos de detalhe, e os primeiros dados de química mineral e de rocha desta ocorrência. Os dados obtidos ao longo das etapas iniciais da pesquisa propiciaram uma nota de divulgação (Rosa *et al.*, 2009) intitulada ‘*Uma nova ocorrência alcalina mesozóica: a suíte alcalina de Bom Repouso, MG*’ apresentada no XI Simpósio de Geologia do Sudeste, realizado em São Pedro, SP.

2. Localização e Acesso

A intrusão fonolítica de Bom Repouso, MG, localiza-se na região extremo sul do Estado de Minas Gerais, entre os municípios de Bom Repouso e Senador Amaral (Figura 1), aproximadamente 20 km a oeste da Rodovia Fernão Dias. Possui coordenadas aproximadas de 22°31'30"S e 46°10'40"W, e sustenta uma cota média de 1600 m. Encontra-se numa região topograficamente elevada, caracterizada por uma geomorfologia de planalto, com morros suaves e altitude em torno de 1500 m.

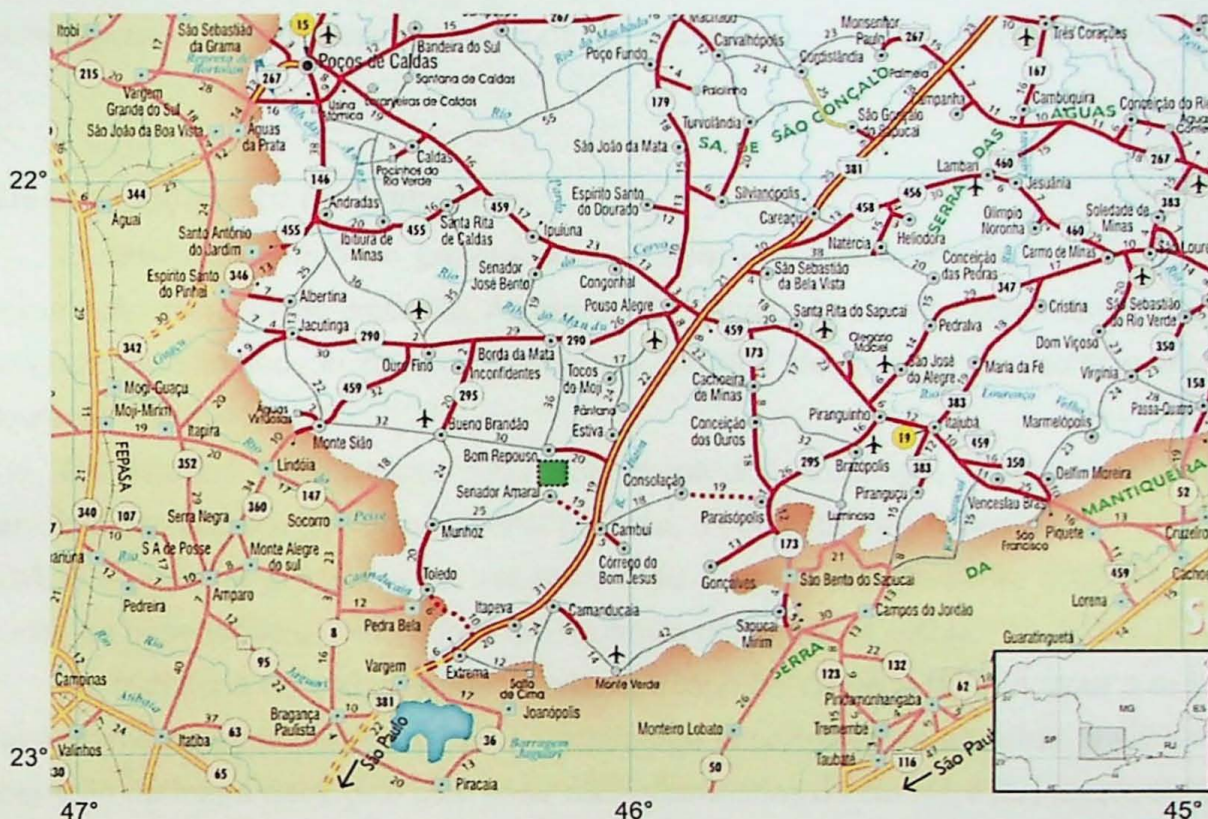


Figura 1 - Localização e acessos à área de estudo (em destaque). Retirado de <http://www.der.mg.gov.br>.

O acesso ao local pode ser feito tanto por Senador Amaral, quanto por Bom Repouso, uma vez que a suíte é cortada ao meio pela estrada que liga as duas cidades. Saindo de Cambuí, às margens da Rodovia Fernão Dias (BR-381), segue-se, a partir do trevo de acesso norte da cidade, por 19 km pela Estrada Senador Amaral, e depois mais 10,5 km em estrada de terra em sentido à Bom Repouso. Já pelo caminho de Bom Repouso, deve-se entrar no trevo da Estrada Bom Repouso com a rodovia, no bairro do Congonhal, e seguir por 21 km até a cidade, e depois por mais 8,5 km em estrada de terra em sentido à Senador Amaral.

3. Metas e Objetivos

O presente trabalho visa à caracterização geológica, petrográfica e química de minerais e rochas das principais variedades litológicas da Suíte Alcalina de Bom Repouso, MG, com a divulgação do primeiro mapa geológico, das primeiras descrições petrográficas de detalhe e dos primeiros dados químicos de minerais e rocha.

Para tanto, fez-se necessário a avaliação da geologia da intrusão, com um trabalho de mapeamento do corpo alcalino em escala adequada e caracterização da litodiversidade e das estruturas, atentando-se também às relações de contato entre o corpo intrusivo e encaixantes regionais. Outra parte essencial reside na investigação petrográfica da litodiversidade presente, com ênfase nas texturas e nas assembléias minerais, análise química das principais rochas presentes por fluorescência de Raios-X, para determinação dos elementos maiores, menores e traços, e análise química de seus componentes mineralógicos essenciais, com o auxílio da técnica da microsonda eletrônica.

4. Desenvolvimento do Trabalho

O desenvolvimento do projeto ocorreu sem imprevistos significativos e dentro da programação inicialmente proposta. As etapas de trabalho realizadas contaram com estudos bibliográficos, trabalho de campo, petrografia, análise de química de rocha e mineral e elaboração de relatório.

Os estudos bibliográficos foram desenvolvidos ao longo do ano, e abrangeram levantamentos sobre a geologia regional da área, o contexto magmático no qual se insere a SABR, e a possível existência de trabalhos e/ou citações prévias sobre a SABR, além de estudos de base teórica, como petrologia, química mineral e de rocha.

Os trabalhos de campo foram realizados logo no começo do ano, com a realização do levantamento geológico do corpo propriamente dito, coleta de amostras e conseqüente elaboração do mapa geológico com base nas informações de campo e dos dados obtidos ao longo do ano, como petrografia e química mineral e de rocha.

Os trabalhos laboratoriais foram iniciados com a realização de estudos petrográficos, a partir de dezoito amostras representativas das variedades litológicas encontradas, seguindo-se com as análises de química mineral por microsonda eletrônica, executadas em quatro amostras distintas, e, por fim, as análises químicas de rocha por fluorescência de Raios-X, realizadas em quinze amostras selecionadas com base na petrografia. Ressalte-se que todas essas etapas conseqüentemente contaram com os respectivos tratamentos dos dados obtidos.

As atividades finais do programa de pesquisa voltaram-se à interpretação e integração de todos os dados obtidos e elaboração da monografia.

O único “contratempo” encontrado ao longo do trabalho foi a impossibilidade de realização de análises modais por contagem de pontos em lâmina, tendo em vista à granulação muito fina das amostras. A difícil individualização e a dificuldade de visualização das fases minerais mais importantes poderiam implicar em aberrações na contagem e alterar a interpretação dos dados obtidos. Sendo assim a classificação das rochas foi

baseada no diagrama de variação química SiO_2 vs. $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (TAS), mais apropriado para as rochas vulcânicas extrusivas e subsuperficiais.

O cronograma final das atividades desenvolvidas encontra-se ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Cronograma de atividades desenvolvidas durante Trabalho de Formatura.

Atividade\Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Estudos bibliográficos											
Campo											
Mapa											
Petrografia											
Química mineral											
Relatório de Progresso											
Química de rocha											
Elaboração da Monografia											

5. Histórico do Conhecimento da SABR

O autor deste trabalho tomou conhecimento da ocorrência de bauxita no município de Bom Repouso, sul de Minas Gerais, por volta de 2004, quando surgiram boatos sobre o referido minério no município vizinho de Cambuí, onde ainda residia. Segundo narrado por moradores locais, a descoberta teria sido feita por alguém de fora, que notara o material de cascalhamento das estradas rurais na redondeza, constituído basicamente de bauxita. Buscando informações na prefeitura do município, tal observador conseguiu localizar a fonte de onde procedia esse material. Pouco depois, já se encontrava no local a Mineradora Curimbaba explotando o minério.

O interesse por aquela ocorrência de bauxita retornou no início de 2008, quando aluno do terceiro ano do curso de geologia, então contando com um conhecimento maior e integrado sobre o assunto. Tal motivação levou a pesquisar na biblioteca do IGc-USP e na internet sobre a procedência desse minério na região. Não se encontrou nada a respeito de qualquer corpo alcalino mesozóico de destaque, salvo uma ocorrência locada num mapa geológico do Estado de Minas Gerais (Pedrosa-Soares *et al.*, 1994), indicada por *Suíte Alcalina de Bom Repouso*, com idade arqueana.

No início de agosto de 2008, o interessado fez uma breve visita à lavra de exploração de bauxita, acompanhado por um funcionário da empresa Mineração Curimbaba. Na primeira observação durante a visita foi o suficiente para verificar a relação do minério com a rocha e a existência de um corpo alcalino. Na oportunidade pôde conhecer alguns afloramentos e realizar coleta não sistemática de algumas amostras, das quais foram confeccionadas lâminas petrográficas. A análise destas lâminas finalmente revelou a afinidade tipicamente alcalina dessa ocorrência. Assim, surgiu a idéia de realizar um trabalho de pesquisa no local.

Na última semana de janeiro de 2009 foram realizados três dias de campo acompanhado pelo orientador e pelo Prof. Gaston E. R. Enrich, com o objetivo de reconhecer o corpo e verificar a possibilidade da execução do Trabalho de Formatura. Na oportunidade foi realizada uma coleta sistemática de amostras, bem como dado o início do trabalho de mapeamento. No final de fevereiro foi realizada outra expedição, continuando com os trabalhos de mapeamento e de amostragem, desta vez apenas com o orientador.

6. Levantamento Bibliográfico

6.1. Geologia Regional

A região onde se insere a suíte alcalina de Bom Repouso possui uma história geológica complexa, caracterizada pela presença de uma mega-estrutura conhecida como *Nappe* Socorro-Guaxupé, relacionada aos eventos orogênicos brasileiros de formação do Supercontinente *Gondwana*. A estrutura é representada por uma espessa lasca (ca. 15 km) neoproterozóica, organizada em uma pilha alóctone de três unidades distintas de crosta continental profunda: a Unidade Granulítica Basal, a Unidade Diatexítica Intermediária e a Unidade Migmatítica Superior. A estrutura alóctone encontra-se segmentada em dois lobos, Guaxupé a norte e Socorro a sul, separados por rampas laterais de alto ângulo (Campos Neto *et al.*, 2004).

Segundo Campos Neto *et al.* (*op cit.*) a unidade basal consiste de granulito-gnaisses bandados, enderbítico a charno-enderbíticos, com intercalações locais de gnaisses gabro-noríticos. Ortognaisses migmatíticos ocorrem em faixas descontínuas no topo da unidade granulítica. Na unidade intermediária predominam biotita e biotita-granada diatexitos graníticos rosados, que derivaram da fusão por quebra de biotita de fontes metaluminosas a peraluminosas. Encraves metassedimentares ocorrem como faixas de gnaisses kinzigíticos (espinélio-sillimanita-cordierita-granada). A unidade superior é representada por migmatitos estromáticos que possuem mesossomas com assinaturas químicas e isotópicas de metagrauvacas e de metapelitos, os primeiros oriundos da denudação de arco magmático neoproterozóico. Supersuítas magmáticas ocorrem nos diferentes níveis da estratigrafia crustal da *nappe*. Os batólitos formam uma série cálcio-alcalina expandida, com composição de hornblenda-biotita quartzo monzodiorito-granodiorito-granito porfiríticos. Granada-biotita granitos peraluminosos são freqüentes em corpos descontínuos, intrusivos e/ou in situ, no segmento superior da *nappe*.

Nesse contexto, a SABR encontra-se alojada em rochas da porção inferior da Unidade Diatexítica Intermediária de Campos Neto *et al.* (*op. cit.*), que corresponde ao Complexo Paraisópolis (Figura 2), este definido por Cavalcante *et al.* (1979) e revisto por Moraes *et al.* (1999) como sendo representado por migmatitos diversos, granitóides porfiroblásticos e granulíticos, granulitos ácidos e básicos, granitos e granodioritos

gnáissicos. Essas rochas podem ocorrer como paleossomas de migmatitos e freqüentemente se encontram milonitizadas. Segundo Cavalcante *et al.* (*op. cit.*), na região de Bom Repouso afloram migmatitos granitóides róseos, raramente cinzentos, com grande variação estrutural e granulométrica.

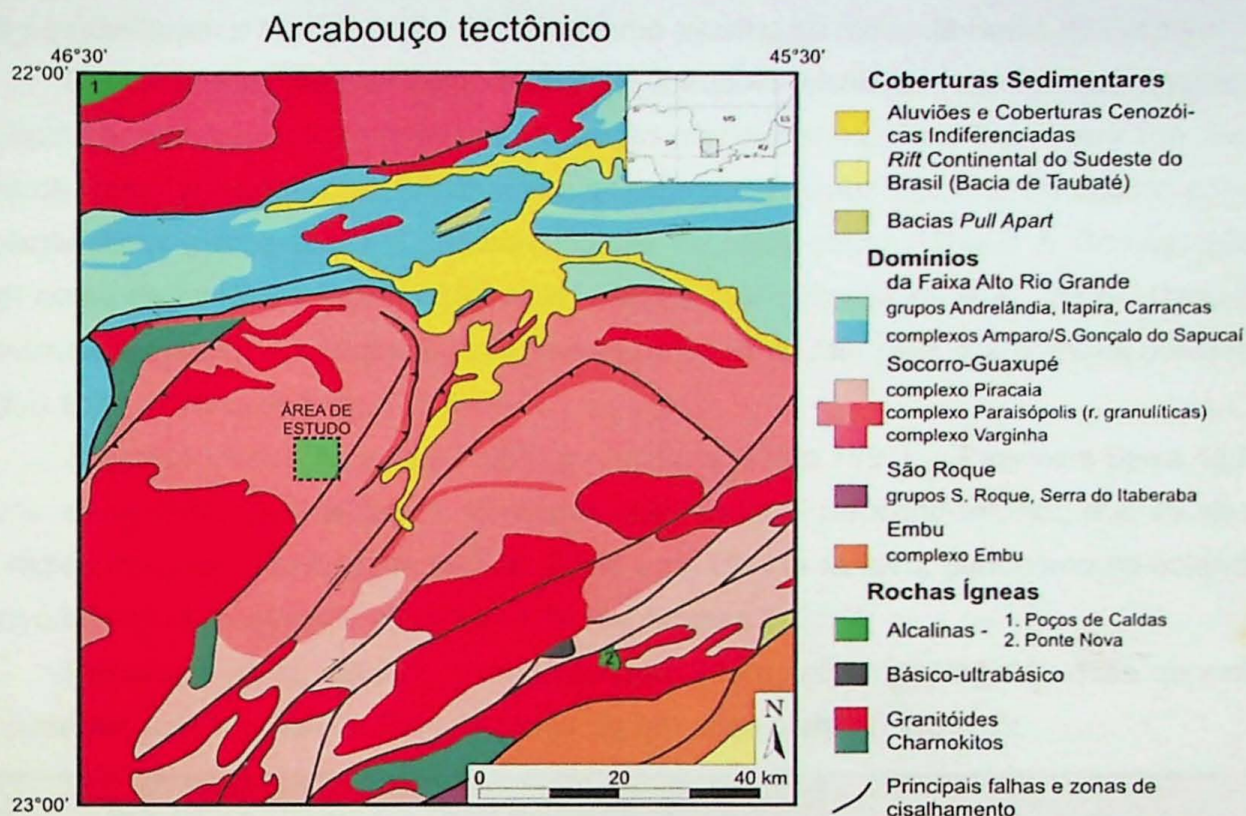


Figura 2 - Arcabouço tectônico de parte da Folha Guaratinguetá (SF.23-Y-B), representando os principais domínios estruturais e litológicos. Modificado de Moraes *et al.* (1999).

6.2. Contexto Geológico Magmático Alcalino

De acordo com Sørensen (1974), as rochas alcalinas caracterizam-se pela presença de feldspatóides e/ou piroxênios e anfibólios alcalinos, incluindo assim rochas insaturadas a saturadas. As rochas podem ser deficientes em sílica e/ou alumina e apresentar acmita ou feldspatóide na composição normativa. Quando afaníticas são caracterizadas com base nas variações da relação entre os teores (% em peso) de sílica e dos totais de álcalis. Conjuntamente às rochas alcalinas podem ocorrer dunitos, peridotitos, carbonatitos, kimberlitos, lamprófiros, dentre outros.

As atividades magmáticas alcalinas identificadas no planeta Terra tiveram início nos tempos arqueanos, relacionados a processos de tectônica distensiva. No Brasil, a ocorrência mais antiga conhecida encontra-se na Bahia. Trata-se do complexo sienito-carbonatítico de Angico dos Dias, com idade U/Pb de 2011 Ma (Silva *et al.*, 1988).

O magmatismo alcalino na Plataforma Sul-Americana, segundo Almeida (1983), foi resultado de um processo diastrófico iniciado no Jurássico após longo período de calma tectônica. Este processo, definido como Reativação Wealdeniana (Almeida, 1967 e 1969), foi caracterizado pela reativação de antigos falhamentos e surgimento de blocos de falha,

soerguimentos de arcos, abatimentos de bacias costeiras e acentuada subsidência da Bacia do Paraná. Como consequência houve intenso magmatismo basáltico toleítico que preencheu toda Bacia do Paraná, estendendo-se até, onde é hoje, a Bacia de Santos. Nas bordas dessas bacias foram geradas, ou reativadas, arcos, flexuras e zonas de falhamentos que possibilitaram a manifestação do vulcanismo alcalino ao redor da Bacia do Paraná.

Conhecem-se mais de cem centros de intrusões alcalinas mesozóicas, simples ou múltiplas e alguns centros vulcânicos na porção meridional da placa Sul Americana. Esses centros foram agrupados em províncias alcalinas por diversos autores, de acordo com as características petrográficas e geocronológicas de cada corpo (Ulbrich & Gomes, 1981), bem como da tectônica regional (Almeida, 1983 e 1991; Riccomini *et al.*, 2005). Dentre as províncias estabelecidas, enfocamos a Província Serra do Mar pela sua possível contextura com a suíte alcalina de Bom Repouso.

Segundo Ulbrich & Gomes (1981) e Almeida (1983 e 1991), a Província Serra do Mar reúne as ocorrências alcalinas do Cretáceo Superior ao Paleoceno Inferior, que se situam na região litorânea dos Estados de São Paulo e do Rio de Janeiro, bem como se estendem para o interior do continente até a Serra da Mantiqueira.

Riccomini *et al.* (2005), com base em informações geológicas mais recentes, propuseram uma subdivisão daquela província em duas outras (Figura 3):

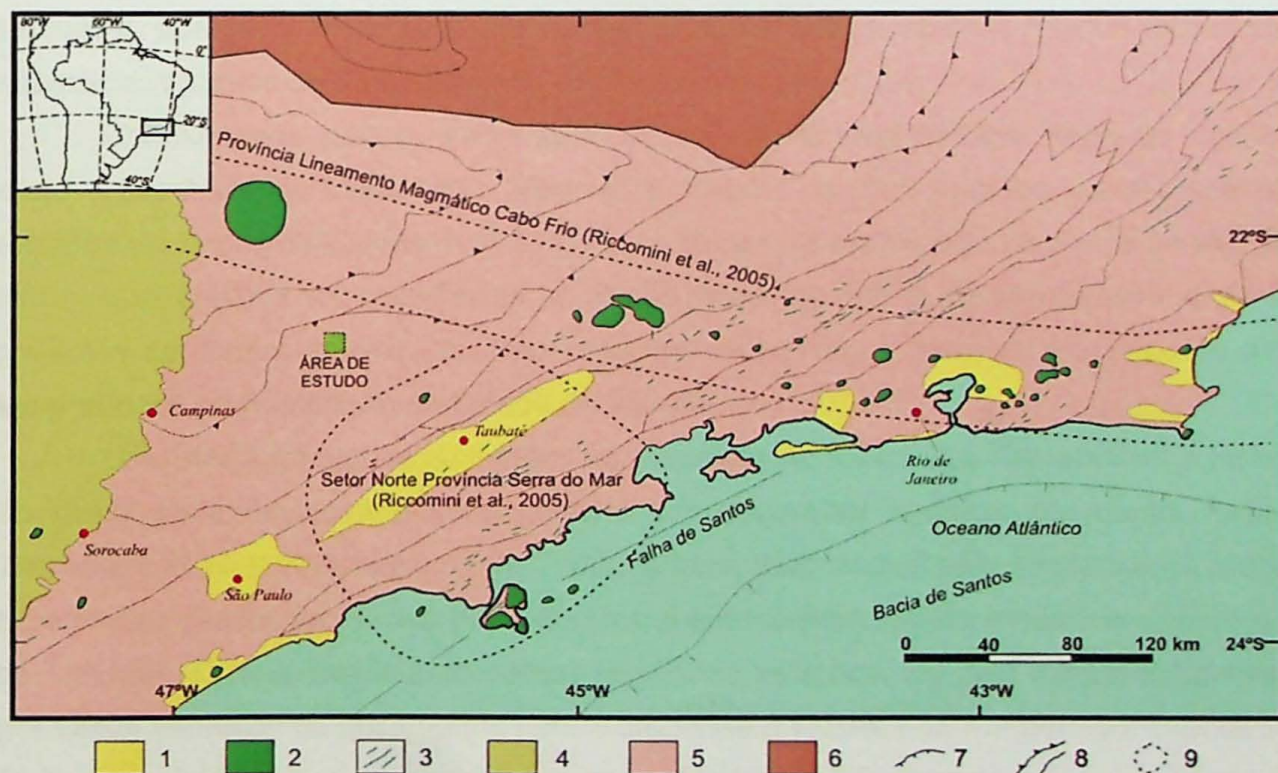


Figura 3 - Distribuição dos corpos alcalinos na região do Vale do Paraíba e faixa litorânea dos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro (Província Serra do Mar de Almeida, 1983), com as principais unidades tectônicas do embasamento. Apresenta-se também a localização da área de estudo. 1: Bacias de rifte (Cenozóico); 2: Ocorrências alcalinas (Meso-Cenozóico); 3 e 4: Bacia do Paraná (Paleozóico), respectivamente, diques e lavas; 5: Orógenos Brasília e Ribeira (Pré-Cambriano); 6: Cráton do São Francisco (Pré-Cambriano); 7: Limites da Bacia de Santos; 8: Principais estruturas (falhamentos) do embasamento (Pré-Cambriano); 9: Nova subdivisão das províncias alcalinas da região proposta por Riccomini, *et al.* (2005). Modificado de Azzone *et al.* (2009)

a) *Província Serra do Mar*, englobando tão-só as ocorrências do Cretáceo Superior dispostas na porção continental na borda oeste da Bacia de Santos. Nesse contexto, ela envolve também as rochas alcalinas do Cretáceo Superior consideradas por Almeida (1983) como pertencentes às Províncias do Arco de Ponta Grossa (ex. Cananéia) e de Santa Catarina (ex. Lages). Em vista disso, a Província Serra do Mar foi expandida e subdividida em três setores (norte, central e sul), que correspondem a áreas de importantes soerguimentos cenozóicos ao longo da região costeira *onshore* do Sudeste do Brasil.

b) *Província do Lineamento Magmático Cabo Frio*, primeiramente definida por Sadowski & Dias Neto (1981) como “lineamento sismo-tectônico de Cabo Frio” e posteriormente por Almeida (1991) como “alinhamento magmático de Cabo Frio”, possui pelo menos duas fases de magmatismo alcalino, do Cretáceo Superior ao Paleógeno, reunindo todas as ocorrências dispostas ao longo dessa feição estrutural.

Ressalta-se que as províncias da Serra do Mar Setor Norte e do Lineamento Magmático de Cabo Frio possuem características petrológicas distintas (cf. Riccomini *et al.* 2005). A primeira possui significativa quantidade de rochas máficas e ultramáficas, controle estrutural relacionado à evolução da Bacia de Santos e do Oceano Atlântico, e idades entre 90-79 Ma. Na segunda há predomínio rochas félsicas (ex. nefelina sienitos, fonolitos, traquitos), admirável lineamento dos corpos alcalinos sem aparentes feições tectônicas na superfície, e idades de 83-51 Ma.

Considerando essa divisão (Figura 3), a Suíte Alcalina de Bom Repouso localiza-se entre a província do Lineamento Magmático Cabo Frio, que engloba, dentre outros, os maciços de Poços de Caldas, Itatiaia e Passa Quatro, e a província da Serra do Mar Setor Norte, que engloba as ocorrências de Ponte Nova na Serra da Mantiqueira e as ilhas próximas ao continente (ex. São Sebastião, Monte de Trigo), além de enxames de diques lamprofíricos do litoral norte do Estado de São Paulo.

Uma das explicações conferidas ao magmatismo Mesozóico-Cenozóico na parte sul do Brasil seria devido a plumas geradas por anomalias térmicas no manto. Segundo Thompson *et al.* (1998), a pluma de Trindade seria responsável pela formação de todas as ocorrências dessas províncias (85 a 55 Ma), e estaria posicionada atualmente sobre a ilha de Trindade. O desenvolvimento dessas províncias teria ocorrido pela migração continental por várias centenas de quilômetros para o sul, onde a litosfera da margem continental seria muito mais delgada que aquela ao norte, sob o Cráton do São Francisco.

Thomaz Filho & Rodrigues (1999) sugerem que o alojamento destas alcalinas segundo alinhamento preferencial seria fruto da passagem da Placa Sul-Americana sobre um *hot spot*. Segundo estes mesmos autores, durante o Eoceno, o alinhamento das rochas da cadeia Vitória –Trindade representaria o deslocamento relativo do referido *hot spot* para nordeste, ou ainda, levando-se em conta a hipótese de *hot spots* serem pontos fixos na

astenosfera, seria uma consequência de um deslocamento da Placa Sul-Americana para sudoeste.

6.3. Levantamento Bibliográfico da SABR

A minuciosa pesquisa bibliográfica sobre a suíte alcalina de Bom Repouso revelou que as únicas fontes em que se registram a existência de um maciço alcalino nas proximidades do município de Bom Repouso, MG, são um mapa geológico do Estado de Minas Gerais (Pedrosa-Soares *et al.*, 1994) e um artigo de Hasui *et al.* (1997) publicado na revista Geociências, da Fundação Editora da UNESP.

No mapa geológico do Estado de Minas Gerais (1:1.000.000) há um corpo indicado como “*Suíte Alcalina de Bom Repouso*” e alocado com “*idade arqueana, possivelmente mais jovem*”. Entretanto, a forma do corpo ilustrado no mapa, o tamanho e a exata localização não coincidem com as descritas no presente trabalho. Além disso, na nota explicativa referente a esse mapa não existe qualquer menção sobre o corpo. Já na edição seguinte desse mesmo mapa (Heineck *et al.* 2003), surpreendentemente o mencionado corpo foi suprimido.

Por outro lado, em artigo de revisão sobre *gnaisses nefelina-sieníticos pré-cambrianos no Brasil*, Hasui *et al.* (1997) apresentaram a suíte alcalina de Bom Repouso inserida num mesmo cronogrupo de diversas outras ocorrências com idades comprovadamente pré-cambrianas, como por exemplo, entre outras, Angico dos Dias (U/Pb 2,01 Ga), Peixe (Rb/Sr 875 Ma e Pb/Pb 1,47 Ga) e Canaã (K/Ar 430 Ma e Rb/Sr 540Ma).

Segundo esses autores, a descoberta da suíte alcalina de Bom Repouso deve-se à N. L. E. Haraly, contudo sem menção de datas. Descreveram com certo detalhe petrográfico rochas de dois corpos tabulares paralelos e dobrados, um com dimensões de 2 x 1,5 km e outro de 10 x 7 m, dispostos concordantemente aos “*gnaisses do Complexo Amparo*”. E definiram as rochas como sendo microlitchfielditos constituídos de uma massa fina de ripas de albita e ortoclásio associadas à nefelina, analcima e/ou sodalita e natrolita, bem como a nefelina e aegirina, com texturas traquíticas a tinguaíticas e freqüentemente porfíricas. Os fenocristais são de piroxênio zonado (núcleo de aegirina-augita e borda de egrina), nefelina parcialmente zeolitizada e feldspato alcalino parcialmente substituído por natrolita. Zeólitas, enigmatita, anfibólio sódico, sodalita (?), apatita, titanita, biotita e opacos aparecem subordinadamente. Tais rochas teriam sido derivadas de nefelina sienitos, e deformadas, segmentadas em vários corpos estratóides intercalados em gnaisses, e foliadas, estas afetada por crenulação. Os autores indicaram ainda um metamorfismo de fácies anfibólito, decrescente até xisto verde, além de uma datação em anfibólio com idade K-Ar de 70 Ma, a qual eles interpretaram com sendo uma idade mínima de forma análoga à ocorrência de Canaã.

Dentre os principais trabalhos de mapeamento da região destacam-se os de Cavalcanti *et al.* (1979), Artur (1988), Campos Neto (1991) e Moraes *et al.* (1999), todos com um enfoque regional e ênfase nos eventos proterozóicos. Mencione-se que em nenhum destes trabalhos encontrou-se registro das rochas alcalinas em Bom Repouso ou proximidades. Na folha Guaratinguetá (Moraes *et al.* (*op. cit.*)) estão registradas duas ocorrências de bauxita e argila encontradas nos municípios de Bom Repouso (290.000 e 725.000 toneladas, respectivamente) e Cambuí (190.000 toneladas de bauxita). Na nota explicativa referem-se à “*bauxita gerada em paragnaisses do Complexo Paraísoópolis*”. Entretanto, as localizações não coincidem exatamente com os afloramentos vistos em campo. Já no portal SIGMINE encontra-se uma concessão de lavra de bauxita no município de Senador Amaral, com entrada no processo de pesquisa no ano de 1968, e desde 2004 de propriedade da Mineração Curimbaba, empresa que explora o minério no local desde 2005.

Essas informações são as únicas disponíveis encontradas que sugerem a existência de um possível corpo ígneo alcalino na região.

Por fim, deve-se ressaltar que a ocorrência descrita no presente trabalho situa-se efetivamente no município de Senador Amaral, MG, aproximadamente a 600 m da divisa com o município de Bom Repouso, sendo esta, a cidade mais próxima e com acesso mais fácil. No entanto, decidiu-se manter a denominação “Suíte Alcalina de Bom Repouso” em respeito à primeira nominação indicada por Pedrosa-Soares *et al.* (1994), quando também da primeira apresentação do corpo, ainda que num contexto geológico vista neste trabalho como equivocado. Como resultado da presente pesquisa, foi apresentado uma nota sobre a geologia e a petrografia dessas rochas no XI *Simpósio de Geologia do Sudeste*, realizado em outubro de 2009 na cidade de São Pedro, SP, intitulada: *Uma nova ocorrência alcalina mesozóica: a suíte alcalina de Bom Repouso, MG*, de Rosa *et al.* (2009).

7. Trabalho de Campo

Os trabalhos de campo foram divididos em duas etapas: a primeira foi realizada por este formando, acompanhado pelo orientador e o prof. Gaston E. R. Enrich, nos dias 26 a 28 de janeiro do corrente ano; já, na segunda, ocorrida no período de 11 a 13 de fevereiro, foi acompanhado pelo orientador e um auxiliar de campo.

Por se tratar de uma ocorrência ainda sem quaisquer informações geológicas precisas, a primeira etapa do trabalho preocupou-se em determinar a geometria básica da área aflorante, bem como estabelecer as relações de contato entre o corpo e encaixantes regionais e investigar a existência de possíveis corpos satélites. Para tanto foram percorridos de automóvel todas as estradas da região, distanciando-se por até 4 km do centro do corpo, além de caminhadas em pontos fora da estrada, por vezes elevados, de

maior interesse ou dúvida. Também foram visitados os dois locais de extração de bauxita pela Mineração Curimbaba, a leste, já desativado, e a oeste, ainda em atividade.

Na segunda etapa, os trabalhos prosseguiram com ênfase à coleta de amostras, buscando-se um maior detalhamento de seu interior, atentando-se para as possíveis diferenças faciológicas. Estas duas etapas foram realizadas sob chuva incessante, o que atrapalhou um pouco o andamento do trabalho, principalmente o registro fotográfico, mas não o comprometendo de forma significativa.

A cobertura vegetal na região se alterna entre pastagens de criação de gado, plantações (morango, milho e batata) e matas de galeria. Nas áreas de pastagens e matas a visualização do solo é difícil, sendo o controle feito principalmente através de afloramentos de blocos. Já nas áreas de plantações a ocorrência de afloramentos é mais rara, porém o solo encontra-se exposto.

No total foram visitados 50 pontos de interesse, tanto na área aflorante do corpo, como também ao longo da encaixante, a fim de determinar os contatos e continuidade do corpo. Utilizou-se como base o mapa topográfico da folha Cambuí, SF-23-Y-B-IV-2 (IBGE, 1972), escala 1:50.000, com as coordenadas UTM medidas por aparelho GPS (Figura 4).

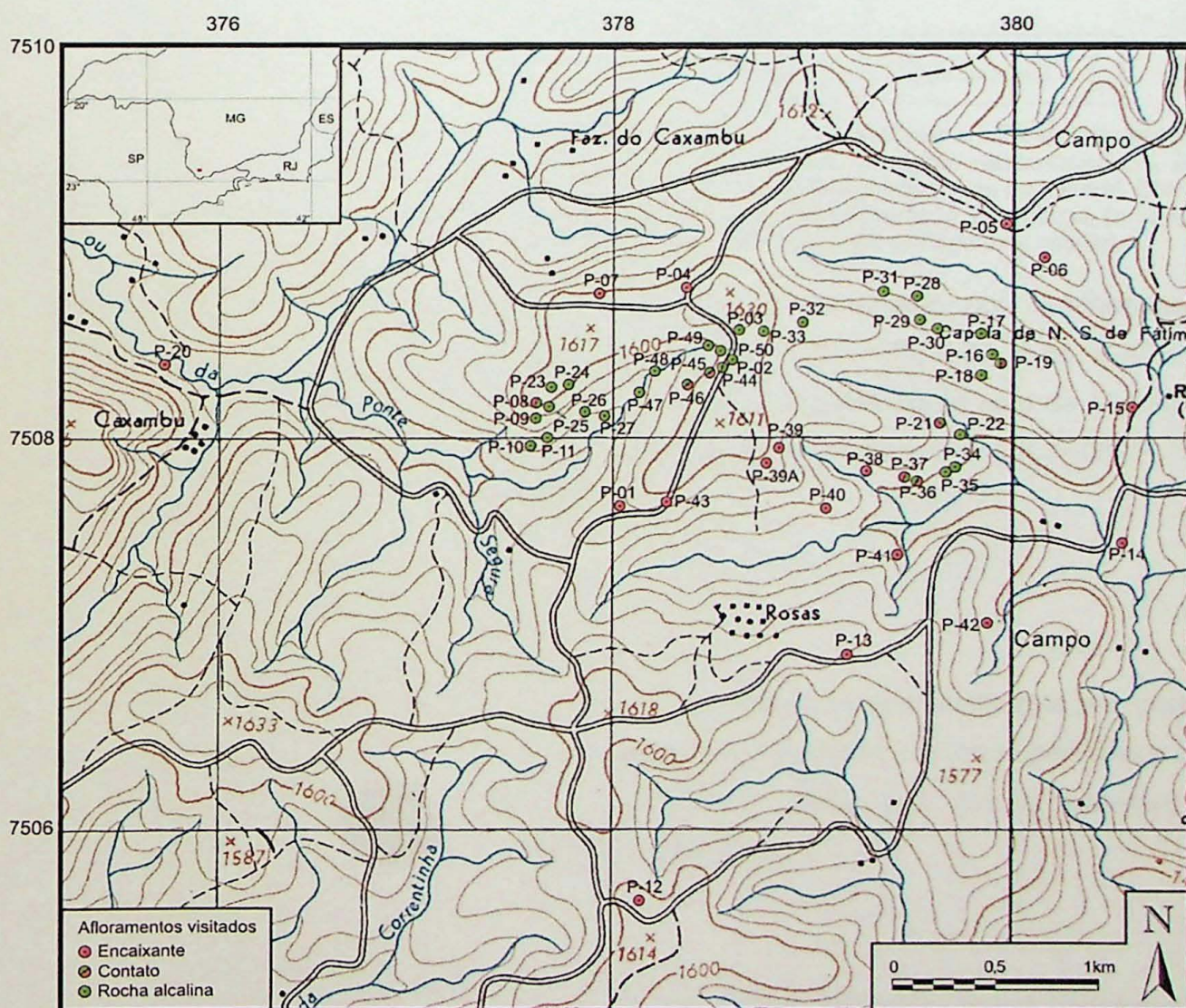


Figura 4 - Mapa com a localização dos afloramentos visitados. Parte da folha Cambuí, SF-23-Y-B-IV-2, (IBGE, 1972). Escala modificada.

Cada ponto foi devidamente descrito, zelando para o tipo de afloramento, extensão, continuidade, grau de alteração, minerais presentes, estruturas e texturas, e, quando possível, feito coleta de amostra para fins de análises laboratoriais. Como resultado, obteve-se um acervo de 42 amostras de rocha fresca das várias litologias, as mais representativas e apropriadas para estudos geoquímicos.

Com estes trabalhos reuniu-se um conjunto de informações geológicas (ex. estrutura e extensão do corpo, relações de contato com encaixante regional, variações texturais), petrográficas e químicas, que permitiram elaborar, ainda que numa primeira versão, o primeiro mapa geológico da Suíte Alcalina de Bom Repouso, exibido no próximo item, Geologia Local. As etapas analíticas realizadas em cada amostra encontram-se resumidas na Figura 5.

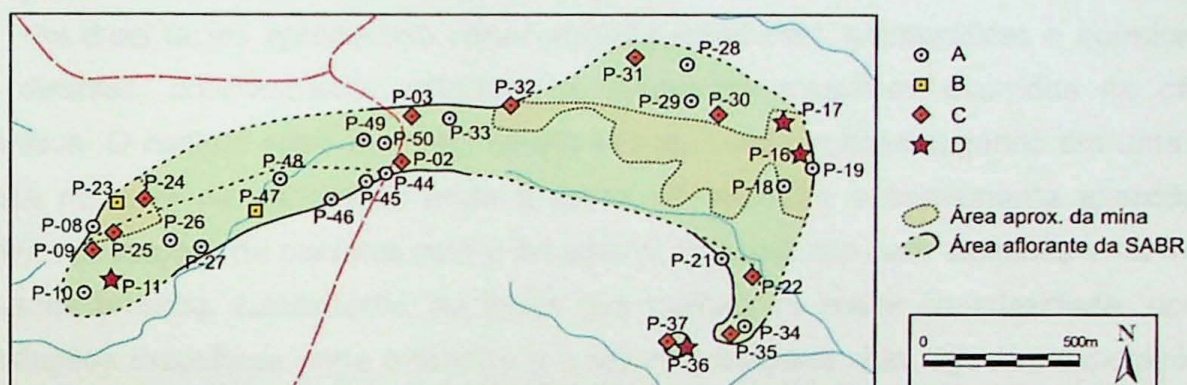


Figura 5 – Mapa da área aflorante da suíte alcalina de Bom Repouso, com as etapas analíticas realizadas em cada amostra: A, apenas descrições macroscópicas; B, item anterior, mais descrições microscópicas; C, itens anteriores, mais análises de química de rocha; D, itens anteriores, mais análises químicas de mineral. O mapa também apresenta as áreas aproximadas de exploração de bauxita da Mineração Curimbaba (a leste já exaurida, e a oeste, em atividade), estabelecidas com base em dados de campo e imagem de satélite.

Em boa parte do contato com a encaixante foi demarcado por caminhamento verificando as mudanças bruscas de litotipo, ou solos (afl. P-32, P-36, P-37, P-44, P-45 e P-46), e em alguns lugares foi possível visualizar o contato exposto como solo de alteração, apresentando uma repentina mudança na coloração, textura e mineralogia (afl. P-08, P-19 e P-21), tanto no chão quanto em corte de barranco.

8. Geologia Local

A suíte alcalina de Bom Repouso (SABR) é representada essencialmente por rochas fonolíticas agpaíticas, que afloram em duas ocorrências compondo um corpo principal e um *plug* satélite separados pelo embasamento (Figura 6). Estes dois corpos apresentam características petrográficas e geoquímicas pouco distintas.

8.1. Corpo Principal

Esse corpo configura uma elevação em forma de lua crescente, com a concavidade voltada para sul. Ocupa uma superfície aproximada de 1 km², possuindo 2,4 km no eixo

maior (E-W) e uma largura média de 300 m, com a porção leste alargada em torno de 600 m. Do ponto de vista morfológico, o corpo situa-se na porção oriental da Serra da Mantiqueira, encerrando uma elevação sem expressão topográfica com altitudes que variam de 1490 m, na porção leste, a 1620 m, na região central.

Petrograficamente predominam dois tipos faciológicos, um representado por *fonolito afírico*, de cor cinza claro a chumbo, com foliação pouco marcada e granulação fina-média a muito fina, raramente afanítica, e outro por *fonolito mosqueado*, de cor cinza esverdeado, mosqueado com pintas pretas arredondadas, e foliação fortemente marcada. Ao microscópio, ambos apresentam textura traquitóide, dada pela orientação de cristais de feldspato potássico e albita tabulares-placóides a aciculares, e cristais alongados de clinopiroxênio, por vezes anfibólio, reunidos em feixes.

As duas fácies apresentam características estruturais, petrográficas e químicas um tanto distintas, possivelmente refletindo os processos evolutivos ocorridos na câmara magmática. O contato entre elas não foi observado, sendo apenas sugerido em uma parte exposta na área da mineração onde a rocha se encontra extremamente alterada. No entanto, as relações de contatos com a encaixante regional são bem definidas e na maioria das vezes bruscos. Localmente, ao longo das regiões de maior complexidade, ocorrem intercalações irregulares entre o fonolito e a rocha encaixante. Em algumas exposições foi também possível observar em corte as relações entre o corpo e a encaixante, revelando um contato nitidamente subvertical (Foto 1).



Foto 1 - Contato entre a encaixante (granitóide) e o fonolito. Observe-se o contato subvertical e brusco. Afloramento P-08, limite oeste.

Por outro lado, algumas evidências de campo observadas sugerem que a área aflorante do corpo corresponde a uma porção superior da câmara onde ele se alojou. Em concordância com esta hipótese, há uma exposição em um corte de barranco na porção sul (P-21) onde se pode observar uma cobertura de encaixante com o fonolito sotoposto. Em vista dessas evidências pode se esperar que uma grande parte do corpo esteja sob a encaixante, não exposto ainda pela erosão.

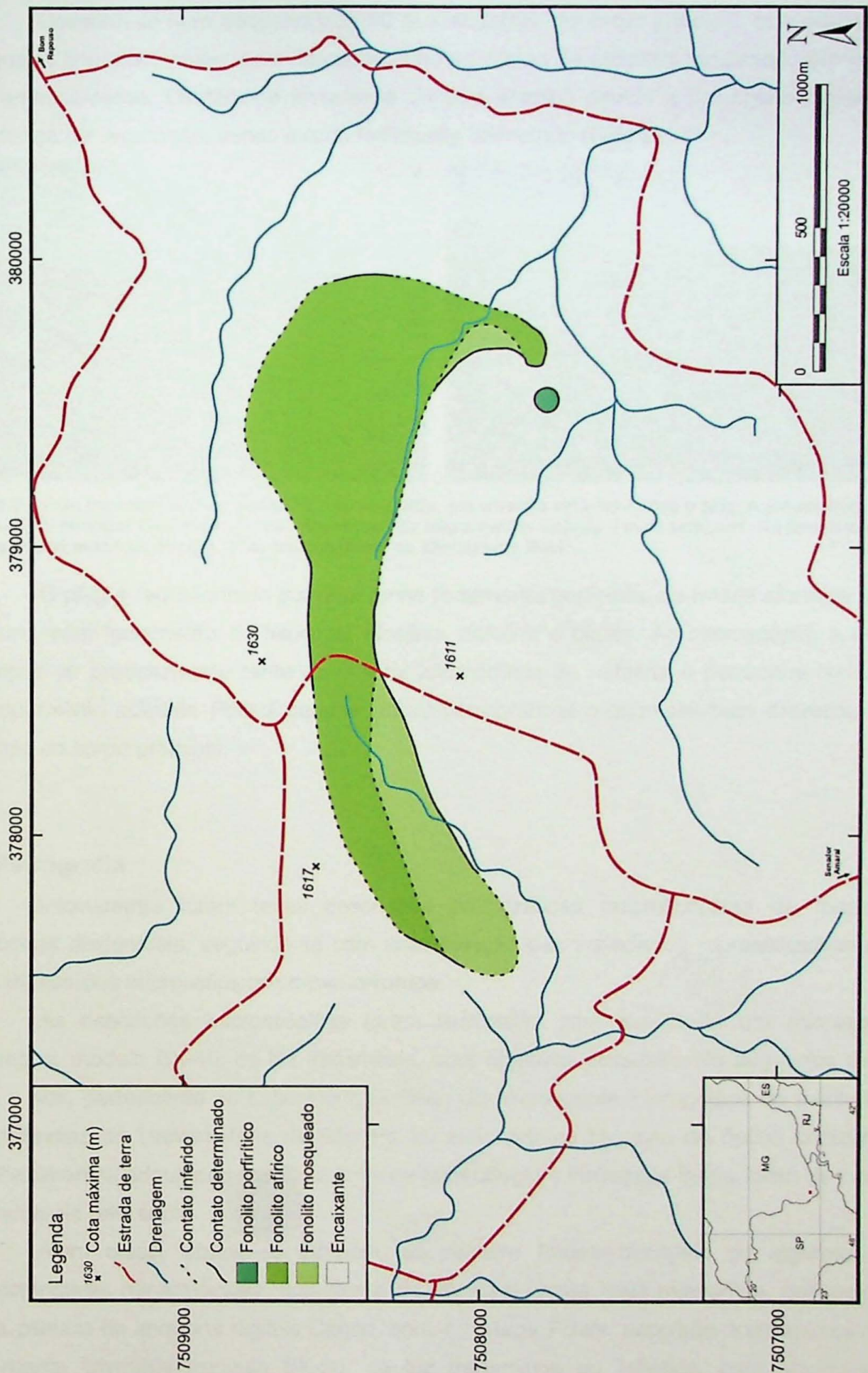


Figura 6 - Mapa geológico da suíte alcalina de Bom Repouso. Coordenadas UTM, quadrante 23K. Base cartográfica folha Cambuí, SF-23-Y-B-IV-2, (IBGE, 1972).

8.2. Plug Satélite

Constitui-se num pequeno *plug* 60 m a sudoeste do corpo principal, que ocupa uma pequena área subcircular, com aproximadamente 100 m de diâmetro, encaixado em rochas do embasamento. Destaca-se levemente do seu entorno devido a um ligeiro desnível e mudança de vegetação, sendo assim, facilmente delimitado (Foto 2).



Foto 2 - Vista panorâmica para o *plug*. Na foto esquerda, em amarelo está delimitado o *plug*, e em abóbora parte do corpo principal. Observe indicação dos locais dos afloramentos visíveis e mais próximos. Na foto direita, um detalhe da estrutura do *plug*. Foto tirada próximo ao afloramento P-41.

O *plug* é representado por uma rocha fortemente porfirítica, de matriz afanítica cinza escuro, com fenocristais de feldspato alcalino, nefelina e biotita. Ao microscópio, a matriz compõe-se predominantemente de cristais idiomórficos de nefelina e pequenos feixes de clinopiroxênio acicular. Possui características petrográficas e químicas bem diferentes das rochas do corpo principal.

9. Petrografia

Inicialmente foram feitas descrições petrográficas macroscópicas de todas as amostras disponíveis, seguindo-se com uma seleção das variedades representativas para fins de estudos microscópicos pormenorizados.

As descrições microscópicas foram realizadas com auxílio de um microscópio Olympus, modelo BX-40, de luz transmitida, com objetivas possibilitando aumentos de 4x, 10x e 40x, pertencente ao Laboratório Didático de Microscopia Petrográfica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, aplicando-se técnicas de óptica cristalina e conhecimentos adquiridos nas disciplinas de Mineralogia e Petrologia Ígnea, além de livros e manuais de referência.

Além disso, obteve-se também um registro fotomicroscópico de algumas das características mineralógicas, texturais e de microestruturas mais relevantes, por meio de uma câmara de imagens digitais Canon, com 4.1 Mega Pixels, acoplado a um microscópio da marca Olympus, modelo BX-50, de luz transmitida ou refletida, com objetivas de

aumentos 2,5x, 4x, 10x e 40x, e zoom de 1,25x, 1,6x e 2x, pertencente ao Laboratório de Óptica do Departamento de Mineralogia e Geotectônica deste Instituto.

A investigação petrográfica teve por finalidade a identificação e a caracterização das principais feições macro e microscópicas das possíveis fácies presentes no maciço. Para tanto foram utilizados critérios de cor, heterogeneidades texturais, estruturas, granularidade, granulação, índice de cor e mineralogia. No estudo microscópico, as observações foram direcionadas à mineralogia, aos aspectos texturais como granularidade e microestruturas, e à seqüência de cristalização dos minerais.

Foram descritas 18 amostras representativas das variedades litológicas registradas, e distribuídas regularmente pelo maciço. De conformidade com suas características, as amostras foram classificadas em 3 grupos petrográficos: *Fonolito porfirítico* (amostras P-36 e P-37), *Fonolito afírico* (ams. P-02A, P-03, P-16B, P-17, P-23B, P-24, P-30, P-31 e P-32) e *Fonolito mosqueado* (ams. P-09, P-11, P-22B, P-25, P-35, P-47 e P-50).

As descrições petrográficas relativas a cada grupo de rocha acham-se acompanhadas de uma tabela com a seqüência de cristalização dos minerais presentes, estabelecida com base nas relações texturais (Tabelas 2, 3 e 4).

Devido à granulação fina das rochas e à dificuldade de se encontrar seções minerais ideais não foram determinadas as cores de pleocroísmo segundo as direções principais de vibração da luz (X, Y e Z). Alguns dos minerais descritos foram identificados com auxílio da microsonda eletrônica (EDS/WDS), com vistas a garantir uma caracterização mineralógica correta.

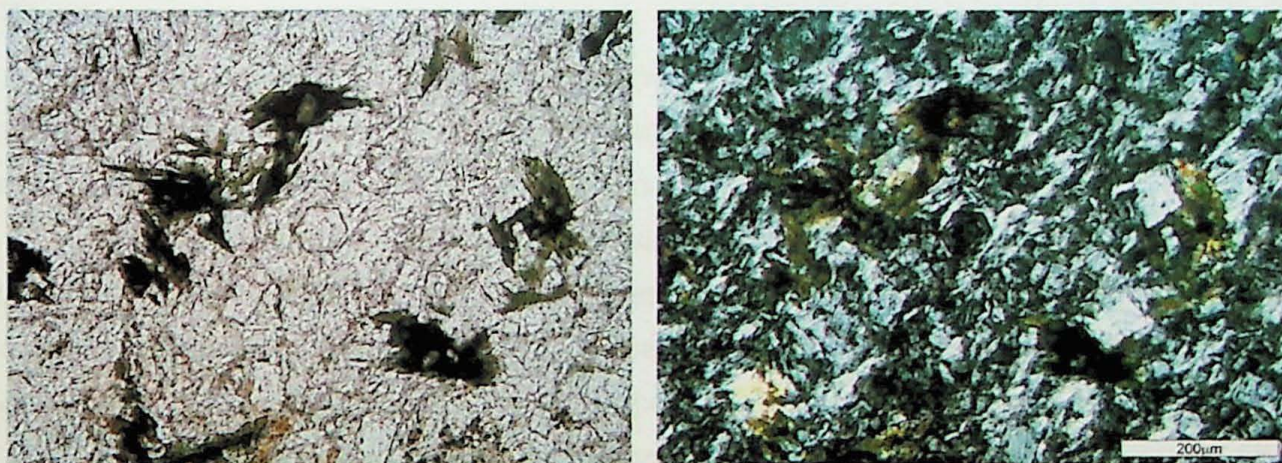
9.1. *Fonolito porfirítico (Fpf)*

Aflora como abundantes blocos *in situ*, tão somente na área do pequeno *plug* satélite do corpo principal. A rocha apresenta textura fortemente porfirítica (Foto 3), com fenocristais idiomórficos de 1 a 15 mm representados por feldspato potássico, nefelina e ocasional biotita. A matriz é afanítica, cinza escuro com leve brilho gorduroso.



Foto 3 - Fonolito porfirítico - Amostra P-36. Em destaque, fenocristais idiomórficos de nefelina e feldspato potássico.

Ao microscópio, a matriz compõe-se predominantemente de cristais idiomórficos de nefelina, com dimensões de 0,01 a 0,12 mm. Esse mineral freqüentemente exibe nos cortes principais, seções hexagonais (uniaxial negativo) e retangulares curtos facilmente visíveis (Fotomicrografia 1). Possui geralmente cor bege, com alguns cristais (especialmente os maiores) esbranquiçados e zonados. Além disso, encontram-se na matriz cristais aciculares de clinopiroxênio e anfibólio sódicos, que se distribuem na forma de agregados num arranjo em feixes ou em leque. A distinção entre estes dois minerais é difícil, tendo em vista o tamanho, o hábito e a coloração muito escura dos cristais, que varia de verde a verde-azulado, já a birrefringência revela, em parte, pequenas porções preservadas de clinopiroxênio em meio de anfibólio, sugerindo uma possível substituição, enquanto as análises químicas por WDS identificaram apenas anfibólio. Disperso na matriz, ocorrem pequenos agregados de enigmatita com até 0,04 mm. Intersticialmente ocorre também um mineral acicular ($\leq 0,05\text{mm}$), de coloração similar à da nefelina, que se dispõe em pequenos feixes, mas de difícil identificação, provavelmente um feldspato.



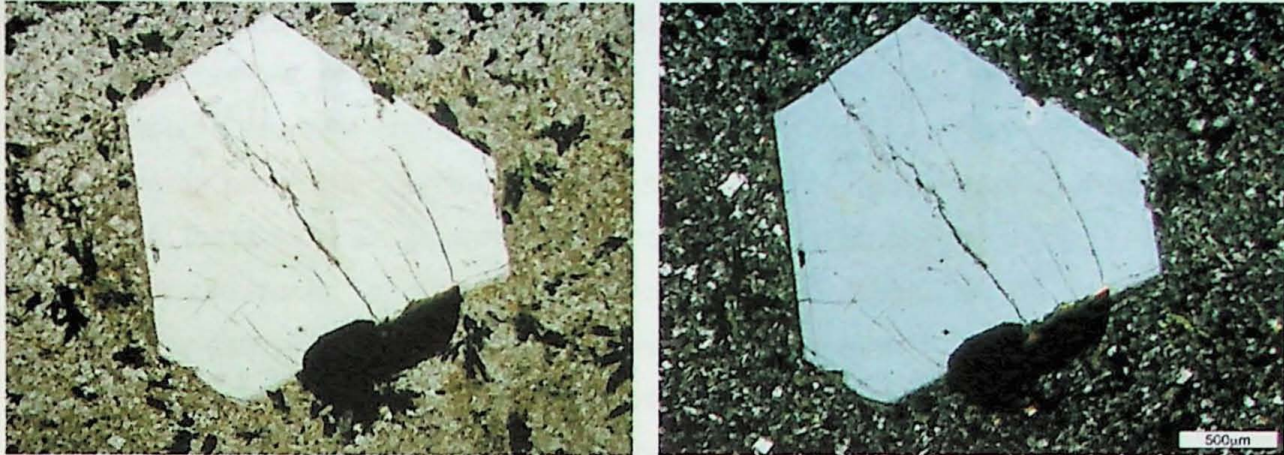
Fotomicrografia 1 - Amostra P-36. Matriz com cristais idiomórficos de nefelina e agregados de clinopiroxênio. Nicóis paralelos (esquerda) e cruzados (direita).

Feldspato potássico é o fenocristal mais abundante, com dimensões macroscópicas de até 15 mm. Ao microscópio, aparece como cristais ripiformes de 0,6 a 4 mm, exibindo geralmente geminação de Carlsbad e bordas fortemente alteradas (Fotomicrografia 2).



Fotomicrografia 2 - Amostra P-36. Fenocristais de feldspato potássico com porções alteradas. Observam-se os pequenos agregados de clinopiroxênio e anfibólio na matriz. Nicóis paralelos (esquerda) e cruzados (direita).

A nefelina ocorre como cristais idiomórficos, de cor branca a levemente bege, com dimensões de até 7 mm. É límpida, não possuindo inclusões ou alteração. Ocasionalmente apresenta manchas irregulares levemente beges, com alguns cristais possuindo bordas levemente zonadas (Fotomicrografia 3).



Fotomicrografia 3 - Fonolito porfíritico, amostra P-36. Fenocristal idiomórfico de nefelina, com um discreto zoneamento na borda; associado, um microfenocristal de biotita escura. Nicóis paralelos (esquerda) e cruzados (direita).

A biotita ocorre como cristais subidiomórficos, com pleocroísmo nas cores castanho muito escuro a amarelo dourado claro, e dimensões de 0,5 a 1 mm. Apresenta-se levemente arredondada, com inclusões de opaco e circundada por cristais de anfibólio.

As feições texturais dessa rocha indicam duas fases de cristalização (Tabela 2), uma dos fenocristais e outra da matriz. Os fenocristais, em algum momento, foram removidos do local onde se cristalizaram, seja da porção inferior da câmara, seja de outra rocha. Algumas evidências sugerem que eles poderiam representar xenocristais, como por exemplo a granulação muito superior e alterações e contatos corroídos a arredondados numa nítida textura de desequilíbrio químico dos cristais com a matriz. Além disso, em toda suíte a biotita encontra-se presente apenas como fenocristal nessa rocha. Já a matriz é extremamente fina, com minerais indicando uma cristalização muito rápida.

Tabela 2 – Sequência de cristalização dos minerais do fonolito porfíritico.

Mineral	Estágio magmático			
	Precoce	Principal	Tardio	Pós-magmático
Feldspato potássico	—		—	
Nefelina	—	—	—	
Biotita	—			
Clinopiroxênio			—	
Anfibólio			—	
Enigmatita			—	

9.2. Fonolito afírico (Faf)

É o litotipo dominante da suíte, aflorando como matacões métricos angulosos, geralmente alongados segundo a sua estrutura orientada, ou mais raramente, como

pequenos lajedos. Nas áreas mineradas, ocorre em meio ao solo como grandes matacões reliquias ao processo de alteração superficial, onde a bauxita já foi extraída.

A rocha possui granulação fina a muito fina e estrutura orientada bem marcada a pouco visível, sendo mais facilmente vista nas amostras de granulação mais desenvolvida. Quando muito fina possui um aspecto maciço, porém a orientação é evidenciada pelos planos de quebra muito bem definidos. Um aspecto importante é a presença de microbandamento, este definido por concentração de máficos. Tais microbandas não são perfeitamente paralelas, formando um padrão levemente anastomosado e não regular. Sua ocorrência torna-se mais evidente na porção centro-nordeste do corpo. A presença de amígdalas são raras, e quando aparecem possuem diâmetros de até 4 mm, sendo parcialmente preenchidas por minerais fibrosos e botrioidais.

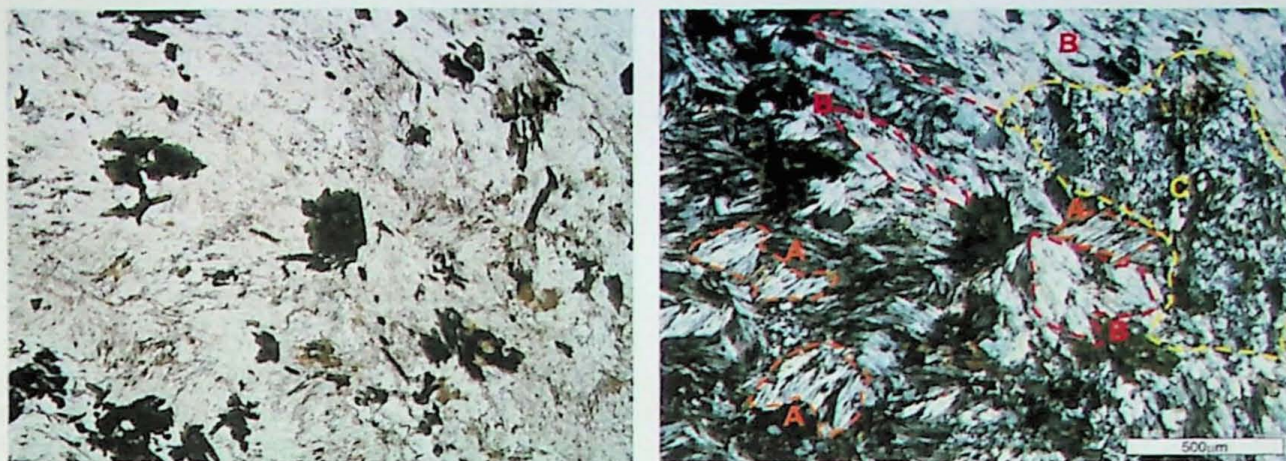
Nas variedades muito finas, a rocha possui cor cinza escuro e brilho levemente gorduroso. Nelas, observam-se apenas pequenos prismas aciculares (menores que 1 mm) de clinopiroxênio, em uma matriz com aspecto sacaróide (Foto 4 - esquerda). Além disso, comumente exibem manchas irregulares azuladas, que possivelmente devem-se à presença de sodalita compondo ocelos ou pequenas bandas centimétricas concordante à foliação. Já nas variedades mais grossas pode-se identificar feldspato potássico e nefelina formando a massa félsica cinza a esbranquiçada, e pequenas manchas caramelo (enigmatita?) e prismas aciculares de clinopiroxênio (até 4 mm), que se destacam pela cor escura (Foto 4 - direita).



Foto 4 - Fonolito afírico. Amostra P-02B (esquerda): variedade com granulação muito fina e brilho gorduroso. Amostra P-16B (direita): variedade com granulação fina, com visíveis prismas de clinopiroxênio.

Microscopicamente, a rocha apresenta uma granulação de 0,03 a 0,3 mm, podendo alcançar 0,7 mm, e textura traquitóide definida pela orientação de feixes de feldspato potássico e agregados de clinopiroxênio. Os feixes dispõem-se segundo duas direções preferenciais, oblíquas ou perpendiculares entre si, além de virtualmente uma terceira, com o aspecto de bolsões de feldspato potássico xenomórfico contendo alguns prismas dispersos (possivelmente seções transversais dos feixes); o conjunto encontra-se organizado aleatoriamente (Fotomicrografia 4). Em algumas amostras da região centro-

nordeste do corpo encontram-se presentes microbandas com grande concentração de clinopiroxênio e enigmatita.



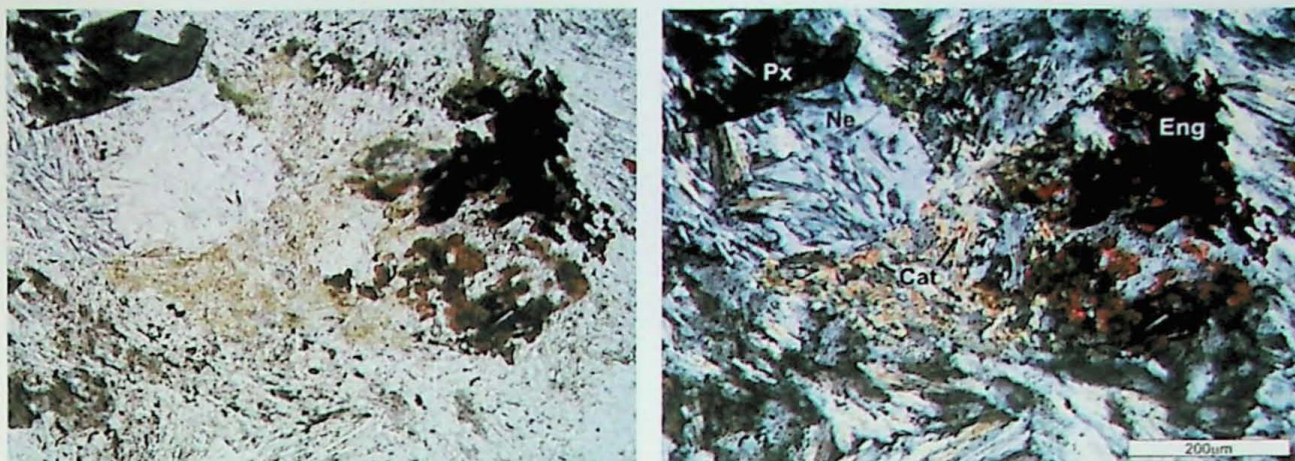
Fotomicrografia 4 - Fonolito afírico, amostra P-23B. Feixes de feldspato potássico acicular exibindo suas diferentes orientações (em destaque), onde A e B são perpendiculares entre si e C mostra-se como um bolsão de cristais xenomórficos. Nicóis paralelos (esquerda) e cruzados (direita).

Compõem-se essencialmente de feldspato potássico e clinopiroxênio, enquanto nefelina, sodalita e enigmatita variam modalmente de minerais principais a acessórios. Albita foi identificada como mineral principal através de imagens de varredura (BEI), apresentando-se como cristais idiomórficos em meio aos feixes de feldspato potássico. Anfibólio sódico e serandita são acessórios sempre presentes; já catapleíta, astrofilita e criolita não ocorrem em todas as amostras. Além destes minerais raros, foram também identificados por imagens de varredura (BEI) a eudialita, niobofilita, monazita e apatita, sendo o primeiro em quantidades significativas.

Feldspato potássico apresenta-se na forma de prismas alongados a aciculares, idiomórfico a subidiomórficos, frequentemente dispostos em feixes. Possuem dimensões em torno de 0,1 a 0,5 mm, chegando até 0,7 mm. Em alguns cristais maiores, tornam-se visíveis a geminação de Carlsbad e inclusões de diminutos prismas de clinopiroxênio ($<<0,01$ mm). Além disso, ocorrem também cristais com hábito um pouco diferente, subidiomórfico tabular, com aspecto arredondado e dimensões de 0,25 a 0,6 mm. Nesse caso, geralmente não possuem geminação e apresentam inclusões de clinopiroxênio acicular.

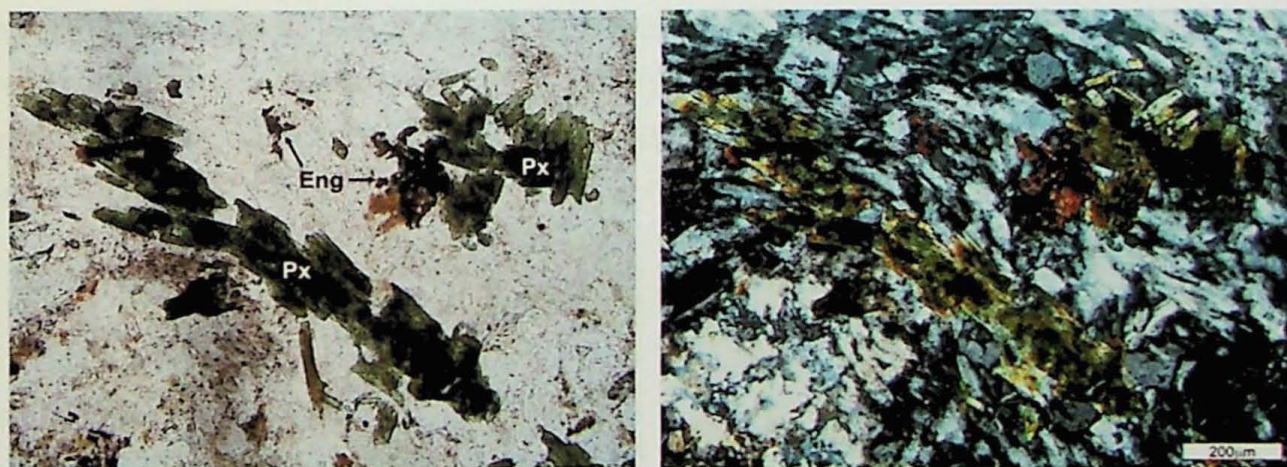
A nefelina é tipicamente xenomórfica a idiomórfica, com hábito de prismas curtos hexagonais de 0,1 a 0,6 mm (Fotomicrografia 5). Comumente os cristais se reúnem em pequenos agregados associados à sodalita intersticial, raramente possuindo inclusões. Nesse caso engloba parcialmente cristais de clinopiroxênio.

Sodalita apresenta um desenvolvimento intersticial, preferencialmente associada ao feldspato potássico, clinopiroxênio e agregados de nefelina. Ocorre também como pequenos bolsões arredondados de até 0,05 mm.



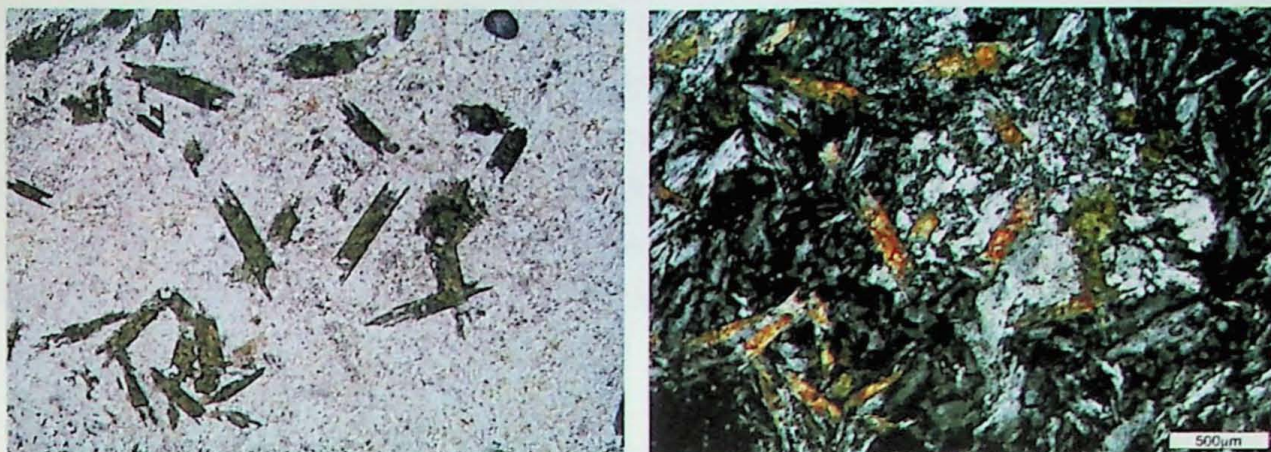
Fotomicrografia 5 - Fonolito afírico, amostra P-16B. Cristal idiomórfico de nefelina; com os nicóis cruzados observam-se inclusões de feixes de feldspato potássico. Também é visível catapleíta intersticial e agregado de enigmatita. Px, clinopiroxênio; Ne, nefelina; Eng, enigmatita; Cat, catapleíta. Nicóis paralelos (esquerda) e cruzados (direita).

Clinopiroxênio forma prismas longos a aciculares, subidiomórficos a idiomórficos, de 0,01 a 0,4 mm. Frequentemente os cristais aciculares se reúnem em aglomerados compactos conferindo o aspecto de um único cristal maior (Fotomicrografia 6), com dimensões de 0,2 a 1,5 mm. Ressalte-se também que alguns cristais maiores, nas amostras de granulação mais finas, apresentam textura “rabo de andorinha” (Fotomicrografia 7), ou possuem as extremidades em forma de “pente”. Em algumas seções (am. P-16B, P-17, P-24 e P-32) observa-se cristais prismáticos curtos, com extremidades piramidais e bordas bem formadas e límpidas, enquanto nos seus núcleos apresentam um aspecto corroído e cheio de inclusões de feldspato potássico acicular, nefelina e sodalita. O clinopiroxênio possui pleocroísmo moderado, variando nas cores verde-garrafa a amarelo-esverdeado, e ângulo de extinção $X\lambda c \sim 3-5^\circ$. Essas características ópticas são comparáveis às de variedades do grupo fortemente alcalinas, a aegirina.



Fotomicrografia 6 - Fonolito afírico, amostra P-23B. Agregado de clinopiroxênio prismático a acicular dando aparência de um cristal maior. Associado, ocorre também agregado de enigmatita. Px, clinopiroxênio; Eng, enigmatita. Nicóis paralelos (esquerda) e cruzados (direita).

A enigmatita ocorre como agregado de cristais xenomórficos, intersticiais, por vezes poiquilíticos, chegando a atingir 0,3 mm (Fotomicrografias 5 e 6). Ocasionalmente exhibe cristais idiomórficos de até 0,1 mm. Em geral encontra-se dispersa pela lâmina, mas podem

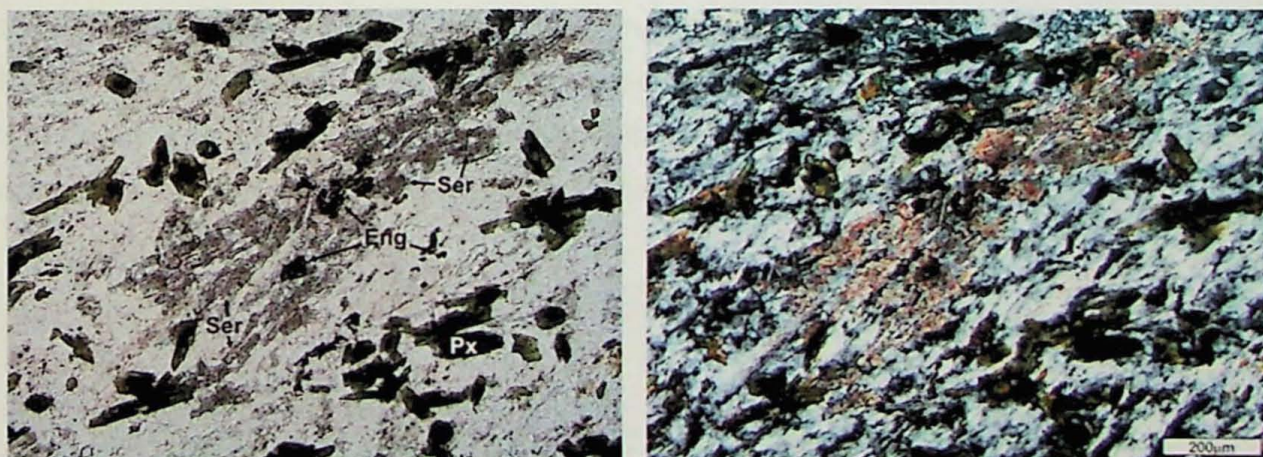


Fotomicrografia 7 - Fonoilito afírico, amostra P-02A. Cristais de clinopiroxênio com textura “rabo de andorinha” (*swallowtail*). Nicóis paralelos (esquerda) e cruzados (direita).

formar microbandas concordantes à foliação. Associa-se freqüentemente ao clinopiroxênio, astrofilita (quando presente) e niobofilita, esta última identificada através de análises por microsonda eletrônica (EDS). Possui relevo moderado e pleocroísmo forte, com variações de marrom escuro, às vezes quase opaco, a castanho claro. A birrefringência é baixa, sendo, contudo, difícil a sua determinação correta devido à forte coloração.

O anfibólio geralmente reúne-se em agregados de cristais subidiomórficos a idiomórficos prismáticos ou então xenomórficos de até 0,3 mm. Sua coloração azul é característica, possuindo um pleocroísmo moderado variando nas cores azul-esverdeado a verde-amarelado. A birrefringência é baixa e o ângulo de extinção $X\Delta c$ de aproximadamente 80° . Tais características são típicas de anfibólios sódicos, possivelmente arfvedsonita ou eckermanita.

Serandita foi registrada em todas as lâminas analisadas como um mineral acessório importante. Apresenta-se na forma de prismas longos subidiomórficos a idiomórficos, por vezes aciculares, de até 0,3 mm. Geralmente dispõe-se em aglomerados orientados segundo a textura de fluxo da rocha (Fotomicrografia 8). É incolor, destacando-se pelo relevo alto e birrefringência de 0,013. Possui elongação negativa e ângulo de extinção $X\Delta c \sim 0^\circ$.



Fotomicrografia 8 - Fonoilito afírico, amostra P-03. Agregado de cristais prismáticos de serandita. Px, clinopiroxênio; Ser, serandita; Eng, enigmatita. Nicóis paralelos (esquerda) e cruzados (direita).



Fotomicrografia 9 - Fonolito africano, amostra P-23B. Agregado de cristais fibrosos de astrofilita. Observe-se, também, enigmatita e sodalita intersticiais, e agregados de serandita e clinopiroxênio. Px, clinopiroxênio; Ne, nefelina; Eng, enigmatita; Ser, serandita; Ast, astrofilita; Sod, sodalita. Nicóis paralelos (esquerda) e cruzados (direita).

Catapleíta aparece como cristais intersticiais de até 0,1mm, às vezes com desenvolvimento a poiquilítico (Fotomicrografia 5). Possui cor amarelo acastanhado a limão e birrefringência de 0,030. Ocorre nas mesmas amostras onde foi registrado astrofilita.

A criolita possui cor marrom claro, com aspecto “sujo”, relevo alto e birrefringência muito baixa, quase isotrópica, mas às vezes é possível visualizar nuances cinza escuro. Ocorre como cristais xenomórficos de até 0,15mm. Esse mineral foi encontrado somente nas amostras P-03 e P-16B.

A textura geral dos fonolitos afíricos, marcada por feições como granulação fina, cristais com “rabo de andorinha” (*swallowtail*) e presença de feixes aciculares, típicas de cristalização por “congelamento” (*quenching*), indica um resfriamento rápido e possivelmente sob influência de fluxo magmático, com minerais bem orientados. Clinopiroxênio, nefelina e feldspato potássico cristalizaram-se primeiro (Tabela 3), seguidos de anfibólio e serandita, enquanto a enigmatita, astrofilita e sodalita são de uma fase mais tardia. Já a catapleíta e criolita podem ser de tardi a pós-magmático.

Tabela 3 - Sequência de cristalização dos minerais do fonolito afríco.

Mineral	Estágio magmático			
	Precoce	Principal	Tardio	Pós-magmático
Feldspato potássico				
Nefelina				
Sodalita				
Clinopiroxênio				
Enigmatita				
Anfibólio				
Serandita				
Astrofilita				
Catapleíta				
Criolita				

9.3. Fonolito mosqueado (Fmq)

Aflora nas porções sudoeste e sudeste do corpo como matacões tabulares angulosos a pouco arredondados, com dimensões de até 10 m. A rocha exibe cor cinza ou esverdeada, ambas mosqueada com pintas pretas arredondadas. É fortemente foliada, esta definida pela forte orientação de cristais placóides de feldspato potássico e cristais aciculares de clinopiroxênio, que lhe confere uma aparência “xistosa”. Observam-se, também, cristais xenomórficos de nefelina cinza, às vezes rósea. As pintas, que deram nome à rocha, são formadas por agregado de cristais de clinopiroxênio, frequentemente circundando cristais arredondados de nefelina (Foto 5, esquerda). Nas variedades cinzas (ams. P-11, P-22B, P-35 e P-50), as pintas são mais numerosas e menores, de 1 a 2 mm (Foto 5 - direita), enquanto que nas esverdeadas (ams. P-09, P-25 e P-47) são menos abundantes e maiores, de 1,5 a 4 mm.

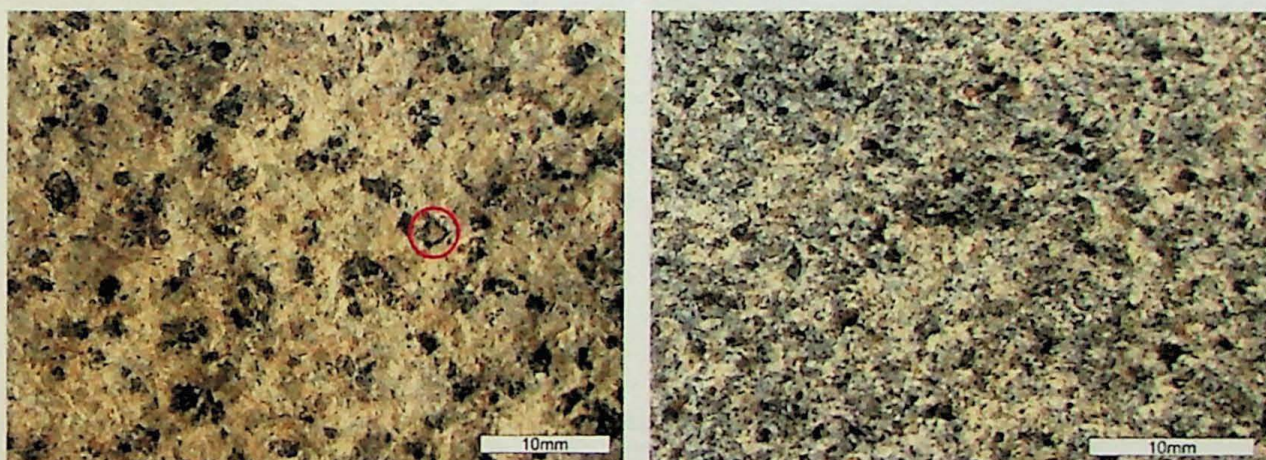


Foto 5 - Fonolito mosqueado. Amostra P-25 (esquerda): variedade esverdeada, com pintas maiores, algumas delas apresentando nefelina no centro (em destaque). Amostra P-22B (direita): variedade cinza com pintas menores.

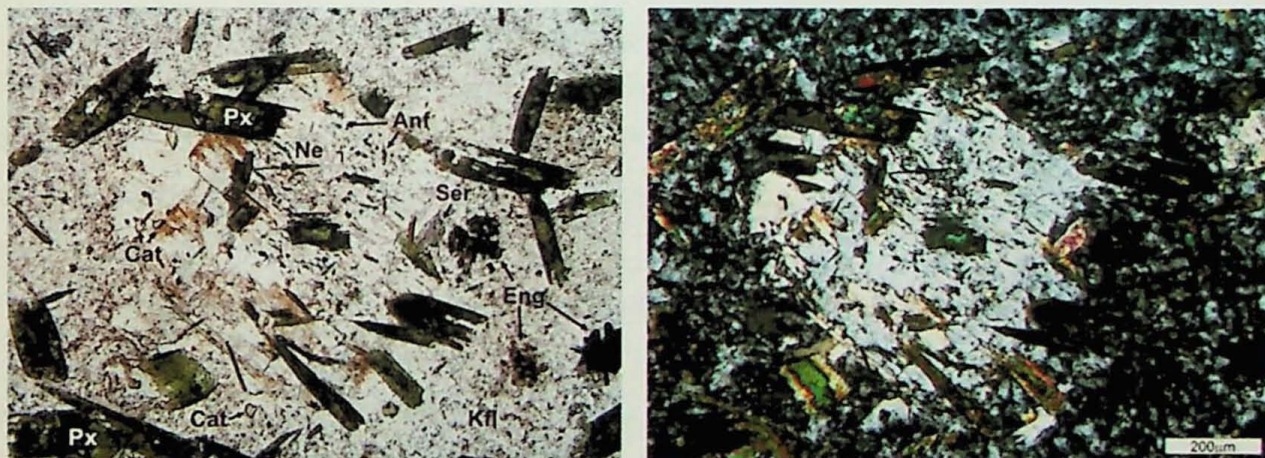
Ao microscópio, os fonolitos mosqueados mostra-se fortemente orientados, possuindo uma textura traquitóide formada por feixes de feldspato potássico e prismas longos de clinopiroxênio e anfibólio, além de cristais porfiróides de feldspato potássico. As

pintas escuras representam agregados glomeroporfiríticos de 1 a 3 mm, constituídos por cristais idiomórficos de nefelina no centro, com sodalita ou analcima intersticial, e cristais prismáticos de clinopiroxênio e anfibólio ao redor.

Compõem-se essencialmente de feldspato potássico, nefelina e clinopiroxênio, ao passo que sodalita varia de mineral principal a acessório. Albita também foi identificada como um mineral principal através de imagens de varredura (BEI), apresentando-se como cristais idiomórficos em meio aos feixes de feldspato potássico. Anfibólio sódico, enigmatita e serandita são acessórios sempre presentes, ao passo que catapleíta, astrofilita, analcima, carbonato, opaco e criolita não foram registradas em todas as amostras. Além destes minerais, foram identificados por imagem de varredura (BEI) niobofilita e monazita.

Feldspato potássico exibe hábito placóide a acicular, subidiomórfico a idiomórfico, longo até 0,4 mm, com os cristais reunidos preferencialmente em forma de feixes orientados. Alguns cristais são porfiróides e ripiformes de 0,6 a 1,6 mm, e exibem geminação de Carlsbad.

Nefelina geralmente ocorre nos aglomerados como fenocristais idiomórficos, por vezes poiquilíticos, na forma de prismas curtos de 0,3 a 1 mm. Tem aspecto corroído, podendo ocorrer como cristais porfiróides isolados, porém sempre envolta por sodalita e/ou analcima. Os cristais presentes nos aglomerados exibem abundante inclusão acicular de anfibólio, com variações de 0,01 a 0,07 mm (Fotomicrografia 10). Essas feições poderiam sugerir uma cristalização sob condições de forte desequilíbrio químico do magma, levando-se em consideração inclusive a possibilidade de serem xenocristais, tendo em vista às feições de manteamento ao redor dos cristais, formado por piroxênio e anfibólio.

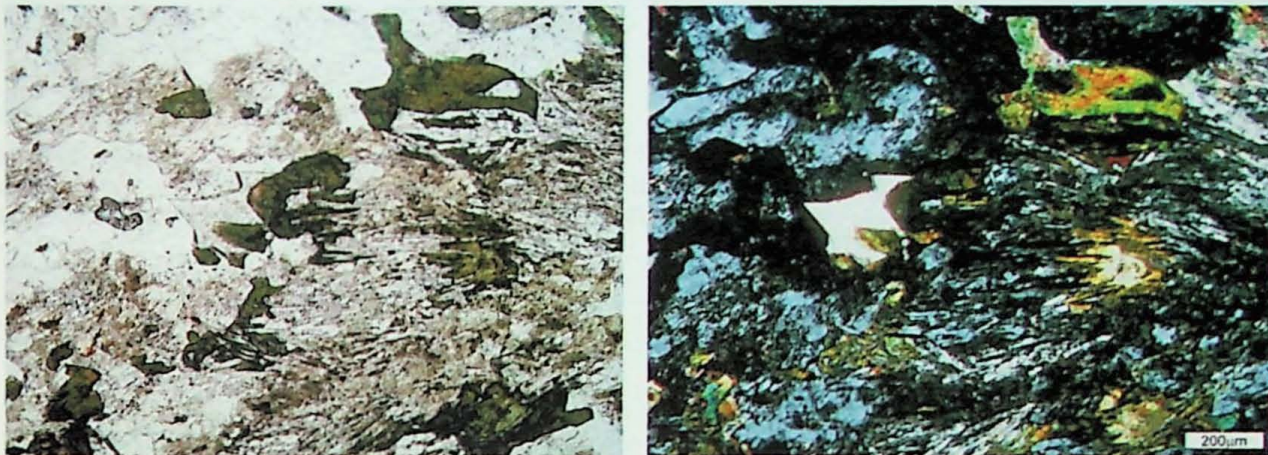


Fotomicrografia 10 - Fonolito mosqueado, amostra P-11. Fenocristais idiomórficos de nefelina com inclusões de anfibólio acicular, e circundados por concentração de máficos. Px, clinopiroxênio; Ne, nefelina; Eng, enigmatita; Anf, anfibólio; Ser, serandita; Cat, catapleíta. Nicóis paralelos (esquerda) e cruzados (direita)

Sodalita é sempre intersticial, sendo mais abundante nos aglomerados, onde preenche grandes espaços entre os cristais de nefelina. Analcima ocorre também intersticialmente em alguns aglomerados.

Clinopiroxênio geralmente tem um desenvolvimento xenomórfico, intersticial e poiquilítico, englobando cristais de feldspato potássico (Fotomicrografia 11). Nos aglomerados ocorre como grãos subidiomórficos a idiomórficos prismáticos, longos a

aciculares de até 1 mm. Nas variedades cinzas, as seções basais possuem hábito prismático curto, com extremidades piramidais. As bordas são bem definidas e mais escuras, com os núcleos ocasionalmente contendo inclusões de feldspato potássico e opaco. No geral o clinopiroxênio possui pleocroísmo verde-garrafa a verde-amarelado e um ângulo de extinção $X\Lambda c \sim 0^\circ$, correspondente ao de uma aegirina. Tem aspecto “sujo”, dificultando assim a visualização de inclusões.



Fotomicrografia 11 - Fonolito mosqueado, amostra P-25. Clinopiroxênio intersticial em cristais de feldspato potássico. Observe-se cristais de nefelina parcialmente corroídos, associados a carbonato (birrefringência alta) e sodalita (massa irregular extinta). Nicóis paralelos (esquerda) e cruzados (direita).

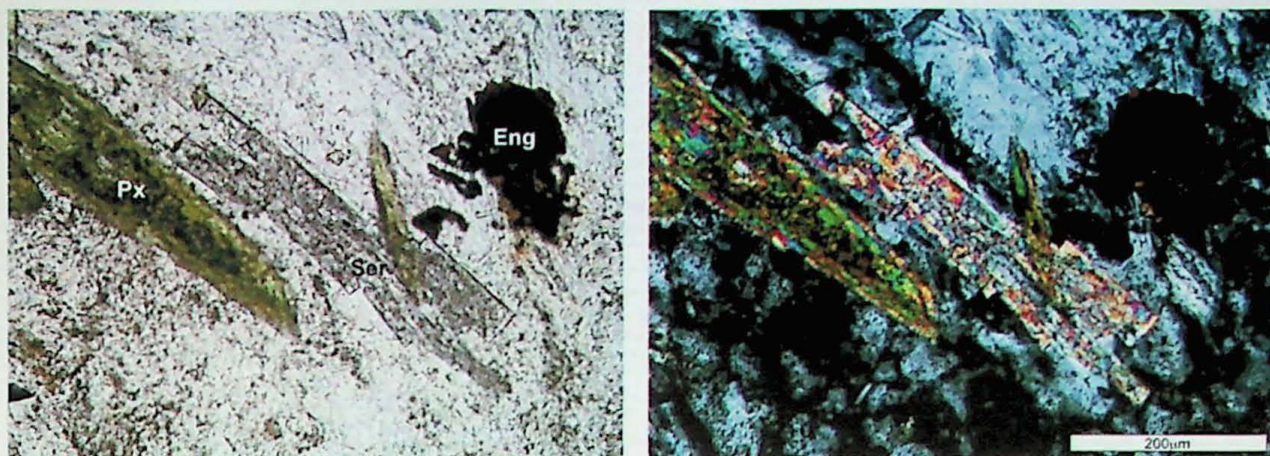
Anfibólio possui hábito prismático, subidiomórfico a idiomórfico, formando geralmente agregados de até 0,5 mm. É comum também ocorrer como inclusões em nefelina. O anfibólio apresenta pleocroísmo forte, variando nas cores azul-esverdeado a amarelo-esverdeado, e ângulo de extinção $X\Lambda c$ de aproximadamente 80° . Essas características são comparáveis às de anfibólios sódicos, arfvedsonita ou eckermanita.

Enigmatita encontra-se formando aglomerados arredondados com até 0,2 mm (Fotomicrografias 10 e 12), às vezes tendo desenvolvimento intersticial. Alguns cristais são idiomórficos, com dimensões de até 0,1 mm. Possui relevo moderado, pleocroísmo forte nas tonalidades de marrom escuro, às vezes quase opaco, a castanho claro, e birrefringência muito baixa.

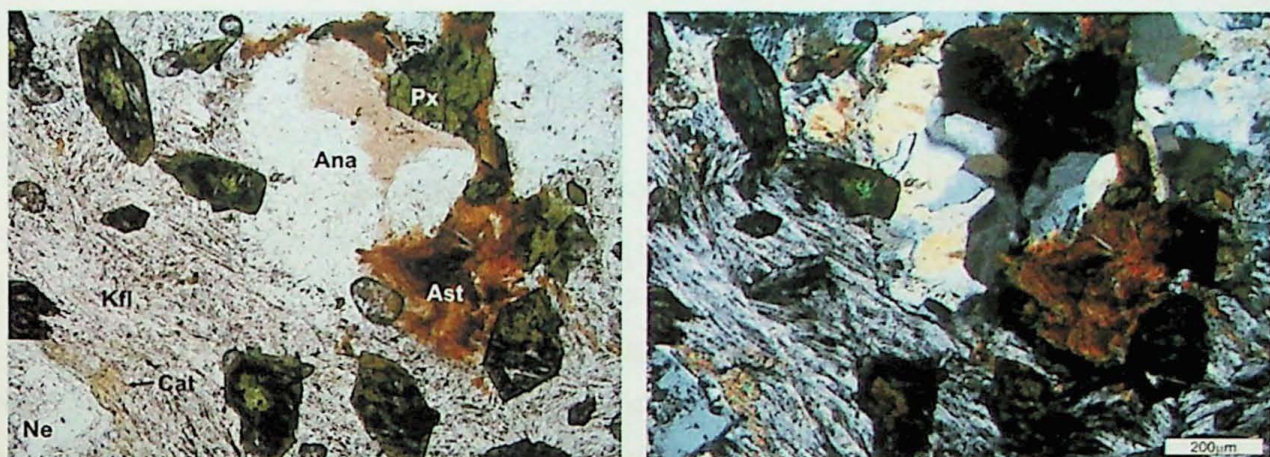
Serandita reúne-se em agregados de cristais prismáticos de 0,05 a 0,3 mm. É incolor e possui relevo alto, alongação negativa, ângulo de extinção $X\Lambda c$ próximo a 0° , e birrefringência de 0,013 (Fotomicrografia 12).

Astrofilita tem um desenvolvimento intersticial, com hábito fibroso ($\sim 0,4$ mm), podendo dispor-se em forma fibrorradiada. Possui relevo moderado, pleocroísmo laranja-acastanhado a amarelo-esverdeado, e birrefringência de difícil determinação, devido à forte coloração e tamanho diminuto dos cristais (Fotomicrografia 13).

Catapleíta geralmente é intersticial aos cristais de feldspato, e também pode ocorrer como cristais xenomórficos em meio à sodalita nos aglomerados, geralmente em contato com clinopiroxênio. Possui cor amarelada, ausência de pleocroísmo, relevo alto comparado ao da sodalita e birrefringência de 0,030.



Fotomicrografia 12 - Fonolito mosqueado, amostra P-11. Agregado de cristais idiomórficos de serandita associada à clinopiroxênio e agregado arredondado de enigmatita. Px, clinopiroxênio; Eng, enigmatita; Ser, serandita. Nicóis paralelos (esquerda) e cruzados (direita).



Fotomicrografia 13 - Fonolito mosqueado, amostra P-11. Bolsão com analcima circundada por concentração de máficos, cristais idiomórficos de clinopiroxênio e astrofilita fibrosa. Também é visível cristal idiomórfico de nefelina e catapleíta intersticial. Px, clinopiroxênio; Kf, feldspato potássico; Ne, nefelina; Ana, analcima; Ast, astrofilita; Cat, catapleíta. Nicóis paralelos (esquerda) e cruzados (direita).

Carbonato intersticial geralmente está presente nos aglomerados, ocorrendo também entre os cristais de feldspato.

A textura dos fonolitos mosqueados indica uma história de cristalização pouco diferente do fonolito afírico, com um resfriamento rápido e sob fluxo magmático mais atuante, originando assim uma foliação muito mais proeminente. Possivelmente o anfibólio representa o primeiro mineral a se cristalizar (Tabela 4), tendo em vista a sua abundância e a ocorrência como inclusão em fenocristais de nefelina. Contudo, o anfibólio também se encontra como cristais xenomórficos em meio à matriz. Clinopiroxênio e nefelina começaram aparecer durante os estágios precoces de cristalização. Entretanto, há evidências sugerindo que os fenocristais de nefelina poderiam representar xenocristais. Feldspato alcalino também faz parte da fase principal de cristalização. Enigmatita, serandita, sodalita e astrofilita são minerais tardios, enquanto catapleíta, carbonato e criolita podem ser de tardi a pós-magmático.

Tabela 4 - Sequência de cristalização dos minerais de fonolito mosqueado.

Mineral	Estágio magmático			
	Precoce	Principal	Tardio	Pós-magmático
Feldspato potássico				
Nefelina				
Sodalita				
Clinopiroxênio				
Anfibólio				
Enigmatita				
Serandita				
Astrofilita				
Catapleíta				
Carbonato				

10. Química de rocha

As análises de química de rocha foram realizadas no Laboratório de Fluorescência de Raios-X do Instituto de Geociências da USP. As amostras de rocha foram devidamente preparadas no Laboratório de Tratamento de Amostras e no Laboratório de Química do IGc-USP. Com base nas descrições petrográficas foram selecionadas um total de 15 amostras mais representativas dos litotipos registrados, sendo 9 de fonolito afírico (Faf), 4 de fonolito mosqueado (Fmq) e 2 de fonolito porfirítico (Fpf). Na escolha da amostra levou-se em consideração o grau de alteração da rocha e o volume da amostra para britagem comparado à textura e ao tamanho dos cristais maiores. As determinações químicas foram realizadas empregando-se um equipamento automático de fabricação Philips modelo PW2400. Foram analisados os elementos maiores (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 total, MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O e P_2O_5) e os elementos traços de maior interesse (Ba, Ce, Co, Cr, Cu, Ga, La, Nb, Nd, Ni, Pb, Rb, Sc, Sr, Th, U, V, Y, Zn, Zr). Os resultados encontram-se na Tabela 5 (em anexo) e foram utilizados para fins de cálculo de minerais normativos, classificação química das rochas e definições de índices geoquímicos. Mencione-se que alguns elementos traços apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção do método, a saber Ba (37 ppm), Co (6 ppm), Cr (13 ppm), Cu (5 ppm), Ni (5 ppm), Sc (14 ppm) e V (9 ppm).

10.1. Preparação das amostras, obtenção e tratamento dos dados

Toda preparação das amostras foi realizada com o máximo de atenção possível, respeitando-se cada procedimento de trabalho e limpeza de utensílios e equipamentos pertinentes, a fim de se evitar contaminações e alterações nos resultados.

Tomou-se o cuidado de retirar de cada amostra quaisquer partes que pudessem ter alterado o estado natural de cristalização da rocha ou influenciar os resultados das análises, como capas de intemperismo ou expostas ao ambiente, fraturas impregnadas de minerais

secundários e veios. Em seguida, cada amostra foi fragmentada em uma prensa pneumática e pulverizada em um moinho de anéis de ágata, por um tempo aproximado de 15 minutos. Seguindo as recomendações de Potts (1987), considerou-se a amostra com o volume aproximado de um cubo com arestas medindo 10 vezes o tamanho da maior fase mineral. Assim sendo, devido à granulação essencialmente fina das amostras, não foi preciso prepará-las em grandes quantidades, evitando mais procedimentos e diminuindo os riscos de contaminação. A única exceção foram as amostras com fenocristais (Fpf), que tiveram um volume maior de brita gerada e precisaram ser devidamente quarteadas. A fração obtida foi reduzida a pó em moinho de ágata (fração ~200 meshes).

A partir das amostras pulverizadas foram confeccionadas pastilhas fundidas para as análises dos elementos maiores, utilizando-se 1g ($\pm 0,001$) de amostra e 9 g ($\pm 0,001$) de fundente (metaborato e tetraborato de lítio), fundindo-se em cadinhos de platina. As pastilhas fundidas foram enviadas ao Laboratório de Fluorescência de Raios-X do Instituto de Geociências da USP, onde se realizaram as análises. Concomitantemente foi realizada a análise de perda-ao-fogo, com aproximadamente 10 g de amostra.

Para a análise dos elementos menores parte das amostras pulverizadas foram micronizadas em um micronizador por aproximadamente 10 minutos e secas em estufa. Utilizou-se por volta de 7,5 g de amostra e mais 20% do peso em parafina em pó, para a confecção das pastilhas prensadas. Estas pastilhas foram enviadas ao mesmo laboratório.

Os resultados foram tratados com o auxílio dos programas MinPet for Windows versão 2.0 (Richard, 1995) e Microsoft Excel 2007, seguindo procedimentos e recomendações amplamente utilizados na área da petrologia de rochas alcalinas e encontram-se na Tabela 5 (em anexo). Como resultado, obteve-se a classificação das amostras no diagrama TAS (Le Maitre, 2002) e também o comportamento geoquímico com base em diagramas diversos do tipo Harker, e do tipo multielementares (*spider*) para elementos traços. Sempre que possível, também foram plotados nos diagramas os campos de variação química de rochas nefelina sieníticas dos maciços alcalinos de Poços de Caldas (Ulbrich *et al.* 2005), e Passa Quatro, Itatiaia e São Sebastião (Enrich *et al.* 2005), a fim de se confrontar os resultados do presente trabalho com essas ocorrências da região.

Para o cálculo da mineralogia normativa CIPW utilizou-se a razão $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0,5$, de acordo com Middlemost (1989).

10.2. Resultados e Discussões

A suíte alcalina de Bom Repouso é constituída por rochas essencialmente félsicas, intermediárias (SiO_2 entre 55,2 a 60,6%, em peso) e insaturadas em sílicas. O cálculo da mineralogia normativa ressalta o eminente caráter de insaturação dessas rochas, com a ausência total de quartzo (Q), e presença invariável de nefelina e olivina (ol, 2,40 a 1,24%). A riqueza em álcalis em toda suíte é evidenciada por expressivos teores normativos de

No diagrama TAS (Figura 7), as rochas distribuem-se dentro do campo do fonolito, com exceção de uma única amostra da fácies Fmq classificada como traquito. Nele, observa-se que os fonolitos porfíricos do plug coincidem com o campo dos tinguaítos de Poços de Caldas, diferenciando-se das fácies do corpo maior pelos teores mais elevados de álcalis ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$, 16,17 a 15,87%) e mais baixos de SiO_2 (55,65 a 55,23%). Já as fácies do corpo principal situam-se nos campos de Passa Quatro e Itatiaia, ficando fora do campo de Poços de Caldas devido ao maior teor de SiO_2 (60,60 a 59,79%) e um teor de álcalis algo mais baixo para parte das amostras ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$, 14,73 a 12,82%).

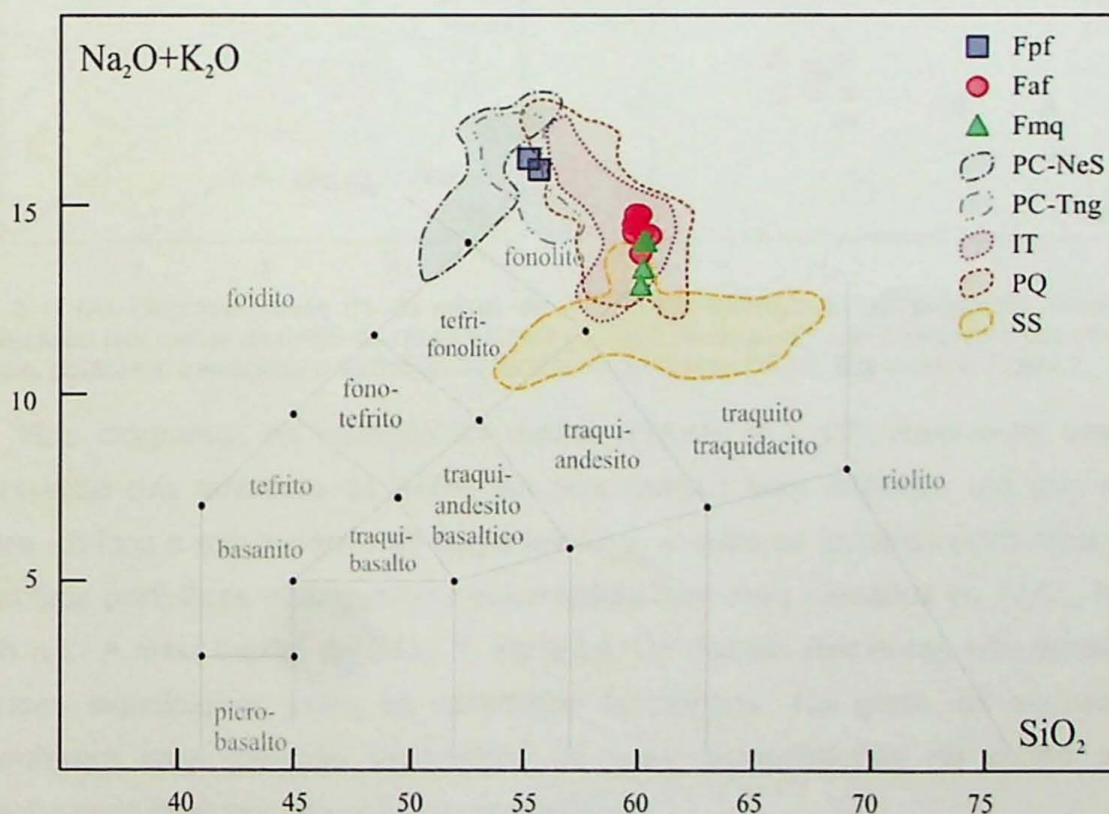


Figura 7 – Distribuição das rochas da SABR no diagrama TAS (Total de Álcalis vs. Silica, em % de peso) de classificação das rochas ígneas segundo a IUGS (Le Maitre, 2002). Fpf, Fonolito porfirítico; Faf, Fonolito afríco; Fmq, Fonolito mosqueado; PC-NeS, nefelina sienitos de Poços de Caldas; PC-Tng, tinguitos de Poços de Caldas; IT, Itatiaia; PQ, Passa Quatro; SS, Ilha de São Sebastião.

No diagrama K_2O vs. Na_2O (Figura 8A) as rochas de toda suíte se distribuem no campo da série sódica de Comin-Chiaramonti *et al.* (1997), com variação muito baixa dos teores de K_2O (5,40 a 5,10%), e significativa nos de Na_2O (10,85 a 7,46%), sendo os maiores valores creditados ao Fpf e os menores ao Fmq. Neste caso, a SABR apresenta um comportamento distinto relativo às ocorrências tomadas em comparação (Poços de Caldas, Itatiaia, Passa-Quatro e São Sebastião), por ser a única pertencente exclusivamente à série sódica e com teores de K_2O constantes, aproximando-se apenas do campo, na porção sódica, dos nefelina sienitos de Poços de Caldas.

Por outro lado, a tendência evolutiva entre as fácies da SABR pode ser claramente percebida no diagrama correlacionando $mg\#$ ($MgO \cdot 100 / MgO + FeO_T$, proporção molecular) com álcalis (Figura 8B). Nele, observa-se que a fácies mais primitiva e menos alcalina seria a dos fonolitos mosqueados enquanto a mais evoluída e mais alcalina seria a dos fonolitos porfiríticos. Entretanto, os fonolitos afíricos se agrupam numa área do gráfico intermediária e pouco deslocada relativo às das outras duas litologias mencionadas, podendo representar variações no processo de geração dessa rocha. Outros indicadores como SiO_2 (% de peso), D.I. (índice de diferenciação) e I.A. (índice agpaítico) não mostraram variações significativas (Tabela 5) ou coerentes que indiquem uma sequência evolutiva entre as fácies.

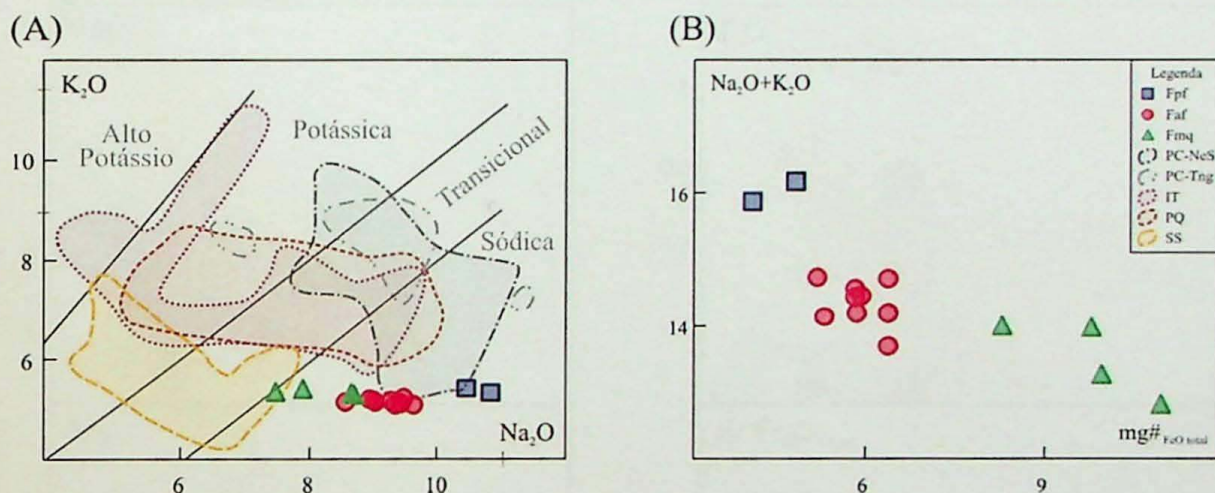


Figura 8 – (A) Diagrama álcalis (% de peso) vs. $mg\#$ ($MgO \cdot 100 / MgO + FeO_T$, proporção molecular). **(B)** Classificação das rochas da SABR no diagrama K_2O vs. Na_2O (% de peso) com os campos das séries de alto potássio, potássica, transicional e sódica de Comin-Chiaramonti *et al.* (1997). Siglas como Figura 7.

Nos diagramas de variação de Harker (Figuras 9 e 10) observa-se uma densa concentração das amostras de SABR em dois campos bem distintos, um que reúne os fonolitos afíricos e mosqueados do corpo principal, e outro os fonolitos porfiríticos do plug. Os fonolitos porfiríticos distinguem-se pelos teores bem mais elevados de Al_2O_3 , Na_2O , Zr, Nb, Th e U e mais baixos de SiO_2 , Y, Rb e La. Os demais elementos não apresentaram diferenças significativas entre as variedades faciológicas. No geral, os elementos não apresentaram uma variação sistemática de suas concentrações de modo a indicar processos evolutivos por diferenciação magmática.

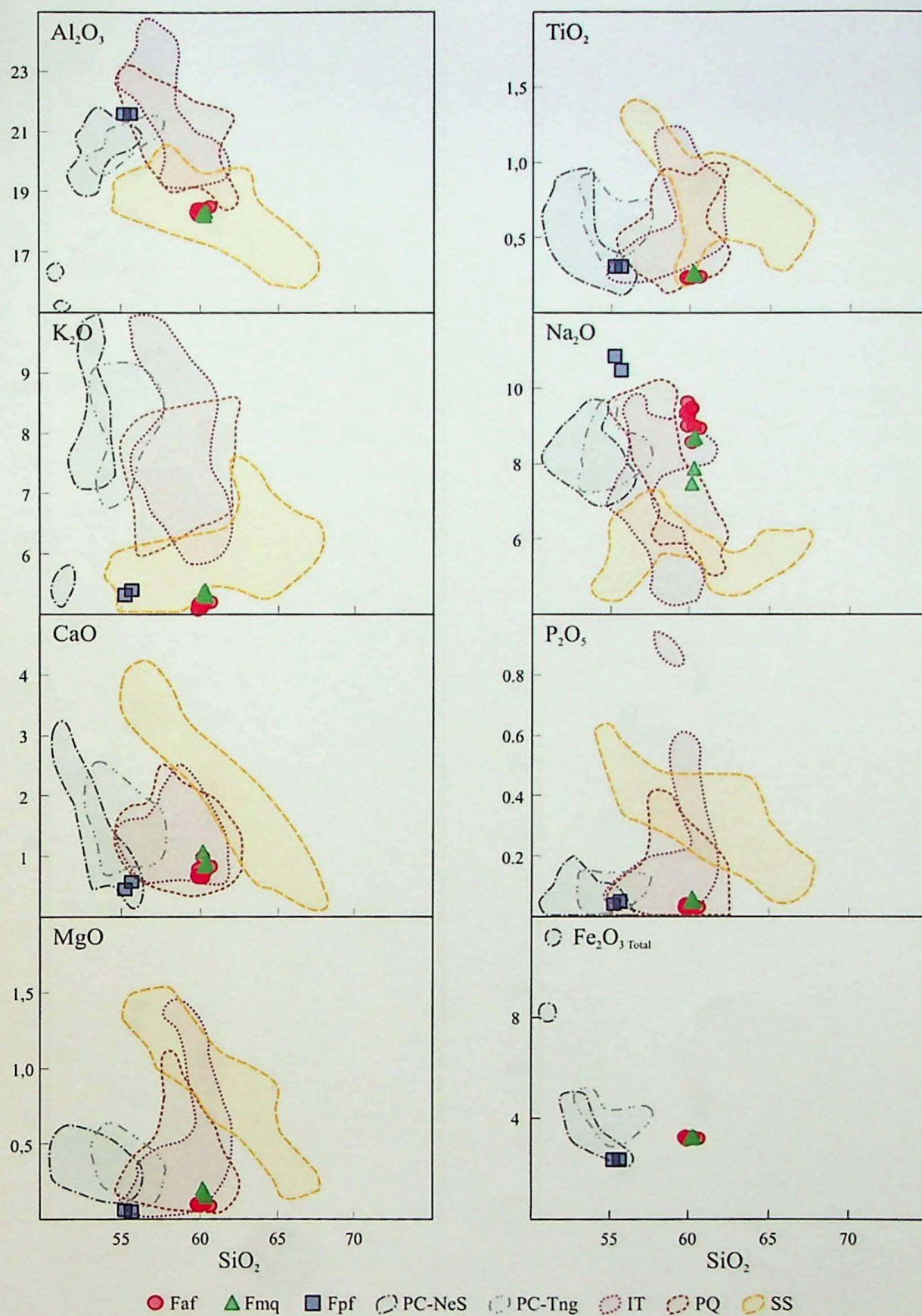


Figura 9 – Classificação das rochas da SABR nos diagramas de Harker para elementos maiores vs. SiO_2 (% em peso). Siglas como Figura 7.

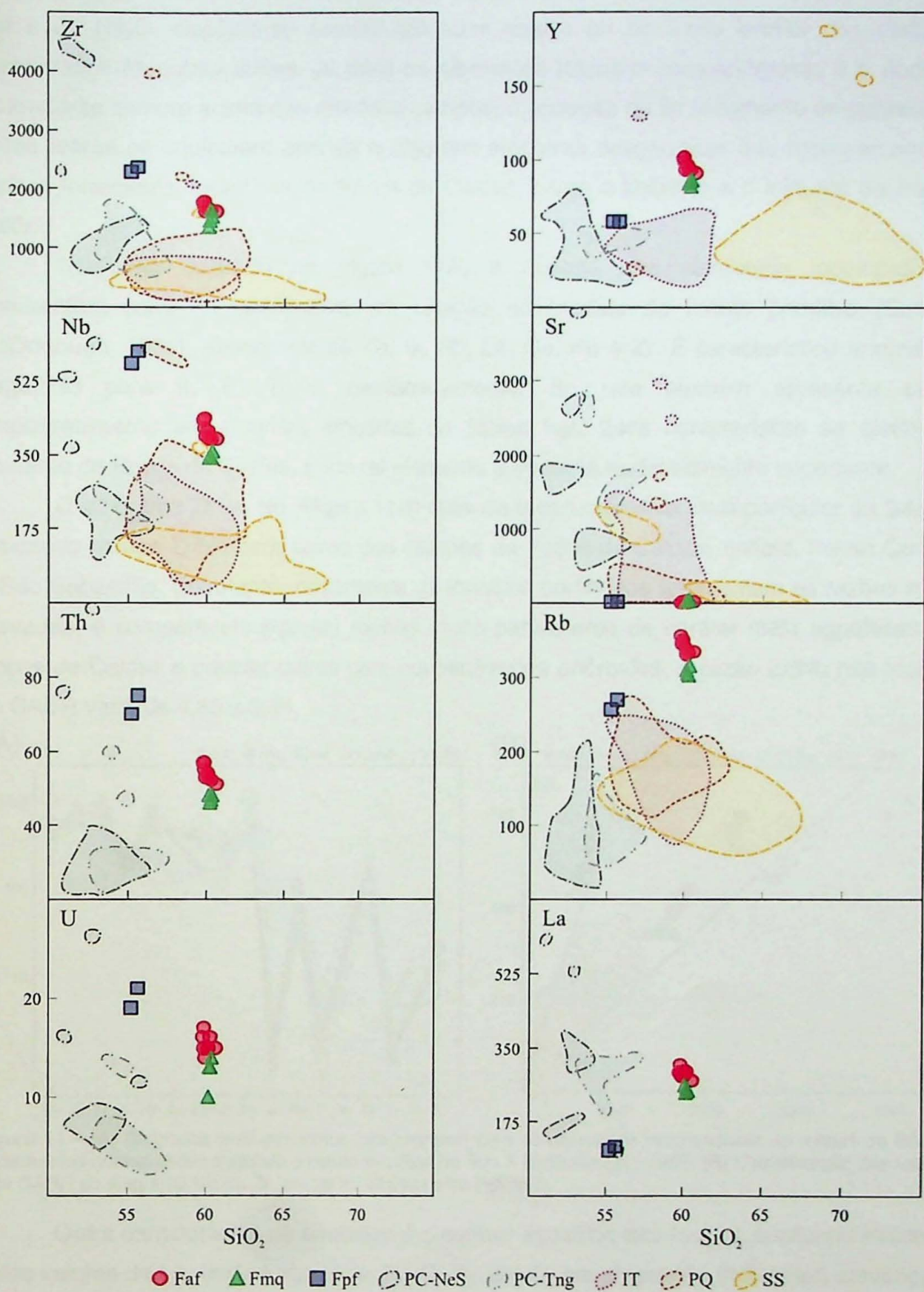


Figura 10 – Classificação das rochas da SABR nos diagramas de Harker para elementos traços (em ppm) vs. SiO_2 (% de peso). Siglas como Figura 7.

Quando comparada às outras ocorrências, percebe-se certa excentricidade nos resultados. Os campos da SABR relativos aos elementos maiores, com exceção do Al_2O_3 no Fpf e do Na_2O , dispõem-se sempre alocados abaixo ou no limite inferior dos campos comparados às outras suítes. Já para os elementos traços o comportamento é o oposto, situando-se sempre acima dos referidos campos, à exceção do Sr fortemente empobrecido. Estes teores se equiparam apenas a algumas amostras desgarradas que representam as rochas fortemente agpaíticas de Poços de Caldas, como o khibinito e o lujauro da Pedra Balão.

Conforme ilustrado na Figura 11A, a maioria dos elementos incompatíveis apresentam certo enriquecimento em relação ao modelo de manto primitivo (Sun & McDonough, 1989), especialmente Th, U, Nb, La, Ce, Pb e Zr. É característico anomalias negativas para K, P, Ti e, destacadamente, Sr, que também apresenta certo empobrecimento em algumas amostras da fácies Faf. Essa característica se distingue bastante de Poços de Caldas, onde tal elemento apresenta enriquecimento importante.

O diagrama Zr vs. Nb (Figura 11B) ressalta a característica mais particular da SABR, indicando razões Zr/Nb bem acima dos campos de Poços de Caldas, Itatiaia, Passa Quatro e São Sebastião. Entretanto, novamente os fonolitos porfíricos apresentam as razões mais elevadas, e comparáveis àquelas rochas muito particulares de caráter mais agpaíticas de Poços de Caldas e poucas outras com concentrações anômalas. A razão Zr/Nb nas rochas da SABR varia de 4,83 a 3,94.

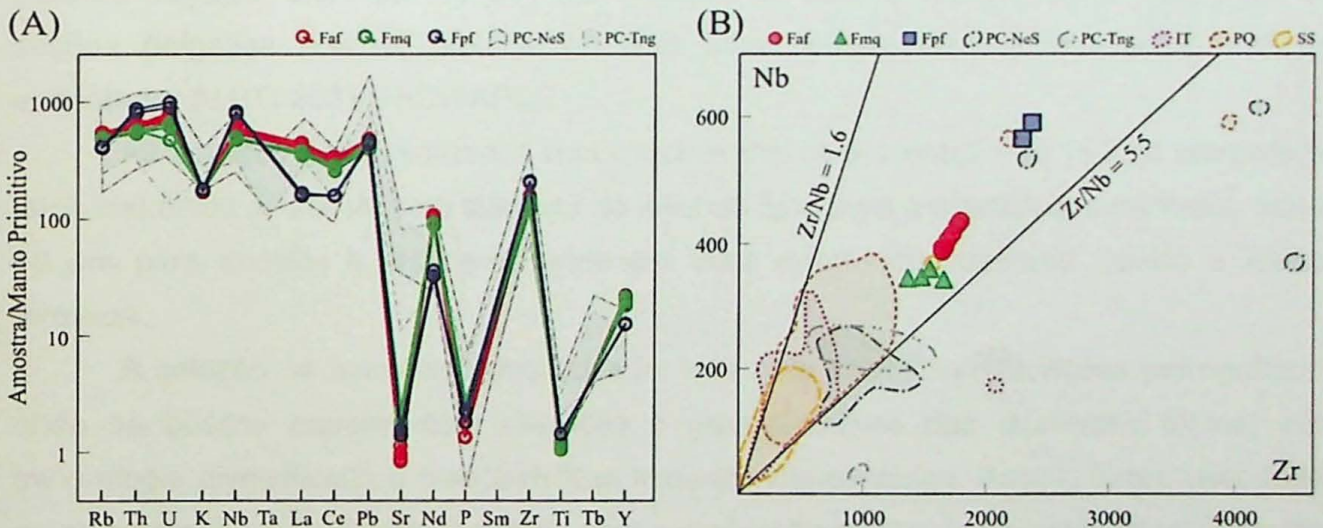


Figura 11 – (A) Diagrama multi-elementos (*spidergrams*) para os elementos incompatíveis de rochas da SABR. Elementos normalizados segundo o manto pirolítico de Sun & McDonough (1989). (B) Classificação das rochas da SABR no diagrama Nb vs. Zr (em ppm). Siglas como Figura 7.

Outra característica de destaque é o caráter agpaítico das rochas, conforme indicado pelos valores de I.A. (índice agpaítico, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} / \text{Al}_2\text{O}_3$ em proporção molecular) elevados e a abundância de minerais raros descritos na petrografia (Sørensen, 1974). O índice agpaítico varia de 1,17 a 0,99 (este último é único abaixo de 1,0), sendo em média muito maior que os valores descritos em Enrich *et al.* (2005) para Itatiaia, Passa Quatro e Ilha de São Sebastião (máximo de 0,98 exceto diques fonolíticos de São Sebastião com 1,12), e em

média superior aos valores de Poços de Caldas descritos por Ulbrich *et al.* (2005), salvo o khibinito e o lujaurito da Pedra Balão com respectivamente 1,21 e 1,33. Já a assembléia de minerais raros da SABR só encontra paralelo nas descritas nos khibinitos e lujauritos de Poços de Caldas. Este fato sugere a maior afinidade da SABR com as rochas sieníticas agpaíticas de Poços de Caldas.

Esses resultados permitem confirmar uma forte semelhança da SABR com as rochas agpaíticas de Poços de Caldas, como observado anteriormente nas descrições petrográficas, além de uma relação de certa forma aproximada com as suítes de Itatiaia e Passa Quatro, em detrimento da suíte da Ilha de São Sebastião, sugerindo assim, a relação de SABR com o Lineamento Magmático de Cabo Frio.

11. Química mineral

As análises de química mineral por microsonda (WDS e EDS) e as imagens de elétrons retro-espalhados em modo composicional (BEI-COMPO) foram efetuadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do IGc-USP, empregando-se instrumental de fabricação JEOL JXA-8600 Superprobe, equipado com cinco espectrômetros (WDS) com os cristais TAP/STE, TAP/PET, LIF/PET, PET/LIF e LIF/PET e um detector de silício (EDS). O equipamento encontra-se automatizado com um sistema Voyager 3.6.1 da NORAN Instruments. As determinações foram efetuadas em seções delgadas polidas, metalizadas com uma película de carbono (~25 nm) em evaporador AUTO 206 da EDWARDS.

As análises foram realizadas com um potencial de aceleração de 15 kv e corrente do feixe eletrônico de 20 nA, com diâmetro do feixe de 5 μ m para a maioria dos minerais, sendo 10 μ m para sodalita e analcima, tendo em vista evitar erros maiores devido a efeitos térmicos.

A seleção de amostras adequadas foi feita com base nas descrições petrográficas, onde se buscou aquelas sem alteração e representativas das diferentes fácies, com mineralogia diversificada e características texturais interessantes. Assim, foram escolhidas as amostras P-11, P-16B, P-17 e P-36, para a confecção das seções polidas. Nestas seções foram selecionados cristais de cada mineral para serem analisados, e marcados com o auxílio de um microscópio acoplado a um computador para estabelecer as coordenadas dos pontos eleitos para facilitar a localização de cada grão no momento da análise.

O trabalho foi dividido em duas etapas, análises quantitativas por WDS e qualitativas por EDS. No programa de análise por WDS foram estudados os seguintes minerais: feldspato, nefelina, sodalita, analcima, clinopiroxênio, anfibólio e biotita. Já as análises por EDS foram direcionadas preferencialmente para a caracterização dos minerais acessórios

de ocorrência rara, com vistas à identificação mineralógica mais segura, como também do grupo mineral ao qual pertence.

11.1. Feldspato

Foram realizadas 19 análises pontuais nas quatro lâminas analisadas, sendo 8 em cristais de albita e 11 em feldspato potássico (Tabela 6, em anexo). A distinção entre os dois feldspatos não foi clara durante as descrições petrográficas, sendo percebida apenas durante a realização das análises por microsonda. Seguiu-se a rotina padrão utilizada no laboratório para este mineral, para os óxidos SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 total, MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , SrO e BaO , sendo que TiO_2 e SrO foram analisados inicialmente, mas depois retirados da rotina devido à inexpressiva presença. Para o cálculo do número de cátions, com base 32 oxigênios, e dos componentes finais, An ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), Ab ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) e Or (KAlSi_3O_8), seguiu-se os procedimentos propostos por Deer *et al.* (1992).

Em toda a suíte os feldspatos se caracterizam pelo baixíssimo teor de An (máximo de 0,91%), em muitos casos 0%, sendo assim, todos são classificados como feldspato alcalino (Figura 12).

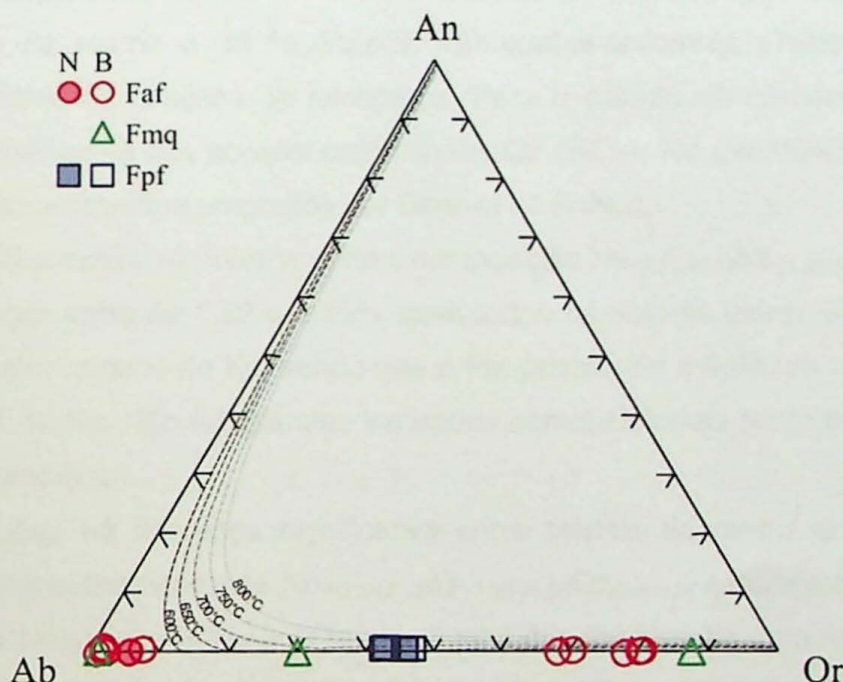


Figura 12 - Composição dos feldspatos da SABR classificados segundo os componentes moleculares An-Ab-Or (mol%). As linhas pontilhadas representam os limites da solução sólida de feldspatos ternários para as temperaturas na pressão de 1 kbar, segundo modelo termodinâmico de Elkins & Grove (1990). N- núcleo; B- borda; Fpf, Fonolito porfíritico; Faf, Fonolito afírico; Fmq, Fonolito mosqueado.

No Fonolito porfíritico, devido à falta de individualização dos grãos da matriz, foram analisados apenas os fenocristais, sendo que todos apresentam zonas alteradas e corroídas, que foram devidamente evitadas, porém não possuem indícios visíveis de exsolução. Caracteriza-se por composições intermediárias entre Ab e Or, com $\text{An}_{0,6-0,4}\text{Ab}_{57,1-53,0}\text{Or}_{46,5-42,3}$.

No Fonolito afírico foram analisados cristais aciculares dispostos em feixes e alguns cristais maiores isolados. Os cristais dos feixes mostraram-se como um agregado de

feldspato potássico e albita, já os cristais maiores são exclusivamente albita. Com esses resultados fica claro a bimodalidade composicional presente, agrupada em $An_{0,9-0,0}Ab_{99,1-92,2}Or_{7,6-0,9}$ e $An_{0,1-0,0}Ab_{31,8-19,4}Or_{80,5-68,2}$. Os cristais possuem bordas bem definidas e nenhuma indicação de instabilidade química, como exsoluções, reações e corrosões, indicando uma coexistência estável.

Já no Fonolito mosqueado, os cristais aciculares também foram analisados. Todos eles têm composição bem distinta, representando uma albita, um ortoclásio e outra fase de composição intermediária, este último possivelmente uma mistura entre as duas definidas. Nesta fácies há alguns indícios de geminações e pequenas exsoluções.

Examinando o diagrama An-Ab-Or (Figura 12) com as linhas de limites da solução sólida segundo modelo termodinâmico de Elkins & Grove (1990), é possível interpretar que os feldspatos da fácies Faf se cristalizaram em temperaturas pouco inferiores a 600°C, para pressão de 1 Kb.

11.2. Nefelina

Foram realizadas 24 análises em bordas e núcleos de cristais de nefelina representantes de matriz e de fenocristal, em quatro amostras (Tabela 7, em anexo), concomitantemente às análises de feldspatos. Para o cálculo do número de cátions, com base de 32 oxigênios, e dos componentes finais, Qz (SiO_2), Ne ($NaAlSi_3O_8$) e Ks ($KAlSi_3O_8$), seguiu-se os procedimentos propostos por Deer *et al.* (1992).

No corpo principal, a nefelina possui composição $Ne_{78,71-76,13}Ks_{21,89-16,03}Qz_{6,05-1,61}$, e um teor de Fe_2O_3 que varia de 1,82 a 0,19%, com todos os valores extremos pertencentes ao Fmq, salvo o valor mínimo de Ks, sendo que o Faf possui em média um teor maior de Qz e Fe_2O_3 e menor de Ks. Não há grandes variações composicionais entre cristais da matriz e fenocristais idiomórficos.

Já no *plug*, há diferença significativa entre cristais da matriz e fenocristais, com composições respectivamente de $Ne_{76,68-76,43}Ks_{16,99-16,96}Qz_{6,59-6,36}$ (análise de núcleo e borda em um grão) e $Ne_{80,64-77,88}Ks_{18,04-14,85}Qz_{5,30-2,09}$; também observa-se uma ligeira diferença no teor de Fe_2O_3 . No geral, os núcleos tendem a ter um teor maior de Qz e menor de Ks, refletindo as diferenças de temperatura do resfriamento durante sua cristalização. Curiosamente os cristais da matriz tem um teor de Qz maior que o núcleo, e particularmente, das bordas de fenocristais. Possivelmente os fenocristais foram reequilibrados por processos pós-magmáticos.

Examinando o diagrama Qz-Ne-Ks (Figura 13) pode-se notar que a cristalização das nefelinas se deu entre 500 e 600°C, para pressão de 1 Kb, segundo as temperaturas de equilíbrio determinadas experimentalmente por Hamilton (1961), havendo discrepância apenas em alguns fenocristais, acima de 700°C, e para temperaturas abaixo de 500°C, cristais da matriz ou bordas de fenocristais. Outro fato importante, é que parte dos

fenocristais presentes no Fmq encontram-se parcialmente corroídos e associados à carbonato, sodalita e analcima (Fotomicrografia 11), sugerindo um reequilíbrio em temperatura mais baixa.

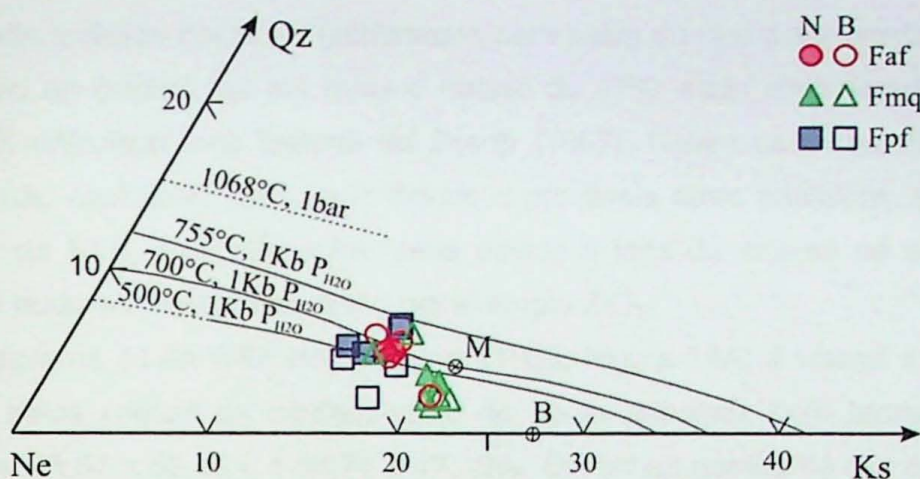


Figura 13 – Composição das nefelinas da SABR classificadas segundo os componentes moleculares Qz-Ne-Ks (mol %). Temperaturas de equilíbrio segundo Hamilton (1961). M e B correspondem respectivamente à composição teórica de Morozewicz e Buerger. Siglas como Figura 12.

11.3. Sodalita e Analcima

Foram realizadas 3 análises de cada um desses minerais, sendo sodalita identificada nas lâminas P-16B e P-17, em meio à matriz, e analcima na lâmina P-11, nos bolsões com nefelina circundados por clinopiroxênio (Tabela 8, em anexo). As análises foram feitas com rotinas diferentes, onde para as análises 1, 4 e 5 utilizaram-se a rotina padrão de sodalita, enquanto para as análises 2, 3 e 6 foram usadas a rotina de feldspatos. Isto se deve ao fato de que durante as análises desses minerais o feixe incidiu sobre sodalita, e aqui se decidiu aproveitá-las, embora o Cl, um elemento importante, não tenha sido analisado.

A sodalita representa uma série com os membros finais $\text{Na}_8(\text{AlSiO}_4)_6\text{Cl}_2$ (sodalita) e $\text{Na}_8(\text{AlSiO}_4)_6\text{SO}_4$ (noseana). A única análise com o teor de Cl medido classifica-se como sodalita, com 7,68% de Cl (em % de peso). Para o cálculo do número de cátions, com base de 21 oxigênios, seguiu-se os procedimentos propostos por Deer *et al.* (1992).

A analcima possui fórmula ideal $\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6) \cdot \text{H}_2\text{O}$. Para o cálculo do número de cátions, como base 96 oxigênios, seguiu-se os procedimentos propostos por Deer *et al.* (1992). O total de óxidos confere um valor em torno de 90% (em peso) devido a quantidade de água na composição mineral elevada. Esse mineral pode ser mais provavelmente uma alteração pós-magmática de nefelinas, gerando assim as analcimas.

11.4. Clinopiroxênio

Foram realizadas 25 análises em cristais de clinopiroxênio, nas lâminas P-16B, P-17 e P-11 (Tabela 9, em anexo). A rotina utilizada para as análises foi a padrão do laboratório para os óxidos SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , $\text{FeO}_{\text{total}}$, MnO , MgO , CaO , Na_2O e K_2O . Para o cálculo das proporções de $\text{Fe}^{+2}/\text{Fe}^{+3}$ a partir do $\text{FeO}_{\text{total}}$ aplicou-se a fórmula Droop (1987), e para o

cálculo da fórmula estrutural, com base em 6 oxigênios, classificação química e determinação dos componentes moleculares seguiu-se os procedimentos recomendados Morimoto (1990).

Algumas análises tiveram o fechamento bem baixo do que o esperado (< 99%, total em % de peso de óxidos), ou até mesmo abaixo de 97%, após considerado a fração de Fe_2O_3 e FeO , calculado pelo método de Droop (1987). Nesse caso, há duas hipóteses mutuamente não exclusivas, uma seria devido à prováveis erros analíticos, principalmente na contagem da SiO_2 , enquanto outra, seria devido à falta da análise de algum possível elemento que pode ser importante, como por exemplo ZrO_2 .

No diagrama Jd-Ae-WEF de Morimoto (1990; Figura 14A) é visível a bimodalidade apresentada pelos cristais de clinopiroxênio do corpo principal, com teores de aegirina variando entre 75,57 a 58,06% e 37,71 a 17,18%. Em linhas gerais, há um enriquecimento no membro Jd (chegando até 6,72%) e um empobrecimento de MnO proporcional ao enriquecimento no membro Ae.

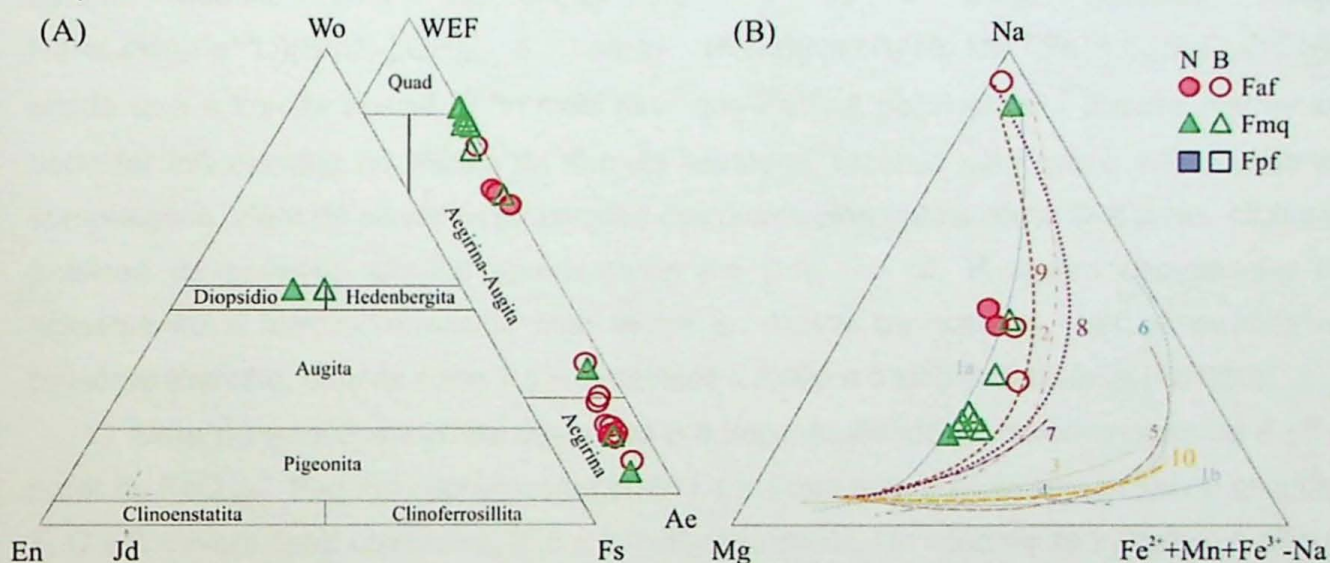


Figura 14 – (A) Composição dos clinopiroxênios da SABR classificados segundo Morimoto (1990) nos diagramas En-Fs-Wo e Jd-Ae-WEF (Jd, $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$; Ae, $\text{NaFe}^{+3}\text{Si}_2\text{O}_6$; WEF = Wo, $\text{Ca}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ + En, $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ + Fs, $\text{Fe}^{+2}\text{Si}_2\text{O}_6$, em % de componentes moleculares). (B) Diagrama Na-Mg-($\text{Fe}^{+2} + \text{Mn} + \text{Fe}^{+3} - \text{Na}$) a. f. u., para clinopiroxênios da SABR, comparado às principais linhas de tendência de piroxênios de outros complexos da Província Serra do Mar: 1a, Ilha de Búzios - área central; 1b, Ilha de Búzios - área periférica; 2, Itaúna; 3, Morro Redondo; 4, Soarinho; 5, Ilha de Vitória; 6, Ilha Monte de Trigo; 7, Tanguá - Rio Bonito - Morro de São João; 8, Itatiaia; 9, Passa Quatro; 10, Ilha de São Sebastião. Modificado de Enrich *et al.* (2005). Siglas como Figura 12.

A maioria dos clinopiroxênios que se classificaram como aegirina pertencem à fácies Faf, e apresentam zoneamento com seus núcleos mais pobres no componente molecular Ae, indicando condições de cristalização mais oxidantes gerando bordas mais ricas em Fe^{+3} . Já na fácies Fmq, os clinopiroxênios classificam-se principalmente como aegirina-augita, próximas ao campo 'Quad', inclusive com duas análises classificadas como diopsídio, e apresentam uma tendência inversa, com os núcleos mais ricos em Ae. Outra característica distintiva é que cristais da fácies Fmq apresentam núcleos com teores mais altos de TiO_2 , relativo às bordas enquanto a fácies Faf possui a tendência oposta, porém com algumas exceções.

Os clinopiroxênios da SABR possuem uma tendência química semelhante a outros corpos sieníticos da Província do Lineamento Magmático de Cabo Frio, como Itatiaia, Passa Quatro e Itaúna (Figura 14B), e diferente de corpos pertencentes à Província Serra do Mar, Setor Norte, reforçando mais uma vez a afinidade desta suíte com a primeira província.

11.5. Anfibólio

Foram realizadas 9 análises em cristais de anfibólio das quatro lâminas analisadas (Tabela 10, em anexo). A rotina utilizada para as análises foi aquela padrão do laboratório para os óxidos SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , $\text{FeO}_{\text{total}}$, MgO , MnO , CaO , Na_2O , K_2O , Cl e F .

Os resultados obtidos apresentam algum erro que pode ser devido à falta de análise de um ou mais elementos importantes. Por exemplo, o sítio C sistematicamente apresenta um total inferior a 5,000. Segundo Deer *et al.* (1997), alguns anfibólios alcalinos podem conter quantidades significativas de Li (não mensurável no método utilizado) e Zn, que podem ocorrer pela substituição $\text{Fe}^{+3} + \text{Li} = 2\text{Mg}$, gerando laekita $\text{NaNa}_2(\text{Mg}_2\text{Fe}^{+3}\text{Li})(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH})_2$ e kornita $(\text{K},\text{Na})(\text{Na},\text{Li})_2(\text{Mg},\text{Mn}^{+3},\text{Fe}^{+3}\text{Li})_5(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH})_2$, sendo que a kornita possui muito mais Mn^{+3} que Fe^{+3} . A possível falta desses elementos pode ter influenciado no cálculo da fórmula estrutural, fazendo com que o sítio C não se completasse, além de elevar as proporções dos outros elementos, como Si e o Na. Algumas análises de anfibólio alcalino apresentadas em Deer *op cit.* Possuem composição de eckermanita e ferro-eckermanita, com teores de óxidos compatíveis com os obtidos no presente trabalho, com os sítios T e A excedidos a 8,000 e o sítio C deficiente (<5,000).

Uma consequência direta deste fato é a impossibilidade da determinação de Fe^{+3} a partir do $\text{FeO}_{\text{total}}$. Segundo Schumacher (1997), para que este cálculo seja possível os sítios T, C e B devem estar completos, 8, 5 e 2 respectivamente. No caso deste trabalho, o sítio C não se completa em nenhuma análise. Sem a distinção dos teores de Fe^{+2} e Fe^{+3} não há condições para a devida classificação dos anfibólios de acordo com Leake *et al.* (1997).

No geral, as análises apontam expressivos teores de Na_2O (7,58 a 14,75%, em peso) e K_2O (2,07 a 3,4%), e baixos teores de Al_2O_3 e MgO (0,68 a 6,72% e 0,15 a 2,34%, respectivamente), exceto uma análise com 15,96% de Al_2O_3 . Comparados o corpo principal e o *plug* satélite, os anfibólios distinguem-se nos teores de TiO_2 e MnO , com variações respectivamente de 1,28 a 0,41% e 7,02 a 1,84% no corpo principal, e de 3,11 a 2,27% e 1,99 a 0,92% no *plug*. Essa diferença observada segue a tendência química da rocha.

11.6. Biotita

A biotita está presente apenas como fenocristal nas rochas do *plug*, onde foram feitas 4 análises (Tabela 11, em anexo). A rotina utilizada para as análises foi a padrão do laboratório para os óxidos SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , $\text{FeO}_{\text{total}}$, MgO , MnO , CaO , BaO , Na_2O , K_2O , Cl e F .

Segundo Deer *et al.* (1992) a biotita pertence ao grupo das micas, possuindo fórmula ideal $X_2Y_{4-6}Z_8O_{20}(OH,F)_4$, onde na biotita, $X = K$; $Y = Mg, Fe, Al$; $Z = Si, Al$. O potássio pode ser substituído por Na, Ca, Ba, Rb e Cs, neste caso, o sódio raramente excede 0,5 átomos a.f.u.. No sítio octaédrico Y pode ocorrer Mn, Ti, Fe^{+3} e Li, e raramente completa 6 átomos a.f.u., tipicamente entre 5,6 e 5,9.

As análises mostram que o sítio Z tetraédrico é ocupado por Si, Al, e Fe^{+3} , este em quantidades elevadas, refletindo uma carência em Al. Outra característica é o teor relativamente baixo de Mg, assim classificando-se como annita (Figura 15).

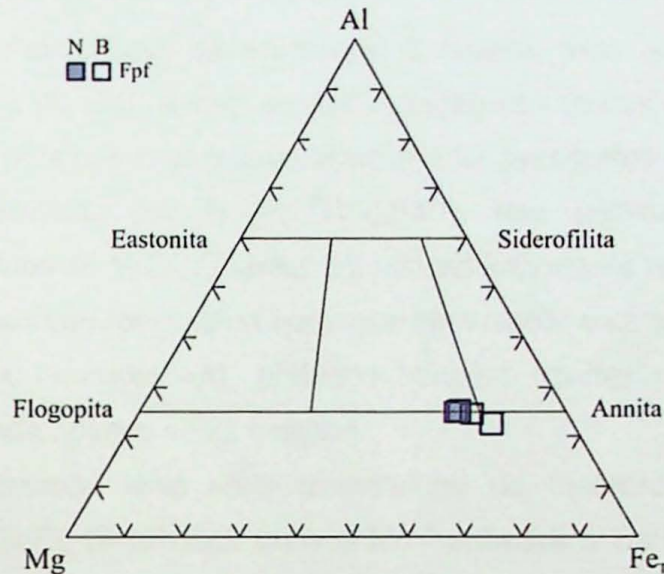


Figura 15 – Composição das biotitas da SABR no diagrama Al-Mg- Fe_T (em componentes moleculares). (Deer *et al.*, 1992). Siglas como Figura 12.

11.7. Minerais Exóticos

A determinação química dos minerais exóticos se deu por microsonda eletrônica EDS, tendo em vista a peculiaridades desses minerais que denotariam rotinas mais complexas e dispendiosas para análises por WDS. Com isto, foram confirmados quimicamente vários minerais descritos na petrografia tais como enigmatita, serandita, astrofilita, catapleíta e criolita. Além desses minerais, foram também utilizados imagens de varredura (BEI), através do qual permitiu identificar outros minerais não descritos na petrografia convencional, como eudialita, niobofilita, monazita, magnetita e apatita. Todos estes minerais foram identificados apenas nas amostras P-11 (Fmq), P-16B (Faf) e P-17 (Faf), com exceção da enigmatita definida petrograficamente na amostra P-36 (Fpf). As fórmulas químicas ideais dos minerais (Tabela 12) e a descrição das propriedades químicas foram feitas com base em Deer *et al.* (1992), exceto quando mencionado outra fonte. Os resultados de algumas análises qualitativas por EDS estão na Tabela 13 (em anexo), e são comparadas a outras análises obtidas no portal *WebMineral*.

Tabela 12 - Fórmula química ideal dos minerais identificados por EDS. Os cinco primeiros, segundo Deer *et al.* (1992); os dois últimos, segundo o portal *MinDat*.

Mineral	Fórmula	Classe
Enigmatita	$\text{Na}_2\text{Fe}^{+2}_5\text{TiO}_2(\text{Si}_6\text{O}_{18})$	Inossilicato
Serandita	$\text{Na}(\text{Mn}^{+2}, \text{Ca})_2\text{HSi}_3\text{O}_9$	Inossilicato
Astrofilita	$(\text{K}, \text{Na})_3(\text{Fe}^{+2}, \text{Mn})_7\text{Ti}_2\text{Si}_8\text{O}_{24}(\text{O}, \text{OH})_7$	Filossilicato
Niobofilita	$(\text{K}, \text{Na})_3(\text{Fe}, \text{Mn})_6(\text{Nb}, \text{Ti})_2\text{Si}_8(\text{O}, \text{OH}, \text{F})_{31}$	Filossilicato
Eudialita	$(\text{Na}, \text{Ca}, \text{ETR})_5(\text{Fe}^{+2}, \text{Mn})(\text{Zr}, \text{Ti})[(\text{Si}_3\text{O}_9)_2](\text{OH}, \text{Cl})$	Ciclossilicato
Catapleita	$\text{Na}_2\text{ZrSi}_3\text{O}_9 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Ciclossilicato
Criolita	Na_3AlF_6	Halóide

A variação composicional da enigmatita é restrita, mas ainda há uma pequena substituição de Na por (K, Ca), e uma grande variação nos teores de Fe^{+2} e Fe^{+3} . O Fe^{+3} pode também ocupar uma pequena porcentagem do sítio tetraédrico ($\text{Fe}^{+2}\text{Si} \leftrightarrow \text{AlFe}^{+3}$), assim como pode ser substituído por Ti ($\text{Fe}^{+2}\text{Ti} \leftrightarrow 2\text{Fe}^{+3}$). Nas análises foram encontradas quantidades significativas de MnO. Constitui um mineral importante nas rochas, e através de imagens composicionais BEI foi possível notar que geralmente está em agregados contendo astrofilita e niobofilita (Imagem 1A), podendo também ocorrer monazita e magnetita. Magnetita foi identificada apenas nesta imagem.

A serandita compõe uma série isoestrutural de membros finais $\text{Ca}_2\text{NaHSi}_3\text{O}_9$ (pectolita) e $\text{Mn}_2\text{NaHSi}_3\text{O}_9$ (serandita), onde o Mn^{+2} substitui o Ca na estrutura. Mg e Fe também podem estar presentes, e Al pode substituir o Si. É relativamente abundante no corpo principal. Imagens composicionais BEI mostram que geralmente apresenta-se como agregado de cristais idiomórficos poiquilíticos englobando albita (Imagem 1B).

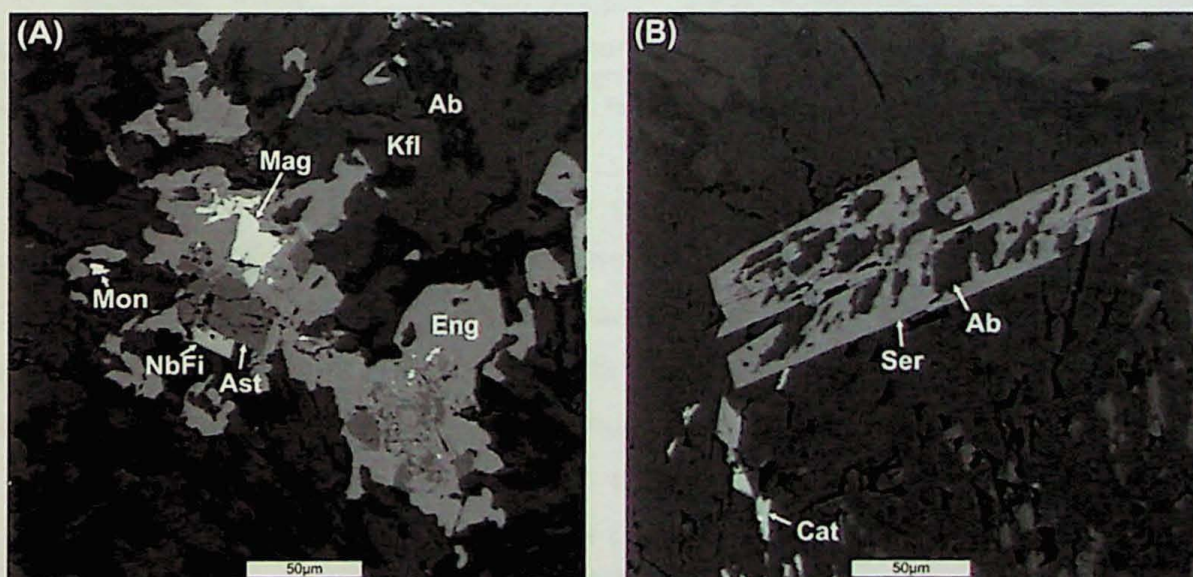


Imagem 1 – (A) Amostra P-11. Agregado de cristais de enigmatita, astrofilita, niobofilita, magnetita e monazita em matriz de feldspato potássico e albita. (B) Amostra P-11. Agregado de cristais idiomórficos poiquilíticos de serandita englobando albita. Também é visível catapleita intersticial. Eng, enigmatita; Ast, astrofilita; NbFi, niobofilita; Mag, magnetita; Mon, monazita; Ser, serandita; Cat, catapleita; Ab, albita; Kfl, feldspato potássico.

A composição da astrofilita pode ser expressa pela fórmula geral $\text{W}_3\text{X}_7\text{Y}_2\text{Z}_8\text{O}_{31}$, onde $\text{W} = \text{Na}, \text{K}, \text{Ca}, \text{Cs}$; $\text{X} = \text{Fe}, \text{Mn}$; $\text{Y} = \text{Ti}, \text{Zr}, \text{Nb}, \text{Al}$; e $\text{Z} = \text{Si}, \text{Al}$. Compõe uma solução sólida completa provavelmente entre os membros finais $\text{Na}_3\text{Fe}_7\text{Ti}_2\text{Si}_8\text{O}_{31}$ (astrofilita) e

$\text{Na}_3\text{Mn}_7\text{Ti}_2\text{Si}_8\text{O}_{31}$ (kupletskita), e podem conter substituições importantes de Ti por Zr e Nb, e suas variedades são referidas com zircofilita e niobofilita. A análise da astrofilita corresponde aproximadamente aos teores esperados, enquanto a niobofilita possui teores de TiO_2 e MnO pouco superiores e Nb_2O_5 pouco inferiores. Estes dois minerais estão sempre associados, com grande predominância de astrofilita.

A eudialita representa um grupo formado por silicatos complexos de Na, Ca, Zr e Fe, com presença significativa de muitos elementos menores, como Mn, ETR, Sr, Nb, K, Y e Ti, e atualmente conta com a nomenclatura de 17 membros finais (Jonhsen *et al.*, 2003). As imagens de varredura (BEI) revelaram quantidades significativas de eudialita, que se apresenta formando cristais intersticiais poiquilíticos, englobando albita, feldspato potássico e piroxênio (Imagem 2A e 2B).

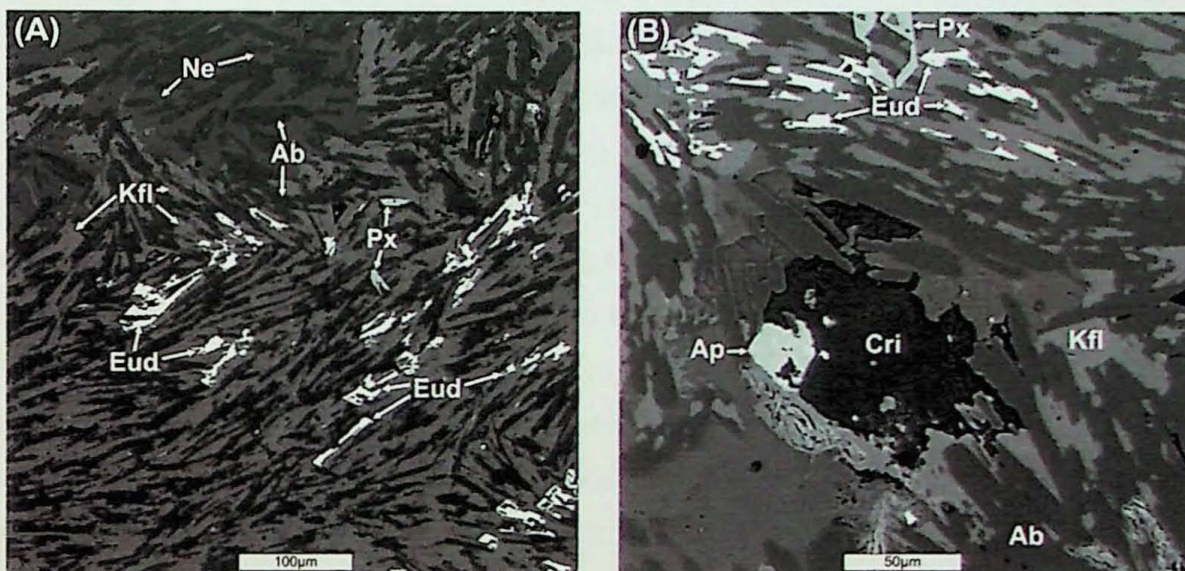


Imagem 2 – (A) Amostra P-17. Eudialita intersticial poiquil tica. Também   visível nefelina idiomórfica poiquil tica englobando albita idiomórfica. **(B)** Amostra P-16B. Agregado de cristais de criolita e apatita. Também   visível eudialita intersticial e albita idiomórfica. Ab, albita; Kfl, feldspato potássico; Ne, nefelina; Px, clinopiroxênio; Eud, eudialita; Cri, criolita; Ap, apatita.

Catapleíta é um zirconossilicato do grupo das zeólitas, sendo tipicamente p s-magmática encontrada em rochas fortemente alcalinas. Possui fórmula ideal $\text{Na}_2\text{ZrSi}_3\text{O}_9 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, e é caracterizada pela quantidade significativa de Ca, com quem forma uma série isomórfica com a cálcio-catapleíta $\text{CaZrSi}_3\text{O}_9 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Zubkova *et al.* 2007). As análises mostraram teores altos de Ca, podendo assim, se tratar desta última variação.

Criolita possui fórmula ideal Na_3AlF_6 , e pode conter pequenas quantidades de Fe, Mn, e Ca. Pequenas inclus  es carbonáticas podem causar coloração escura (Phillips and Griffen, 1986). As imagens de varredura (BEI) mostram que esse mineral se apresenta sempre intersticial, e pode estar associada à apatita, sendo esta os únicos registros deste mineral.

12. Considerações Finais

A suíte alcalina de Bom Repouso constitui uma intrusão fonolítica rasa, onde a área aflorante possivelmente representa uma região de topo da câmara magmática, tendo em vista que porções da encaixante encontram-se sobre o fonolito, este sotoposto localmente. A suíte é constituída por rochas essencialmente félsicas, intermediárias e insaturadas em sílica, com invariável presença normativa de nefelina e olivina. São rochas tipicamente alcalinas, com expressivas concentrações modais de nefelina, aegirina e anfibólio sódico, e pertencentes exclusivamente à série sódica, refletida na presença normativa da *ne*, *ab* (*ab/or* $\sim 3/2$) e *ac*, e ausência de *lc*. Possui um caráter agpaítico, com valores de índice agpaítico maior que a unidade ($I.A. > 1$) e considerável presença de Ti-Zr silicatos e outros minerais exóticos, tendo enigmatita e serandita como acessórios importantes, além de astrofilita, catapleíta, eudialita, criolita e niobofilita.

De modo geral, a SABR não apresenta variações significativas nos teores dos elementos maiores, à exceção de Na_2O . Já os elementos traços exibem enriquecimento importante para os elementos Th, U, Nb, La, Ce, Pb e Zr, e anomalias negativas para K, P e Ti, e destacadamente Sr, conforme visto na Figura 11A. O diagrama Zr vs. Nb (Figura 11B) ressalta o maior enriquecimento nos elementos incompatíveis, com razões Zr/Nb variando de 4,83 a 3,94, comparáveis apenas as rochas de caráter mais agpaíticas de Poços de Caldas e umas poucas outras com concentrações anômalas. Quimicamente, o corpo principal e o *plug* apresentam diferenças significativas, sendo que este último possui teores mais elevados de Al_2O_3 , Na_2O , Zr, Nb, Th e U e mais baixos de SiO_2 , Y, Rb e La.

O clinopiroxênio apresenta uma certa bimodalidade, com teores do membro final aegirina variando entre 75,57 a 58,06% e 37,71 a 17,18%, sendo assim, classificados como aegirina ou aegirina-augita, salvo duas análises dadas como diopsídio. Já os anfibólios são essencialmente sódicos, com teores de Na_2O de 7,58 a 14,75%, e baixos teores de Al_2O_3 e MgO, respectivamente 0,68 a 6,72% e 0,15 a 2,34%, exceto uma análise com 15,96% de Al_2O_3 . A classificação correta desses anfibólios tornou-se inviabilizada devido à impossibilidade do cálculo do Fe^{+2} e Fe^{+3} a partir do $\text{FeO}_{\text{total}}$.

Nefelina (corpo principal: $\text{Ne}_{78,71-76,13}\text{Ks}_{21,89-16,03}\text{Qz}_{6,05-1,61}$; *plug*: $\text{Ne}_{76,68-76,43}\text{Ks}_{16,99-16,96}\text{Qz}_{6,59-6,36}$ na matriz, e $\text{Ne}_{80,64-77,88}\text{Ks}_{18,04-14,85}\text{Qz}_{5,30-2,09}$ no fenocristal), e feldspato alcalino (corpo principal: Faf , $\text{Ab}_{99,1-92,2}\text{An}_{0,9-0,0}\text{Or}_{7,6-0,9}$ e $\text{Ab}_{31,8-19,4}\text{An}_{0,1-0,0}\text{Or}_{80,5-68,2}$; *plug*: Fpf , $\text{Ab}_{57,1-53,0}\text{An}_{0,6-0,4}\text{Or}_{46,5-42,3}$) apresentam composições equilibradas em temperaturas de cristalização entre 500 e 600°C. Na fácies Fmq, nefelina corroída possivelmente representa uma fase equilibrada em temperaturas pós-magmáticas, abaixo de 500°C.

Descarta-se a possibilidade de ser uma ocorrência Pré-Cambriana (cf. Hasui *et al.* 1997), considerando que toda a região foi afetada por eventos brasileiros, com muitas zonas milonitizadas. As rochas da suíte não apresentam qualquer indício macro ou microscópico de deformação e/ou metamorfismo, além de preservarem texturas ígneas

delicadas e paragênese típica de rochas ígneas agpaíticas. Os contatos geológicos entre a SABR e as encaixantes regionais são bruscos. Além disso, o próprio Hasui *et al.* (*op cit.*) apresentam uma idade K/Ar em anfibólio de 70 Ma, ainda que interpretando como sendo mínima.

Com base nos dados petrográficos e químicos disponíveis, sugere-se, preliminarmente, que o magmatismo alcalino que originou SABR tem afinidade com o das rochas sieníticas da Província do Lineamento Magmático de Cabo Frio, em particular com as rochas de caráter agpaítico do maciço alcalino de Poços de Caldas, situadas a 62 km a NNW, apresentando padrões similares de elementos incompatíveis e mineralogia acessória.

Entretanto, deve-se ressaltar que os dados ainda são escassos, necessitando de estudos de um número maior de amostras, de mais informações de campo, mais dados geoquímicos e principalmente de análises geocronológicas criteriosas, para um maior aprofundamento nos estudos petrológicos desta suíte.

13. Referências

- Almeida, F. F. 1967. Origem e evolução da Plataforma Brasileira. Rio de Janeiro: *Bol. Div. Min.*, 241:36p.
- Almeida, F. F. 1969. Diferenciação tectônica da plataforma brasileira. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 23, Salvador, 1969. *Anais...* Salvador SBG. p. 29-46.
- Almeida, F. F. 1983. Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da plataforma sul-americana. *Revista Brasileira de Geologia*, 13:139-158.
- Almeida, F. F. 1991. O Alinhamento Magmático de Cabo Frio. In: 2º Simp. Geol. Sudeste - *Atas*. São Paulo: SBG/SP-RJ. pp. 423-428.
- Artur, A. C. 1988. *Evolução Policíclica da Infra-Estrutura da Porção Sul do Estado de Minas Gerais e Regiões Adjacentes do Estado de São Paulo*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 231 p.
- Azzone, R. G., Ruberti, E., Enrich, G. E. R. e Gomes, C. B. 2009 - Geologia e geocronologia do maciço alcalino máfico-ultramáfico Ponte Nova (SP-MG). *Geol. USP, Sér. Cient.*, 9: 23-46.
- Campos Neto, M. C. 1991. *A porção ocidental da Faixa Alto Rio Grande: Ensaio de evolução tectônica*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 210p.
- Campos Neto, M. C., Basei, M. A. S., Vlach, S. R. F., Caby, R., Szabó, G. A. J., Vasconcelos, P. 2004. Migração de orógenos e superposição de orogêneses: um esboço da Colagem Brasileira no sul do Cráton São Francisco, SE – Brasil. *Geol. USP, Sér. Cient.*, 4: 13-40.
- Cavalcante, J., Cunha, H. C., Chieregati, L. A., Kaefer, L. Q., Rocha, J. M., Daitx, E. C. 1979. *Projeto Sapucaí. Relatório final de geologia. Série Geologia nº5*. Brasília: DNPM.
- Comin-Chiaramonti, P., Cundari, A., Piccirillo, E. M., Gomes, C. B., Castorina, F., Censi, P., De Min, A., Marzoli, A., Speziale, S., Velázquez, V. F., 1997. Potassic and Sodic Igneous Rocks from Eastern Paraguay: their Origin from the Lithospheric Mantle and Genetic Relationships with the Associated Paraná Flood Tholeiites. *Jour. of Petrol.*, 38 (4): 495-528.
- Deer, W. A., Howie, R. A., Zussman, J., 1992. *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. Second Edition. Longman Scientific & Technical, 696p.
- Deer, W. A., Howie, R. A., Zussman, J., 1997. *Rock-Forming Minerals. Vol. 2B. Double-Chain silicates*. Second Edition. London, Bath: Geological Society of London, 764p.
- DER-MG – Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.der.mg.gov.br>>. Acesso em 5 de março de 2009.
- DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. Disponível em: <<http://dnpm.gov.br>>. Acesso em 17 de fevereiro de 2009.
- Droop, G. T. R., 1987. A general equation for estimating Fe³⁺ concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. *Mineral. Mag.*, 51:431-435.
- Elkins, L. T. & Grove, T. L., 1990. Ternary feldspar experiments and thermodynamic models. *Am. Mineral.*, 75: 544-559.
- Enrich, G. E. R., Azzone, R. G., Ruberti, E., Gomes, C. B., Comin-Chiaramonti. 2005. Itatiaia, Passa Quatro and São Sebastião island, the major alkaline syenitic complexes from Serra do Mar region. In: P. Comin-Chiaramonti, & C. B. Gomes, *Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform*. São Paulo: EDUSP-FAPESP. pp. 419-442.

- Hamilton, D. L., 1961. Nephelines as cristallizations temperatures indicators. *J. Geol.*, 69: 321-329.
- Hasui, Y., Costa, J. B. S., Haraly, N. L. E., Rodrigues, E. P., Coutinho, J. M. V. 1997. Importância geotectônica dos gnaisses nefelina-sieníticos Pré-Cambrianos no Brasil. *Geociências*. São Paulo, 16(1):279-249.
- Heineck, C. A., Leite, C. A. L., Silva, M. A. e Vieira, V. S. 2003. *Mapa Geológico de Minas Gerais. Escala 1:1.000.000*. Belo Horizonte. CPRM – Serviço Geológico do Brasil/COMIG – Companhia Mineradora de Minas Gerais.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1972. *Folha Cambuí, SF-23-Y-B-IV-2*, Carta topográfica, Escala 1:50.000.
- Johnsen, O., Ferraris, G., Gault, R. A., Grice, J. D., Kampf, A. R., Perov, I. V., 2003. The nomenclature of eudialyte-group minerals. *Can. Mineral.*, 41:785-794.
- Leake, B. E. (Chairman), 1997. Nomenclature of amphiboles, Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Minerals Names. *Eur. J. Mineral.* 9: 623-651.
- Le Maitre, R. W. (Ed.), 2002. *Igneous rocks. A classification of igneous rocks and glossary of terms*. 2nd. Cambridge: Cambridge University Press, 236p.
- Middlemost, E. A. K., 1989. Iron oxidation ratios, norms and classification of volcanic rocks. *Chem. Geol.*, 77: 19-26.
- MinDat. Disponível em: <www.mindat.org>. Acesso em 7 de julho de 2009.
- Morais, S. M., Dehler, N. M., Rodrigues, J. B., & Sachis, L. L. 1999. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Integração Geológica da Folha Guaratingutá 1:250.000 - SF.23-Y-B. Estados de Minas Gerais e São Paulo. [Nota Explicativa]*. São Paulo: CPRM.
- Morimoto, N.; 1990. Nomenclatura de piroxênios. Tradução do original em inglês "Nomenclature of pyroxenes" realizada com a permissão da IMA por Gardá, M. G. e Atencio, D. *Revista Brasileira de Geociências* 20 (1-4): 318-328.
- Pedrosa-Soares, A. C., Dardenne, M. A., Hasuy, Y., Castro, F. D., & Carvalho, M. V. 1994. *Nota explicativa dos mapas geológicos, Metalogenético e de Ocorrências Minerais do Estado de Minas Gerais. Escala 1:1.000.000*. Belo Horizonte: COMIG - Companhia Mineradora de Minas Gerais.
- Phillips, W. R. and Griffen, D. T. 1986. *Optical Mineralogy. The nonopaque mineral*. CBS Publishers & Distributors, p.677.
- Potts, P. J., 1987. *A handbook of Silicate Rock Analysis*. Blackie Academic & Professional, 622p.
- Riccomini, C., Melo, M. S., Carneiro, C. D. R., Almeida, F. F. M., Mito, J. A., Hasui, Y. 1983. Sobre a ocorrência de um derrame de ankaramito na Bacia de Volta Redonda (RJ) e sua importância na datação das bacias tafrogênicas continentais do sudeste brasileiro. In: IV Simpósio Regional de Geologia, São Paulo. Resumos, 1983. p. 23-24.
- Riccomini, C., Velázquez, V. F., & Gomes, C. B. 2005. Tectonic controls of the Mesozoic and Cenozoic alkaline magmatism in central-southern Brazilian Plataform. In: P. Comin-Chiaramonti, & C. B. Gomes, *Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Plataform*. São Paulo: EDUSP-FAPESP. pp. 31-56.
- Richard, L.R. 1995. Mineralogical and Petrological Data Processing System. Minpet for Windows version 2.02. Geological Software, Canadá.
- Rosa, P. A. S.; Ruberti, E. e Enrich, G. E. R., 2009. Uma nova ocorrência alcalina mesozóica: a suíte alcalina de Bom Repouso, MG. In: XI Simp. Geol. Sudeste - Atas. São Pedro, 2009.

- Sadowski, G. R. & Dias Neto, C. M., 1981. O lineamento sismotectônico do Cabo Frio. *Rev. Bras. Geoc.*, 11(4): 209-212.
- SIGMINE – Sistema de Informações Geográficas da Mineração. Disponível em: <<http://sigmine.dnpm.gov.br/>>. Acesso em 17 de fevereiro de 2009.
- Schumacher, J. C., 1997. The estimation of ferric iron in electron microprobe analysis of amphiboles. in: Leake, B. E. (Chairman), 1997. Nomenclature of amphiboles, Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Minerals Names, Appendix 2. *Eur. J. Mineral.* 9: 643-651.
- Silva, A.B., Liberal, G.S., Grossi Sad, A., Issa Filho, A., Rodrigues, C.S., Riffel, B.F., 1988. Geologia e petrologia do complexo Angico dos Dias (Bahia, Brasil), uma associação carbonatítica precambriana. *Geochim. Brasiliensis*, 2: 81-108.
- Sørensen, H. 1974. *The Alkaline Rocks*. John Wiley & Sons. London. 622p.
- Sun, S. S. & McDonough, W. F. 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D. & Norry, M. J. (eds) *Magmatism in the ocean basins*. Geological Society of London, *Special Publication* 42: 313-345.
- Thomaz Filho, A. & Rodrigues, L., 1999. O Alinhamento de Rochas Alcalinas Poços de Caldas-Cabo Frio (RJ) e sua continuidade na cadeia Vitória-Trindade. *Rev. Bras. Geoc.*, 29: 189-194.
- Thompson, R. N., Gibson, S. A., Mitchell, J. G., Dickin, A. P., Leonardos, O. H., Brod, J. A., Greenwood, J. C., 1998. Migrating Cretaceous-Eocene Magmatism in the Serra do Mar Alkaline Province, SE Brasil: Melts from the Deflected Trindade Mantle Plume? *Journal of Petrology* 39 (8): 1493-1526.
- Ulbrich, H. H. G. J. & Gomes, C. B., 1981. Alkaline rocks from continental Brazil. *Earth Science Reviews* 17: 135-154.
- Ulbrich, H. H. G. J., Vlach, S. R. F., Demaiffe, D., Ulbrich, M. N. C. Structure and origin of the Poços de Caldas alkaline massif, Brazil. In: P. Comin-Chiaramonti, & C. B. Gomes, *Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Plateform*. São Paulo: EDUSP-FAPESP. pp. 367-418.
- WebMineral. Disponível em: <www.webmineral.com>. Acesso em 7 de julho de 2009.
- Zubkova, N. V., Pekov, I. V., Turchkova, A. G., Pushcharovskii, D. Yu., Merlino, S., Pasero, M., Chukanov, N. V. 2007. Crystal Structures of Potassium-Exchanged Forms of Catapleiite and Hilairite. *Crystallography Reports* 52, (1): 65–70

Município	Leite	Leite condensado	Leite em pó	Leite UHT	Leite esterilizado	Leite pasteurizado	Leite integral	Leite desnatado	Leite semidesnatado	Leite com açúcar	Leite sem açúcar	Leite com sal	Leite sem sal	Leite com leite	Leite sem leite	Leite com leite e sal	Leite sem leite e sal
Alto Araguaia	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Alto Bela Vista	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Alto Paranaíba	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Alto Rio Negro	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Alto Taquari	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Alto Triunfo	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Alto União	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Alto Verde	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Alto Vinte e Nove	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Alto Verde	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200

ANEXO

10	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
11	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
12	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
13	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
14	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
15	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
16	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
17	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
18	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
19	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200

Tabelas 5 a 11 e 13

20	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
21	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
22	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
23	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
24	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
25	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
26	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
27	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
28	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
29	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
30	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200

Tabela 5 - Composição química de rochas fonolíticas da SABR (elementos maiores, % em peso; elementos traços, em ppm).

Fácies	Faf					Fmq					Fpf				
Litotipo	P-02A	P-03	P-16B	P-17	P-24	P-30	P-31	P-32	P-35	P-09	P-11	P-22B	P-25	P-36	P-37
SiO ₂	59,79	60,02	60,14	60,60	59,85	59,94	59,86	60,28	60,12	60,26	60,32	60,22	60,10	55,23	55,65
TiO ₂	0,23	0,23	0,24	0,24	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,26	0,25	0,27	0,26	0,31	0,31
Al ₂ O ₃	18,35	18,38	18,29	18,53	18,43	18,43	18,26	18,46	18,30	18,24	18,37	18,28	18,27	21,58	21,61
Fe ₂ O _{3 total}	3,21	3,21	3,20	3,20	3,20	3,15	3,27	3,21	3,21	3,22	3,29	3,28	3,22	2,36	2,36
MnO	0,50	0,48	0,47	0,47	0,48	0,47	0,50	0,46	0,47	0,42	0,44	0,43	0,44	0,25	0,26
MgO	0,10	0,10	0,11	0,09	0,10	0,10	0,09	0,11	0,11	0,18	0,15	0,18	0,20	0,06	0,05
CaO	0,68	0,65	0,64	0,83	0,80	0,67	0,64	0,75	0,99	0,88	0,89	0,85	1,08	0,45	0,57
Na ₂ O	9,33	9,44	9,47	8,93	9,03	9,27	9,63	9,00	8,56	7,88	8,70	8,64	7,46	10,85	10,47
K ₂ O	5,10	5,12	5,24	5,20	5,16	5,19	5,10	5,19	5,14	5,40	5,30	5,33	5,36	5,32	5,40
P ₂ O ₅	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05
P.F. ⁽¹⁾	1,51	1,24	0,98	1,07	1,49	1,37	1,21	1,12	2,00	2,30	1,25	1,47	2,81	2,24	2,29
Total	98,84	98,91	98,81	99,19	98,81	98,85	98,84	98,85	99,17	99,09	99,00	99,00	99,25	98,69	99,02
Ce	610	564	542	532	574	564	587	515	599	459	510	488	509	283	281
Ga	44	43	42	42	43	44	44	42	41	40	41	40	41	60	61
La	292	294	287	271	289	284	308	293	285	254	249	243	262	109	115
Nb	431	406	390	388	415	393	437	390	394	343	359	346	345	568	594
Nd	141	136	137	132	145	136	143	141	131	126	119	125	120	49	44
Pb	34	35	31	31	35	34	35	32	33	28	30	30	32	31	33
Rb	355	340	337	334	345	350	347	333	331	303	315	306	309	257	269
Sr	19	19	19	18	21	19	19	19	24	38	29	36	48	33	30
Th	57	54	53	51	55	53	57	52	53	47	48	46	48	70	75
U	16	15	15	15	17	14	15	16	15	13	14	13	10	19	21
Y	101	96	93	91	98	93	102	93	93	82	86	85	84	58	58
Zn	319	303	293	291	306	296	320	291	298	258	274	264	267	216	228
Zr	1768	1689	1645	1641	1716	1637	1787	1642	1662	1654	1537	1477	1359	2288	2366
mg# ⁽²⁾	5,81	5,81	6,37	5,28	5,83	5,92	5,17	6,36	6,36	9,97	8,28	9,80	10,96	4,79	4,03
A.I. ⁽³⁾	1,14	1,15	1,16	1,10	1,11	1,13	1,17	1,11	1,07	1,03	1,09	1,09	0,99	1,09	1,07
D.I. ⁽⁴⁾	89,3	89,5	89,4	90,6	89,6	89,6	88,9	90,2	89,7	90,3	90,1	89,9	88,4	90,6	91,2
Mineralogia Normativa															
Q															
C															
or	30,14	30,25	30,96	30,73	30,49	30,67	30,14	30,67	30,37	31,91	31,32	31,50	31,67	31,44	31,91
ab	44,71	44,95	44,45	45,92	44,55	44,56	44,44	45,48	45,74	46,51	44,99	44,99	49,21	28,20	28,94
an													0,54		
ne	11,53	11,42	11,08	11,07	11,66	11,56	11,42	11,15	10,71	9,34	10,83	10,49	7,53	28,81	28,25
lc															
ac	2,88	2,88	2,87	2,87	2,87	2,83	2,94	2,88	2,88	2,57	2,95	2,94		2,12	2,12
di	2,80	2,64	2,62	3,47	3,33	2,76	2,60	3,11	4,19	3,53	3,63	3,37	3,92	1,73	2,23
hy															
ol	2,29	2,32	2,31	1,94	2,04	2,21	2,40	2,12	1,70	1,94	2,00	2,13	1,30	1,45	1,24
mt										0,16			1,45		
il	0,44	0,44	0,45	0,45	0,44	0,43	0,45	0,45	0,45	0,49	0,48	0,50	0,48	0,59	0,58
hm															
ap	0,08	0,09	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09	0,07	0,06	0,12	0,11	0,14	0,12	0,10	0,11
Total	96,37	96,24	95,81	97,59	96,95	96,47	95,68	97,05	98,10	98,88	97,56	97,52	99,04	96,67	97,67

(1), Perda ao Fogo

(2), MgO/(MgO+FeO γ), em proporção molecular

(3), (Na₂O+K₂O)/Al₂O₃, em proporção molecular

(4), Qz + Or + Ab + Ne + Lc + Ks, segundo a norma CIPW calculada na razão FeO/(FeO+Fe₂O₃)=0,5

Tabela 6 - Composição química de feldspatos de rochas fonolíticas da SABR.

Amostra	P-17, Faf		2 B		2 N		3		4		5		6		7		P-16B, Faf		9		10		11		P-11, Fmq		13		14		P-36, Fpf		15 N		15 B		16 N		16 B	
	Cristal	Tipo	Fen	Fen	Fen	Fen	AcI	AcI	AcI	AcI	AcI	AcI	AcI	AcI	AcI	AcI	Xen	Xen	Xen	Xen	Xen	Xen	Xen	AcI	AcI	AcI	AcI	AcI	AcI	Fen	Fen	Fen	Fen	Fen	Fen	Fen	Fen	Fen	Fen	
Fe ₂ O ₃ total	SiO ₂		66,77	66,70	63,32	67,94	62,91	62,67	63,51	63,80	60,23	67,35	67,64	64,12	68,36	66,32	62,99	66,63	65,95	66,08	65,62																			
	Al ₂ O ₃		19,57	19,55	21,92	19,77	18,41	18,39	18,77	18,86	22,87	19,89	19,75	18,82	19,61	19,50	19,17	18,96	19,05	18,94	18,67																			
	TiO ₂		0,06	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,02	0,04	0,01																			
	Fe ₂ O ₃ total		0,42	0,15	0,33	0,11	0,17	0,13	0,28	0,23	0,14	0,24	0,18	0,03	0,09	0,07	0,04	0,13	0,14	0,05	0,17																			
	MnO		0,03	0,00	0,02	0,00	0,01	0,03	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00																			
	MgO		0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01																			
	CaO		0,20	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	0,09	0,10	0,13	0,13																			
	Na ₂ O		11,93	11,93	12,67	11,91	3,70	2,24	2,22	2,51	15,54	11,66	11,03	3,40	11,60	8,61	1,30	6,27	6,05	6,66	6,42																			
	K ₂ O		0,25	0,32	1,17	0,44	12,09	13,74	14,01	13,50	0,21	0,32	1,38	12,36	0,37	5,85	15,25	8,01	8,06	7,59	7,24																			
	SrO		0,11	0,07	0,08	0,12	0,11	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,09	0,01	0,03	0,04																			
BaO		0,08	0,02	0,01	0,00	0,00	0,10	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00																				
Total		99,42	98,78	99,53	100,29	97,38	97,40	98,85	98,91	99,01	99,54	100,03	98,74	100,06	100,35	98,77	100,21	99,38	99,52	98,30																				
Número de cations calculado na base de 32 oxigênios																																								
Si		11,820	11,857	11,328	11,890	11,848	11,863	11,840	11,852	10,935	11,860	11,891	11,878	11,954	11,838	11,792	11,958	11,931	11,933	11,967																				
Al		4,083	4,095	4,621	4,078	4,085	4,103	4,124	4,129	4,892	4,128	4,093	4,109	4,041	4,101	4,231	4,011	4,061	4,030	4,013																				
Ti		0,008	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,003	0,003	0,005	0,002																				
Fe ⁺³		0,056	0,020	0,044	0,014	0,024	0,018	0,040	0,032	0,019	0,031	0,023	0,005	0,012	0,009	0,005	0,017	0,019	0,007	0,023																				
Mn		0,005	0,001	0,003	0,000	0,001	0,005	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,004	0,002	0,002	0,001	0,002	0,000	0,000																				
Mg		0,002	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,001																				
Ca		0,038	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,006	0,001	0,001	0,014	0,007	0,000	0,001	0,000	0,001	0,016	0,019	0,026	0,024																				
Na		4,095	4,113	4,394	4,042	1,352	0,821	0,801	0,905	5,470	3,981	3,760	1,219	3,932	2,980	0,470	2,180	2,122	2,331	2,272																				
K		0,056	0,073	0,266	0,098	2,905	3,318	3,332	3,200	0,050	0,071	0,309	2,921	0,082	1,331	3,642	1,834	1,859	1,748	1,684																				
Sr		0,011	0,007	0,008	0,012	0,011	0,011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,010	0,001	0,003	0,004																				
Ba		0,005	0,001	0,001	0,000	0,000	0,007	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000																				
Total		20,178	20,172	20,669	20,135	20,226	20,146	20,145	20,120	21,369	20,086	20,085	20,135	20,026	20,262	20,146	20,031	20,017	20,083	19,991																				
Membros finais																																								
An		0,91	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,14	0,02	0,02	0,33	0,18	0,00	0,02	0,00	0,02	0,41	0,48	0,62	0,61																				
Ab		97,76	98,27	94,27	97,61	31,77	19,85	19,36	22,04	99,08	97,91	92,24	29,45	97,93	69,12	11,44	54,10	53,04	56,80	57,08																				
Or		1,33	1,73	5,70	2,37	68,23	80,15	80,51	77,93	0,90	1,75	7,58	70,55	2,05	30,88	88,54	45,50	46,47	42,58	42,31																				
Abreviações: (-), elemento não analisado; B, borda; N, núcleo; Fen, fenocristal; AcI, acicular; Xen, xenomórfico																																								

Abreviações: (-), elemento não analisado; B, borda; N, núcleo; Fen, fencristal; AcI, acicular; Xen, xenomórfico

Tabela 7 - Composição química de nefelina de rochas fonolíticas da SABR.

Amostra	P-17, Faf			P-16B, Faf			P-11, Fmq			P-36, Fpf											
	1	2 B	2 N	3	5 B	5 N	6 B	6 N	7 B	7 N	8 B	8 N	9	10	11 N	11 NB	11 B	12 N	12 B	13 N	13 NB
Cristal	Mtz	Fen	Fen	Mtz	Mtz	Mtz	Fen	Fen	Fen	Fen	Fen	Fen	Mtz	Mtz	Fen	Fen	Fen	Fen	Fen	Mtz	Mtz
SiO ₂	41,64	44,76	44,68	44,24	45,45	44,93	42,68	44,00	45,31	42,63	42,74	42,35	44,52	43,17	44,63	44,05	43,27	43,82	43,19	44,98	44,94
Al ₂ O ₃	32,74	30,97	31,34	31,50	31,84	31,74	33,78	33,08	31,14	33,68	34,00	33,75	31,40	34,28	34,19	33,73	33,68	33,79	34,07	32,00	32,06
TiO ₂	0,06	0,00	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Fe ₂ O _{3 total}	0,22	1,38	1,51	1,55	1,60	1,56	0,38	0,54	1,82	0,19	0,23	0,24	0,99	0,35	0,39	0,50	0,44	0,47	0,47	0,63	0,68
MnO	0,04	0,01	0,03	0,03	0,01	0,04	0,00	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,03
MgO	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
CaO	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,02	0,00	0,12	0,00	0,40	0,01	0,04	0,15	0,12	0,16	0,19	0,16	0,01	0,07
Na ₂ O	16,33	16,45	16,54	16,50	16,45	16,53	16,88	16,72	16,84	16,23	16,66	16,39	16,06	16,72	17,10	17,24	17,45	16,74	16,42	16,29	16,32
K ₂ O	5,98	4,61	4,92	5,03	5,15	5,08	6,25	5,91	4,80	6,02	6,31	5,94	5,13	6,56	4,70	4,37	5,17	4,25	5,19	4,94	4,93
SrO	0,16	0,03	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,13	0,11	0,14	0,10	0,12	0,08
BaO	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
Total	97,17	98,24	99,06	98,85	100,53	99,88	99,98	100,28	99,95	98,88	99,95	99,15	98,15	101,13	101,18	100,18	100,30	99,39	99,63	98,99	99,20
Número de cations calculado na base de 32 oxigênios																					
Si	8,262	8,692	8,627	8,572	8,643	8,607	8,234	8,427	8,674	8,282	8,237	8,224	8,657	8,233	8,405	8,389	8,288	8,390	8,295	8,555	8,638
Al	7,657	7,089	7,132	7,193	7,137	7,165	7,681	7,466	7,026	7,711	7,723	7,725	7,195	7,706	7,591	7,572	7,604	7,625	7,711	7,257	7,262
Ti	0,010	0,000	0,002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
Fe ³⁺	0,033	0,202	0,219	0,226	0,229	0,224	0,055	0,077	0,262	0,028	0,033	0,035	0,144	0,050	0,055	0,072	0,064	0,068	0,068	0,092	0,098
Mn	0,006	0,001	0,005	0,005	0,002	0,006	0,001	0,002	0,003	0,001	0,003	0,001	0,006	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000	0,005
Mg	0,000	0,006	0,007	0,000	0,002	0,003	0,001	0,000	0,006	0,000	0,003	0,000	0,003	0,003	0,000	0,001	0,003	0,000	0,001	0,004	0,001
Ca	0,000	0,000	0,001	0,000	0,005	0,002	0,000	0,004	0,000	0,025	0,000	0,084	0,003	0,008	0,031	0,024	0,033	0,039	0,032	0,003	0,014
Na	6,281	6,193	6,191	6,200	6,067	6,139	6,315	6,208	6,252	6,113	6,225	6,170	6,056	6,182	6,246	6,367	6,479	6,214	6,114	6,079	6,082
K	1,514	1,141	1,212	1,243	1,249	1,240	1,539	1,444	1,172	1,493	1,550	1,472	1,273	1,595	1,129	1,061	1,263	1,038	1,271	1,213	1,208
Sr	0,018	0,003	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,014	0,012	0,015	0,011	0,013	0,009
Ba	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006
Total	23,782	23,329	23,396	23,440	23,332	23,388	23,825	23,628	23,394	23,652	23,773	23,717	23,337	23,778	23,458	23,503	23,749	23,389	23,508	23,317	23,326
Membros Finais																					
Ne	77,10	78,11	77,98	78,10	76,89	77,55	77,40	76,66	78,71	76,17	76,58	77,46	76,13	76,16	79,23	80,64	80,45	79,85	77,88	76,43	76,68
Ks	20,69	16,03	17,01	17,44	17,63	17,45	21,00	19,86	16,43	20,71	21,24	20,58	17,81	21,89	15,94	14,97	17,47	14,85	18,04	16,99	16,96
Qz	2,20	5,86	5,01	4,46	5,48	5,00	1,61	3,49	4,86	3,12	2,18	1,96	6,05	1,96	4,83	4,39	2,09	5,30	4,08	6,59	6,36

Abreviações: (-), elemento não analisado; B, borda; N, núcleo; NB, entre borda e núcleo; Mtz, matriz; Fen, fenocristal

Tabela 8 - Composição química de sodalita e analcima de rochas fonolíticas da SABR.

Amostra	P-16B, Faf	P-17, Faf	P-11, Fmq		P-11, Fmq	
Cristal	1	2	3	4	5	6
Mineral	Sod	Sod	Sod	Ana	Ana	Ana
SiO ₂	37,54	35,33	37,31	54,45	51,37	52,55
Al ₂ O ₃	31,50	31,06	32,79	23,08	24,59	24,35
TiO ₂	-	0,00	0,02	-	-	-
Fe ₂ O _{3 total}	0,86	0,79	0,88	0,07	0,21	0,21
MnO	-	0,01	0,00	-	-	0,06
MgO	-	0,00	0,01	-	-	0,00
CaO	0,02	0,00	0,02	0,03	0,00	0,01
BaO	-	0,00	0,00	-	-	0,12
SrO	-	0,00	0,07	-	-	0,00
Na ₂ O	26,44	25,76	26,24	13,83	13,74	12,40
K ₂ O	0,00	0,09	0,06	0,02	0,12	0,08
Cl	7,68	-	-	0,00	0,01	-
Total	104,04	93,64	97,38	91,47	90,04	89,77
-O=Cl	1,74	-	-	0,00	0,00	-
Total	102,31	93,64	97,38	91,47	90,04	89,77
Número de cátions ⁽¹⁾						
Si	5,183	4,905	4,885	32,005	30,795	31,363
Al	5,127	4,999	5,061	15,986	17,374	17,128
Ti	-	0,000	0,001	-	-	-
Fe ⁺³	0,197	0,180	0,193	0,072	0,212	0,207
Mn	-	0,001	0,000	-	-	0,032
Mg	-	0,000	0,001	-	-	0,000
Ca	0,003	0,000	0,002	0,016	0,000	0,005
Ba	-	0,000	0,000	-	-	0,026
Sr	-	0,000	0,005	-	-	0,000
Na	7,078	6,819	6,661	15,756	15,970	14,348
K	0,000	0,016	0,009	0,011	0,091	0,057
Cl	1,797	-	-	0,000	0,005	-

(1), Números de cátions calculado na base de 21 oxigênios para sodalita e 96 para analcima

Abreviações: Sod, sodalita; Ana, analcima

Tabela 9 - Composição química de clinopiroxênio de rochas fonolíticas da SABR.

Amostra	P-16B, Faf			P-17, Faf			P-11, Fmq												18	19 N	20	21			
	Cristal	1	2	3	4	5 B	6 B	7 B	7 N	8	9 B	10 B	11 BN	11 N	12 B	13	14	15					16 B	17 N	17 B
Tipo	Xen	Idl	Idl	Idl	Ane	Ane	Ane	Ane	Idl	Idl	Ane	Ane	Ane	Idl	Sub	Sub	Sub	Idl	Idl	Idl	Idl	Idl	Idl	Sub	Sub
SiO ₂	48,63	52,81	52,83	51,68	51,58	51,20	51,51	52,23	52,40	52,49	51,52	50,96	50,35	50,40	50,61	51,05	50,53	50,86	52,72	50,36	52,00	51,05	49,50	49,89	
TiO ₂	1,17	1,77	2,36	3,68	1,09	0,56	1,89	0,57	2,39	2,45	1,86	0,76	0,78	0,60	0,56	0,32	0,47	0,75	3,17	0,86	1,20	1,22	0,61	0,87	
Al ₂ O ₃	1,60	1,20	1,05	0,78	0,83	0,98	0,96	1,06	1,07	1,18	1,20	0,84	1,12	1,25	1,42	0,82	1,49	1,26	1,16	1,16	1,21	0,73	1,38	1,69	
FeO _{total}	17,41	25,20	25,58	21,81	24,46	24,17	25,25	25,58	25,44	26,28	24,55	18,73	19,29	14,52	15,12	15,35	14,04	17,17	25,67	19,22	25,82	25,54	14,90	15,82	
MnO	3,11	1,10	1,03	1,10	1,09	1,07	0,99	2,56	1,15	0,90	0,91	1,90	2,97	2,90	2,65	2,76	3,13	2,48	2,79	0,71	2,97	1,15	1,60	2,55	
MgO	4,94	0,39	0,43	0,27	0,41	0,41	0,45	4,70	0,28	0,30	0,40	0,63	4,63	4,21	7,98	7,06	8,35	5,62	0,09	4,25	0,32	0,75	7,60	7,51	
CaO	16,62	2,02	2,10	1,00	3,53	2,79	2,35	15,01	1,68	1,76	2,08	5,04	15,00	14,84	19,10	18,51	19,56	19,93	16,89	0,25	14,84	2,04	4,95	18,73	
Na ₂ O	3,50	12,48	12,32	12,90	11,24	11,21	12,10	4,91	12,42	12,15	10,47	5,28	4,87	2,61	2,91	2,46	2,40	3,78	13,34	5,01	12,31	10,30	2,74	2,82	
K ₂ O	0,01	0,02	0,02	0,04	0,06	0,21	0,04	0,01	0,02	0,04	0,00	0,01	0,07	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	
Total	96,99	96,99	97,73	93,25	94,30	92,60	95,52	98,29	96,80	97,36	97,84	99,44	98,56	99,27	98,81	99,76	99,71	99,14	97,15	98,67	96,04	96,14	98,00	100,04	
Fe ₂ O ₃	8,39	23,78	23,01	20,51	21,48	21,44	23,94	11,23	23,43	22,87	19,49	12,99	11,49	7,85	7,38	6,82	7,95	8,45	23,99	11,93	24,91	21,47	8,68	9,44	
FeO	9,87	3,81	4,88	3,35	5,13	4,89	3,71	8,57	4,49	4,86	5,15	7,02	7,04	7,46	8,48	9,22	6,89	9,57	4,09	8,49	3,41	6,22	7,09	7,32	
Total	97,83	99,37	100,04	95,30	96,45	94,74	97,92	99,41	99,15	99,72	99,79	100,75	99,71	100,06	99,55	100,44	100,51	99,98	99,56	99,87	98,54	98,29	98,87	100,98	
Número de cátions calculado na base de 6 oxigênios																									
Si	1,934	2,021	2,014	2,045	2,042	2,058	2,006	1,975	2,009	2,014	2,011	1,992	1,956	1,932	1,956	1,964	1,926	1,966	2,011	1,957	2,011	2,003	1,924	1,904	
Al	0,066	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025	0,000	0,000	0,000	0,008	0,044	0,064	0,044	0,036	0,067	0,034	0,000	0,043	0,000	0,000	0,063	0,076	
Fe ³⁺	0,251	0,685	0,660	0,611	0,640	0,648	0,702	0,329	0,678	0,661	0,677	0,567	0,375	0,223	0,215	0,197	0,221	0,246	0,688	0,349	0,725	0,634	0,241	0,251	
Mg	0,293	0,022	0,025	0,016	0,024	0,025	0,026	0,273	0,016	0,017	0,023	0,036	0,265	0,245	0,456	0,407	0,404	0,474	0,324	0,005	0,246	0,018	0,044	0,427	
Fe ²⁺	0,328	0,122	0,156	0,111	0,170	0,164	0,121	0,279	0,145	0,156	0,165	0,227	0,226	0,292	0,239	0,274	0,296	0,220	0,309	0,131	0,204	0,230	0,234		
Mn	0,084	0,035	0,033	0,037	0,037	0,036	0,033	0,080	0,037	0,029	0,026	0,054	0,096	0,085	0,064	0,075	0,092	0,071	0,075	0,023	0,093	0,048	0,070	0,063	
Soma M1	1,000	0,971	0,991	0,921	0,942	0,937	0,981	1,000	0,996	0,991	1,000	0,991	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,982	1,000	1,000	1,000	
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Fe ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Mn	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,004	0,008	0,010	0,022	0,015	0,011	0,009	0,016	0,000	0,005	0,000	0,005	0,014	0,021	
Ca	0,708	0,083	0,086	0,042	0,150	0,120	0,098	0,625	0,069	0,072	0,085	0,209	0,617	0,784	0,766	0,806	0,814	0,700	0,010	0,618	0,084	0,208	0,780	0,770	
Na	0,270	0,926	0,911	0,990	0,863	0,874	0,913	0,370	0,926	0,924	0,902	0,785	0,393	0,368	0,194	0,218	0,183	0,177	0,284	0,987	0,378	0,923	0,784	0,206	
K	0,000	0,001	0,001	0,002	0,003	0,011	0,002	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	
Soma M2	1,000	1,010	0,998	1,034	1,016	1,005	1,013	1,000	0,997	0,998	0,992	1,002	1,010	1,000	1,000	1,000	1,000	1,001	1,001	1,001	1,007	0,997	1,000	1,001	
Soma Total	4,000	4,002	4,003	4,001	4,000	4,000	4,001	4,000	4,002	4,002	4,002	4,001	4,000	4,001	4,000	4,000	4,001	4,001	4,001	4,004	4,001	4,000	4,000	4,001	
Componentes moleculares																									
Jd	0,94	5,72	4,92	3,95	4,21	5,19	4,53	2,40	4,99	5,57	5,59	3,07	0,64	1,83	0,00	1,26	0,08	0,00	2,37	5,41	1,05	5,76	3,45	0,00	
Ae	25,23	72,12	68,54	66,74	69,71	72,64	72,41	33,14	70,12	68,74	70,08	58,06	37,71	33,95	19,42	20,66	18,29	17,78	24,75	71,17	35,21	75,57	64,88	20,61	
Es	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,86	0,81	1,44	4,26	0,00	0,00	0,00	0,00	3,49	3,97	
CaTiTs	3,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,70	2,27	2,36	1,80	1,67	0,97	1,41	2,26	0,00	2,60	0,00	1,81	2,61	
CaTs	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Wo	33,84	4,37	4,45	2,31	8,14	6,72	5,07	30,69	3,58	3,76	4,42	9,85	29,87	30,02	36,88	37,07	39,09	37,84	34,11	0,53	29,88	4,40	10,64	36,34	
En	14,71	1,16	1,28	0,87	1,33	1,38	1,35	13,75	0,84	0,88	1,17	1,86	13,31	12,33	22,79	20,33	20,21	23,72	16,31	0,27	12,41	0,96	2,23	22,03	
Fs	21,77	5,51	6,14	2,06	9,47	10,29	5,01	18,31	5,71	5,82	7,20	11,26	16,20	19,52	16,25	18,21	19,92	14,98	20,19	3,04	18,86	5,83	11,29	15,72	
Fe ²⁺ -NaT	0,00	11,13	14,67	24,07	7,13	3,77	11,64	0,00	14,76	15,23	11,53	14,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,48	7,50	0,00	0,00	

Observações: Fe²⁺/Fe³⁺ calculado por estequiometria. Abreviações: B: borda; N: núcleo; BN: entre borda e núcleo; Xen: xenomórfico; Idl: idiomórfico; Sub: subidiomórfico.

Observações: Fe²⁺/Fe³⁺ calculado por estequiometria. Abreviações: B, borda; N, núcleo; BN, entre borda e núcleo; Xen, xenomórfico; Idl, idiomórfico; Sub, subidiomórfico

Tabela 10 - Composição química de anfibólio de rochas fonolíticas da SABR

Amostra	P-16B, Faf		P-17, Faf		P-11, Fmq		P-36, Fpf	
Cristal	1	2	3	4	5	6	7	8
Tipo	Sub	Xen	Sub	Xen	Sub	Sub	Mtz	Mtz
SiO ₂	51,90	50,56	49,86	56,33	51,61	53,62	47,10	50,24
Al ₂ O ₃	2,95	0,68	1,55	6,72	2,51	4,93	5,84	15,94
TiO ₂	1,00	0,78	0,97	1,28	0,87	0,41	3,11	2,27
FeO _{total}	24,46	24,94	27,04	19,56	24,27	20,51	23,79	11,94
MnO	4,74	7,02	4,77	1,84	4,51	6,11	1,99	0,92
MgO	1,55	1,33	1,86	0,35	1,92	0,49	2,34	0,15
CaO	0,61	0,48	0,68	0,07	0,59	0,77	1,15	0,60
Na ₂ O	7,58	8,10	8,38	9,57	8,62	8,59	9,75	14,75
K ₂ O	3,34	2,80	2,07	2,95	2,61	2,56	2,15	2,16
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02
F	0,50	0,33	0,69	0,39	0,43	0,13	0,56	0,03
Total	98,64	97,00	97,86	98,73	97,49	98,12	97,77	99,02
-O=Cl,F	0,21	0,14	0,29	0,17	0,18	0,05	0,24	0,02
Total	98,42	96,86	97,57	98,56	97,30	98,07	97,54	99,00
Número de cátions calculado na base de 23 oxigênios								
Si	8,086	8,158	7,976	8,301	8,104	8,196	7,393	7,250
Al ^{IV}	0,000	0,000	0,024	0,000	0,000	0,000	0,607	0,750
Soma T	8,086	8,158	8,000	8,301	8,104	8,196	8,000	8,000
Al ^{VI}	0,542	0,129	0,269	1,167	0,465	0,888	0,473	1,960
Ti	0,118	0,095	0,116	0,142	0,103	0,047	0,367	0,246
Mg	0,359	0,319	0,442	0,076	0,450	0,112	0,546	0,032
Fe ⁺²	3,187	3,366	3,618	3,393	2,411	3,186	2,622	3,123
Mn	0,626	0,959	0,555	0,229	0,600	0,790	0,264	0,112
Soma C	4,831	4,867	5,000	4,025	4,804	4,460	4,773	3,792
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ⁺²	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,091	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,101	0,082	0,116	0,090	0,101	0,126	0,193	0,092
Na	1,899	1,918	1,793	1,910	1,989	1,874	1,807	1,908
Soma B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Na	0,390	0,616	0,806	0,746	0,722	0,672	1,160	2,218
K	0,664	0,576	0,422	0,598	0,491	0,430	0,500	0,398
Soma A	1,054	1,192	1,228	1,198	1,237	1,171	1,590	2,616
Total	15,971	16,217	16,228	16,145	16,061	15,827	16,364	16,407

Abreviações: B, borda; N, núcleo; Xen, xenomórfico; Sub, subidiomórfico; Mtz, matriz

Tabela 11 - Composição química de biotita de rochas fonolíticas da SABR

Amostra	P-36		1		2	3	3 B
Cristal	1	2	3	3 N	3 B	3 B	3 B
SiO ₂	33,62	33,46	34,80	34,80	34,61	34,61	34,61
Al ₂ O ₃	13,52	14,15	14,36	14,36	14,67	14,67	14,67
TiO ₂	5,19	5,43	6,56	6,56	6,67	6,67	6,67
FeO _{total}	26,38	23,94	22,65	22,65	23,05	23,05	23,05
MnO	1,41	1,20	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
MgO	6,62	7,48	8,73	8,73	8,47	8,47	8,47
CaO	0,01	0,10	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00
BaO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,04
Na ₂ O	0,65	0,67	0,58	0,58	0,75	0,75	0,75
K ₂ O	8,89	8,60	9,14	9,14	9,10	9,10	9,10
Cl	0,01	0,05	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03
F	0,17	0,08	0,12	0,12	0,34	0,34	0,34
Total	96,48	95,16	97,91	97,91	98,66	98,66	98,66
-O=Cl,F	0,07	0,05	0,05	0,05	0,15	0,15	0,15
Total novo	96,41	95,11	97,86	97,86	98,51	98,51	98,51
Número de cátions calculado na base de 22 oxigênios							
Si	4,059	4,126	4,214	4,214	4,174	4,174	4,174
Al	1,924	2,057	2,049	2,049	2,085	2,085	2,085
Ti	0,471	0,504	0,597	0,597	0,605	0,605	0,605
Fe ⁺²	1,546	1,313	1,140	1,140	1,136	1,136	1,136
Soma Z	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Fe ⁺²	3,309	3,121	2,849	2,849	2,910	2,910	2,910
Mn	0,144	0,125	0,096	0,096	0,095	0,095	0,095
Mg	1,191	1,375	1,575	1,575	1,522	1,522	1,522
Soma Y	4,644	4,621	4,519	4,519	4,528	4,528	4,528
Ca	0,002	0,014	0,005	0,005	0,000	0,000	0,000
BaO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002
Na	0,153	0,159	0,136	0,136	0,174	0,174	0,174
K	1,369	1,352	1,411	1,411	1,401	1,401	1,401
Soma X	1,524	1,525	1,552	1,552	1,576	1,576	1,576
Cl	0,001	0,011	0,001	0,001	0,007	0,007	0,007
F	0,064	0,031	0,046	0,046	0,131	0,131	0,131
Total	26,811	26,766	26,590	26,590	26,632	26,632	26,632

Abreviações: B, borda; N, núcleo

Tabela 13 - Análises químicas qualitativas (semi-quantitativas) por EDS de minerais exóticos da SABR, comparadas a análises da literatura.

	Enigmatita		Serandita		Astrofilita		Niobofilita		Eudialita		Criolita	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
SiO ₂	38,83	36,04	50,82	51,19	37,29	50,38	34,47	35,67	48,45	60,82		
TiO ₂	9,77	9,47			12,39	14,38	1,15	6,75				
Al ₂ O ₃	1,90	1,49									12,85	14,67
ZrO ₂	0,07								12,42	13,30		
FeO	35,76	40,76			29,26	19,71	27,05	28,09	4,34	3,06		
Fe ₂ O ₃	3,07											
MnO	1,65	7,13	30,00	27,93	5,50	5,49	8,9	12,71	2,14	6,07		
MgO	1,08				2,35							
CaO	1,08		7,91	13,68					8,48	9,54		
Na ₂ O	6,73	4,93	8,74	7,20	2,40	5,38	2,22	2,63	12,49	3,21	32,85	38,86
K ₂ O					7,31	4,66	6,76	5,64				
ZnO	0,05											
Nb ₂ O ₅							17,16	8,34				
Ce ₂ O ₃									8,27	2,76		
Y ₂ O ₃									1,14			
H ₂ O			2,54		2,45		2,58		1,36			
Cl									1,79	1,23		
F					0,74		1,02				54,30	46,47
-O=H ₂ O,Cl,F					0,31		0,43		0,40			
Total	99,99	99,82	100,01	100,00	99,38	100,00	100,88	99,83	100,48	99,99	100,00	100,00

A, Análises retiradas do portal *WebMineral*

B, Análises de minerais da SABR obtidas por análise EDS

DOAÇÃO
<i>IGC-OSP</i>
Data: <i>05/02/10</i>

