UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GEOLOGIA E EVOLUÇÃO PETROGENÉTICA DO MACIÇO
ALCALINO DE ITATIAIA, MG-RJ**

PEDRO AUGUSTO DA SILVA ROSA

Orientador: Prof. Dr. Excelso Ruberti

Tese de Doutorado

Nº 571

COMISSÃO JULGADORA

Dr. Excelso Ruberti

Dr. Sérgio de Castro Valente (UFRRJ)

Dr^a. Leila Soares Marques (IAG/USP)

Dr^a. Elisa Soares Rocha Barbosa (UFG)

Dr. Valdecir de Assis Janasi (GMG/IGc/USP)

SÃO PAULO
2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica preparada pelo Serviço de Biblioteca e
Documentação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

Rosa, Pedro Augusto Da Silva

Geologia e Evolução Petrogenética do Maciço
Alcalino de Itatiaia, MG-RJ. - São Paulo, 2017.

137 p. : il + anexos + mapas

Tese (Doutorado) : IGc/USP

Orient.: Ruberti, Excelso

1. Petrologia ígnea 2. Petrogênese 3.
Geocronologia 4. Rochas alcalinas 5. Itatiaia I.
Título

*Dedico este trabalho ao meu sobrinho Theo, na
esperança de que encontre um mundo melhor, e
ao meu primo-irmão Leonardo, pela memória
daqueles que se foram*

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo agradeço aos meus pais, Maurício e Carmen Lúcia, por me oferecerem sempre todo o incentivo, oportunidade e confiança que me fizeram chegar até aqui. À minha irmã, Jaqueline, por sempre me apoiar e criticar nos momentos necessários (e bem-vindo Theo!), aos meus avôs Geraldo e Joaquim, por suas lições de vida e sabedoria que vão muito além de livros e aulas, e a todos meus familiares.

Ao professor Excelso pela confiança dedicada ao longo desses dez anos de ensinamentos e amizade. Aos professores Gaston Enrich, Rogério Azzone e Adriana Alves pelas inúmeras assistências, discussões e sugestões. Aos professores Valdecir Janasi, Sílvio Vlach, Renato Moraes, Mario Campos, Celso Gomes, Lucelene Martins, Marly Babinski, Patrício Muñoz, Fábio Ramos, Gergely Szobó, Horstpeter Ulbrich, Paulo Boggiani, Paulo Giannini, Oswaldo Siga Jr. e André Negrão que colaboram e me ensinam das mais diversas formas durante minha vida acadêmica.

Thanks Michael Marks for the confidence, reception, guidance and discussions during (and after) my internship in Tübingen. Thanks to Gregor Markl and Thomas Wenzel for their great help in my research; to Benjamin Walter, Maximilian Keim, Stefan Kreißl, Mathias Burisch and specially Rainer Babel for the friendship, lunches and coffees during those cold months; and to Ralf Marquart and Rese Apfel for welcome me into their home (and save me from being frozen).

Aos amigos Tiago Rosa, Iago Dias, Caroline Faria, Wesley Silva e Victor Prates que estiveram ao meu lado em momentos bons e ruins e me ajudaram a me tornar pessoa melhor. Aos amigos cambuienses, especialmente Leandro Bueno, Daniel Lima, Leonardo Rosa, os irmãos do RPG e o pessoal do Nós Travamos, que ao longo desses muitos anos fizeram parte da minha vida. Aos muitos amigos que a geologia e São Paulo me trouxeram, especialmente Vinicius Mendes, Mariane Vivan, Claudio Salazar, Alice Westin, Tabata Hoeger, Emanuel Amorer, Tatiana Guedes, Astrid Velandia, Paulo Fanucci, os brothers do Geodo, os companheiros de pós-graduação e graduação e a galera do Merça, que me ajudaram muito com conversas, conselhos, risadas, cafés e cervejas nessa vida acadêmica e/ou cotidiana.

À Bruna Miraya, Caio Santos (2x!), Claudio Mora, Emanuel Amorer, Geovane Moreira, Igor Barboza, Julio Cauhy, Lucaz Inglez, Ludmila Teixeira, Maria Paula Ramos, Matheus Caseri, Pedro Angelini, Rafael Capelle, Rafaela Gengo e Saulo Vieira pela inestimável ajuda nos trabalhos de campo.

Aos funcionários do Instituto de Geociências, especialmente Katherine Kutsumbos, Marcos Mansueto, Leandro Moraes, Vasco Loios, Vinícius Martins, Sandra Andrade, Arthur Onoe, Giselle Enrich, Kei Sato e Samuca que me auxiliaram muito o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Parque Nacional de Itatiaia pelo apoio logístico, permissões e informações, especialmente Gustavo Tomzhinski, Léo Nascimento, Leonardo Cândido e os funcionários do Posto do Marcão. Parabéns ao Parque pelo seus 80 anos de criação.

À FAPESP (Processos 2012/19184-1, 2012/06082-6 e 2015/19974-0) pelo apoio financeiro que viabilizou este trabalho e minha sobrevivência durante esse período.

E a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente nessa caminhada.

*Mundo mundo vasto mundo,
se eu me chamasse Raimundo
seria uma rima, não seria uma solução
(Poema de Sete Faces, Drummond)*

www.umsabadoqualquer.com

RESUMO

O Maciço Alcalino de Itatiaia (MAI) representa uma das maiores ocorrências alcalinas meso-cenozóicas do Brasil, com aproximadamente 215 km², situado entre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Ocorre como um corpo alongado com 30 km de comprimento por 4,5 a 11,5 km de largura, orientado segundo SE-NW, e alojado ao longo de zonas de acomodação do Rifte Continental do Sudeste Brasileiro, em metapelitos, ortognaisses e granitos dos cinturões dobrados Ribeira e Brasília.

Novos dados de mapeamento geológico sugerem que o maciço evoluiu segundo um centro magmático, que migrou de sudeste para noroeste, gerando um complexo anelar com sucessivas intrusões em forma de meia lua, com idades variando de 71,3 a 67,5 Ma (U-Pb em zircão). O MAI pode ser estruturalmente dividido em três setores: Sudeste (S-SE), Central (S-C) e Noroeste (S-NW). Esses setores possuem características litológicas e geomorfológicas distintas, sugerindo diferentes origens e/ou estágios de evolução.

O S-SE consiste de nefelina sienitos miaskíticos a agpaíticos onde ocorrem diques de fonolito afíricos, porfiríticos (alguns com pseudoleucita) ou brechóides, além de nefelinitos. A fácies mais insaturada encontra-se na borda em contato com as encaixantes regionais, sendo localmente peraluminosa, com a presença de coríndon modal e hercinita.

O S-C é representado por nefelina sienitos miaskíticos a agpaíticos, pulaskitos, nordmarkitos, quartzo álcali feldspato sienitos, um pequeno corpo granítico (alaskito) e traquitos porfiríticos a brechóides. Diques sin-plutônicos de traquitos sustentam o anel externo e diques de traquito e riolito ocorrem em diversos lugares pela área.

O S-NW apresenta nefelina sienitos e nordmarkitos, e localmente melagabro cumulático e biotita monzonito. Em sua parte central ocorre traquitos porfiríticos a brechóide e traquibasalto porfirítico.

As variedades litológicas nos três setores apresentam-se como possíveis intrusões distintas, cada uma com diferentes características petrográficas, assim podendo ser divididas em cinco grupos: 1) nefelina sienitos sem plagioclásio, caracterizados por uma forte insaturação em sílica e uma tendência de evolução tardi-magmática agpaítica (comumente com lãvenita, hiortdahlita, rinkite, dentre outros minerais); 2) nefelina sienitos/pulaskitos com plagioclásio, que mostram-se menos insaturados em sílica e mais máficos, com diopsídio largamente substituído por magnésio-hastingsita e presença de plagioclásio (normalmente com textura anti-rapakivi); 3) série nordmarkito-granito, onde álcali feldspato quartzo sienitos e granito mostram uma variação progressiva nos teores de quartzo, índice de cor e granulação, enquanto os nordmarkitos não mostram uma clara ralação evolutiva; 4) associação anti-rapakivi, caracterizado pela textura porfirítica a glomeroporfirítica anti-rapakivi nas rochas e presença ocasional de enclaves microgranulares máficos arredondados; a 5)

rochas básicas representadas pela ocorrência de um melagabro metassomatizado e um traquibasalto não mostrando relações geológicas claras com os sienitos.

Essas rochas foram originadas através da evolução de dois magmas parentais mantélicos distintos, por diferenciação fracionada e com alguma participação de processos de contaminação crustal: I) ankaratrito/basanito, que deram origem aos nefelinitos por fracionamento de diopsídio e aos nefelina sienitos do S-SE por fracionamento de diopsídio, apatita e $\pm$ anfibólio; II) basanito/álcali basalto que geraram os traquibasaltos por fracionamento de diopsídio e os sienitos dos S-C e S-NW por fracionamento de plagioclásio, diopsídio e apatita, que por sua vez a) evoluíram para nefelina sienitos e b) para sienitos com quartzo, ultrapassando a barreira termal por processos assimilação crustal.

ABSTRACT

The Itatiaia alkaline massif (IAM) comprises some of the largest Meso-Cenozoic alkaline igneous occurrences in Brazil, covering over 215 km² between Minas Gerais and Rio de Janeiro states. It appears as an elongated, 30 km long and 4.5 -11.5 km wide SE-NW-trending body emplaced along accommodation zones of the Continental Rift of Southern Brazil, intruding metapelites, orthogneiss and granites of the Brasília and Ribeira fold belts. New data and geological mapping suggest that the massif evolved from a migratory magmatic center that manifested as ring structures and successive moon-shaped intrusions from SE to NW in three sectors: Southeastern (SE-S), Central (C-S) and Northwestern (NW-S). The distinct lithological and geomorphological characteristics of these sectors could be related to different origin and/or evolution stages.

SE-S consists of miaskitic to agpaitic nepheline syenites with dykes of aphiric, porphyritic (some with pseudoleucite) and breccoid phonolites and nephelinites. Its most silica-undersaturated units are in contact with the basement, being locally peraluminous with modal hercynite and corundum.

C-S is represented by miaskitic to agpaitic nepheline syenites, pulaskites, nordmarkites, quartz alkali feldspar syenites, a small alaskite body and porphyritic to breccoid trachytes. Sin-plutonic trachytes sustain the external ring and dykes of trachyte and rhyolite occur throughout this sector.

NW-S presents nepheline syenites and nordmarkites and locally cumulate melagabbro and biotite monzonite. In its central parts, porphyritic to breccoid trachytes and a trachybasalt body occur.

The lithological variants in the three sectors present themselves as discrete intrusive bodies, each one characterized by distinct petrographical features that correspond to five distinct petrographic sets: 1) plagioclase-free nepheline syenites, characterized by strong silica-undersaturation and late agpaitic tendency (commonly with lăvenite, hiortdahlite and/or rinkite); 2) plagioclase-bearing nepheline syenite and pulaskite showing weak silica-undersaturation and increased mafic content, with widespread diopside replaced with magnesio-hastingsite and presence of plagioclase (usually with anti-rapakivi texture); 3) a nordmarkite-granite series in which alkali feldspar quartz syenite and granite show progressive variation in quartz content, color index and granulation, whereas nordmarkites do not show a clear common evolution; 4) a quartz syenite association characterized by anti-rapakivi porphyritic to glomeroporphyritic texture and occasional presence of rounded mafic enclaves; and 5) basic rocks represented by metasomatized melagabbro and trachybasalt, with an unclear geological relation to the syenites.

These rocks originated through the evolution of two distinct mantle parental magmas, which had some involvement of crustal contamination processes: I) ankaramite/basanite, which generated the nephelinites of SE-S by fractional crystallization of diopside and the nepheline syenites by fractionation of diopside, apatite and amphibole; II) basanite/alkali basalt, which generated the trachybasalt by fractionation of diopside and the syenites of C-S and NW-S by fractionation of

plagioclase, diopside, and apatite, which evolved to a) nepheline-bearing syenites and b) quartz-bearing syenites, crossing the thermal barrier through crustal assimilation processes.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Magmatismo alcalino	1
1.1.1 Origens das rochas alcalinas.....	1
1.1.2 Associação de rochas insaturadas e supersaturadas em sílica	3
1.1.3 A influência da fugacidade de O ₂ na paragênese mineral	4
1.2 Justificativas e objetivos.....	6
1.3 Estrutura da tese	7
1.4 Área de estudo	8
1.4.1 Localização e acesso	8
1.4.2 Aspectos fisiográficos.....	8
1.4.3 Aspectos históricos.....	11
1.4.4 Trabalhos prévios	12
2. MATERIAIS E MÉTODOS	15
2.1 Trabalhos de campo	15
2.2 Cartografia e sensoriamento remoto.....	17
2.3 Petrografia.....	18
2.4 Química mineral	19
2.4.1 Determinação dos parâmetros intensivos	21
2.5 Geoquímica elemental	23
2.5.1 Preparação das amostras	23
2.5.2 Análises laboratoriais	24
2.5.3 Tratamento dos dados e classificação.....	27
2.6 Geoquímica isotópica.....	27
2.6.1 Método Sr/Sr.....	28
2.6.2 Método Nd/Nd.....	28
2.6.3 Método Pb/Pb.....	29
2.7 Geocronologia	29
3. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL E MAGMÁTICO	31
3.1 Embasamento pré-cambriano.....	31
3.2 Tectônica meso-cenozóica e o Rifte Continental do Sudeste do Brasil	33
3.3 O magmatismo alcalino meso-cenozóico	34
3.3.1 O Lineamento Magmático de Cabo Frio	37
4. GEOLOGIA E PETROGRAFIA.....	41
4.1 Resumo.....	41
5. RESULTADOS ANALÍTICOS	43

5.1	Química mineral	43
5.1.1	Feldspato	43
5.1.2	Nefelina	44
5.1.3	Clinopiroxênio.....	45
5.1.4	Anfibólio	47
5.1.5	Titanita.....	47
5.1.6	Biotita	47
5.1.7	Ilmenita e espinélios.....	49
5.1.8	Minerais acessórios	49
5.2	Geoquímica elemental	50
5.2.1	Elementos maiores e traços	50
5.2.2	Norma CIPW	52
5.2.3	Elementos terras-raras	56
5.3	Geoquímica isotópica (Sr-Nd-Pb)	57
5.4	Geocronologia (U-Pb)	59
6.	EVOLUÇÃO DO MACIÇO ALCALINO DE ITATIAIA	65
6.1	Evolução geológica	65
6.2	Aspectos petrogenéticos	68
6.2.1	O manto litosférico na região sudeste do Brasil.....	68
6.2.2	Processos AFC-mixing.....	70
6.3	Evolução petrológica	74
6.3.1	Parâmetros intensivos	78
6.4	Grupos petrológicos	78
6.4.1	Rochas sieníticas com nefelina.....	80
6.4.2	Rochas sieníticas com quartzo.....	83
6.4.3	Rochas básicas	86
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
	ANEXO A	99
	ANEXO B – Tabela de coordenadas e mapa dos afloramentos estudados	
	ANEXO C – Tabelas de análise modal de amostras representativas das principais unidades	
	ANEXO D – Mapa geológico do Maciço Alcalino de Itatiaia	
	ANEXO E – Tabelas com os resultados das análises de química mineral	
	ANEXO F – Tabelas com os resultados das análises de geoquímica elemental	
	ANEXO G – Tabelas com os resultados das análises de geoquímica isotópica (Nd-Sr-Pb)	
	ANEXO H – Tabelas com os resultados das análises de geocronologia U-P	

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1 – Localização e acessos à área de estudo. Limites: cinza, polígono de representação do mapa geológico; verde, área do MAI; rosa, área do PNI. Base: maps.google.com.br. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 1.2 – Em ambas figuras estão representados o contorno externo do MAI. A) Mapa topográfico da área do MAI elaborado com base em modelo digital de terreno ASTER GDEM (ASTER GDEM é um produto de METI e NASA). As cores representam as altitudes, em variação de 400 m com escala gradativa no intervalo, e em escala de cinza sobreposta é representada a declividade das encostas, branco 0° a preto ≥ 45°. B) Imagem de satélite da área do MAI (Google Earth, 2015). É possível identificar as áreas urbanizadas e agriculturáveis nas regiões sudeste e noroeste, as florestas em verde escuro, e os campos de altitude na região central.10
- Figura 1.3 – Paisagens representativas do MAI. A) Florestas da região sudeste do maciço, onde ocorrem predominantemente nefelina sienitos. Vista a partir do Mirante do Último Adeus. No centro está o Rio Campo Belo. B) Campos de altitude da região do planalto central do maciço, onde domina sienitos com quartzo. Vista a partir da trilha Rebouças – Rancho Caído próximo à Pedra do Altar. (a) Morro do Couto; (b) Morro da Antena.14
- Figura 1.4 – Mapa geológico do Maciço Alcalino de Itatiaia segundo Ribeiro Filho & Penalva (1965). Legenda: amarelo claro, depósito de talude (com textura de círculos) e sedimentos clásticos; abóbora, granito alcalino; amarelo escuro, quartzo sienito; roxo, brecha magmática; verde, nefelina sienito, foiaitos; rosa, gnaiss. Escala original 1:50.000.14
- Figura 2.1 – Diagramas confrontando resultados de análises de elementos traços obtidas em dois laboratórios: AcmeLabs (abscissa, X) vs. UNICAMP (ordenada, Y). Algumas escalas são logarítmicas. A linha tracejada representa a proporção 1:1 ideal. A linha vermelha nos elementos Zr e Hf representa o *trend* de discrepância nas rochas supersaturadas em sílica e ricas em zircão.25
- Figura 3.1 – Mapa geológico da porção sul do Orógeno Brasília (Campos Neto *et al.* 2010). A localização do MAI está marcada pelo retângulo preto.32
- Figura 3.2 – Mapa de distribuição dos quatro riftes do sistema RCSB: (A) Paraíba do Sul, (B) Litorâneo, (C) Ribeira, e (D) Marítimo; de suas falhas limitantes, preenchimentos sedimentares, intrusões/lavas alcalinas, charneira cretácea das bacias de Santos/Campos e o Rio Paraíba do Sul. (Zalán & Oliveira, 2005).35
- Figura 3.3 – Províncias alcalinas da região centro-sul da Plataforma Sul-Americana e suas relações com as maiores feições estruturais: 1) Bacia do Paraná, Ordoviciano Inferior a Cretáceo Superior; 2) derrames da Formação Serra Geral, Cretáceo Superior; 3) Bacia de Bauru, Cretáceo Superior; 4) limites das bacias marginais; 5) províncias alcalinas; 6) idade das ocorrências alcalinas (losangos, Permo-Triássico; quadrados, Cretáceo Inferior; triângulos, Cretáceo Superior; círculos, Paleógeno); 7) arcos (AX, Alto Xingu; SV, São Vicente; BJ, Bom Jardim de Goiás; PG, Ponta Grossa; RG, Rio Grande; PP, Ponta Porã); 8) Sinclinal de Torres; 9) maiores zonas de fraturas (*Rifts*: MR, Mercedes; RM, Rio das Mortes; MG, Moirão; SR, Santa Rosa; AR, Assunção. Lineamentos: TB, Transbrasiliano; AP, Alto Paranaíba; MJ, Moji-Guaçu; CF, Cabo Frio; RT, Rio Tietê; SL, São Carlos-Leme; PR, Paranapanema; PI, Piedade; GP, Guapiara; JC, São Jerônimo-Curiúva; RA, Rio Alonzo; PQ, Rio Pequiri; AM, Santa Lúcia-Aiguá-Merín). Modificado de Riccomini *et al.* (2005).36
- Figura 3.4 – Mapa com a distribuição das ocorrências da Província Alcalina da Serra do Mar (conforme Almeida, 1983, 1991; Schobbenhaus *et al.*, 1984; modificado), o *Rift* Continental do Sudeste do Brasileiro (RCSB; Riccomini, 1990), as principais unidades tectônicas do embasamento e os granitos sin, tardi e pós colisionais. Ocorrências alcalinas: associadas ao sistema de riftes continental (RCSB) – 1) Poços de Caldas, 2) Bom Repouso, 3) Caxambú, 4) Passa Quatro, 5) Itatiaia, 6) Morro Redondo, 7) Serra dos Tomazes, 8) Tinguá, 9) Mendanha-Mapicuru, 10) Itaúna, 11) Tanguá, 12) Soarinho, 13) Rio Bonito, 14) Morro de São João, 15) Cabo Frio; ao longo da costa paralelas à falha de Santos - 16) Ponte Nova; 17) Monte de Trigo, 18) São Sebastião, 19) Serraria, 20) Mirante, 21) Búzios, 22) Vitória; ocorrência a sul da PASM – 23) Ipanema. Rifts: grábens do Paraíba do Sul: SP- São Paulo, Tb- Taubaté, Qz- Queluz, RVR- Resende-Volta Redonda, BPS- Baixo Paraíba do Sul; grábens do Litorâneo: SB- Sete Barras, RI- Ribeira de Iguape, St- Santos, Ub- Ubatuba, Gb- Guanabara, BSJ- Barra do São João. Domínios e terrenos Brasileiros: SGN- Nappe Socorro-Guaxupé, SBB- Cinturão Brasília Sul, SRD- Domínio São Roque, APD- Domínio Apiaí, ET- Terreno Embú, OcT- Terreno Ocidental, OrT- Terreno Oriental, CFT- Terreno Cabo Frio. Compilado de: base cartográfica (Leite *et al.*, 2004), tectônica cenozoica (Zalán & Oliveira, 2005), províncias alcalinas (Almeida, 1983, 1991) e demais referências no texto do item 2.2.39
- Figura 5.1 – Diagrama dos componentes moleculares Ab – An – Or, em proporção molecular, para feldspatos dos diferentes setores do MAI. As linhas pontilhadas representam os limites de solução sólida de feldspatos ternários para as temperaturas na pressão de 1 kbar, segundo modelo termodinâmico de Elkins & Grove (1990).45
- Figura 5.2 – Diagrama dos componentes moleculares Ne – Qz – Ks, em proporção molecular, para nefelinas dos diferentes setores do MAI. Temperaturas de equilíbrio segundo Hamilton (1961). Legenda idem Figura 5.1.45
- Figura 5.3 – Diagramas Mg – Na – (Fe²⁺ + Mn), em a.p.f.u., e Al_{IV} vs. Ti, em a.p.f.u., para clinopiroxênios dos diferentes setores do MAI. Legenda idem Figura 5.1.46

Figura 5.4 – Diagrama Si vs. Ca _B , em a.p.f.u., para anfibólitos dos diferentes setores do MAI. Os pontos cinza representam os membros finais hastingsita (Hst), ferro-edenita (Fed), katoforita (Ktp), ferro-richterita (Frct) e arfvedsonita (Arf). Legenda idem Figura 5.1.	48
Figura 5.5 – Diagramas Ca vs. REE (La + Ce + Nd + Y) e Ti vs. Fe ³⁺ , em a.p.f.u., para titanitas dos diferentes setores do MAI. A linha diagonal representa a proporção catiônica 1:1. Legenda idem Figura 5.1.	48
Figura 5.6 – Diagrama Mg – Al – Fe _T , em a.p.f.u., com membros finais eastonita, siderofilita, flogopita e annita (Deer <i>et al.</i> , 1992) para biotitas dos diferentes setores do MAI. Legenda idem Figura 5.1.	49
Figura 5.7 – Diagrama SiO ₂ (% em peso) vs. mg# (mol %), para os litotipos dos distintos setores do MAI. No destaque, a localização das amostras analisadas no mapa geológico simplificado.	50
Figura 5.8 – Diagrama TAS (total álcalis vs. SiO ₂ , em % de peso; Le Maitre, 2002) para as rochas dos diferentes setores do MAI. Os campos numerados são: 1- traquibasalto, 2-foidito, 3- traquiandesito, 4- fonolito, 5- traquito (Q < 20%) e 6- riolito. Legenda idem Figura 5.7.	51
Figura 5.9 – Diagrama A/CNK vs. A/NK (Shand, 1943) para as rochas dos diferentes setores do MAI. Legenda idem Figura 5.7.	51
Figura 5.10 – Diagrama Na ₂ O vs. K ₂ O (Middlemost, 1975) para as rochas dos diferentes setores do MAI. Legenda idem Figura 5.7.	51
Figura 5.11 – Diagramas de Harker de elementos maiores (% em peso), para rochas do MAI. Legenda idem Figura 5.7.	53
Figura 5.12 – Diagramas de Harker de elementos traço (em ppm) para as rochas do MAI. Legenda idem Figura 5.7. <i>Continua.</i>	54
Figura 5.13 – Diagrama tipo <i>spider</i> para os elementos incompatíveis de rochas dos diferentes setores do MAI. Elementos normalizados pelo manto primitivo de McDonough & Sun (1995). Legenda segue as mesmas cores da Figura 5.7; pontilhado destaca os diques e tracejado o traquibasalto (MAI226).	56
Figura 5.14 – Diagrama tipo <i>spider</i> para os elementos terras raras de rochas dos diferentes setores do MAI. Elementos normalizados pelo condrito de McDonough & Sun (1995). Legenda segue as mesmas cores da Figura 5.7; pontilhado destaca os diques e tracejado o traquibasalto (MAI226).	56
Figura 5.15 – Diagrama Idade (Ma) vs. εNd _(t) , para rochas do MAI. Idade modelo T _{DM} de acordo com Liew & Hofmann (1988). Legendas idem Figura 5.7 e 5.13.	58
Figura 5.16 – Diagrama de barras com as idades ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U (Pb comum corrigido por ²⁰⁴ Pb medido) de zircão para cada análise U-Pb, determinada via SHRIMP, das amostras do Maciço Alcalino de Itatiaia. As barras de erro são de 1σ para cada análise. As barras cinza escuro representam as idades médias dos cristais de zircão de cada amostra e as áreas cinza claro seus respectivos erros com 95% de confiança.	59
Figura 5.17 – Imagens de catodoluminescência dos cristais de zircão analisados via SHRIMP, de rochas do MAI. Em cada cristal está marcado o <i>spot</i> analisado e sua respectiva idade. As idades em vermelho foram descartadas. Os erros variam de ±0,8 a ±1,9 por análise.	60
Figura 5.18 – Imagens de luz transmitida dos cristais de zircão analisados via SHRIMP, de rochas do MAI. Em cada cristal está marcado sua respectiva idade. As idades em vermelho foram descartadas. Os erros variam de ±0,8 a ±1,9 por análise.	61
Figura 5.19 – Diagramas concórdia ²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U vs. ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U de Wetherill (1956) para análises de zircão via SHRIMP, de rochas do MAI.	62
Figura 6.1 – Mapa geológico simplificado do MAI mostrando as localizações das amostras analisadas, associado ao diagrama das unidades (em ordem de colocação) vs. idade (U-Pb em Ma). Legenda idem Figura 5.7.	66
Figura 6.2 – Diagrama ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd _(t) vs. ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr _(t) para as rochas do MAI (símbolos idem Figura 5.7), com os campos de variação das Ilhas de Trindade e Martín Vaz (Marques <i>et al.</i> , 1999; Siebel <i>et al.</i> , 2000; Bongiolo <i>et al.</i> , 2015), da Província Serra do Mar e LMCF (Brotzu <i>et al.</i> , 1989, 2007; Garda <i>et al.</i> , 1995; Thompson <i>et al.</i> , 1998; Bennio <i>et al.</i> , 2002, 2003; Ulbrich <i>et al.</i> , 2002; Enrich <i>et al.</i> , 2005; Azzone <i>et al.</i> , 2016), porção nordeste da Província Magmática Paraná-Etendeka (Rocha-Júnior <i>et al.</i> , 2013), Província Ígnea do Alto Paranaíba (Gibson <i>et al.</i> , 1995; Araujo <i>et al.</i> , 2001; Guarino <i>et al.</i> , 2013) e dos diques toleíticos pré-Atlântico da região de Resende-Ilha Grande (Guedes <i>et al.</i> , 2016). No diagrama suplementar soma-se os campos dos granitoides sin- e pós-orogênicos (Tupinambá <i>et al.</i> , 2012; Carvalho <i>et al.</i> , 2014; Janasi <i>et al.</i> , 2015; Alves <i>et al.</i> , 2016; Martins <i>et al.</i> , 2016; Valeriano <i>et al.</i> , 2016). Razões calculadas para idades iniciais de cada análise (intervalo de variação indicada na figura).	69
Figura 6.3 – Histograma com a distribuição de frequência das idades do magmatismo alcalino e das idades modelo T _{DM} (em milhões de anos) da Província Serra do Mar, LMCF, porção nordeste da Província Magmática Paraná-Etendeka, Província Ígnea do Alto Paranaíba e dos diques toleíticos pré-Atlântico da região de Resende-Ilha Grande. Referências conforme a Figura 6.2.	70

- Figura 6.4 – Diagramas $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ vs. $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ e $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ vs. $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ para rochas do MAI e encaixantes regionais adjacentes. Triângulo, milonito (MAI027); círculo, leucogranito (MAI194C); e quadrado, biotita xisto (MAI168). Curvas de evolução isotópica do Pb (versão IV) para modelo de reservatórios juntos com campos contendo a composição moderna provável. Os incrementos nas curvas indicam intervalos de 100 Ma (Zartman & Haines, 1988). Legenda idem Figura 5.7. 70
- Figura 6.5 – Diagramas $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}$ vs. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$ para as rochas do MAI e diques próximos. As curvas representam a tendência de *mixing* (com incrementos de 10%) a partir de amostras iniciais primitivas com as encaixantes adjacentes, milonito (triângulo, MAI027), leucogranito (círculo, MAI194C); e biotita xisto (quadrado, MAI168). Os símbolos asterisco cinza são tephitos e basanitos de Thompson *et al.* (1998). Legenda idem Figura 5.7.73
- Figura 6.6 – Diagramas SiO_2 (em % de peso) vs. razões isotópicas iniciais e idades modelo T_{DM} . A Linha verde representa a tendência para o S-SE e a rosa para os S-C e S-NW. Legenda idem Figura 5.7.73
- Figura 6.7 – Diagramas mostrando as tendências de variações petrológicas em relação à ordem de intrusão de SE para NW (interpretada a partir de informações geológicas) das unidades do MAI. Legenda idem Figura 5.7.74
- Figura 6.8 – Diagrama R1-R2 (De La Roche *et al.*, 1980) representando as tendências evolutivas das unidades do MAI, as linhas cheias representam as séries das unidades e as tracejadas as possíveis trajetórias evolutivas dos *gaps* composicionais. As cores representam: verde, unidades do setor S-SE; vermelho, unidades dos setores S-C e S-NW; preto, possíveis injeções máficas nas unidades sieníticas; azul, possíveis processos de assimilação a partir da composição das encaixantes locais. Os asteriscos representam as possíveis composições dos líquidos parentais. Os círculos cinza representam as composições ideais dos minerais e as linhas pontilhadas a direção oposta ao fracionamento dos respectivos minerais. No diagrama (em mesma numérica) estão as distribuições das amostras do MAI (legenda idem Figura 5.7) e dos diques próximos (asteriscos cinza, Thompson *et al.*, 1998).75
- Figura 6.9 – Relações petrogenéticas entre as unidades magmáticas do MAI. Os símbolos representam os principais processos petrológicos envolvidos.76
- Figura 6.10 – Diagrama de equilíbrio $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{SiO}_2 - \text{KAlSi}_3\text{O}_8$ (Hamilton & MacKenzie, 1965) para as rochas dos diferentes setores do MAI. Legenda idem Figura 5.7.76
- Figura 6.11 – Diagramas de variação das razões Nb/Ta e Zr/Hf para as rochas do MAI. As linhas horizontais representam a razão condritica de McDonough & Sun (1995). Elementos em ppm e SiO_2 em % de peso. Legenda idem Figura 5.7.77
- Figura 6.12 – Diagramas de variação da anomalia de Eu (Eu/Eu^*) vs. SiO_2 (em % de peso), índice A/NK, e Sr (em ppm) para as rochas do MAI. Legenda idem Figura 5.7.77
- Figura 6.13 – Diagramas de equilíbrio entre as fases minerais das rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia calculados para 1 kbar e 900°C para as atividades dos componentes minerais. A) Diagrama αSiO_2 vs. temperatura mostrando o equilíbrio nefelina – jadeíta (em clinopiroxênio) – albíta (em feldspato alcalino). Os equilíbrios tracejados são considerados sub *solidus* (< 700°C), sendo o de maior temperatura registrado na amostra MAI199, com αSiO_2 de ~0,55. B) Diagrama αSiO_2 vs. $\log f\text{O}_2$ mostrando os equilíbrios magnetita – titanita – ilmenita – hedenbergita (em clinopiroxênio) e andradita – magnetita – hedenbergita (em clinopiroxênio). Em cinza o campo de variação da αSiO_2 e $f\text{O}_2$ do MAI. HM, *buffer* hematita-magnetita; FMQ, *buffer* fayalita-magnetita-quartzo. C) Diagrama αSiO_2 vs. temperatura mostrando o equilíbrio Ca-tschermak (em clinopiroxênio) – anortita (em plagioclásio). Em cinza a área de estabilidade desse equilíbrio, mostrando-se abaixo da αSiO_2 mínima do maciço.79
- Figura 6.14 – Mapa geológico simplificado com os grupos petrológicos do MAI e o diagrama mg# vs. Q – foid (em % normativa) com os campos de variação das rochas do MAI.79
- Figura 6.15 – Diagrama $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ vs. $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+}+\text{Fe}^{2+})$, em a.p.f.u, para clinopiroxênios e anfibólios das rochas insaturadas em sílica do MAI. Círculos, clinopiroxênio; triângulos, anfibólio. Em vermelho a sequência diopsídio → magnésio-hastingsita, onde o aumento do teor de Fe^{3+} é consequência do aumento progressivo de $f\text{O}_2$ e menor dependência da disponibilidade de Na. Em azul a sequência diopsídio → aegirina-augita → aegirina/arfvedsonita, onde a disponibilidade maior de Na induz à entrada de Fe^{3+} por substituição acoplada, e aumenta o consumo de O_2 , diminuindo progressivamente a $f\text{O}_2$ do líquido.83
- Figura 6.16 – Diagramas de elementos maiores (em % de óxido) vs. mg# e razões (elementos maiores em % de óxido e traços em ppm) para a série nordmarkito-granito (campo em rosa) e associação quartzo sienito anti-rapakivi (em cinza) com as linhas de *mixing* entre as amostras MAI182C e MAI110. Legenda idem Figura 5.7.86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Pontos culminantes do Maciço Alcalino de Itatiaia e suas posições em relação aos 35 pontos mais altos do Brasil (IBGE, 2012b). * Marcos geográficos não incluídos no anuário do IBGE, medidas não oficiais realizadas com aparelho GPS.	9
Tabela 2.1 – Etapas de trabalho de campo.....	15
Tabela 2.2 – Configuração dos espectrômetros da microsonda eletrônica para análise química dos minerais. L, linha; CH, canal; P, tempo de contagem no pico; Bg, tempo de contagem para medida do background. * Fe medido como Fe_2O_3	20
Tabela 2.3 – Configuração dos espectrômetros da microsonda eletrônica para análise química dos minerais com vistas à determinação dos parâmetros intensivos.	22
Tabela 2.4 – Limites de detecção (óxidos, em % de peso; elementos traço, em ppm) para as análises de geoquímica elemental realizadas em diferentes laboratórios. A- AcmeLabs, óxidos via FRX, traço via ICP-AES/ICP-MS; B- UNICAMP, traço via ICP-MS; C- Geoanalítica-USP, óxidos via FRX, traço via ICP-MS. (*) elementos analisados via FRX.....	26
Tabela 2.5 – Fórmulas para cálculo dos índices petrológicos utilizados.....	27
Tabela 6.1 – Classificação dos grupos petrológicos dos litotipos plagioclásio- <i>free</i> (Pl- <i>free</i>) e plagioclásio- <i>bearing</i> (Pl- <i>bearing</i>) das unidades nefelina sieníticas e pulaskíticas do MAI. Não foram consideradas as rochas peraluminosas do NeS-I e do apêndice noroeste da unidade BtHbIP.	80

INTRODUÇÃO

O Maciço Alcalino de Itatiaia (MAI) é uma das maiores ocorrências alcalinas meso-cenozóica do Brasil, com aproximadamente 215 km². Possui uma forma alongada NW-SE (30 por 4,5 a 11,5 km) com uma estrutura anelar na região central. O trabalho de mapeamento geológico realizado revelou uma complexidade geológica e litológica muito maior do que descrito até então nos poucos trabalhos anteriores. Foram identificadas 21 unidades petrográficas (além de variações faciológicas internas) de sienitos insaturados a supersaturados em sílica, traquitos, granito, monzonito, gabro, traquibasalto, além de diques de nefelinitos, fonolitos, traquitos e riolitos. Quase todas as unidades mostram um formato em meia-lua que migraram sucessivamente para NW, com idades mais jovens em diferentes pulsos magmáticos. As feições estruturais, as associações dos litotipos e as características geoquímicas sugerem a existência de três setores (SE, Central e NW) com diferentes características, que poderiam representar três diferentes origens e/ou processos evolutivos. Os processos geológicos, petrológicos e petrogenéticos envolvidos na geração da diversidade de rochas encontradas, bem como a associação pouco comum de rochas insaturadas e supersaturadas em sílica, são o alvo de estudo da presente tese.

1.1 Magmatismo alcalino

As atividades magmáticas alcalinas no planeta Terra ocorrem desde o pré-Cambriano até o presente e estão associadas a todos os ambientes tectônicos, principalmente intraplacas oceânicas (i.e. ilhas oceânicas) e continentais (predominantemente ao longo lineamentos tectônicos; i.e. zonas de *rifts*, *arqueamentos tectônicos etc.*), em zonas de subducção, tanto em margens continentais, quanto oceânicas, e mais raramente ao longo das dorsais oceânicas.

1.1.1 Origens das rochas alcalinas

As rochas ígneas alcalinas caracterizam-se pela presença de feldspatóides e/ou piroxênios e anfibólios alcalinos, incluindo assim rochas insaturadas a saturadas (Sørensen, 1974). 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. Também são caracterizadas pelos elevados

teores de elementos incompatíveis e voláteis, como P, F, Cl, Zr, Ti, Nb, Ta e ETRs, o que pode gerar uma grande variedade mineralógica, tanto primária, quanto pós-magmática.

Elementos traço e características isotópicas de basaltos alcalinos de ilhas oceânicas e de continentes sugerem a presença de componentes enriquecidos em sua fonte no manto. Além disso, a ocorrência de flogopita e kaersutita em alguns xenólitos ultramáficos também mostram que esses componentes sofreram processos de hidratação. Os magmas gerados também possuem elevadas razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ devido ao decaimento do ^{87}Rb , e/ou assimilação de ^{87}Sr pelos fluídos que causaram o enriquecimento em álcalis. Esse enriquecimento em ^{87}Sr também poderia ser atribuído à assimilação de rochas graníticas da crosta continental por magmas que se originaram no manto litosférico ou em plumas. Entretanto, essas rochas tipicamente apresentam elevados teores de Sr, o que deixaria suas razões isotópicas pouco susceptíveis às influências de Sr radiogênico incorporado das rochas encaixantes (Faure, 2001).

Vários autores (e.g. Hofmann, 1997; Faure, 2001 e referências) assumem que esses componentes foram enriquecidos por fluídos liberados de crostas oceânicas subductadas (com ou sem sedimentos) ou por plumas que ascenderam através do manto astenosférico. Em ambos casos, a melhor fonte de álcalis seria a água do mar que foi subductada, enquanto que a formação de magmas ricos em álcalis seria consequência da dinâmica de plumas mantélicas. A ocorrência de rochas alcalinas ao longo de rifts também estaria intimamente ligado à tectônica extensional associada com plumas.

Pilet *et al.* (2008) apresentam uma hipótese alternativa para o modelo de características geoquímicas controladas apenas por grandes processos tectônicos, e mostram que o componente enriquecido em basaltos alcalinos pode não ser necessariamente resultado de uma crosta oceânica reciclada. Eles sugerem que os componentes reciclados das fontes das ilhas caracterizadas por magmas toleíticos (e.g. Hawaii e Islândia) são diferentes daqueles das fontes das ilhas onde as composições com nefelina normativa são dominantes (e.g. Polinésia e ilhas do Atlântico). Também sugerem que magmas alcalinos são produzidos por uma alta taxa de fusão parcial de componentes mantélicos volumetricamente menores, ao invés de um baixo grau de fusão de um componente peridotítico dominante, como geralmente aceito. Se assim for, essas rochas alcalinas não trazem tanta informação sobre os componentes mantélicos predominantes. Também mostram que as mudanças nas razões isotópicas observadas em lavas alcalinas de uma mesma ilha oceânica, não necessariamente implicam em uma interação entre diferentes reservatórios. Em vez disso, elas poderiam refletir, em parte, o tempo integrado da história de uma suíte de veios com variáveis razões de elementos traço (e.g., Nb/Th, Ba/Nb e Ce/Pb; incluindo razões que controlam a evolução de sistemas isotópicos críticos, como U/Pb, Rb/Sr e Sm/Nd), resultados da cristalização fracionada dos agentes matassomáticos que percolaram a litosfera.

Esses autores ainda discutem que apesar de líquidos básicos a ultrabásicos com nefelina normativa poderem ser produzidos por um baixo grau de fusão parcial de granada lherzolitos, nenhum experimento de fusão em alta pressão com peridotito anidro obteve líquidos de composições possíveis para magmas parentais de basaltos alcalinos (OIBs). Entretanto, um baixo grau de fusão parcial (2 a 5%) de um manto primitivo contendo 0,1 a 0,25% (em peso) de CO₂ podem gerar magmas com nefelina normativa similares a basaltos alcalinos naturais. Eles ainda mostram que fusões parciais de quartzo e coesita eclogitos a altas pressões, ou seja, crosta oceânica reciclada, resultam em líquidos com hiperstênio normativo e não nefelina, logo não poderiam produzir líquidos alcalinos diretamente. Uma possível solução seria a crosta oceânica supersaturada perder sílica durante a subducção, resultando em um granada piroxenito insaturado, anidro ou com CO₂, que por sua vez poderia gerar líquidos alcalinos com composições próximas de basaltos alcalinos.

1.1.2 Associação de rochas insaturadas e supersaturadas em sílica

As rochas ígneas alcalinas caracterizam-se pela presença de feldspatóides, piroxênios alcalinos e/ou anfibólios alcalinos, incluindo assim rochas insaturadas a supersaturadas em sílica. Com base no diagrama petrogenético residual (Hamilton & MacKenzie, 1965), é possível um líquido evoluir para o mínimo dos sistemas nefelina sienítico ou granítico, gerando assim rochas insaturadas e supersaturadas respectivamente, entretanto, a existência de uma barreira termal entre os dois sistemas impede uma evolução para ambos (e.g. Sørensen, 1974; Foland *et al.*, 1993; Nekvasil *et al.*, 2004; Gupta *et al.*, 2010).

Mesmo assim, a associação desses dois tipos é comum, e ocorre em maciços de várias províncias alcalinas e em diferentes contextos tectônicos. Tipicamente são complexos anelares e que pode ser distintos em três tipos: 1) onde a região central é constituída por rochas insaturadas com as zonas de borda formadas por rochas supersaturadas, isso pode se dar por um aumento gradativo nos teores de sílica, ou serem marcadas por contatos bruscos de unidades distintas, como Ilímaussaq e Kangerlussuaq, Groelândia (Marks & Markl, 2001; Riishuus *et al.*, 2006), Messum, Namíbia (Harris *et al.*, 1999), e Abu Khruq, Egito (Landoll *et al.*, 1994); 2) onde as rochas supersaturadas ocorrem apenas na porção central e são ‘blindadas’ do contato com as encaixantes (pelo menos em superfície) por rochas insaturadas, como Itatiaia, Brasil (Ribeiro Filho, 1967; Brotzu *et al.*, 1997), Hekanzi, China (Yang *et al.*, 2012) e Pilanesberg, África do Sul (Lurie, 2004; Elburg & Cawthorn, 2016); ou ainda, 3) em maciços com rochas exclusivamente supersaturadas, ou com largo predomínio, entretanto associados a uma província com outros corpos com presença de rochas insaturadas, como Paresis, Província Cretácea de Damaraland, Namíbia (Mingram *et al.*, 2000) e Sabongari, Lineamento de Camarões, Camarões (Njonfang *et al.*, 2013). No entanto, a maioria das ocorrências possuem em comum assinaturas isotópicas que sugerem uma influência crustal para as rochas supersaturadas, com o

aumento dos valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $\delta^{18}\text{O}$ e diminuição de ϵNd e $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ relacionados ao aumento dos teores de sílica em proximidade com a encaixante, enquanto que as rochas insaturadas e/ou mais primitivas apresentam componentes tipicamente mantélicos (e.g. Downes, 1984; Landoll *et al.*, 1994; Harris *et al.*, 1999; Upton *et al.*, 2003; Riishuus *et al.*, 2008; Curtis *et al.*, 2013). Mesmo nos maciços do 2º ou 3º tipo citados acima (e suas referências) as assinaturas isotópicas também indicam componentes crustais para as rochas supersaturadas.

As possíveis explicações para a existência desse tipo de associação, à primeira vista paradoxal, envolvem basicamente duas vertentes, não excludentes entre si: 1) processos que ultrapassem ou mudem a barreira termal, como efeitos da presença de voláteis (Kogarko, 1974) ou outros componentes, mudanças nas pressões de água (Pankhurst *et al.*, 1976), ou fracionamento complexo de minerais (Foland & Henderson, 1976; Giret *et al.*, 1980), ou 2) processos que abram o sistema, como interação com a crosta por hidrotermalismo, assimilação de encaixantes com cristalização fracionada (AFC) ou mistura com líquidos anatéticos crustais ricos em sílica (Foland *et al.*, 1993). Em todas as ocorrências e referências do parágrafo anterior as interpretações correntes envolvem diferentes graus de assimilação de crosta, tanto das regiões basais, onde o magma teria um tempo de residência (e.g. Jung *et al.*, 2004), quanto das porções mais superficiais, envolvendo processos de ascensão do magma (e.g. Marks & Markl, 2001), sendo geralmente assumido modelos conjunto de cristalização fracionada (AFC). Entretanto, em ilhas oceânicas, livres de uma crosta rica em sílica, a associação de rochas insaturadas e supersaturadas também ocorre (e.g. Ascensão, Harris, 1983; Azores, Mungall & Martin, 1995). A evolução de líquidos álcali basálticos para líquidos riolíticos sódicos por cristalização fracionada foi simulada experimentalmente, e pode ser viável através do fracionamento, sob determinadas condições de pressão de água e fugacidade de oxigênio, de clinopiroxênio nos estágios iniciais seguido de kaersutita (Nekvasil *et al.*, 2004).

1.1.3 A influência da fugacidade de O_2 na paragênese mineral

A maioria dos geotermobarômetros para rochas ígneas é baseada na saturação de elementos em alguns minerais ou equilíbrios químicos de paragêneses específicas e que são dependentes dos parâmetros intensivos (e.g. Buddington & Lindsley, 1964; Wones, 1981; Watson & Harrison, 1983; Harrison & Watson, 1984). Temperatura, pressão, fugacidade de oxigênio ($f\text{O}_2$), atividades de sílica ($a\text{SiO}_2$) e NaCl ($a\text{NaCl}$) podem ser estimadas pela identificação e análises químicas dessas paragêneses.

Um dos mais comuns e poderosos geotermobarômetros é o equilíbrio QUILF (quartzo, ulvøspinel, ilmenita e fayalita), que possui um papel importante nas relações entre óxidos de Fe-Ti e silicatos ferro-magnesianos em rochas ígneas ricas em Fe (Buddington & Lindsley, 1964; Frost *et al.*, 1988; Frost & Lindsley, 1992). Em rochas onde os óxidos de Fe-Ti controlam $f\text{O}_2$, o equilíbrio QUILF

determina a temperatura e trajetória da fO_2 durante a diferenciação e/ou o reequilíbrio óxido-silicato durante o resfriamento (Marks & Markl, 2001; Schilling *et al.*, 2011).

O geotermobarômetro QUILF pode ser expresso pelo equilíbrio:

que possui grande utilidade na estimativa dos parâmetros intensivos que governam os equilíbrios minerais nas rochas ígneas, pois combina dois equilíbrios dependentes de oxigênio:

pois a razão Fe-Mg em silicatos é menos propensa ao reequilíbrio do que em óxidos (Frost *et al.* 1988).

Rochas insaturadas em sílica não contém quartzo, porém podem conter magnetita, ilmenita e olivina em equilíbrio, sendo assim, possível aplicar o equilíbrio QUILF. Devido à dependência de sílica da reação (1), sienitos com quartzo podem conter magnetita, ilmenita ou ambas, entretanto, sienitos com nefelina tipicamente contém apenas magnetita (Frost *et al.*, 1988; Markl *et al.*, 2001, 2010; Mann *et al.*, 2006; Schilling *et al.*, 2011; Estrade *et al.*, 2014). Como efeito disso, o equilíbrio:

tipicamente controla a fO_2 em nefelina sienitos e, devido à ausência de quartzo, a a_{SiO_2} é <1 e determinada pelos equilíbrios:

As baixas atividades de Fe_3O_4 e a_{SiO_2} normalmente levam o equilíbrio (4) a condições muito reduzidas (Markl *et al.*, 2010).

Nefelina sienitos comumente evoluem para condições onde ilmenita e magnetita não são estáveis (*no oxide field*; Nicholls & Carmichael, 1969), devido a reação:

tornando óxidos de Fe-Ti instáveis na transição da saturação para a insaturação de sílica e na transição de alcalino para peralcalino do magma durante a cristalização. As condições de fO_2 passam então a serem controladas pelo equilíbrio entre aegirina, arfvedsonita e aenigmatita devido a substituição acoplada:

que conduz a evolução de sienitos alcalinos e tornam clinopiroxênio e anfibólio progressivamente mais sódicos pelas reações:

consumindo oxigênio das fases voláteis, como H₂O, CO₂ e SO₂, e reduzindo mais ainda o sistema (Markl *et al.*, 2010).

Em assembleias onde a a_{SiO_2} é controlada pelo equilíbrio entre feldspatos e feldspatóides, dois equilíbrios tipo QUIF podem ser aplicados:

chamados AUNILF e KULILF, (13) e (14) respectivamente. Para sistemas sódicos, o campo natural de estabilidade da assembleia AUNILF é função das composições da albita, nefelina e olivina (13) e controlada pela razão da atividade sílica-fayalita. Quando essa razão é controlada pelo equilíbrio albita-nefelina, determina a composição da olivina e a f_{O_2} e consequentemente a estabilidade entre ilmenita e ulvøespinélio. Para sistemas potássicos, a assembleia KULILF envolve leucita e feldspato potássico e invariavelmente cristaliza olivina forsterítica na presença de ilmenita e magnetita, refletindo maior f_{O_2} durante a cristalização do que em sistemas sódicos. Por causa do baixo teor de fayalita na olivina, a razão da atividade sílica-fayalita determina assembleias formadas por feldspato alcalino, magnetita, leucita, ilmenita e olivina (Schilling *et al.*, 2011).

1.2 Justificativas e objetivos

O Maciço Alcalino de Itatiaia é uma das maiores ocorrências alcalinas do Brasil (~215 km²) e encontra-se favoravelmente em uma região densamente habitada e industrializada, entre as cidades de Rio de Janeiro e São Paulo. Possui grande importância histórica, sendo a primeira ocorrência de rochas sieníticas registrada no Brasil (ainda no séc. XIX), área do primeiro parque nacional do país (criado em 1937) e um relevante marco geográfico, ambiental, científico e turístico.

À despeito de suas dimensões, o MAI apresenta variações mineralógicas, petrográficas e geoquímicas importantes, contendo rochas fortemente insaturadas a supersaturadas em sílica, melanocráticas a hololeucocráticas, sódicas a ultrapotássicas e peraluminosas, metaluminosas a peralcalinas, além de uma mineralogia acessória e traços bastante variada. Ressalta-se também, que é uma das poucas ocorrências alcalinas meso-cenozóico brasileiras, se não mundiais, com registro de um zonamento variando de rochas insaturadas em sílica nas bordas (nefelina sienitos) para rochas supersaturadas nas regiões centrais, destacando-se por apresentar certa progressão nos teores de

sílica culminando com a ocorrência de um granito alcalino e diques riolíticos no centro do corpo. Sendo assim, um problema a ser compreendido são os processos petrológicos e mecanismos envolvidos na diferenciação desses magmas e geração da associação existente.

Apesar de sua importância e da grande complexidade geológica e petrológica, o MAI é carente de informações de detalhes. Dentro do contexto apresentado, considerou-se imprescindível o refinamento dos estudos geológicos e petrológicos reunindo informações petrográficas pormenorizadas dos litotipos representativos com um mapeamento de detalhe e estudos de química dos minerais essenciais e acessórios, geoquímica elemental e isotópica e determinações geocronológicas.

A integração dessas informações serviu de base para a elaboração de um modelo geológico de evolução petrológica e petrogenética do MAI, onde buscou-se contribuir para um melhor entendimento do contexto geodinâmico relacionado ao magmatismo da província na qual se insere, dos componentes litosféricos e/ou astenosféricos envolvidos nos processos de fusão associados ao magmatismo alcalino, bem como em suas relações ou não com plumas mantélicas.

1.3 Estrutura da tese

A presente tese está dividida em sete capítulos que abordam os seguintes temas:

- Capítulo 1, *Introdução*: uma breve introdução sobre o magmatismo alcalino e a ocorrência de rochas insaturadas e supersaturadas em sílica e apresentação da área de estudo.
- Capítulo 2, *Materiais e métodos*: descrição dos materiais, métodos e procedimentos analíticos utilizados para a obtenção dos dados e confecção dos elementos da presente tese.
- Capítulo 3, *Contexto geológico regional e magmático*: revisão bibliográfica sobre as rochas do embasamento e o contexto tectônico e magmático ao qual o objeto de estudo se insere.
- Capítulo 4, *Geologia e petrografia*: definição das unidades magmáticas e reavaliação do modelo de evolução geológica com base em sensoriamento remoto, mapeamento geológico de detalhe e petrografia. Este capítulo é apresentado em inglês no formato de artigo no ANEXO A. O artigo intitulado “*Nepheline Syenites to Syenites and Granitic Rocks of the Itatiaia Alkaline Massif, Southeastern Brazil: new geological insights into a migratory ring Complex*” foi submetido ao *Brazilian Journal of Geology* e aguarda resposta. Sua leitura é imprescindível para o entendimento desta tese.
- Capítulo 5, *Resultados analíticos*: descreve de maneira sistemática todos os resultados analíticos obtidos.

- Capítulo 6, *Evolução geológica do Maciço Alcalino de Itatiaia*: integra e discute todas as informações apresentadas anteriormente, apresentando modelos geológicos, petrogenético e petrológico de evolução.
- Capítulo 7, *Considerações finais*: revisão e síntese das conclusões obtidas neste trabalho.

1.4 Área de estudo

O MAI compreende-se entre as latitudes 22°18'31" e 22°28'26"S e as longitudes 44°34'15" e 44°50'18" W, tendo como centro e referência o Abrigo Rebouças, 22°23'07" S, 44°40'43" W. Divide-se entre os municípios de Itamonte, porção centro-norte, e Bocaina de Minas, porção nordeste, no estado de Minas Gerais, e Itatiaia, porção centro-sudeste, e Resende, nas porções oeste e leste, no estado do Rio de Janeiro. Cerca de três quartos da área de estudo está dentro do Parque Nacional de Itatiaia (PNI), contando com uma boa infraestrutura de apoio e acessos.

1.4.1 Localização e acesso

Devido à grande dimensão do corpo, o acesso é feito por várias vias. A principal referência é a Rodovia Pres. Dutra (BR-116) a partir da qual pode-se chegar às vias secundárias (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). O acesso à Sede do Parque e à região meridional é feito a partir da cidade de Itatiaia seguindo-se pela BR-485, onde é possível seguir de carro até o Posto do Maromba, a partir daí o caminho segue por trilha até o Abrigo Rebouças através da Travessia Rui Braga. O limite ocidental do maciço é quase paralelo à BR-354, que liga a BR-116 (saída 330) até a cidade de Itamonte e de onde saem muitas estradas vicinais por boa parte da porção norte do corpo. O acesso para a parte alta da área é feito por essa rodovia até a Garganta do Registro, divisa entre os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais, e seguindo-se pela BR-485 até o Abrigo Rebouças. O acesso à parte oriental é feito pela rodovia RJ-163 (saída 311) até Visconde de Mauá e depois seguindo até o vilarejo de Maromba pela RJ-151, de onde o caminho até o Abrigo Rebouças ou o Posto do Marcão é feito pela Travessia do Rancho Caído. Por essa rota também há várias estradas vicinais que adentram a área de estudo.

1.4.2 Aspectos fisiográficos

O maciço destaca-se topograficamente na região, juntamente com o vizinho maciço alcalino de Passa Quatro, possuindo uma altitude média de 1780 m, que varia de 530 m na região do Centro de Recuperação de Itatiaia (CRI), na porção sul, a 2792 m no Pico das Agulhas Negras (o 5º ponto mais alto do país), na região central (Figura 1.2A). Possui 40% da área acima dos 2000 m e 13 dentre os 35 picos mais altos do país (Tabela 1.1), todos eles destacando-se na paisagem e sendo importantes

Tabela 1.1 – Pontos culminantes do Maciço Alcalino de Itatiaia e suas posições em relação aos 35 pontos mais altos do Brasil (IBGE, 2012b). * Marcos geográficos não incluídos no anuário do IBGE, medidas não oficiais realizadas com aparelho GPS.

Posição	Topônimo	Altitude (m)	Latitude (S)	Longitude (W)
5	Pico das Agulhas Negras	2792	22°22'47"	44°39'40"
8	Morro do Couto	2680	22°23'04"	44°41'49"
9	Pedra do Sino	2670	22°22'13"	44°39'42"
11	Pedra do Altar	2665	22°22'24"	44°40'22"
15	Pico da Maromba	2619	22°22'17"	44°37'32"
16	Morro do Massena	2609	22°22'11"	44°41'57"
20	Pedra Furada	2589	22°21'28"	44°43'25"
*	Morro da Antena	2584	22°22'38"	44°42'09"
22	Pico Serra Negra	2572	22°20'07"	44°39'53"
23	Pedra Cabeça de Leoa	2483	22°23'12"	44°36'58"
*	Ovos da Galinha	2466	22°21'51"	44°39'40"
*	Prateleiras	2458	22°23'59"	44°40'12"
24	Pedra Assentada	2453	22°23'57"	44°39'39"
25	Pedra Cabeça de Leão	2420	22°23'15"	44°37'39"
*	Pedra do Camelo	2318	22°22'12"	44° 42'38"
32	Pico da Cara de Gorila	2281	22°23'00"	44°36'27"
34	Morro do Urubu	2270	22°24'40"	44°39'56"
*	Pedra do Picú	1970	22°20'13"	44°46'33"
*	Três Picos	1675	22°25'33"	44°34'59"

Figura 1.1 – Localização e acessos à área de estudo. Limites: cinza, polígono de representação do mapa geológico; verde, área do MAI; rosa, área do PNI. Base: maps.google.com.br.

Figura 1.2 – Em ambas figuras estão representados o contorno externo do MAI. A) Mapa topográfico da área do MAI elaborado com base em modelo digital de terreno ASTER GDEM (ASTER GDEM é um produto de METI e NASA). As cores representam as altitudes, em variação de 400 m com escala gradativa no intervalo, e em escala de cinza sobreposta é representada a declividade das encostas, branco 0° a preto $\geq 45^\circ$. B) Imagem de satélite da área do MAI (Google Earth, 2015). É possível identificar as áreas urbanizadas e agriculturáveis nas regiões sudeste e noroeste, as florestas em verde escuro, e os campos de altitude na região central.

referenciais geográficos. Também representa um divisor das bacias do Rio Grande (tendo como principais rios na região o Aiuruoca e o Capivari) e do Paraíba do Sul (sendo o rio Campo Belo o principal tributário).

A vegetação na área do MAI é bastante exuberante e pertence ao Bioma Mata Atlântica, considerada uma das regiões mais importantes dentro de um dos 25 *hotspot* de biodiversidades do mundo (Myers *et al.*, 2000). Constitui-se basicamente de florestas e campos de altitude, além de uma pequena área de pastagens e cultivo no extremo noroeste (Figura 1.2B). As áreas de floresta se dividem em Floresta Ombrófila Densa Montana até a altitude de 1.500m (Figura 1.3A) e Floresta Ombrófila Densa Alto Montana, acima de 1.500m de altitude, com presença significativa de araucárias (*Araucaria angustifolia*). Essas florestas podem ser consideradas como uma das de maior riqueza florística dentre áreas de floresta atlântica no sudeste do Brasil (Pereira *et al.*, 2006; IBGE, 2012a). Localmente ocorrem manchas onde domina o taquaruçú (*Guadua tagoara*), que torna praticamente inacessível muitos lugares devido à trama emaranhada e aos espinhos grandes e afiados.

É notável o rareamento e diminuição do porte das árvores com a elevação da altitude, onde os campos de altitude começam a tomar importância entre as cotas 1800 e 1900, tornando-se plenos a partir de 2100 m (Figura 1.3B), com exceção de algumas drenagens mais profundas. Nessas áreas são comuns manchas com touceiras de capim de até 2 metros de altura (*Machaerina ensifolia* e *Cortadeira modesta*) e de bambuzinho (*Chusquea pinifolia* e *Chusquea microphylla*) que podem bloquear a passagem. Nessa região também são comuns a formação de brejos e pequenas lagoas, como o Brejo da Lapa e da nascente do Rio Aiuruoca.

1.4.3 Aspectos históricos

Dentre as primeiras regiões de interesse científico do país está o maciço de Itatiaia, que tem merecido atenção de pesquisadores das mais diversas áreas há quase dois séculos. A região possui grande importância histórica, biológica, geomorfológica e geológica, tendo notoriedade em cada uma dessas áreas.

Um dos primeiros cientistas a visitar a região foi o famoso naturalista A. Saint-Hilaire no ano de 1822 em uma viagem de São João Del Rei, MG, para o estado de São Paulo, passando por Aiuruoca e pela escarpa norte da Serra de Itatiaia, de onde coletou várias espécies de plantas. O primeiro trabalho científico realizado no planalto de Itatiaia foi feito por A. F. M. Glaziou em 1872, tendo como membro da expedição a Princesa Izabel, onde foram coletadas numerosas espécies novas de plantas descritas por vários especialistas da época. A primeira referência sobre a fauna da região é dada por E. Ule, em 1894, em um trabalho de botânica dos campos do planalto (Pinto, 1950; Brade, 1956). As primeiras informações sobre a geologia e altimetria da região foram publicadas por Silva (1876, 1882), que também foi o primeiro a escalar o Pico das Agulhas Negras, em 1856, sendo considerado o pioneiro

do alpinismo no Brasil. Lasaulx (1885) faz a primeira menção sobre rochas nefelina sieníticas no Brasil ao descrever amostras de Itatiaia enviadas por H. Bauer (Derby, 1887).

Esses trabalhos pioneiros despertaram o interesse científico para esta área de características peculiares e encravada na região mais populosa do país. Desde então inúmeros outros foram realizados, tanto nas áreas de floresta, quanto nos campos do planalto, especialmente nas áreas da botânica, entomologia, ornitologia e geomorfologia, enquanto a geologia não mereceu a devida atenção.

Com isto, em 1918 foi criada a Estação Biológica do Itatiaia, subordinada ao Jardim Botânico do Rio de Janeiro, a partir de terras adquiridas pelo Governo Federal uma década antes para instalação dos Núcleos Coloniais de Itatiaia e Visconde de Mauá. Em 14 de junho de 1937, através do Decreto nº 1.713, a Estação Biológica foi transformada no Parque Nacional de Itatiaia pelo Presidente Getúlio Vargas, sendo assim, o primeiro do Brasil. Inicialmente abrangia área de 119,43 km², mas em 20 de setembro de 1982, através do Decreto nº 87.586, foi ampliada para os limites atuais, 280 km² (www.icmbio.gov.br/parnaitatiaia).

1.4.4 Trabalhos prévios

Apesar de suas dimensões e da diversidade litológica presente, o MAI conta com poucos estudos, sendo os últimos dados significativos produzidos há mais de 15 anos.

A primeira referência sobre a geologia do maciço é dada por Silva (1876), que num trabalho descritivo sobre a “montanha” Itatiaia (região do planalto e Agulhas Negras), sugere um “terreno de origem ígnea, granítico”. Também sugere uma origem vulcânica, imaginando que os grandes lajedos enegrecidos, os depósitos coluvionares e as características erosões em caneluras e painéis, estas cheias de “cinzas”, teriam se formado por processos de “convulsão vulcânica”. Já Silva (1882) apresenta informações sobre as rochas, descrevendo uma “espécie de granito” composto de quartzo, feldspato e uma “substância negra formando cristais de bases quadradas”, e citando um pórfiro nas vertentes e um “granito áspero de cristais de pontas negras pertencente ao gênero do traquito”. Também cita um terreno sulfuroso no Picú (onde há uma fonte de água sulfurosa no bairro Engenho da Serra), com pirita, carbonato de ferro e peróxido de manganês. Esses trabalhos poderiam ter sido os pioneiros, e por um brasileiro, sobre as rochas alcalinas ou mesmo geologia do Brasil, entretanto as informações são vagas e insuficientes, mas possuem seu mérito.

Lasaulx (1885), registrando a primeira ocorrência de rochas nefelina sieníticas no Brasil, descreve duas variedades de rocha, um nefelina sienito de granulação fina e aspecto granítico com ortoclásio, plagioclásio, augita com bordas de hornblenda, nefelina idiomórfica, titanita abundante e alguma biotita, e um nefelina sienito pórfiro com ortoclásio e nefelina intercrescidos, nefelina idiomórfica, e augita, hornblenda e titanita.

O primeiro estudo dedicado à geologia do maciço, e que perdurou por aproximadamente três décadas, foi feito por Lamego (1936). O autor descreve alguns litotipos, como sienito “nefelínico”, sodalita sienito, sienito, foiaito, fonolito porfirítico, nordmarkito e quartzo sienito, com suas localizações aproximadas, algumas fotomicrografias e análises químicas. Associa o magmatismo à formação das bacias terciárias, especialmente de Resende, a partir de observações geomorfológicas e atribui idade do Cretáceo Superior, ou mesmo Eoceno. Também apresenta o primeiro esboço de um mapa geológico, porém toma como afloramentos contíguos de rochas foiaíticas uma área de 1450 km², o colocando como segundo maior maciço alcalino do mundo na época.

Teixeira (1961) sugere, a partir dos padrões de drenagem e feições topográficas, a existência de um espesso dique anelar de tinguaito na região central do maciço, com forma oval e diâmetro de 8 x 9 km.

Penalva (1967) e Ribeiro Filho (1967) apresentam os únicos trabalhos de maior detalhe da ocorrência, caracterizando petrograficamente os litotipos predominantes e apresentando algumas análises modais e geoquímicas. Também discutem sua gênese, evolução e relação com outros maciços vizinhos, Passa Quatro e Morro Redondo, à luz dos conhecimentos da época. Descrevem uma grande variedade textural e mineralógica de nefelina sienitos, sienitos e quartzo sienitos, além de uma ocorrência local de granito no centro do maciço, brechas magmáticas, diques, tanto máficos quanto félsicos, e milonitos. Apresentam o primeiro mapa geológico (Figura 1.4), que até hoje permaneceu sem modificações maiores. Além disso, definiram seus contatos revelando uma forma alongada, com eixo maior de 30 km segundo orientação NW-SE e com uma área de aproximadamente 215 km². Entretanto, representaram uma associação formada por apenas quatro grupos de rocha: nefelina sienitos e sienitos, quartzo sienitos, granito e brechas magmáticas.

Brotzu *et al.* (1997) fizeram um estudo geral sobre a petrogênese do maciço de Itatiaia, apresentando alguma informação petrográfica, análises químicas dos principais tipos de rocha e de minerais, e análises de isótopos de Sr. Além disso, acrescentam algumas informações ao mapa geológico, separando algumas fácies e indicando algumas estruturas. Com base na mineralogia, relações texturais e geoquímica, separaram as rochas sieníticas em quatro grupos distintos, além do granito e das brechas. Além disso, descreveram alguns diques de fonolito e traquito.

Enrich *et al.* (2005) e Brotzu *et al.* (2005) apresentam uma revisão com os dados já existentes e alguns dados isotópicos inéditos, descrevendo modelos petrogenéticos e relações com o desenvolvimento do magmatismo alcalino regional.

Melluso *et al.* (2016) discutem a evolução de magmas feldspáticos félsicos, revendo dados de Brotzu *et al.* (1997), e apresentam um estudo detalhado sobre os minerais acessórios ricos em ETRs e HFSE, como rinkite, hiortdahlita, låvenite, wöhlerita, chevkinita, allanite, britholite, monazita, dentre outros.

Figura 1.3 – Paisagens representativas do MAI. A) Florestas da região sudeste do maciço, onde ocorrem predominantemente nefelina sienitos. Vista a partir do Mirante do Último Adeus. No centro está o Rio Campo Belo. B) Campos de altitude da região do planalto central do maciço, onde domina sienitos com quartzo. Vista a partir da trilha Rebouças – Rancho Caído próximo à Pedra do Altar. (a) Morro do Couto; (b) Morro da Antena.

Figura 1.4 – Mapa geológico do Maciço Alcalino de Itatiaia segundo Ribeiro Filho & Penalva (1965). Legenda: amarelo claro, depósito de talude (com textura de círculos) e sedimentos clásticos; abóbora, granito alcalino; amarelo escuro, quartzo sienito; roxo, brecha magmática; verde, nefelina sienito, foiaitos; rosa, gnaíse. Escala original 1:50.000.

MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas de trabalho realizadas contaram com estudos bibliográficos, trabalhos de campo, petrografia, análise de química de rocha e mineral, cálculo de parâmetros intensivos, geoquímica isotópica e determinação geocronológica. A seguir são descritos todos os procedimentos adotados na realização deste trabalho.

2.1 Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo se mostraram muito mais difíceis do que o inicialmente esperado. Além de possuir um grande território (~215 km²), a área de estudo apresenta espessa vegetação, topografia muito acidentada e poucas estradas. Isto exigiu grandes deslocamentos a pé por trilhas, picadas ou caminhos através de lajedos e campos, o que restringiu muito o alcance diário e o respectivo número de afloramentos visitados, principalmente devido ao tempo gasto e ao peso das amostras coletadas. Os trabalhos foram realizados com a valiosa ajuda de um ou dois colegas (estudantes de graduação e pós-graduação) por campo. Foram realizadas dez etapas de seis a doze dias cada, totalizando 86 dias, sendo 66 de trabalho (Tabela 2.1).

O trabalho com veículo em afloramentos na beira da estrada só foi possível no extremo sul do maciço, nas estradas da parte baixa do Parque, ao longo da estrada de acesso ao abrigo Rebouças, na

Tabela 2.1 – Etapas de trabalho de campo.

Etapas	Data	Pontos de controle
1ª	07 a 17/01/2013	001 a 051
2ª	24/06 a 01/07/2013	052 a 069
3ª	07 a 14/08/2013	070 a 092
4ª	20 a 27/08/2013	093 a 111
5ª	24/09 a 01/10/2013	112 a 130
6ª	16 a 21/10/2013	131 a 145
7ª	31/01 a 07/02/2014	146 a 174
8ª	14 a 21/02/2014	175 a 200
9ª	22 a 29/05/2014	201 a 209
10ª	17 a 28/08/2015	210 a 233

região centro-oeste, e em estradas rurais na porção norte. A maior parte do trabalho foi dedicada à parte alta do maciço, onde ocorrem as melhores exposições e as maiores questões petrológicas. Entretanto é uma região com acesso muito difícil, sendo feito quase sempre a pé, caminhando em média de 10 a 15 km por dia, chegando até 23 km, em muitas vezes com trechos de escalaminhada (caminhada em trilhas de ascensão, onde nos lugares mais difíceis de subir, usa-se as mãos em raízes ou pedras que existem no caminho, sem a necessidade do uso de cordas ou semelhantes). Além disso, algumas trilhas possuem grandes variações altimétricas, sendo comum 200-400 metros de desnível, mas chegando até 1000 metros, ou então ao extremo 1250 metros, na trilha Pico da Maromba-Cachoeira do Escorrega. A chuva também prejudicou, ou mesmo impossibilitou, alguns dias de trabalho.

Foram visitados 233 pontos de controle, tanto na área aflorante do corpo, como também nas encaixantes e cobertura de tálus, e nominados com o prefixo MAI (Maciço Alcalino de Itatiaia) seguido da numeração sequencial de visitação. Cada afloramento foi devidamente descrito, zelando para o tipo de afloramento, extensão, continuidade, grau de alteração, minerais presentes, estruturas e texturas, e, sempre que possível, feito coleta de amostra para fins de análises laboratoriais. Para maior confiança das informações coletadas foi utilizado um GPS Garmin Oregon 550 (com um erro de 3 a 10 metros) para registrar a localização e altitude dos afloramentos descritos assim como todo o percurso realizado. Como resultado, obteve-se um acervo de 256 amostras representativas. A tabela com as coordenadas de todos os afloramentos visitados, bem como o mapa com suas localizações e as atividades realizadas em cada um encontra-se no ANEXO B (Figura B.1 e Tabela B.1).

Os pontos foram amostrados com pelo menos ~500 metros de distância, salvo em ocasiões de clara mudança litológica ou de relevância petrológica. Ainda assim, quando essas importâncias foram encontradas com menos de 250 metros de distância recebeu uma letra maiúscula sequencial (B, C, D, etc.) ao ponto mais próximo como sufixo. Quando mais de um litotipo foi encontrado dentro de um mesmo ponto (até ~50 metros de raio) adicionou-se apenas um numeral romano como sufixo. Em nenhum lugar foi observado contato direto entre as variações, exceto com alguns diques, sendo notados por mudanças repentinas ou gradativas ao longo de afloramentos.

A metade sul do maciço é marcada por forte desnível com as encaixantes proterozóicas e sedimentos da Bacia de Resende, possuindo praticamente toda a extensão de seu contato coberta por depósitos de tálus. Num primeiro momento foi difícil a identificação de tais depósitos, mas com a percepção da grande variação de litotipos e estruturas sem sentido aparente, aliado às observações geomorfológicas, notou-se realmente não se tratar de rochas *in situ*. O problema de afloramentos com blocos duvidosamente *in situ* também ocorreu em alguns lugares no interior do corpo, especialmente na parte baixa onde os desníveis são maiores e a vegetação espessa dificulta uma visão abrangente, no entanto as variações entre esses blocos são poucas ou ausentes, tornado a amostragem

representativa da área de coleta. Já na parte alta o problema maior deveu-se ao intemperismo das rochas. Há muitos afloramentos na forma de grandes lajedos ou maciços rochosos (como Agulhas Negras e Pedra do Sino), porém quase sempre estão razoavelmente alterados, tornando difícil a coleta de amostra para fins geoquímicos e isotópicos.

Como parte da área de estudo está dentro do Parque Nacional de Itatiaia (PNI), este trabalho obteve autorização de pesquisa e coleta de amostras abióticas concedida pelo Sisbio sob a inscrição Nº 36806-3. As atividades de campo também contaram com o apoio do PNI. Houve uma recomendação para não abrir novas trilhas e ser cauteloso com a vegetação, especialmente espécies protegidas. A coleta de amostras foi realizada fora do caminho e longe da vista dos turistas, para causar o mínimo de impacto visual, assim como pontos de visitação e formações de interesse turísticos foram poupados.

2.2 Cartografia e sensoriamento remoto

O mapa de Ribeiro Filho & Penalva (1965; Figura 1.4) foi utilizado como base geológica a partir do qual traçou-se as estratégias de reconhecimento de campo, e nas áreas sem informação procurou-se respeitar os limites definidos pelos autores. Apesar de ter sido elaborado sem as facilidades tecnológicas contemporâneas, mal contando com uma carta topográfica completa e de detalhe, o mapa apresenta os limites razoavelmente bem alocados, assim como as divisões internas dos grupos petrológicos. Entretanto possui detalhamento e precisão insuficientes para a complexidade do maciço e escala apresentada.

As unidades litológicas foram definidas de acordo com as características petrográficas (textura e mineralogia acessória principalmente) e geoquímica, seguindo as feições estruturais, características geomorfológicas e ocorrência geográfica, de modo que cada uma é interpretada como sendo um pulso e/ou evento magmático distinto. Algumas unidades possuem variações faciológicas internas, porém foram interpretadas como possuindo correlação-genética íntima, e por isso, mantidas unidas. As unidades possuem continuidade mapeável na escala apresentada e muitas mostram diferenças óbvias com as unidades adjacentes. A parte alta do maciço, região central do mapa, está melhor detalhada devido à maior densidade de afloramentos descritos, além de maior exposição de rochas e padrões geomorfológicos bem definidos, o que facilitou as interpretações das imagens de satélite.

O mapa elaborado tem como base o modelo digital de terreno ASTER GDEM ASTGTM2_S23W045 com resolução de 30 metros (ASTER GDEM é um produto de METI e NASA), que possibilitou avaliar os padrões geomorfológicos, gradientes altimétricos, declividades e drenagens utilizando o programa Global Mapper 13. Essas informações têm grande importância devido à extensa amplitude altimétrica, padrões de falhamentos e feições topográficas típicas de complexos anelares,

sendo essenciais para o reconhecimento de unidades geomorfológicas e os consequentes litotipos associados.

Imagens de satélite obtidas pelo software Google Earth (Google Earth, 2015) também foram de grande valia, pois possuem boa resolução em toda a área de estudo. Na parte alta onde predomina lajedos e maciços rochosos foi possível visualizar alguns possíveis contatos, padrões de fraturamento e estruturas. Também auxiliaram na delimitação de depósitos aluvionares, localidades, e identificação de pontos de referência, estradas e trilhas. Imagens Landsat 8 (Cortesia da U. S. Geological Survey) também foram utilizadas para identificação de algumas feições geomorfológicas e vegetação, ainda com tratamento simples de bandas.

O mapa regional com as ocorrências dos maciços alcalinos da Província Serra do Mar (cf. Almeida, 1983, 1991; Schobbenhaus et al., 1984) (apresentado no item 3.3.1) resultou da compilação, com algumas modificações, a partir de várias fontes bibliográficas: embasamento regional (Leite *et al.*, 2004; Valeriano *et al.*, 2011; Alves *et al.*, 2015; Cioffi *et al.*, 2015; Janasi *et al.*, 2015), tectônica cenozóica (Meisling & Cob, 2001; Zalán & Oliveira, 2005), maciços alcalinos (Almeida, 1983, 1991; Motoki, 1986; Bellieni *et al.*, 1990; Ferrari, 2001; Chiessi, 2004; Trouw *et al.*, 2007; Brotzu *et al.*, 2007; Heilbron *et al.*, 2007; Azzone *et al.*, 2009; Enrich *et al.*, 2009; Guarino *et al.*, 2011; Rosa, 2012).

O tratamento das informações cartográficas (dados do aparelho GPS, imagens de satélite, modelo digital de terreno) foi realizado utilizando o programa de georreferenciamento Global Mapper 13 e retrabalhado em um programa de edição gráfica Corel Draw X7.

2.3 Petrografia

Inicialmente foram descritas macroscopicamente todas as amostras disponíveis, seguindo-se de uma seleção das variedades representativas para fins de estudos microscópicos pormenorizados. A investigação petrográfica teve por finalidade a identificação e a caracterização das principais feições macro e microscópicas das fácies presentes no maciço. Para tanto foram utilizados critérios de cor, heterogeneidades texturais, estruturas, granularidade, granulação e paragênese. No estudo microscópico, as observações foram direcionadas às paragêneses nos diferentes estágios magmáticos, à diversidade mineralógica e aos aspectos texturais como granularidade e microestruturas.

Foram confeccionadas 120 seções delgadas com 30 µm de espessura e coberta com lamínula e descritas em um microscópio Zeiss Axioplan, com objetivas possibilitando aumentos de 2,5, 10, 20 e 40 vezes, pertencente ao Laboratório de Microscopia Petrográfica do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. O registro fotomicroscópico das características mineralógicas, texturais e microestruturais mais relevantes foram realizadas em um microscópio Zeiss Axio Imager.A2m acoplado a uma câmera modelo AxioCamMR3 com distância focal

de 35 mm e obtidas em um programa dedicado AxioVision 4.9.1 SP1, e tratadas no programa Corel Draw X7.

Análises modais foram realizadas em 21 amostras selecionadas, utilizando-se um *Charriot* acoplado ao microscópio petrográfico e um contador de pontos. Foram levantados em cada uma das lâminas 30 perfis de 70 pontos cada, totalizando assim 2100 pontos. A distância adotada entre os pontos foi de 0,5 mm, assim como para o espaçamento entre os perfis, abrangendo assim uma área de 5,75 cm². Os minerais identificados nas lâminas, mas não computados, são marcados como mineral traço (tr). Os minerais ausentes estão em branco. O menor valor modal representado é de 0,048%, expresso pela contagem de 1 ponto, e foram arredondados para dois algarismos significativos.

As unidades foram denominadas segundo a classificação modal das amostras predominantes (ANEXO C) seguindo-se as recomendações de Le Maitre (2002). Minerais acessórios importantes (> 5% em teor modal) e/ou texturas características foram adicionadas ao nome como um distintivo. Quando definido o mesmo nome foi adicionado um numeral romano apenas para distinção, sem conotação petrológica. Os termos nordmarkito e pulaskito são utilizados como sinônimos de álcali feldspato sienito, respectivamente com quartzo e com nefelina, assim como alaskito, sinônimo de álcali feldspato granito leucocrático (Le Maitre, 2002).

2.4 Química mineral

Foram escolhidas 20 amostras representativas de diversas unidades para a confecção das lâminas polidas (com espessura de 90 µm) e determinação química e caracterização dos minerais. Análises pontuais quantitativas por WDS foram realizadas nos seguintes minerais: feldspato, nefelina, sodalita, analcima, clinopiroxênio, anfibólio, titanita, biotita, ilmenita, espinélio, coríndon e alguns minerais raros. Já as análises por EDS foram direcionadas preferencialmente para a caracterização dos minerais acessórios de ocorrência rara, com vistas à identificação qualitativa da composição mineralógica mais segura, como também do grupo mineral ao qual pertence.

Os trabalhos foram efetuados no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Núcleo de Apoio à Pesquisa Geoanalítica – USP, empregando-se instrumental de fabricação JEOL JXA-FE-8530F, com canhão eletrônico suportado por Field Emission (FE). 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 µm. Espinélio e ilmenita foram analisados com o diâmetro de 1 µm, enquanto feldspato alcalino, nefelina sodalita e analcima, com 10 µm sempre que possível. Todos os pontos de análise foram realizados com base em imagem composicional (BEI-COMPO) simultânea, possuindo assim um preciso controle textural. Os dados foram corrigidos pelo programa CITZAF (Armstrong, 1991). As configurações utilizadas, os tempos de contagem e os padrões para cada rotina se encontram na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Configuração dos espectrômetros da microsonda eletrônica para análise química dos minerais. L, linha; CH, canal; P, tempo de contagem no pico; Bg, tempo de contagem para medida do background. * Fe medido como Fe₂O₃.

Óxido	L	Cristal	CH	P	Bg	Padrão	P	Bg	Padrão	P	Bg	Padrão	P	Bg	Padrão	
			Feldspato e nefelina				Piroxênio			Anfibólio			Biotita			
SiO ₂	Kα	TAP	1	10	5	anorthoclase	10	5	diopside	10	5	wollastonite	10	5	diopside	
Al ₂ O ₃	Kα	TAP	1	15	7.5	anorthite	15	7.5	anorthite	15	7.5	anorthite	15	7.5	anorthite	
Y ₂ O ₃	Lα	TAP	1													
FeO	Kα	LIFL	2	10	5	fayalite *	10	5	fayalite	10	5	fayalite	10	5	fayalite	
MnO	Kα	LIFL	2	40	20	fayalite	40	20	fayalite	40	20	fayalite	40	20	fayalite	
ZnO	Kα	LIFL	2											40	20	gahnite
Cl	Kα	PETJ	3							10	5	sodalite	10	5	sodalite	
K ₂ O	Kα	PETJ	3	10	5	ortoclase	10	5	ortoclase	10	5	ortoclase	10	5	ortoclase	
CaO	Kα	PETJ	3	20	10	wollastonite	20	10	wollastonite	20	10	wollastonite	10	5	wollastonite	
ZrO ₂	Lα	PETJ	3				50	25	zircon							
SrO	Lα	PETJ	3	40	20	strontianite										
TiO ₂	Kα	LIFL	4	10	5	rutile	10	5	rutile	10	5	rutile	10	5	rutile	
Cr ₂ O ₃	Kα	LIFL	4				10	5	chromite							
ZnO	Kα	LIFL	4							40	20	willemite				
BaO	Lα	LIFL	4	30	15	benitoite							30	15	benitoite	
F	Kα	TAPH	5							10	5	fluorapatite	10	5	fluorapatite	
Na ₂ O	Kα	TAPH	5	10	5	albite	10	5	albite	10	5	albite	10	5	albite	
MgO	Kα	TAPH	5	10	5	diopside	10	5	diopside	10	5	diopside	10	5	diopside	

Óxido	L	Cristal	CH	P	Bg	Padrão	P	Bg	Padrão	P	Bg	Padrão
				Titanita e minerais raros			Espinélio			Ilmenita		
SiO ₂	Kα	TAP	1	10	5	diopside	10	5	diopside	20	10	diopside
Al ₂ O ₃	Kα	TAP	1	15	7.5	anorthite	15	7.5	anorthite	20	10	anorthite
Y ₂ O ₃	Lα	TAP	1	50	25	yttrium-phosphate						
FeO	Kα	LIFL	2	10	5	fayalite	10	5	hematite *	10	5	ilmenite
MnO	Kα	LIFL	2	40	20	fayalite	40	20	ilmenite	40	20	ilmenite
La ₂ O ₃	Lα	LIFL	2	50	25	lanthanum-phosphate						
K ₂ O	Kα	PETJ	3	20	10	ortoclase	10	5	ortoclase	20	10	ortoclase
CaO	Kα	PETJ	3	10	5	wollastonite	20	10	wollastonite	20	10	wollastonite
Nb ₂ O ₅	Lα	PETJ	3	60	30	magnetite	40	20	magnetite	40	20	ilmenite
ZrO ₂	Lα	PETJ	3	50	25	zircon						
TiO ₂	Kα	LIFL	4	10	5	rutile	5	2.5	ilmenite	5	2.5	ilmenite
Cr ₂ O ₃	Kα	LIFL	4				10	5	chromite	40	20	chromite
ZnO	Kα	LIFL	4				40	20	willemite	40	20	willemite
BaO	Lα	LIFL	4	30	15	benitoite						
Ce ₂ O ₃	Lα	LIFL	4	30	15	cerium-phosphate						
Nd ₂ O ₃	Lα	LIFL	4	50	25	neodymium-phosphate						
F	Kα	TAPH	5	10	5	fluorapatite						
Na ₂ O	Kα	TAPH	5	10	5	albite	10	5	albite	40	20	albite
MgO	Kα	TAPH	5	10	5	diopside	10	5	diopside	40	20	diopside

Os padrões utilizados *anorthite*, *anorthoclase*, *benitoite*, *cerium-phosphate*, *chromite*, *diopside*, *fayalite*, *gahnite*, *ilmenite*, *lanthanum-phosphate*, *magnetite*, *neodymium-phosphate*, *strontianite* e *yttrium-phosphate* são procedentes da Smithsonian Institution (Jarosewich, 2002), e os padrões *albite*, *fluorapatite*, *hematite*, *ortoclase*, *rutile*, *sodalite*, *willemite*, *wollastonite* e *zircon* são da Geller (disponível em www.gellermicro.com/standards/uhv-el.htm).

O cálculo do número de cátions e fórmulas estruturais para feldspato, nefelina, biotita e titanita foram realizados segundo Deer *et al.* (1992). O cálculo das proporções de $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ a partir do $\text{FeO}_{\text{total}}$ para o clinopiroxênio aplicou-se o procedimento de Droop (1987), e a classificação química foi feita segundo Morimoto (1988). Para o anfibólio utilizou-se a planilha de Locock (2014) segundo Hawthorne *et al.* (2012). E para os óxidos seguiu-se os procedimentos de Carmichael (1967).

Os dados foram tratados no programa Excel 2013 segundo procedimentos recomendados pela IMA (International Mineralogical Association) e amplamente utilizados para cada mineral. Além disso, os diagramas de classificação e variações composicionais foram elaborados no programa GCDkit (Janoušek *et al.*, 2006) e editados no Corel Draw X7.

2.4.1 Determinação dos parâmetros intensivos

Os trabalhos de determinação da química mineral para o cálculo dos parâmetros intensivos, e seu conseqüente tratamento e interpretação, foram realizados no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Departamento de Geociências da Universidade de Tübingen, Alemanha, em colaboração com o Dr. Michael Marks. Esta atividade foi desenvolvida como parte do programa Bolsa Estágio de Pesquisa no Exterior (BEPE; Proc. 2015/19974-0) da FAPESP no período de 05 de novembro de 2015 a 07 de janeiro de 2016.

Dez amostras com a paragênese bem definida foram escolhidas dentre às analisadas anteriormente. Imagens de elétron retroespalhado (BSE) dos cristais alvo (titanomagnetita, ilmenita, clinopyroxênio e feldspato) foram obtidas em um microscópio eletrônico de varredura (SEM) do tipo bancada do modelo TM3030 Hitachi, no mesmo departamento. Novas microanálises quantitativas por WDS foram realizadas em um equipamento JEOL 8900 Superprobe daquela universidade, em nefelina, feldspato alcalino, plagioclásio, piroxênio, titanomagnetita, ilmenita e andradita. As configurações utilizadas e os tempos de contagem para cada rotina se encontram na Tabela 2.3.

Nos cristais de titanomagnetita com exsoluções finas, realizaram-se três análises por cristal com um diâmetro do feixe de 20 μm , focado nos locais mais homogêneos possíveis, para obter-se a média como uma composição global do cristal. Nos cristais com lamelas de exsolução mais grossas, analisou-se se três pontos separadamente na magnetita hospedeira e nas lamelas de ilmenita, com um feixe de 1 μm . A composição de cada cristal foi recalculada considerando-se a proporção da área

Tabela 2.3 – Configuração dos espectrômetros da microsonda eletrônica para análise química dos minerais com vistas à determinação dos parâmetros intensivos.

	Elemento	Cristal	Canal	Padrão	Condição
Feldspato	Al	TAP	1	A_Plagioklas	Al1TBa
	Na	TAP	2	A_Albit	Na2TEU
	Si	TAP	2	A_Plagioklas	Si2TSr
	K	PETJ	3	A_Sanidin	K3P
	Ca	PETJ	3	A_Plagioklas	Ca3PJ
	Sr	PETH	4	A_SrTiO3	Sr4PH
	Ba	PETH	4	A_Baryt	Ba4PH
	Fe	LIFH	4	A_Haematite	Fe4LH
Piroxênio	Na	TAP	1	A_Albit	Na1T
	Mg	TAP	1	A_Diopsid	Mg1Tox
	Al	TAP	2	A_Plagioklas	Al2T
	Si	TAP	2	A_Diopsid	Si2T
	Ca	PETJ	3	A_Diopsid	Ca3PJ
	Mn	PETJ	3	A_Rhodonit	Mn3PJ
	Fe	LiF	3	A_Haematit	Fe3Lpy
	K	PETH	4	A_Sanidin	K4PHmn
	Ti	PETH	4	A_SrTiO3	Ti4P
	Zr	PETH	4	A_ZrO2	ZrP4
Óxidos	Si	TAP	1	A_Diopsid20	Si1Tox
	Al	TAP	2	S_Al2O320	Al2Tmn
	Mg	TAP	2	A_Diopsid20	Mg2T
	Ti	PETJ	3	A_SrTiO320	Ti3P
	Ca	PETJ	3	A_Diopsid20	Cr3PJ
	Nb	PETJ	3	S_LiNbO620	Nb
	Zn	LIFH	4	M_Zn20	ZnSp
	Fe	LIFH	4	A_Hematit20	Fe4LH
	Mn	LIFH	4	A_Rhodonit20	Mn4LH

e os volumes molares das fases exsolvidas, sendo 31,70 e 44,52 cm³/mol para ilmenita e magnetita, respectivamente. No feldspato alcalino pertítico utilizou-se o mesmo processo, considerando os volumes molares de 100,05 e 108,28 cm³/mol para albita e ortoclásio, respectivamente. No entanto, as lamelas de albita foram analisadas com um diâmetro do feixe de 10 µm (para reduzir o efeito da migração de Na) e ortoclásio com 5 µm. As estimativas de área foram feitas no programa de edição de imagens Corel Photo Paint X7.

As atividades dos membros finais da assembleia QUILF (quartzo, ulvöespinélio, ilmenita e fayalita) nas temperaturas de interesse foram calculadas no programa QUILF (Andersen *et al.*, 1993) baseados no modelo de Davidson & Mukhopadhyay (1984). Para o cálculo das atividades de nefelina foi aplicado o modelo *on-site mixing*, e para albita em feldspato alcalino e jadeíta em clinopiroxênio foram aplicados os modelos de atividade de Holland & Powell (2003) e Holland (1990), respectivamente. A atividade do componente Ca-Tchermak em clinopiroxênio foi calculado segundo o modelo de Wood (1979). O componente andradita em granada foi calculado segundo Locock (2008) e

sua atividade segundo Cosca *et al.* (1986). Os valores máximo e mínimo (e eventuais discrepâncias) das atividades foram consideradas para o cálculo para temperaturas de 800 e 900°C e pressão de 1 kbar, exceto para nefelina e Ca-Tschermak em clinopiroxênio, que não possuem modelos termodinâmicos desenvolvidos. Para as rochas com quartzo, a atividade de sílica é igual a um, enquanto que para as rochas insaturadas em sílica este valor é menor do que um, tendo sido calculado para cada amostra. A atividade de titanita foi considerada igual a um.

As curvas de atividades de sílica foram calculadas pelo equilíbrio nefelina – albita (em feldspato alcalino) – jadeíta (em clinopiroxênio) e anortita (em plagioclásio) – Ca-Tschermak e as curvas de fugacidade de oxigênio pelo equilíbrio hedenbergita – magnetita – ilmenita – titanita através do programa GEOCALC Berman *et al.* (1987) e Lieberman & Petrakakis (1991), com o banco de dados de Berman (1988). O cálculo das curvas de *buffer* e a estimativa dos parâmetros intensivos foi realizada através do programa QUILF (Andersen *et al.*, 1993).

2.5 Geoquímica elemental

Foram realizadas análises químicas de rocha total utilizando-se fluorescência de Raios-X, para determinação dos elementos maiores e alguns traços, e ICP-AES-MS, para a maioria dos elementos traços e terras raras, junto aos laboratórios AcmeLabs, Vancouver, Canadá, Laboratório de Geologia Isotópica do Departamento de Geologia e Recursos Naturais da UNICAMP, e Laboratórios de Fluorescência de Raios-X e de Química e ICP-AES/MS do Núcleo de Apoio à Pesquisa Geoanalítica-USP.

Com base nas descrições petrográficas e no mapa de localização foram selecionadas 82 amostras de litotipos representativos do MAI, além de 3 amostras de encaixantes locais. Desse elenco, 34 amostras foram escolhidas para determinação de elementos traços e terras raras.

2.5.1 Preparação das amostras

As amostras foram processadas nos Laboratórios de Tratamento de Amostras (LTA) do Núcleo de Apoio à Pesquisa Geoanalítica-USP, respeitando-se cada procedimento de trabalho e limpeza de utensílios e equipamentos pertinentes, a fim de se evitar contaminações e alterações nos resultados. Em todas as etapas (exceto na separação de minerais para geocronologia) foram preparadas primeiramente uma fração de descarte, prosseguindo com a fração definitiva após nova limpeza dos aparelhos.

Retirou-se das amostras quaisquer superfícies de alteração que pudessem adulterar as condições magmáticas, como capa de intemperismo, fraturas impregnadas de minerais secundários e veios. É importante salientar que também se teve o cuidado de excluir as faces serradas das amostras a fim de diminuir a contaminação causada pela serra, especialmente por chumbo. O volume

processado foi considerado um sólido com arestas aproximadamente dez vezes maior que o maior cristal da amostra em questão.

As amostras foram: I) fragmentadas com martelo e marreta; II) reduzidas em uma prensa pneumática; III) quarteadas manualmente; IV) e pulverizadas em um moinho de anéis de ágata, por um tempo aproximado de 10 minutos até uma granulação de ~200 mesh. As amostras de granulação mais grossa porfíricas ou com textura heterogênea, assim como aquelas selecionadas para análises isotópicas e geocronológicas, foram preparadas em maior volume, sendo fragmentadas em um britador.

2.5.2 Análises laboratoriais

Oitenta e uma amostras em pó foram enviadas ao laboratório AcmeLabs em Vancouver, Canadá. Os elementos maiores, menores e alguns traços foram analisados por fluorescência de raios-X com fundente $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7/\text{LiBO}_2$ através da rotina LF702-EXT do catálogo do laboratório (<http://acmelab.com/pdfs/FeeSchedule-2015.pdf>). Quarenta elementos traços foram analisados por ICP-AES e ICP-MS com digestão por multi-ácido à quente através da rotina MA270. Inicialmente foi escolhido uma rotina de análise de elementos traço por FRX em pastilha prensada, que incluía apenas 8 elementos. Entretanto, com as amostras já em mãos, o laboratório informou que a rotina tinha sido extinta e sugeriu a utilização dessa última por ICP sem prejuízo ao projeto.

Dessas, trinta amostras foram selecionadas (MAI022BI, MAI030, MAI036, MAI046E, MAI053I, MAI053II, MAI070B, MAI090, MAI092I, MAI092II, MAI097B, MAI107, MAI108II, MAI110, MAI112B, MAI114, MAI122, MAI130, MAI133, MAI136, MAI148, MAI160, MAI16, MAI165, MAI166I, MAI166II, MAI178, MAI182C, MAI199 e MAI204) para a análise dos elementos terras-raras via ICP-MS junto ao Laboratório de Geologia Isotópica do Departamento de Geologia e Recursos Naturais da UNICAMP em Campinas. As amostras foram dissolvidas utilizando uma mistura de ácidos nítrico e fluorídrico em bombas tipo Parr. Todas soluções foram preparadas com água ultra-pura (18,2 MΩ.cm), obtida por sistema Milli-Q. O ácido nítrico (HNO_3) foi purificado por sub-ebulição. Os frascos utilizados para as diluições foram previamente limpos com HNO_3 5% e enxaguados com água ultra-pura. O limite de detecção (LD) foi determinado como sendo a média ($\bar{x}$) mais três desvios-padrão (s) de dez medidas do branco ($\text{LD} = \bar{x} + 3s$). As medições foram realizadas em ICP-MS X seriesII (Thermo) equipado com CCT (Collision Cell Technology). Antes das medidas o instrumento foi ajustado, conforme recomendado pelo fabricante. Os isótopos ^7Li , ^9Be , ^{45}Sc , ^{71}Ga , ^{89}Y , ^{91}Zr , ^{93}Nb , ^{95}Mo , ^{133}Cs , ^{137}Ba , ^{139}La , ^{140}Ce , ^{141}Pr , ^{143}Nd , ^{147}Sm , ^{151}Eu , ^{157}Gd , ^{159}Tb , ^{163}Dy , ^{165}Ho , ^{166}Er , ^{169}Tm , ^{172}Yb , ^{175}Lu , ^{180}Hf , ^{181}Ta , ^{182}W , ^{208}Pb , ^{209}Bi , ^{232}Th , ^{238}U foram medidos na configuração normal. Os isótopos ^{51}V , ^{52}Cr , ^{59}Co , ^{60}Ni , ^{63}Cu , ^{66}Zn , ^{85}Rb , ^{88}Sr , ^{114}Cd , ^{118}Sn e ^{121}Sb foram medidos com a CCT. A calibração do instrumento foi efetuada com soluções multielementares preparadas gravimetricamente a partir de soluções-padrão monoelementares de

100 mg/L (AccuStandards). O controle de qualidade foi efetuado pela análise dos materiais de referência: GS-N (granito) e BRP-1 (basalto)

Para essas amostras selecionadas também se considerou os resultados dos demais elementos traço, pois entendeu-se que são mais confiáveis (em termos de cuidados metodológicos para fins acadêmicos), além de maior precisão e limites de detecção menores. Isso é especialmente importante para os elementos Sr, Rb, Sm, Nd, U, Th e Pb, por serem utilizados como parâmetros dos sistemas isotópicos, bem como mais sensíveis à propagação de erros. Os diagramas da Figura 2.1 comparam os resultados químicos das amostras analisadas nos dois laboratórios, onde no geral há uma boa

Figura 2.1 – Diagramas confrontando resultados de análises de elementos traços obtidas em dois laboratórios: AcmeLabs (abscissa, X) vs. UNICAMP (ordenada, Y). Algumas escalas são logarítmicas. A linha tracejada representa a proporção 1:1 ideal. A linha vermelha nos elementos Zr e Hf representa o *trend* de discrepância nas rochas supersaturadas em sílica e ricas em zircão.

correlação 1:1 ideal. Entretanto, vários elementos apresentaram valores mais elevados e dispersos relativos às análises do AcmeLabs, principalmente para aqueles mais baixos. Os elementos Zr e Hf, obtidos para as rochas com quartzo, mostram uma tendência de valores muito mais altos para as análises da UNICAMP. Essas rochas são ricas em zircão e possivelmente os métodos de digestão ácida da AcmeLabs não foram eficientes em dissolvê-los, sendo assim, os resultados relativos a esses dois elementos obtidos nesse laboratório foram desconsiderados.

Posteriormente, mais 4 amostras (MAI027, MAI168, MAI194C e MAI226) foram analisadas nos Laboratórios de Fluorescência de Raios-X e de Química e ICP-AES/MS do Núcleo de Apoio à Pesquisa Geoanalítica-USP. Essas amostras seguiram exatamente as mesmas rotinas de preparação e foram entregues aos laboratórios para análise.

A utilização de diferentes laboratórios e métodos para a determinação da geoquímica deveu-se a fatores circunstanciais, mas não comprometeram a confiabilidade dos resultados. Os elementos analisados com seus limites de detecção encontram-se na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Limites de detecção (óxidos, em % de peso; elementos traço, em ppm) para as análises de geoquímica elemental realizadas em diferentes laboratórios. A- AcmeLabs, óxidos via FRX, traço via ICP-AES/ICP-MS; B- UNICAMP, traço via ICP-MS; C- Geoanalítica-USP, óxidos via FRX, traço via ICP-MS. (*) elementos analisados via FRX.

	A	B	C		A	B	C
SiO ₂	0,01		0,030	Ni	0,5	0,2	5*
TiO ₂	0,01		0,003	Sn	0,5	0,08	
Al ₂ O ₃	0,01		0,02	Co	1	0,02	6*
Fe ₂ O ₃	0,01		0,010	V	10	0,1	9*
MnO	0,01		0,002	W	0,5	0,01	
MgO	0,01		0,01	Ga		0,009	9*
CaO	0,01		0,01	Zn	5	3,4	2*
Na ₂ O	0,01		0,02	Cu	0,5	0,2	5*
K ₂ O	0,01		0,010	Ag	0,5		
P ₂ O ₅	0,01		0,003	As	5		
SO ₃	0,002		0,01	Se	5		
LOI			0,01	Mo	0,5	0,02	
				Bi	0,5	0,006	
Li	0,5	0,03		Cd	0,5	0,02	
Cs		0,004	0,01	Sb	0,5	0,01	
Rb	0,5	0,2	0,01	La	0,5	0,01	0,01
Ba	5	0,08	0,50	Ce	5	0,02	0,01
Be	5	0,04		Pr		0,006	0,01
Sr	5	0,07	0,01	Nd		0,009	0,08
Pb	0,5	0,05	0,02	Sm		0,007	0,01
Th	0,5	0,003	0,01	Eu		0,003	0,01
U	0,5	0,03	0,01	Gd		0,006	0,01
Zr	0,5	0,04	0,03	Tb		0,003	0,01
Hf	0,5	0,005	0,01	Dy		0,003	0,01
Ta	0,5	0,003		Ho		0,003	0,01
Y	0,5	0,02	0,01	Er		0,004	0,01
Nb	0,5	0,05	0,01	Tm		0,02	0,01
Sc	1	0,10	14*	Yb		0,005	0,01
Cr	1	0,4	13*	Lu		0,002	0,01

2.5.3 Tratamento dos dados e classificação

A classificação das unidades do MAI seguiu essencialmente critérios petrográficos e geológicos para as rochas faneríticas, como sugerido por Le Maitre (2002). Entretanto, as características químicas também foram levadas em consideração, como variações nos teores de elementos traço e ETRs, índices geoquímicos e mineralogia normativa. Essas informações foram cruciais para o entendimento do comportamento mineralógico de algumas unidades e suas variações. As unidades traquíticas e diques seguiram prioritariamente a classificação química. Os índices petrológicos utilizados encontram-se na Tabela 2.5. Os índices A/NK e A/CNK são de acordo com Shand (1943) e R1-R2 segundo De La Roche *et al.* (1980). As fórmulas químicas ideais dos minerais estão de acordo com Anthony *et al.* (2017). Para o cálculo da mineralogia normativa CIPW utilizou-se a razão $FeO/(FeO + Fe_2O_3)$ de acordo com Middlemost (1989), sendo 0,5 para as rochas classificadas como fonolito, traquito e riolito no diagrama TAS, 0,4 para nefelinito e traquiandesito e 0,3 para traquibasalto.

Nos diagramas multi-elementares, os elementos traço foram normalizados pelo modelo de manto pirolítico, *Primitive Mantle*, e os ETRs pelo condrito CI, ambos segundo McDonough and Sun (1995). Os resultados foram tratados com o auxílio dos programas Microsoft Excel 2013 e GCDkit 3.00 (Janoušek *et al.*, 2006), seguindo procedimentos e recomendações amplamente utilizados na área da petrologia de rochas ígneas.

2.6 Geoquímica isotópica

Dezoito amostras foram selecionadas para análises dos isótopos de Sr, Nd e Pb em rocha total. As análises deram-se em duas etapas, primeiramente foram escolhidas dez amostras (MAI030, MAI036, MAI070B, MAI090, MAI092I, MAI108II, MAI110, MAI114, MAI160 e MAI166I) que representavam os litotipos principais do maciço. Posteriormente, viu-se a necessidade de acrescentar mais oito amostras (MAI046E, MAI053I, MAI122, MAI130, MAI226, MAI027, MAI168 e MAI194C) incluindo diques e encaixantes. Destas últimas, as quatro primeiras foram preparadas no mesmo lote

Tabela 2.5 – Fórmulas para cálculo dos índices petrológicos utilizados.

Índice	Nome	Fórmula
mg#	Número de magnésio	$100 * MgO / (MgO + FeO)$, mol %
IA	Índice de peralcalinidade	$(Na_2O + K_2O) / Al_2O_3$, mol %
A/NK		$Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O)$, mol %
A/CNK	Saturação de alumina	$Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$, mol %
R1		$4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$, mol %
R2		$Al + 2Mg + 6Ca$, mol %
ID	Índice de diferenciação	Q + or + ab + ne + lc + ks, % normativa
Eu/Eu*	Anomalia de Eu	$Eu_N / \sqrt{(Sm_N * Gd_N)}$, teores normalizados por C1
Ce*	Anomalia de Ce	$Ce_N / \sqrt{(La_N * Pr_N)}$, teores normalizados por C1

que as anteriores, e as restantes foram preparadas separadamente seguindo exatamente os mesmos procedimentos (descritos no item 2.5.1).

As amostras em pó foram encaminhadas ao Laboratório de Espectrometria do Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo) – USP onde seguiram procedimentos químicos em laboratório limpo classe 10.000, providos de capelas de fluxo laminar classe 100. Toda a água e ácidos empregados nas análises passaram por procedimentos de purificação. A água foi filtrada, destilada, e então purificada num sistema Milli-Q de remoção de íons. Os ácidos utilizados (HNO₃, HCl, HF e HBr) foram purificados em destiladores de quartzo sub-boiling DST-1000 e/ou garrafas de destilação sub-boiling de teflon. A dissolução das amostras foi realizada por digestão ácida, utilizando-se em etapas distintas HNO₃+ HF e HCl em um bquer de teflon (SAVILLEX®), à temperatura de 100°C em um “clean box” ou empregadas bombas tipoPARR® inseridas em cápsulas de aço inox, aquecidas à temperatura de 150°C, em estufa.

As curvas de AFC e *mixing* foram calculadas com o programa FC–AFC–FCA and mixing modeler (Ersoy & Helvacı, 2010).

2.6.1 Método Sr/Sr

A separação do Sr foi realizada utilizando-se a resina específica para Sr (Sr Spec), e eluído com HNO₃ 0.05M. As amostras de Sr foram depositadas em filamento simples de tântalo com adição de solução de H₃PO₄. As razões foram obtidas por espectrometria de massa por ionização térmica (TIMS) em um espectrômetro Thermo Triton. Para cada amostra foram efetuadas 200 medições e a incerteza calculada para 2σ. As razões isotópicas ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr foram normalizadas para o valor de ⁸⁶Sr/⁸⁸Sr = 0,1194. O branco de Sr medido durante as análises foi de 112 pg. Valor médio para a razão ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr do padrão NBS-987 foi igual 0.710242 ± 0.000023.

As razões iniciais ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr_i foram calculadas pelo programa GCDkit 3.00 (Janoušek *et al.*, 2006).

2.6.2 Método Nd/Nd

A separação das terras raras foi realizada em duas etapas, a primeira com a resina específica para terras raras (RE spec) e a segunda utilizando a resina LN spec para a separação do Nd e do Sm. As amostras de Sm foram depositadas em filamento simples de tântalo com adição de H₂O MilliQ. As razões são obtidas por espectrometria de massa por ionização térmica (TIMS), utilizando-se o espectrômetro Thermo Triton. Para cada amostra foram efetuadas 45 medições e a incerteza é calculada para 2σ. As amostras de Nd foram depositadas em filamento paralelo de rênio com adição de H₂O MilliQ. As razões foram obtidas por espectrometria de massa por ionização térmica (TIMS) em um espectrômetro Thermo Triton. Para cada amostra foram efetuadas 150 medições e incerteza calculada para 2σ. As razões isotópicas ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd (medidas como Nd+) foram normalizadas para o

valor de $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,7219$ (DePaolo, 1981). Branco de Nd medido durante as análises foi de 389 pg. Valor médio para a razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ do padrão JNdi-1 foi de $0,512097 \pm 0,000008$.

As razões iniciais $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_i$ e os εNd e T_{DM} foram calculadas pelo programa GCDkit 3.00 (Janoušek *et al.*, 2006) de acordo com (Liew & Hofmann, 1988).

2.6.3 Método Pb/Pb

As amostras dissolvidas foram submetidas à purificação de Pb, através da técnica de troca iônica por uma coluna de polietileno Biorad® adaptada para a diminuição do fluxo contendo resina Biorad AG1-X8®, 200-400 mesh, pré-tratada. Após o condicionamento da resina, a amostra foi adicionada e a remoção de outros íons feita com HBr 0,7 M. A eluição do Pb foi feita com HCl 6,0 M. Em seguida, H_3PO_4 foi adicionado à solução que levada a secar (Babinski, 1993). As amostras foram depositadas em filamento de rênio de arranjo simples, com adição de sílica-gel ultrapura (Cameron *et al.*, 1969). As razões isotópicas de Pb foram obtidas por espectrometria de massa por ionização térmica (TIMS), utilizando-se o espectrômetro FINNIGAN MAT 262. As composições isotópicas obtidas foram corrigidas para o fracionamento de massa, em função dos valores obtidos para o padrão NBS 981 analisados sob condições similares, com valores $\pm$ desvio padrão (1σ) de: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16,898 \pm 0,004$; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15,440 \pm 0,005$ e $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36,539 \pm 0,017$. As razões isotópicas foram corrigidas para fracionamento de massa de 0,095%/u.m.a. Erro $2\sigma\%$ - Desvio padrão 2σ (número médio de medidas = 100). O branco total medido durante as análises foi de 28 pg.

2.7 Geocronologia

Foram determinadas as idades de zircão correspondentes a sete amostras no Laboratório de Geocronologia de Alta Resolução GEOLAB do Instituto de Geociências da USP via Microsonda Iônica de Alta Resolução, do tipo SHRIMP II e/MC.

As alíquotas das amostras destinadas à separação de minerais foram preparadas no Laboratório de Separação do Geoanalítica e do CPEGeo seguindo as seguintes etapas: I) fragmentadas com martelo e marreta; II) processadas em moinho de discos de tungstênio; III) separadas na granulção ideal (0,150 a 0,060 mm) utilizando jogos de peneiras e um peneirador vibratório suspenso; IV) concentradas os minerais pesados em uma mesa vibratória do tipo Wiffley; V) separadas dos minerais magnéticos em um separador magnético tipo Frantz; VI) concentradas os minerais pesados por densidade em bromofórmio ($\text{CHBr}_3 - 2,89 \text{ g/cm}^3$) e iodeto de metileno ($\text{CH}_2\text{I}_2 - 3,32 \text{ g/cm}^3$); VII) os cristais melhores de zircão foram pinçados manualmente utilizando uma lupa binocular; VIII) os grãos foram montados em pastilhas (*mounts*) de resina epóxi; IX) e obtidos imagens em luz transmitida e por catodoluminescência (CL), bem como imagens por elétrons retroespalhados (BSE), em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo Quanta 250 FEG equipado com um XMAS CL

(catodoluminescência), que operou com potencial de aceleração de 15 kV, distância de trabalho de 16,9 mm, detector PMD, emissão do filamento 100 μ A e magnificação de 95 a 130 vezes; X) e por fim as montagens foram metalizadas com ouro ($\sim 3 \mu$ m).

As amostras de grãos de zircão foram separadas em dois *mounts*, A (MAI036, MAI108II e MAI166I) e B (MAI070B, MAI090, MAI092I e MAI110), cada amostra contando com 50 a 70 grãos (15 grãos na amostra MAI036), dos quais foram selecionados de 12 a 16 cristais de tipologia variada para serem datados. No decorrer das análises, cada quatro medidas na amostra mediu-se um cristal do padrão Temora 2, de idade $416,78 \pm 0.33$ Ma (Black *et al.*, 2004) para o devido controle e correções.

As condições analíticas do feixe primário possuem fenda de *Kohler* de 120 μ m, diâmetro do feixe de 30 μ m e densidade do feixe de O_2 de 2,5 a 7 η A. O feixe secundário possui fenda de 80 μ m, resolução para as massas de $^{196}(Zr_2O)$, ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{238}U , $^{248}(ThO)$ e $^{254}(UO)$ variando entre 5000 e 5500 (1%) e resíduos menor que 0,025 e energia da fenda aberta. As características mais detalhadas do aparelho e dos respectivos procedimentos analíticos são descritos em Sato *et al.* (2014)

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL E MAGMÁTICO

A região onde se insere o Maciço Alcalino de Itatiaia possui uma história geológica complexa. O maciço está situado no limite entre os Orógenos Brasília e Ribeira, de idade Brasiliana, onde se desenvolveu um sistema de riftes cenozoicos formados pela reativação de antigas zonas de cisalhamento. Essa reativação está relacionada à abertura do oceano Atlântico Sul, resultando no intenso vulcanismo toleítico e alcalino ao redor da bacia do Paraná e na região costeira da região sudeste do Brasil.

3.1 Embasamento pré-cambriano

O MAI intrude metapelitos, ortognaisses e granitos da Província Mantiqueira (Figura 3.1). Segundo Heilbron *et al.* (2004), a Província Mantiqueira é constituída pelos orógenos Araçuaí, Ribeira, Dom Feliciano e São Gabriel, e pela zona de interferência entre os orógenos Brasília e Ribeira. Desta zona de interferência para sul, até a borda norte do maciço cratônico de Luis Alves, estende-se um conjunto de unidades cujas relações geotectônicas com o Orógeno Ribeira são ainda dúbias e que, em parte, poderiam pertencer à extremidade sul do Orógeno Brasília. Em função disto, estas unidades estão agrupadas nos terrenos Apiaí-Guaxupé e Embu.

Heilbron *et al.* (2004) faz uma síntese da compartimentação tectônica da extremidade sul do Orógeno Brasília e do Orógeno Ribeira, resumida abaixo.

A parte sul do Orógeno Brasília mostra *trend* estrutural NNW-SSE e é subdividida em *nappes* com empilhamento tectônico vergente para E-ESE, rumo ao Cráton do São Francisco ou tangente à sua borda meridional. Esta etapa colisional neoproterozóica (Colisão I) é a mais antiga da Orogênese Brasiliana no Segmento Central da Província Mantiqueira, tendo atingido seu ápice em cerca de 630-625 Ma. Resultou da colisão entre a borda sul-sudoeste da paleoplaca São Francisco-Congo e outra placa, situada a W-SW, atualmente encoberta pelas sequências deposicionais fanerozóicas da Bacia do Paraná. As *nappes* da parte sul do Orógeno Brasília podem ser agrupadas em dois conjuntos: as *nappes* inferiores e as *nappes* superiores. As *nappes* inferiores (e.g. Socorro) registram metamorfismo que atinge a fácies granulito de pressão relativamente alta e guardam relação paleogeográfica com o

Figura 3.1 – Mapa geológico da porção sul do Orógeno Brasília (Campos Neto *et al.* 2010). A localização do MAI está marcada pelo retângulo preto.

Cráton do São Francisco. As *nappes* superiores (e.g. Andrelândia) apresentam metamorfismo de pressão mais baixa e inúmeros corpos granitóides cálcio-alcalinos, em parte interpretados como remanescentes de um arco magmático cordilherano.

O Orógeno Ribeira, que apresenta *trend* estrutural NE-SW, resulta da interação entre o Cráton do São Francisco e outra (s) placa (s) e/ou microplaca(s) e/ou arco de ilhas situado(s) a sudeste deste cráton, bem como com a porção sudoeste do Cráton do Congo. Esta segunda etapa de colisão continental (Colisão II, cerca de 580 Ma) resultou no empilhamento de terrenos de leste para oeste-noroeste. Como a colisão entre estes terrenos foi oblíqua, a deformação principal exibe clara partição entre zonas com predomínio de encurtamento frontal e zonas com componente transpressivo dextral. Assim, contrastando com a extremidade sul do Orógeno Brasília, os limites entre os compartimentos tectônicos são representados por empurrões com mergulhos mais íngremes (>30°), ou por zonas de cisalhamento oblíquas.

Esses orógenos caracterizam-se por um grande volume de magmatismo granítico cálcio-alcalino de alto K pré-, sin- e pós-tectônico. O magmatismo pós-colisional é dominado por granitos metaluminosos e quartzo monzonitos indeformados com abundantes enclaves dioríticos e evidências isotópicas de mistura entre magmas de origens crustais e mantélicas (Valeriano *et al.*, 2011, 2016; Tupinambá *et al.*, 2012; Carvalho *et al.*, 2014; Martins *et al.*, 2016). Ocorrem em faixas de direção NE

principalmente no Terreno Oriental e *Nappe* Socorro, como grandes *stocks*, *sills*, diques e outros corpos pequenos associados com aplitos e pegmatitos (Valeriano *et al.*, 2016).

A porção sudeste do MAI intrude granada-sillimanita-muscovita xistos do grupo Embú (Terreno Paraíba do Sul) e (granada)-biotita gnaisses bandados e anfibolitos do Grupo Raposo (terreno Ocidental), da Faixa Ribeira (Heilbron *et al.*, 2004, 2016; Mendes *et al.*, 2006; Trouw *et al.*, 2013). Segundo a orientação regional ENE-WSW, granitos ediacaranos do Domínio Andrelândia também ocorrem, localmente representados por biotita granitos porfíricos e foliados das suítes Serra Selada e do Maromba (Mendes *et al.*, 2006). O limite entre as faixas Ribeira e Brasília é marcado pela Zona de Cisalhamento do Rio Jaguari (Campos Neto *et al.*, 2011), que coincide com o limites do Rifte Continental do Sudeste Brasileiro. A porção noroeste intrude paragneisses metatexíticos, hornblenda-biotita ortogneisses migmatíticos e leucogranitos neoproterozóicos da *Nappe* Socorro-Guaxupé, Faixa Brasília (Heilbron *et al.*, 2004; Campos Neto *et al.*, 2011; Trouw *et al.*, 2013)

3.2 Tectônica meso-cenozóica e o Rifte Continental do Sudeste do Brasil

A partir do Jurássico Superior iniciou-se o processo de abertura do Atlântico Sul após longo período de calma tectônica, Reativação Wealdeniana (Almeida, 1967, 1969), 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 (Almeida, 1983).

Durante o Cretáceo Superior (pós vulcanismo Serra Geral) iniciou-se o desenvolvimento do Rifte Continental do Sudeste Brasileiro (RCSB; Riccomini, 1989). Este rifte, ou sistema de riftes, desenvolveu-se sobre o Orógeno Ribeira, aproveitando-se da intensa trama de zonas de cisalhamento com direção preferencial ENE a E, paralelas à costa do Atlântico, que foram reativadas como falhas normais no Paleógeno e transcorrentes no Neógeno (Figura 3.2). Atualmente é representado por uma série de bacias tafrogênicas que ocorrem do Paraná até o norte do Rio de Janeiro (e.g. Bacias de Curitiba, São Paulo e Taubaté, e Baixada Fluminense), inclusive com ocorrência de rochas vulcânicas (ankaramitos) nas bacias de Itaboraí e Volta Redonda (Almeida, 1976; Melo *et al.*, 1985; Riccomini, 1989; Riccomini *et al.*, 2004; Zalán & Oliveira, 2005).

A reativação desses falhamentos antigos está vinculada à evolução da margem continental, entretanto os mecanismos geradores deste processo ainda não são muito claros (Riccomini *et al.*,

2004). O desenvolvimento de um megaplanalto de natureza epirogenética, responsável pelo desenvolvimento da Superfície de Aplainamento Japi durante o Cretáceo Superior (Almeida, 1976; Almeida & Carneiro, 1998), é registrado por espessos pacotes de rochas sedimentares nas Bacias de Santos e Campos. Esse soerguimento teria se desenvolvido em resposta à passagem da Placa Sul-Americana sobre uma anomalia térmica (*hot spots* de Trindade). Tal situação tornou-se isostaticamente instável, e o colapso gravitacional do megaplanalto estendeu-se entre 58 e 20 Ma com a reativação de antigos falhamentos e o abatimento de diversas áreas lineares formando corredores de grábens (*rifts*) paralelos à costa. A origem dos falhamentos está relacionada com as paleo-tensões locais desencadeadas por esse soerguimento, e são reflexos de anisotropias mecânicas do manto subjacente. Tais anisotropias seriam evidenciadas pela deformação dúctil e orientação preferencial de eixos cristalográficos de olivina encontradas em xenólitos mantélicos e pelas heterogeneidades na propagação de ondas sísmicas sob riftes continentais. Toda essa tectônica teria sido responsável pela colocação de diversos corpos e diques alcalinos de 82 a 52 (Ferrari, 2001; Zalán & Oliveira, 2005).

3.3 O magmatismo alcalino meso-cenozóico

O magmatismo alcalino dominante em toda Plataforma Sul-Americana é de idade mesozóica, com a maioria das ocorrências concentrando-se na região a sul da latitude 15°S. Apresenta uma grande variação composicional, desde ultrabásico até ácido, sendo que, em alguns complexos extremamente diferenciados, há presença de sienitos insaturados até supersaturados. Conhecem-se mais de cem centros intrusivos alcalinos mesozóicos, simples ou múltiplos, e alguns centros vulcânicos, além de associações de diques ou enxames de diques, na porção meridional da placa Sul-Americana. Estes se dispõem ao longo de arcos e flexuras em torno dos limites da Bacia do Paraná, onde afloram as mais numerosas ocorrências, e da região costeira marginal à Bacia de Santos, nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro (Gomes & Comin-Chiaramonti, 2005).

A ocorrência dos corpos alcalinos meso-cenozóicos na porção centro-sudeste da Plataforma Sul-Americana mostra um claro controle tectônico por descontinuidades crustais, principalmente por zonas de falhas extensionais ou transcorrentes, ao longo das bordas atuais das bacias sedimentares e riftes (Figura 3.3). A herança de descontinuidades crustais proterozóicas desempenhou um importante papel na colocação desses corpos, pois a mudança nos campos de esforços e reativação de estruturas regionais causadas pelo processo diastrófico iniciado no Jurássico, produziram uma grande variedade de fraquezas estruturais por onde o magma alcalino pôde alojar-se ou chegar à superfície (Almeida, 1971, 1983; Algarte, 1972; Riccomini *et al.*, 2005; Zalán & Oliveira, 2005). Além disso, as áreas onde se desenvolveram as províncias alcalinas foram mantidas sob uma importante anomalia térmica por um tempo suficiente para a litosfera incorporar uma quantidade de calor necessária para a geração desses

Figura 3.2 – Mapa de distribuição dos quatro riftes do sistema RCSB: (A) Paraíba do Sul, (B) Litorâneo, (C) Ribeira, e (D) Marítimo; de suas falhas limitantes, preenchimentos sedimentares, intrusões/lavas alcalinas, charneira cretácea das bacias de Santos/Campos e o Rio Paraíba do Sul. (Zalán & Oliveira, 2005).

magmas (Ernesto *et al.*, 2002; Marques & Ernesto, 2004; Zalán & Oliveira, 2005). Por outro lado, há autores que relacionam este magmatismo à presença de plumas mantélicas ou *hotspots*, sendo algumas dessas manifestações tectônicas interpretadas como influências do impacto dessas plumas sob a litosfera (e.g. Gibson *et al.*, 1995; Thompson *et al.*, 1998; Thomaz Filho & Rodrigues, 1999). Entretanto, esta hipótese esbarra em alguns indícios (isotópicos, geocronológicos e paleomagnéticos) que não corroboram com o modelo proposto (Ernesto *et al.*, 2002; Marques & Ernesto, 2004; Riccomini *et al.*, 2005).

O magmatismo toleítico e alcalino da Plataforma Sul-Americana mostra uma tendência isotópica Sr-Nd bem definida, compreendendo os componentes EM1 e HIMU. Essa assinatura isotópica é interpretada como originada de um manto litosférico subcontinental com diferentes graus de enriquecimento (e.g. Gibson *et al.*, 1995; Comin-Chiaramonti *et al.*, 1997, 2005; Thompson *et al.*, 1998). Comin-Chiaramonti *et al.* (2005) chamam a atenção para o enriquecimento da assinatura isotópica de oeste para leste, sugerindo que a origem do magmatismo está relacionado a heterogeneidades no manto litosférico, tanto em grande, quanto em pequena escala, os isótopos de Pb também sustentam

Figura 3.3 – Províncias alcalinas da região centro-sul da Plataforma Sul-Americana e suas relações com as maiores feições estruturais: 1) Bacia do Paraná, Ordoviciano Inferior a Cretáceo Superior; 2) derrames da Formação Serra Geral, Cretáceo Superior; 3) Bacia de Bauru, Cretáceo Superior; 4) limites das bacias marginais; 5) províncias alcalinas; 6) idade das ocorrências alcalinas (losangos, Permo-Triássico; quadrados, Cretáceo Inferior; triângulos, Cretáceo Superior; círculos, Paleógeno); 7) arcos (AX, Alto Xingu; SV, São Vicente; BJ, Bom Jardim de Goiás; PG, Ponta Grossa; RG, Rio Grande; PP, Ponta Porã); 8) Sinclinal de Torres; 9) maiores zonas de fraturas (Rifts: MR, Mercedes; RM, Rio das Mortes; MG, Moirão; SR, Santa Rosa; AR Assunção. Lineamentos: TB, Transbrasiliano; AP, Alto Paranaíba; MJ, Moji-Guaçu; CF, Cabo Frio; RT, Rio Tietê; SL, São Carlos-Leme; PR, Parapanema; PI, Piedade; GP, Guapiara; JC, São Jerônimo-Curiúva; RA, Rio Alonzo; PQ, Rio Pequiri; AM, Santa Lúcia-Aiguá-Merin). Modificado de Riccomini *et al.* (2005).

essa consideração. Nota-se também que a assinatura da Ilha de Trindade é diferente das províncias que estaria relacionada, Alto Paranaíba, Serra do Mar e Lineamento Magmático de Cabo Frio, o que não corroboraria com o modelo de Thompson *et al.* (1998).

O magmatismo alcalino de Tristão da Cunha e dos basaltos da Cadeia de Walvis e do Alto do Rio Grande possuem características isotópicas distintas, ou se sobrepõe apenas parcialmente ao magmatismo toleítico e alcalino da Província Paraná-Etendeka. Portanto, também neste caso, a contribuição de componentes mantélicos derivados da Pluma de Tristão da Cunha também é questionável. Sendo assim, esses autores assumem que a hipótese da causa do magmatismo da Província Angola-Etendeka-Paraná não possui contribuição de uma pluma astenosférica, exceto talvez por alguma perturbação termal. Por outro lado, Garda *et al.* (1995) e Thompson *et al.* (1998) sugerem a influência da fusão de um manto astenosférico na origem de algumas ocorrências na Província Serra do Mar que possuem composições isotópicas Sr-Nb próximas ao *Bulk Earth*, ou em um quadrante empobrecido.

No geral, essas informações mostram que a geração desse magmatismo necessita de fontes enriquecidas no manto. Esse enriquecimento poderia estar relacionado aos processos metassomáticos ocorridos durante os eventos colisionais do Brasiliano, já que as idades modelo T_{DM} de Nd variam entre 0,6 e 0,7 Ga (Comin-Chiaramontiet *al.*, 2005).

3.3.1 O Lineamento Magmático de Cabo Frio

O Lineamento Magmático do Cabo Frio (LMCF), primeiramente definido por Sadowski & Dias Neto (1981) como “lineamento sismo-tectônico de Cabo Frio” e posteriormente por Almeida (1991) como “alinhamento magmático de Cabo Frio”, foi estabelecido como uma província independente por Riccomini *et al.* (2005) com pelo menos duas fases de magmatismo alcalino, do Cretáceo Superior ao Paleógeno. Segundo Almeida (1991), representa uma feição estrutural WNW-ESE desenvolvida desde Jaboticabal, no interior do Estado de São Paulo, até a região do limite entre as crostas continental e oceânica, no Banco Almirante Saldanha, no Estado do Rio de Janeiro. Consiste em uma faixa curva de 60 km de largura por 1150 km de comprimento que inclui 26 corpos alcalinos intrusivos, como grandes maciços, *stocks*, *plugs*, centros efusivos e um grande número de diques (Figura 3.4). A maior parte das ocorrências situa-se entre os maciços de Passa Quatro-Itatiaia (SP-MG-RJ) e Morro de São João (RJ). É constituída essencialmente de nefelina sienitos, sienitos, fonolitos e traquitos, com característica presença de leucita e, especialmente, pseudoleucita. Rochas máficas ocorrem apenas como diques, *sills* e lavas. Dentre esses centros inclui-se Poços de Caldas, o maior complexo alcalino do Brasil e um dos maiores do mundo, com 800 km². Outras intrusões importantes são, de oeste para leste, Passa Quatro, Itatiaia, Morro Redondo, Tinguá, Mendanha, Itaúna, Tanguá, Soarinho, Rio Bonito, Morro de São João e Cabo Frio.

Uma característica interessante das ocorrências associadas ao RCSB e distribuídas ao longo do LMCF é a aparente progressão de idades de oeste para leste variando de, aproximadamente, 84 a 52 Ma. Este fato chamou atenção de vários pesquisadores e muitos trabalhos foram feitos a seu respeito para explicar essa progressão, associando a círculos mínimos de falhas transformantes (e.g. Marsh, 1973), a plumas mantélicas (e.g. Thompson *et al.*, 1998) e falhas subcrustais (Almeida, 1991; Riccomini *et al.*, 2005; Zalán & Oliveira, 2005). Apesar disso, as suas rochas não são tão bem conhecidas e à exceção de alguns maciços, carecem de estudos estruturais, geoquímicos, isotópicos e geocronológicos mais detalhados. Ao se examinar os dados geocronológicos com mais cuidado, observa-se que esta variação não é tão linear, por exemplo, Jaboticabal, a ocorrência mais ocidental, possui idade K-Ar de 54 Ma (Gomes & Valarelli, 1970), indo progressivamente para leste, há Poços de Caldas com idades Ar-Ar entre 84 e 76 Ma (Shea, 1992; Vlach *et al.*, 2003), lavas ankaramíticas de Volta Redonda e Itaboraí com 43 Ma (Riccomini & Rodrigues-Francisco, 1992), diques associados ao maciço de Mendanha de 82 a 54 Ma (Ferrari, 2001; Smith *et al.*, 2001), Morro de São João de 77 a 56 Ma (Ulbrich & Gomes, 1981; Sonoki & Garda, 1988; Sichel *et al.*, 1997; Thomaz Filho & Rodrigues, 1999) e Cabo Frio com 52 Ma (Ferrari, 2001). Além disso, poucos são os dados que oferecem segurança, sendo grande parte deles obtidos há muito tempo, com técnicas e equipamentos de precisão menor, gerando em alguns casos, erros consideráveis para o intervalo de tempo existente.

Além de estarem dentro ou preferencialmente nas bordas dos *rifts* do RCSB (com exceção do maciço alcalino de Poços de Caldas), outro fato a ser levado em consideração é que a maioria dos corpos alcalinos da província estão em contato ou intrudindo granitos sin, tardi ou pós-orogênicos. Dentre os granitos orogênicos ocorrem peraluminosos e calcioalcalinos de alto potássio (Tupinambá *et al.*, 2012; Janasi *et al.*, 2015; Alves *et al.*, 2016), sendo esses últimos os que apresentam maior relação com as ocorrências alcalinas meso-cenozóicas na região, também tipicamente potássicas. Já os granitos anorogênicos são tipicamente potássicos e apresentam um certo alinhamento onde se concentram juntamente com as ocorrências meso-cenozóicas, especialmente na Nappe Socorro e Domínio Apiaí e no Terreno Oriental (Valeriano *et al.*, 2011; Carvalho *et al.*, 2014)

Figura 3.4 – Mapa com a distribuição das ocorrências da Serra do Mar (conforme Almeida, 1983, 1991; Schobbenhaus et al., 1984; modificado), o *Rift* Continental do Sudeste do Brasileiro (RCSB; Riccomini, 1990), as principais unidades tectônicas do embasamento e os granitos sin, tardi e pós colisionais. Ocorrências alcalinas: associadas ao sistema de riftes continental (RCSB) – 1) Poços de Caldas, 2) Bom Repouso, 3) Caxambú, 4) Passa Quatro, 5) Itatiaia, 6) Morro Redondo, 7) Serra dos Tomazes, 8) Tinguá, 9) Mendanha-Mapicuru, 10) Itaúna, 11) Tanguá, 12) Soarinho, 13) Rio Bonito, 14) Morro de São João, 15) Cabo Frio; ao longo da costa paralelas à falha de Santos - 16) Ponte Nova; 17) Monte de Trigo, 18) São Sebastião, 19) Serraria, 20) Mirante, 21) Búzios, 22) Vitória; ocorrência a sul da PASM – 23) Ipanema. Rifts: grábens do Paraíba do Sul: SP- São Paulo, Tb- Taubaté, Qz- Queluz, RVR- Resende-Volta Redonda, BPS- Baixo Paraíba do Sul; grábens do Litorâneo: SB- Sete Barras, RI- Ribeira de Iguape, St- Santos, Ub- Ubatuba, Gb- Guanabara, BSJ- Barra do São João. Domínios e terrenos Brasileiros: SGN- Nappe Socorro-Guaxupé, SBB- Cinturão Brasília Sul, SRD- Domínio São Roque, APD- Domínio Apiaí, ET- Terreno Embú, Oct- Terreno Ocidental, ORT- Terreno Oriental, CFT- Terreno Cabo Frio. Compilado de: base cartográfica (Leite et al., 2004), tectônica cenozoica (Zalán & Oliveira, 2005), províncias alcalinas (Almeida, 1983, 1991) e demais referências no texto do item 2.2.

GEOLOGIA E PETROGRAFIA

Neste capítulo são apresentadas uma nova leitura sobre a geologia do MAI, com um mapeamento geológico detalhado e caracterização das unidades magmáticas identificadas, bem ilustrado no mapa geológico no ANEXO D. Essa nova leitura mereceu um artigo científico com todas as informações sobre a geologia e petrografia interpretada segundo um modelo geológico e petrológico evolutivo. Esse artigo, intitulado *“Nepheline Syenites to Syenites and Granitic Rocks of the Itatiaia Alkaline Massif, Southeastern Brazil: new geological insights into a migratory ring Complex”* foi escrito em inglês e submetido ao Brazilian Journal of Geology com vistas a uma edição dedicada à *Província ígnea do Paraná e o magmatismo relacionado* (ANEXO A). Portanto, é imprescindível sua leitura para a compreensão das informações apresentadas nesta tese.

A seguir encontra-se um resumo do manuscrito.

4.1 Resumo

O Maciço Alcalino de Itatiaia (MAI) está dentre as maiores ocorrências alcalinas meso-cenozóicas do Brasil, com aproximadamente 215 km² entre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Ocorre como um corpo alongado com 30 km de comprimento por 4,5 a 11,5 km de largura orientado segundo SE-NW ao longo de zonas de acomodação do Rifte Continental do Sudeste Brasileiro e intrudindo metapelitos, ortogneisses e granitos das faixas Ribeira e Brasília.

Novos dados de mapeamento geológico sugerem que o maciço evoluiu a partir de um centro magmático migratório, manifestando como um complexo anelar com sucessivas intrusões em forma de meia lua de sudeste para noroeste em três setores: Sudeste (S-SE), Central (S-C) e Noroeste (S-NW). Esses setores possuem características litológicas e geomorfológicas distintas, sugerindo diferentes origens e/ou estágios de evolução.

O S-SE não apresenta feições estruturais muito evidentes e é composta exclusivamente por nefelina sienitos, representando variedades miaskíticos a agpaíticos. A fácies mais insaturada está na borda em contato com a encaixante, localmente peraluminosa com a presença de coríndon modal e hercinita. Ocorrem diques fonolíticos afíricos, porfíricos (alguns com pseudoleucita) ou brechóides, além de um dique de nefelinito.

O S-C é formado pela estrutura anelar que intrude parcialmente a porção SE, apresentando um anel externo em forma de C sustentado por nefelina sienitos e fonolitos miaskíticos a agpaíticos. As fácies internas possuem forma de meia lua que migram para NW, sugerindo sucessivas intrusões. São compostas por diferentes unidades de pulaskitos, nordmarkitos e quartzo álcali feldspato sienitos, com tendência a aumentar a saturação em sílica para o centro. Um pequeno corpo de alaskito ocorre próximo ao centro. Diques de fonolito ocorrem nas regiões externas, enquanto que no interior ocorrem diques de traquito a riolito. A transição para o S-NW é feita por um 'pescoço' formado por quartzo sienito glomeroporfirítico com textura anti-rapakivi e enclaves microgranulares máficos. Também ocorrem corpos de traquitos brechóides a porfiríticos de matriz afanítica com fragmentos quase exclusivamente angulosos de granulação fina.

O S-NW aparentemente intrude essa zona de transição e também apresenta algumas estruturas em meia lua. Predomina nefelina sienitos, mas nordmarkitos ocorrem na borda norte. Localmente ocorre melagabro com textura cumulática e biotita monzonito. No centro da área também ocorre um *neck* vulcânico de traquito porfirítico a brechóide que se destaca na paisagem.

As variedades litológicas nos três setores apresentam-se como diferentes possíveis intrusões, cada uma com diferentes características petrográficas que podem ser divididas em cinco grupos: 1) nefelina sienitos sem plagioclásio, caracterizados por uma forte insaturação em sílica e uma tendência tardi-magmática agpaítica (comumente com lâvenita, hiortdahlita, rinkite, dentre outros minerais); 2) nefelina sienitos/pulaskitos com plagioclásio, que mostram-se menos insaturados em sílica e mais máficos, com diopsídio largamente substituído por magnésio-hastingsita e presença de plagioclásio (normalmente com textura anti-rapakivi); 3) série nordmarkito-granito, onde álcali feldspato quartzo sienitos e granito mostram uma variação progressiva nos teores de quartzo, índice de cor e granulação, enquanto os nordmarkitos não mostram uma clara ralação evolutiva; 4) associação anti-rapakivi, caracterizado pela textura porfirítica a glomeroporfirítica anti-rapakivi nas rochas e presença ocasional de enclaves microgranulares máficos arredondados; a 5) rochas básicas representadas pela ocorrência de um melagabro metassomantizado e um traquibasalto com relações geológicas não mostrando relações claras com os sienitos.

RESULTADOS ANALÍTICOS

A seguir são descritos de maneira sistemática os resultados das análises laboratoriais e ilustrados através de gráficos e diagramas.

5.1 Química mineral

O MAI caracteriza-se pela coexistência de rochas insaturadas e supersaturadas em sílica que variam de hololeucocráticas a melanocráticas, básicas a ácidas, peralcalinas a peraluminosas e sódicas a ultrapotássicas, o que reflete numa grande variação composicional dos minerais principais e diversidade da mineralogia acessória. Neste capítulo são apresentadas as características composicionais dos minerais principais e de alguns acessórios das principais unidades do MAI, com base na determinação química *in situ* por microsonda eletrônica. Os resultados das análises para todos os minerais estudados, bem como aquelas utilizadas para fins de cálculo dos parâmetros intensivos, encontram-se no ANEXO E.

5.1.1 Feldspato

O feldspato alcalino é o mineral predominante em todo o maciço, exceto no MG-mts, onde ocorre apenas plagioclásio, e no BtM, onde o plagioclásio ocorre em igual proporção. Geralmente encontra-se exsolvido, especialmente nas rochas supersaturadas em sílica. Plagioclásio também ocorre em menor proporção em algumas outras unidades, comumente como antecristais sobrecrecidos por feldspato alcalino. O diagrama An-Ab-Or (Figura 5.1) mostra a variação composicional dos feldspatos nas distintas fácies definidas, ilustradas em diagramas separadamente para os setores do Sudeste (S-SE), Central (S-C) e Noroeste (S-NW), e as diferenças existentes entre elas não somente dentro de uma unidade geológica, como também entre esses três (Tabela E.1).

No S-SE, as unidades apresentam composições mais constantes, tanto para o feldspato alcalino (que são mais potássicos), quanto para o plagioclásio. A composição do feldspato alcalino na fácies agpaítico do NeS-I é $An_{0-0,2}Ab_{23-28}Or_{72-77}$ (composição média reintegrada), enquanto na fácies peraluminosa é um pouco mais potássico $An_{0,2-1}Ab_{17-22}Or_{77-83}$ e o plagioclásio de $An_{36-40}Ab_{59-63}Or_{0,5-1}$. Já no BtHblNeS o feldspato alcalino possui composição mais intermediária, $An_{1-6}Ab_{40-48}Or_{47-55}$ (composição média reintegrada) e o plagioclásio menos cálcico de $An_{25-33}Ab_{66-74}Or_{1-2}$. De modo geral,

os valores de SrO e BaO chegam no máximo a 0,36 e 0,12% em peso, respectivamente, sendo o primeiro mais abundante na amostra MAI030 (NeS-I, peraluminosa).

No S-C, o feldspato alcalino tem uma composição média de $An_{0-6}Ab_{38-60}Or_{39-61}$. As composições mais potássicas ou mais sódicas possivelmente estão em desequilíbrio. Nas rochas supersaturadas em sílica são comuns bordas albiticas bem definidas. Na unidade BtHbIP possui uma tendência de aumentar o teor de An com o aumento de Ab. O plagioclásio constitui dois grupos composicionais, um com An_{39-43} , formado por núcleos de cristais na unidade BtHbIP, e outro com An_{23-32} , formado por regiões de borda e alguns núcleos nesta mesma unidade e núcleos nas unidades arpk-QzS e N I, apresentando em todos Or_{1-5} . De modo geral, SrO chega até 0,28% em peso no feldspato alcalino e entre 0,17 e 1,11% no plagioclásio, tendo uma aparente correlação positiva com An. Já o BaO chega até 0,55%.

No S-NW, as rochas com nefelina apresentam um feldspato alcalino de composição média de $An_{1-4}Ab_{44-61}Or_{54-61}$, além de um plagioclásio na amostra MAI160 (HbIP), com $An_{12-15}Ab_{82-85}Or_{3-4}$. No BtM, os feldspatos apresentam três grupos composicionais, cristais de plagioclásio na matriz e em núcleos de fenocristais com $An_{22-28}Ab_{66-76}Or_{2-6}$, cristais com textura semelhante, porém exibindo feições de reequilíbrio $An_{14-17}Ab_{55-67}Or_{17-32}$, com feldspato alcalino $An_{5-8}Ab_{32-46}Or_{45-62}$. Já o MG-mts possui plagioclásio de composição $An_{37-44}Ab_{55-62}Or_1$, com a maioria das análises compreendidas no intervalo An_{25-30} com feições de reequilíbrio. Também apresenta algumas porções, em contato com o anfibólio, com Ab_{98-99} na forma de cristal tabular e uma textura exsolvida em um emaranhado acicular muito fino de composição média $An_{11}Ab_{59}Or_{30}$. De modo geral, constituem dois grupos quanto aos teores de SrO, um com até 0,13% e outro variando de 0,22 a 0,45% (amostras MAI160 e 182C). Já os teores de BaO chegam até 0,63%, apresentando uma correlação negativa com An.

5.1.2 Nefelina

Nefelina é o feldspatóide dominante em todas as unidades insaturadas em sílica, à exceção de algumas amostras, onde a sodalita é mais importante e no dique MAI046F onde ocorre pseudoleucita. As unidades BtM e MG-mts apresentam nefelina normativa, porém não foi encontrada em lâmina. O diagrama Ne-Qz-Ks (Figura 5.2) mostra a diferença de composição entre as fácies nos distintos setores (Tabela E.2) e as temperaturas de equilíbrio dos cristais.

No S-SE, a nefelina possui uma composição média de $Ne_{73-79}Ks_{17-26}Qz_{2-6}$, sendo a unidade BtHbINeS a mais rica em Qz. As temperaturas de equilíbrio ficam abaixo de 750°C, provavelmente já reequilibradas. Nas amostras MAI030 e 036 (NeS I e BtNbINeS) apresentam valores de CaO entre 1,16 e 1,83% em peso, sendo essas amostras com a presença de plagioclásio. Os teores de Fe_2O_3 varia entre 0,54 e 1,37% nos núcleos da amostra MAI058I e 0,45 e 0,73% na amostra MAI060, ambas da fácies agpaítica da unidade NeS I. Para o restante os valores chegam no máximo a 0,27%.

No S-C, possui uma composição mais variada, com $\text{Ne}_{73-78}\text{Ks}_{15-29}\text{Qz}_{0-9}$. A amostra MAI208 destoa quanto ao teor de Qz, abaixo de 1,5%, enquanto todas as outras análises possuem acima de 4%. Os teores de CaO apresenta algumas diferenças, sendo significativas apenas nas amostras do BtP (a única com plagioclásio modal). As amostras MAI102 e 114 possuem exatamente a mesma distribuição, variando de 1,24 a 1,66%, enquanto a amostra MAI092I apresenta valores entre 0,50 e 0,84%. Já os valores de Fe_2O_3 variam entre 0,32 e 0,75%, exceto para a amostra MAI199, 1,30 a 1,68%.

No S-NW, a composição média é de $\text{Ne}_{74-77}\text{Ks}_{17-23}\text{Qz}_{3-7}$. Os teores de CaO variam de 0,87 a 1,23% no HblP e de 0,36 e 0,55% no NeS II, sendo esta a única fácies sem plagioclásio com teores significativos. Já os teores de Fe_2O_3 variam de 0,07 a 0,54% e 0,43 a 0,73% no HblP e NeS II, respectivamente.

Figura 5.1 – Diagrama dos componentes moleculares Ab – An – Or, em proporção molecular, para feldspatos dos diferentes setores do MAI. As linhas pontilhadas representam os limites de solução sólida de feldspatos ternários para as temperaturas na pressão de 1 kbar, segundo modelo termodinâmico de Elkins & Grove (1990).

Figura 5.2 – Diagrama dos componentes moleculares Ne – Qz – Ks, em proporção molecular, para nefelinas dos diferentes setores do MAI. Temperaturas de equilíbrio segundo Hamilton (1961). Legenda idem Figura 5.1.

5.1.3 Clinopiroxênio

O clinopiroxênio possui uma ampla variação composicional e segue a sequência geral augita, diopsídio, aegirina-augita e aegirina, como pode ser visto no diagrama Mg-Na-[Fe²⁺+Mn] (Figura 5.3) e na Tabela E.3.

No S-SE apresenta uma curva quase contínua de enriquecimento em Mg → Fe²⁺ → Na, porém formado por grupos de diferentes amostras. O BtHblNeS é composto exclusivamente por diopsídio, enquanto as duas amostras do NeS I variam de diopsídio a aegirina-augita (MAI060) e de aegirina-augita a aegirina (MAI058I). Os teores de Al₂O₃ variam de 0,68 a 4,07% em peso, com Al tetraédrico até 0,156 apfu, sendo ausente em poucas análises. MnO varia de 0,60 a 4,71%, enquanto TiO₂ e ZrO₂ atingem até 4,22% e 1,26%, respectivamente.

No S-C concentra-se em dois grupos distintos, BtP e arpk-QzS possuem apenas diopsídio, enquanto BtAgtNeS e AegN variam apenas de aegirina-augita a aegirina. Apenas o N I (MAI097B) apresenta uma variação diopsídio → aegirina. De modo geral, apresentam um menor enriquecimento em Fe²⁺, o que deixa uma curva de tendência mais direta do que o S-SE. Os teores de Al₂O₃ variam de 0,18 a 4,99%, sendo que no BtP é superior a 1,17%, enquanto nas outras unidades atingem no máximo

Figura 5.3 – Diagramas Mg – Na – (Fe²⁺ + Mn), em a.p.f.u., e Al_T vs. Ti, em a.p.f.u., para clinopiroxênios dos diferentes setores do MAI. Legenda idem Figura 5.1.

1,55%. Al^{IV} chega até 0,199 apfu. MnO varia de 0,16 a 4,26%, enquanto TiO_2 e ZrO_2 atingem no máximo 1,16 e 1,18%, respectivamente.

No S-NW as unidades com nefelina possuem apenas diopsídio, enquanto o BtM a augita. Os teores de Al_2O_3 variam de 1,16 a 3,57%. MnO e TiO_2 variam de 0,75 a 2,04% e 0,36 a 1,24%, respectivamente, enquanto ZrO_2 atinge até 0,24%.

5.1.4 Anfibólio

Em quase todas as litologias onde está presente, verifica-se que é clara a relação de substituição do piroxênio por anfibólio. Nas rochas insaturadas em sílica, o anfibólio é caracteristicamente cálcico, classificando-se como magnésio-hastingsita rica em Ti, à exceção da amostra MAI178 (MG-mts), na maioria ferro-pargasita, e na amostra MAI199 (BtAgtNeS) onde tem natureza sódico-cálcica a sódica, classificado como ferri-katophorita ou magnésio-arfvedsonita. Já nas rochas supersaturadas em sílica, ele é sódico-cálcico e classifica-se como richterita ou ferro-richterita.

Os três segmentos não apresentam diferenças composicionais significativas nos respectivos anfibólios presentes (Figura 5.4 e Tabela E.4). De modo geral, as amostras apresentam pouca variação composicional, tendo alguma importância apenas quanto ao #Mg, e quanto alguns elementos nas amostras MAI036 (BtHblNeS), 110 (QzAFS-I) e 178 (MG-mts).

5.1.5 Titanita

A titanita, de modo geral, apresenta teores elevados de Fe_2O_3 e Al_2O_3 , com até 5,41% e 3,96% de óxido em peso, respectivamente, além de Ce_2O_3 , ZrO_2 , Nd_2O_3 , Y_2O_3 , e Na_2O com até 2,81%, 2,48%, 1,94%, 1,46% e 1,43% em peso, respectivamente, sendo o Y_2O_3 significativo apenas nas unidades supersaturadas em sílica e Na_2O no BtAgtNeS e QzAFS-I. Nos três segmentos, a titanita não apresentou diferenças composicionais significativas (Tabela E.5).

O total integrado entre Fe^{3+} , Al e Zr (em a.p.f.u.) apresenta uma correlação negativa próxima a 1:1 com o Ti, sugerindo uma substituição entre esses elementos. Assim como a soma dos ETRs (La, Ce e Nd, além de Y) apresenta a mesma correlação com Ca (Figura 5.5). Porém, os ETRs não apresentam uma correlação definida com Fe^{3+} ou Al. A fórmula fixada em 3 cátions e 5 oxigênios apresenta uma certa deficiência no sítio do Ti, que varia de 0,918 a 1,002 a.p.f.u. e excesso no sítio do Ca, variando de 0,986 a 1,072 a.p.f.u., enquanto Si varia de 0,976 a 1,032 a.p.f.u. Isso possivelmente se deve à ausência de elementos importantes na análise, dado pela relativa abundância dos ETRs medidos.

5.1.6 Biotita

A maioria dos cristais de biotita apresenta texturas de substituição do anfibólio e, mais raramente, piroxênio. Apenas na unidade BtM e na fácies peraluminosa da unidade NeS-I possivelmente seja primária.

As análises mostram composições que classificam-se como flogopita a annita (Figura 5.6 e Tabela E.6), com $Mg/(Mg + Fe^{2+})$ variando de 0,172 a 0,745 e Al_{total} entre 0,729 e 1,824 a.p.f.u.. Fe^{IV} ocorre em várias unidades, especialmente nas do S-C, sendo ausente no S-SE. De modo geral possui teores importantes de TiO_2 , MnO e BaO , chegando até 6,82%, 3,14% e 1,53% em peso, respectivamente, sendo o último significativo apenas no arpk-QzS e BtM.

Figura 5.4 – Diagrama Si vs. Ca_B , em a.p.f.u., para anfibólios dos diferentes setores do MAI. Os pontos cinza representam os membros finais hastingsita (Hst), ferro-edenita (Fed), katoforita (Ktp), ferro-richterita (Frct) e arfvedsonita (Arf). Legenda idem Figura 5.1.

Figura 5.5 – Diagramas Ca vs. REE (La + Ce + Nd + Y) e Ti vs. Fe^{3+} , em a.p.f.u., para titanitas dos diferentes setores do MAI. A linha diagonal representa a proporção catiônica 1:1. Legenda idem Figura 5.1.

Figura 5.6 – Diagrama Mg – Al – Fe_T, em a.p.f.u., com membros finais eastonita, siderofilita, flogopita e annita (Deer *et al.*, 1992) para biotitas dos diferentes setores do MAI. Legenda idem Figura 5.1.

5.1.7 Ilmenita e espinélios

Ilmenita ocorre principalmente nas rochas supersaturadas em sílica, mas também pode ocorrer como relictos na titanita no BtP ou como cristais intercrescidos com titanomagnetita no BtM e na amostra MAI199 (peralcalina da unidade BtAgtNeS). Não ocorre nas amostras do S-SE analisadas. Apresenta teores de MnO significativos, de 3,27 a 24,96% em peso, sendo mais altos no BtAgtNeS, N-I e QzAFS-I (Tabela E.7a). Nb₂O₅, atinge até 1,27% nas rochas com quartzo, enquanto ZnO é importante apenas no N-I, de 0,93 a 1,20%, e MgO apenas no BtP, de 1,71 a 2,11%.

Titanomagnetita ocorre em todas as rochas. Os cristais possuem uma composição relativamente constante em cada unidade (Tabela C.7b). De modo geral o TiO₂ é variável de 0,46 a 13,94%, enquanto os teores de MnO, Al₂O₃ e ZnO chegam até 6,58%, 1,89% e 0,61% (em peso) respectivamente, além de MgO na amostra MAI114, que varia de 0,29 a 0,85%.

Hercynita e coríndon ocorrem apenas na fácies peraluminosa do NeS-I e apresentam composição homogênea, com teores significativos de MnO e MgO, de 2,94 a 3,99% e 0,82 a 1,50%, respectivamente, no primeiro, e de Fe₂O₃, entre 0,84 e 2,03% no segundo (Tabela E.7c).

5.1.8 Minerais acessórios

Com o auxílio de análises por microsonda eletrônica nos modos WDS e EDS, além da óptica, foram ainda caracterizados ou identificados vários minerais raros (Tabela E.8). Nas unidades insaturadas em sílica, a lâvenita, hiortdahlia, kupletskita, hainita e rinkita são acessórios importantes, enquanto a britholita, catapleiita, pirocloro (grupo), scheelita, zirconolita e sulfetos de Pb, Zn e Fe, ocorrem como traços. Já nas fácies supersaturadas em sílica chevkinita e fluorcarbonatos de terras-raras são acessórios, enquanto pirocloro e xenotima são traços.

5.2 Geoquímica elemental

Os resultados das análises de química global das variedades litológicas do MAI encontram-se no ANEXO F. Esses dados foram utilizados para fins de cálculo de minerais normativos, classificação química das rochas e definições de índices geoquímicos, ressaltando diferenças importantes entre os litotipos de cada unidade e particularmente entre os três setores. Os teores de SiO_2 mostraram uma boa correlação com os outros elementos maiores, alguns traços e as razões isotópicas.

5.2.1 Elementos maiores e traços

Os teores de SiO_2 variam de 45 a 73% em peso (sendo a maior parte das amostras entre 58 e 63%), compreendendo um amplo intervalo composicional que se estende de rochas básicas a ácidas (Figura 5.7). Já os valores de #mg variam de 2,2 a 42,6 mas em sua maioria entre 18 e 37.

No diagrama TAS (total álcalis vs. sílica), as rochas do S-SE pertencem quase exclusivamente ao campo do fonolito, as do S-C concentram-se no campo de traquito, variando de fonolito a riolito, enquanto as do S-NW distribuem-se quase totalmente no campo do traquito, além do BtM no campo do latito (traquiandesito, onde $\text{Na}_2\text{O} - 2 < \text{K}_2\text{O}$) e MG-mts e TB no traquibasilto potássico (Figura 5.8).

Na Figura 5.9, as amostras concentram-se no campo das rochas metaluminosas, variando de peralcalinas (quase exclusivamente as litologias insaturadas em sílica) a peraluminosas

Figura 5.7 – Diagrama SiO_2 (% em peso) vs. mg# (mol %), para os litotipos dos distintos setores do MAI. No destaque, a localização das amostras analisadas no mapa geológico simplificado.

(principalmente diques de traquito e riolito, a unidade T-I e a facies com coríndon do NeS-I). No diagrama Na_2O vs. K_2O (Figura 5.10) também apresentam grande dispersão, estendendo-se do campo sódico ao ultra-potássico, mas concentrando-se no campo potássico. As rochas mais peralcalinas tendem a serem mais sódicas, enquanto que as peraluminosas mais potássicas.

Figura 5.8 – Diagrama TAS (total álcalis vs. SiO_2 , em % de peso; Le Maitre, 2002) para as rochas dos diferentes setores do MAI. Os campos numerados são: 1- traquibasalto, 2- foidito, 3- traquiandesito, 4- fonolito, 5- traquito ($Q < 20\%$) e 6- riolito. Legenda idem Figura 5.7.

Figura 5.9 – Diagrama A/CNK vs. A/NK (Shand, 1943) para as rochas dos diferentes setores do MAI. Legenda idem Figura 5.7.

Figura 5.10 – Diagrama Na_2O vs. K_2O (Middlemost, 1975) para as rochas dos diferentes setores do MAI. Legenda idem Figura 5.7.

Nos diagramas de Harker (Figura 5.11) para os elementos maiores, fica claro o enriquecimento em sílica. O Al_2O_3 possui uma forte correlação negativa com a sílica, enquanto que o K_2O apresenta algum espalhamento, e o Na_2O uma grande dispersão. TiO_2 , MgO , $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{total}}$, P_2O_5 e, um pouco menos claro, CaO apresentam o mesmo padrão, com uma curva principal evidenciando para parte expressiva das litologias uma boa correlação negativa e um grupo mais abaixo representando algumas litologias, com uma tendência oposta, formando um lambda (λ).

Visto separadamente, as unidades litológicas de cada um dos três setores possuem tendências diferentes. Apenas o S-C apresenta correlações mais bem definidas entre as unidades, enquanto que o S-SE possui um grande espalhamento (principalmente devido a unidade NeS-I) e uma tendência geral oposta aos outros dois (formando o λ), já o S-NW apresenta uma concentração para alguns elementos e uma fraca correlação linear para outros. Esse padrão em λ sugere que o S-SE possui uma origem e/ou evolução diferente do resto do maciço.

Os elementos traço também apresentam grande variação nos teores, com destaques para Rb (39-358 ppm), Ba (1-2945 ppm), Sr (2-2519 ppm), Zr (21-1754 ppm), Nb (21-436 ppm), La (1-271 ppm) e Ce (5-540 ppm). Entretanto, a maioria deles apresenta-se muito disperso, não possuindo clara correlação com a sílica (Figura 5.12) ou #mg, e mesmo os que possuem não são muito bem definidos. Apenas Rb, Th e Sr, além de U, Nb e Ta, possuem uma leve correlação positiva para o S-C e S-NW e negativa para o S-SE, enquanto Sr é o único elemento que apresenta uma correlação geral negativa com a sílica.

Essa variação reflete-se na grande dispersão das curvas no diagrama para os elementos incompatíveis normalizados pelo manto primitivo (McDonough & Sun, 1995), destacando-se as proeminentes anomalias negativas de Ba, Sr, Eu e Ti (Figura 5.13). Essas anomalias são mais pronunciadas no S-C, enquanto que no S-SE ocorrem principalmente nos diques de fonolito. O nefelinito e o traquibasalto possuem um padrão menos sinuoso, apenas com uma pequena anomalia positiva de Rb para o primeiro e Ba para o segundo.

5.2.2 Norma CIPW

As rochas insaturadas em sílica possuem nefelina normativa (Ne) variáveis de 4,49 a 33,65% no S-SE; 0,01 a 19,29% no S-C (além do dique MAI092II com 26,47%) e 0,09 a 9,72% no S-NW (sendo o dique MAI166II com 21,57%), e olivina (Ol) com variações de 0 a 2,78% no S-SE; 0,35 a 3,13% no S-C e 0,42 a 9,88% no S-NW. No S-SE duas amostras não possuem Ol, (MAI060 e 068), enquanto o dique de nefelinito (MAI046E) é a única do MAI com leucita normativa (Ne 22,93 e Lc 4,15%). Apesar do dique de fonolito MAI046F possuir cerca de 25% de fenocristais de pseudoleucita modal, não possui Lc normativa.

Figura 5.11 – Diagramas de Harker de elementos maiores (% em peso), para rochas do MAI. Legenda idem Figura 5.7.

Figura 5.12 – Diagramas de Harker de elementos traço (em ppm) para as rochas do MAI. Legenda idem Figura 5.7. *Continua.*

Figura 12 – Continuação.

Três amostras (MAI097B, 189, 144) não possuem Ne nem quartzo (Q), mas possuem Ol (0,48 a 1,67%) e Hy (0,48 a 4,15%). Entretanto, as duas primeiras apresentam de 2 a 3% de quartzo modal.

As amostras supersaturadas em sílica no S-C possuem Q entre 0,04 a 29,95% e Hy entre 0,65 a 4,52%, enquanto que no S-NW varia entre 2,22 a 14,67% e 1,70 a 4,25% respectivamente, sendo Q elevado apenas no dique (MAI171) e no traquito do Picú (MAI165).

O MAI também possui uma importante quantidade de rochas peraluminosas, com coríndon (C) normativo variando de 0,08 a 5,06%. Entretanto, coríndon modal (além de hercynita) foi encontrado apenas na fácies peraluminosa do NeS I. As amostras MAI133, 138II, 148 e 149 estão muito sericitizadas, sendo as duas últimas com feições de alteração hidrotermal, o que pode ter levado à saturação de Al_2O_3 . Por outro lado, as poucas amostras contendo acmita (Ac), apresentaram variações de 0,23 a 3,13%. Estas são representadas principalmente por rochas pertencentes às fácies-agpaíticas do NeS I e SdIneS, além do AegN e alguns diques de fonolito e riolito.

5.2.3 Elementos terras-raras

No diagrama *spider* de ETRs (Figura 5.14) é possível observar que as amostras que representam cada um dos três setores apresentam um padrão geral da curva semelhante, formando uma rampa empobrecendo nos ETRs leves e intermediários, com $(\text{La}/\text{Sm})_N$ e $(\text{Sm}/\text{Ho})_N$ entre 2,6 a 18,1 e 1,7 a 7,1 respectivamente, e tendendo à horizontalização nos pesados, $(\text{Ho}/\text{Lu})_N$ entre 0,80-2,7. A razão geral $(\text{La}/\text{Lu})_N$ varia consideravelmente, entre 6,8-78,7, sendo que as rochas insaturadas apresentam valores mais altos e maior variação.

Figura 5.13 – Diagrama tipo *spider* para os elementos incompatíveis de rochas dos diferentes setores do MAI. Elementos normalizados pelo manto primitivo de McDonough & Sun (1995). Legenda segue as mesmas cores da Figura 5.7; pontilhado destaca os diques e tracejado o traquibasilto (MAI226).

Figura 5.14 – Diagrama tipo *spider* para os elementos terras raras de rochas dos diferentes setores do MAI. Elementos normalizados pelo condrito de McDonough & Sun (1995). Legenda segue as mesmas cores da Figura 5.7; pontilhado destaca os diques e tracejado o traquibasilto (MAI226).

De modo geral, as rochas insaturadas em sílica possuem uma anomalia de Eu quase inexistente a levemente positiva, Eu/Eu^* de 0,95 a 1,54, à exceção do BtAgtNeS (0,33-0,35), MG-mts (0,71) e NeS-II (0,80). Já as rochas supersaturadas em sílica apresentam anomalia negativa, Eu/Eu^* de 0,09 a 0,85, exceto a amostra MAI122, T-I (0,99).

Os diques de fonolito e riolito e o traquito do Picú (MAI165) possuem um padrão diferente, sendo no geral bem mais empobrecidos nos ETRs. Apresentam empobrecimento acentuado nos ETRs leves, com a razão $(\text{La}/\text{Sm})_N$ variando de 25 a 53 para os fonolitos e 4,6 a 6,0 para os outros dois (pois apresentam uma anomalia negativa de La), e um enriquecimento nos ETRs pesados $(\text{Ho}/\text{Lu})_N$ de 0,27 a 0,64. Também apresentam uma anomalia negativa ou positiva acentuada, Eu/Eu^* de 0,16 a 0,75 e 1,4. Os fonolitos também apresentam um enriquecimento maior de Gd em relação ao Tb.

Considerando os diferentes seguimentos, o S-SW apresenta as litologias mais enriquecidas, principalmente nos ETRs leves. O NeS-I possui uma leve anomalia negativa (Eu/Eu^* de 0,95 para as duas amostras), enquanto BtHblNeS apresenta anomalia positiva (Eu/Eu^* de 1,19 e 1,28). O dique de fonolito (MAI053II) possui mais uma anomalia positiva de Gd do que negativa de Eu, enquanto o nefelinito (MAI046E) apresenta um padrão reto constantemente empobrecendo nos ETRs pesados. Ambos ocorrem no NeS-I.

No S-C quase todas as unidades apresentam anomalia negativa de Eu, exceto o BtP e seu dique (MAI092II) e o T-I. As unidades QzAFS-I e II também possuem uma pequena anomalia negativa de Ce (com Ce^* de 0,62 e 0,58 respectivamente).

O S-NW apresenta diferenças grandes nos padrões. O BtM e o HblP possuem anomalias positivas de Eu (Eu/Eu^* de 1,19 a 1,54), enquanto o TB não possui anomalia desse elemento (1,04) e as demais unidades possuem anomalias negativas. Apesar de possuírem composição semelhante nos demais elementos, o MG-mts e o TB apresentam padrões dos ETRs bem diferentes, sendo o primeiro bastante enriquecido nos pesados ($(\text{La}/\text{Lu})_N$ de 6,8) e formando uma curva bem horizontalizada com anomalias negativas de Eu e Ce (Ce^* 4,6), enquanto o segundo possui uma curva coincidente com a do nefelinito (MAI046E).

5.3 Geoquímica isotópica (Sr-Nd-Pb)

Os resultados isotópicos obtidos em rocha total que são descritos a seguir encontram-se no ANEXO G. Os dados isotópicos foram utilizados para fins de modelamentos petrogenéticos e petrológicos e comparações entre as unidades dos três setores (S-SE, S-C e S-NW).

A razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$ apresenta um *gap* entre as amostras do S-SE (0,70469 a 0,70503) com os S-C e S-NW (0,70533 e 0,70643). Os erros (2σ) são de $\pm 0,00002-8$ para as razões. No S-SE, as duas amostras do NeS-I também apresentam diferenças significativas (de 0,00025), sendo a fácies peraluminosa (MAI030) com o valor mais elevado delas. O dique de nefelinito (MAI046E) possui um

valor de 0,70484. No S-C e S-NW, o TB (MAI226) possui o menor valor, enquanto que o arpk-QzS (MAI108II) apresenta o maior. As amostras MAI070B, MAI090, MAI110 e MAI130 (todas supersaturadas em sílica) apresentaram valores sem significado geológico ($<0,7$) e foram descartadas. Essas amostras são muito empobrecidas em Sr (0,27 a 21,14 ppm) e ligeiramente mais enriquecidas em Rb, relativo à média do MAI (108 a 334 ppm), apresentando uma razão Rb/Sr muito elevada (11,8 a 992)

No S-SE os valores da razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}$ variam de 0,512409 a 0,512362 e $\epsilon\text{Nd}_{(i)}$ de -3,60 a -2,97, e exibe um *gap* para o dique de nefelinito, 0,512457 e -1,75, respectivamente. Nos S-C e S-NW os valores variam de 0,512329 a 0,512223 e -6,37 a -4,28, também apresentando um *gap* para os valores do TB, 0,512391 e -3,12. Os erros (2σ) são de $\pm 0,000003$ -7 para as referidas razões. As idades $\text{TDM}_{(i)}$ também refletem essa diferença, sendo que no S-SE varia de 637 a 785 Ma, enquanto no restante no maciço varia de 812 a 895 chegando até 1225 Ma (Figura 5.15).

As razões isotópicas de Pb apresentam variação maior comparado aos isótopos anteriores. No S-SE variam de 18,153 a 18,468 para $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$, 15,490 a 15,550 para $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ e 38,333 a 38,808 para $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$, em todos tendo o dique de nefelinito com o maior valor e o BtHblNeS o menor. Nos S-C e S-NW, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ varia de 18,195 a 18,625, sendo o QzAFS-I (MAI110) discrepante com o menor valor, enquanto $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ varia de 15,540 a 15,585 e $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ de 38,304 a 38,556. Os erros (2σ) são de $\pm 0,003$ -7 para as duas primeiras razões e $\pm 0,004$ -0,021 para terceira.

Também foram analisadas amostras das encaixantes locais. A amostra MAI027 é um milonito localizado na região da zona de cisalhamento limite entre as Faixas Ribeira e Brasília, representando uma profunda zona de fraqueza (possivelmente reativada) por onde o líquido gerado poderia ascender

Figura 5.15 – Diagrama Idade (Ma) vs. $\epsilon\text{Nd}_{(i)}$, para rochas do MAI. Idade modelo $\text{TDM}_{(i)}$ de acordo com Liew & Hofmann (1988). Legendas idem Figura 5.7 e 5.13.

mais facilmente, havendo assim um maior tempo de interação. MAI194C é um leucogranito peralcalino com uma assinatura isotópica inicial (~600 Ma) de característica mais mantélica, sendo assim, com uma origem relativamente profunda na crosta. Com isto, suas zonas de geração também poderiam influenciar os magmas alcalinos desde a base da crosta. Já a amostra MAI168 é um biotita xisto com características bem mais rasas que as outras duas, tendo mais importância durante seu alojamento.

5.4 Geocronologia (U-Pb)

As idades U-Pb SHRIMP em zircão corroboram com o modelo geológico proposto para o MAI, de uma evolução que inicia na porção SE do maciço e migra gradativamente para NW, e ressaltam as diferenças entre os três setores (Figura 5.16). A unidade do S-SE apresenta idade de 71,26 Ma, as do S-C possui duas modas, três idades variando de 69,65 a 69,39 Ma e outras duas idades com 68,65 Ma, enquanto que as do S-NW possui uma idade de 67,5 Ma.

Os resultados das amostras de zircão datadas são descritos a seguir e os cristais correspondentes analisados encontram-se nas Figuras 5.17 e 5.18. A Figura 5.19 mostra os diagramas de Wetherill (1956) para as idades concórdia $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ obtidas. Os resultados das análises encontram-se no ANEXO G.

Os cristais do BtHblNeS (MAI036) exibem estruturas zonadas do tipo oscilatório em imagem de CL, uma típica feição ígnea, e possuem tamanho e morfologia bimodais. Os cristais menores (de 1 a 9) tendem a ser mais equidimensionais e com zonalidade gradativa, já os cristais maiores (de 10 a 13) tendem a ser prismáticos (2:1) e com estrutura zonada mais bem definida, além de apresentarem as idades mais velhas. Foram analisados 14 grãos de zircão, onde os teores de U e Th variam de 117 a 902 ppm e 2 a 1879 ppm, respectivamente, com razões $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ entre 0,011 e 2,462. O $^{206}\text{Pb}_{\text{comum}}$

Figura 5.16 – Diagrama de barras com as idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Pb comum corrigido por ^{204}Pb medido) de zircão para cada análise U-Pb, determinada via SHRIMP, das amostras do Maciço Alcalino de Itatiaia. As barras de erro são de 1σ para cada análise. As barras cinza escuro representam as idades médias dos cristais de zircão de cada amostra e as áreas cinza claro seus respectivos erros com 95% de confiança.

varia de 0,02 a 4,75%. Duas análises foram rejeitadas para os cálculos finais. A idade concórdia obtida no diagrama $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ foi de $71,26 \pm 0,29$ Ma e a idade média $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ foi de $71,29 \pm 0,57$ Ma.

No BtP (MAI092I) os cristais são prismáticos (2:1) e semelhantes aos maiores da amostra anterior, com estruturas zonadas oscilatórias bem definidas, entretanto, os cristais 5, 6, 9 e 11 possuem um zonamento mais gradativo. Foram analisados 13 grãos, onde os teores de U e Th variam de 166 a 729 ppm e 469 a 2020 ppm, respectivamente, com razões $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ entre 1,223 e 4,697. O $^{206}\text{Pb}_{\text{comum}}$ varia de 0,15 a 3,75%. Uma análise foi rejeitada para os cálculos finais. A idade concórdia obtida no diagrama $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ foi de $69,64 \pm 0,29$ Ma e a idade média $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ foi de $69,65 \pm 0,57$ Ma.

Figura 5.17 – Imagens de catodoluminescência dos cristais de zircão analisados via SHRIMP, de rochas do MAI. Em cada cristal está marcado o spot analisado e sua respectiva idade. As idades em vermelho foram descartadas. Os erros variam de $\pm 0,8$ a $\pm 1,9$ por análise.

O AegN (MAI090) possui os cristais de zircão homogêneos e prismáticos (3:2), com um núcleo equidimensional escuro e uma borda mais clara, com zonamento oscilatório bem marcado. Os cristais 5,6, 9 e 10 apresentam uma fina zona branca com feições de corrosão, representando uma descontinuidade núcleo-borda. Foram analisados 12 grãos, onde os teores de U e Th variam de 253 a 1037 ppm e 344 a 2498 ppm, respectivamente, com razões $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ entre 0,687 e 2,489. O $^{206}\text{Pb}_{\text{comum}}$ varia de -0,02 a 2,29%. A idade concórdia obtida no diagrama $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ foi de $69,56 \pm 0,27$ Ma e a idade média $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ foi de $69,53 \pm 0,53$ Ma.

Figura 5.18 – Imagens de luz transmitida dos cristais de zircão analisados via SHRIMP, de rochas do MAI. Em cada cristal está marcado sua respectiva idade. As idades em vermelho foram descartadas. Os erros variam de $\pm 0,8$ a $\pm 1,9$ por análise.

Figura 5.19 – Diagramas concórdia $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ de Wetherill (1956) para análises de zircão via SHRIMP, de rochas do MAI.

Os cristais datados do mA (MAI070B) são equidimensionais e homogêneos, apresentando apenas um zonamento gradativo suave. Os cristais 3, 9 e 13 possuem um núcleo destacado por um anel branco. Cerca de 1/3 dos cristais coletados para o *mount* apresentaram-se completamente alterado por processos de metamictização. Foram analisados 13 grãos, onde os teores de U e Th variam de 422 a 2145 ppm e 383 a 4307 ppm, respectivamente, com razões $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ entre 0,700 e 2,074. O $^{206}\text{Pb}_{\text{comum}}$ varia de 0,01 a 1,03%. Três análises foram rejeitadas para os cálculos finais. A idade concórdia obtida no diagrama $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ foi de $69,39 \pm 0,27$ Ma e a idade média $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ foi de $69,40 \pm 0,68$ Ma.

No QzAFS-I (MAI110), os cristais são prismáticos (3:1 a 2:1) com zonamento gradativo ou fracamente oscilatório, também pode ocorrer um discreto zonamento setorial sobreposto. Foram analisados 14 grãos, onde os teores de U e Th variam de 90 a 493ppm e 136 a 415ppm, respectivamente, com razões $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ entre 0,762 e 1,555. O $^{206}\text{Pb}_{\text{comum}}$ varia de 0,34 a 2,57%. A idade concórdia obtida no diagrama $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ foi de $68,65 \pm 0,26$ Ma e a idade média $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ foi de $68,66 \pm 0,61$ Ma.

O arpk-QzS (MAI108II) possui a maior diversidade tipológica de zircão, variando de equidimensional a prismático 6:1, com núcleo homogêneo e bordas finas zonadas a zonamento oscilatório bem definido, por vezes com zonamento setorial sobreposto. Alguns cristais (3, 5 e 14) apresentaram um sobrecrecimento ao redor de um núcleo preexistente. Foi a amostra com maior número de cristais analisados, 16 no total, onde os teores de U e Th variam de 104 a 558ppm e 123 a 636ppm, respectivamente, com razões $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ entre 0,700 e 2,074. O $^{206}\text{Pb}_{\text{comum}}$ varia de 0,00 a 10,15%. Uma análise foi rejeitada para os cálculos finais. A idade concórdia obtida no diagrama $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ foi de $68,65 \pm 0,26$ Ma e a idade média $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ foi de $68,65 \pm 0,50$ Ma.

O NeS-II (MAI166I) possui dois tipos de cristais, um maior, equidimensional com o núcleo homogêneo, ou fracamente zonado, com uma zona com feições de corrosão na borda, e outro tipo menor prismático (3:1 a 2:1), zonado e comumente com feições locais de correção e de alteração por metamictização. Cerca de 15% dos cristais coletados para o *mount* apresentaram-se fortemente metamictizados. Foram analisados 14 grãos, onde os teores de U e Th variam de 247 a 1241ppm e 102 a 1654ppm, respectivamente, com razões $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ entre 0,372 e 1,707. O $^{206}\text{Pb}_{\text{comum}}$ varia de 0,02 a 6,17%. Duas análises foram rejeitadas para os cálculos finais. A idade concórdia obtida no diagrama $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ foi de $67,47 \pm 0,25$ Ma e a idade média $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ foi de $67,47 \pm 0,48$ Ma. O cristal 14 é um xenocristal da encaixante com idade de $570,1 \pm 6,0$ Ma.

EVOLUÇÃO DO MACIÇO ALCALINO DE ITATIAIA

A história magmática do Maciço Alcalino de Itatiaia é complexa, envolvendo diferentes magmas parentais e diversos processos modificadores no decurso de cristalização, como assimilação e contaminação em graus diversos, mistura de magmas e cristalização fracionada, nos vários eventos ocorridos ao longo de pelo menos 4 Ma. Este capítulo integra e discute todos os dados coletados neste trabalho e informações disponíveis na literatura a fim de reconstituir a história magmática e geológica do Maciço Alcalino de Itatiaia.

6.1 Evolução geológica

As atividades magmáticas que deram origem ao MAI (71,3 a 67,5 Ma) se iniciaram após o soerguimento regional, que se desenvolveu entre 90 a 75 Ma e cessou antes do colapso tectônico e desenvolvimento do Rifte Continental do Sudeste Brasileiro (RCSB), ocorrido entre 55 e 40 Ma (Riccomini, 1989; Zalán & Oliveira, 2005; Cogné *et al.*, 2011, 2012; Engelmann de Oliveira *et al.*, 2016; Salgado *et al.*, 2016). O maciço encontra-se alojado na região adjacente à Bacia de Resende e próxima da Zona de Acomodação de Queluz, que divide o Rifte do Paraíba do Sul em dois padrões tectônicos distintos (Zalán & Oliveira, 2005). O MAI possui uma notável alongação (cerca de 30 km no eixo maior, com largura variável de 4,5 a 11,5 km) orientada segundo a mesma direção das zonas de acomodação tectônica do RCSB e das zonas de transferência da Placa Oceânica do Atlântico Sul (Meisling & Cob, 2001; Zalán & Oliveira, 2005; Cogné *et al.*, 2012; Stanton *et al.*, 2014; Negrão *et al.*, 2015). Ressalta-se que o MAI é uma das poucas ocorrências alongadas da Província Alcalina da Serra do Mar e a única com direção discordante dos lineamentos regionais SE.

Essa alongação deve-se à dinâmica de sucessiva migração de um centro magmático alimentador ao longo de pelo menos 4 Ma de SE para NW, registrada claramente nas relações de campo, nas estruturas preservadas e idades U-Pb em zircão (Figura 6.1). O MAI é um dos poucos complexos anelares de intraplaca continental com um centro magmático migratório. Esta característica permitiu uma boa preservação e clara relação dos diferentes pulsos magmáticos, já que durante evolução tiveram uma possibilidade menor de se misturar e/ou de serem descaracterizados ou “apagados” pelas intrusões subsequentes. Os alívios de tensões causados pelo soerguimento

regional poderiam progressivamente mudar ao longo da zona de acomodação seguindo uma analogia do tipo fecho de correr, assim causando a migração da zona de descompressão e, consequentemente, da zona de fusão parcial para a geração desses magmas. Esse contexto evolutivo permitiu caracterizar na área do maciço três setores claramente definidos no espaço e no tempo, cada um representando distintos estágios magmáticos (Figura 6.1): Setor Sudeste (S-SE), Setor Central (S-C) e Setor Noroeste (S-NW).

O S-SE representa o primeiro estágio magmático, formado há aproximadamente 71,3 Ma, com a intrusão de um nefelina sienito tendo um magma parental de composição ankaratrítica ou basanítica. Este setor dispõe-se quase inteiramente dentro do RCSB. Entretanto, as unidades litológicas não se encontram muito afetadas pelo desenvolvimento do rifte. Nesta região não foram encontradas foliações magmáticas expressivas ou zonas de cisalhamento, sugerindo que o magma não se cristalizou sob tensão tectônica significativa. Aparentemente, os lineamentos radiais na porção norte e leste são pós-magmáticas.

A atividade magmática no S-SE iniciou-se com a intrusão do NeS-I, que representa a unidade mais insaturada em sílica do maciço, e com evidências de pouca contaminação ao longo da ascensão do magma. Localmente, verificou-se efeitos de assimilação da rocha encaixante, com a formação de uma variedade litológica adquirindo um caráter fortemente peraluminoso. Na porção sudeste ocorre um enxame de diques de fonolito, que variam de afírico com tendência agpaítica a porfirítico, com

Figura 6.1 – Mapa geológico simplificado do MAI mostrando as localizações das amostras analisadas, associado ao diagrama das unidades (em ordem de colocação) vs. idade (U-Pb em Ma). Legenda idem Figura 5.7.

fenocristais de feldspato alcalino e/ou pseudo-leucita, e rochas brechóides, com xenólitos sieníticos, máficos com andradita e gnaiss miloníticos. Também ocorrem nefelinitos afíricos. A segunda intrusão no S-SE é representada pelo BtHblNeS, que possivelmente tem a mesma fonte da anterior, mas que em algum momento no estágio inicial de cristalização, ou mesmo antes, é afetada por injeções máficas. O magmatismo segue com a intrusão do NeSdlS, retornando as características petrológicas e petrográficas da primeira intrusão. O SdlNeS-fof representa o último pulso magmático do setor, que ocorreu na forma de um *plug* com forte foliação magmática, como resultado de processos de diferenciação da unidade anterior.

O S-C caracteriza o segundo estágio magmático do MAI, que se formou entre 69,7 a 68,7 Ma com colocação de uma grande intrusão insaturada em sílica, representada pelo BtAgtNeS. A fácies peralcalina dessa unidade está localizada na região externa da crista circular, onde ocorre enxames de diques de traquitos sin-plutônicos paralelos à crista. No entanto, não foram observadas evidências de subsidência gerando a estrutura de caldeira. Em seguida, ocorre a intrusão de um BtHblP, que, assim como o BtHblNeS, possui indícios injeções máficas. Os pulsos seguintes apresentam um aumento progressivo nos teores de sílica, que permitiu através de processos AFC cruzarem a barreira termal no sistema Ne-Qz, gerando rochas com quartzo modal. Os dados isotópicos corroboram com esse modelo e mostram evidências de contaminação crustal relacionada ao aumento nos teores de sílica (Brotzu *et al.*, 1997; e este trabalho). Ressalte-se que as primeiras intrusões do S-C são concêntricas, mas a partir do QzAFS-II é retomada a migração para NW.

As rochas com quartzo não mostram uma relação clara entre elas. O AegN e N-I intrudem os limites entre o BtAgtNeS e BtHblP, sendo as primeiras manifestações supersaturadas em sílica. O N-II ocorre em uma posição similar, entretanto possui uma relação geológica mais jovem. QzAFS-I e II são grandes intrusões supersaturadas em sílica no centro do S-C e mostram um aumento no teor de sílica e redução no índice de cor para NW. Além disso, há também uma redução na granulação e aumento na foliação magmática. O mA, juntamente com os diques de riolito, é a unidade com quartzo mais evoluída do maciço. Essa unidade encontra-se alojada no QzAFS-II, embora seus contatos não tenham sido registrados. Possivelmente, o mA é resultado de um processo de diferenciação interna do QzAFS-II e contemporâneo aos diques de riolito. Sua forma e localização sugerem uma relação com o desenvolvimento do VLL, conforme evidenciado por um intenso fraturamento paralelo e veios de quartzo, porém possuem uma estrutura maciça. A presença de cavidade mirolíticas, especialmente no QzAFS-I, sugerem um nível raso de colocação.

A transição do S-C para o S-NW é feita por um “pescoço” onde ocorrem arpk-QzS (68,7 Ma) e T-I. Ocorre uma clara mudança nas características geológicas e associação de rochas, onde a estrutura de caldeira desaparece e retornam as intrusões migratórias similares ao S-SE. O arpk-QzS e o T-I guardam uma provável correlação genética entre si, representando produtos de uma mistura com o

BtM que, aparentemente, intrudem o N-II e o HbLP. As diferentes fácies de T-I formam condutos subvulcânicos exibindo características rasas, como auto-fragmentos afaníticos e deformação fluidal.

O S-NW representa o terceiro estágio magmático, mostrando as relações litológicas menos claras e um controle geológico pobre no centro da área. Aparentemente há uma intercalação de intrusões insaturadas e supersaturadas em sílica. O HbLP exhibe um aumento dos teores de nefelina, anfibólio, biotita e titanita para o norte e também mostram evidências de interações precoces com injeções de magmas máficos. O NeS-II representa a última unidade plutônica estabelecida no maciço (67,5 Ma) e possui uma grande similaridade textural e geoquímica com o NeS-I. O MG-mts poderia representar porções mais antigas e/ou profundas da câmara magmática colocada em um nível mais raso por processos tectono-magmáticos.

O T-II intrude o centro do S-NW, tendo a Pedra do Picú como a principal manifestação que possivelmente representa um *neck* vulcânico bem preservado. Aparentemente, o TB intrude o T-II sendo a última manifestação magmática do MAI. Suas características mineralógicas e geoquímicas comparadas às do MG-mts sugerem alguma conexão petrológica.

Além disso não se descarta algum tipo de ligação genética com o maciço alcalino de Passa Quatro, a oeste do MAI.

6.2 Aspectos petrogenéticos

O MAI possui assinaturas isotópicas (Sr-Nd-Pb) típicas de magmas de origem mantélica, que evoluíram com alguma participação de processos de contaminação crustal. É um maciço de composição quase exclusivamente sienítica, com ocorrências pontuais de rochas básicas que até então eram desconhecidas. Entretanto, poucas ocorrências da província Serra do Mar, a exemplo de Ponte Nova (Azzone *et al.*, 2009) e Morro de São João (Brotzu *et al.*, 2007), e o enxame de diques da Serra do Mar (e.g. Garda *et al.*, 1995; Thompson *et al.*, 1998), possuem expressões importantes de magmatismo básico e ultrabásico. Essas rochas guardam uma relação temporal e petrológica com as ocorrências sieníticas do Lineamento Mágmatco de Cabo Frio (LMCF), sendo o material mais primitivo encontrado na região.

6.2.1 O manto litosférico na região sudeste do Brasil

No diagrama $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}$ vs. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$ (Figura 6.2) as rochas do MAI sobrepõem-se ao campo dos basaltos toleíticos da região nordeste da Província Mágmatca Paraná-Etendeka (PMPE) e às partes inferiores dos campos das rochas alcalinas do LMCF e da Província Serra do Mar (Brotzu *et al.*, 1989, 2007; Garda *et al.*, 1995; Thompson *et al.*, 1998; Bennio *et al.*, 2002, 2003; Ulbrich *et al.*, 2002; Enrich *et al.*, 2005; Rocha-Júnior *et al.*, 2013; Azzone *et al.*, 2016), bem como às porções superiores dos campos da Província Ígnea do Alto Paranaíba (PIAP; Gibson *et al.*, 1995; Araujo *et al.*, 2001; Guarino *et*

al., 2013) e do enxame de diques toleíticos pré-Atlântico da região de Resende-Ilha Grande, oeste do RJ (Guedes *et al.*, 2016). A origem mantélica desses magmas alcalinos e toleíticos com posteriores processos de contaminação crustal são sugeridos por todos esses autores citados. Essas razões isotópicas possuem como polo as rochas das Ilhas de Trindade e Martín Vaz (Marques *et al.*, 1999; Siebel *et al.*, 2000; Bongioiolo *et al.*, 2015), que representariam parâmetros de composições mantélicas sem influência continental. Entretanto, as composições isotópicas formam um *trend* em direção aos granitoides pós-orogênicos, seguindo para os sin-orogênicos da Faixa Ribeira e Brasília na região (Tupinambá *et al.*, 2012; Carvalho *et al.*, 2014; Janasi *et al.*, 2015; Alves *et al.*, 2016; Martins *et al.*, 2016; Valeriano *et al.*, 2016).

As idades $TDM_{(50-155)}$ para as rochas meso-cenozóicas apresentam-se majoritariamente entre 600 e 900 Ma (Figura 6.3) e coincide com a Orogênese Brasileira (800-600 Ma; Neves *et al.*, 2014), que provavelmente foi o evento que provocou matassomatismo junto ao manto litosférico. As assinaturas isotópicas (calculadas para suas respectivas idades iniciais) e o caráter potássico dos granitoides Brasileiros pós-orogênicos coincidentes com o do magmatismo meso-cenozóico alcalino podem sugerir origem em mesmo manto litosférico enriquecido em flogopita. Além disso, a maior parte dos maciços alcalinos estão nos terrenos Brasileiros onde ocorrem esses granitoides pós-orogênicos, Terreno Oriental e *Nappe* Socorro-Guaxupé. Além disso, a grosso modo, eles encontram-se alinhados segundo uma direção tectônica preferencial do embasamento, orientada para SW-NE (Figura 3.4).

Figura 6.2 – Diagrama $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}$ vs. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$ para as rochas do MAI (símbolos idem Figura 5.7), com os campos de variação das Ilhas de Trindade e Martín Vaz (Marques *et al.*, 1999; Siebel *et al.*, 2000; Bongioiolo *et al.*, 2015), da Província Serra do Mar e LMCF (Brotzu *et al.*, 1989, 2007; Garda *et al.*, 1995; Thompson *et al.*, 1998; Bennio *et al.*, 2002, 2003; Ulbrich *et al.*, 2002; Enrich *et al.*, 2005; Azzone *et al.*, 2016), porção nordeste da Província Magmática Paraná-Etendeka (Rocha-Júnior *et al.*, 2013), Província Ígnea do Alto Paranaíba (Gibson *et al.*, 1995; Araujo *et al.*, 2001; Guarino *et al.*, 2013) e dos diques toleíticos pré-Atlântico da região de Resende-Ilha Grande (Guedes *et al.*, 2016). No diagrama suplementar soma-se os campos dos granitoides sin- e pós-orogênicos (Tupinambá *et al.*, 2012; Carvalho *et al.*, 2014; Janasi *et al.*, 2015; Alves *et al.*, 2016; Martins *et al.*, 2016; Valeriano *et al.*, 2016). Razões calculadas para idades iniciais de cada análise (intervalo de variação indicada na figura).

No diagrama $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ com os modelos de reservatórios terrestres (Figura 6.4; Zartman & Haines, 1988), as amostras do S-SE colocam-se dentro do campo mantélico, enquanto as demais tendem ao campo do orógeno (ou às encaixantes locais no campo da crosta superior), que é correlato ao aumento da sílica. Algumas amostras também mostram uma tendência em direção ao milonito encaixante da porção sudeste do maciço. Já para o diagrama $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ as amostras situam-se mais próximas ao campo do orógeno e menos dispersas, não apresentando uma tendência clara.

6.2.2 Processos AFC-mixing

As rochas mais primitivas encontradas nas unidades do MAI são um dique de nefelinito (NeS-I, MAI046E) no extremo sudeste e um pequeno corpo de traquibasalto potássico (TB, MAI226) no centro do S-NW, além do melagabro metassomatizado (MG-mts, MAI178) que possui características

Figura 6.3 – Histograma com a distribuição de frequência das idades do magmatismo alcalino e das idades modelo T_{DM} (em milhões de anos) da Província Serra do Mar, LMCF, porção nordeste da Província Magmática Paraná-Etendeka, Província Ígnea do Alto Paranaíba e dos diques toleíticos pré-Atlântico da região de Resende-Ilha Grande. Referências conforme a Figura 6.2.

Figura 6.4 – Diagramas $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ vs. $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ e $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ vs. $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ para rochas do MAI e encaixantes regionais adjacentes. Triângulo, milonito (MAI027); círculo, leucogranito (MAI194C); e quadrado, biotita xisto (MAI168). Curvas de evolução isotópica do Pb (versão IV) para modelo de reservatórios juntos com campos contendo a composição moderna provável. Os incrementos nas curvas indicam intervalos de 100 Ma (Zartman & Haines, 1988). Legenda idem Figura 5.7.

químicas semelhantes ao TB. Possuem teores de SiO_2 (~46%) e Al_2O_3 (~16,5%) semelhantes porém teores de álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ de 11,61% para o nefelinito e 5,25% para o traquibasalto) e razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (1,22 e 0,54) bem diferentes. Consequentemente, o nefelinito apresenta teores normativos de nefelina e leucita respectivamente de 22,93 e 4,15%, enquanto o traquibasalto possui teores de quartzo e hyperstênio respectivamente de 1,22 e 15,14%. Essas amostras são também apresentam os teores mais elevados de CaO, MgO, P_2O_5 , Ba, Sc, Cr, Ni, Co V, e Cu e assinatura de ETRs semelhantes e ausência de anomalia de Eu. A existência desses tipos magmas como possíveis parentais para as rochas do maciço foi sugerida por Brotzu *et al.* (1997), que indicaram basanita ou ankaratrito para as rochas fortemente insaturadas em sílica (SA) e álcali-basalto/basanito para as rochas menos insaturadas (A), além de basalto pouco insaturado (ou apenas com um pouco de hyperstênio normativo) para as rochas supersaturadas (Q).

A mudança de magmas alcalinos insaturados em sílica para supersaturados é possível apenas em sistemas abertos, quase sempre envolvendo processos de assimilação de rochas ricas em quartzo (Hamilton & MacKenzie, 1965; Nekvasil *et al.*, 2004; Gupta *et al.*, 2010). Além disso, geralmente os magmas parentais já estão próximos ao limite de saturação, sendo álcali basaltos ou basanitos (Foland *et al.*, 1993; Harris, 1995; Jung *et al.*, 2005; Estrade *et al.*, 2014; Mogahed, 2016), enquanto magmas mais insaturados, e geralmente mais potássicas, e dificilmente geram rochas supersaturadas mesmo com significativo grau de assimilação (e.g. Martinez *et al.*, 1996; Azzone *et al.*, 2016).

Os dados isotópicos e geoquímicos descritos nos itens 5.2 e 5.3 apontaram diferentes fontes para as unidades de S-SE e de S-C/S-NW. De modo amplo, as amostras seguem as curvas de *mixing* estabelecidas nos diagramas de razões isotópicas (Nd-Sr-Pb) vs. SiO_2 para as rochas mais primitivas do MAI com as amostras das encaixantes adjacentes (Figura 6.5; especialmente a MAI027 e MAI194C), corroborando com a sugestão da influência de rochas crustais para a transposição da barreira termal no sistema Ne-Ab-Qz e a consequente evolução para um sistema supersaturado em sílica. Entretanto, as curvas do modelo AFC e *mixing* com as encaixantes a partir dessas amostras (MAI046E e 226), assim como dos diques de tephritos e basanita encontrados próximo ao maciço (94SOB95, 94SOB97, 94SOB98; Thompson *et al.*, 1998), não se ajustam adequadamente como sendo os magmas parentais para a evolução direta das rochas sieníticas do maciço (Figura 6.5).

A partir da amostra mais primitiva (composicional e isotopicamente) disponível, o dique de tephrito 94SOB97 (Thompson *et al.*, 1998) localizado 8 km a nordeste do S-SE, na escarpa da Serra da Mantiqueira, seria possível gerar o nefelinito (MAI046E), com apenas ~5-10% de assimilação crustal para a curva de *mixing*. Também seria possível gerar o traquibasalto (MAI226) com ~13-20% de *mixing*. Entretanto, os teores muito mais baixos de K_2O (1,41 contra 6,30% em peso) sugerem uma fonte diferente e rica em flogopita e/ou anfibólio.

A Ilha de Trindade, tomada como parâmetro para a composição isotópica inicial próxima à da mantélica e livre de contaminação da crosta continental para o magmatismo alcalino meso-cenozóico da região (Marques *et al.*, 1999; Siebel *et al.*, 2000; Bongioiolo *et al.*, 2015), possui dois grupos de rochas ultrabásicas: ankartritos/nefelinitos e basanitos/tephritos, com razões K_2O/Na_2O de 0,53 a 0,91 e 0,07 a 0,28, respectivamente (Marques *et al.*, 1999). A existência desses dois tipos de magmas primários estaria de acordo com o sugerido por Brotzu *et al.* (1997) e com os dados obtidos neste trabalho para a geração do nefelinito e do traquibasalto.

Já as rochas sieníticas possivelmente se diferenciaram diretamente desses magmas primários, e das mesmas fontes mantélicas, no entanto com um grau de fusão parcial maior. É evidente a correlação da sílica com as razões isotópicas, que aumenta sempre no sentido de aumentar o componente crustal. De modo geral possui dois grupos com comportamentos diferentes, um com o S-SE e outro com os S-C e S-NW.

A razão $^{87}Sr/^{86}Sr_{(i)}$ apresenta uma forte correlação positiva com SiO_2 (Figura 6.6) exceto pelas amostras básicas (MAI046E e MAI226), enquanto $^{143}Nd/^{144}Nd_{(i)}$ e o $\epsilon Nd_{(i)}$ apresentam boa correlação negativa com a sílica, e assim como para a razão de Sr, as rochas do S-SE também possuem valores menos radiogênicos do que as do restante do maciço. As razões isotópicas de Pb apresentam variação maior comparado aos isótopos anteriores. O S-SE possui uma correlação negativa com a sílica para as três razões isotópicas de Pb ($^{206}Pb/^{204}Pb_{(i)}$, $^{207}Pb/^{204}Pb_{(i)}$ e $^{208}Pb/^{204}Pb_{(i)}$), em todos tendo o dique de nefelinito com o maior valor e o BtHblNeS com o menor. Nos S-C e S-NW, $^{206}Pb/^{204}Pb_{(i)}$ possui uma correlação positiva para as rochas insaturadas e negativa para as supersaturadas em sílica, sendo o QzAFS-I (MAI110) discrepante com o menor valor, enquanto $^{207}Pb/^{204}Pb_{(i)}$ apresenta uma correlação positiva e $^{208}Pb/^{204}Pb_{(i)}$ negativa.

A correlação entre a ordem de intrusão das diferentes unidades do MAI, (interpretada com base nas informações geológicas) com os teores de sílica e razões isotópicas (Figura 6.7) sugerem que o grau de assimilação crustal aumentou progressivamente nos sucessivos pulsos até romper a barreira termal (continuando seu curso evolutivo por processos de diferenciação magmática) e depois diminuindo nos pulsos seguintes, mantendo esses magmas finais insaturados.

Aparentemente, as rochas com maiores teores de sílica ocupam geomorfologicamente as posições mais elevadas (Figura 6.7). Isso poderia ser apenas um efeito do intemperismo e erosão mais atuantes nas rochas insaturadas que ocupariam níveis inferiores, porém, o maciço de Passa Quatro (Brotzu *et al.*, 1992) e as porções externas do S-C (e.g. Serra Negra e Morro do Maromba) exibem as mesmas expressões altimétricas e não possuem rochas supersaturadas em seus pontos culminantes.

Este fato poderia ser resultado de um aumento gradativo nas taxas de fusão parcial das encaixantes crustais e assimilação causados pelo incremento de temperatura através de pulsos sucessivos, até atingir um ápice na curva dos *solidus*. O intervalo temporal entre a formação de S-C e

S-NW, apesar de pequeno, seria o suficiente para os magmas encontrarem as encaixantes mais frias novamente. Outro fator a ser considerado, é que o maciço corta transversalmente diversas litologias e terrenos tectônicos diferentes, o que poderia interferir significativamente nos processos de geração e ascensão desses magmas e ampliados por outros processos de evolução magmática.

Figura 6.5 – Diagramas $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}$ vs. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$ para as rochas do MAI e diques próximos. As curvas representam a tendência de *mixing* (com incrementos de 10%) a partir de amostras iniciais primitivas com as encaixantes adjacentes, milonito (triângulo, MAI027), leucogranito (círculo, MAI194C); e biotita xisto (quadrado, MAI168). Os símbolos asterisco cinza são tephitos e basanitos de Thompson *et al.* (1998). Legenda idem Figura 5.7.

Figura 6.6 – Diagramas SiO_2 (em % de peso) vs. razões isotópicas iniciais e idades modelo T_{DM} . A linha verde representa a tendência para o S-SE e a rosa para os S-C e S-NW. Legenda idem Figura 5.7.

Figura 6.7 – Diagramas mostrando as tendências de variações petrológicas em relação à ordem de intrusão (sem escala) de SE para NW (interpretada a partir de informações geológicas) das unidades do MAI. Legenda idem Figura 5.7.

6.3 Evolução petrológica

Os dados geoquímicos e isotópicos sugerem que as rochas do MAI foram geradas através da evolução de dois magmas parentais distintos (Figura 6.8): I) ankaratrítico/basanito, que deram origem aos nefelinitos por fracionamento cristal de diopsídio e aos nefelina sienitos do S-SE por fracionamento de diopsídio, apatita e ±anfíbólio; e II) basanito/álcali basalto que geraram os traquibasaltos por fracionamento de diopsídio e os sienitos dos S-C e S-NW por fracionamento de plagioclásio, diopsídio e apatita, que por sua vez a) evoluíram para nefelina sienitos e b) para sienitos com quartzo ultrapassando a barreira termal por processos assimilação crustal. A Figura 6.9 reproduz esquematicamente as relações petrológicas e petrogenéticas entre as unidades.

O diagrama petrogenético residual (Figura 6.10) mostra que as composições do NeS-I partem do campo da nefelina em direção ao eutético Ne-Ab-Or. As amostras peraluminosas do NeS-I estão dentro do campo da leucita, e isso explica as feições texturais de possíveis pseudoleucitas nessas amostras. As unidades BtHblNeS e NeSdIS têm suas composições no campo de cristalização de feldspato alcalino, mostrando-se um pouco mais evoluídas.

As composições das amostras insaturadas em sílica dos S-C e S-NW estão próximas ao limite de saturação, de modo que uma baixa taxa de assimilação crustal seria suficiente para romper a barreira termal e evoluir em direção ao eutético Ab-Qz-Or por processos de diferenciação e cristalização fracionada. Já os magmas que não tiveram assimilação de encaixantes suficientes para

ultrapassar a barreira, seguiram uma evolução normal para o eutético Ne-Ab-Or. Os diques de fonolito têm composição muito próxima do eutético nefelina sienítico, enquanto os riolitos e o mA ainda apresentam composições em direção ao eutético granítico.

A razão Nb/Ta é relativamente constante (15,1-18,6 entre o primeiro e terceiro quartis e mediana 16,7) para todo o maciço e um pouco abaixo do valor do condrito C1 (17,6; McDonough & Sun, 1995), não possuindo uma relação clara com o incremento de SiO₂ ou Nb (Figura 6.11). Esses valores sugerem uma evolução a partir de um líquido mantélico sem o fracionamento de titanita e titanomagnetita (Green & Pearson, 1987; Green, 1995). Apenas algumas amostras de tendência mais

Figura 6.8 – Diagrama R1-R2 (De La Roche *et al.*, 1980) representando as tendências evolutivas das unidades do MAI, as linhas cheias representam as séries das unidades e as tracejadas as possíveis trajetórias evolutivas dos *gaps* composicionais. As cores representam: verde, unidades do setor S-SE; vermelho, unidades dos setores S-C e S-NW; preto, possíveis injeções máficas nas unidades sieníticas; azul, possíveis processos de assimilação a partir da composição das encaixantes locais. Os asteriscos representam as possíveis composições dos líquidos parentais. Os círculos cinza representam as composições ideais dos minerais e as linhas pontilhadas a direção oposta ao fracionamento dos respectivos minerais. No diagrama (em mesma numérica) estão as distribuições das amostras do MAI (legenda idem Figura 5.7) e dos diques próximos (asteriscos cinza, Thompson *et al.*, 1998).

evoluída e peralcalina (tanto insaturadas quanto supersaturadas em sílica) possuem valores mais altos (25-59), sugerindo um fracionamento local desses minerais em sua evolução.

A razão Zr/Hf apresenta uma variação (37-42,1 entre o primeiro e terceiro quartis e mediana 39,2) pouco acima do valor do condrito C1 (37,6; McDonough & Sun, 1995). O aumento dessa razão é controlada principalmente pelo fracionamento de fases máficas como piroxênio e anfibólio magnesiano (e.g. Pfänder *et al.*, 2007; Berger *et al.*, 2014), o que é apoiado pela correlação negativa com mg#, A/NK e SiO₂ (Figura 6.11). No entanto, a correlação negativa Zr/Hf vs. SiO₂ para as rochas supersaturadas significa que elas evoluem diminuindo essa razão, o que não condiz com o fracionamento de máficos.

Os valores do índice Eu/Eu* mostram a variação das anomalias positivas a fortemente negativas de Eu (0,09-1,54) e possuem uma boa correlação negativa com SiO₂, $\pm$ A/NK e positiva com Sr e Ba (Figura 6.12). As rochas consideradas mais primitivas (NeS-I, TB e o nefelinito MAI046E) não

Figura 6.9 – Relações petrogenéticas entre as unidades magmáticas do MAI. Os símbolos representam os principais processos petrológicos envolvidos.

Figura 6.10 – Diagrama de equilíbrio NaAlSiO₄ – SiO₂ – KAlSiO₄ (Hamilton & MacKenzie, 1965) para as rochas dos diferentes setores do MAI. Legenda idem Figura 5.7.

possuem anomalias significativas (Eu/Eu^* 0,96-1,05), enquanto a evolução tanto para as rochas insaturadas quanto supersaturadas se dá com importante fracionamento de plagioclásio, exceto para o SE-E. As rochas com anomalias positivas ($\text{Eu}/\text{Eu}^* > 1$) possuem plagioclásio e seu significado é discutido a seguir (item 6.4.1.2).

Figura 6.11 – Diagramas de variação das razões Nb/Ta e Zr/Hf para as rochas do MAI. As linhas horizontais representam a razão condritica de McDonough & Sun (1995). Elementos em ppm e SiO_2 em % de peso. Legenda idem Figura 5.7.

Figura 6.12 – Diagramas de variação da anomalia ed Eu (Eu/Eu^*) vs. SiO_2 (em % de peso), índice A/NK, e Sr (em ppm) para as rochas do MAI. Legenda idem Figura 5.7.

6.3.1 Parâmetros intensivos

As atividades de albita no álcali feldspato não variam significativamente e quase não diferem entre as temperaturas de 800 e 900°C, de 0,79 a 0,96 e 0,71 e 0,91, respectivamente. As atividades de nefelina mostram uma variação pouco menor, de 0,38 a 0,53, onde a amostra MAI199 possui os maiores valores. Já o componente jadeíta no clinopiroxênio mostra uma variação significativa e diferença importante entre as temperaturas calculadas, de 0,035 a 0,090 e 0,033 a 0,76. Essa variação deve-se à diferentes estágios de substituição e/ou alteração nos cristais de clinopiroxênio. Além disso, algumas amostras possuem valores bimodais (melhor visto no componente Ca-Tschermak), o que pode representar diferentes estágios de equilíbrio, como antecristais. A variação na atividade de jadeíta é muito crítica pois é muito sensível à mudança de temperatura, o que resulta em uma grande influência no equilíbrio albita-nefelina-jadeíta. Apenas atividades de jadeíta abaixo de 0,040 registram temperaturas mais magmáticas, acima de 700°C. Com o objetivo de estimar as condições magmáticas iniciais, todos os equilíbrios abaixo de 700°C foram considerados com cautela.

Todas as amostras possuem a mesma assembleia inicial (feldspato alcalino, nefelina, clinopiroxênio, magnetita e ilmenita, que pode ser ausente, seguidos então por titanita, anfibólio e $\pm$ biotita), então as suas condições físico-químicas iniciais de equilíbrio devem ser similares. Nessa situação, a temperatura de equilíbrio mais alta pode ser considerada como a condição inicial para esses magmas. A amostra MAI199 mostra temperaturas de 850°C e atividades de sílica de $\sim 0,5$, para os valores máximos de atividade de albita e nefelina e mínimo de jadeíta (Figura 6.13A).

O equilíbrio hedenbergite-magnetita-ilmenita-titanita fornece valores de fO_2 de 3 a 7 log acima do *buffer* FMQ ($\Delta FMQ = +3$ a $+7$), e abaixo do *buffer* HM, sugerindo condições relativamente altas de fugacidade (Figura 6.13B). Essas condições relativamente altas de oxidação explica a falta de olivina e presença abundante de titanita no maciço.

O equilíbrio anortita (em plagioclásio) – Ca-Tschermak (em clinopiroxênio) possui valores de atividade de sílica muito menores (Figura 6.13C), mostrando um claro desequilíbrio com a assembleia feldspato alcalino-nefelina-clinopiroxênio. Isso corrobora com as observações texturais de que os cristais de plagioclásio são antecristais, ou mesmo xenocristais.

6.4 Grupos petrológicos

O MAI compõe-se de um conjunto diversificado de litotipos que pode ser dividido em cinco grupos petrológicos: (1) nefelina sienitos sem plagioclásio, (2) nefelina sienitos/pulaskitos com plagioclásio, (3) série nordmarkito-granito, (4) associação quartzo sienito anti-rapakivi e (5) rochas básicas. A Figura 6.14 mostra a distribuição espacial desses grupos no mapa geológico do MAI e seus respectivos campos de variação no diagrama mg vs. Q-foid.

Figura 6.13 – Diagramas de equilíbrio entre as fases minerais das rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia calculados para 1 kbar e 900°C para as atividades dos componentes minerais. A) Diagrama $a\text{SiO}_2$ vs. temperatura mostrando o equilíbrio nefelina – jadeíta (em clinopiroxênio) – albíta (em feldspato alcalino). Os equilíbrios tracejados são considerados sub *solidus* (< 700°C), sendo o de maior temperatura registrado na amostra MAI199, com $a\text{SiO}_2$ de ~0,55. B) Diagrama $a\text{SiO}_2$ vs. $\log f\text{O}_2$ mostrando os equilíbrios magnetita – titanita – ilmenita – hedenbergita (em clinopiroxênio) e andradita – magnetita – hedenbergite (em clinopiroxênio). Em cinza o campo de variação da $a\text{SiO}_2$ e $f\text{O}_2$ do MAI. HM, *buffer* hematita-magnetita; FMQ, *buffer* fayalita-magnetita-quartzo. C) Diagrama $a\text{SiO}_2$ vs. temperatura mostrando o equilíbrio Ca-tschermak (em clinopiroxênio) – anortita (em plagioclásio). Em cinza a área de estabilidade desse equilíbrio, mostrando-se abaixo da $a\text{SiO}_2$ mínima do maciço.

Figura 6.14 – Mapa geológico simplificado com os grupos petrológicos do MAI e o diagrama mg# vs. Q – foid (em % normativa) com os campos de variação das rochas do MAI.

6.4.1 Rochas sieníticas com nefelina

Todos os sienitos insaturados em sílica possuem uma paragênese mineral inicial similar: apatita, zircão, titanomagnetita, $\pm$ ilmenita e diopsídio, além de feldspato potássico e nefelina, contudo eles podem ser divididos em dois grupos distintos (Tabela 6.1): nefelina sienitos sem plagioclásio (*PI-free*) e nefelina sienitos/pulaskitos com plagioclásio (*PI-bearing*).

Esses grupos de rochas sieníticas com nefelina *PI-free* e *PI-bearing* têm similaridades com os tipos SA e A, respectivamente, descritos por Brotzu *et al.* (1997), e coincide com as áreas de concentração de nefelina e titanita marcadas por Penalva e Ribeiro Filho (1965). O tipo A seria dominante, moderadamente insaturado (Ne_{norm} 2-16%), com plagioclásio ou não, e compondo *plugs* locais de sienitos com coríndon (subgrupo C) na região sudeste, e o tipo SA seriam intrusões mais tardias fortemente insaturadas (Ne_{norm} 20-36%). Entretanto, as observações geológicas e petrológicas coletadas neste trabalho sugerem relações diferentes. Os nefelina sienitos *PI-free* representam as primeiras e últimas intrusões sieníticas dos setores S-SE e S-C/S-NW, intercaladas pelos nefelina sienitos/pulaskitos *PI-bearing*.

6.4.1.1 Nefelina sienitos sem plagioclásio (*PI-free*)

As rochas deste grupo são tipicamente mais escuras, devido ao feldspato potássico cinza escuro e teores maiores de nefelina (também escura), porém possuem índice de cor menor. O diopsídio segue um zonamento normal, com bordas tipicamente de aegirina-augita a aegirina, exceto na unidade NeS-II, onde é substituída por magnésio-hastingsita e biotita. Esta unidade também é a única onde foi encontrado relictos de andradita (além de xenólitos com melanita nos diques do S-SE). Nos diagramas de Harker (Figura 5.11) TiO_2 , FeO_t , MgO e P_2O_5 não apresentam uma clara correlação com SiO_2 , mantendo uma tendência horizontal a levemente positiva, que foge da tendência geral do

Tabela 6.1 – Classificação dos grupos petrológicos dos litotipos plagioclásio-*free* (*PI-free*) e plagioclásio-*bearing* (*PI-bearing*) das unidades nefelina sieníticas e pulaskíticas do MAI. Não foram consideradas as rochas peraluminosas do NeS-I e do apêndice noroeste da unidade BtHbIP.

Nefelina sienitos <i>PI-free</i>	Nefelina sienitos/pulaskitos <i>PI-bearing</i>
NeS-I, NeSdIS, SdINeS-foy, BtAgtNeS e NeS-II ^(*)	BtHlbNeS, BtHbIP e HbIP
Mais insaturada em sílica (10-35% foid modal)	Menos insaturada em sílica (0-15% foid modal)
Rocha cinza escura; M' 5-16%; mg# 8-34	Rocha cinza claro; M' 10-28%; mg# 30-43
$\nearrow SiO_2$ vs. $\nearrow$ (TiO_2 , FeO_t , MgO e P_2O_5)	$\nearrow SiO_2$ vs. $\searrow$ (TiO_2 , FeO_t , MgO e P_2O_5)
CaO <1,6%; P_2O_5 < 0,2%; Eu/Eu* 0,33-0,95	CaO >1,7%; P_2O_5 > 0,2%; Eu/Eu* 1,19-1,54
$\downarrow fO_2$; A/NK < 1,07; K_2O/Na_2O 0,6-1,4	$\uparrow fO_2$; A/NK > 1,06; K_2O/Na_2O 1,0-2,1
Diopsídio $\rightarrow$ aegirina-augita $\rightarrow$ aegirina	Diopsídio $\rightarrow$ magnésio-hastingsita $\rightarrow$ $\pm$ biotita
$\downarrow$ biotita, titanita, titanomagnetita e apatita	$\uparrow$ biotita, titanita, titanomagnetita e apatita
Presença local de minerais agpaíticos	Presença constante de plagioclásio

^(*) O NeS-II possui todos os parâmetros deste grupo, porém a sequência diopsídio $\rightarrow$ magnésio-hastingsita $\rightarrow$ biotita

maciço (formado o λ). Também é característica a tendência mais sódica (K_2O/Na_2O 0,6 a 1,4) e peralcalina (A/NK 0,91 a 1,07), com a presença comum de minerais agpaíticos. As informações geoquímicas e isotópicas sugerem que as rochas desse grupo foram geradas pela evolução direta de magmas parentais mantélicos, controlada principalmente por processos de fracionamento de plagioclásio e clinopiroxênio.

Os minerais agpaíticos, especialmente lãvenita, hiortdahlita e rinkita (além de kupletskita, hainita, rosenbuschita e catapleiita), ocorrem dispersos pela rocha como fases intersticiais ou como cristais aciculares, juntamente com a maior presença de sodalita. As sequências de cristalização dos minerais são:

diopsídio $\rightarrow$ aegirina-augita $\rightarrow$ aegirina/arfvedsonita,
ilmenita/titanomagnetita $\rightarrow$ titanita $\rightarrow$ rinkite/aenigmatita/lãvenita,
zircão $\rightarrow$ hiortdahlita/catapleiita/lãvenita e
biotita $\rightarrow$ astrofilita/kupletskita.

Esses minerais delimitam um estágio transicional de um sistema miaskítico para agpaítico (Sørensen, 1997; Marks *et al.*, 2011; Andersen *et al.*, 2016).

Rochas agpaíticas são geradas por uma extensa diferenciação de magmas nefeliníticos ou álcali basálticos derivados do manto sob baixa fO_2 (Sørensen, 1997; Mann *et al.*, 2006; Markl *et al.*, 2010; Marks *et al.*, 2011). Sua evolução e cristalização dependem fortemente das razões A/NK e K/N do líquido, que são favorecidas pelo fracionamento de plagioclásio, clinopiroxênio e hornblenda, e pela cristalização de feldspato potássico, nefelina e biotita, respectivamente, fatores que progressivamente acumulam Na no líquido. Magmas com baixa fO_2 também favorecem o enriquecimento de Na, Cl, F e outros voláteis devido à menor atividade de H_2O e CO_2 . Nesse caso, eles possuem tipicamente CH_4 como fase fluída dominante, que por sua vez, tornam-se bastante solúveis para os HFSE resultando na cristalização de minerais agpaíticos (Marks *et al.*, 2011). No caso do líquido não concentrar suficientemente Na, Cl e F, minerais como titanita e zircão irão se cristalizar, formando uma assembleia miaskítica. O excesso de Na favorece a cristalização de aegirina e arfvedsonita, forçando a entrada de Fe^{3+} nesses minerais e assim reduzindo ainda mais o líquido devido ao consumo de O_2 . O líquido evolui para condições nas quais nem ilmenita ou magnetita são estáveis (*no oxide field*), com as condições de oxidação passando então a ser controladas pelo equilíbrio entre aegirina, arfvedsonita e aenigmatita (Markl *et al.*, 2010).

O SdINeS-foy apresenta os maiores teores desses minerais agpaíticos, enquanto na borda sudeste do NeS-I e nas regiões de crista do BtAgtNeS ocorrem fácies onde são mais abundantes. A manifestação de rochas agpaíticas na região externa de complexos anelares (como na unidade BtAgtNeS que forma o anel externo do S-C) também ocorre em outros maciços, como Poços de Caldas

(Ulbrich, 1993) e Pilanesberg (Andersen *et al.*, 2016). Nesses lugares, as fácies agpaíticas, normalmente fonolitos e tinguaítos, são interpretados como manifestações tardias e relacionadas ao colapso do sistema de caldeira.

As rochas peraluminosas com coríndon modal do NeS-I possuem os teores de SiO₂, Al₂O₃, K₂O e Rb maiores e Na₂O muito menor do que as demais amostras da unidade. As razões ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr e ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd também variam um pouco no sentido de enriquecimento de componente crustal. O aumento de K₂O, Al₂O₃ e Rb sugere a assimilação de rochas ricas em muscovita e biotita, sendo a encaixante local um sillimanita-granada-muscovita-biotita-xisto do Grupo Embú (Eirado *et al.*, 2006; Heilbron *et al.*, 2016). A assimilação de uma encaixante rica em minerais aluminosos, especialmente muscovita, por um magma peralcalino poderia levar à saturação de Al₂O₃ antes da saturação de SiO₂, resultando na presença de coríndon e hercynita. Alguns lugares do MAI, como nos Três Picos, a rocha possui uma granulação fina, podendo representar plugs resultado de uma diferenciação interna. A associação plagioclásio, hercynite e coríndon pode sugerir substituição de granada e clinopiroxênio (Mariga *et al.*, 2006).

6.4.1.2 Nefelina sienitos/pulaskitos com plagioclásio (Pl-bearing)

As rochas sieníticas com nefelina do grupo Pf-bearing são mais claras e mais máficas, geralmente com o feldspato alcalino esbranquiçado, nefelina rosada e cristais de anfibólio, biotita e titanita bem desenvolvidos. O diopsídio é substituído por magnésio-hastingsita durante o estágio principal de cristalização, que localmente pode ser substituída por biotita. Nos diagramas de Harker (Figura 5.11), a composição química desse grupo de rocha segue a tendência normal do maciço, possuindo uma boa correlação negativa de TiO₂, FeO_t, MgO e P₂O₅ com SiO₂. Apresenta uma tendência de caráter mais potássica (K₂O/Na₂O 1,0-2,1) e miaskítica (A/NK 1,06-1,17). Além disso, possui uma característica anomalia positiva de Eu e presença de plagioclásio, frequentemente zonado, com texturas iniciais ígneas e feições de reequilíbrio/substituição posterior.

Os cristais maiores de plagioclásio possuem teores mais elevados de An (40-50%), exibindo os seus núcleos menos reequilibrados. Esses teores de An são relativamente altos para nefelina sienitos e pulaskitos de associações tipicamente feldspática. O equilíbrio anortita (em plagioclásio) – Ca-Tschermak (em clinopiroxênio) possui valor de atividade de sílica muito menor do que o estimado para os nefelina sienitos do MAI (Figura 6.13C), mostrando um claro desequilíbrio com a assembleia feldspato alcalino-nefelina-clinopiroxênio.

As razões A/NK e K₂O/Na₂O maiores e a presença de plagioclásio (ainda instável), tornaram a concentração relativa de Na no líquido menor, favorecendo a cristalização de uma assembleia miaskítica e mantendo a *f*O₂ elevada ao longo da cristalização pela falta de substituições acoplada NaFe³⁺. Aliado ao aumento da *a*H₂O durante a cristalização, o diopsídio torna-se instável sendo

substituído pela magnésio-hastingsita, mais estável sob uma maior fO_2 e menor disponibilidade de Na (Figura 6.15).

A presença de plagioclásio e diopsídio com texturas de desequilíbrio (Figure 5D e H, ANEXO A) e maior teor modal de minerais máficos, seguidos de valores maiores de mg#, P_2O_5 e elementos traços como Sc, Cr, Co e Cu, poderiam sugerir a interação desses magmas com outros de caráter básico durante a sua evolução, seja em um pré-estágio de cristalização ou durante a ascensão. A concentração de Eu no magma sienítico inicial ao longo da cristalização, seguido de mudanças para um ambiente de redução do sistema, devido à essa interação de magmas, poderia elevar as concentrações de Eu^{2+} no plagioclásio e conseqüentemente na rocha. Não foram encontrados enclaves máficos de qualquer tipo, porém os minerais máficos tendem a formarem agregados relativamente maiores do que o grupo P-free.

Uma taxa de fusão parcial do manto um pouco maior e/ou uma pequena diferença no local dessa fusão, assim como diferenças nos graus de assimilação ao longo da ascensão e colocação desses magmas, também poderiam contribuir para as diferenças geoquímicas e petrográficas entre os dois grupos de rochas sieníticas com nefelina *Pl-bearing* e *Pl-free*. Porém, os dados isotópicos não indicam uma participação expressiva aos *trends* de evolução geral do maciço.

6.4.2 Rochas sieníticas com quartzo

As rochas sieníticas com quartzo ocorrem no centro do S-C, longe do contato com as encaixantes regionais, na região de transição entre o S-NW e sua região central, nesses locais ocorrendo também em contato com as encaixantes. Todas as unidades apresentam anomalias negativas de Eu significativas, sugerindo que o fracionamento de plagioclásio representou um papel importante no processo de evolução e geração dessas rochas. Tipicamente exibem feições de alteração

Figura 6.15 – Diagrama $Na/(Na+Ca)$ vs. $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+})$, em a.p.f.u. para clinopiroxênios e anfibólios das rochas insaturadas em sílica do MAI. Círculos, clinopiroxênio; triângulos, anfibólio. Em vermelho a sequência diopsídio → magnésio-hastingsita, onde o aumento do teor de Fe^{3+} é consequência do aumento progressivo de fO_2 e menor dependência da disponibilidade de Na. Em azul a sequência diopsídio → aegirina-augita → aegirina/arfvedsonita, onde a disponibilidade maior de Na induz à entrada de Fe^{3+} por substituição acoplada, e aumenta o consumo de O_2 , diminuindo progressivamente a fO_2 do líquido.

pós-magmática, com as fases máficas parcialmente substituídas por óxidos, carbonatos e fluocarbonatos, e com feldspato bastante sericitizado. Quase todas as unidades exibem cavidades miarolíticas, sugerindo uma colocação relativamente rasa desses corpos.

Foram identificados dois grupos: a série nordmarkito-granito e a associação quartzo sienito-traquito porfirítico.

6.4.2.1 Série nordmarkito-granito

É formada pelas unidades AegN, N-I, N-II, N-III, QzAFS-I, QzAFS-II, QzAFS-III e mA. Essas unidades possuem em comum uma paragênese inicial similar, com $\pm$ apatita, zircão, $\pm$ ilmenita, titanomagnetita, $\pm$ augita/aegirina-augita e feldspato alcalino. O teor modal, tamanho dos cristais e a estágio de cristalização do quartzo é correlacionável ao teor de sílica da unidade. A presença de clinopiroxênio e anfibólio é variável, desde unidades sem anfibólio (AegN e N-II), ou apresentando ambos minerais com texturas de substituição (N-I, QzAFS-I, N-III), ou sem clinopiroxênio (QzAFS-II) e até unidades sem estes dois minerais (mA). Não há padrões químicos notáveis que expliquem essas diferenças, sendo então, possivelmente, resultados de variações das condições físico-químicas dos sistemas em que cada unidade foi gerada, particularmente de fO_2 e a_{H_2O} . Nas unidades AegN e N-II o clinopiroxênio é substituído por uma associação tardi a pós-magmática de ankerita, carbonatos e fluorcarbonatos de terras raras, ilmenita e fluorita.

Os modelamentos petrológicos com os dados disponíveis para elementos traço e razões isotópicas não são compatíveis com a evolução direta dessas rochas supersaturadas a partir de um magma nefelina sienítico, como BtHbIP ou BtAgtNeS (S-C) ou HbIP e NeS-II (S-NW). Isso sugere que a assimilação local de sílica, especialmente do teto da intrusão, não foi significativa ou determinante para a supersaturar esses magmas.

A correlação com SiO_2 para os elementos maiores, Rb, Th, U, Nb, $\pm Ta$, $\pm Hf$ e Eu/Eu^* e as razões isotópicas Nd-Sr-Pb formam uma boa tendência geral para os setores S-C e S-NW e sugerem uma relação petrogenética e petrológica entre essas unidades. A partir de um magma parental já pouco insaturado (como um álcali basalto), a assimilação de rochas saturadas a supersaturadas ao longo da acessão pela crosta inferior e superior levaria ao rompimento da barreira termal do sistema Ne-Ab-Qz, assim evoluindo em direção ao eutético do sistema Ab-Qz-Or pela cristalização de feldspato alcalino. Os baixos teores de MgO , CaO , P_2O_5 , Ba e Sr e a forte anomalia de Eu indicam um importante fracionamento de plagioclásio, diopsídio e apatita a partir de um magma pouco insaturado em SiO_2 (como discutido no item 6.2.2). Possivelmente, os estágios iniciais de fracionamento mineral ocorreram em uma câmara em níveis intermediários a inferior da crosta.

Os QzASF-I e II e suas fácies internas possuem uma correlação química mais próxima e possivelmente evoluíram através de sucessivos pulsos magmáticos de caráter similar. São as únicas

unidades do MAI com anomalia negativa de Ce (Ce^* 0,58-0,62), além do MG-mts, o que poderia indicar um fracionamento de zircão sob maior fO_2 (Burnham & Berry, 2014; Smythe & Brennan, 2015). Entretanto essas rochas são ricas em zircão e o Ce^* não apresenta qualquer correlação aparente com qualquer outro elemento ou razões elementares para o conjunto de dados do MAI. Já o dique MAI130, que corta o QzASF-I próximo ao contato com o QzAFS-II, é fortemente empobrecido em ETRs, porém com forte anomalia positiva de Ce^* (3,22) e enriquecimento nos ETRs pesados. O T-II apresenta padrão semelhante, porém pouco menos empobrecido. O mA possui grande semelhança geoquímica e isotópica com os diques de riolito, e possivelmente são resultados de uma diferenciação interna da unidade QzAFS-II.

A relação entre os nordmarkitos não é clara, já que eles não estão em contato entre si. O AegN e N-I estão alojados entre o BtAgtNeS e BtHbIP, entretanto, o AegN é a única unidade com quartzo de caráter peralcalino ($A/NK = 0,98$), tendo aegirina e albita como fases finais de cristalização e ausência de titanita. O N-I possui maior afinidade com o N-II, e possuem os teores mais elevados de P_2O_5 , Sr e Ba, anomalias negativas de Eu menores (Eu/Eu^* 0,69-0,77), e assinatura de ETRs correspondentes. O N-II está claramente colocado entre duas unidades mais ricas em sílica. A localização e texturas do N-III e QzAFS-III (foliação magmática do N-III e a textura dos agregados máficos em ambos) sugerem que poderiam ser facies de borda do HbIP, com grande assimilação das rochas encaixantes. Entretanto, as unidades insaturadas e supersaturadas do N-NW possuem assinaturas de elementos traço e ETRs bem diferentes. O N-III e T-II possuem curvas de ETRs semelhantes, com forte anomalia negativa de Eu, anomalia positiva de Ce, e leve enriquecimento nos ETRs pesados, porém o T-II é mais empobrecido.

Os T-I(a) e T-II também fazem parte dos *trends* geoquímicos, porém possuem um contexto geológico um pouco diferente. O comportamento geoquímico de alguns elementos e as características mineralógicas indicam diferenças nos processos evolutivos.

6.4.2.2 Associação quartzo sienito anti-rapakivi

Os dados geoquímicos, as relações de campo e as semelhanças texturais mostram uma afinidade petrológica entre o arpk-QzS, o T-I(b) e o T-I(c). A fácies T-I(c) possui as mesmas texturas, mineralogia e cor que as do arpk-QzS, porém com uma matriz mais fina. Já a fácies T-I(b) possui uma matriz afanítica, com fenocristais exibindo texturas anti-rapakivi semelhantes às do arpk-QzS. No campo é difícil determinar os limites entre essas unidades, ora ocorrendo de forma abrupta, ora gradativa. Essas unidades também se sobrepõem nos diagramas de variação química, sugerindo assim uma mesma origem e evolução.

A presença de textura anti-rapakivi, comumente envolvendo agregados minerais, indica mudança brusca nos teores de K_2O e Na_2O durante um estágio de cristalização, enquanto enclaves máficos arredondados ou ovóides e ricos em biotita registram a injeção de um magma mais básico.

Os diagramas de variação química mostram um deslocamento do *trend* normal do maciço em direção ao BtM, com o qual faz contato na porção oeste. Nos diagramas das Figura 5.8 e 6.8 o arpk-QzS e o T-I saem da tendência geral alinhando-se com o BtM.

As amostras do arpk-QzS e T-I se adequam bem à curva de mistura (Figura 6.16) entre as amostras MAI110 (QzAFS-I), com o qual possui semelhanças mineralógicas e visuais, e MAI182C (BtM), com um grau de mistura de 20 a 65%. A amostra MAI189 de um arpk-QzS representa a que mais se aproxima quimicamente do BtM, sendo também a que está situada mais próxima geograficamente.

6.4.3 Rochas básicas

As unidades Mg-mts e TB possuem pouca expressão na constituição do MAI, tendo sido encontrado apenas um afloramento de cada uma dessas unidades, sem mostrar uma relação geológica clara com as rochas sieníticas. O melagabro possui textura tipicamente cumulática, porém não há resquícios de piroxênio, substituído por uma associação de ferropargasita, magnetita, titanita e biotita. Possui composição química muito semelhante ao TB, diferindo apenas nos menores teores de Ba e Sr, nas anomalias negativas de Eu e Ce e no maior enriquecimento em ETRs pesados.

Figura 6.16 – Diagramas de elementos maiores (em % de óxido) vs. mg# e razões (elementos maiores em % de óxido e traços em ppm) para a série nordmarkito-granito (campo em rosa) e associação quartzo sienito anti-rapakivi (em cinza) com as linhas de *mixing* entre as amostras MAI182C e MAI110. Legenda idem Figura 5.7.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das informações coletadas ao longo deste trabalho, que inclui mapeamento geológico de detalhe, petrografia pormenorizada, caracterização química de minerais, estudos com base na geoquímica de rocha e geoquímica isotópica Sr-Nd-Pb e determinação de idade U/Pb de zircão por SHRIMP, apresenta-se uma nova leitura geológica e petrológica do Maciço Alcalino de Itatiaia, que culminou com as seguintes conclusões:

- O Maciço Alcalino de Itatiaia (MAI) é uma das maiores ocorrências alcalinas meso-cenozóica do Brasil, com aproximadamente 215 km². Possui uma forma alongada NW-SE (30 por 4,5 a 11,5 km) com uma estrutura anelar na região central. Encontra-se orientado segundo a mesma direção das zonas de acomodação tectônica do Rifte Continental do Sudeste Brasileiro e das zonas de transferência da Placa Oceânica do Atlântico Sul, mostrando uma estreita relação com sua evolução.
- O MAI evoluiu a partir de um centro magmático migratório, com idades que variam de 71,3 a 67,3 Ma. Manifestou-se como um complexo anelar, com sucessivas intrusões em forma de meia lua distribuídas de sudeste para noroeste em três setores: Sudeste (S-SE), Central (S-C) e Noroeste (S-NW). Esses setores possuem características litológicas e geomorfológicas distintas, sugerindo diferentes origens e/ou estágios de evolução.
- Apresenta grande variação composicional, formado por rochas insaturadas a supersaturadas em sílica que variam de hololeucocráticas a melanocráticas, básicas a ácidas, peralcalinas a peraluminosas e sódicas a ultrapotássicas. Essas características se refletem numa grande variação composicional dos minerais principais e na diversidade da mineralogia acessória. Foram identificadas 21 unidades petrográficas (além de variações faciológicas internas) de nefelina sienitos a quartzo sienitos, traquitos, granito, monzonito, melagabro, traquibasalto, além de diques de nefelinitos, fonolitos, traquitos e riolitos.
- Essa variedade litológica pode ser dividida em cinco grupos petrológicos:
 - nefelina sienitos sem plagioclásio, caracterizados por uma forte insaturação em sílica e uma tendência tardi-magmática agpaítica (comumente com lâvenita, hiortdahlita, rinkite, dentre outros minerais);

- nefelina sienitos/pulaskitos com plagioclásio, que mostram-se menos insaturados em sílica e mais enriquecidos em máficos, com diopsídio largamente substituído por magnésio-hastingsita e presença de plagioclásio (normalmente com textura anti-rapakivi);
 - série nordmarkito-granito, onde álcali feldspato quartzo sienitos e granito mostram uma variação progressiva nos teores de quartzo, índice de cor e granulação, enquanto os nordmarkitos não mostram uma clara ralação evolutiva;
 - associação anti-rapakivi, caracterizado pela textura porfirítica a glomeroporfirítica anti-rapakivi nas rochas e presença ocasional de enclaves microgranulares máficos arredondados;
 - rochas básicas representadas pela ocorrência de um melagabro metassomatizado e um traquibasalto, aparentemente não mostrando relações geológicas claras com os sienitos.
- As rochas foram originadas possivelmente através da evolução de dois magmas parentais mantélicos distintos, que evoluíram principalmente por cristalização fracionada, mas contando também com alguma participação de processos de contaminação crustal:
 - ankartrito/basanito, que deram origem aos nefelinitos por fracionamento cristal de diopsídio, e os nefelina sienitos do S-SE por fracionamento de diopsídio, apatita e $\pm$ anfíbólio;
 - basanito/álcali basalto, que geraram os traquibasaltos por fracionamento de diopsídio e os sienitos dos S-C e S-NW por fracionamento de plagioclásio, diopsídio e apatita, que por sua vez a) evoluíram para nefelina sienitos e b) para sienitos com quartzo ultrapassando a barreira termal por processos assimilação crustal.

REFERÊNCIAS

- Algarite, J. P. (1972). A Influência dos Arqueamentos Cratônicos no Condicionamento das Alcalinas dos Estados de São Paulo e Paraná. *Congresso Brasileiro de Geologia*, Belém: SBG - Sociedade Brasileira de Geologia, 65–69.
- Almeida, F. F. M. de (1967). Origem e evolução da Plataforma Brasileira. *DNPM, Divisão de Geologia e Mineralogia, Boletim*, **241**, 1–36.
- Almeida, F. F. M. de (1969). Diferenciação tectônica da plataforma brasileira. *Congresso Brasileiro de Geologia*, Salvador: SBG - Sociedade Brasileira de Geologia, 29–46.
- Almeida, F. F. M. de (1971). Condicionamento tectônico do magmatismo alcalino mesozóico do Sul do Brasil e do Paraguai ocidental. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **43**, 835–836.
- Almeida, F. F. M. de (1976). The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **48**, 15–26.
- Almeida, F. F. M. de (1983). Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da plataforma sul-americana. *Revista Brasileira de Geociências*, **13**, 139–158.
- Almeida, F. F. M. de (1991). O Alinhamento Magmático de Cabo Frio. *2º Simpósio de Geologia do Sudeste*, São Paulo: SBG - Sociedade Brasileira de Geologia/SP-RJ, 423–428.
- Almeida, F. F. M. de & Carneiro (1998). Origem e evolução da Serra do Mar. *Revista Brasileira de Geociências*, **28**, 135–150.
- Alves, A., Janasi, V. de A. & Campos Neto, M. da C. (2016). Sources of granite magmatism in the Embu Terrane (Ribeira Belt, Brazil): Neoproterozoic crust recycling constrained by elemental and isotope (Sr-Nd-Pb) geochemistry. *Journal of South American Earth Sciences*, **68**, 205–223.
- Alves, A., Pereira, G. de S., Janasi, V. de A., Higgins, M., Polo, L. A., Juriaans, O. S. & Ribeiro, B. V. (2015). The origin of felsic microgranitoid enclaves: Insights from plagioclase crystal size distributions and thermodynamic models. *Lithos*, Elsevier B.V. **239**, 33–44.
- Andersen, D. J., Lindsley, D. H. & Davidson, P. M. (1993). QUILF: A pascal program to assess equilibria among Fe-Mg-Mn-Ti oxides, pyroxenes, olivine, and quartz. *Computers & Geosciences*, **16**, 1333–1350.
- Andersen, T., Elburg, M. & Erambert, M. (2016). The miaskitic-to-agpaitic transition in peralkaline nepheline syenite (white foyaite) from the Pilanesberg Complex, South Africa. *Chemical Geology*, Elsevier B.V.
- Anthony, J. W., Bideaux, R. A., Bladh, K. W. & Nichols, M. C. (2017). *Handbook of Mineralogy. Mineralogical Society of America*.
- Araujo, A. L. N., Carlson, R. W., Gaspar, J. C. & Bizzi, L. A. (2001). Petrology of kamafugites and kimberlites from the Alto Paranaíba Alkaline Province, Minas Gerais, Brazil. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **142**, 163–177.
- Armstrong, J. T. (1991). Quantitative Elemental Analysis of Individual Microparticles with Electron Beam Instruments. *Electron Probe Quantitation*, Boston, MA: Springer US, 261–315.
- Azzone, R. G., Montecinos Munoz, P., Enrich, G. E. R., Alves, A., Ruberti, E. & Gomes, C. B. (2016). Petrographic, geochemical and isotopic evidence of crustal assimilation processes in the Ponte Nova alkaline mafic-ultramafic massif, SE Brazil. *Lithos*, **260**, 58–75.
- Azzone, R. G., Ruberti, E., Rojas, G. E. E. & Gomes, C. de B. (2009). Geologia e Geocronologia do Maciço Alcalino Máfico-Ultramáfico Ponte Nova (SP-MG). *Geologia USP. Série Científica*, **9**, 23–46.

- Bellieni, G., Montes-Lauar, C. R., De Min, A., Piccirillo, E. M., Cavazzini, G., Melfi, A. J. & Pacca, I. G. (1990). Early and Late Cretaceous magmatism from São Sebastião Island (SE-Brazil): geochemistry and petrology. *Geochimica Brasiliensis*, **4**, 59–83.
- Bennio, L. *et al.* (2003). The tholeiitic dyke swarm of the Arraial do Cabo peninsula (SE Brazil): $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ ages, petrogenesis, and regional significance. *Journal of South American Earth Sciences*, **16**, 163–176.
- Bennio, L., Brotzu, P., Gomes, C. B., D'Antonio, M., Lustrino, M., Melluso, L., Morbidelli, L. & Ruberti, E. (2002). Petrological, geochemical and Sr-Nd isotopic features of alkaline rocks from the Arraial do Cabo Frio Peninsula (southeastern Brasil). *Periodico di Mineralogia*, **71**, 137–158.
- Berger, J., Ennih, N. & Liégeois, J.-P. (2014). Extreme trace elements fractionation in Cenozoic nephelinites and phonolites from the Moroccan Anti-Atlas (Eastern Saghro). *Lithos*, **210–211**, 69–88.
- Berman, R. G. (1988). Internally-Consistent Thermodynamic Data for Minerals in the System $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$. *Journal of Petrology*, **29**, 445–522.
- Berman, R. G., Brown, T. H. & Perkins, E. H. (1987). Geo-Calcul: Software for calculation and display of P-T-X phase diagrams. *American Mineralogist*, **72**, 861–862.
- Black, L. P. *et al.* (2004). Improved $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element-related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards. *Chemical Geology*, **205**, 115–140.
- Bongiolo, E. M., Pires, G. L. C., Gerales, M. C., Santos, A. C. & Neumann, R. (2015). Geochemical modeling and Nd-Sr data links nephelinite-phonolite successions and xenoliths of Trindade Island (South Atlantic Ocean, Brazil). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Elsevier B.V. **306**, 58–73.
- Brade, A. C. (1956). A Flora do Parque Nacional. *Boletim do Parque Nacional do Itatiaia*, Itatiaia **5**, 1–111.
- Brotzu, P. *et al.* (1989). Petrological and geochemical studies of alkaline rocks from continental Brazil. 8. The syenitic intrusion of Morro Redondo, RJ. *Geochimica Brasiliensis*, **3**, 63–80.
- Brotzu, P. *et al.* (1992). Petrology and geochemistry of the Passa Quatro alkaline complex, southeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **6**, 237–252.
- Brotzu, P. *et al.* (2007). Petrogenesis of the Early Cenozoic potassic alkaline complex of Morro de São João, southeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **24**, 93–115.
- Brotzu, P., Gomes, C. B., Melluso, L., Morbidelli, L., Morra, V. & Ruberti, E. (1997). Petrogenesis of coexisting SiO_2 -undersaturated to SiO_2 -oversaturated felsic igneous rocks: The alkaline complex of Itatiaia, southeastern Brazil. *Lithos*, **40**, 133–156.
- Brotzu, P., Melluso, L., D'Amelio, F. & Lustrino, M. (2005). Mafic/ultramafic dykes and felsic intrusions with potassic to ultrapotassic affinity in the Serra do Mar province: a review. In: Comin-Chiaramonti, P. & Gomes, C. B. (eds) *Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform*, São Paulo: EDUSP-FAPESP, 443–472.
- Buddington, A. F. & Lindsley, D. H. (1964). Iron-Titanium Oxide Minerals and Synthetic Equivalents. *Journal of Petrology*, **5**, 310–357.
- Burnham, A. D. & Berry, A. J. (2014). The effect of oxygen fugacity, melt composition, temperature and pressure on the oxidation state of cerium in silicate melts. *Chemical Geology*, Elsevier B.V. **366**, 52–60.
- Carmichael, I. S. E. (1967). The iron-titanium oxides of salic volcanic rocks and their associated ferromagnesian silicates. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **14**, 36–64.
- Carvalho, B. B., Janasi, V. de A. & Henrique-Pinto, R. (2014). Geochemical and Sr-Nd-Pb isotope constraints on the petrogenesis of the K-rich Pedra Branca Syenite: Implications for the Neoproterozoic post-collisional magmatism in SE Brazil. *Lithos*, **205**, 39–59.
- Chiessi, C. M. (2004). Tectônica cenozóica do Maciço Alcalino de Passa Quatro (SP-MG-RJ). São Paulo, Universidade de São Paulo.
- Cioffi, C. R., Campos Neto, M. C., Moller, A. & Rocha, B. C. (2015). Paleoproterozoic continental crust generation events at 2.15 and 2.08 Ga in the basement of the southern Brasília Orogen, SE Brazil. *Precambrian Research*, **275**, 176–196.

- Cogné, N., Gallagher, K. & Cobbold, P. R. (2011). Post-rift reactivation of the onshore margin of southeast Brazil: Evidence from apatite (U-Th)/He and fission-track data. *Earth and Planetary Science Letters*, **309**, 118–130.
- Cogné, N., Gallagher, K., Cobbold, P. R., Riccomini, C. & Gautheron, C. (2012). Post-breakup tectonics in southeast Brazil from thermochronological data and combined inverse-forward thermal history modeling. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **117**, n/a-n/a.
- Comin-Chiaramonti, P. *et al.* (1997). Potassic and Sodic Igneous Rocks from Eastern Paraguay: their Origin from the Lithospheric Mantle and Genetic Relationships with the Associated Paraná Flood Tholeiites. *Journal of Petrology*, **38**, 495–528.
- Comin-Chiaramonti, P., Gomes, C. B., Censi, P., Gasparon, M. & Velázquez, V. F. (2005). Alkaline complexes from the Alto Paraguay Province at the border of Brazil (Mato Grosso do Sul state) and Paraguay. In: Comin-Chiaramonti, P. & Gomes, C. B. (eds) *Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform*, São Paulo: EDUSP-FAPESP, 71–148.
- Cosca, M. A., Moecher, D. P. & Essene, E. J. (1986). Activity-composition relations for the join grossular-andradite and application to calc-silicate assemblages. *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, 572.
- Curtis, C. G., Harris, C., Trumbull, R. B., De Beer, C. & Mudzanani, L. (2013). Oxygen Isotope Diversity in the Anorogenic Koegel Fontein Complex of South Africa: a Case for Basement Control and Selective Melting for the Production of Low- 18O Magmas. *Journal of Petrology*, **54**, 1259–1283.
- Davidson, P. & Mukhopadhyay, D. (1984). Ca-Fe-Mg olivines: phase relations and a solution model. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Springer-Verlag **86**, 256–263.
- De La Roche, H., Leterrier, J., Grandclaude, P. & Marchal, M. (1980). A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2-diagram and major element analyses - its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology*, **29**, 183 – 210.
- Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussman, J. (1992). *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. Harlow, England : Longman Scientific & Technical ; New York, NY : Wiley.
- DePaolo, D. J. (1981). A neodymium and strontium isotopic study of the Mesozoic calc-alkaline granitic batholiths of the Sierra Nevada and Peninsular Ranges, California. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **86**, 10470–10488.
- Derby, O. A. (1887). On nepheline rocks in Brazil, with special reference to the association of phonolite and foyaite. *Quarterly Journal of the Geological Society*, **43**, 457–473.
- Downes, H. (1984). Sr and Nd isotope geochemistry of coexisting alkaline magma series, Cantal, Massif Central, France. *Earth and Planetary Science Letters*, **69**, 321–334.
- Droop, G. T. R. (1987). A General Equation for Estimating Fe³⁺ Concentrations in Ferromagnesian Silicates and Oxides from Microprobe Analyses, Using Stoichiometric Criteria. *Mineralogical Magazine*,.
- Eirado, L. G., Heilbron, M. & Almeida, J. C. H. (2006). Os Terrenos Tectônicos Da Faixa Ribeira Na Serra Da Bocaina E Na Baía Da Ilha Grande , Sudeste Do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **36**, 426–436.
- Elburg, M. A. & Cawthorn, R. G. (2016). Source and evolution of the alkaline Pilanesberg Complex, South Africa. *Chemical Geology*,.
- Engelmann de Oliveira, C. H., Jelinek, A. R., Chemale, F. & Cupertino, J. A. (2016). Thermotectonic history of the southeastern Brazilian margin: Evidence from apatite fission track data of the offshore Santos Basin and continental basement. *Tectonophysics*, **685**, 21–34.
- Enrich, G. E. R., Azzone, R. G., Ruberti, E., Gomes, C. B. & Comin-Chiaramonti, P. (2005). Itatiaia, Passa Quatro and São Sebastião island, the major alkaline syenitic complexes from Serra do Mar region. In: Comin-Chiaramonti, P. & Gomes, C. B. (eds) *Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform*, São Paulo: EDUSP-FAPESP, 419–442.
- Enrich, G. E. R., Ruberti, E. & Gomes, C. B. (2009). Geology and geochronology of Monte de Trigo island alkaline suite, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **39**, 67–80.
- Ernesto, M., Marques, L. S., Piccirillo, E. M., Molina, E. C., Ussami, N., Comin-Chiaramonti, P. & Bellieni, G. (2002). Paraná Magmatic Province–Tristan da Cunha plume system: fixed versus mobile plume, petrogenetic

- considerations and alternative heat sources. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **118**, 15–36.
- Ersoy, Y. & Helvacı, C. (2010). FC–AFC–FCA and mixing modeler: A Microsoft® Excel® spreadsheet program for modeling geochemical differentiation of magma by crystal fractionation, crustal assimilation and mixing. *Computers & Geosciences*, **36**, 383–390.
- Estrade, G., Béziat, D., Salvi, S., Tiepolo, M., Paquette, J.-L. & Rakotovo, S. (2014). Unusual evolution of silica-under- and -oversaturated alkaline rocks in the Cenozoic Ambohimirahavavy Complex (Madagascar): Mineralogical and geochemical evidence. *Lithos*, **206–207**, 361–383.
- Faure, G. (2001). *Origin of Igneous Rocks: The Isotopic Evidence*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Ferrari, A. L. (2001). Evolução Tectônica do Graben da Guanabara. São Paulo, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado.
- Foland, K. A. & Henderson, C. M. B. (1976). Application of age and Sr isotope data to the petrogenesis of the Marangudzi ring complex, Rhodesia. *Earth and Planetary Science Letters*, **29**, 291–301.
- Foland, K. A., Landoll, J. D., Henderson, C. M. B., Chen, J. & Jiangfeng, C. (1993). Formation of cogenetic quartz and nepheline syenites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **57**, 697–704.
- Frost, B. R. & Lindsley, D. H. (1992). Equilibria among Fe-Ti oxides, pyroxenes, olivine, and quartz: part II. Application. *American Mineralogist*, **77**, 1004–1020.
- Frost, B. R., Lindsley, D. H. & Andersen, D. J. (1988). Fe-Ti oxidesilicate equilibria: Assemblages with fayalitic olivine. *American Mineralogist*, **73**, 727–740.
- Garda, G., Schorscher, J. H. D., Esperança, S. & Carlson, R. W. (1995). The petrology and geochemistry of coastal dikes from São Paulo State, Brazil: implication for variable lithospheric contributions to alkaline magmas from the Western Margins of the South Atlantic. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **67**, 191–216.
- Gibson, S. A., Thompson, R. N., Leonardos, O. H., Dickin, A. P. & Mitchell, J. G. (1995). The Late Cretaceous Impact of the Trindade Mantle Plume: Evidence from Large-volume, Mafic, Potassic Magmatism in SE Brazil. *Journal of Petrology*, **36**, 189–229.
- Giret, A., Bonin, B. & Leger, J.-M. (1980). Amphibole compositional trends in oversaturated and undersaturated alkaline plutonic ring complexes. *Canadian Mineralogist*, **18**, 481–495.
- Gomes, C. B. & Comin-Chiaramonti, P. (2005). An introduction to the alkaline and alkaline-carbonatitic magmatism in and around the Paraná-Basin. In: Comin-Chiaramonti, P. & Gomes, C. (eds) *Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform*, São Paulo: EDUSP-FAPESP, 21–30.
- Gomes, C. B. & Valarelli, J. V. (1970). Nova ocorrência de rochas alcalinas no Estado de São Paulo. *24º Congresso Brasileiro de Geologia*, Brasília: SBG - Sociedade Brasileira de Geologia, 336–337.
- Green, T. H. (1995). Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust-mantle system. *Chemical Geology*, Elsevier **120**, 347–359.
- Green, T. H. & Pearson, N. J. (1987). An experimental study of Nb and Ta partitioning between Ti-rich minerals and silicate liquids at high pressure and temperature. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **51**, 55–62.
- Guarino, V., Azzone, R. G., Brotzu, P., de Barros Gomes, C., Melluso, L., Morbidelli, L., Ruberti, E., Tassinari, C. C. G. & Brilli, M. (2011). Magmatism and fenitization in the Cretaceous potassium-alkaline-carbonatitic complex of Ipanema São Paulo State, Brazil. *Mineralogy and Petrology*, **104**, 43–61.
- Guarino, V., Wu, F.-Y., Lustrino, M., Melluso, L., Brotzu, P., Gomes, C. de B., Ruberti, E., Tassinari, C. C. G. & Svisero, D. P. (2013). U–Pb ages, Sr–Nd isotope geochemistry, and petrogenesis of kimberlites, kamafugites and phlogopite-picrites of the Alto Paranaíba Igneous Province, Brazil. *Chemical Geology*, **353**, 65–82.
- Guedes, E., Heilbron, M., de Morisson Valeriano, C., de Almeida, J. C. H. & Szatmari, P. (2016). Evidence of Gondwana early rifting process recorded by Resende-Ilha Grande Dike Swarm, southern Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **67**, 11–24.
- Gupta, A. K. et al. (2010). Silica-Undersaturated Portion of the System Nepheline–Kalsilite–SiO₂ at 2 GPa [P (H₂O)=P (Total)]. *The Canadian Mineralogist*, **48**, 1297–1313.

- Hamilton, D. L. & MacKenzie, W. S. (1965). Phase-equilibrium studies in the system NaAlSiO_4 (nepheline)- KAlSiO_4 (kalsilite)- SiO_2 - H_2O . *Mineralogical Magazine*, **34**, 214–231.
- Harris, C. (1983). The petrology of lavas and associated plutonic inclusions of Ascension Island. *Journal of Petrology*, **24**, 424–470.
- Harris, C. (1995). Oxygen isotope geochemistry of the Mesozoic anorogenic complexes of Damaraland, northwest Namibia: evidence for crustal contamination and its effect on silica saturation. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **122**, 308–321.
- Harris, C., Marsh, J. S. & Milner, S. C. (1999). Petrology of the alkaline core of the Messum igneous complex, Namibia: evidence for the progressively decreasing effect of crustal contamination. *Journal of Petrology*, **40**, 1377–1397.
- Harrison, T. M. & Watson, E. B. (1984). The behavior of apatite during crustal anatexis: Equilibrium and kinetic considerations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **48**, 1467–1477.
- Hawthorne, F. C., Oberti, R., Harlow, G. E., Maresch, W. V., Martin, R. F., Schumacher, J. C. & Welch, M. D. (2012). Ima report: Nomenclature of the amphibole supergroup. *American Mineralogist*, **97**, 2031–2048.
- Heilbron, M. et al. (2007). *Geologia e Recursos Minerais das folhas Santa Rita do Jacutinga, Barra do Piraí, Volta Redonda e Angra dos Reis, escala 1:100.000*. Brasília: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - MME.
- Heilbron, M., Eirado, L. G. & Almeida, J. (2016). *Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro. Escala 1:400.000*. Programa Geologia do Brasil (PGB), Mapas Geológicos Estaduais. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belo Horizonte.
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A. C., Campos Neto, M. C., Silva, L. C., Trouw, R. A. J. & Janasi, V. C. (2004). A Província Mantiqueira. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C. D. R. & Neves, B. B. B. (eds) *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, São Paulo: Editora Beca, 203–234.
- Hofmann, A. W. (1997). Mantle geochemistry: The message from oceanic volcanism. *Nature*, **385**, 219–229.
- Holland, T. J. B. (1990). Activities of components in omphacitic solid solutions. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **105**, 446–453.
- Holland, T. & Powell, R. (2003). Activity–composition relations for phases in petrological calculations: an asymmetric multicomponent formulation. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Springer-Verlag **145**, 492–501.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2012a). *Anuário Estatístico do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2012b). *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. Rio de Janeiro: IBGE.
- Janasi, V. de A., Andrade, S., Vasconcellos, A. C. B. C., Henrique-Pinto, R. & Ulbrich, H. H. G. J. (2015). Timing and sources of granite magmatism in the Ribeira Belt, SE Brazil: Insights from zircon in situ U–Pb dating and Hf isotope geochemistry in granites from the São Roque Domain. *Journal of South American Earth Sciences*, Elsevier Ltd **68**, 224–247.
- Janoušek, V., Farrow, C. M. & Erban, V. (2006). Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: Introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology*, **47**, 1255–1259.
- Jarosewich, E. (2002). Smithsonian Microbeam Standards. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, **107**, 681.
- Jung, S., Hoernes, S. & Hoffer, E. (2005). Petrogenesis of Cogenetic Nepheline and Quartz Syenites and Granites (Northern Damara Orogen, Namibia): Enriched Mantle versus Crustal Contamination. *The Journal of Geology*, University of Chicago Press **113**, 651–672.
- Jung, S., Mezger, K. & Hoernes, S. (2004). Shear zone-related syenites in the Damara belt (Namibia): the role of crustal contamination and source composition. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **148**, 104–121.
- Kogarko, L. N. (1974). Role of volatiles. In: Sørensen, H. (ed.) *The Alkaline Rocks*, London: John Wiley & Sons, 622.
- Lamego, A. R. (1936). O maciço de Itatiaia e regiões circundantes. *Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico/*

DNPM, **88**, 1–93.

- Landoll, J. D., Foland, K. A. & Henderson, C. M. B. (1994). Nd isotopes demonstrate the role of contamination in the formation of coexisting quartz and nepheline syenites at the Abu-Khruq complex, Egypt. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **117**, 305–329.
- Lasaulx, A. (1885). Üeber das Vorkommen von Eläolith-Syeniten und editeri zu diesen gehörigen Eläolith-porphýren aus der Serra d'Itatiaia westlich von Rio de Janeiro, Brasilien. *Sitzungsberichte Der Niederrheinischen Gesellschaft Für Natur*, 231–231.
- Le Maitre, R. W. (2002). *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge University Press.
- Leite, C. A. S. *et al.* (2004). Folhas SF.23 - Rio de Janeiro / SG.23 - Iguape. In: Schobbenhaus, C., Gonçalves, J. H., Santos, J. O. S., Abram, M. B., Leão Neto, R., Matos, G. M. M., Vitotti, R. M., Ramos, M. A. B. & Jesus, J. D. A. de (eds) *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas, Programa Geologia do Brasil*. CPRM, Brasília. CD-ROM.
- Lieberman, J. & Petrakakis, K. (1991). TWEEQU thermobarometry; analysis of uncertainties and applications to granulites from western Alaska and Austria. *The Canadian mineralogist*, **29**, 857–887.
- Liew, T. C. & Hofmann, A. W. (1988). Precambrian crustal components, plutonic associations, plate environment of the Hercynian Fold Belt of central Europe: Indications from a Nd and Sr isotopic study. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **98**, 129–138.
- Locock, A. J. (2008). An Excel spreadsheet to recast analyses of garnet into end-member components, and a synopsis of the crystal chemistry of natural silicate garnets. *Computers and Geosciences*, **34**, 1769–1780.
- Locock, A. J. (2014). An Excel spreadsheet to classify chemical analyses of amphiboles following the IMA 2012 recommendations. *Computers & Geosciences*, **62**, 1–11.
- Lurie, J. (2004). *The Pilanesberg: Geology, Geochemistry and Economic Potential*. Thesis Submitted to Rhodes University in 1973 For Which the PhD Degree was Awarded, Supplemented by More Recent Work. e-book. University of Johannesburg. <http://hdl.handle.net/10210/2188>.
- Mann, U., Marks, M. A. W. & Markl, G. (2006). Influence of oxygen fugacity on mineral compositions in peralkaline melts: The Katzenbuckel volcano, Southwest Germany. *Lithos*, **91**, 262–285.
- Mariga, J., Ripley, E. M., Li, C., McKeegan, K. D., Schmidt, A. & Groove, M. (2006). Oxygen isotopic disequilibrium in plagioclase–corundum–hercynite xenoliths from the Voisey's Bay Intrusion, Labrador, Canada. *Earth and Planetary Science Letters*, **248**, 263–275.
- Markl, G., Marks, M. A. W. & Frost, B. R. (2010). On the Controls of Oxygen Fugacity in the Generation and Crystallization of Peralkaline Melts. *Journal of Petrology*, **51**, 1831–1847.
- Markl, G., Marks, M. A. W., Schwinn, G. & Sommer, H. (2001). Phase Equilibrium Constraints on Intensive Crystallization Parameters of the Ilimaussaq Complex, South Greenland. *Journal of Petrology*, **42**, 2231–2257.
- Marks, M. A. W. & Markl, G. (2001). Fractionation and assimilation processes in the alkaline augite syenite unit of the Ilimaussaq Intrusion, South Greenland, as deduced from phase equilibria. *Journal of Petrology*, **42**, 1947–1969.
- Marks, M. A. W. W., Hettmann, K., Schilling, J., Frost, B. R. & Markl, G. (2011). The Mineralogical Diversity of Alkaline Igneous Rocks: Critical Factors for the Transition from Miaskitic to Agpaitic Phase Assemblages. *Journal of Petrology*, **52**, 439–455.
- Marques, L. S. & Ernesto, M. (2004). O magmatismo toleítico da Bacia do Paraná. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C. D. R. & Brito-Neves, B. B. B. (eds) *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, São Paulo: Editora Beca, 245–263.
- Marques, L. S., Ulbrich, M. N. ., Ruberti, E. & Tassinari, C. G. (1999). Petrology, geochemistry and Sr–Nd isotopes of the Trindade and Martin Vaz volcanic rocks (Southern Atlantic Ocean). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **93**, 191–216.

- Marsh, I. S. (1973). Relationships between transform directions and alkaline igneous rock lineaments in Africa and South America. *Earth and Planetary Science Letters*, **18**, 317–323.
- Martinez, I. A., Harris, C., Le Roex, A. P. & Milner, S. C. (1996). Oxygen isotope evidence for extensive crustal contamination in the Okenyenya igneous complex, Namibia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **60**, 4497–4508.
- Martins, G. G., Mendes, J. C., Schmitt, R. S., Armstrong, R. & Valeriano, C. M. (2016). 550–490Ma pre-to post-collisional shoshonitic rocks in the Ribeira Belt (SE Brazil) and their tectonic significance. *Precambrian Research*, Elsevier B.V. **286**, 352–369.
- McDonough, W. F. & Sun, S. -s. (1995). The composition of the Earth. *Chemical Geology*, **120**, 223–253.
- Meisling, K. E. & Cob, P. R. (2001). Segmentation of an obliquely rifted margin, Campos and Santos basins, southeastern Brazil. *AAPG Bulletin*, **85**, 1903–1924.
- Melluso, L., Guarino, V., Lustrino, M., Morra, V. & De' Gennaro, R. (2016). The REE- and HFSE-bearing phases in the Itatiaia Alkaline Complex (Brazil), and geochemical evolution of feldspar-rich felsic melts. *Mineralogical Magazine*, **81**, 217–250.
- Melo, M. D., Riccomini, C., Hasui, Y., Almeida, F. D. & Coimbra, A. M. (1985). Geologia e evolução do sistema de bacias tafrogênicas continentais do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **15**, 193–201.
- Middlemost, E. A. K. (1975). The basalt clan. *Earth Science Reviews*, **11**, 337–364.
- Middlemost, E. A. K. (1989). Iron oxidation ratios, norms and the classification of volcanic rocks. *Chemical Geology*, **77**, 19–26.
- Mingram, B., Trumbull, R. . B., Littman, S. & Gerstenberger, H. (2000). A petrogenetic study of anorogenic felsic magmatism in the Cretaceous Paresis ring complex, Namibia: evidence for mixing of crust and mantle-derived components. *Lithos*, **54**, 1–22.
- Mogahed, M. M. (2016). Petrogenesis of cogenetic silica-oversaturated and -undersaturated syenites of Abu Khruq ring complex, South Eastern Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, Elsevier Ltd **124**, 44–62.
- Morimoto, N. (1988). Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogy and Petrology*, **39**, 55–76.
- Motoki, A. (1986). Geologia e petrologia do maciço alcalino da Ilha de Vitória, SP. São Paulo, Universidade de São Paulo.
- Mungall, J. E. & Martin, R. E. (1995). Petrogenesis of basalt–comendite and basalt–pantellerite suites, Terceira, Azores, and some implications for the origin of ocean island rhyolites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **119**, 43–55.
- Negrão, A. P., Ramos, R. R. C., Mello, C. L. & Sanson, M. de S. R. (2015). Mapa geológico do cenozoico da região da bacia de Volta Redonda (RJ, segmento central do Rifte Continental do Sudeste do Brasil): identificação de novos grabens e ocorrências descontínuas, e caracterização de estágios tectonossedimentares. *Brazilian Journal of Geology*, **45**, 273–291.
- Nekvasil, H., Dondolini, A., Horn, J., Filiberto, J., Long, H. & Lindsley, D. H. (2004). The Origin and Evolution of Silica-saturated Alkalic Suites: an Experimental Study. *Journal of Petrology*, **45**, 693–721.
- Neves, B. B. de B., Fuck, R. A. & Pimentel, M. M. (2014). The Brasiliano collage in South America: a review. *Brazilian Journal of Geology*, **44**, 493–518.
- Nicholls, J. & Carmichael, J. S. E. (1969). Peralkaline acid liquids: A petrological study. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Springer-Verlag **20**, 268–294.
- Njonfang, E., Tchoneng, G. T., Cozzupoli, D. & Lucci, F. (2013). Petrogenesis of the Sabongari alkaline complex, cameroon line (central Africa): Preliminary petrological and geochemical constraints. *Journal of African Earth Sciences*, **83**, 25–54.
- Pankhurst, R. J., Beckinsale, R. D. & Brooks, C. K. (1976). Strontium and oxygen isotope evidence relating to the petrogenesis of the Kangerdlugssuaq alkaline intrusion, East Greenland. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **54**, 17–42.

- Penalva, F. (1967). Geologia e Tectónica da Região do Itatiaia (Sudeste do Brasil). *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Universidade de São Paulo. Geologia*, **302**, 99.
- Pereira, I. M., Oliveira-Filho, A. T. O., Botelho, S. A., Carvalho, W. A. C., Fontes, M. A. L., Schiavini, I. & Silva, A. F. (2006). Composição Florística do Compartimento Arbóreo de Cinco Remanescentes Florestais do Maciço do Itatiaia, Minas Gerais e Rio de Janeiro. *Rodriguésia*, **57**, 103–126.
- Pfänder, J. a., Münker, C., Stracke, A. & Mezger, K. (2007). Nb/Ta and Zr/Hf in ocean island basalts — Implications for crust–mantle differentiation and the fate of Niobium. *Earth and Planetary Science Letters*, **254**, 158–172.
- Pilet, S., Baker, M. B. & Stolpe, R. E. . (2008). Metasomatized lithosphere and the origin of alkaline lavas. *Science*, **320**, 916–919.
- Pinto, O. (1950). Aves do Itatiaia. *Boletim do Parque Nacional do Itatiaia*, **3**, 1–87.
- Ribeiro Filho, E. (1967). Geologia e Petrologia dos Maciços Alcalinos do Itatiaia e Passa-Quatro (Sudeste do Brasil). *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Universidade de São Paulo. Geologia*, **302**, 9.
- Ribeiro Filho, E. & Penalva, F. (1965). *Mapa Geológico do Maciço Alcalino de Itatiaia*. [material cartográfico]. 1:50.000. São Paulo, IBGE.
- Riccomini, C. (1989). O Rift Continental do Sudeste do Brasil. São Paulo, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado.
- Riccomini, C. & Rodrigues-Francisco, B. H. (1992). Idade potássio-argônio do derrame de ankaramito da Bacia de Itaboraí, Rio de Janeiro, Brasil: implicações tectônicas. *37º Congresso Brasileiro de Geologia*, São Paulo: SBG - Sociedade Brasileira de Geologia, 469–470.
- Riccomini, C., Sant’Anna, L. G. & Ferrari, A. L. (2004). Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: Mantesso Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C. D. R. & Brito-Neves, B. B. (eds) *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, São Paulo: Editora Beca, 383–405.
- Riccomini, C., Velázquez, V. F. & Gomes, C. B. (2005). Tectonic controls of the Mesozoic and Cenozoic alkaline magmatism in central-southern Brazilian Plataform. In: Comin-Chiaramonti, P. & Gomes, C. B. (eds) *Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform*, São Paulo: EDUSP-FAPESP, 31–56.
- Riishuus, M. S., Peate, D. W., Tegner, C., Wilson, J. R. & Brooks, C. K. (2008). Petrogenesis of Cogenetic Silica-Oversaturated and -Undersaturated Syenites by Periodic Recharge in a Crustally Contaminated Magma Chamber: the Kangerlussuaq Intrusion, East Greenland. *Journal of Petrology*, **49**, 493–522.
- Riishuus, M. S., Peate, D. W., Tegner, C., Wilson, J. R., Brooks, C. K. & Harris, C. (2006). Temporal evolution of a long-lived syenitic centre: the Kangerlussuaq Alkaline Complex, East Greenland. *Lithos*, **92**, 276–299.
- Rocha-Júnior, E. R. V., Marques, L. S., Babinski, M., Nardy, A. J. R., Figueiredo, A. M. G. & Machado, F. B. (2013). Sr–Nd–Pb isotopic constraints on the nature of the mantle sources involved in the genesis of the high-Ti tholeiites from northern Paraná Continental Flood Basalts (Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, **46**, 9–25.
- Rosa, P. A. S. (2012). Geologia e Petrologia da suíte alcalina de Bom Repouso, MG. São Paulo, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado.
- Sadowski, G. R. & Dias Neto, C. M. (1981). O lineamento sismotectônico do Cabo Frio. *Revista Brasileira de Geociências*, **11**, 209–212.
- Salgado, A. A. R., Rezende, E. de A., Bourlès, D., Braucher, R., da Silva, J. R. & Garcia, R. A. (2016). Relief evolution of the Continental Rift of Southeast Brazil revealed by in situ-produced ¹⁰Be concentrations in river-borne sediments. *Journal of South American Earth Sciences*, **67**, 89–99.
- Sato, K., Tassinari, C. C. G., Basei, M. A. S., Siga, O., Onoe, A. T. & De Souza, M. D. (2014). Sensitive High Resolution Ion Microprobe (SHRIMP Ile/MC) of the Institute of Geosciences of the University of São Paulo, Brazil: Analytical method and first results. *Geologia USP - Serie Científica*, **14**, 3–18.
- Schilling, J., Frost, B. R., Marks, M. A. W., Wenzel, T. & Markl, G. (2011). Fe-Ti oxide-silicate (QUILF-type) equilibria in feldspathoid-bearing systems. *American Mineralogist*, **96**, 100–110.

- Shand, S. J. (1943). *Eruptive Rocks. Their Genesis Composition. Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite*. New York: John Wiley & Sons.
- Shea, M. E. (1992). Isotopic geochemical characteristics of selected nepheline syenites and phonolites from the Poços de Caldas alkaline complex, Minas Gerais, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration*, **54**, 173–214.
- Sichel, S. E., Carlson, R. W., Esperança, S., Araújo, A. L. N. & Valença, J. G. (1997). Preliminary isotopic study of the alkalic intrusive complexes along the Cabo Frio Lineament. *South-American Symposium on Isotope Geology*, Campos do Jordão, 298–300.
- Siebel, W., Becchio, R., Volker, F., Hansen, M. A. F., Viramonte, J., Trumbull, R. B., Haase, G. & Zimmer, M. (2000). Trindade and Martín Vaz Islands, South Atlantic: Isotopic (Sr, Nd, Pb) and trace element constraints on plume related magmatism. *Journal of South American Earth Sciences*, **13**, 79–103.
- Silva, J. F. (1876). Descrição do Itatiaia ou Itatiaio. *Revista do Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro*, **39**, 413–418.
- Silva, J. F. (1882). Panorama do Sul de Minas. *Revista do Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro*, **45**, 405–435.
- Smith, P. E., Everson, N. M., York, D., Szatmari, P. & Custodio, O. (2001). Single-Crystal $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of pyrite: No fool's clock. *Geology*, **29**, 403–406.
- Smythe, D. J. & Brenan, J. M. (2015). Cerium oxidation state in silicate melts: Combined $f\text{O}_2$, temperature and compositional effects. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Elsevier Ltd **170**, 173–187.
- Sonoki, I. K. & Garda, G. (1988). Idades K-Ar de rochas alcalinas do Brasil Meridional e Paraguai Oriental: compilação e adaptação às novas constantes de decaimento. *Boletim IGC-USP*, **19**, 63–85.
- Sørensen, H. (1974). *The Alkaline Rocks*. London: John Wiley & Sons.
- Sørensen, H. (1997). The Agpaitic Rocks — An Overview. *Mineralogical Magazine*, **61**, 485–498.
- Stanton, N., Ponte-Neto, C., Bijani, R., Masini, E., Fontes, S. & Flexor, J. M. (2014). A geophysical view of the Southeastern Brazilian margin at Santos Basin: Insights into rifting evolution. *Journal of South American Earth Sciences*, **55**, 141–154.
- Teixeira, D. (1961). Relevô e Padrões de Drenagem na Chaminé Vulcânica de Itatiaia. *Boletim Paulista de Geografia*, **37**, 3–12.
- Thomaz Filho, A. & Rodrigues, L. (1999). O Alinhamento de Rochas Alcalinas Poços de Caldas-Cabo Frio (RJ) e sua continuidade na cadeia Vitória-Trindade. *Revista Brasileira de Geociências*, **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**, 1493–1526.
- Trouw, C. C., Medeiros, F. F. F. de & Trouw, R. A. J. (2007). Evolução tectônica da Zona de Cisalhamento Caxambu, MG. *Revista Brasileira de Geociências*, **37**, 767–776.
- Tupinambá, M., Heilbron, M., Valeriano, C., Júnior, R. P., de Dios, F. B., Machado, N., Silva, L. G. do E. & de Almeida, J. C. H. (2012). Juvenile contribution of the Neoproterozoic Rio Negro Magmatic Arc (Ribeira Belt, Brazil): Implications for Western Gondwana amalgamation. *Gondwana Research*, International Association for Gondwana Research **21**, 422–438.
- 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., Ulbrich, M. N. C. & Kawashita, K. (2002). Penecontemporaneous syenitic-phonolitic and basic-ultrabasic-carbonatitic rocks at the Poços de Caldas alkaline massif, SE Brazil: geologic and geochronologic evidence. *Revista Brasileira de Geociências*, **32**, 15–26.
- Ulbrich, M. N. C. (1993). Mineralogy of nepheline syenites from the Poços de Caldas alkaline massif, SE Brazil: chemistry, X-ray data and microtextures of feldspars. *Revista Brasileira de Geociências*, **23**, 388–399.
- Upton, B. G. J., Emeleus, C. H., Heaman, L. M., Goodenough, K. M. & Finch, A. A. (2003). Magmatism of the mid-Proterozoic Gardar Province, South Greenland: chronology, petrogenesis and geological setting. *Lithos*, **68**, 43–65.

- Valeriano, C. de M., Mendes, J. C., Tupinambá, M., Bongiorno, E., Heilbron, M. & Junho, M. do C. B. (2016). Cambro-Ordovician post-collisional granites of the Ribeira belt, SE-Brazil: A case of terminal magmatism of a hot orogen. *Journal of South American Earth Sciences*, **68**, 269–281.
- Valeriano, C. de M., Tupinambá, M., Simonetti, A., Heilbron, M., de Almeida, J. C. H. & do Eirado, L. G. (2011). U-Pb LA-MC-ICPMS geochronology of Cambro-Ordovician post-collisional granites of the Ribeira belt, southeast Brazil: Terminal Brasiliano magmatism in central Gondwana supercontinent. *Journal of South American Earth Sciences*, Elsevier Ltd **32**, 416–428.
- Vlach, S. R. F., Vilalva, F. C. J., Ulbrich, M. N. C., Ulbrich, H. H. G. J. & Vasconcelos, P. M. (2003). Phlogopite from carbonatitic veins associated with the Poços de Caldas Alkaline Massif, SE Brazil: Mineralogy and Ar/Ar dating by the laser step heating method. *South American Symposium on Isotope Geology*, Salvador: SBG - Sociedade Brasileira de Geologia, 702–705.
- Watson, E. B. & Harrison, T. M. (1983). Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth and Planetary Science Letters*, **64**, 295–304.
- Wetherill, G. W. (1956). Discordant uranium-lead ages, I. *Transactions, American Geophysical Union*, **37**, 320.
- Wones, D. R. (1981). Mafic Silicates as Indicators of Intensive Variables in Granitic Magmas. *Mining Geology*, **31**, 191–212.
- Wood, B. J. (1979). Activity-composition relationships in $\text{Ca}(\text{Mg,Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$ - $\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$ clinopyroxene solid solutions. *American Journal of Science*, **279**, 854–875.
- Yang, J.-H. H., Sun, J.-F. F., Zhang, M., Wu, F.-Y. Y. & Wilde, S. A. (2012). Petrogenesis of silica-saturated and silica-undersaturated syenites in the northern North China Craton related to post-collisional and intraplate extension. *Chemical Geology*, **328**, 149–167.
- Zalán, P. V & Oliveira, J. A. B. (2005). Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **13**, 296–300.
- Zartman, R. E. & Haines, S. M. (1988). The plumbotectonic model for Pb isotopic systematics among major terrestrial reservoirs-A case for bi-directional transport. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **52**, 1327–1339.

ANEXO A

Nepheline Syenites to Syenites and Granitic Rocks of the Itatiaia Alkaline Massif, Southeastern Brazil: new geological insights into a migratory ring Complex

Rosa, P. A. S¹. & Ruberti, E.¹

¹ Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências

Keywords: Alkaline rocks, Nepheline syenite, Quartz syenite, Geological mapping, Itatiaia

Summary

Abstract.....	100
1 Introduction	100
1.1 Area of study	101
1.2 Previous works	102
2 Methodology.....	103
3 Geological context	104
3.1 Precambrian basement	104
3.2 Meso-Cenozoic tectonics and magmatism.....	104
3.3 The Cabo Frio Magmatic Lineament.....	105
4 Geological setting	106
4.1 Southeastern Sector (SE-S)	110
4.1.1 Nepheline syenite I (NeS-I).....	110
4.1.2 Biotite hornblende nepheline syenite (BtHblNeS)	110
4.1.3 Sodalite nepheline syenite (SdNeS)	112
4.1.4 Aegirine nepheline syenite foyaitic (AegNeS-foy).....	112
4.2 Central Sector (C-S).....	113
4.2.1 Biotite aegirine-augite nepheline syenite (BtAgtNeS)	113
4.2.2 Biotite hornblende pulaskite (BtHblP)	114
4.2.3 Aegirine nordmarkite (AegN)	115
4.2.4 Nordmarkite I (N-I)	115
4.2.5 Quartz alkali feldspar syenite I (QzAFS-I)	115
4.2.6 Quartz alkali feldspar syenite II (QzAFS-II)	116
4.2.7 Microalaskite (mA)	116
4.2.8 Nordmarkite II (N-II).....	118
4.2.9 Anti-rapakivi quartz syenite (arpk-QzS)	118
4.2.10 Trachytes I (T-I)	119
4.3 Northwestern Sector (NW-S).....	120
4.3.1 Biotite monzonite (BtM)	120
4.3.2 Nordmarkite III (N-III)	120
4.3.3 Hornblende pulaskite (HblP)	121

4.3.4 Quartz alkali feldspar syenite III (QzAFS-III)	121
4.3.5 Nepheline syenite II (NeS-II).....	122
4.3.6 Metasomatized melagabbro (MG-mts) and trachybasalt (TB).....	122
4.3.7 Trachytes II (T-II).....	123
4.4 Sedimentary deposits	124
5 Geological evolution.....	124
5.1 Emplacement stages.....	125
6 Petrographic sets	126
6.1 Nepheline-bearing syenites	127
6.2 Quartz-bearing syenites.....	128
6.3 Basic rocks.....	130
7 Acknowledgments.....	130
8 References.....	130

Abstract

The Itatiaia alkaline massif (IAM) comprises some of the largest Meso-Cenozoic alkaline igneous occurrences in Brazil, covering over 215 km² between Minas Gerais and Rio de Janeiro states. It appears as an elongated, 30 km long and 4.5 -11.5 km wide SE-NW-trending body emplaced along accommodation zones of the Continental Rift of Southern Brazil, intruding metapelites, orthogneiss and granites of the Brasília and Ribeira fold belts.

New data and geological mapping suggest that the massif evolved from a migratory magmatic center that manifested as ring structures and successive moon-shaped intrusions from SE to NW in three sectors of distinct lithological and geomorphological characteristics: Southeastern (SE-S), Central (C-S) and Northwestern (NW-S).

The lithological variants in the three sectors present themselves as discrete intrusive bodies, comprising feldspathoid-bearing and quartz-bearing syenites, porphyritic to breccoid trachytes, granite, monzonite, gabbro and trachybasalt, that can be grouped into 21 units. These rocks occur in five petrographical sets: plagioclase-free nepheline syenites, plagioclase-bearing nepheline syenite and pulaskites, nordmarkite-granite series, anti-rapakivi associations and basic rocks. Sin- to tardi-plutonic dykes of nephelinites, phonolites, trachytes and rhyolites are also present.

1 Introduction

Alkaline rocks are defined by the presence of feldspathoids, sodic pyroxene and/or sodic amphibole, thus rocks that can be either undersaturated or oversaturated with silica. A silica-saturated liquid may evolve toward a foid-syenite or a granite eutectic, but it cannot evolve to both terms in the same process (e.g. Hamilton & MacKenzie, 1965; Sørensen, 1974; Foland *et al.*, 1993; Nekvasil *et al.*, 2004; Gupta *et al.*, 2010). Nevertheless, association of nepheline syenite and quartz syenite is common in many alkaline provinces and in different tectonic contexts. Typically, they form ring complexes that can be categorized into three types of occurrences: a) massifs composed of silica-undersaturated rocks

in their central portions and quartz-bearing rocks in their border zones, their spatial distribution being either gradual or marked by different intrusions, e.g., Abu Khruq, Egypt (Mogahed, 2016), Ilímaussaq and Kangerlussuaq, Greenland (Marks & Markl, 2001; Riishuus *et al.*, 2008) and Messum, Namibia (Harris *et al.*, 1999); b) massifs with quartz-bearing rocks only in their central portions, shielded from contact with country rocks (at least at surface level) by silica-undersaturated rocks, e.g., Itatiaia, Brazil (Penalva, 1967; Ribeiro Filho, 1967; Brotzu *et al.*, 1997), Wadi Dib, Egypt (Frisch & Abdel-Rahman, 1999), Hekanzi, China (Yang *et al.*, 2012) and Pilanesberg, South Africa (Cawthorn, 2015); and c) massifs composed exclusively, or with predominance of, quartz-bearing rocks associated with other silica-undersaturated massifs in the same magmatic province, e.g., Cerro Pedreira and Morro Distante, Alto Paraguay Province, Paraguay (Comin-Chiaramonti *et al.*, 2015), Paresis, Damaraland Province, Namibia (Mingram *et al.*, 2000) and Sabongari, Cameroon Line, Cameroon (Njonfang *et al.*, 2013).

The Itatiaia Alkaline Massif (IAM) is one of the few Meso-Cenozoic alkaline occurrences in Brazil with a variation from SiO₂-undersaturated rocks on their borders to silica-oversaturated rocks in their core regions. The massif is notable for its progressively inward increase in SiO₂ content, and also for the presence of an alkaline granite body and rhyolitic dykes in its central portions.

The study that is presented here was based on petrographic information, detailed fieldwork and remote sensing, and was aimed at a reevaluation of the IAM geology. The massif shows to be of much higher geological complexity and lithologic variation than described in previous studies. The objective here is to present a new geology reading of the region, with a description of its main structures and lithological diversity and the relations among them. A detailed geological map is also presented, with emphasis on faciology and petrography. Twenty-one different magmatic units (besides internal facies variations) of feldspathoid-bearing and quartz-bearing syenite, trachyte, granite, monzonite, gabbro and dykes of nephelinite, phonolite, trachyte and rhyolite are defined.

1.1 Area of study

Covering an area of approximately 215 km², the Itatiaia Alkaline Massif is one of the largest Meso-Cenozoic alkaline occurrences in Brazil, located between Itatiaia, State of Rio de Janeiro, and Itamonte, State of Minas Gerais (22°18'/22°28' S; 44°34'/44°49' W). Access is made by highways BR-116, BR-354 and BR-485 (Flores' Highway). About three-quarters of the massif belong to the Itatiaia National Park, the first Brazilian one, established in 1937. Approximately 40% of its area is above the altitude of 2,000 m. An important landmark in southeastern Brazil, the massif shows a rugged topography and 13 of the 35 highest peaks in the country, among which the famous Agulhas Negras (2,792 m), the fifth highest one. The lowest altitude point (560 m) is located near the park entrance. The region presents an astonishing diversity of natural resources, an example being the Atlantic Forest ecoregion. Most of the massif is covered by Serra do Mar coastal forests. Montane rain forest occurs

above the altitude of 1,500 m, with significant presence of Araucaria trees. Starting between 1,800 and 1,900 m in the rupestrian grassland of montane savanna, and progressively until disappearing at altitudes above 2,200 m, trees become shorter and more scarce. In the far northwest of the massif, pastures and crops occur.

1.2 Previous works

The Itatiaia massif was one of the first regions of scientific interest in Brazil. For its important historical, biological, ecological, geomorphological, touristic, mountaineering and other aspects, it has been studied for almost two centuries. The first scientific work in the region was carried out in 1872 by A. F. M. Glaziou, who collected a large number of new plant species, in an expedition of which Isabel, Imperial Princess of Brazil took part (Brade, 1956). E. Ule was the first one to mention the local fauna in 1894 (Pinto, 1950). Despite its broad extension, lithologic diversity and historical importance, the IAM has been subject of only a few geological studies.

In the first geological study of the IAM, Silva (1876) suggested that the Itatiaia Mountain had been formed by volcanic processes in an igneous terrain. Later, Silva (1882) presented petrographic information on a granite body and some vague aspects of other rock types. Silva, also known as Massena, was an important personality in the region and the first one to climb the Agulhas Negras Peak in 1856.

Lasaulx (1885) recorded the first occurrence of alkaline rocks in the Brazil. He described a fine-grained nepheline syenite with orthoclase, plagioclase, augite with hornblende rims, idiomorphic nepheline, abundant titanite and biotite and a porphyritic nepheline syenite with intergrown of orthoclase and nepheline, idiomorphic nepheline, augite, hornblende and titanite.

Lamego (1936) described some nepheline and quartz-bearing lithotypes with their approximate localization, photomicrography and geochemistry. He delimited the foyaite body in the region, including the Passa Quatro and Morro Redondo massifs, the nearest alkaline occurrences, as one. He also associated the local magmatism to the formation of Tertiary basins. From geomorphologic observations, he assigned an Upper Cretaceous age to the massif.

Penalva (1967) and Ribeiro Filho (1967) carried out the most detailed geological studies on the massif, describing a great variety of lithotypes and drawing its first geological map (Ribeiro Filho & Penalva, 1965). Four lithological associations were mapped: nepheline syenites and syenites, quartz syenites, magmatic breccia and granite. They also discussed the massif genesis and evolution and its relations to Passa Quatro and Morro Redondo.

Brotzu *et al.* (1997) presented important mineral chemical, geochemical and isotopic data and also discussed petrological and petrogenetic aspects of the massif. Modifications to the previous map were proposed, with individualization of some internal variations and structural features.

Enrich *et al.* (2005) and Brotzu *et al.* (2005) revised all the previous data in a discussion of petrogenetic models, contrasting the massif with the Passa Quatro and São Sebastião stocks.

Finally, Melluso *et al.* (2016) presented new mineral chemical data on the main lithologies of the IAM, especially on accessory phases of peralkaline syenites and granites and their genetic relationships with evolved lithotypes.

2 Methodology

In the study presented here, 233 outcrops were visited and 256 rock samples collected. The coordinates of outcrops, in addition to landmarks, buildings and sites used as references in the text, are given in Supplementary data (see appendix). Many areas of the massif are inaccessible due to topography and/or exposure constraints.

Lithological units were individualized based on fieldwork information and petrographical (texture and accessory mineralogy of 120 thin sections), geochemical, structural and geomorphological features. All units are interpreted as corresponding to distinct pulses and/or correlated magmatic events. They are cartographically continuous at the working scale 1:75,000 (present here at the scale ~1:143,000) and were drawn based Google Earth (Google Earth, 2015) and Landsat 8 LC82180752013189LGN00 (Image courtesy of the U.S. Geological Survey) satellite imagery and ASTER GDEM ASTGMT2_S23W045 (ASTER GDEM is a product of METI and NASA). Some units show significant internal variation, but there is currently not enough information based on which to individualize them. Owing to the larger number of outcrops described and better exposure and geomorphology, mapping is more detailed in the central parts of the massif. Preliminary data on elemental and isotopic geochemistry, mineral chemistry and geochronology, yet not presented here, were also considered in the individualization of units. Country rock units were compiled from Trouw *et al.* (2003) and Heilbron *et al.* (2016). The map of Fig. 1 was compiled from: Leite *et al.* (2004), Valeriano *et al.* (2011), Alves *et al.* (2015), Cioffi *et al.* (2015) and Janasi *et al.* (2015) for regional basement; Riccomini (1989), Meisling & Cob (2001) and Zalán & Oliveira (2005) for Cenozoic tectonic; and Almeida (1983, 1991) Schobbenhaus *et al.* (1984), Motoki (1986), Bellieni *et al.* (1990) Ferrari (2001), Chiessi (2004), Trouw *et al.* (2007), Brotzu *et al.* (2007), Heilbron *et al.* (2007), Azzone *et al.* (2009), Enrich *et al.* (2009), Guarino *et al.* (2011) and Rosa (2012) for alkaline provinces and massifs.

Geological contacts were categorized as: *known*, when a sudden geological change was directly noticed in field (direct contacts were not observed) and/or satellite imagery observation with good fieldwork control; *inferred*, when change was unclear or fieldwork control was insufficient; and *supposed*, when based only on some indication, with insufficient or missing fieldwork control. Internal facies were also individualized, based on a *sector*, *unit* and *facies* hierarchy.

Phaneritic rocks were identified according to their modal QAPF plots and aphanitic rocks were identified according to their geochemical TAS diagrams (Le Maitre, 2002). Except for fine-grained types, modal analyses of thin sections were performed for representative samples of each unit. Pulaskite and nordmarkite are synonyms for nepheline-bearing alkali feldspar syenite and quartz-bearing alkali feldspar syenite, respectively. Alaskite is synonym for leucocratic alkali feldspar granite (Le Maitre, 2002).

3 Geological context

The Itatiaia Alkaline Massif is emplaced in region of complex geological history in the limits of Brasília and Ribeira orogenic belts, where a continental rift system was developed by reactivation of old shear zones. The same reactivation and all its associated tholeiitic and alkaline magmatism accounted for the opening of the South Atlantic Ocean.

3.1 Precambrian basement

The southeastern portion of the Itatiaia Alkaline Massif intrudes garnet-sillimanite-muscovite-schists of the Embú Group (Paraíba do Sul Terrain) and banded (garnet)-biotite-gneiss and amphibolites of the Raposo Group (Occidental Terrain), Ribeira Belt (Heilbron *et al.*, 2004, 2016; Mendes *et al.*, 2006; Trouw *et al.*, 2013). Following the ENE-WSW trend of the Ribeira Belt, Ediacaran granites of the Andrelândia Domain are also present, locally represented by foliated porphyritic biotite granites of the Serra Selada and Maromba suits (Mendes *et al.*, 2006). The limits between Ribeira and Brasília fold belts are marked by the Rio Jaguari Shear Zone (Campos Neto *et al.*, 2011), that roughly coincides with the limits of the Continental Rift of Southeastern Brazil. The northwestern portion intrudes Neoproterozoic rocks of the Socorro-Guaxupé Nappe, Brasília Belt (Heilbron *et al.*, 2004; Campos Neto *et al.*, 2011; Trouw *et al.*, 2013) represented by a paragneiss-metatexite unit with banded paragneiss and subordinated layers of amphibolite, muscovite-quartz schist and quartzite, and also by an orthogneiss-diatexite unit with hornblende-biotite migmatitic orthogneiss and leucogranites.

3.2 Meso-Cenozoic tectonics and magmatism

An extensional tectonic event in the Upper Jurassic started the opening of the South Atlantic Ocean. In the Brazilian Platform, the event, named Wealdenian Reactivation (Almeida, 1967, 1969), was characterized by reactivation of faults, arc uplift, subsidence of the Paraná Basin and development of coastal basins and intense tholeiitic magmatism in the Paraná-Etendeka Magmatic Province (134-131 Ma.; e.g. Thiede & Vasconcelos, 2010; Janasi *et al.*, 2011). Such processes allowed for the manifestation of repeated alkaline magmatic activity as highs, arcs and flexures surrounding the Paraná Basin and on the coasts adjacent to the Santos Basin (Almeida, 1971, 1983; Algarte, 1972;

Almeida *et al.*, 1996; Riccomini *et al.*, 2005). Their large compositional variations resulted, according to the magmatic associations, in ultrabasic to acid and ultrapotassic to sodic rocks that occur as large to small alkaline bodies, plugs, swarms of dykes and lava flows (Gomes & Comin-Chiaramonti, 2005).

One of the most important tectonic events in the Upper Cretaceous was the development of the Continental Rift of Southeastern Brazil (CRSB; Riccomini, 1989; Riccomini *et al.*, 2004), which resulted in several tectonic basins from Paraná to the north of Rio de Janeiro states. The rift system developed over the Ribeira Belt, leveraging the intense plot of shear zones reactivated as normal faults parallel to coastlines in the Paleogene and as transcurrent faults in the Neogene (Almeida, 1976; Melo *et al.*, 1985; Riccomini, 1989; Riccomini *et al.*, 2004; Zalán & Oliveira, 2005). The development of an epirogenetic mega plateau in the Upper Cretaceous caused by a thermal anomaly (e.g. Ernesto *et al.*, 2002; Rocha *et al.*, 2011) is recorded as the Japi Planation Surface and recorded as thick sedimentary rock layers in the Santos and Campos basins (e.g. Zalán & Oliveira, 2005; Cogné *et al.*, 2012). The uplift that developed in response to the passage of the South American Plate through a thermal anomaly became isostatically unstable, and its gravitational collapse extended between 58 and 20 Ma. A connection among the magmatic activity along the Serra do Mar range and several alkaline intrusions and dikes from 82 to 52 Ma and the development of the CRSB seems clear.

3.3 The Cabo Frio Magmatic Lineament

The Cabo Frio Magmatic Lineament (CFML; Sadowski & Dias Neto, 1981; Almeida, 1991; Thomaz Filho & Rodrigues, 1999; Riccomini *et al.*, 2005) is a curved, 60 km wide and 1,150 km long belt that extends from Jaboticabal to the coastal banks of Almirante Saldanha. About 30 alkaline intrusive bodies as large as massifs, stocks, plugs, lava flows and dike swarms are arranged along the lineament. These rock bodies, of potassic affinity, are essentially composed of nepheline syenite, syenite, phonolite and trachyte. Except for the Poços de Caldas Massif (~800 km²), Bom Repouso and Caxambú stocks (both ~1 km²) and some dikes, these occurrences took place inside or at the edge of CRSB (Fig. 1).

The CFML age apparently ranges eastward, from 84 to 52 Ma. Many studies aimed at an explanation of this progression, linking it to transform faults (e.g. Marsh, 1973), mantle plumes (e.g. Thompson *et al.*, 1998) and subcrustal faulting (e.g. Almeida, 1991; Ferrari, 2001; Riccomini *et al.*, 2005; Zalán & Oliveira, 2005). However, the progression is not linear, and more detailed geochronological studies are necessary, e.g., Jaboticabal is 54 Ma (Gomes & Valarelli, 1970), Poços de Caldas is 84-76 Ma (Shea, 1992; Vlach *et al.*, 2003), Bom Repouso is 79-76 Ma (Rosa *et al.*, 2014), dikes in the Resende and Volta Redonda basins are 82-59 Ma (Guedes *et al.*, 2005), the ankaramitic lavas in Volta Redonda and Itaboraí basins are 43 Ma (Riccomini & Rodrigues-Francisco, 1992), the dikes associated to Mendanha massif are 82 to 54 Ma (Ferrari, 2001; Smith *et al.*, 2001), Morro de São João is 77-56 Ma (Ulbrich &

Gomes, 1981; Sonoki & Garda, 1988; Sichel *et al.*, 1997; Thomaz Filho & Rodrigues, 1999) and Cabo Frio is 52 Ma (Ferrari, 2001).

It is remarkable that most of the CFML alkaline bodies tend to be in contact or intruding Neoproterozoic sin-, late- or post-orogenic K-high calc-alkaline granites and syenites of the Ribeira and Brasília fold belts, especially in the Socorro Nappe, Apiaí Domain and Oriental Terrain (e. g. Valeriano *et al.*, 2011; Tupinambá *et al.*, 2012; Carvalho *et al.*, 2014; Janasi *et al.*, 2015; Alves *et al.*, 2016). The post-orogenic granitoids also have mantellic isotopic signatures (e.g. Janasi *et al.*, 2009; Valeriano *et al.*, 2011; Carvalho *et al.*, 2014) and are oriented to NE-SW (the same trend of Brasiliano faults) with Cenozoic alkaline massifs.

4 Geological setting

The Itatiaia Alkaline Massif is an elongated, 30 km long and 4.5 to 11.5 km wide SE-NW-trending feature. Most of its units are moon-shaped and align successively to the Northwest (Fig. 2). Its structures and lithotype associations suggest three sectors whose characteristics could represent distinct origin and/or evolution stages.

Figure 1 – Distribution of the Meso-Cenozoic alkaline occurrences of Serra do Mar Province (modified after Almeida, 1983, 1991; Schobbenhaus *et al.*, 1984), with the CRSB (Riccomini, 1989), the main Brasiliano tectonic domains and sin- to post-orogenic granitoids. Alkaline occurrences: Poços de Caldas (1), Bom Repouso (2), Caxambú (3), Passa Quatro (4), Itatiaia (5), Morro Redondo (6), Serra dos Tomazes (7), Tinguá (8), Mendanha-Mapicuru (9), Itaúna (10), Tanguá (11), Soarinho (12), Rio Bonito (13), Morro de São João (14), Cabo Frio (15), Ponte Nova (16), Monte de Trigo (17), São Sebastião (18), Serraria (19), Mirante (20), Búzios (21), Vitória (22) and another occurrence near SMP Ipanema (23). Rifts: Paraíba do Sul, São Paulo (SP), Taubaté (Tb), Queluz (Qz), Resende-Volta Redonda (RVR), Baixo Paraíba do Sul (BPS); Coastal: Sete Barras (SB), Ribeira de Iguape (RI), Santos (St), Ubatuba (Ub), Guanabara (Gb), Barra do São João (BSJ). Brasiliano domains: Socorro-Guaxupé Nappe (SGN), South Brasília Belt (SBB), São Roque Domain (SRD), Apiaí Domain (APD), Embú Terrain (ET), Ocidental Terrain (Oct), Oriental Terrain (OrT), Cabo Frio Terrain (CFT). Compiled from: cartographic base (Leite *et al.*, 2004), Cenozoic tectonics (Riccomini, 1989; Zálán & Oliveira, 2005), and therein references (See text for other references).

Figure 2 – Geological map of the Itatiaia Alkaline Massif. Insert: Landsat 8 image bands 5, 6 and 4 (Image courtesy of the U.S. Geological Survey) for the same delimited area. Zone UTM 23K; Datum WGS84.

The Southeastern Sector (SE-S) consists of miaskitic to agpaitic nepheline syenite bodies cut by dykes of aphiric, porphyritic (some of them with pseudoleucite) and breccoid phonolites and nephelinites. The most silica-undersaturated units are on the edge, in contact with basement, being locally peraluminous with modal hercynite and corundum.

The Central Sector (C-S) corresponds to a ring-like structure with a 9.5 to 11.5 km diameter (Fig. 3), that partially intrudes the SE-S. It shows an external C-shape ridge with well-defined topographic expressions in its northern and eastern parts, lower in the south and almost absent in the west, consisting of miaskitic to agpaitic nepheline syenites with a 60 to 200 m wide belt of sin-plutonic swarm of trachyte dykes that sustains its external parts. The inner units are composed of different pulaskites, nordmarkites and quartz alkali feldspar syenites whose silica saturation tends to increase inward. A small intrusive body of alaskite occurs next to the center of the ring, where dykes of trachyte and rhyolite occur. In the transition area to the Northwestern Sector, a 'neck' is formed by anti-rapakivi glomeroporphyritic quartz syenite and porphyritic to breccoid aphanitic trachyte.

The Northwest Sector (NW-S) also shows some moon-shaped structures in nepheline syenites and nordmarkites. Locally, cumulate melagabbro and biotite monzonite occur. In the central parts of the area, porphyritic to breccoid trachyte and trachybasalt are present.

Remarkable in the entire massif, the structural setting is evidenced by the drainage pattern (Fig. 3), lineaments and faults that shape the relief (Fig. 4A and 4B) and also by the great number of conjugate shear joints in slabs and walls (Fig. 4B). Three preferential directions of lineaments are evident: NW-SE, ENE-WSW and W-E. The first one is clearly observed in the Southeast and Central sectors and coincides with the elongation of the massif. Its main manifestation is the Vale dos Lirios Lineament (VLL). The second is ubiquitous and concordant with the tectonic setting of the basement and CRSB. The third group of lineaments is also ubiquitous, but less expressive and more visible in the Central Sector, being even denser in some belts. Secondary radial lineaments are also present in the external ridge of this sector.

The VLL is longitudinal to the massif, with some magmatic manifestations (microalaskite and aegirine-augite nordmarkite units, the Picu's Rock and the Pedra Furada Hill). It appears as a straight valley in the Central Sector, having some expressiveness in the rest of the massif and outside. However its kinematics is yet to be clarified, it separates two different geomorphological domains: a plateau with the highest elevations to the north and a scarp and ring features of lesser visible structural pattern to the south. Apparently, the lineament does not mark any lithological change.

Talus deposits occur across the massif and are expressive over the Southeastern and Central sectors borders. Alluvia-formed bogs are present in the high valleys of the Central Sector.

Figure 3 – Geomorphological features of the C-S ring, Itatiaia Alkaline Massif; the Vale dos Lrios Lineament with WNW direction in the center. Google Earth (2015). Whitish lines represent contacts in Figure 2.

Figure 4 – Field aspects of the Itatiaia Alkaline Massif. A) Fracture plans on the Agulhas Negras Peak, very thin vertical lines corresponding to fluted erosion, which appears as black needles, hence the toponym. B) Fracture plans on the Pedra do Altar. C) Conjugate shear joints on the Vale dos Lrios Lineament overlying the mA unit. Dashed lines highlight structural planes.

4.1 Southeastern Sector (SE-S)

4.1.1 Nepheline syenite I (NeS-I)

This unit occurs in the southeastern border of the massif, partially covered by talus deposits. Outcropping as rocky hills, small massifs or decametric boulders covered by the dense Atlantic Forest, it probably represents the oldest emplaced and most silica-undersaturated rocks of the massif, with more than 30% of modal nepheline. This unit shows the strong textural and mineralogical variation that characterizes internal and border facies.

The predominant internal facies possibly represents the original magma. The best outcrops are found along the road from the park entrance to the museum area. The typical rock is a massive, coarse to medium-grained, inequigranular to equigranular gray to dark gray nepheline syenite (IC ~4-8%). Titanomagnetite, titanite and apatite are early phases. Nepheline is idiomorphic to subidiomorphic, whereas perthitic alkali feldspar is subidiomorphic to interstitial. Xenomorphic to subidiomorphic aegirine-augite is the main mafic mineral, normally zoned with aegirine rims (Fig. 5A). Hiotdahlite is subidiomorphic, sometimes intergrown with titanite and pyroxene. Sodalite, analcime, biotite, carbonate, $\pm$ amphibole, $\pm$ cancrinite and occasional astrophyllite and pyrochlore are late to post magmatic phases. Locally, an association of amphibole biotite replaces clinopyroxene.

The border facies is well observed along the road to Vista Linda Inn and on the Três Picos Hill. The rocks show saccharoidal to oriented, fine to medium-grained texture and gray to dark gray color domains with whitish portions and mafic enclaves. They consist of aluminous assemblages of significant plagioclase, biotite and muscovite, and also hercynite, corundum and rutile (Fig. 5B). An increasing amount of these minerals is followed by a decrease or absence of pyroxene, amphibole, titanite and magnetite. Plagioclase, hercynite and corundum usually appear in association. Centimetric angular mafic microgranular enclaves seldom occur (Figs. 6A and B).

A swarm of phonolite dykes spreads for over 1.5 km along the road to Vista Linda Inn. The dykes vary from aphyric with an agpaitic tendency to porphyritic with phenocrysts of alkali feldspar and/or pseudo-leucite (Fig. 6C), but are also breccoid with fragments of syenitic, melanite-bearing mafic, and mylonitic gneissic rocks (Fig. 6D). Aphyric nephelinite also occurs.

4.1.2 Biotite hornblende nepheline syenite (BtHblNeS)

This unit, that outcrops as a crescent-moon shaped body, is easily recognized on the road from the museum to the Véu da Noiva Waterfall and on the trail to the Três Picos Hill. It is less silica-undersaturated (5-15 vol% nepheline) and more mafic (IC 8 to 20%) than NeS-I. The rocks are medium to coarse-grained, with an inequigranular, slightly oriented texture and a light-gray color, sometimes with rosy smudges due to the presence of nepheline. Texture is dominated by tabular to lathlike perthitic alkali feldspar. Carlsbad twinning is common. Interstitial nepheline and aggregates of mafic

minerals (Fig. 5C) such as magnesio-hastingsite (up to 8 vol%) associated with biotite (up to 6 vol%), titanomagnetite (with titanite rims), xenomorphic titanite (up to 5 vol%, up to 5 mm in size, rarely >10 mm), apatite and $\pm$ zircon are also present. Plagioclase (An₂₅₋₃₂) appears as tabular to rounded xenomorphic crystals, usually with oscillatory zoning and/or overgrown alkali feldspar and xenomorphic inclusions of sodalite, nepheline and bluish-green amphibole (Fig. 5D). Diopside occurs in almost all samples, in association with amphibole. Weakly zoned magnesio-hastingsite almost completely replaces diopside on the rims, leaving irregular relicts associated with thin veins of titanite in the amphibole cleavage. Subidiomorphic to interstitial biotite is as abundant as amphibole in some places, usually with inclusions of apatite, titanomagnetite, titanite and zircon. Locally, it replaces

Figure 5 – Representative microtextures of rock varieties in the Itatiaia Alkaline Massif. A) NeS-I, MAI060. Titanite and aegirine-augite with aegirine border and interstitial hiortdahlite, sodalite and analcime. B) NeS-I peraluminous facies, MAI030. Aggregate of plagioclase, biotite, hercynite and corundum; note also alkali feldspar and nepheline. C) BtHbINeS, MAI033. Typical mafic aggregate of magnesio-hastingsite with diopside relicts, biotite, titanomagnetite and apatite; notice the consertal contacts of alkali feldspar and nepheline. D) BtHbINeS, MAI040. Plagioclase with xenomorphic inclusions of sodalite, nepheline and blueish amphibole. E) AegNeS-foy, MAI215. Poikilitic aegirine replaced by lvenite and enclosing nepheline and alkali feldspar; note also nepheline, alkali feldspar and sodalite. F) BtAgtNeS, MAI206I. Typical mafic aggregate of idiomorphic aegirine-augite and titanite and xenomorphic biotite; notice also alkali feldspar, nepheline, analcime and sodalite. G) BtAgtNeS peralkaline facies, MAI199. Replacement textures of aegirine with arfvedsonite and titanite by lvenite; notice also xenomorphic titanomagnetite (intergrown with ilmenite), prismatic rinkite, subidiomorphic sodalite and tabular alkali feldspar. H) BtHbIP, MAI092I. Idiomorphic plagioclase overgrown by alkali feldspar (anti-rapakivi); notice the consertal contact of alkali feldspar with biotite and apatite inclusions. I) BtHbIP, MAI114. Typical replacement texture of diopside with magnesio-hastingsite, in consertal contact with alkali feldspar and analcime; notice xenomorphic inclusions of titanomagnetite and abundant apatite. See Table 2 for abbreviations.

magnesio-hastingsite. Titanite, biotite and titanomagnetite are usually idiomorphic, while sodalite fills cracks or is included in alkali feldspar. Cancrinite locally replaces nepheline in the final to post magmatic stage.

4.1.3 Sodalite nepheline syenite (SdlNeS)

This unit is largely exposed on the trail from the Maromba's Station to the Água Branca Shelter and in talus boulders to the west of the region. The rocks are gray to locally rosy in color and medium to coarse inequigranular in texture. They are similar to those of NeS-I and are characterized by the predominance of slightly oriented tabular mesoperthitic alkali feldspar, usually with Carlsbad twinning and interstitial nepheline (7-15% vol%) and sodalite (2-5 vol%). Subidiomorphic to xenomorphic zoned diopside to aegirine-augite is always associated with biotite (which locally replaces it), titanomagnetite and $\pm$ titanite (IC 5-12%). Sodic amphibole also occurs replacing aegirine-augite. Biotite, titanite and lvenite are the main accessories, while idiomorphic pyrochlore, apatite, $\pm$ fluorite and $\pm$ zircon are less common. Carbonate is an interstitial late- to post-magmatic phase that locally replaces biotite.

4.1.4 Aegirine nepheline syenite foyaitic (AegNeS-foy)

This unit only occurs on the gua Branca Shelter Hill, intruding the boundaries of BtHblNeS and SdlNeS. Its rocks are characterized by a medium-grained foyaitic texture and a high nepheline content (~30 vol%), abundant lvenite and the presence of sodic amphibole. Idiomorphic to subidiomorphic nepheline and interstitial sodalite (both up to 1 mm long) occur among oriented tabular to lathlike mesoperthitic alkali feldspar crystals, which may present Carlsbad and, more rarely, microcline

Figure 6 – Structural and textural macroscopic aspects of rocks from NeS-I unit in the Itatiaia Alkaline Massif. A) MAI042. Mafic biotite-rich microgranular enclave. B) MAI043. Mafic pyrite-rich microgranular enclave. C) MAI046F. Porphyritic phonolite with pseudoleucite phenocrysts. D) MAI046G. Brecciated phonolite with syenitic (left), mafic (upper right) and mylonite (lower right) fragments. Dashed lines highlight contacts.

twinning. Interstitial to slightly poikilitic aegirine (Fig. 5E) locally replaced with biotite, lvenite or arfvedsonite, idiomorphic to subidiomorphic lvenite and interstitial arfvedsonite are the main accessories. Minor accessories are titanomagnetite, interstitial ilmenite (replaced with aenigmatite), fluorite, apatite, zircon and idiomorphic titanite.

4.2 Central Sector (C-S)

4.2.1 Biotite aegirine-augite nepheline syenite (BtAgtNeS)

This unit forms the external C-shaped ring of the Central Sector and shows a transition from miaskitic to agpaitic tendency, which occurs in the highest levels. Along the ridge’s crest, trachyte dyke swarms occur, in sin-plutonic intrusive contact (Fig. 7A).

The predominant facies is medium to coarse-grained, with a slightly oriented to massive inequigranular structure and gray to light-gray color (IC 12-20%). Locally, it can be fine to medium-grained and/or strongly oriented. Caramel titanite crystals (1-3 mm, up to 10 mm) stand out. Perthitic, tabular alkali feldspar with consertal texture and Carlsbad twinning is the main phase, followed by nepheline and sodalite, which occur as subidiomorphic to interstitial crystals. Aegirine-augite to aegirine is the most abundant mafic phase, showing subidiomorphic to interstitial, occasionally idiomorphic forms (Fig. 5F). Accessory are titanite (with ilmenite relicts), subidiomorphic biotite, titanomagnetite, apatite and zircon.

Figure 7 – Representative field aspects of Itatiaia Alkaline Massif dikes. A) Spot close to Maromba’s Hill summit. Trachyte showing sinuous sin-plutonic intrusive contacts in the crest of external C-shape ridge. B) MAI092II. Agpaitic phonolite. C) MAI100, dike swarm in a slab. Trachyte with sin-plutonic displacement. D) MAI111. Rhyolite with tardi-plutonic angular contacts. Dashed line highlights contacts.

In the Serra Negra Hill and to the east of the Maromba's Hill, a transition from miaskitic to agpaitic paragenesis occurs, with replacement of titanite by lvenite and aegirine by arfvedsonite, and abundant presence of sodalite, rinkite, $\pm$ rosenbuschite and small amounts of biotite (Fig. 5G).

Dikes of dark gray aphyric, fine-grained and strongly orientated trachyte are present (Fig. 7A), with the same paragenesis as the main facies, but with amphibole as an important late magmatic phase.

4.2.2 Biotite hornblende pulaskite (BtHbLP)

This unit forms a second C-ring shaped structure, but with remarkable topographic expression only in the eastern part of the massif. Its rocks outcrop around the Aiuruoca River Bog, on the crest of the Urubu's Hill near the Massena Shelter and in other two disconnected parts: in the southeast, apparently intruding SdINeS outside the external ring and in the northwest supporting Massena's Hill. In the Massena Shelter region, 2 to 10 cm wide phonolite dikes outcrop (Fig. 7B). To the east of Ovov da Galinha Boulders, a swarm of up to 1 meter wide and 20 meters long trachyte dikes can be observed in slabs (Fig. 7C). Both groups of occurrences show sin-plutonic intrusive contacts.

The rocks are similar to the predominant facies of BtAgtNeS, but are characterized by a lower feldspathoid content (up to 5 vol%) and a slight porphyritic tendency, with some discrepant tabular feldspar crystals and disequilibrium textures. Locally, crystals show strong magmatic orientation. A border facies with a more prominent medium to fine-grained porphyritic texture occurs in the northern (on the Aiuruoca Waterfall) to eastern portion.

Apatite, titanomagnetite, ilmenite, diopside and zircon form the early magmatic assemblage. Perthitic alkali feldspar occurs as subidiomorphic to xenomorphic crystals, the biggest than 5 mm ones being tabular, with Carlsbad twinning. Amoeboid to idiomorphic cores of plagioclase (An₄₀₋₅₀; Fig. 5H) are usually seen. Magnesio-hastingsite is subidiomorphic to xenomorphic and largely replaces diopside (Fig. 5I). Apatite and titanomagnetite inclusions are common. Titanite is subidiomorphic and replaces titanomagnetite and ilmenite. Nepheline, sodalite, biotite (locally mantling amphibole) and fluorite are late phases. Analcime represents a late- to post magmatic phase. Locally, an association of small, scattered subidiomorphic crystals of diopside, zirconolite and pyrite occurs, their crystallization relations being yet unclear.

The rocks from the southeastern appendix are slightly different from the unit's main facies in texture, with local polygonal contact, common Carlsbad twinning and a less perthitic intergrowth of alkali feldspar, scarce amphibole and the presence of pyrite and $\pm$ chevkinite. The rocks from the northwest appendix are similar to this unit in texture, but significantly different in mineralogy. They show post magmatic re-equilibration, with microfaults and potassic alteration zones. Pyroxene and/or

amphibole are almost totally replaced with biotite, which in turn is replaced with chlorite and carbonate. Neither feldspathoid nor quartz were observed in both appendices.

The trachytes dykes are porphyritic, with an aphanitic matrix and gray color. Well-oriented acicular feldspar and amphibole, idiomorphic magnetite and some unidentified minerals compose the matrix (<0.2 mm crystal size). Tabular alkali feldspar (2-10 mm) and biotite occur as phenocrysts. Phonolites are aphyric, with saccharoidal texture and light gray in color. Texture is granular, with xenomorphic alkali feldspar, nepheline, sodalite, amphibole, magnetite, biotite and zircon (up to 0.4 mm crystal size).

4.2.3 Aegirine nordmarkite (AegN)

This unit outcrops as metric boulders at the Rui Braga trail between the two external rings of the Central Sector and locally interrupting the VLL. It has almost the same relative position of N-I and N-II, intruding BtAgTNeS at the borders with BtHbIP. The rocks are medium-grained, massive, with inequigranular texture and leaden to light gray in color, with polygonal ochre smudges. Mafic minerals form aggregates (IC 9-11%). Texture is dominated by tabular mesoperthitic alkali feldspar with Carlsbad twinning, interstitial aegirine-augite to aegirine and quartz (3-4 vol%; Fig. 8A). Associated are subidiomorphic titanomagnetite intergrown with ilmenite, zircon, chevkinite, $\pm$ apatite. Pyroxene is moderately homogeneous, however showing instability texture, with sector exsolutions associated to fluorite. Ankerite, fluorite, REE-fluorcarbonates and ilmenite replace titanite.

4.2.4 Nordmarkite I (N-I)

These rocks correspond to the first silica-oversaturated unit, outcropping as a moon-shaped body among the silica-undersaturated units. They can be found to the north and northeast of the Ovos da Galinha Boulders. The rocks are massive, inequigranular, medium- to coarse-grained, leaden-gray in color, with cream-whitish smudges. Texture is dominated by consertal subidiomorphic alkali feldspar, seldom showing Carlsbad twinning. Mafic minerals aggregates (IC 9-11%) are present. Quartz (< 4 vol.%) is interstitial, commonly showing a mirmequitic texture. Xenomorphic richterite, occasionally with augite to aegirine relicts (amphibole is absent in one sample), idiomorphic titanomagnetite (commonly with corona of titanite), titanite, $\pm$ ilmenite, $\pm$ zircon (up to 0.5 mm) and $\pm$ apatite compose the mafic aggregates. Biotite is xenomorphic, locally intergrown with alkali feldspar. Xenomorphic plagioclase (An₂₂₋₂₅) crystals with reabsorption texture and cracked alteration are rare and probably antecrysts.

4.2.5 Quartz alkali feldspar syenite I (QzAFS-I)

This unit of greatest topographic expression forms the Agulhas Negras Peak and Asa de Hermes, Pedra do Sino, Pedra Assentada and the Prateleiras Hills. It consist of a moon-shaped structure that outcrops as rocky massifs, big slabs and decametric boulders. Fluted and pitted-like erosion

structures are typical (Fig. 4A). Millimetric to centimetric miarolitic cavities are common, normally with quartz druses (Fig. 9A).

Its rocks are inequigranular medium- to coarse-grained and light rosy brown in color, with whitish smudges (IC 9-11%). Tabular microperthitic alkali feldspar predominates, reaching up to 10 mm, mainly with interstitial growth of other minerals. Seldom subidiomorphic, faceted quartz (5-8 vol%) appears mainly in contact with amphibole. Ferro-richterite is the main mafic mineral, with relics of aegirine-augite in some samples (Fig. 8B). Associated are also prismatic ilmenite, subidiomorphic magnetite, titanite, zircon, chevkinite and apatite, as important accessories. Biotite is uncommon and replaces amphibole. In the western border of the Agulhas Negras Peak, centimetric, rounded and fine-grained felsic enclaves that highlight on the surface are common, with more abundant interstitial amphibole and magnetite.

Dikes of aphanitic, aphyric, dark gray rhyolite up to 40 cm wide with flow-banding texture and angular sharp contacts occur throughout this unit. Occasionally, they are sinuous with sin-plutonic displacement. Some porphyritic dykes with alkali feldspar phenocrysts (up to 5 mm size) and similar matrix also occur.

4.2.6 Quartz alkali feldspar syenite II (QzAFS-II)

This unit outcrops near Rebouças Shelter as large rock slabs forming small hills (e.g., the Pedra do Altar Hill), following a moon-shape sequence and representing the resumption of the northwestward migration of the magmatic center. It comprises three successive facies of little textural and mineralogical differences among them, but brownish to light gray in color with a characteristic medium-grained massif oriented structure and granular texture. These rocks differ from QzAFS-I ones for their higher quartz content (12-18 vol%), lower IC (7-10%) and absence of clinopyroxene.

Tabular to xenomorphic mesoperthitic alkali feldspar is the predominant mineral. These rocks also show interstitial to granophyric quartz, zoned amphibole (brown core to pale green to greenish dark blue rim), biotite (locally replacing amphibole) and chevkinite. Apatite, zircon, titanomagnetite and ilmenite, the early magmatic phases, are the main accessories. The central variant facies shows a slightly higher quartz content (graphic texture) and subidiomorphic to interstitial fluorite and allanite. These rocks have been more subject to weathering, with partial replacement of minerals with carbonate. Their internal, mafic facies are slightly oriented.

Rhyolite dikes similar to those of QzAFS-I occur throughout the area (Fig. 7D).

4.2.7 Microalaskite (mA)

These rocks outcrop as an elongated low hill that rises above the VLL in QzAFS-II. They show a massive equigranular medium-grained structure and light creamy gray color (IC ~5%).

Early mineral phases are apatite, zircon and titanomagnetite. Perthitic to mesoperthitic subidiomorphic tabular alkali feldspar predominates, with a consertal texture and often albitic borders. Quartz (26 vol%) is commonly intergrown with alkali feldspar, occasionally with granophyric or micrographic texture. Interstitial fluorite, zircon, $\pm$ pyrochlore, $\pm$ monazite and $\pm$ xenotime are associated to subidiomorphic to xenomorphic titanomagnetite. Interstitial biotite apparently replaces amphibole and/or pyroxene, but with no relicts of such minerals and is associated with late- to post-magmatic carbonates, REE-fluorocarbonates and phosphates (Fig. 8C). Prismatic quartz, ankerite and $\pm$ albite fill miarolitic cavities.

Figure 8 – Representative microtextures of rock varieties in the Itatiaia Alkaline Massif. A) AegN, MAI090. Interstitial quartz and aegirine and albite border in alkali feldspar; notice zircon crystal. B) QzAFS-I, MAI079. Typical mafic aggregates of ferroichterite with aegirine-augite relicts and inclusions of titanomagnetite, ilmenite and chevkinite; notice titanite replacement titanomagnetite and interstitial quartz. C) mA, MAI070B. Replacement texture in biotite by carbonates and fluorocarbonates; note the inclusions of pyrochlore, fluorite, zircon and titanomagnetite. D) N-II, MAI136 (BSE image). Association of titanite partially replaced by calcite, ankerite, rutile and REE-fluorocarbonate; notice inclusions of titanomagnetite and apatite. E) arpk-QzS, MAI108II. Plagioclase aggregate (dashed black lines) overgrown by alkali feldspar (white line); notice the fine groundmass composed by alkali feldspar and quartz. F) BtM, MAI182C. Poikilitic biotite enclosing augite, plagioclase, titanomagnetite and apatite. G) HblP, MAI190. Typical mafic aggregate of diopside partially replaced by magnesio-hastingsite, titanite, titanomagnetite and abundant apatite; note the sharp contact with alkali feldspar. H) NeS-II, MAI166I. Typical mafic aggregate of diopside, magnesio-hastingsite and biotite in replacement relation between them and titanite, titanomagnetite and apatite; notice nepheline and alkali feldspar. I) MG-mts, MAI178. Pseudomorph of pyroxene composed by ferro-pargasite aggregate, biotite, titanomagnetite with titanite corona and alkali feldspar; note apatite inclusions and plagioclase intercumulus. See Table 2 for abbreviations.

Figure 9 – Macroscopic aspects of rock-types in the Itatiaia Alkaline Massif. A) QzAFS-I, MAI128. Miarolitic cavity with quartz crystals. B) arpk-QzS, MAI122B. Porphyritic texture with fine-grained groundmass and plagioclase antecrysts; notice remarkable anti-rapakivi texture to the right. C) arpk-QzS, MAI152. Rounded mafic microgranular enclave. D) MG-mts, MAI178. Cumulatic texture. Dashed lines highlight contacts.

4.2.8 Nordmarkite II (N-II)

This unit occurs as a C-shape that follows successive intrusions to NW, outcropping as big slabs and rocky massifs, including the Pedra do Couto Hill. The rocks are dark gray in color (IC 6-8%) inequigranular, medium-grained, with a slightly oriented structure. Triangular miarolitic cavities are present in some samples. Tabular perthitic to mesoperthitic alkali feldspar is predominant, usually with Carlsbad twinning and albitic borders. Quartz (2-3 vol%) is interstitial, the largest crystals occasionally bearing mafic inclusions. Idiomorphic magnetite and ilmenite, biotite, titanite and zircon are associated and apatite is rare. Subidiomorphic to idiomorphic amphibole (greenish blue to bluish gray) occurs in some samples, partially replaced with biotite and carbonate. All mafic minerals show some post-magmatic alteration, titanite being replaced with calcite, ankerite, rutile and Ca-REE-fluorcarbonates (Fig. 8D). The same association fills miarolitic cavities.

4.2.9 Anti-rapakivi quartz syenite (arpk-QzS)

This unit represents the neck-shape transition from the ring structure of the C-S to the NW-S, outcropping mainly as metric rounded boulders and small rocky hills and slabs. The rocks are rosy to brownish gray in color and medium to coarse-grained, being characterized by a massive anti-rapakivi porphyritic to glomeroporphyritic texture (Fig. 9B). Rounded biotite-rich enclaves (up to 30 mm) occur to the southeast (Fig. 9C).

Plagioclase antecrysts (An_{25-30}) up to 20 mm wide are rounded to tabular. They are gray in color and usually mantled by white rims of alkali feldspar (Fig. 8E), and occasionally oscillatory zoned. Rounded, dark brown biotite (up to 10 mm) with magnetite exsolution also occurs as possible antecrysts. The matrix is composed of subidiomorphic to idiomorphic mesoperthitic alkali feldspar that

is interstitial to granophyric quartz (6-12 vol%), biotite and aggregates of augite, titanomagnetite and titanite. Zircon, apatite and chevkinite are also associated. Ilmenite occurs as relicts partially replaced with titanite or associated with titanomagnetite.

4.2.10 Trachytes I (T-I)

Trachytes occur in the transition from the C-S ring structure of to NW-S, locally intercalated with arpk-QzS. On the basis of textural and mineralogical relationship, they can be grouped into four rock variants: a) aphyric to porphyritic with aphanitic groundmass; b) biotite-rich anti-rapakivi porphyritic with aphanitic groundmass; c) porphyritic with fine-grained groundmass; and d) breccioid with aphanitic matrix. Although the contact between these variants is not clear, some domains are topographically highlighted, with no lateral continuity among them. Changes are sudden or gradual over a few meters.

Type (a) outcrops in the eastern part of the unit, from the north of the 5 Lagos Trail to Aiuruoca River Bog and, locally, to the west of the Morro da Antena Hill. These rocks are typically porphyritic with idiomorphic alkali feldspar (2-10 mm), $\pm$ plagioclase (1-6 mm), $\pm$ biotite (1-2 mm) and rare amphibole phenocrysts, with an aphanitic dark gray groundmass (Fig. 10A). To the west of Morro da Antena Hill and in easternmost part of the area, they occur as a fine-grained aphyric gray rock with rare alkali feldspar phenocrysts, cut by whitish veins.

Type (b) outcrops in the western and northern parts of the unit, especially on the trail to the Pedra Furada Hill. Typically, the rocks present aphanitic gray groundmass with rounded to idiomorphic

Figure 10 – Representative macroscopic aspects of T-I rock facies in the Itatiaia Alkaline Massif. A) Facies (a), MAI231. Porphyritic texture with alkali feldspar phenocrysts in aphanitic groundmass. B) Facies (b), MAI118B. Porphyritic texture with plagioclase anti-rapakivi phenocrysts (highlighted by dashed lines) in aphanitic groundmass. C) Facies (c), MAI113B. Porphyritic texture with fine-grained groundmass. D) Facies (c), trail between MAI117C and 118. Aphanitic fragment in a breccioid rock with aphanitic matrix.

zoned anti-rapakivi alkali feldspar (5-20 mm; very similar to arpk-QzS) and biotite (2-5 mm; Fig. 10B). Locally, it is aphyric, with rare alkali feldspar megacrysts.

Type (c) outcrops on a hill to the northeast of the Camelo's Rock and on the trail to the Pedra Furada Hill. The light brown rock resembles a fine variety of arpk-QzS, with the same anti-rapakivi texture. Mineralogy is similar, but with a presence of alkali feldspar megacrysts and reduced amount of plagioclase (Fig. 10C).

Type (d) is associated to (and sometimes intercalated with) Type (b). It outcrops near the Camelo's Rock and along Carvoeiro Road and Flores' Highway to the south of the Pedra Furada Hill, on the Pedra Furada Hill summit, making up the Morro da Antena Hill, on the top of a hill to the east portion and locally to the northwest portion. These rocks show an aphanitic matrix with millimetric to centimetric (locally more than 10 or 15 cm) angular fragments of aphanitic to fine-grained rock, auto-fragments and alkali feldspar megacrysts (Fig. 10D). Fragments of coarse-grained rock are very rare. Notably, these variants can sometimes show fluidal textures with deformed fragments.

4.3 Northwestern Sector (NW-S)

4.3.1 Biotite monzonite (BtM)

These rocks were observed only in a small quarry at km 3.8 on Flores' Highway and as some rare centimetric angular xenoliths in arpk-QzS. They are massive, greenish gray in color and inequigranular, medium-grained (IC 23%). They are characterized by their significant amount of poikilitic biotite, with cleavage planes but no preferential orientation.

Texture shows predominance of granular alkali feldspar and plagioclase (An_{28-35} ; locally with partial re-equilibration) in equal proportions, with augite and plagioclase enclosed in poikilitic dark brown biotite (Fig. 8F). Plagioclase crystals larger than 2 mm usually show consertal texture, zoning, exsolution and inclusions of idiomorphic titanomagnetite and apatite. Subidiomorphic titanomagnetite and ilmenite usually intergrown. Ilmenite also occurs, as isolated xenomorphic crystals. Augite appears as subidiomorphic to xenomorphic grains, occasionally poikilitic (up to 1 mm) and intergrown with plagioclase. Accessory phases include idiomorphic apatite (~3.2 vol.%) with fluid inclusions in core and xenomorphic zircon. Chlorite locally replaces biotite.

4.3.2 Nordmarkite III (N-III)

This unit occurs on the northeastern border of NW-S, from the north of Pedra Furada Hill to the east of Fazenda Velha Town. The rocks are inequigranular, coarse to fine-grained with massive to oriented structure. The mafic minerals usually are concentrated in patches and IC is about 8-9%. Millimetric miarolitic cavities seldom occur.

Perthitic to mesoperthitic alkali feldspar (frequently with albitic border) is the most important mineral, showing a consertal texture of tabular to xenomorphic crystals, usually with polygonal interstices. Quartz (3-4 vol%) is interstitial, seldom showing granophyric intergrowth. Subidiomorphic amphibole and idiomorphic ilmenite (commonly with a titanite corona) form irregular aggregates, which also contain biotite and $\pm$ zircon. Biotite can form isolated subidiomorphic crystals in feldspar. Chevkinite and magnetite usually appear as xenomorphic to interstitial grains associated to quartz. Carbonate may fill cavities.

4.3.3 Hornblende pulaskite (HbIP)

This unit occurs along part of Flores' Highway and to the west of the road to Vargem Grande Town. It represents the first manifestation of silica undersaturated rock from outer C-S inward. The rocks are inequigranular, slightly oriented and coarse-grained and are characterized by their light gray color (IC 5-25%) with aggregates of mafic minerals (up to 10 mm) and titanite crystals (up to 5 mm; up to 2 vol%).

These rocks are similar to those of BtHbINeS and BtHbIP and are characterized by the presence of tabular mesoperthitic alkali feldspar, with local foyaitic texture. Nepheline is interstitial and reaches 12% modal volume in the northern region, while in the southern region (only up to 3 vol%) it is almost completely replaced with analcime. Sodalite is interstitial. Plagioclase occurs locally, partially resorbed and re-equilibrated. Associated mafic minerals are idiomorphic to subidiomorphic diopside, which in the northern region occurs just as relics rimmed by magnesio-hastingsite, magnesio-hastingsite, titanite and titanomagnetite (Fig. 8G). Subidiomorphic biotite also occurs, as isolated crystals with feldspar. Main accessory minerals are zircon and apatite.

4.3.4 Quartz alkali feldspar syenite III (QzAFS-III)

This is the unit with less information available, as access to the occurrence area is very limited. However, it is important for apparently forming a moon-shaped body emplaced between two nepheline-bearing units. It outcrops to the northeast of the Capivara River, between Garganta do Registro Pass and Engenho da Serra Town. These coarse-grained rocks are massive, brownish-gray (IC ~9%) and inequigranular. Mesoperthitic alkali feldspars are present as subidiomorphic to xenomorphic grains with consertal texture, along with interstitial to granophyric quartz (11 vol%) and biotite in subordinate amounts, with abundant apatite inclusions and magnetite exsolution, respectively. Subidiomorphic titanomagnetite with idiomorphic zircon, apatite and $\pm$ biotite appear as millimeter-sized aggregates. Carbonates, chlorite and magnetite completely replace and/or alter subidiomorphic to interstitial pyroxene pseudomorphs.

4.3.5 Nepheline syenite II (NeS-II)

This unit represents the last emplacement in the far northwest side of the plutonic units. It forms the Colina and Picú ridges, which are separated from each other by the Furnas River valley (Fazenda Velha Town), outcropping mainly as boulders.

These rocks are massive, coarse-grained, dark-gray (IC 6-10%) and inequigranular, with tabular perthitic to mesoperthitic alkali feldspar, consertal texture and interstitial nepheline as main minerals. Locally, nepheline appears as aggregates of idiomorphic grains (up to 0.3 mm) with polygonal texture (recrystallized?). Magnesio-hastingsite is present in some samples, with cores of diopside or biotite, clearly showing a complex instability relation, and subidiomorphic titanite (Fig. 8H). Locally, diopside appears as subidiomorphic or zoned grains, sometimes with thin rims of hedenbergite. A single grain of xenomorphic andradite associated with amphibole was found. Titanomagnetite is present as subidiomorphic rounded grains hosting very thin ilmenite exsolution lamellae, along with idiomorphic to subidiomorphic titanite. Accessory phases include sodalite, analcime, $\pm$ hainite and $\pm$ fluorite associated with small crystals of zircon (less than 0.05 mm). Sphalerite, britholite, wöhlerite, allanite and scheelite are trace minerals.

Fine-grained to aphanitic aphyric dikes of trachytes and agpaitic phonolites also occur in this unit.

4.3.6 Metasomatized melagabbro (MG-mts) and trachybasalt (TB)

These rocks represent the first record of mafic rocks in the Itatiaia massif along with nephelinite dykes in the southeastern border and rare xenoliths. They occur at two different spots, the first one as a few decimetric, rounded blocks in lower relief areas on the road that connects the Fazenda Velha and Colina towns, along NeS-II blocks to the west, mylonitic amphibolite to the north and covered by alluvium to the east. The second spot comprises abundant decimetric to metric tabular blocks on the northern hillside of the trail to Pedra do Picú.

MG-mts shows massive cumulatic texture, with color index of about 77% (Fig. 9D). However, these rocks have been altered by metasomatism and the original paragenesis appears to have been overprinted by post-magmatic replacement and/or recrystallization of the original phases. The cumulus consists of pyroxene pseudomorphs formed by aggregates of granular to xenomorphic ferro-pargasite, with interstitial magnetite, titanite, biotite and plagioclase (Fig. 8I). Locally, rounded cores of actinolite rimmed by high concentration ring of fine crystals of biotite, titanite, idiomorphic magnetite and amoeboid albite occur. Ilmenite is also present as xenomorphic grains rimmed by titanite and idiomorphic apatite (up to 2 mm). The intercumulus is represented by xenomorphic plagioclase (relicts An_{37-44} and re-equilibrated An_{24-29}) and albite with consertal texture, the latter locally and close to mafic minerals. Alkali feldspar is rare and occurs as idiomorphic crystals (up to 2

mm) completely exsolved as very thin albite needles and a K-feldspar mass. Pyrite occurs as an accessory mineral.

TB is porphyritic, with idiomorphic phenocrysts (1-4 mm) of plagioclase (An_{45-50}), titanomagnetite and pseudomorph of pyroxene (replaced with chlorite and other unidentified minerals). The matrix is dark gray and very fine-grained, composed of acicular feldspar and pyroxene (<0.2 mm).

4.3.7 Trachytes II (T-II)

These rocks occur in central NW-S and form the crest of the Picú Ridge. Its area of occurrence is possible overestimated because of the very limited access. The Pedra do Picú rock (a 120 m high landmark in the shape of a shark fin; Fig. 11A) consists of porphyritic trachyte, with alkali feldspar phenocrysts and a brownish aphanitic groundmass (Fig. 11B). A few sin-magmatic, irregular sub-horizontal aphyric dykes cut through their walls. About 100 meters to west, breccia is present with centimetric to decimetric angular fragments and auto-fragments. The fragments are aphanitic to fine-

Figure 11 – A) Panoramic view to Pedra do Picú, right. B) T-II, MAI165. Porphyritic texture with aphanitic groundmass and alkali feldspar phenocrysts. dashed lines. C) Rocky hill at left of Pedra do Picú in A. Breccia with a very orientated groundmass and deformed fragments. Dashed lines highlight structure and contacts. D) Panoramic View from Rancho Caído Trail. Preto River Bog in the C-S. Note the Agulhas Negras Peak (center) and Pedra do Sino Hill (right). E) West side of the Aiuruoca River Bog. Typical alluvium deposit.

grained, while in some places the matrix is strongly orientated, with plastically deformed fragments (Fig. 11C).

In the eastern part of this unit, a different moon-shaped geomorphological feature showing rugged terrain and rocky hills is exposed. The only sample collected from the northern edge is characterized by a massive white variant, by the small grain size and by the porphyritic tendency. Large idiomorphic alkali feldspar crystals (up to 5 mm) stand out in a fine-grained groundmass composed of alkali feldspar, quartz and opaque minerals.

4.4 Sedimentary deposits

Talus deposits occur in almost the entire massif border, especially in the southwestern region due to the steeper topographic gradient. The deposits are heterogeneous, ranging from decametric angular breccias boulders to conglomerates with centimetric clasts in the distal parts. Bauxite is also present, associated to talus and in vegetation-covered slopes in the nepheline-bearing units. At the Alambari River, the ramp of deposits extends for over 11 km, with fluted erosion on some of the largest boulders. Three SW-NE elongated hills with 360 m thick talus are concentrated between the City of Itatiaia and the park entrance. At C-S foothills, there are evident piles of rolled blocks. Rolled boulders also occur throughout the massif.

Alluvium deposits occur mainly over C-S form bogs in valleys and depressions (Fig. 11D). Such deposits are composed mainly of mud and peat, with coarser grains and centimetric clasts in the more proximal areas. The largest alluvia have its edges two to three meters above the current water level (Fig. 11E).

5 Geological evolution

Magmatism in the Itatiaia Alkaline Massif (71.3 to 67.5 Ma, unpublished data) followed a regional uplift that took place from 90 to 75 Ma and finished before tectonic collapse and development of the Continental Rift of Southeastern Brazil 55 to 40 Ma ago (Riccomini, 1989; Zalán & Oliveira, 2005; Cogné *et al.*, 2011, 2012; Engelmann de Oliveira *et al.*, 2016; Salgado *et al.*, 2016). The massif is adjacent to the Resende Basin and was emplaced near the Queluz Accommodation Zone, which separates the Paraíba do Sul Rift into two different tectonic patterns (Zalán & Oliveira, 2005). It stands out as a remarkable elongated topographic structure, one of the few elongated ones in the province and the only one oriented to WNW (Fig. 2), which is in accordance with the accommodation zones of the rift system and the transfer zones of the South Atlantic Ocean Plate (Meisling *et al.*, 2001; Zalán & Oliveira, 2005; Cogné *et al.*, 2012; Stanton *et al.*, 2014; Negrão *et al.*, 2015).

A tension relief due to regional uplift could have progressively changed the accommodation zone (like a zip fastening), causing migration of the decompression zone and the partial melting that

resulted in magma generation. The IAM then formed as a result of the evolution a migratory magmatic center, as successive moon-shape intrusions for over 30 km along an axis oriented from southeast to northwest, with ring structures arranged into three sectors with distinct lithological and geomorphological characteristics: Southeastern, (SE-S), Central (C-S) and Northwestern (NW-S). Itatiaia Alkaline Massif is one of the few ring complexes whose origin involved migration of a magmatic center (e.g. Wadi Dib, Egypt; Frisch & Abdel-Rahman, 1999; Ras ed Dom, Sudan, O'Halloran, 1985). This characteristic of the massif permitted good preservation and clear distinction of magmatic pulses, since previous intrusions were not mixed and/or erased.

5.1 Emplacement stages

The lithological variants can be divided into several clearly identifiable facies based on mineralogical and petrographical features, such as texture and modal variation of felsic and mafic mineral content. They include feldspathoid-bearing or quartz-bearing syenites, trachytes, granite, monzonite, gabbro and trachybasalt, resulting in 21 units that represent the different magmatic pulses. Sin- to tardi-plutonic dykes of nephelinites, phonolites, trachytes and rhyolites are also present.

The early magmatic intrusions (first stage) are represented by alkaline rock-types in SE-S and are almost entirely emplaced into CRSB. Apparently, SE-S was not strongly affected by the development of the rift system, as its rocks in do not show expressive magmatic foliation nor have been deformed into shear zones, which suggests that they intruded their hosts as most liquid magma, without undergoing crystallization under significant stress conditions. Apparently, the radial lineament pattern in the northern and eastern regions is post-magmatic. Although migration to NW was already present, it is not clear if a temporal gap occurred between the emplacement of SE-S and C-S, although suggested by the morphological and petrographical setting.

NeS-I is the most silica-undersaturated unit and it has garnet-sillimanite-muscovite-biotite schists of the Embú Group in Ribeira Belt as wall rocks (Eirado *et al.*, 2006; Heilbron *et al.*, 2016). Assimilation of peraluminous minerals could have led to crystallization of corundum and hercynite in such a silica deficient magma. The association of plagioclase, hercynite and corundum found in these rocks could suggest garnet rebalancing (Mariga *et al.*, 2006). Mafic microgranular enclaves also is common in the peraluminous samples (Figs. 6A and B). The fine-grained inner varieties of this facies could represent small stocks, but their fieldwork control is very difficult due to vegetation and topography. Evidence of assimilation from wall rock units was not found in other plutonic units.

The second stage emplaced a large silica-undersaturated intrusion of BtAgtNeS in Central IAM. The peralkaline facies makes up the crest of the circular ridge. This variant, that could correspond to a late magmatic stage, do not show any evidence of caldera subsidence. The trachytic sin-plutonic dikes could be related to the intrusion of BtHbIP. This magma pulse is similar to the SE-S cluster, but the

subsequent one evolved with an increase in silica content and, in some way, crossed the thermal barrier of nepheline-quartz to the silica-oversaturated types. Isotopic data shows crustal contamination in quartz-bearing rocks (Brotzu *et al.*, 1997; Rosa, unpublished data). The first C-S intrusions are concentric, but QzASF-II resumed migration to NW.

The quartz-bearing rocks do not show clear evolutive relations among themselves. AegN and N-I intrude between BtAgtNeS and BtHbIP and are possibly the first SiO₂-supersaturated manifestation. N-II occurs in a similar location, although in a certainly younger geological relation. QzAFS-I and -II and their internal facies apparently show a weak gradational increase in quartz content and orientation with a decrease in granulation and color index to the northwest. mA is the most evolved quartz-bearing unit of the massif. It intrudes QzAFS-II, although no contact has been observed between them. It is possibly a product of QzAFS-II internal differentiation contemporary to the rhyolite dikes. mA shape and location suggest development linked to the VLL, as evidenced by the strong parallel fracturing and the frequent quartz veins, however it has a massif structure. On the other hand, the presence of miarolitic cavities, especially in QzAFS-I, may suggest relatively shallow crystallization.

The transition between C-S and NW-S is marked by arpk-QzS and T-I, but their temporal relation is not clear and they apparently intrude part of N-III. NW-S represents a third stage, since geological features and lithotype associations change in both sectors, the caldera-shaped structure fades away and the magmatic center resumes migration, with intrusions similar to SE-S. There is no sufficient information on the quartz-bearing rocks of NW-S. The location and some textures of N-III and QzAFS-III (e.g. magmatic orientation of N-III and both presenting mafic agglomerates) could suggest that they are border facies of HbIP with large country rock assimilation. But this is unlikely, since they are similar in extension and HbIP gradates (increase in the nepheline, amphibole and titanite content) northward. NeS-II was the last plutonic unit to emplace and bears great textural similarities with NeS-I, although it has amphibole as a late magmatic phase instead of aegirine.

T-I(d), T-II and TB could represent a fourth magmatic stage, corresponding to subvolcanic conducts with epigenetic characteristics, as suggested by aphanitic auto-fragments and locally fluidal deformation.

6 Petrographic sets

The lithological variants of Itatiaia Alkaline Massif can be divided into several clearly identifiable units based on mineralogical and petrographical features such as texture and modal variation of felsic and mafic minerals. A summary of crystallization sequence and paragenesis in the magmatic stages for each unit of the IAM are in Tab. 1. They comprise three main lithological variants: feldspathoid-bearing syenites, quartz-bearing syenites and basic rocks. These rocks can be

distinguished in five petrographic sets (Fig. 12): (1) plagioclase-free nepheline syenites, (2) plagioclase-bearing nepheline syenite and pulaskites, (3) nordmarkite-granite series, (4) anti-rapakivi association and (5) basic rocks.

6.1 Nepheline-bearing syenites

In general, the comparative mineralogy among nepheline-bearing syenites of all the IAM sectors indicates that all variants have similar paragenesis, with apatite, zircon, titanomagnetite, $\pm$ ilmenite and diopside, alkali feldspar and nepheline. The textural and mineralogical variations permit to conclude that two crystallization pathways led to the generation of two sets:

Plagioclase-free (1) – for units NeS-I, SdINeS, AegNeS-foy, SdINeS and NeS-II, which are of sodic tendency, more silica-undersaturated (10-35% foid modal) and more felsic (IC 5-16%), pyroxene variation is represented by diopside $\rightarrow$ aegirine-augite $\rightarrow$ aegirine (except in NeS-II), low content of biotite, titanite, titanomagnetite and apatite and local presence of agpaitic minerals (lâvenite, hiortdahlite and hainite, besides astrophyllite, rinkite, rosenbuschite and catapleiite). These minerals are dispersed throughout the rocks as interstitial phases and/or aggregates of acicular crystals associated or replacing miaskitic minerals (aegirine-augite, ilmenite/titanomagnetite, zircon and biotite), which with the presence of abundant sodalite, indicate a transitional system from miaskitic to agpaitic rocks (Sørensen, 1997; Marks *et al.*, 2011; Andersen *et al.*, 2016; Melluso *et al.*, 2016). AegNeS-foy shows the highest levels of agpaitic minerals, while in facies of the southeastern border of NeS-I and crest areas of BtAgtNeS they are more abundant. Agpaitic rocks in the external areas of ring complexes also occur in other localities, e.g., Poços de Caldas (Ulbrich, 1993) and Pilanesberg (Andersen *et al.*, 2016), interpreted as late manifestations and related to caldera system collapse.

Figure 12 – Simplified map of the Itatiaia alkaline massif (Figure 2) showing its Southeastern, Central and Northwestern sectors and their petrological sets.

Plagioclase-bearing (2) – BtHblNeS, BtHblP and HblP show a potassic-calcic tendency, lower silica-undersaturation (0-15% foid modal), higher mafic content (IC 10-28%), diopside relics rimmed by magnesio-hastingsite, high content of biotite, titanite, titanomagnetite and apatite and presence of plagioclase, usually with anti-rapakivi texture. The largest plagioclase crystals show the highest An (40-50%) and their cores are less re-equilibrated. The presence of plagioclase and diopside with replacement textures, lower foid content and higher IC could indicate interaction with a more basic magma in an early stage. However, mafic enclaves or any suggestive texture were not found.

Alternation of nepheline syenite types indicates changes in intensive parameters (fO_2 , aH_2O , $aSiO_2$) and magmatic process such as magma mixing, different degrees of contamination and fractioning of mafic minerals in a resident chamber. These rock sets bear similarities with SA and A types, respectively, as described by Brotzu *et al.* (1997), who interpreted A type as predominant and SA-types as later intrusions. In the present study we observed that in SE-S both these types are intercalated. In C-S, PI-free composes the external ring and the PI-bearing internally, while in the NW-S they do not have contact relations, but PI-bearing occurs first and the PI-free is the youngest plutonic unit of the massif.

6.2 Quartz-bearing syenites

Quartz-bearing rocks occur in inner C-S without contact with the country rocks, in the transition from C-S to NW-S and across NW-S. They typically exhibit post-magmatic replacement features, with largely sericitized feldspar and mafic phases replaced with oxides, carbonates or fluorcarbonates. Almost all units show miarolitic cavities. Two sets were identified based on mineralogy and texture:

Nordmarkite-granite series (3) – AegN, N-I, N-II, N-III, QzAFS-I, QzAFS-II, QzAFS-III and mA had similar initial paragenesis, with $\pm$ apatite, zircon, $\pm$ ilmenite, titanomagnetite, augite/aegirine-augite and alkali feldspar. In these units, quartz initiates the crystallization in different magmatic stages, with variations in modal volume, grain size and texture. The presence of clinopyroxene and amphibole is variable, with units in which amphibole is absent (AegN and N-II), or clinopyroxene is replaced (N-I, QzAFS-I and N-III), or clinopyroxene lacks (QzAFS-II) or are both absent (mA), probably resulting from particular variation of fO_2 and aH_2O during evolution. The nordmarkite occurrences do not show a clear evolutive relation among themselves, since they are not in contact with each other, while QzAFS-I, QzAFS-II and mA are apparently in direct connection. T-I(a) and T-II also bear mineralogical similarities with this series, although they formed in a different geological context. T-II intrudes the central part of NW-S and constitutes the Pedra do Picú, possibly representing a well-preserved volcanic neck.

Table 1 – Crystallization sequence of plutonic units and paragenesis of magmatic stages of the Itatiaia Alkaline Massif. Volume percent of feldspathoid or quartz, respectively (Foid or Qz), index color, total mafic mineral volume percent (IC). Character formatting denotes modal content: principal (>10%, bold); accessory (1< % < 10, normal case); trace (< 1, italics). Local paragenesis []; replacement associations (); antecrysts { }; absence of clinopyroxene (~~Cpx~~, striked). Unit abbreviations are the same as those of Figure 2.

	Unit	Foid or Qz	IC	Early	Main	Late	Post
SE-S	NeS-I	30-35	5-6	Tmt, Ttn, Ap	Agt, Ne, Afs [Cpx , Pl, Her, Crd, Rt]	Aeg, Sdl, Hio, [Kup], Pcl, (Amp, Bt), Anl	Ccn, Cat, Cb, Ms
	BtHblNeS	5-15	8-20	{Pl}, Ap, Zrn, Tmt, Di	Afs , Ttn, Ne , Mhst	Bt, Sdl	Ccn
	SdINeS	10-15	5-12	Ap, Zrn, Tmt, Di	Ttn, Ne, Afs , Agt, Sdl	Bt, Låv, Pcl, Flu, Amp	Cb
	AegNeS-foy	30	9	Ap, Zrn, Tmt, Ne	Afs , Ttn, Aeg, Ilm, Bt	Låv, Arf, Sdl, Ang, Ast, Flu	
CS	BtAgtNeS	8-25	12-20	Ap, Zrn, Tmt, Ilm	Afs , Ttn, Ne , Agt	Aeg, Bt, Sdl, [Låv, Arf, Rnk, Rsb, Sp]	
	BtP	0-5	11-22	{Pl}, Ap, Tmt, Ilm, Di, Zrn	Afs , Mhst, Ttn	Zcl, Py, Gn, Ne, Sdl, Bt, Hst, Flu, Anl	
	AegN	3-4	9-10	Zrn, Tmt, Ilm	Afs , Agt, Cvk	Qz, Aeg, Ab, Py, Pcl	(Ank, Flu, REE-Fcb, Ilm)
	N-I	2-4	9-11	{Pl}, Ap, Zrn, Tmt, Ilm, Aug	Afs , Ttn, Agt	Rct, Bt, Qz	
	QzAFS-I	5-8	9-11	Zrn, Ilm, Ap, Agt	Tmt, Frct, Cvk, Afs , Ttn	Qz, Bt	
	QzAFS-II	12-18	7-10	Ap, Zrn, Tmt, Ilm	Amp, Afs , Bt, Cvk	Qz , Bt, [Flu, Aln], Ab	[Cb]
	mA	26	5	Ap, Zrn, Tmt	Afs , Pcl, Qz , Flu	Cvk, Bt, Mnz, Xtm, Ab	Cb
	N-II	2-3	6-8	Ap, Zrn, Ilm, Tmt	Di, Ttn, Afs	Qz, Bt, Cvk, Ab, Ank	(Cal, Ank, Rt, REE-Cb)
	arpk-QzS	6-12	6-10	{ Pl , Bt}, Ap, Zrn, Ilm, Tmt, Di	Cvk, Afs , Aug, Ttn	Bt, Qz	
S-NW	N-III	3-4	8-9	Zrn, Ilm, Aug	Afs , Tmt, Ttn, Amp, Bt	Cvk, Qz, Ab	Cb
	BtM	–	23	Ap, Ilm, Tmt	Zrn, Aug, Pl , Afs	Bt	Chl
	MG-mts	–	77	Ap, Ilm	Cpx , Pl	Py, Ttn	(Fprg, Mt, Ttn, Bt)?
	HbIP	3-12	9-18	{Pl}, Ap, Zrn, Tmt, Di	Afs , Ttn, Ne, Mhst	Bt, Hst, Sdl, Anl	Ccn
	QzASF-III	9	11	Ap, Zrn	Ttn, Cpx, Afs , Bt	Qz	
	NeS-II	10-15	6-10	Ap, Adr, Tmt, Aln, Di	Afs , Ne , Hd, Mhst, Ttn	Bt, Hst, Hai, Sdl, Zrn, Flu, Brt, Sp, Shl, Anl	

Abbreviations: Ab, albite; Adr, andradite; Aeg, aegirine; Afs, alkali feldspar; Agt, aegirine-augite; Aln, allanite; Amp, amphibole; Ang, aenigmatite; Ank, ankerite; Anl, analcime; Ap, apatite; Arf, arfvedsonite; Ast, astrophyllite; Aug, augite; Brt, britholite; Bt, biotite; Cal, calcite; Cat, catapleiite; Cb, carbonate; Ccn, cancrinite; Chl, chlorite; Cpx, clinopyroxene; Crd, corundum; Cvk, chevkinite; Di, diopside; Flu, fluorite; Fprg, ferro-pargasite; Frct, ferro-richterite; Gn, galene; Hai, hainite; Hst, hastingsite; Hbl, hornblende; Her, hercynite; Hio, hiortdahlite; Ilm, ilmenite; Kup, kupletskite; Låv, låvenite; Mhst, magnesio-hastingsite; Mnz, monazite; Ms, muscovite; Mt, magnetite; Ne, nepheline; Pcl, pyrochlore; Pl, plagioclase; Py, pyrite; Qz, quartz; Rct, riebeckite; REE-Cb, REE-carbonate; REE-Fcb, REE-fluorcarbonate; Rnk, rinkite; Rsb, rosenbuschite; Rt, rutile; Sdl, sodalite; Shl, scheelite; Sp, sphalerite; Tmt, titanomagnetite; Ttn, titanite; Xtm, xenotime; Zcl, zirconolite; Zrn, zircon.

Anti-rapakivi association (4) – the relation among arpk-QzS, T-I(b) and T-I(c) is a very close one: all of them exhibit the same anti-rapakivi porphyritic tendency in appearance and mineralogy (Figs. 9B and 10B). In the field, in most cases it is very difficult to establish their limits, that are sometimes either abrupt or gradual. arpk-QzS has a characteristic glomeroporphyritic anti-rapakivi texture, locally containing two types of mafic enclaves: a rounded one, very fine-grained and aphyric, similar to that of T-I(b) and an rounded to irregular fine-grained one that resembles BtM xenoliths (Fig. 9C), given that their petrography is the same (biotite inclusion in plagioclase renders the same poikilitic texture of BtM). These structural and textural features suggest magma mixing adjacent to the west portion, where one of the components could be BtM.

6.3 Basic rocks

Melagabbric to trachybasaltic rocks (5) - Other minor rock types of the Itatiaia Alkaline Massif (MG-mts and TB) show unclear geological connections with the syenitic rocks. MG-mts could stand for an older and/or deeper portion of the chamber brought to a shallow level by tectonic-magmatic processes, although field relations do not allow such an assertion. Cumulatic gabbros occur in a few localities in the Serra do Mar Province, e.g., Ponte Nova (Azzone *et al.*, 2009) and Morro de São João (Brotzu *et al.*, 2007), but this is their first description in IAM. TB is the last magmatic manifestation of the IAM and apparently intrudes the T-II. It bears mineral similarities to MG-mts and they could be connected.

7 Acknowledgments

Thank you Michael Marks, Rogério Guitarrari Azzone and Gaston Eduardo Enrich Rojas for the discussions! Thanks a lot for the fieldworks help, Bruna Miraya, Caio Santos (2x!), Claudio Mora, Emanuel Amorer, Geovanne Moreira, Igor Barboza, Julio Cauhy, Lucaz Inglez, Ludmila Teixeira, Maria Paula Ramos, Matheus Caseri, Pedro Angelini, Rafael Capelle, Rafaela Gengo and Saulo Vieira! Thanks to FAPESP for the financial support (Processes 2012/19184-1, 2012/06082-6 and 2015/19974-0). Thanks to the Itatiaia National Park for the logistical support, permissions and directions, especially to Gustavo Tomzhinski, Léo Nascimento, Leonardo Cândido and Marcão's station staff.

Congratulations to the Itatiaia National Park for its 80 years of existence!

8 References

- Algarte, J. P. (1972). A Influência dos Arqueamentos Cratônicos no Condicionamento das Alcalinas dos Estados de São Paulo e Paraná. *Congresso Brasileiro de Geologia*. Belém: SBG - Sociedade Brasileira de Geologia, 65–69.
- Almeida, F. F. M. de (1967). Origem e evolução da Plataforma Brasileira. *DNPM, Divisão de Geologia e Mineralogia, Boletim* **241**, 1–36.

- Almeida, F. F. M. de (1969). Diferenciação tectônica da plataforma brasileira. *Congresso Brasileiro de Geologia*. Salvador: SBG - Sociedade Brasileira de Geologia, 29–46.
- Almeida, F. F. M. de (1971). Condicionamento tectônico do magmatismo alcalino mesozóico do Sul do Brasil e do Paraguai ocidental. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **43**, 835–836.
- Almeida, F. F. M. de (1976). The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **48**, 15–26.
- Almeida, F. F. M. de (1983). Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da plataforma sul-americana. *Revista Brasileira de Geociências* **13**, 139–158.
- Almeida, F. F. M. de (1991). O Alinhamento Magmático de Cabo Frio. *2º Simpósio de Geologia do Sudeste*. São Paulo: SBG - Sociedade Brasileira de Geologia/SP-RJ, 423–428.
- Almeida, F. F. M. de, Carneiro, C. D. R. & Mizusaki, A. M. P. (1996). Correlação do magmatismo das bacias da margem continental brasileira com o das áreas emersas adjacentes. *Revista Brasileira de Geociências* **26**, 125–138.
- Alves, A., Janasi, V. de A. & Campos Neto, M. da C. (2016). Sources of granite magmatism in the Embu Terrane (Ribeira Belt, Brazil): Neoproterozoic crust recycling constrained by elemental and isotope (Sr-Nd-Pb) geochemistry. *Journal of South American Earth Sciences* **68**, 205–223. doi: 10.1016/j.jsames.2015.10.014.
- Alves, A., Pereira, G. de S., Janasi, V. de A., Higgins, M., Polo, L. A., Juriaans, O. S. & Ribeiro, B. V. (2015). The origin of felsic microgranitoid enclaves: Insights from plagioclase crystal size distributions and thermodynamic models. *Lithos*. Elsevier B.V. **239**, 33–44. doi: 10.1016/j.lithos.2015.09.027.
- Andersen, T., Elburg, M. & Erambert, M. (2016). The miaskitic-to-agpaitic transition in peralkaline nepheline syenite (white foyaite) from the Pilanesberg Complex, South Africa. *Chemical Geology*. Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.chemgeo.2016.08.020.
- Azzone, R. G., Ruberti, E., Rojas, G. E. E. & Gomes, C. de B. (2009). Geologia e Geocronologia do Maciço Alcalino Máfico-Ultramáfico Ponte Nova (SP-MG). *Geologia USP. Série Científica* **9**, 23–46. doi: 10.5327/Z1519-874X2009000200002.
- Bellieni, G., Montes-Lauar, C. R., De Min, A., Piccirillo, E. M., Cavazzini, G., Melfi, A. J. & Pacca, I. G. (1990). Early and Late Cretaceous magmatism from São Sebastião Island (SE-Brazil): geochemistry and petrology. *Geochimica Brasiliensis* **4**, 59–83. doi: 10.21715/gb.v1i4.31.
- Brade, A. C. (1956). A Flora do Parque Nacional. *Boletim do Parque Nacional do Itatiaia*. Itatiaia **5**, 1–111.
- Brotzu, P. et al. (2007). Petrogenesis of the Early Cenozoic potassic alkaline complex of Morro de São João, southeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* **24**, 93–115. doi: 10.1016/j.jsames.2007.02.006.
- Brotzu, P., Gomes, C. B., Melluso, L., Morbidelli, L., Morra, V. & Ruberti, E. (1997). Petrogenesis of coexisting SiO₂-undersaturated to SiO₂-oversaturated felsic igneous rocks: The alkaline complex of Itatiaia, southeastern Brazil. *Lithos* **40**, 133–156. doi: 10.1016/S0024-4937(97)00007-8.
- Brotzu, P., Melluso, L., D'Amelio, F. & Lustrino, M. (2005). Mafic/ultramafic dykes and felsic intrusions with potassic to ultrapotassic affinity in the Serra do Mar province: a review. In: Comin-Chiaromonte, P. & Gomes, C. B. (eds) *Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform*. São Paulo: EDUSP-FAPESP, 443–472.
- Campos Neto, M. D. C., Basei, M. A. S., Assis Janasi, V. De & Moraes, R. (2011). Orogen migration and tectonic setting of the Andrelândia Nappe system: An Ediacaran western Gondwana collage, south of São Francisco craton. *Journal of South American Earth Sciences*. Elsevier Ltd **32**, 393–406. doi: 10.1016/j.jsames.2011.02.006.

- Carvalho, B. B., Janasi, V. de A. & Henrique-Pinto, R. (2014). Geochemical and Sr–Nd–Pb isotope constraints on the petrogenesis of the K-rich Pedra Branca Syenite: Implications for the Neoproterozoic post-collisional magmatism in SE Brazil. *Lithos* **205**, 39–59. doi: 10.1016/j.lithos.2014.06.016.
- Cawthorn, R. G. (2015). The geometry and emplacement of the Pilanesberg Complex, South Africa. *Geological Magazine* **152**, 802–812. doi: 10.1017/S0016756814000764.
- Chiessi, C. M. (2004). Tectônica cenozóica do Maciço Alcalino de Passa Quatro (SP-MG-RJ). São Paulo, Universidade de São Paulo. doi: 10.11606/D.44.2004.tde-10042014-161924.
- Cioffi, C. R., Campos Neto, M. C., Moller, A. & Rocha, B. C. (2015). Paleoproterozoic continental crust generation events at 2.15 and 2.08 Ga in the basement of the southern Brasília Orogen, SE Brazil. *Precambrian Research* **275**, 176–196. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Cogné, N., Gallagher, K. & Cobbold, P. R. (2011). Post-rift reactivation of the onshore margin of southeast Brazil: Evidence from apatite (U-Th)/He and fission-track data. *Earth and Planetary Science Letters* **309**, 118–130. doi: 10.1016/j.epsl.2011.06.025.
- Cogné, N., Gallagher, K., Cobbold, P. R., Riccomini, C. & Gautheron, C. (2012). Post-breakup tectonics in southeast Brazil from thermochronological data and combined inverse-forward thermal history modeling. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* **117**, B11413. doi: 10.1029/2012JB009340.
- Comin-Chiaramonti, P., Gomes, C. B., De Min, A., Ernesto, M. & Gasparon, M. (2015). Magmatism along the high Paraguay River at the border of Brazil and Paraguay: A review and new constraints on emplacement ages. *Journal of South American Earth Sciences* **58**, 72–81. doi: 10.1016/j.jsames.2014.12.010.
- Eirado, L. G., Heilbron, M. & Almeida, J. C. H. (2006). Os Terrenos Tectônicos Da Faixa Ribeira Na Serra Da Bocaina E Na Baía Da Ilha Grande , Sudeste Do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências* **36**, 426–436.
- Engelmann de Oliveira, C. H., Jelinek, A. R., Chemale, F. & Cupertino, J. A. (2016). Thermotectonic history of the southeastern Brazilian margin: Evidence from apatite fission track data of the offshore Santos Basin and continental basement. *Tectonophysics* **685**, 21–34. doi: 10.1016/j.tecto.2016.07.012.
- Enrich, G. E. R., Azzone, R. G., Ruberti, E., Gomes, C. B. & Comin-Chiaramonti, P. (2005). Itatiaia, Passa Quatro and São Sebastião island, the major alkaline syenitic complexes from Serra do Mar region. In: Comin-Chiaramonti, P. & Gomes, C. B. (eds) *Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform*. São Paulo: EDUSP-FAPESP, 419–442.
- Enrich, G. E. R., Ruberti, E. & Gomes, C. B. (2009). Geology and geochronology of Monte de Trigo island alkaline suite, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências* **39**, 67–80.
- Ernesto, M., Marques, L. S., Piccirillo, E. M., Molina, E. C., Ussami, N., Comin-Chiaramonti, P. & Bellieni, G. (2002). Paraná Magmatic Province–Tristan da Cunha plume system: fixed versus mobile plume, petrogenetic considerations and alternative heat sources. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **118**, 15–36. doi: 10.1016/S0377-0273(02)00248-2.
- Ferrari, A. L. (2001). Evolução Tectônica do Graben da Guanabara. São Paulo, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado. doi: 10.11606/T.44.2001.tde-29082013-152530.
- Foland, K. A., Landoll, J. D., Henderson, C. M. B., Chen, J. & Jiangfeng, C. (1993). Formation of cogenetic quartz and nepheline syenites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **57**, 697–704. doi: 10.1016/0016-7037(93)90380-F.

- Frisch, W. & Abdel-Rahman, A. M. (1999). Petrogenesis of the Wadi Dib alkaline ring complex, Eastern Desert of Egypt. *Mineralogy and Petrology* **65**, 249–275. doi: 10.1007/BF01161963.
- Gibson, S. A., Thompson, R. N., Leonardos, O. H., Dickin, A. P. & Mitchell, J. G. (1995). The Late Cretaceous Impact of the Trindade Mantle Plume: Evidence from Large-volume, Mafic, Potassic Magmatism in SE Brazil. *Journal of Petrology* **36**, 189–229. doi: 10.1093/petrology/36.1.189.
- Gibson, S. A., Thompson, R. N., Weska, R. K., Dickin, A. P. & Leonardos, O. H. (1997). Late Cretaceous rift-related upwelling and melting of the Trindade starting mantle plume head beneath western Brazil. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **126**, 303–314. doi: 10.1007/s004100050252.
- Gomes, C. B. & Comin-Chiaramonti, P. (2005). An introduction to the alkaline and alkaline-carbonatitic magmatism in and around the Paraná-Basin. In: Comin-Chiaramonti, P. & Gomes, C. (eds) *Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform*. São Paulo: EDUSP-FAPESP, 21–30.
- Gomes, C. B. & Valarelli, J. V. (1970). Nova ocorrência de rochas alcalinas no Estado de São Paulo. 24^o Congresso Brasileiro de Geologia. Brasília: SBG - Sociedade Brasileira de Geologia, 336–337.
- Google & Earth (2015). *Itatiaia National Park, Brazil, 22°21'S, 44°41'*. Image © 2015 CNES / Astrium, 8/30/2013. <http://www.earth.google.com> [Accessed in 6/30/2015].
- Guarino, V., Azzone, R. G., Brotzu, P., de Barros Gomes, C., Melluso, L., Morbidelli, L., Ruberti, E., Tassinari, C. C. G. & Brilli, M. (2011). Magmatism and fenitization in the Cretaceous potassium-alkaline-carbonatitic complex of Ipanema São Paulo State, Brazil. *Mineralogy and Petrology* **104**, 43–61. doi: 10.1007/s00710-011-0168-4.
- Guedes, E., Heilbron, M., Vasconcelos, P. M., de Morisson Valeriano, C., César Horta de Almeida, J., Teixeira, W. & Thomaz Filho, A. (2005). K–Ar and ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages of dikes emplaced in the onshore basement of the Santos Basin, Resende area, SE Brazil: implications for the south Atlantic opening and Tertiary reactivation. *Journal of South American Earth Sciences* **18**, 371–382. doi: 10.1016/j.jsames.2004.11.008.
- Gupta, A. K. *et al.* (2010). Silica-Undersaturated Portion of the System Nepheline–Kalsilite–SiO₂ at 2 GPa [P (H₂O)=P (Total)]. *The Canadian Mineralogist* **48**, 1297–1313. doi: 10.3749/canmin.48.5.1297.
- Hamilton, D. L. & MacKenzie, W. S. (1965). Phase-equilibrium studies in the system NaAlSiO₄ (nepheline)-KAlSiO₄ (kalsilite)-SiO₂-H₂O. *Mineralogical Magazine* **34**, 214–231. doi: 10.1180/minmag.1965.034.268.17.
- Harris, C., Marsh, J. S. & Milner, S. C. (1999). Petrology of the alkaline core of the Messum igneous complex, Namibia: evidence for the progressively decreasing effect of crustal contamination. *Journal of Petrology* **40**, 1377–1397. doi: 10.1093/petroj/40.9.1377.
- Heilbron, M. *et al.* (2007). *Geologia e Recursos Minerais das folhas Santa Rita do Jacutinga, Barra do Piraí, Volta Redonda e Angra dos Reis, escala 1:100.000*. Brasília: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - MME.
- Heilbron, M., Eirado, L. G. & Almeida, J. (2016). *Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro. Escala 1:400.000*. Programa Geologia do Brasil (PGB), Mapas Geológicos Estaduais. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belo Horizonte.
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A. C., Campos Neto, M. C., Silva, L. C., Trouw, R. A. J. & Janasi, V. C. (2004). A Província Mantiqueira. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C. D. R. & Neves, B. B. B. (eds) *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Editora Beca, 203–234.
- Janasi, V. de A., Andrade, S., Vasconcellos, A. C. B. C., Henrique-Pinto, R. & Ulbrich, H. H. G. J. (2015).

- Timing and sources of granite magmatism in the Ribeira Belt, SE Brazil: Insights from zircon in situ U–Pb dating and Hf isotope geochemistry in granites from the São Roque Domain. *Journal of South American Earth Sciences*. Elsevier Ltd **68**, 224–247. doi: 10.1016/j.jsames.2015.11.009.
- Janasi, V. de A., de Freitas, V. A. & Heaman, L. H. (2011). The onset of flood basalt volcanism, Northern Paraná Basin, Brazil: A precise U–Pb baddeleyite/zircon age for a Chapecó-type dacite. *Earth and Planetary Science Letters*. Elsevier B.V. **302**, 147–153. doi: 10.1016/j.epsl.2010.12.005.
- Janasi, V. de A., Vlach, S. R. F., Campos Neto, M. da C. & Ulbrich, H. H. G. J. (2009). Associated A-type subalkaline and high-K calc-alkaline granites in the Itu Granite Province, southeastern Brazil: Petrological and tectonic significance. *The Canadian Mineralogist* **47**, 1505–1526. doi: 10.3749/canmin.47.6.1505.
- Lamego, A. R. (1936). O massiço de Itatiaia e regiões circundantes. *Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico/ DNPM* **88**, 1–93.
- Lasaulx, A. (1885). Über das Vorkommen von Eläolith-Syeniten und editeri zu diesen gehöri-gen Eläolith-porphyrten aus der Serra d'Itatiaia westlich von Rio de Janeiro, Brasilien. *Sitzungsberichte Der Niederrheinischen Gesellschaft Für Natur* 231–231.
- Le Maitre, R. W. (2002). *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge University Press.
- Leite, C. A. S. et al. (2004). Folhas SF.23 - Rio de Janeiro / SG.23 - Iguape. In: Schobbenhaus, C., Gonçalves, J. H., Santos, J. O. S., Abram, M. B., Leão Neto, R., Matos, G. M. M., Vitotti, R. M., Ramos, M. A. B. & Jesus, J. D. A. de (eds) *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas*. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM.
- Mariga, J., Ripley, E. M., Li, C., McKeegan, K. D., Schmidt, A. & Groove, M. (2006). Oxygen isotopic disequilibrium in plagioclase–corundum–hercynite xenoliths from the Voisey's Bay Intrusion, Labrador, Canada. *Earth and Planetary Science Letters* **248**, 263–275. doi: 10.1016/j.epsl.2006.05.031.
- Marks, M. A. W. & Markl, G. (2001). Fractionation and assimilation processes in the alkaline augite syenite unit of the Ilimaussaq Intrusion, South Greenland, as deduced from phase equilibria. *Journal of Petrology* **42**, 1947–1969. doi: https://doi.org/10.1093/petrology/42.10.1947.
- Marks, M. A. W. W., Hettmann, K., Schilling, J., Frost, B. R. & Markl, G. (2011). The Mineralogical Diversity of Alkaline Igneous Rocks: Critical Factors for the Transition from Miaskitic to Agpaitic Phase Assemblages. *Journal of Petrology* **52**, 439–455. doi: 10.1093/petrology/egq086.
- Marsh, I. S. (1973). Relationships between transform directions and alkaline igneous rock lineaments in Africa and South America. *Earth and Planetary Science Letters* **18**, 317–323.
- Meisling, K. E. & Cob, P. R. (2001). Segmentation of an obliquely rifted margin, Campos and Santos basins, southeastern Brazil. *AAPG Bulletin* **85**, 1903–1924. doi: 10.1306/8626D0A9-173B-11D7-8645000102C1865D.
- Melluso, L., Guarino, V., Lustrino, M., Morra, V. & De' Gennaro, R. (2016). The REE- and HFSE-bearing phases in the Itatiaia Alkaline Complex (Brazil), and geochemical evolution of feldspar-rich felsic melts. *Mineralogical Magazine* **81**, 217–250. doi: 10.1180/minmag.2016.080.122.
- Melo, M. D., Riccomini, C., Hasui, Y., Almeida, F. D. & Coimbra, A. M. (1985). Geologia e evolução do sistema de bacias tafrogênicas continentais do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências* **15**, 193–201.
- Mendes, J. C., Ávila, C. A., Pereira, R. M., Heilbron, M. P. L. & Moura, C. A. V (2006). 207Pb/ 206Pb-ages of zircons from syn-collisional I-type porphyritic granites of the central Ribeira belt, SE Brazil.

Gondwana Research **9**, 326–336. doi: 10.1016/j.gr.2005.11.004.

- Mingram, B., Trumbull, R. . B., Littman, S. & Gerstenberger, H. (2000). A petrogenetic study of anorogenic felsic magmatism in the Cretaceous Paresis ring complex, Namibia: evidence for mixing of crust and mantle-derived components. *Lithos* **54**, 1–22. doi: 10.1016/S0024-4937(00)00033-5.
- Mogahed, M. M. (2016). Petrogenesis of cogenetic silica-oversaturated and -undersaturated syenites of Abu Khruq ring complex, South Eastern Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences* **124**, 44–62. doi: 10.1016/j.jafrearsci.2016.09.010.
- Motoki, A. (1986). Geologia e petrologia do maciço alcalino da Ilha de Vitória, SP. São Paulo, Universidade de São Paulo. doi: 10.11606/T.44.1986.tde-30062015-101540.
- Negrão, A. P., Ramos, R. R. C., Mello, C. L. & Sanson, M. de S. R. (2015). Mapa geológico do cenozoico da região da bacia de Volta Redonda (RJ, segmento central do Rift Continental do Sudeste do Brasil): identificação de novos grabens e ocorrências descontínuas, e caracterização de estágios tectonosedimentares. *Brazilian Journal of Geology* **45**, 273–291. doi: 10.1590/23174889201500020007.
- Nekvasil, H., Dondolini, A., Horn, J., Filiberto, J., Long, H. & Lindsley, D. H. (2004). The Origin and Evolution of Silica-saturated Alkalic Suites: an Experimental Study. *Journal of Petrology* **45**, 693–721. doi: 10.1093/petrology/egg103.
- Njonfang, E., Tchongeng, G. T., Cozzupoli, D. & Lucci, F. (2013). Petrogenesis of the Sabongari alkaline complex, cameroon line (central Africa): Preliminary petrological and geochemical constraints. *Journal of African Earth Sciences* **83**, 25–54. doi: 10.1016/j.jafrearsci.2013.03.004.
- O'Halloran, D. A. (1985). Ras ed Dom migrating ring complex: A-type granites and syenites from the Bayuda Desert, Sudan. *Journal of African Earth Sciences* **3**, 61–75. doi: 10.1016/0899-5362(85)90023-5.
- Penalva, F. (1967). Geologia e Tectónica da Região do Itatiaia (Sudeste do Brasil). *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Universidade de São Paulo. Geologia* **302**, 99. doi: 10.11606/issn.2526-3862.bffcluspgeologia.1967.121904.
- Pinto, O. (1950). Aves do Itatiaia. *Boletim do Parque Nacional do Itatiaia* **3**, 1–87.
- Ribeiro Filho, E. (1967). Geologia e Petrologia dos Maciços Alcalinos do Itatiaia e Passa-Quatro (Sudeste do Brasil). *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Universidade de São Paulo. Geologia* **302**, 9. doi: 10.11606/issn.2526-3862.bffcluspgeologia.1967.121901.
- Ribeiro Filho, E. & Penalva, F. (1965). *Mapa Geológico do Maciço Alcalino de Itatiaia*. [material cartográfico]. 1:50.000. São Paulo, IBGE.
- Riccomini, C. (1989). O Rift Continental do Sudeste do Brasil. São Paulo, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado. doi: 10.11606/T.44.1990.tde-18032013-105507.
- Riccomini, C. & Rodrigues-Francisco, B. H. (1992). Idade potássio-argônio do derrame de ankaramito da Bacia de Itaboraí, Rio de Janeiro, Brasil: implicações tectônicas. *37º Congresso Brasileiro de Geologia*. São Paulo: SBG - Sociedade Brasileira de Geologia, 469–470.
- Riccomini, C., Sant'Anna, L. G. & Ferrari, A. L. (2004). Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: Mantesso Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C. D. R. & Brito-Neves, B. B. (eds) *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Editora Beca, 383–405.
- Riccomini, C., Velázquez, V. F. & Gomes, C. B. (2005). Tectonic controls of the Mesozoic and Cenozoic alkaline magmatism in central-southern Brazilian Plataform. In: Comin-Chiaramonti, P. & Gomes,

C. B. (eds) *Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform*. São Paulo: EDUSP-FAPESP, 31–56.

- Riishuus, M. S., Peate, D. W., Tegner, C., Wilson, J. R. & Brooks, C. K. (2008). Petrogenesis of Cogenetic Silica-Oversaturated and -Undersaturated Syenites by Periodic Recharge in a Crustally Contaminated Magma Chamber: the Kangerlussuaq Intrusion, East Greenland. *Journal of Petrology* **49**, 493–522. doi: 10.1093/petrology/egm090.
- Rocha, M. P., Schimmel, M. & Assumpção, M. (2011). Upper-mantle seismic structure beneath SE and Central Brazil from P- and S-wave regional traveltimes tomography. *Geophysical Journal International* **184**, 268–286. doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04831.x.
- Rosa, P. A. S. (2012). Geologia e Petrologia da suíte alcalina de Bom Repouso, MG. São Paulo, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado. doi: 10.11606/D.44.2012.tde-11112013-133338.
- Rosa, P. A. S., Ruberti, E., Vasconcelos, P. M. & Thiede, D. S. (2014). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Ages of Bom Repouso Alkaline Suite, MG State. *9th South American Symposium on Isotope Geology, 2014, São Paulo*. São Paulo: Program and Abstracts, 184.
- Sadowski, G. R. & Dias Neto, C. M. (1981). O lineamento sismotectônico do Cabo Frio. *Revista Brasileira de Geociências* **11**, 209–212.
- Salgado, A. A. R., Rezende, E. de A., Bourlès, D., Braucher, R., da Silva, J. R. & Garcia, R. A. (2016). Relief evolution of the Continental Rift of Southeast Brazil revealed by in situ-produced ^{10}Be concentrations in river-borne sediments. *Journal of South American Earth Sciences* **67**, 89–99. doi: 10.1016/j.jsames.2016.02.002.
- Schobbenhaus, F. C., Campos, P. A., Derze, G. R. & Asmus, H. E. (1984). *Geologia do Brasil*. Brasília: DNPM.
- Shea, M. E. (1992). Isotopic geochemical characteristics of selected nepheline syenites and phonolites from the Poços de Caldas alkaline complex, Minas Gerais, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration* **54**, 173–214. doi: 10.1016/0375-6742(92)90125-R.
- Sichel, S. E., Carlson, R. W., Esperança, S., Araújo, A. L. N. & Valença, J. G. (1997). Preliminary isotopic study of the alkalic intrusive complexes along the Cabo Frio Lineament. *South-American Symposium on Isotope Geology*. Campos do Jordão, 298–300.
- Silva, J. F. (1876). Descrição do Itatiaia ou Itatiaio. *Revista do Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro* **39**, 413–418.
- Silva, J. F. (1882). Panorama do Sul de Minas. *Revista do Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro* **45**, 405–435.
- Smith, P. E., Everson, N. M., York, D., Szatmari, P. & Custodio, O. (2001). Single-Crystal $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of pyrite: No fool's clock. *Geology* **29**, 403–406.
- Sonoki, I. K. & Garda, G. (1988). Idades K-Ar de rochas alcalinas do Brasil Meridional e Paraguai Oriental: compilação e adaptação às novas constantes de decaimento. *Boletim IGC-USP* **19**, 63–85.
- Sørensen, H. (1974). *The Alkaline Rocks*. London: John Wiley & Sons.
- Sørensen, H. (1997). The Agpaitic Rocks — An Overview. *Mineralogical Magazine* **61**, 485–498. doi: 10.1180/minmag.1997.061.407.02.
- Stanton, N., Ponte-Neto, C., Bijani, R., Masini, E., Fontes, S. & Flexor, J. M. (2014). A geophysical view of the Southeastern Brazilian margin at Santos Basin: Insights into rifting evolution. *Journal of South American Earth Sciences* **55**, 141–154. doi: 10.1016/j.jsames.2014.07.003.
- Thiede, D. S. & Vasconcelos, P. M. (2010). Paraná flood basalts: Rapid extrusion hypothesis confirmed

- by new $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ results. *Geology* **38**, 747–750. doi: 10.1130/G30919.1.
- Thomaz Filho, A. & Rodrigues, L. (1999). O Alinhamento de Rochas Alcalinas Poços de Caldas-Cabo Frio (RJ) e sua continuidade na cadeia Vitória-Trindade. *Revista Brasileira de Geociências* **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 Brazil: Melts from the Deflected Trindade Mantle Plume? *Journal of Petrology* **39**, 1493–1526. doi: doi.org/10.1093/petroj/39.8.1493.
- Trouw, C. C., Medeiros, F. F. F. de & Trouw, R. A. J. (2007). Evolução tectônica da Zona de Cisalhamento Caxambu, MG. *Revista Brasileira de Geociências* **37**, 767–776.
- Trouw, R. A. J., Peternel, R., Ribeiro, A., Heilbron, M., Vinagre, R., Duffles, P., Trouw, C. C., Fontainha, M. & Kussama, H. H. (2013). A new interpretation for the interference zone between the southern Brasília belt and the central Ribeira belt, SE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* **48**, 43–57. doi: 10.1016/j.jsames.2013.07.012.
- Trouw, R. A. J., Ribeiro, A. & Paciullo, F. V. P. (2003). Geologia da Folha Pouso Alto 1:100.000. In: Pedrosa Soares, C. A., Noce, M. A., Trouw, R. A. J. & Heilbron, M. (eds) *Geologia e Recursos Minerais do Sudeste Mineiro, Projeto Sul de Minas e Etapa I (COMIG, UFMG, UFRJ, UERJ)*, first ed., 2. Companhia Mineradora de Minas Gerais e COMIG, Belo Horizonte, MG.
- Tupinambá, M., Heilbron, M., Valeriano, C., Júnior, R. P., de Dios, F. B., Machado, N., Silva, L. G. do E. & de Almeida, J. C. H. (2012). Juvenile contribution of the Neoproterozoic Rio Negro Magmatic Arc (Ribeira Belt, Brazil): Implications for Western Gondwana amalgamation. *Gondwana Research. International Association for Gondwana Research* **21**, 422–438. doi: 10.1016/j.gr.2011.05.012.
- Ulbrich, H. H. G. J. & Gomes, C. B. (1981). Alkaline rocks from continental Brazil. *Earth Science Reviews* **17**, 135–154.
- Ulbrich, M. N. C. (1993). Mineralogy of nepheline syenites from the Poços de Caldas alkaline massif, SE Brazil: chemistry, X-ray data and microtextures of feldspars. *Revista Brasileira de Geociências* **23**, 388–399.
- Valeriano, C. de M., Tupinambá, M., Simonetti, A., Heilbron, M., de Almeida, J. C. H. & do Eirado, L. G. (2011). U-Pb LA-MC-ICPMS geochronology of Cambro-Ordovician post-collisional granites of the Ribeira belt, southeast Brazil: Terminal Brasiliano magmatism in central Gondwana supercontinent. *Journal of South American Earth Sciences* **32**, 416–428. doi: 10.1016/j.jsames.2011.03.003.
- Vlach, S. R. F., Vilalva, F. C. J., Ulbrich, M. N. C., Ulbrich, H. H. G. J. & Vasconcelos, P. M. (2003). Phlogopite from carbonatitic veins associated with the Poços de Caldas Alkaline Massif, SE Brazil: Mineralogy and Ar/Ar dating by the laser step heating method. *South American Symposium on Isotope Geology*. Salvador: SBG - Sociedade Brasileira de Geologia, 702–705.
- Yang, J.-H. H., Sun, J.-F. F., Zhang, M., Wu, F.-Y. Y. & Wilde, S. A. (2012). Petrogenesis of silica-saturated and silica-undersaturated syenites in the northern North China Craton related to post-collisional and intraplate extension. *Chemical Geology* **328**, 149–167. doi: 10.1016/j.chemgeo.2011.09.011.
- Zalán, P. V & Oliveira, J. A. B. (2005). Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobras* **13**, 296–300.

Tabela de coordenada e mapa dos afloramentos decritos

ANEXO B

ANEXO B – Tabela B.1 – Coordenadas de todos os afloramentos descritos e acidentes geográficos, construção e lugares usados como referência na tese. A altitude dos pontos (em metros acima do mar) foi baseada em medidas de GPS e ASTER GDEM ASTGTM2_S23W045 (ASTER GDEM is a product of METI and NASA). ¹ - medidas oficiais; ² - ponto médio do caminho.

Aflor.	Longitude	Latitude	Altitude	Aflor.	Longitude	Latitude	Altitude
MAI001	545925	7521568	734	MAI058B	542894	7516535	633
MAI002	547628	7520540	519	MAI059	542793	7516061	608
MAI003	550979	7521617	501	MAI060	539357	7514647	749
MAI004	550870	7522084	529	MAI061	540065	7517733	929
MAI005	550097	7522472	552	MAI062	539727	7518825	1040
MAI006	549093	7522589	600	MAI063	538021	7519773	1501
MAI007	544491	7523095	1056	MAI064	537807	7519974	1525
MAI008	544341	7522947	1091	MAI065	537636	7520350	1618
MAI009	544042	7522990	1140	MAI066	537171	7520525	1789
MAI010	543175	7522810	1247	MAI067	539828	7519475	1228
MAI011	543026	7522880	1301	MAI068	541449	7516115	693
MAI012	542870	7522879	1363	MAI069	541144	7516160	708
MAI013	517490	7532277	1057	MAI070	533820	7523864	2337
MAI014	518710	7532217	1035	MAI071	534267	7523613	2307
MAI015	518752	7531823	1015	MAI072	535098	7523548	2315
MAI016	516876	7530887	989	MAI073	535641	7523307	2376
MAI017	539114	7519736	1098	MAI074	534147	7523479	2335
MAI018	539264	7519887	1152	MAI075	535568	7522855	2315
MAI019	539105	7519617	1125	MAI076	535303	7522938	2434
MAI020	538484	7518863	1227	MAI077	533927	7523449	2406
MAI021	538333	7519132	1325	MAI078	533955	7522960	2491
MAI022	538316	7519525	1378	MAI079	534400	7522993	2435
MAI023	534977	7513904	500	MAI080	534740	7522955	2404
MAI024	534582	7515272	559	MAI081	533342	7524230	2372
MAI025	534844	7515575	628	MAI082	532764	7524335	2520
MAI026	534991	7516187	655	MAI083	530382	7525685	2466
MAI027	535513	7517677	965	MAI084	531423	7524467	2646
MAI028	535286	7517164	743	MAI085	530920	7524770	2581
MAI029	535024	7517099	822	MAI086	530637	7524998	2570
MAI030	542911	7519981	1725	MAI087	530571	7525412	2578
MAI031	542899	7520044	1684	MAI088	536781	7521026	1945
MAI032	542769	7520124	1641	MAI089	537333	7521707	2013
MAI033	542377	7520267	1620	MAI089B	537091	7521833	2035
MAI034	542048	7520286	1574	MAI090	536941	7522500	2107
MAI035	541869	7519837	1453	MAI091	536157	7522001	2189
MAI036	541568	7519568	1334	MAI092	535522	7522062	2207
MAI037	541375	7519435	1289	MAI093	533612	7525740	2630
MAI038	541131	7519318	1266	MAI094	534059	7525808	2551
MAI039	540903	7519329	1241	MAI095	534415	7525814	2659
MAI040	540422	7519364	1210	MAI096	534687	7526891	2396
MAI041	543232	7514339	543	MAI096B	534842	7527101	2398
MAI042	542631	7517634	902	MAI097	536030	7527018	2412
MAI043	542941	7517814	883	MAI097C	535859	7526923	2430
MAI044	543641	7517573	874	MAI098	535615	7526653	2513
MAI045	543111	7517516	890	MAI099	534794	7526027	2679
MAI046E	542766	7517376	851	MAI100	535061	7526809	2449
MAI046F	542733	7517355	850	MAI101	535018	7527561	2411
MAI047	542613	7517034	805	MAI102	534128	7527221	2377
MAI048	542548	7516996	816	MAI103	534541	7527778	2273
MAI049	542307	7516726	730	MAI104	527139	7529620	1961
MAI050	542220	7516469	660	MAI105	527252	7528987	2086
MAI051	542020	7516252	636	MAI106	527207	7527818	2159
MAI052	540372	7516027	682	MAI107	527643	7526948	2227
MAI053	540357	7516116	710	MAI108	528197	7526700	2268
MAI054	540494	7515689	695	MAI109	534649	7525011	2642
MAI055	540113	7515192	648	MAI110	534453	7525193	2569
MAI056	539831	7515258	717	MAI111	534182	7525553	2533
MAI057	539872	7514811	609	MAI112	529939	7526336	2354
MAI058	542896	7516446	601	MAI112B	530028	7526274	2400

ANEXO B – Tabela B.1 – *Continuação...*

Aflor.	Longitude	Latitude	Altitude	Aflor.	Longitude	Latitude	Altitude
MAI113	530344	7526477	2498	MAI158	529937	7527077	2274
MAI113B	530543	7526476	2572	MAI159	527425	7530881	1815
MAI114	534122	7526442	2447	MAI160	526868	7531390	1897
MAI115	534015	7526170	2461	MAI161	526134	7532389	1883
MAI115B	533970	7526021	2494	MAI162	525653	7532685	1843
MAI116	529526	7526693	2367	MAI163	524937	7532582	1738
MAI117	529335	7526867	2426	MAI164	527091	7527334	2149
MAI117C	529102	7526886	2402	MAI165	523109	7529867	1955
MAI118	528711	7527057	2422	MAI166	521965	7528801	1437
MAI119	528766	7527626	2451	MAI167	517858	7529885	1157
MAI120	528366	7527407	2586	MAI168	517203	7530729	969
MAI121	528441	7527777	2540	MAI169	517827	7531005	1001
MAI122	529128	7527524	2510	MAI170	519529	7530689	1111
MAI122B	529142	7527693	2492	MAI171	520087	7530727	1190
MAI123	525690	7525789	1835	MAI172	520450	7530670	1257
MAI123B	525597	7525929	1780	MAI173	521586	7530739	1459
MAI124	524087	7526301	1630	MAI174	521032	7531004	1345
MAI124B	523978	7526549	1620	MAI174B	520754	7530854	1313
MAI125	522740	7527189	1567	MAI175	520731	7528111	1401
MAI126	521822	7527729	1490	MAI176	522851	7534275	1429
MAI127	521609	7528388	1374	MAI177	522854	7531837	1510
MAI127B	521913	7528240	1364	MAI178	523029	7532258	1534
MAI128	534405	7523218	2481	MAI178B	522866	7532237	1545
MAI129	534218	7522902	2429	MAI178C	523006	7532408	1546
MAI130	533594	7523218	2463	MAI179	522705	7532643	1577
MAI131	534033	7524544	2422	MAI180	520599	7533361	1207
MAI132	533145	7525758	2541	MAI181	519543	7532866	1135
MAI132C	532998	7525806	2543	MAI182	526084	7526628	1935
MAI133	533826	7525241	2601	MAI182C	526016	7526458	1932
MAI134	533486	7523701	2546	MAI183	528052	7524095	1619
MAI135	532943	7524231	2475	MAI184	527750	7523698	1597
MAI136	532358	7524820	2418	MAI185	527688	7524275	1524
MAI137	532003	7525081	2421	MAI186	526923	7524298	1561
MAI138	531974	7526030	2531	MAI187	526335	7524173	1562
MAI139	532436	7526051	2513	MAI188	526820	7525951	2170
MAI140	532625	7525837	2598	MAI189	526821	7525611	2135
MAI140B	532729	7525801	2590	MAI190	526882	7526564	2067
MAI141	533838	7526836	2434	MAI191	533167	7517526	865
MAI142	533641	7527213	2425	MAI192	533140	7517086	810
MAI143	533328	7526870	2509	MAI193	528432	7520976	1090
MAI143B	533271	7526626	2546	MAI194	531558	7528338	1864
MAI144	532917	7526818	2496	MAI195	533081	7528187	2009
MAI144B	532953	7526883	2466	MAI196	532268	7528064	1979
MAI145	533066	7526280	2475	MAI197	531859	7528115	1928
MAI146	531090	7526658	2515	MAI198	534251	7530569	2336
MAI146C	531240	7526768	2518	MAI199	534428	7530111	2485
MAI146D	530940	7526610	2536	MAI200	533225	7531065	1894
MAI147	531633	7526678	2468	MAI201	536619	7526735	2339
MAI147B	531503	7526743	2470	MAI202	536682	7525628	2404
MAI148	531259	7526021	2595	MAI203	537315	7525976	2302
MAI149	530745	7526032	2562	MAI204	537628	7525482	2352
MAI150	529550	7525200	2413	MAI205	537676	7526358	2356
MAI150B	529821	7525301	2388	MAI206	537800	7526962	2430
MAI151	530106	7525431	2475	MAI207	538388	7525826	2572
MAI152	531497	7525361	2426	MAI207B	538550	7525862	2614
MAI153	528954	7526733	2333	MAI208	538794	7525914	2582
MAI154	528283	7528436	2412	MAI209	538402	7527615	1953
MAI155	528500	7529619	2190	MAI210	539349	7524827	2361
MAI156	530616	7527650	2208	MAI211	539793	7524997	2252
MAI156B	530679	7527436	2229	MAI212	540121	7524994	2221
MAI157	530474	7527259	2256	MAI213	539097	7525452	2415

ANEXO B – Tabela B.1 – *Continuação...*

Aflor.	Longitude	Latitude	Altitude	Picos	Longitude	Latitude	Altitude
MAI214	535475	7527087	2527	Agulhas Negras	534842	7525036	2792 ¹
MAI215	537270	7519161	1733	Asa de Hermes	534581	7525596	2600
MAI215B	537048	7519412	1760	Brejo do Aiuruoca	534261	7526938	2367
MAI216	536702	7519453	1773	Brejo do Rio Preto	536495	7526660	2320
MAI217	536857	7519975	1812	Cachoeira do Aiuruoca	534124	7527228	2355
MAI218	539978	7516906	795	Cachoeira Véu da Noiva	539309	7519902	1194
MAI219	524640	7527355	1675	Morro da Antena	530621	7525401	2584
MAI220	525282	7527525	1749	Morro do Couto	531601	7524484	2680 ¹
MAI221	529560	7529058	2289	Morro do Maromba	538475	7525870	2619 ¹
MAI222	529276	7528733	2287	Morro do Massena	530897	7526187	2609 ¹
MAI222B	529361	7528787	2266	Morro do Urubu	534413	7521625	2270 ¹
MAI222C	529133	7528687	2305	Ovos da Galinha	534883	7526830	2466
MAI223	528935	7528266	2340	Pedra Assentada	534766	7522921	2453 ¹
MAI224	528638	7528157	2410	Pedra do Altar	533552	7525703	2665 ¹
MAI225	519025	7529790	1352	Pedra do Camelo	529784	7526183	2318
MAI226	522922	7530354	1763	Pedra do Picú	523087	7529872	1970
MAI227	522580	7530892	1526	Pedra do Sino	534791	7526030	2670 ¹
MAI228	522372	7531398	1408	Pedra Furada	528370	7527406	2589 ¹
MAI229	523898	7532352	1595	Prateleiras	533955	7522898	2458
MAI230	530632	7526863	2488	Serra da Colina	522146	7532348	1731
MAI231	532052	7526717	2455	Serra Negra	534462	7529964	2572 ¹
MAI232	524195	7530998	1830	Três Picos	542916	7519993	1675
MAI233	523221	7530811	1570				
				Lugares	Longitude	Latitude	Altitude
				Abrigo Agua Branca	533069	7524470	2392
				Abrigo Massena	535907	7521950	2190
				Abrigo Rebouças	533069	7524470	2392
				Bairro da Colina	521844	7533772	1276
				Bairro Engenho da Serra	521852	7528362	1333
				Bairro Fazedra Velha	523112	7532137	1493
				Bairro Vargem Grande	528495	7531708	1748
				Entrada do Parque	541936	7515888	614
				Estrada do Carvoeiro	531603	7528123	1889
				Garganta do Registro	524605	7525480	1669 ¹
				Hotel Vista Linda	542733	7517470	861
				Museu	540115	7517269	856
				Posto do Marcão	530500	7525869	2436
				Posto do Maromba	539111	7519636	1102
				Rancho Caído	537597	7526148	2299
				Rodovia das Flores ²	526547	7526978	1948
				Travessia Rui Braga ²	536299	7520981	1946
				Travessia do Rancho Caic	537893	7527588	2073
				Trilha dos 5 Lagos ²	531734	7526360	2447

MAPA DE AFLORAMENTOS DESCRITOS E ETAPAS ANALÍTICAS

Tese de Doutorado - ANEXO B - Pedro A. S. Rosa

2017

Tabela de análise modal de amostras representativas

ANEXO C

ANEXO C - Análise modal (em % de volume) de amostras representativas das principais unidades descritas no MAI. Contagem de 2100 pontos em seção delgada. Cada ponto representa 0,048%, arredondado para 2 casas decimais. Os minerais decritos em lâmina e não computados são espessos por tr.

[illegible]

ANEXO C - Análise modal (em % de volume) de amostras representativas das principais unidades descritas no MAI. Contagem de 2100 pontos em seção delgada. Cada ponto representa 0,048%, arredondado para 2 casas decimais. Os minerais decritos em lâmina e não computados são espessos por tr.

Amostra	MAI070B	MAI136	MAI108II	MAI154	MAI182C	MAI190	MAI160	MAI155	MAI166I	MAI178
Unidade	mA	N-II	arpk-QzS	arpk-QzS	BtM	HblP	HblP	N-III	NeS-II	MG-mts
M'	4,29	6,76	7,62	7,62	22,48	8,86	16,76	8,73	8,29	76,86
Q	27,74	2,60	11,54	6,99				4,14		
A	71,70	93,48	67,30	75,56		96,78	86,17	95,86	88,20	
P	0,56	3,92	21,16	17,45	100,00					100,00
F						3,22	13,83		11,80	
Feldspato :	66,71	83,95	61,95	69,48		87,24	70,33	87,21	80,43	
Plagioclási	0,52	3,52	19,48	16,05	74,29					21,14
Nefelina						0,14	10,43		10,24	
Analcima						2,57				
Sodalita						0,19	0,86		0,52	
Quartzo	25,81	2,33	10,62	6,43				3,77		
Anfibólio		1,76				1,67	8,10	5,06	4,24	55,29
Biotita	1,95	1,19	2,90	3,14	7,24	3,05	4,95	0,72	0,52	7,81
Opaco	1,86	1,52	2,62	2,14	4,81	1,33	1,24	2,77	1,14	3,38
Clinopiroxênio		0,10	1,38	1,81	5,24	2,05	0,48		0,14	
Titanita		1,29	0,57	0,43		0,57	1,81	0,14	1,86	2,76
Apatita	0,05	0,19	0,33	0,43	3,24	0,76	1,57		0,33	2,00
Zircão	0,48	0,19	0,14	0,10	0,48	0,19	0,19	0,05	0,14	
Lâvenita										
Hainita										
Rosenbuschita										
Hercinita										
Corindon										
Muscovita						0,24				
Fluorita	0,57									
Fluorita+zircão									0,24	
Rutilo		0,05								
Clorita					3,86					
Agregados	0,05	0,67			0,86				0,10	7,62
Carbonato	1,33	0,48								
Cavidade r	0,67	2,76						0,19		

Mapa geológico

ANEXO D

MAPA GEOLÓGICO DO MACIÇO ALCALINO DE ITATIAIA, MG-RJ

Tese de Doutorado - ANEXO D - Pedro A. S. Rosa

2017

ANEXO E

ANEXO E - Tabela E.1 - Composição química de feldspatos de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade BtHbNeS																									
Amostra MAI036																									
Cristal	1	1	2	3	4	4	5	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	
Textura ¹	kfl n	kfl b	pl<kfl	kfl	kfl	kfl n	kfl b	kfl b	pl	kfl b	kfl n	kfl n	kfl b	kfl n	kfl b	kfl n	kfl b	pl n	pl b	pl n	pl b	pl n	pl b	kfl n	kfl b
SiO ₂	66,00	66,05	61,31	65,82	65,74	65,57	65,45	65,54	65,85	64,71	65,93	66,37	65,67	65,98	65,86	66,14	65,10	60,33	62,29	60,19	62,29	60,77	61,96	65,78	65,89
Al ₂ O ₃	19,60	19,62	25,03	19,45	19,23	19,20	19,24	19,38	19,34	18,91	19,54	18,98	19,30	19,56	19,31	19,52	19,00	25,35	24,07	25,57	24,19	24,70	24,04	19,34	19,35
TiO ₂	0,04	0,08	0,06	0,06	0,01	0,05	0,04		0,04	0,13	0,05	0,07	0,10	0,13		0,01	0,02	0,02	0,09	0,08	0,01	0,10	0,04	0,12	0,08
Fe ₂ O ₃	0,08	0,10	0,14	0,04	0,07	0,03	0,14	0,03	0,11	0,23	0,08	0,14	0,09	0,03	0,13	0,08	0,17	0,13	0,09	0,11	0,28	0,14	0,09	0,07	0,06
MnO	0,00	0,01		0,01		0,02	0,00			0,02		0,00		0,00		0,01	0,02		0,01	0,01		0,01	0,01		
MgO	0,00		0,00	0,01			0,00	0,01	0,01		0,00			0,02	0,01	0,00	0,02	0,01							
CaO	0,40	0,52	5,64	0,45	0,41	0,21	0,41	0,44	0,47	0,43	0,49	0,10	0,42	0,45	0,38	0,49	0,45	6,54	5,19	6,66	5,15	5,94	5,01	0,42	0,39
Na ₂ O	4,05	3,97	8,01	3,25	3,89	3,01	3,55	3,68	4,15	3,65	4,35	3,33	3,50	3,65	4,01	4,08	3,36	7,64	8,34	7,42	8,43	7,93	8,28	3,79	3,24
K ₂ O	10,41	10,64	0,17	11,79	10,72	12,45	11,46	11,04	10,29	11,62	10,28	11,82	11,55	11,36	10,67	10,30	11,64	0,15	0,25	0,27	0,17	0,23	0,24	11,01	11,92
SrO	0,09	0,08	0,08	0,08	0,12	0,09	0,10	0,08	0,07	0,10	0,11	0,08	0,04	0,07	0,07	0,05	0,05	0,08	0,07	0,07	0,06	0,07	0,13	0,09	0,10
BaO	0,01		0,00		0,03	0,05			0,02	0,07				0,04				0,03			0,03			0,06	
Total	100,68	101,07	100,45	100,96	100,22	100,69	100,40	100,20	100,36	99,87	100,84	100,89	100,68	101,29	100,43	100,68	99,84	100,27	100,39	100,38	100,58	99,91	99,79	100,70	101,03
Número de cátions calculado na base de 32 oxigênios.																									
Si	11,875	11,857	10,834	11,874	11,905	11,896	11,874	11,882	11,889	11,845	11,856	11,966	11,876	11,853	11,897	11,892	11,887	10,712	11,000	10,678	10,982	10,818	11,003	11,876	11,886
Al	4,156	4,151	5,213	4,135	4,104	4,106	4,114	4,141	4,115	4,080	4,141	4,033	4,113	4,141	4,111	4,136	4,089	5,305	5,009	5,346	5,026	5,182	5,031	4,115	4,114
Ti	0,005	0,011	0,009	0,009	0,001	0,007	0,005	0,000	0,006	0,018	0,007	0,010	0,014	0,017	0,000	0,001	0,003	0,003	0,012	0,011	0,001	0,013	0,005	0,016	0,011
Fe ³⁺	0,011	0,013	0,019	0,005	0,010	0,005	0,019	0,004	0,014	0,032	0,011	0,019	0,013	0,004	0,017	0,010	0,024	0,018	0,012	0,014	0,037	0,018	0,012	0,009	0,008
Mn	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,003	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,002	0,000
Mg	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000	0,000	0,001	0,002	0,003	0,000	0,001	0,000	0,000	0,005	0,003	0,001	0,006	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,078	0,100	1,068	0,086	0,080	0,041	0,080	0,085	0,091	0,084	0,094	0,020	0,082	0,087	0,073	0,095	0,089	1,244	0,982	1,266	0,973	1,133	0,953	0,081	0,075
Na	1,413	1,382	2,744	1,137	1,366	1,059	1,249	1,293	1,453	1,295	1,517	1,164	1,227	1,271	1,404	1,422	1,190	2,630	2,855	2,552	2,882	2,737	2,851	1,327	1,133
K	2,389	2,436	0,039	2,713	2,476	2,881	2,652	2,553	2,370	2,713	2,358	2,719	2,664	2,603	2,459	2,362	2,711	0,034	0,056	0,062	0,038	0,052	0,054	2,536	2,743
Sr	0,010	0,008	0,008	0,009	0,012	0,009	0,011	0,008	0,008	0,011	0,012	0,008	0,004	0,008	0,007	0,005	0,006	0,008	0,008	0,007	0,006	0,007	0,014	0,010	0,010
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,000	0,000	0,001	0,005	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,005	0,000
Total	19,938	19,959	19,934	19,972	19,958	20,011	20,005	19,969	19,951	20,086	19,998	19,939	19,993	19,994	19,971	19,926	20,005	19,956	19,934	19,938	19,945	19,964	19,923	19,977	19,980
An	2,01	2,56	27,73	2,20	2,03	1,03	2,00	2,17	2,33	2,05	2,37	0,50	2,06	2,18	1,85	2,44	2,22	31,84	25,22	32,63	24,99	28,88	24,71	2,05	1,91
Ab	36,41	35,26	71,27	28,88	34,82	26,60	31,37	32,90	37,12	31,65	38,22	29,83	30,89	32,10	35,68	36,66	29,82	67,30	73,34	65,78	74,03	69,78	73,89	33,65	28,68
Or	61,58	62,18	1,00	68,93	63,14	72,38	66,63	64,93	60,55	66,30	59,42	69,67	67,06	65,72	62,47	60,90	67,96	0,86	1,43	1,59	0,98	1,33	1,40	64,31	69,42

Albite Activity

800 °C

900 °C

Anortite Activity

800 °C

900 °C

¹ - n, núcleo; b, borda; <, incluso em; ints, intersticial; fen, fenocristal; idio, idiomórfico; lam, lamela de exsolução;

TÜ - análises realizadas na Universidade de Tübingen

ANEXO E - Tabela E.1 - Composição química de feldspatos de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade BtHbNeS																NeS-I									
Amostra MAI036																MAI060									
Cristal	15	15	16	16	17	17	1R*	2R*	3	3R*	4R*	5R*	23	25	27	34	18	18	19	19	20	21	22	23	23
Textura ¹	pl n	pl b	kfl b	kfl n	kfl n	kfl b	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	kfl n	kfl b	kfl n	kfl b	kfl n	kfl ints	kfl	kfl n	kfl b
SiO ₂	61,08	60,78	65,98	66,08	65,94	66,11	65,50	65,40	61,31	63,83	63,51	65,13	60,33	60,19	60,77	61,08	65,18	65,15	65,22	64,78	65,37	65,37	65,54	65,48	65,77
Al ₂ O ₃	24,79	24,90	19,62	19,14	19,53	19,29	18,88	19,59	25,03	19,68	19,46	19,97	25,35	25,57	24,70	24,79	18,99	18,66	18,80	18,49	18,73	18,56	18,77	18,64	18,99
TiO ₂	0,04	0,02	0,07	0,06	0,03	0,02			0,06				0,02	0,08	0,10	0,04	0,06		0,07	0,08	0,02	0,03		0,07	0,03
Fe ₂ O ₃	0,08	0,11	0,06	0,15	0,06	0,07	0,04	0,04	0,13	0,06	0,05	0,04	0,12	0,10	0,12	0,07	0,03	0,38	0,16	0,18	0,19	0,19	0,19	0,14	0,02
MnO			0,00	0,00	0,01												0,00	0,02		0,03	0,00	0,01	0,00		
MgO	0,02				0,01	0,00														0,01			0,00	0,01	0,00
CaO	5,69	5,92	0,67	0,16	0,52	0,33	0,25	1,04	5,64	0,95	0,57	1,37	6,54	6,66	5,94	5,69		0,01	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04		
Na ₂ O	8,13	7,96	3,69	3,36	4,07	3,37	5,03	5,40	8,01	5,23	4,75	4,60	7,64	7,42	7,93	8,13	0,31	0,53	0,80	0,49	0,65	0,61	0,56	0,48	0,47
K ₂ O	0,20	0,22	11,01	12,02	10,69	11,53	9,39	8,12	0,17	8,49	9,46	9,10	0,15	0,27	0,23	0,20	16,43	16,01	15,70	16,13	15,88	16,20	16,07	16,19	16,57
SrO	0,08	0,05	0,05	0,07	0,11	0,06	0,00	0,02	0,08	0,01	0,01	0,02	0,08	0,07	0,07	0,08	0,01	0,01	0,06	0,10	0,06	0,07	0,05	0,01	0,01
BaO	0,06				0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,03		0,03	0,06	0,01	0,03			0,09		0,02		
Total	100,17	99,97	101,15	101,04	100,98	100,80	99,10	99,62	100,44	98,25	97,85	100,24	100,26	100,37	99,90	100,16	101,03	100,81	100,87	100,35	101,05	101,08	101,26	101,02	101,87
Número de cátions calculado na base de 32 oxigênios.																									
Si	10,838	10,807	11,851	11,920	11,859	11,922	2,985	2,956	2,710	2,934	2,941	2,938	2,679	2,671	2,706	2,711	11,928	11,947	11,937	11,948	11,955	11,965	11,959	11,974	11,943
Al	5,184	5,218	4,153	4,069	4,140	4,100	1,014	1,043	1,304	1,066	1,062	1,062	1,327	1,337	1,296	1,297	4,096	4,033	4,055	4,019	4,037	4,004	4,037	4,017	4,064
Ti	0,005	0,003	0,009	0,008	0,004	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,003	0,001	0,009	0,000	0,010	0,011	0,003	0,005	0,000	0,010	0,005
Fe ³⁺	0,011	0,015	0,008	0,020	0,008	0,009	0,002	0,001	0,005	0,002	0,002	0,002	0,004	0,004	0,005	0,003	0,005	0,053	0,022	0,025	0,027	0,026	0,026	0,020	0,003
Mn	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000											0,001	0,003	0,000	0,004	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Mg	0,005	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000											0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,001	0,002	0,001
Ca	1,082	1,128	0,130	0,032	0,101	0,064	0,012	0,051	0,267	0,047	0,028	0,066	0,311	0,317	0,283	0,271	0,000	0,002	0,012	0,009	0,009	0,008	0,009	0,000	0,000
Na	2,797	2,744	1,285	1,175	1,419	1,178	0,444	0,474	0,686	0,467	0,427	0,402	0,658	0,638	0,685	0,700	0,110	0,190	0,283	0,177	0,230	0,217	0,199	0,169	0,165
K	0,045	0,051	2,523	2,766	2,452	2,652	0,546	0,468	0,010	0,498	0,559	0,524	0,008	0,015	0,013	0,011	3,836	3,745	3,665	3,795	3,705	3,782	3,741	3,777	3,838
Sr	0,009	0,005	0,005	0,007	0,012	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,006	0,011	0,007	0,008	0,005	0,001	0,001
Ba	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,003	0,000	0,000	0,007	0,000	0,002	0,000	0,000
Total	19,980	19,971	19,964	19,998	19,999	19,936	5,003	4,993	4,984	5,015	5,020	4,994	4,990	4,985	4,992	4,995	19,985	19,977	19,989	20,004	19,978	20,015	19,979	19,970	20,021
An	27,57	28,75	3,29	0,80	2,53	1,64	44,33	47,73	71,27	46,12	42,08	40,54	67,30	65,78	69,78	71,28	0,00	0,06	0,29	0,22	0,23	0,19	0,22	0,00	0,00
Ab	71,28	69,96	32,64	29,58	35,73	30,26	1,24	5,10	27,73	4,65	2,80	6,65	31,84	32,63	28,88	27,57	2,78	4,82	7,14	4,44	5,84	5,40	5,04	4,29	4,13
Or	1,15	1,29	64,07	69,62	61,74	68,11	54,43	47,18	1,00	49,23	55,12	52,81	0,86	1,59	1,33	1,15	97,22	95,12	92,56	95,33	93,93	94,41	94,74	95,71	95,87
Albite Activity																									
800 °C							0,93	0,85	-	0,86	0,89	0,80	-	-	-	-									
900 °C							0,88	0,81	-	0,81	0,84	0,76	-	-	-	-									
Anortite Activity																									
800 °C							-	-	0,38	-	-	-	0,44	0,45	0,40	0,38									
900 °C							-	-	0,36	-	-	-	0,41	0,42	0,37	0,35									

¹ - n, núcleo; b, borda; <, incluso em; ints, intersticial; fen, fenocristal; idio, idiomórfico; lam, lamela de exsolução;

TÜ - análises realizadas na Universidade de Tübingen

ANEXO E - Tabela E.1 - Composição química de feldspatos de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade NeS-I												mA								AegN					
Amostra MAI060												MAI070B								MAI090					
Cristal	24	24	25	25	26	26	27	28	1R*	2R*	3R*	4R*	29	29	29	30	31	32	33	34	35	36	37	37	38
Textura ¹	kfl n	kfl b	kfl n	kfl b	kfl n	kfl b	kfl	kfl	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	kfl n	kfl b	ab b	kfl	kfl	kfl	kfl	kfl	kfl	kfl	kfl n	kfl b	kfl
SiO ₂	65,31	65,24	64,95	66,27	64,95	65,89	65,19	65,54	66,80	66,43	65,80	66,10	66,99	67,40	68,72	66,75	67,02	67,28	66,40	66,38	67,30	68,04	67,49	67,47	67,57
Al ₂ O ₃	18,66	18,66	18,87	18,82	18,57	19,02	18,71	18,78	18,57	18,56	18,59	18,52	18,99	18,59	19,44	19,19	18,93	19,08	18,95	18,69	19,11	19,44	19,48	18,71	19,25
TiO ₂	0,00	0,03	0,01		0,03	0,01	0,08	0,05						0,01		0,03	0,03	0,00	0,07		0,02	0,00	0,03		0,02
Fe ₂ O ₃	0,14	0,05	0,13	0,24	0,14	0,23	0,17	0,27	0,23	0,16	0,03	0,03	0,36	0,46	0,22	0,39	0,25	0,30	0,39	0,24	0,28	0,20	0,26	0,57	0,30
MnO		0,00			0,00	0,01		0,02					0,00	0,01	0,03				0,00			0,00	0,00		
MgO	0,00	0,01		0,01		0,00	0,00						0,01		0,01	0,00	0,01		0,01	0,00		0,00	0,00	0,01	0,00
CaO	0,01	0,00	0,07	0,05	0,03	0,04	0,00		0,04	0,01	0,01	0,04	0,13	0,02	0,09	0,29	0,06	0,32	0,11	0,11	0,13	0,23	0,31	0,04	0,18
Na ₂ O	0,44	0,38	0,59	0,74	0,63	0,70	0,44	0,36	2,92	2,88	2,59	3,15	6,79	6,72	11,24	6,80	6,39	7,01	5,72	6,19	6,70	9,05	8,26	6,87	7,31
K ₂ O	16,26	16,30	16,04	15,81	16,02	15,80	16,26	16,47	12,81	12,96	13,26	12,35	6,67	7,03	0,43	6,65	7,38	6,16	8,42	7,52	6,93	3,51	4,52	6,75	6,13
SrO	0,09	0,03	0,06	0,03	0,10	0,11	0,06	0,03	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02		0,06	0,03	0,06	0,04	0,06	0,02		0,01	0,01	
BaO				0,03		0,07	0,02		0,01	0,00	0,02	0,02	0,04	0,06		0,01	0,04		0,03	0,02	0,00	0,03		0,07	
Total	100,91	100,71	100,72	101,99	100,49	101,89	100,94	101,52	101,39	101,01	100,32	100,23	99,99	100,31	100,17	100,18	100,13	100,20	100,13	99,21	100,49	100,51	100,36	100,50	100,77
Número de cátions calculado na base de 32 oxigênios.																									
Si	11,968	11,972	11,922	11,983	11,954	11,940	11,946	11,947	3,008	3,004	3,000	3,005	11,977	12,032	11,993	11,927	11,992	11,979	11,943	11,999	11,978	11,966	11,933	12,013	11,964
Al	4,030	4,036	4,082	4,011	4,028	4,062	4,041	4,035	0,986	0,990	0,999	0,993	4,002	3,911	3,999	4,041	3,992	4,004	4,017	3,982	4,008	4,029	4,059	3,926	4,017
Ti	0,000	0,004	0,002	0,000	0,005	0,002	0,011	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	0,004	0,001	0,010	0,000	0,002	0,000	0,004	0,000	0,003
Fe ³⁺	0,020	0,007	0,019	0,032	0,020	0,031	0,023	0,037	0,009	0,006	0,001	0,001	0,049	0,061	0,029	0,052	0,034	0,040	0,052	0,033	0,038	0,027	0,035	0,076	0,040
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,003					0,000	0,001	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000
Mg	0,001	0,003	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000					0,003	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
Ca	0,002	0,001	0,013	0,009	0,006	0,007	0,001	0,000	0,002	0,001	0,000	0,002	0,026	0,003	0,016	0,056	0,012	0,060	0,021	0,021	0,025	0,044	0,058	0,008	0,035
Na	0,156	0,135	0,209	0,261	0,224	0,247	0,156	0,126	0,255	0,253	0,229	0,277	2,354	2,326	3,803	2,356	2,217	2,420	1,995	2,169	2,312	3,086	2,832	2,372	2,509
K	3,801	3,816	3,756	3,647	3,761	3,652	3,801	3,830	0,736	0,748	0,772	0,716	1,521	1,601	0,096	1,516	1,684	1,399	1,932	1,734	1,573	0,787	1,019	1,533	1,385
Sr	0,010	0,003	0,007	0,003	0,011	0,011	0,007	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,007	0,003	0,006	0,004	0,006	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000
Ba	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,005	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,004	0,000	0,001	0,002	0,000	0,002	0,001	0,000	0,002	0,000	0,005	0,000
Total	19,986	19,977	20,008	19,949	20,010	19,961	19,989	19,988	4,995	5,001	5,001	4,995	19,935	19,944	19,943	19,959	19,942	19,908	19,976	19,946	19,939	19,943	19,942	19,938	19,952
An	0,04	0,02	0,33	0,23	0,16	0,19	0,02	0,00	25,71	25,25	22,85	27,85	0,66	0,08	0,41	1,43	0,32	1,55	0,53	0,53	0,64	1,13	1,48	0,20	0,89
Ab	3,94	3,41	5,25	6,66	5,60	6,33	3,95	3,19	0,20	0,06	0,04	0,19	60,34	59,18	97,13	59,98	56,64	62,38	50,53	55,28	59,12	78,77	72,44	60,62	63,87
Or	96,02	96,57	94,42	93,12	94,23	93,48	96,03	96,81	74,09	74,70	77,11	71,96	39,00	40,74	2,46	38,59	43,04	36,07	48,94	44,19	40,23	20,10	26,08	39,19	35,24
Albite Activity																									
800 °C									0,83	0,82	0,79	0,85													
900 °C									0,75	0,74	0,71	0,78													
Anortite Activity																									
800 °C									-	-	-	-													
900 °C									-	-	-	-													

¹ - n, núcleo; b, borda; <, incluso em; ints, intersticial; fen, fenocristal; idio, idiomórfico; lam, lamela de exsolução;

TÜ - análises realizadas na Universidade de Tübingen

ANEXO E - Tabela E.1 - Composição química de feldspatos de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	AegN	BtHblP																							
Amostra	MAI090	MAI092I																							
Cristal	39	40	41	42	42	43	43	44	44	45	45	46	46	47	47	48	48	49	49	50	50	9	15	17	24
Textura ¹	kfl	kfl	kfl	kfl n	kfl b	pl ant n	pl ant b	kfl b	kfl b	kfl n	kfl b	kfl n	kfl b	kfl n	kfl b	kfl n	kfl b	kfl n	kfl b	kfl n	kfl b	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ
SiO ₂	67,49	64,78	65,27	65,77	66,67	57,28	65,31	65,73	66,68	66,60	66,35	66,40	66,23	66,42	66,47	66,42	65,48	66,28	66,53	66,58	66,59	57,28	66,60	66,40	66,42
Al ₂ O ₃	19,40	20,81	18,76	19,22	19,43	27,48	22,05	19,38	19,65	19,38	19,31	19,42	19,50	19,64	19,60	19,52	19,01	19,54	19,41	19,47	19,54	27,48	19,38	19,42	19,64
TiO ₂	0,04	0,09		0,02	0,07	0,14	0,06		0,12	0,06			0,03	0,08	0,02	0,00	0,05	0,04	0,04			0,14	0,06		0,08
Fe ₂ O ₃	0,22	0,18	0,20	0,14	0,26	0,12	0,15	0,14	0,30	0,14	0,18	0,14	0,13	0,16	0,10	0,15	0,15	0,19	0,30	0,15	0,11	0,11	0,13	0,13	0,15
MnO	0,01				0,00	0,02	0,01			0,01		0,02	0,00			0,00	0,03		0,04	0,00					
MgO	0,00		0,00	0,00	0,02	0,00			0,00	0,01	0,02		0,02	0,02		0,00			0,01						
CaO	0,32	1,13	0,04	0,16	0,25	8,62	2,73	0,30	0,32	0,28	0,17	0,22	0,33	0,47	0,32	0,35	0,23	0,44	0,20	0,27	0,30	8,62	0,28	0,22	0,47
Na ₂ O	8,80	6,60	1,41	2,77	5,12	6,31	9,81	3,94	5,65	5,24	4,50	5,01	5,79	5,81	5,53	5,32	2,82	5,92	4,32	5,42	5,07	6,31	5,24	5,01	5,81
K ₂ O	3,83	5,72	14,90	12,59	9,10	0,08	0,22	10,55	8,41	8,90	10,13	9,39	8,14	7,92	8,37	8,91	12,48	7,72	10,21	8,78	9,13	0,08	8,90	9,39	7,92
SrO	0,02	0,92	0,10	0,24	0,19	0,72	0,30	0,26	0,18	0,21	0,22	0,15	0,21	0,23	0,22	0,22	0,21	0,22	0,21	0,24	0,22	0,72	0,21	0,15	0,23
BaO		0,55	0,05	0,15	0,14	0,03	0,01	0,07			0,08	0,00	0,02	0,01	0,06		0,07	0,07	0,06	0,10	0,18	0,03		0,00	0,01
Total	100,14	100,78	100,74	101,07	101,24	100,79	100,65	100,36	101,30	100,84	100,96	100,75	100,40	100,76	100,70	100,90	100,53	100,41	101,34	101,01	101,14	100,78	100,82	100,74	100,74
Número de cátions calculado na base de 32 oxigênios.																									
Si	11,936	11,601	11,940	11,904	11,898	10,222	11,444	11,889	11,861	11,912	11,912	11,905	11,877	11,860	11,888	11,883	11,911	11,871	11,901	11,898	11,897	2,562	2,981	2,979	2,968
Al	4,044	4,392	4,045	4,100	4,087	5,779	4,554	4,131	4,119	4,085	4,086	4,104	4,122	4,133	4,131	4,116	4,075	4,125	4,092	4,101	4,114	1,449	1,022	1,027	1,034
Ti	0,005	0,012	0,000	0,002	0,010	0,018	0,008	0,000	0,016	0,008	0,000	0,000	0,003	0,011	0,002	0,000	0,007	0,005	0,005	0,000	0,000	0,005	0,002	0,000	0,003
Fe ³⁺	0,030	0,024	0,028	0,019	0,034	0,016	0,020	0,018	0,040	0,019	0,024	0,019	0,018	0,022	0,014	0,020	0,020	0,026	0,041	0,020	0,015	0,004	0,005	0,005	0,005
Mn	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,001	0,004	0,000	0,006	0,001	0,000				
Mg	0,001	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,005	0,000	0,004	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000				
Ca	0,061	0,216	0,009	0,032	0,047	1,648	0,513	0,058	0,060	0,053	0,034	0,042	0,063	0,089	0,062	0,067	0,044	0,084	0,038	0,052	0,058	0,413	0,013	0,010	0,022
Na	3,018	2,292	0,500	0,972	1,772	2,183	3,333	1,382	1,949	1,817	1,566	1,742	2,013	2,011	1,918	1,845	0,995	2,056	1,498	1,878	1,756	0,547	0,455	0,436	0,503
K	0,864	1,307	3,477	2,907	2,072	0,019	0,050	2,434	1,908	2,031	2,320	2,148	1,862	1,804	1,910	2,033	2,896	1,764	2,330	2,001	2,081	0,005	0,508	0,537	0,452
Sr	0,003	0,096	0,011	0,025	0,020	0,074	0,031	0,027	0,018	0,022	0,023	0,015	0,022	0,024	0,023	0,023	0,023	0,022	0,022	0,025	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000
Ba	0,000	0,038	0,004	0,011	0,010	0,002	0,001	0,005	0,000	0,000	0,006	0,000	0,001	0,001	0,004	0,000	0,005	0,005	0,005	0,007	0,012	0,001	0,000	0,000	0,000
Total	19,963	19,978	20,013	19,973	19,953	19,964	19,953	19,944	19,972	19,952	19,976	19,978	19,987	19,960	19,951	19,988	19,980	19,958	19,941	19,982	19,957	4,985	4,987	4,995	4,989
An	1,56	5,67	0,22	0,82	1,21	42,81	13,16	1,49	1,54	1,36	0,86	1,07	1,59	2,28	1,60	1,71	1,12	2,16	0,98	1,32	1,50	56,71	46,58	44,30	51,51
Ab	76,53	60,07	12,55	24,86	45,54	56,71	85,56	35,67	49,74	46,58	39,96	44,30	51,12	51,51	49,30	46,76	25,28	52,66	38,75	47,77	45,09	42,81	1,36	1,07	2,28
Or	21,91	34,25	87,23	74,33	53,25	0,48	1,28	62,84	48,71	52,06	59,18	54,63	47,29	46,20	49,10	51,53	73,60	45,18	60,26	50,91	53,42	0,48	52,06	54,63	46,20
Albite Activity																									
800 °C																						-	0,92	0,93	0,90
900 °C																						-	0,87	0,87	0,86
Anortite Activity																									
800 °C																						0,58	-	-	-
900 °C																						0,54	-	-	-

¹ - n, núcleo; b, borda; <, incluso em; ints, intersticial; fen, fenocristal; idio, idiomórfico; lam, lamela de exsolução;

TÜ - análises realizadas na Universidade de Tübingen

ANEXO E - Tabela E.1 - Composição química de feldspatos de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade BtHblP				N-I													BtHblP									
Amostra MAI092I				MAI097B													MAI102									
Cristal	27	29	33	51	52	53	53	54	55	56	56	8	10	11	12	13	57	57	58	59	59	60	61	61	62	
Textura ¹	TÜ	TÜ	TÜ	kfl	kfl	pl<kfl b	pl<kfl n	kfl	kfl	pl<kfl	kfl	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	kfl fen n	kfl fen b	kfl idio	kfl fen n	kfl fen b	kfl idio	kfl fen n	kfl fen b	kfl idio	
SiO ₂	66,42	66,28	66,58	67,14	66,13	61,66	61,82	66,90	66,65	61,58	66,43	61,82	66,90	66,65	61,58	66,43	66,45	65,69	66,07	65,68	65,44	66,11	66,45	65,59	66,16	
Al ₂ O ₃	19,52	19,54	19,47	19,07	19,92	23,70	23,96	18,84	18,76	23,73	19,04	23,96	18,84	18,76	23,73	19,04	19,36	19,89	19,63	19,95	19,75	19,61	19,54	20,33	19,40	
TiO ₂	0,00	0,04		0,01	0,15	0,15	0,07	0,01	0,09	0,04	0,08	0,07	0,01	0,09	0,04	0,08	0,04	0,16		0,07	0,03	0,11	0,05	0,22	0,16	
Fe ₂ O ₃	0,13	0,17	0,13	0,21	0,21	0,18	0,42	0,34	0,30	0,17	0,23	0,38	0,30	0,27	0,15	0,20	0,20	0,20	0,16	0,16	0,19	0,15	0,14	0,23	0,16	
MnO				0,01			0,03		0,01		0,02						0,01				0,02	0,02	0,02	0,01		
MgO							0,00	0,01			0,01							0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	
CaO	0,35	0,44	0,27	0,11	0,88	4,88	4,88	0,06	0,10	4,70	0,17	4,88	0,06	0,10	4,70	0,17	0,34	0,68	0,56	0,89	0,72	0,40	0,39	1,07	0,42	
Na ₂ O	5,32	5,92	5,42	5,44	7,43	8,25	8,20	4,92	5,42	8,19	4,75	8,20	4,92	5,42	8,19	4,75	4,44	4,97	4,86	5,55	4,89	4,61	4,50	5,82	4,83	
K ₂ O	8,91	7,72	8,78	8,77	5,25	0,43	0,65	9,45	8,72	0,60	9,66	0,65	9,45	8,72	0,60	9,66	10,28	9,05	9,38	7,92	9,22	9,98	9,91	7,39	9,39	
SrO	0,22	0,22	0,24		0,10	0,43	0,60	0,00	0,03	0,50	0,09	0,60	0,00	0,03	0,50	0,09	0,16	0,19	0,20	0,19	0,17	0,15	0,17	0,23	0,14	
BaO		0,07	0,10	0,03	0,13	0,08	0,10	0,03	0,05	0,22	0,08	0,10	0,03	0,05	0,22	0,08	0,11	0,13	0,09	0,09	0,09	0,06	0,09	0,04	0,06	
Total	100,88	100,39	101,00	100,79	100,19	99,76	100,73	100,55	100,13	99,72	100,55	100,69	100,51	100,10	99,71	100,53	101,39	100,96	100,96	100,49	100,54	101,19	101,26	100,92	100,75	
Número de cátions calculado na base de 32 oxigênios.																										
Si	2,974	2,971	2,978	11,986	11,787	10,997	10,954	12,001	11,989	11,003	11,945	2,746	3,002	2,999	2,756	2,989	11,894	11,777	11,846	11,779	11,789	11,845	11,884	11,701	11,874	
Al	1,030	1,032	1,026	4,012	4,185	4,982	5,004	3,983	3,977	4,997	4,035	1,254	0,997	0,995	1,252	1,010	4,084	4,203	4,148	4,217	4,193	4,141	4,119	4,275	4,103	
Ti	0,000	0,001	0,000	0,001	0,020	0,020	0,009	0,002	0,012	0,005	0,010	0,002	0,000	0,003	0,001	0,003	0,005	0,021	0,000	0,009	0,005	0,014	0,007	0,030	0,022	
Fe ³⁺	0,005	0,006	0,005	0,028	0,028	0,025	0,057	0,046	0,040	0,023	0,031	0,014	0,011	0,010	0,006	0,008	0,027	0,027	0,022	0,022	0,025	0,020	0,019	0,030	0,022	
Mn				0,001	0,000	0,000	0,005	0,000	0,001	0,000	0,003						0,002	0,000	0,000	0,000	0,003	0,003	0,003	0,001	0,000	
Mg				0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,003						0,000	0,003	0,003	0,001	0,005	0,000	0,001	0,002	0,005	
Ca	0,017	0,021	0,013	0,022	0,167	0,932	0,926	0,011	0,019	0,900	0,034	0,232	0,003	0,005	0,225	0,008	0,065	0,130	0,107	0,170	0,140	0,077	0,074	0,204	0,082	
Na	0,462	0,515	0,470	1,883	2,568	2,853	2,817	1,711	1,890	2,837	1,656	0,706	0,428	0,473	0,711	0,414	1,541	1,728	1,689	1,930	1,708	1,601	1,560	2,013	1,681	
K	0,509	0,441	0,501	1,997	1,194	0,098	0,147	2,163	2,001	0,136	2,216	0,037	0,541	0,501	0,034	0,554	2,347	2,070	2,145	1,812	2,119	2,281	2,261	1,682	2,150	
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,044	0,061	0,000	0,003	0,052	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,017	0,019	0,021	0,019	0,018	0,016	0,017	0,023	0,015	
Ba	0,000	0,001	0,002	0,002	0,009	0,005	0,007	0,002	0,003	0,015	0,005	0,002	0,000	0,001	0,004	0,001	0,008	0,009	0,006	0,006	0,006	0,004	0,007	0,003	0,004	
Total	4,997	4,989	4,995	19,933	19,968	19,956	19,988	19,920	19,936	19,968	19,947	4,996	4,983	4,987	4,989	4,988	19,990	19,986	19,987	19,964	20,011	20,002	19,951	19,964	19,957	
An	46,76	52,66	47,77	0,55	4,26	24,01	23,81	0,27	0,49	23,23	0,86	72,41	44,05	48,34	73,26	42,40	1,63	3,31	2,71	4,36	3,52	1,94	1,90	5,23	2,09	
Ab	1,71	2,16	1,31	48,26	65,36	73,46	72,41	44,05	48,34	73,26	42,40	23,81	0,27	0,49	23,23	0,86	38,98	43,99	42,86	49,33	43,06	40,45	40,06	51,63	42,96	
Or	51,53	45,18	50,92	51,19	30,38	2,52	3,78	55,67	51,17	3,51	56,74	3,78	55,67	51,17	3,51	56,74	59,38	52,70	54,43	46,31	53,42	57,61	58,04	43,13	54,95	
Albite Activity																										
800 °C	0,91	0,91	0,93									-	0,95	0,95	-	0,93										
900 °C	0,86	0,87	0,87									-	0,89	0,89	-	0,87										
Anortite Activity																										
800 °C	-	-	-									0,33	-	-	0,32	-										
900 °C	-	-	-									0,30	-	-	0,30	-										

¹ - n, núcleo; b, borda; <, incluso em; ints, intersticial; fen, fenocristal; idio, idiomórfico; lam, lamela de exsolução;

TÜ - análises realizadas na Universidade de Tübingen

ANEXO E - Tabela E.1 - Composição química de feldspatos de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade BtHblP													HblP								arpk-QzS				
Amostra MAI102													MAI107								MAI108II				
Cristal	63	64	65	65	66	67	67	68	69	70	71	72	1	5	9	12R	13	14	16R	17	22	73	73	74	74
Textura ¹	kfl idio	kfl	pl fen n	pl fen b	kfl fen	pl fen n	pl fen b	kfl fen	kfl idio	kfl idio	pl ints	pl ints	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	kfl lam	kfl lam	kfl lam	kfl lam
SiO ₂	66,22	66,16	54,83	56,24	65,10	55,28	60,61	65,72	66,09	65,95	62,88	63,48	65,03	64,57	64,88	64,46	64,93	64,79	65,52	64,99	64,47	67,24	65,97	65,75	66,24
Al ₂ O ₃	19,46	19,50	28,20	27,71	20,53	27,98	24,58	19,49	19,63	19,49	22,89	22,60	19,67	19,75	19,44	19,65	19,41	19,67	20,09	19,14	19,35	20,68	18,97	18,59	20,71
TiO ₂		0,12	0,13	0,01	0,08	0,10	0,04	0,07	0,04	0,05	0,04	0,07	0,06	0,06			0,07	0,12		0,05	0,08	0,01			0,04
Fe ₂ O ₃	0,16	0,18	0,31	0,23	0,18	0,34	0,23	0,18	0,12	0,16	0,28	0,20	0,23	0,18	0,19	0,07	0,18	0,26	0,25	0,20	0,23	0,17	0,10	0,14	0,18
MnO	0,00	0,01	0,00	0,00		0,03	0,02	0,01	0,01			0,00													
MgO		0,00	0,01		0,00	0,00	0,00		0,01	0,01	0,01												0,01	0,00	
CaO	0,51	0,54	9,70	8,98	1,26	9,54	5,78	0,56	0,45	0,48	3,99	3,70	0,66	0,85	0,67	0,69	0,50	0,83	0,96	0,62	0,55	1,30	0,11	0,03	1,50
Na ₂ O	4,80	4,83	5,33	5,78	6,09	5,46	7,72	4,71	4,67	4,81	8,24	8,20	5,65	5,98	5,56	5,06	5,43	5,94	9,23	5,51	5,40	9,46	1,77	0,86	8,81
K ₂ O	9,36	9,06	0,34	0,46	6,79	0,38	0,71	9,50	9,74	9,54	1,43	1,78	8,43	7,76	8,54	9,16	9,02	8,07	2,64	8,55	8,88	2,10	13,98	15,46	2,86
SrO	0,15	0,23	0,88	0,71	0,42	0,71	0,29	0,19	0,17	0,13	0,20	0,22	0,12	0,07	0,07	0,07	0,08	0,02	0,06	0,08	0,05	0,08	0,10	0,07	0,11
BaO	0,05	0,04	0,07	0,03	0,21	0,09		0,04	0,10	0,06	0,00				0,01	0,02	0,02		0,01		0,01	0,12			0,11
Total	100,70	100,66	99,79	100,14	100,67	99,91	99,99	100,46	101,03	100,67	99,96	100,25	99,84	99,23	99,39	99,18	99,66	99,70	98,77	99,14	99,02	101,05	101,14	100,90	100,56
Número de cátions calculado na base de 32 oxigênios.																									
Si	11,885	11,869	9,948	10,129	11,655	10,006	10,816	11,844	11,850	11,857	11,185	11,259	2,945	2,936	2,951	2,943	2,951	2,936	2,938	2,962	2,948	11,745	11,963	12,003	11,683
Al	4,116	4,123	6,030	5,882	4,332	5,969	5,170	4,140	4,148	4,130	4,799	4,724	1,050	1,058	1,042	1,058	1,040	1,050	1,061	1,028	1,043	4,257	4,054	4,000	4,305
Ti	0,000	0,016	0,018	0,001	0,011	0,014	0,005	0,009	0,006	0,006	0,005	0,009	0,002	0,002	0,000	0,000	0,003	0,004	0,000	0,002	0,003	0,001	0,000	0,000	0,005
Fe ³⁺	0,021	0,024	0,042	0,031	0,024	0,046	0,031	0,025	0,016	0,022	0,037	0,027	0,009	0,007	0,007	0,003	0,007	0,010	0,009	0,008	0,009	0,023	0,014	0,019	0,024
Mn	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,004	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000									0,000	0,000	0,000	0,000	
Mg	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,003	0,003	0,002	0,000									0,000	0,003	0,001	0,000	
Ca	0,097	0,103	1,886	1,733	0,242	1,850	1,105	0,107	0,086	0,092	0,760	0,703	0,032	0,042	0,033	0,034	0,024	0,040	0,046	0,030	0,027	0,242	0,022	0,006	0,283
Na	1,670	1,680	1,875	2,018	2,114	1,916	2,671	1,646	1,624	1,677	2,842	2,820	0,496	0,527	0,490	0,448	0,479	0,522	0,803	0,487	0,479	3,204	0,622	0,304	3,013
K	2,143	2,073	0,079	0,105	1,551	0,087	0,162	2,184	2,228	2,188	0,324	0,403	0,487	0,450	0,496	0,534	0,523	0,466	0,151	0,497	0,518	0,468	3,234	3,600	0,643
Sr	0,016	0,024	0,092	0,074	0,044	0,074	0,030	0,020	0,018	0,013	0,021	0,023	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,011	0,007	0,012
Ba	0,003	0,003	0,005	0,002	0,015	0,007	0,000	0,003	0,007	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,008	0,000	0,007
Total	19,953	19,918	19,976	19,975	19,988	19,974	19,995	19,979	19,987	19,993	19,975	19,968	5,020	5,022	5,021	5,019	5,027	5,029	5,009	5,014	5,026	19,950	19,931	19,940	19,976
An	2,49	2,68	49,12	44,93	6,19	48,01	28,06	2,72	2,18	2,34	19,37	17,91	48,88	51,74	48,15	44,14	46,65	50,73	80,28	48,01	46,77	6,19	0,55	0,15	7,19
Ab	42,71	43,56	48,84	52,34	54,12	49,72	67,82	41,80	41,23	42,37	72,37	71,83	3,14	4,08	3,19	3,30	2,36	3,92	4,62	2,96	2,63	81,85	16,05	7,77	76,47
Or	54,80	53,76	2,05	2,73	39,70	2,26	4,12	55,47	56,58	55,29	8,26	10,26	47,98	44,18	48,66	52,56	50,99	45,35	15,11	49,02	50,60	11,95	83,40	92,08	16,33
Albite Activity																									
800 °C													0,88	0,87	0,88	0,87	0,90	0,87	0,87	0,89	0,89				
900 °C													0,84	0,83	0,84	0,82	0,85	0,83	0,86	0,84	0,85				
Anortite Activity																									
800 °C													-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
900 °C													-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

¹ - n, núcleo; b, borda; <, incluso em; ints, intersticial; fen, fenocristal; idio, idiomórfico; lam, lamela de exsolução;

TÜ - análises realizadas na Universidade de Tübingen

ANEXO E - Tabela E.1 - Composição química de feldspatos de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade arpk-Q25																									QzAFS-I
Amostra MAI108II																									MAI110
Cristal	75	76	76	77	77	78	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	5	6	10	17	19	84	84
Textura ¹	pl<kfl	pl<kfl n	pl<kfl b	kfl>pl lam	kfl>pl lam	pl<kfl n	pl<kfl nb	pl<kfl b	kfl>pl lam	kfl>pl lam	kfl<pl lam	kfl<pl lam	pl<kfl	pl<kfl	pl<kfl n	pl<kfl b	kfl>pl lam	kfl>pl lam	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	fen n1	fen n2
SiO ₂	60,62	62,62	61,46	67,11	65,01	60,73	60,82	65,95	65,09	66,82	65,60	66,65	61,72	66,13	60,68	61,62	68,84	65,83	60,62	62,62	60,73	61,72	60,68	65,01	66,35
Al ₂ O ₃	25,27	23,88	24,79	21,30	19,18	24,85	24,95	21,43	18,79	21,12	18,77	21,33	24,75	21,84	25,11	24,63	20,35	18,65	25,27	23,88	24,85	24,75	25,11	19,97	18,99
TiO ₂		0,05	0,01		0,02		0,05	0,06		0,05			0,01	0,05	0,07	0,02	0,01	0,02		0,05		0,01	0,07	0,16	0,13
Fe ₂ O ₃	0,16	0,24	0,18	0,13	0,12	0,30	0,27	0,26	0,13	0,27	0,17	0,19	0,24	0,26	0,28	0,16	0,04	0,11	0,14	0,22	0,27	0,22	0,25	0,22	0,29
MnO	0,01		0,00		0,00	0,00	0,00		0,01					0,02	0,00	0,01	0,01	0,01							0,00
MgO		0,01		0,03	0,01	0,00	0,01		0,00					0,01	0,01										
CaO	6,31	4,74	5,74	1,80	0,05	6,01	5,99	2,28	0,03	1,21	0,06	2,06	5,81	2,51	6,25	5,40	0,61	0,07	6,31	4,74	6,01	5,81	6,25	0,97	0,31
Na ₂ O	7,69	8,40	7,80	10,23	0,60	7,55	7,64	10,01	0,80	10,52	0,66	10,23	7,90	9,66	7,43	8,08	10,99	0,93	7,69	8,40	7,55	7,90	7,43	6,20	6,12
K ₂ O	0,27	0,34	0,35	0,32	15,56	0,46	0,36	0,41	15,56	0,42	15,69	0,23	0,26	0,38	0,46	0,28	0,19	15,35	0,27	0,34	0,46	0,26	0,46	6,34	7,52
SrO	0,24	0,19	0,29	0,14	0,17	0,44	0,49	0,17	0,15	0,11	0,17	0,19	0,26	0,16	0,38	0,37	0,08	0,10	0,24	0,19	0,44	0,26	0,38	0,28	
BaO	0,20	0,00	0,15	0,02	0,31	0,18	0,07	0,05	0,30	0,02	0,37		0,15	0,03	0,16	0,16		0,06	0,20	0,00	0,18	0,15	0,16	0,44	0,06
Total	100,76	100,48	100,77	101,09	101,03	100,52	100,66	100,62	100,86	100,54	101,49	100,88	101,11	101,06	100,83	100,73	101,12	101,12	100,75	100,45	100,49	101,09	100,80	99,59	99,77
Número de cátions calculado na base de 32 oxigênios.																									
Si	10,735	11,049	10,858	11,658	11,895	10,790	10,781	11,551	11,937	11,672	11,959	11,616	10,867	11,521	10,748	10,890	11,895	11,994	2,687	2,765	2,703	2,720	2,692	11,737	11,937
Al	5,274	4,966	5,162	4,361	4,136	5,203	5,213	4,424	4,061	4,348	4,033	4,381	5,136	4,484	5,242	5,130	4,144	4,005	1,320	1,243	1,304	1,286	1,313	4,249	4,026
Ti	0,000	0,006	0,002	0,000	0,003	0,000	0,007	0,008	0,000	0,007	0,000	0,000	0,001	0,006	0,009	0,002	0,001	0,003	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,021	0,017
Fe ³⁺	0,021	0,032	0,024	0,017	0,016	0,040	0,036	0,034	0,018	0,036	0,023	0,025	0,032	0,034	0,037	0,021	0,006	0,015	0,005	0,008	0,010	0,008	0,009	0,030	0,039
Mn	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,001	0,001						0,000	0,000
Mg	0,000	0,002	0,000	0,009	0,002	0,001	0,003	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,004	0,000	0,000	0,000						0,000	0,000
Ca	1,197	0,896	1,086	0,335	0,010	1,144	1,138	0,428	0,007	0,226	0,012	0,385	1,096	0,469	1,186	1,022	0,113	0,013	0,300	0,224	0,287	0,274	0,297	0,188	0,059
Na	2,640	2,874	2,672	3,445	0,213	2,601	2,626	3,399	0,284	3,563	0,234	3,457	2,697	3,263	2,552	2,769	3,682	0,327	0,661	0,719	0,652	0,675	0,639	2,170	2,135
K	0,061	0,077	0,079	0,071	3,632	0,104	0,082	0,092	3,640	0,093	3,649	0,051	0,059	0,085	0,104	0,063	0,043	3,568	0,015	0,019	0,026	0,015	0,026	1,460	1,726
Sr	0,024	0,020	0,030	0,014	0,018	0,046	0,050	0,017	0,016	0,011	0,018	0,019	0,027	0,017	0,039	0,038	0,008	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,030	0,000
Ba	0,014	0,000	0,010	0,001	0,023	0,012	0,005	0,004	0,021	0,001	0,026	0,000	0,011	0,002	0,011	0,011	0,000	0,004	0,003	0,000	0,003	0,003	0,003	0,031	0,004
Total	19,968	19,922	19,923	19,912	19,948	19,941	19,941	19,957	19,986	19,957	19,954	19,934	19,926	19,887	19,931	19,948	19,892	19,941	4,991	4,981	4,984	4,981	4,982	19,917	19,944
An	30,71	23,30	28,32	8,70	0,26	29,73	29,59	10,92	0,17	5,82	0,32	9,88	28,45	12,28	30,88	26,53	2,94	0,33	67,72	74,71	67,58	70,01	66,43	4,93	1,52
Ab	67,72	74,71	69,63	89,46	5,52	67,58	68,29	86,74	7,23	91,79	6,00	88,81	70,01	85,50	66,43	71,84	95,95	8,36	30,71	23,30	29,73	28,45	30,88	56,83	54,46
Or	1,57	2,00	2,05	1,85	94,22	2,70	2,13	2,34	92,59	2,39	93,68	1,31	1,53	2,23	2,70	1,63	1,11	91,31	1,57	2,00	2,70	1,53	2,70	38,24	44,03
Albite Activity																									
800 °C																			-	-	-	-	-		
900 °C																			-	-	-	-	-		
Anortite Activity																									
800 °C																			0,42	0,32	0,41	0,39	0,42		
900 °C																			0,39	0,30	0,38	0,37	0,39		

¹ - n, núcleo; b, borda; <, incluso em; ints, intersticial; fen, fenocristal; idio, idiomórfico; lam, lamela de exsolução;

TÜ - análises realizadas na Universidade de Tübingen

ANEXO E - Tabela E.1 - Composição química de feldspatos de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade QzAFS-I														BtHbIP											
Amostra MAI110														MAI114											
Cristal	85	85	86	87	88	88	89	89	4	10	14	16	20	90	90	90	91	92	92	93	93	94	94	95	95
Textura ¹	fen n	fen b	fen	ab/cav	kfl n	kfl b	kfl n	kfl b	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	pl<kfl n	pl<kfl nb	pl<kfl b	kfl	kfl n	kfl b	kfl n	kfl b	pl n	pl b	kfl n	kfl b
SiO ₂	66,64	66,99	66,81	69,87	66,86	67,21	67,14	67,06	65,01	66,64	66,81	66,86	67,14	57,89	59,12	61,47	65,42	65,64	65,90	65,49	66,83	62,43	62,00	65,84	62,42
Al ₂ O ₃	19,01	18,29	19,01	20,00	18,75	18,30	18,90	18,43	19,97	19,01	19,01	18,75	18,90	26,41	25,27	23,99	19,83	19,40	19,90	19,14	19,95	23,68	23,58	19,53	23,48
TiO ₂	0,05		0,05	0,05		0,01	0,02	0,03	0,16	0,05	0,05		0,02	0,07	0,05	0,15	0,12	0,01	0,05	0,04	0,08			0,03	0,05
Fe ₂ O ₃	0,30	0,63	0,31	0,05	0,31	0,65	0,36	0,72	0,20	0,27	0,27	0,28	0,33	0,20	0,17	0,18	0,13	0,16	0,16	0,18	0,17	0,18	0,26	0,10	0,22
MnO			0,00		0,02		0,01							0,01	0,01			0,01	0,01		0,01				
MgO		0,02	0,00	0,00	0,01		0,00	0,01						0,00	0,00	0,00	0,00		0,03		0,01	0,02	0,01	0,00	
CaO	0,13	0,01	0,35	0,16	0,05	0,02	0,08	0,00	0,97	0,13	0,35	0,05	0,08	7,50	6,40	5,14	0,82	0,45	0,85	0,38	0,60	4,73	4,90	0,44	4,68
Na ₂ O	6,51	5,85	6,23	11,08	6,31	6,24	6,38	6,14	6,20	6,51	6,23	6,31	6,38	6,58	7,20	7,99	5,37	4,80	5,29	4,57	4,85	8,28	8,02	4,81	8,26
K ₂ O	7,20	8,16	7,37	0,12	7,37	7,59	7,48	7,78	6,34	7,20	7,37	7,37	7,48	0,44	0,60	0,66	8,11	9,20	8,31	9,97	8,65	0,82	0,74	9,42	0,78
SrO	0,02		0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,04	0,28	0,02	0,01	0,02	0,03	0,86	0,80	0,34	0,22	0,17	0,20	0,17	0,16	0,23	0,18	0,22	0,17
BaO	0,03			0,06				0,03	0,44	0,03				0,05	0,13	0,06	0,02	0,04	0,14	0,07	0,03			0,19	0,04
Total	99,90	99,94	100,14	101,40	99,71	100,03	100,41	100,25	99,57	99,87	100,11	99,68	100,37	100,03	99,75	99,99	100,06	99,88	100,84	100,00	101,34	100,37	99,70	100,58	100,08
Número de cátions calculado na base de 32 oxigênios.																									
Si	11,955	12,048	11,959	12,004	12,010	12,053	11,989	12,020	2,938	2,991	2,992	3,005	3,000	10,405	10,633	10,948	11,785	11,874	11,794	11,881	11,866	11,055	11,046	11,855	11,079
Al	4,019	3,877	4,010	4,050	3,969	3,868	3,978	3,893	1,064	1,006	1,003	0,993	0,995	5,594	5,356	5,036	4,210	4,136	4,198	4,092	4,175	4,942	4,951	4,145	4,912
Ti	0,007	0,000	0,007	0,007	0,000	0,002	0,003	0,004	0,005	0,002	0,002	0,000	0,001	0,010	0,007	0,020	0,016	0,001	0,006	0,005	0,010	0,000	0,000	0,004	0,006
Fe ³⁺	0,041	0,085	0,041	0,006	0,043	0,088	0,049	0,098	0,007	0,010	0,010	0,011	0,012	0,027	0,023	0,024	0,018	0,022	0,022	0,024	0,023	0,024	0,035	0,013	0,029
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,000						0,002	0,002	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,005	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,002						0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,001	0,006	0,004	0,001	0,000
Ca	0,026	0,001	0,066	0,030	0,010	0,004	0,015	0,000	0,047	0,006	0,017	0,003	0,004	1,444	1,233	0,981	0,159	0,087	0,162	0,074	0,114	0,897	0,935	0,085	0,890
Na	2,264	2,040	2,162	3,691	2,198	2,170	2,209	2,134	0,543	0,566	0,541	0,550	0,553	2,293	2,511	2,759	1,876	1,684	1,836	1,607	1,670	2,843	2,770	1,679	2,843
K	1,648	1,872	1,683	0,026	1,689	1,736	1,704	1,779	0,366	0,412	0,421	0,423	0,426	0,101	0,138	0,150	1,864	2,123	1,897	2,307	1,959	0,184	0,168	2,164	0,176
Sr	0,002	0,000	0,001	0,001	0,002	0,001	0,003	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,090	0,083	0,035	0,023	0,018	0,021	0,018	0,017	0,024	0,019	0,023	0,017
Ba	0,002	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,002	0,008	0,001	0,000	0,000	0,000	0,004	0,009	0,004	0,002	0,003	0,010	0,005	0,002	0,000	0,000	0,013	0,003
Total	19,964	19,927	19,930	19,819	19,927	19,921	19,951	19,936	4,979	4,994	4,986	4,985	4,991	19,971	19,995	19,957	19,954	19,949	19,956	20,013	19,839	19,976	19,930	19,983	19,954
An	0,65	0,03	1,69	0,79	0,27	0,10	0,39	0,01	56,83	57,50	55,28	56,39	56,23	37,63	31,77	25,22	4,08	2,23	4,16	1,85	3,05	22,87	24,14	2,15	22,77
Ab	57,51	52,13	55,28	98,51	56,39	55,49	56,23	54,53	4,93	0,65	1,69	0,27	0,39	59,75	64,68	70,93	48,11	43,24	47,13	40,30	44,61	72,44	71,51	42,76	72,73
Or	41,85	47,84	43,03	0,70	43,34	44,41	43,37	45,46	38,24	41,85	43,03	43,34	43,38	2,62	3,56	3,85	47,81	54,53	48,71	57,85	52,34	4,69	4,35	55,09	4,50
Albite Activity																									
800 °C									0,85	0,94	0,92	0,95	0,94												
900 °C									0,82	0,90	0,88	0,90	0,90												
Anortite Activity																									
800 °C									-	-	-	-	-												
900 °C									-	-	-	-	-												

¹ - n, núcleo; b, borda; <, incluso em; ints, intersticial; fen, fenocristal; idio, idiomórfico; lam, lamela de exsolução;

TÜ - análises realizadas na Universidade de Tübingen

ANEXO E - Tabela E.1 - Composição química de feldspatos de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade BtHblP																	N-II										
Amostra MAI114																	MAI136										
Cristal	96	97	97	97	97	98	99	99	1	5R	6	7	10	14	17	21	29	100	101	102	103	104	105	106	107		
Textura ¹	pl<kfl	pl<kfl n	pl<kfl nb	pl<kfl b	pl<kfl b	kfl	kfl n	kfl b	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	ab b	kfl n	kfl	ab b	kfl	kfl	ab b	kfl		
SiO ₂	65,94	56,66	56,81	58,00	61,54	65,92	66,60	66,02	57,89	66,09	65,42	65,64	65,49	65,84	56,66	65,92	66,60	68,74	65,63	65,69	67,56	65,79	66,14	68,29	66,33		
Al ₂ O ₃	19,69	27,36	27,37	26,43	23,91	19,31	19,36	19,25	26,41	19,93	19,83	19,40	19,14	19,53	27,36	19,31	19,36	19,55	19,47	19,54	18,96	19,32	19,36	19,40	20,03		
TiO ₂	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06		0,04	0,02	0,07		0,12	0,01	0,04	0,03	0,08		0,04		0,10	0,02	0,01	0,06	0,04		0,16		
Fe ₂ O ₃	0,15	0,16	0,15	0,20	0,20	0,16	0,22	0,14	0,18	0,03	0,12	0,15	0,16	0,09	0,15	0,14	0,19	0,12	0,34	0,33	0,28	0,33	0,34	0,09	0,39		
MnO	0,01		0,02	0,02	0,00		0,03											0,01			0,01	0,01	0,02	0,00	0,00		
MgO	0,00	0,01				0,01														0,00		0,01		0,00			
CaO	0,49	8,43	8,59	7,79	5,14	0,38	0,23	0,24	7,50	0,57	0,82	0,45	0,38	0,44	8,43	0,38	0,23	0,06	0,73	0,76	0,11	0,66	0,69	0,09	0,90		
Na ₂ O	5,02	6,00	6,06	6,50	8,00	4,56	4,37	4,24	6,58	6,31	5,37	4,80	4,57	4,81	6,00	4,56	4,37	11,09	5,83	5,95	11,60	5,82	6,09	11,21	7,22		
K ₂ O	8,82	0,36	0,34	0,37	0,69	9,76	10,43	10,45	0,44	6,77	8,11	9,20	9,97	9,42	0,36	9,76	10,43	0,20	7,32	7,25	0,14	7,79	7,26	0,24	5,39		
SrO	0,18	1,11	0,84	0,47	0,26	0,13	0,08	0,09	0,86	0,26	0,22	0,17	0,17	0,22	1,11	0,13	0,08		0,07	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03	0,02		
BaO	0,10	0,02	0,04		0,08	0,03	0,05	0,05	0,05	0,03	0,02	0,04	0,07	0,19	0,02	0,03	0,05	0,04	0,01		0,04	0,02	0,06	0,10	0,05		
Total	100,51	100,18	100,30	99,85	99,88	100,26	101,41	100,49	100,01	99,97	100,04	99,86	99,98	100,57	100,17	100,24	101,39	99,80	99,51	99,56	98,73	99,83	100,03	99,45	100,51		
Número de cátions calculado na base de 32 oxigênios.																											
Si	11,842	10,201	10,207	10,414	10,968	11,897	11,909	11,912	2,610	2,962	2,949	2,971	2,973	2,967	2,560	2,977	2,979	12,011	11,840	11,840	11,980	11,857	11,872	11,997	11,779		
Al	4,168	5,806	5,796	5,593	5,022	4,107	4,080	4,093	1,403	1,053	1,054	1,035	1,024	1,037	1,457	1,028	1,021	4,026	4,140	4,151	3,962	4,104	4,096	4,017	4,192		
Ti	0,013	0,011	0,009	0,008	0,007	0,000	0,006	0,002	0,002	0,000	0,004	0,000	0,001	0,001	0,003	0,000	0,001	0,000	0,014	0,003	0,002	0,009	0,005	0,000	0,022		
Fe ³⁺	0,021	0,022	0,021	0,027	0,027	0,021	0,029	0,019	0,007	0,001	0,005	0,006	0,006	0,003	0,006	0,005	0,007	0,016	0,046	0,044	0,038	0,045	0,046	0,012	0,052		
Mn	0,002	0,000	0,002	0,003	0,000	0,000	0,004	0,000										0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001		
Mg	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000										0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000		
Ca	0,095	1,626	1,654	1,499	0,982	0,074	0,044	0,046	0,362	0,027	0,040	0,022	0,018	0,021	0,408	0,018	0,011	0,011	0,142	0,147	0,021	0,128	0,133	0,017	0,172		
Na	1,748	2,094	2,111	2,263	2,764	1,596	1,515	1,483	0,575	0,548	0,469	0,421	0,402	0,420	0,526	0,399	0,379	3,757	2,039	2,079	3,988	2,034	2,119	3,818	2,486		
K	2,021	0,082	0,079	0,086	0,157	2,247	2,379	2,405	0,025	0,387	0,466	0,531	0,577	0,541	0,021	0,562	0,595	0,044	1,685	1,667	0,031	1,791	1,662	0,053	1,221		
Sr	0,019	0,116	0,088	0,049	0,027	0,014	0,008	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,002	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003		
Ba	0,007	0,001	0,003	0,000	0,006	0,002	0,004	0,003	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,003	0,000	0,000	0,001	0,003	0,001	0,000	0,003	0,001	0,004	0,007	0,004		
Total	19,935	19,962	19,970	19,942	19,961	19,960	19,978	19,974	4,986	4,979	4,988	4,987	5,004	4,995	4,981	4,990	4,996	19,868	19,914	19,933	20,028	19,973	19,943	19,925	19,931		
An	2,46	42,77	43,02	38,95	25,15	1,88	1,12	1,16	59,75	56,94	48,11	43,24	40,30	42,75	55,08	40,74	38,47	0,29	3,67	3,77	0,53	3,23	3,39	0,44	4,43		
Ab	45,24	55,08	54,93	58,82	70,83	40,74	38,47	37,70	37,63	2,85	4,08	2,23	1,85	2,15	42,77	1,88	1,12	98,57	52,75	53,41	98,72	51,46	54,14	98,19	64,09		
Or	52,30	2,15	2,05	2,23	4,03	57,37	60,41	61,14	2,62	40,21	47,81	54,53	57,85	55,09	2,15	57,38	60,41	1,14	43,58	42,82	0,76	45,31	42,47	1,37	31,48		
Albite Activity																											
800 °C									-	0,89	0,86	0,90	0,90	0,90	-	0,90	0,91										
900 °C									-	0,86	0,82	0,84	0,84	0,84	-	0,84	0,84										
Anortite Activity																											
800 °C									0,51	-	-	-	-	-	0,58	-	-										
900 °C									0,48	-	-	-	-	-	0,54	-	-										

¹ - n, núcleo; b, borda; <, incluso em; ints, intersticial; fen, fenocristal; idio, idiomórfico; lam, lamela de exsolução;

TÜ - análises realizadas na Universidade de Tübingen

ANEXO E - Tabela E.1 - Composição química de feldspatos de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade N-II			HbIP																			NeS-II			
Amostra MAI136			MAI160																			MAI166I			
Cristal	108	109	110	110	110	110	110	111	111	112	113	113	114	115	3	8R	10	17	25	32	35	37R	116	117	118
Textura ¹	kfl	kfl	kfl n1	kfl n2	kfl n3	kfl lam n4	kfl b	kfl n	kfl b	kfl	kfl n	kfl b	kfl n	kfl b	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	ab	kfl n	kfl n
SiO ₂	66,25	66,37	64,88	65,47	64,59	64,84	64,34	66,27	66,72	66,19	66,30	66,19	66,18	66,18	64,88	66,01	66,27	66,19	66,30	66,18	66,18	65,87	68,66	66,61	66,99
Al ₂ O ₃	19,83	19,61	22,15	21,97	22,42	18,81	18,96	19,96	19,73	19,77	19,97	19,47	19,78	19,90	22,15	19,58	19,96	19,77	19,97	19,78	19,90	20,30	20,38	19,34	19,50
TiO ₂	0,15	0,11		0,04	0,05			0,03	0,02	0,08	0,02		0,02	0,00			0,03	0,08	0,02	0,02	0,00		0,02	0,07	
Fe ₂ O ₃	0,31	0,32	0,10	0,09	0,12	0,01	0,05	0,12	0,16	0,10	0,15	0,10	0,13	0,14	0,09	0,03	0,11	0,09	0,14	0,11	0,13	0,12	0,02	0,15	0,20
MnO		0,00	0,00	0,01			0,01		0,01	0,00		0,00	0,00	0,02								0,03		0,01	
MgO	0,03		0,00	0,01		0,00				0,01		0,01		0,00											
CaO	0,86	0,61	2,74	2,53	3,08	0,02	0,02	0,58	0,39	0,45	0,50	0,39	0,35	0,51	2,74	0,39	0,58	0,45	0,50	0,35	0,51	0,94	0,15	0,20	0,32
Na ₂ O	7,03	6,28	9,38	9,67	9,45	1,18	0,43	6,36	5,40	5,44	6,27	4,98	5,67	5,72	9,38	5,75	6,36	5,44	6,27	5,67	5,72	5,40	11,43	6,42	7,02
K ₂ O	5,91	6,96	0,61	0,51	0,53	14,89	15,75	7,09	8,57	8,43	7,05	9,17	8,05	7,96	0,61	7,96	7,09	8,43	7,05	8,05	7,96	7,93	0,12	7,54	6,52
SrO	0,03	0,04	0,38	0,33	0,36	0,22	0,24	0,36	0,30	0,31	0,39	0,27	0,29	0,35	0,38	0,28	0,36	0,31	0,39	0,29	0,35	0,31	0,10	0,10	0,05
BaO		0,08	0,10	0,08	0,03	0,32	0,32	0,26	0,12	0,24	0,39	0,03	0,15	0,27	0,10	0,17	0,26	0,24	0,39	0,15	0,27	0,18		0,04	0,09
Total	100,39	100,38	100,35	100,70	100,62	100,30	100,14	101,04	101,41	101,03	101,05	100,61	100,61	101,06	100,34	100,17	101,03	101,02	101,03	100,60	101,05	101,04	100,89	100,42	100,77
Número de cátions calculado na base de 32 oxigênios.																									
Si	11,798	11,853	11,425	11,474	11,354	11,934	11,899	11,805	11,870	11,833	11,813	11,887	11,849	11,817	2,860	2,970	2,955	2,962	2,958	2,966	2,959	2,942	11,891	11,912	11,898
Al	4,162	4,128	4,597	4,538	4,645	4,080	4,133	4,190	4,137	4,166	4,193	4,121	4,174	4,188	1,151	1,038	1,049	1,043	1,050	1,045	1,048	1,068	4,160	4,076	4,082
Ti	0,020	0,015	0,000	0,005	0,006	0,000	0,000	0,005	0,002	0,011	0,003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003	0,009
Fe ³⁺	0,042	0,043	0,014	0,012	0,015	0,001	0,007	0,017	0,022	0,014	0,021	0,013	0,017	0,019	0,003	0,001	0,004	0,003	0,005	0,004	0,005	0,004	0,002	0,021	0,027
Mn	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003								0,005	0,000	0,002	
Mg	0,007	0,000	0,001	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000	0,001								0,000	0,000	0,000	
Ca	0,164	0,117	0,517	0,475	0,580	0,003	0,004	0,111	0,074	0,087	0,096	0,075	0,067	0,098	0,129	0,019	0,028	0,022	0,024	0,017	0,025	0,045	0,027	0,039	0,062
Na	2,427	2,175	3,203	3,286	3,221	0,422	0,156	2,197	1,863	1,886	2,166	1,734	1,968	1,980	0,802	0,502	0,550	0,472	0,542	0,493	0,496	0,468	3,838	2,226	2,418
K	1,343	1,586	0,136	0,113	0,119	3,496	3,716	1,611	1,945	1,922	1,602	2,101	1,839	1,813	0,034	0,457	0,403	0,481	0,401	0,460	0,454	0,452	0,026	1,720	1,477
Sr	0,003	0,005	0,039	0,034	0,037	0,024	0,026	0,037	0,031	0,032	0,041	0,028	0,031	0,036	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,010	0,005
Ba	0,000	0,005	0,007	0,006	0,002	0,023	0,023	0,018	0,008	0,017	0,027	0,002	0,010	0,019	0,002	0,003	0,005	0,004	0,007	0,003	0,005	0,003	0,000	0,003	0,006
Total	19,965	19,926	19,939	19,945	19,979	19,985	19,966	19,991	19,953	19,970	19,962	19,964	19,957	19,976	4,982	4,990	4,996	4,991	4,988	4,988	4,992	4,983	19,960	20,010	19,986
An	4,16	3,02	13,41	12,26	14,80	0,09	0,10	2,84	1,91	2,23	2,49	1,91	1,72	2,53	83,05	51,33	56,05	48,41	56,05	50,81	50,88	48,49	0,70	0,97	1,56
Ab	61,71	56,08	83,05	84,82	82,17	10,77	4,02	56,05	47,98	48,41	56,05	44,35	50,81	50,88	13,41	1,90	2,84	2,23	2,49	1,72	2,53	4,66	98,63	55,86	61,10
Or	34,13	40,89	3,54	2,92	3,03	89,14	95,88	41,11	50,10	49,36	41,46	53,73	47,47	46,59	3,54	46,77	41,11	49,36	41,46	47,47	46,59	46,84	0,66	43,17	37,34
Albite Activity																									
800 °C															-	0,91	0,89	0,90	0,90	0,92	0,90	0,85			
900 °C															-	0,87	0,86	0,86	0,86	0,87	0,86	0,81			
Anortite Activity																									
800 °C															0,18	-	-	-	-	-	-	-			
900 °C															0,17	-	-	-	-	-	-	-			

¹ - n, núcleo; b, borda; <, incluso em; ints, intersticial; fen, fenocristal; idio, idiomórfico; lam, lamela de exsolução;

TÜ - análises realizadas na Universidade de Tübingen

Unidade NeS-II			BtM																									
Amostra	MAI166I		MAI182C																									
Cristal	11	14	119	120	121	121	122	123	123	124	125	126	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138			
Textura ¹	TÜ	TÜ	pl n	kfl	pl n	pl b	kfl	fen lam n	fen lam b	kfl	pl	pl lam n	pl n	kfl	kfl	kfl	kfl	kfl<bt	kfl	pl	pl lam n	pl n	kfl	kfl	pl			
SiO ₂	66,61	66,99	62,82	64,29	63,36	63,20	64,38	60,20	63,42	63,99	62,62	64,29	62,94	64,50	64,13	64,15	64,87	64,31	64,83	63,73	64,20	63,55	64,77	64,55	63,55			
Al ₂ O ₃	19,34	19,50	23,50	20,47	22,36	21,81	20,31	24,46	21,78	20,67	22,10	20,21	22,29	20,50	19,89	20,37	20,55	20,76	20,26	22,24	20,19	22,02	20,62	20,61	22,14			
TiO ₂	0,02	0,07	0,09	0,04	0,10	0,04	0,18	0,11	0,10	0,11	0,01	0,13	0,07	0,20	0,04	0,06	0,07	0,17	0,03	0,15	0,00	0,10	0,18	0,13	0,08			
Fe ₂ O ₃	0,14	0,18	0,31	0,17	0,21	0,17	0,15	0,25	0,25	0,16	0,24	0,24	0,26	0,19	0,21	0,22	0,21	0,18	0,13	0,21	0,13	0,21	0,20	0,16	0,25			
MnO			0,01		0,01				0,02	0,01	0,01	0,00		0,00	0,02		0,00						0,00	0,00				
MgO								0,00	0,01	0,06	0,02	0,01		0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,03	0,01	0,01	0,01		0,02	0,01			
CaO	0,20	0,32	4,49	1,48	3,08	3,02	1,34	5,66	2,73	1,54	3,27	1,09	3,49	1,40	1,03	1,43	1,42	1,68	1,17	3,04	1,15	3,04	1,46	1,50	3,25			
Na ₂ O	6,42	7,02	8,73	4,52	6,79	6,32	4,40	7,32	6,09	4,75	7,50	3,46	6,35	4,69	4,11	4,85	5,16	5,12	4,52	6,63	3,96	6,29	4,58	4,61	6,86			
K ₂ O	7,54	6,52	0,35	8,70	4,16	4,60	8,89	0,94	5,35	8,28	2,91	10,28	4,35	8,31	9,56	8,23	7,99	7,63	8,86	4,24	9,92	4,91	8,69	8,57	3,71			
SrO	0,10	0,05	0,32	0,40	0,41	0,42	0,36	0,30	0,45	0,36	0,37	0,43	0,37	0,40	0,38	0,38	0,45	0,41	0,39	0,38	0,38	0,41	0,41	0,40	0,36			
BaO	0,04	0,09	0,07	0,50	0,35	0,26	0,57	0,08	0,34	0,52	0,19	0,54	0,29	0,51	0,63	0,58	0,52	0,54	0,50	0,27	0,58	0,26	0,53	0,45	0,20			
Total	100,41	100,75	100,69	100,57	100,83	99,84	100,59	99,34	100,59	100,41	99,23	100,68	100,42	100,70	100,00	100,28	101,26	100,80	100,73	100,90	100,51	100,79	101,45	100,99	100,41			
Número de cátions calculado na base de 32 oxigênios.																												
Si	2,980	2,976	11,083	11,625	11,292	11,371	11,644	10,818	11,368	11,578	11,287	11,668	11,270	11,626	11,700	11,624	11,629	11,571	11,693	11,332	11,666	11,345	11,612	11,612	11,333			
Al	1,020	1,021	4,886	4,362	4,696	4,625	4,329	5,180	4,601	4,408	4,695	4,323	4,704	4,355	4,277	4,350	4,342	4,402	4,307	4,661	4,324	4,633	4,357	4,370	4,653			
Ti	0,001	0,002	0,011	0,006	0,013	0,006	0,025	0,015	0,014	0,015	0,001	0,018	0,010	0,027	0,005	0,008	0,010	0,023	0,005	0								

TÜ - análises realizadas na Universidade de Tübingen

ANEXO E - Tabela E.1 - Composição química de feldspatos de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade BtM																	BtAgtNeS								
Amostra MAI182C																	MAI199								
Cristal	1	2	3	7	8	13	14	17	19	21	22	23	24	25	30	31	139	139	140	140	141	141	142	143	144
Textura ¹	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	kfl lam	kfl lam	kfl lam	kfl lam	kfl n	kfl b	kfl	kfl	kfl n
SiO ₂	62,82	64,29	63,36	64,38	60,20	63,99	62,62	62,94	64,50	64,15	64,87	64,31	64,83	63,73	64,55	63,55	64,47	68,01	64,80	68,07	65,27	65,69	65,22	65,40	65,39
Al ₂ O ₃	23,50	20,47	22,36	20,31	24,46	20,67	22,10	22,29	20,50	20,37	20,55	20,76	20,26	22,24	20,61	22,14	18,18	19,11	18,54	19,25	18,27	18,48	18,48	18,73	18,73
TiO ₂	0,09	0,04	0,10	0,18	0,11	0,11	0,01	0,07	0,20	0,06	0,07	0,17	0,03	0,15	0,13	0,08	0,02	0,03	0,04		0,04	0,01	0,01		0,03
Fe ₂ O ₃	0,28	0,15	0,19	0,14	0,23	0,14	0,22	0,23	0,17	0,20	0,19	0,16	0,12	0,18	0,14	0,23	0,46	0,40	0,24	0,42	0,44	0,36	0,16	0,28	0,36
MnO																	0,02		0,00	0,01			0,00	0,00	0,01
MgO																	0,01		0,01	0,00	0,01		0,01	0,01	
CaO	4,49	1,48	3,08	1,34	5,66	1,54	3,27	3,49	1,40	1,43	1,42	1,68	1,17	3,04	1,50	3,25		0,02		0,06	0,01	0,02	0,02		0,01
Na ₂ O	8,73	4,52	6,79	4,40	7,32	4,75	7,50	6,35	4,69	4,85	5,16	5,12	4,52	6,63	4,61	6,86	1,81	11,08	1,54	11,22	2,40	3,16	3,61	2,38	3,35
K ₂ O	0,35	8,70	4,16	8,89	0,94	8,28	2,91	4,35	8,31	8,23	7,99	7,63	8,86	4,24	8,57	3,71	13,98	0,27	14,28	0,27	12,93	12,27	11,47	13,19	11,83
SrO	0,32	0,40	0,41	0,36	0,30	0,36	0,37	0,37	0,40	0,38	0,45	0,41	0,39	0,38	0,40	0,36	0,03	0,02	0,02		0,02	0,01	0,04		0,01
BaO	0,07	0,50	0,35	0,57	0,08	0,52	0,19	0,29	0,51	0,58	0,52	0,54	0,50	0,27	0,45	0,20		0,02		0,05	0,05	0,04	0,03	0,10	0,07
Total	100,66	100,56	100,81	100,57	99,31	100,40	99,21	100,40	100,68	100,26	101,24	100,78	100,71	100,88	100,98	100,39	98,99	98,97	99,47	99,35	99,45	100,03	99,03	100,09	99,78
Número de cátions calculado na base de 32 oxigênios.																									
Si	2,775	2,911	2,828	2,915	2,709	2,899	2,827	2,822	2,911	2,911	2,913	2,898	2,928	2,838	2,908	2,838	11,969	12,007	11,963	11,982	12,001	11,985	11,982	11,959	11,944
Al	1,224	1,092	1,176	1,084	1,297	1,104	1,176	1,178	1,091	1,089	1,087	1,102	1,078	1,167	1,094	1,165	3,978	3,976	4,034	3,994	3,959	3,974	4,002	4,037	4,032
Ti	0,003	0,001	0,003	0,006	0,004	0,004	0,000	0,002	0,007	0,002	0,002	0,006	0,001	0,005	0,004	0,003	0,003	0,004	0,005	0,000	0,006	0,001	0,001	0,000	0,005
Fe ³⁺	0,010	0,006	0,007	0,005	0,008	0,005	0,008	0,009	0,006	0,008	0,007	0,006	0,004	0,007	0,005	0,008	0,064	0,053	0,034	0,055	0,061	0,049	0,022	0,039	0,049
Mn																	0,003	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
Mg																	0,004	0,000	0,003	0,001	0,004	0,000	0,002	0,001	0,000
Ca	0,213	0,072	0,147	0,065	0,273	0,075	0,158	0,168	0,068	0,070	0,068	0,081	0,057	0,145	0,072	0,156	0,000	0,004	0,000	0,011	0,001	0,004	0,003	0,000	0,002
Na	0,748	0,397	0,588	0,386	0,639	0,417	0,656	0,552	0,410	0,427	0,449	0,447	0,396	0,572	0,403	0,594	0,652	3,793	0,551	3,829	0,856	1,118	1,286	0,844	1,186
K	0,020	0,503	0,237	0,514	0,054	0,479	0,168	0,249	0,479	0,476	0,458	0,439	0,510	0,241	0,493	0,211	3,311	0,061	3,363	0,062	3,033	2,856	2,688	3,077	2,757
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,002	0,002	0,000	0,002	0,001	0,004	0,000	0,001
Ba	0,001	0,009	0,006	0,010	0,001	0,009	0,003	0,005	0,009	0,010	0,009	0,010	0,009	0,005	0,008	0,004	0,000	0,002	0,000	0,004	0,004	0,003	0,002	0,007	0,005
Total	4,994	4,991	4,993	4,986	4,985	4,993	4,997	4,986	4,981	4,994	4,994	4,988	4,985	4,980	4,988	4,980	19,988	19,902	19,955	19,939	19,927	19,990	19,992	19,964	19,982
An	76,31	40,86	60,47	40,03	66,13	42,99	66,83	57,00	42,90	43,87	46,06	46,26	41,11	59,73	41,61	61,82	0,00	0,12	0,00	0,27	0,04	0,11	0,08	0,00	0,05
Ab	21,69	7,39	15,16	6,75	28,26	7,70	16,10	17,31	7,08	7,15	7,01	8,39	5,88	15,13	7,48	16,18	16,44	98,30	14,08	98,15	22,00	28,10	32,33	21,52	30,08
Or	2,00	51,75	24,38	53,22	5,61	49,31	17,06	25,69	50,02	48,98	46,93	45,36	53,02	25,13	50,90	22,00	83,56	1,58	85,92	1,58	77,97	71,79	67,59	78,48	69,88
Albite Activity																									
800 °C	-	0,78	-	0,79	-	0,78	-	-	0,79	0,79	0,80	0,78	0,81	-	0,78	-									
900 °C	-	0,74	-	0,74	-	0,74	-	-	0,75	0,75	0,76	0,74	0,76	-	0,74	-									
Anortite Activity																									
800 °C	0,30	-	0,20	-	0,39	-	0,21	0,23	-	-	-	-	-	0,20	-	0,21									
900 °C	0,28	-	0,19	-	0,36	-	0,20	0,21	-	-	-	-	-	0,19	-	0,20									

¹ - n, núcleo; b, borda; <, incluso em; ints, intersticial; fen, fenocristal; idio, idiomórfico; lam, lamela de exsolução;

TÜ - análises realizadas na Universidade de Tübingen

ANEXO E - Tabela E.1 - Composição química de feldspatos de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade BtAgTNeS								
Amostra MAI199								
Cristal	144	144	6R	10R	13R	16R	26-28	30R
Textura ¹	kfl n2	kfl n3	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ
SiO ₂	65,51	64,88	66,96	66,95	66,80	66,97	65,26	66,48
Al ₂ O ₃	18,43	18,63	19,01	18,65	18,88	18,94	18,60	18,73
TiO ₂	0,07	0,01					0,04	
Fe ₂ O ₃	0,31	0,36	0,32	0,41	0,23	0,33	0,31	0,28
MnO	0,01							
MgO	0,00	0,01						
CaO			0,04	0,00	0,02	0,02	0,01	0,01
Na ₂ O	3,28	2,37	7,93	6,64	7,48	7,09	3,00	5,91
K ₂ O	11,97	13,09	5,04	6,74	5,71	6,33	12,30	8,03
SrO		0,03	0,01	0,01	0,02	0,00	0,02	0,03
BaO			0,03	0,03	0,03	0,05	0,07	0,07
Total	99,58	99,38	99,33	99,44	99,16	99,73	99,61	99,54
Número de cátions calculado na base de 32 oxigênios.								
Si	11,987	11,946	2,997	3,010	3,001	2,999	2,992	3,002
Al	3,974	4,043	1,003	0,988	0,999	0,999	1,005	0,997
Ti	0,010	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Fe ³⁺	0,043	0,050	0,012	0,016	0,009	0,012	0,012	0,011
Mn	0,001	0,000						
Mg	0,001	0,003						
Ca	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000
Na	1,164	0,846	0,688	0,579	0,651	0,616	0,267	0,517
K	2,794	3,075	0,288	0,387	0,327	0,362	0,719	0,463
Sr	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ba	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
Total	19,974	19,967	4,990	4,979	4,989	4,990	4,998	4,990
An	0,00	0,00	70,40	59,93	66,51	62,95	27,04	52,77
Ab	29,40	21,58	0,18	0,02	0,09	0,08	0,05	0,03
Or	70,60	78,42	29,42	40,05	33,40	36,96	72,92	47,21
Albite Activity								
800 °C			0,92	0,94	0,93	0,94	0,85	0,96
900 °C			0,90	0,91	0,90	0,91	0,77	0,91
Anortite Activity								
800 °C			-	-	-	-	-	-
900 °C			-	-	-	-	-	-

¹ - n, núcleo; b, borda; <, incluso em; ints, intersticial; fen, fenocristal; idio, idiomórfico; lam, lamela de exsolução;
TÜ - análises realizadas na Universidade de Tübingen

ANEXO E - Tabela E.2 - Composição química de nefelinas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	BtHbNeS														NeS-I								
Amostra	MAI036														MAI058I								
Cristal	1	2	2	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13
Textura ¹	n	b	n	n	n	b	n	b	n	b	n	b	n	b	n	b	n	b	n	b	n	b	n
SiO ₂	44,41	44,31	44,01	43,45	44,08	44,37	43,88	43,67	44,41	44,33	44,00	44,15	43,93	43,97	43,87	43,11	43,50	42,68	44,03	44,22	43,72	42,64	44,01
Al ₂ O ₃	34,24	33,70	33,72	33,69	33,87	34,16	33,75	33,84	33,85	33,99	33,77	34,17	34,08	34,12	32,80	34,23	33,04	34,66	32,68	32,21	32,74	34,44	32,78
TiO ₂		0,06		0,04	0,04	0,01	0,02		0,02	0,01		0,00	0,03	0,03			0,01	0,03				0,03	0,04
Fe ₂ O ₃	0,19	0,21	0,19	0,21	0,20	0,17	0,20	0,19	0,20	0,26	0,26	0,25	0,22	0,24	1,12	0,19	0,70	0,19	1,07	1,37	1,01	0,11	1,06
MnO	0,01	0,00			0,01		0,00			0,01	0,00		0,01		0,00		0,01		0,02	0,03		0,01	
MgO	0,03		0,00		0,00	0,00		0,01											0,00	0,02	0,01	0,01	0,02
CaO	1,35	1,17	1,16	1,47	1,53	1,55	1,55	1,83	1,44	1,51	1,29	1,32	1,54	1,48	0,02		0,01						
Na ₂ O	15,75	15,50	15,53	15,24	15,37	15,33	15,19	15,19	15,26	15,14	15,33	15,18	15,33	15,33	15,86	15,66	15,80	15,66	15,86	15,89	15,93	15,64	15,98
K ₂ O	4,78	5,36	5,09	5,02	4,96	4,80	4,86	4,99	4,85	4,82	5,17	5,01	4,93	5,13	5,99	6,94	6,17	7,04	5,86	5,74	5,98	7,17	5,79
SrO		0,04	0,03	0,02	0,01	0,00			0,05			0,00	0,00	0,02	0,04	0,05			0,06	0,05	0,04	0,04	0,02
BaO		0,03			0,01		0,02			0,04	0,08		0,06	0,02	0,02		0,03				0,08	0,00	
Total	100,75	100,37	99,73	99,13	100,08	100,40	99,48	99,72	100,08	100,11	99,90	100,09	100,14	100,35	99,72	100,18	99,26	100,26	99,52	99,53	99,52	100,09	99,69
Número de cátions calculado na base de 32 oxigênios.																							
Si	8,390	8,427	8,412	8,360	8,394	8,405	8,399	8,355	8,440	8,421	8,402	8,393	8,363	8,359	8,445	8,281	8,412	8,200	8,479	8,520	8,439	8,214	8,461
Al	7,624	7,554	7,596	7,640	7,601	7,626	7,613	7,630	7,582	7,610	7,600	7,656	7,646	7,645	7,441	7,749	7,530	7,848	7,417	7,315	7,448	7,819	7,428
Ti	0,000	0,008	0,000	0,006	0,006	0,002	0,003	0,000	0,002	0,001	0,000	0,001	0,005	0,005	0,000	0,000	0,001	0,004	0,000	0,000	0,000	0,005	0,006
Fe ³⁺	0,027	0,030	0,028	0,030	0,029	0,025	0,029	0,027	0,029	0,037	0,038	0,036	0,031	0,035	0,162	0,028	0,101	0,028	0,155	0,198	0,146	0,017	0,153
Mn	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,003	0,005	0,000	0,002	0,000
Mg	0,007	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,005	0,002	0,002	0,004
Ca	0,274	0,239	0,237	0,303	0,312	0,315	0,318	0,375	0,293	0,307	0,264	0,269	0,314	0,301	0,004	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	5,769	5,716	5,755	5,685	5,675	5,630	5,637	5,634	5,623	5,576	5,676	5,595	5,658	5,651	5,919	5,832	5,924	5,833	5,922	5,936	5,962	5,841	5,957
K	1,152	1,300	1,241	1,232	1,205	1,160	1,187	1,218	1,176	1,168	1,259	1,215	1,197	1,244	1,471	1,701	1,522	1,725	1,439	1,411	1,472	1,762	1,420
Sr	0,000	0,004	0,004	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,005	0,006	0,000	0,000	0,000	0,007	0,006	0,004	0,002
Ba	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,006	0,000	0,004	0,002	0,002	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000
Total	23,245	23,281	23,274	23,258	23,225	23,163	23,188	23,243	23,151	23,126	23,246	23,165	23,221	23,244	23,449	23,597	23,495	23,638	23,416	23,397	23,481	23,665	23,431
Ne	72,07	70,95	71,70	70,76	70,64	70,56	70,39	69,81	70,45	70,01	70,68	70,35	70,64	70,41	72,45	72,27	72,85	72,43	72,63	72,37	72,94	72,31	73,09
FeNe	0,51	0,57	0,53	0,58	0,55	0,48	0,57	0,53	0,56	0,72	0,73	0,70	0,61	0,67	3,07	0,53	1,93	0,54	2,95	3,74	2,77	0,32	2,90
Ks	16,02	17,97	17,22	17,08	16,70	16,18	16,50	16,80	16,40	16,33	17,46	17,01	16,64	17,26	20,05	23,46	20,84	23,85	19,66	19,15	20,06	24,29	19,40
An	6,70	5,80	5,77	7,39	7,61	7,72	7,77	9,10	7,19	7,56	6,44	6,63	7,68	7,36	0,09	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Qz	4,69	4,70	4,78	4,20	4,49	5,05	4,76	3,76	5,39	5,39	4,69	5,31	4,43	4,31	4,34	3,73	4,32	3,18	4,76	4,74	4,23	3,09	4,61

¹ - n, núcleo; b, borda; <, incluso em; idio, idiomórfico.

ANEXO E - Tabela E.2 - Composição química de nefelinas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	NeS-I																						
Amostra	MAI058I						MAI060																
Cristal	14	14	15	16	17	17	18	18	19	19	20	20	21	21	22	22	23	23	24	24	25	25	26
Textura ¹	n	b	n	<kfl	n	b	n	b	n	b	n	n	n	n	n	b	n	b	n	b	n	b	n
SiO ₂	42,55	44,08	43,45	41,85	43,95	41,75	43,31	43,49	43,76	44,05	43,58	43,87	43,77	43,59	44,10	44,22	43,57	43,34	43,75	43,55	43,64	43,14	43,92
Al ₂ O ₃	33,76	32,41	32,96	34,68	32,60	34,66	33,79	33,42	33,58	33,58	33,59	33,69	33,54	33,69	33,17	33,54	33,48	33,79	33,57	33,54	33,53	33,67	33,61
TiO ₂	0,02	0,02	0,02				0,06		0,02			0,00		0,02	0,03				0,07		0,04	0,00	
Fe ₂ O ₃	0,54	1,23	0,98	0,10	1,11	0,13	0,62	0,73	0,66	0,68	0,67	0,66	0,62	0,67	0,67	0,58	0,65	0,59	0,63	0,64	0,63	0,45	0,71
MnO	0,03	0,02			0,01		0,00	0,02		0,02			0,01			0,00	0,01		0,02	0,01			0,00
MgO		0,01	0,00			0,00		0,00				0,00							0,00				
CaO	0,01			0,03			0,08	0,04	0,05	0,04	0,06	0,06	0,07	0,03	0,11	0,05	0,06	0,03	0,09	0,06	0,07	0,03	0,07
Na ₂ O	15,74	15,76	16,00	15,69	15,72	15,55	15,92	15,97	15,87	15,82	15,89	15,73	15,95	15,83	15,86	15,95	15,89	15,50	15,82	15,95	15,93	15,65	16,14
K ₂ O	6,95	5,91	6,27	7,55	5,93	7,44	6,48	6,34	6,27	6,36	6,31	6,41	6,30	6,47	6,01	6,24	6,42	6,48	6,32	6,33	6,18	6,54	6,20
SrO	0,00	0,01		0,03	0,01			0,04	0,00	0,01		0,00	0,06	0,06	0,03		0,06		0,00	0,01	0,01	0,03	0,02
BaO	0,04		0,01		0,03			0,03	0,01	0,02	0,04		0,01			0,05					0,02	0,02	0,01
Total	99,65	99,45	99,69	99,93	99,36	99,53	100,26	100,08	100,22	100,59	100,13	100,43	100,33	100,36	99,98	100,64	100,14	99,73	100,20	100,16	100,00	99,58	100,68
Número de cátions calculado na base de 32 oxigênios.																							
Si	8,243	8,500	8,385	8,107	8,481	8,110	8,309	8,358	8,380	8,405	8,361	8,383	8,380	8,349	8,451	8,427	8,365	8,341	8,381	8,355	8,375	8,327	8,378
Al	7,708	7,365	7,496	7,918	7,414	7,935	7,640	7,570	7,579	7,552	7,595	7,588	7,568	7,605	7,492	7,533	7,576	7,664	7,580	7,584	7,584	7,660	7,557
Ti	0,003	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,007	0,000
Fe ³⁺	0,079	0,178	0,143	0,014	0,161	0,019	0,089	0,106	0,096	0,098	0,096	0,095	0,090	0,097	0,097	0,084	0,094	0,085	0,091	0,092	0,091	0,065	0,101
Mn	0,004	0,003	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,003	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,017	0,008	0,010	0,008	0,012	0,013	0,014	0,007	0,022	0,010	0,013	0,006	0,018	0,012	0,014	0,007	0,013
Na	5,912	5,892	5,987	5,893	5,881	5,856	5,922	5,951	5,892	5,853	5,911	5,828	5,921	5,879	5,893	5,894	5,915	5,784	5,876	5,933	5,928	5,857	5,970
K	1,718	1,454	1,543	1,866	1,460	1,844	1,586	1,554	1,532	1,548	1,544	1,563	1,539	1,581	1,469	1,517	1,572	1,591	1,544	1,549	1,513	1,610	1,509
Sr	0,001	0,001	0,000	0,004	0,001	0,000	0,000	0,004	0,000	0,002	0,000	0,000	0,007	0,006	0,004	0,000	0,007	0,000	0,001	0,001	0,001	0,003	0,003
Ba	0,003	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,003	0,000	0,001	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
Total	23,675	23,399	23,558	23,807	23,402	23,763	23,572	23,557	23,492	23,470	23,521	23,471	23,521	23,527	23,432	23,470	23,544	23,472	23,494	23,538	23,507	23,538	23,532
Ne	72,39	72,05	72,91	72,41	72,16	72,28	72,79	72,95	72,66	72,18	72,76	71,98	72,84	72,39	72,65	72,68	72,61	71,79	72,42	72,94	73,05	72,42	73,27
FeNe	1,50	3,38	2,70	0,27	3,07	0,37	1,69	2,01	1,83	1,88	1,84	1,81	1,71	1,85	1,85	1,60	1,79	1,64	1,73	1,76	1,74	1,25	1,93
Ks	23,42	19,79	20,93	25,53	19,94	25,34	21,71	21,22	21,03	21,26	21,17	21,49	21,08	21,68	20,17	20,83	21,49	21,99	21,20	21,21	20,76	22,17	20,62
An	0,06	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,41	0,20	0,25	0,18	0,28	0,31	0,33	0,17	0,53	0,25	0,31	0,15	0,44	0,30	0,33	0,17	0,32
Qz	2,62	4,78	3,46	1,66	4,84	2,01	3,39	3,63	4,24	4,50	3,95	4,42	4,05	3,91	4,80	4,63	3,79	4,43	4,21	3,79	4,12	3,99	3,86

¹ - n, núcleo; b, borda; <, incluso em; idio, idiomórfico.

ANEXO E - Tabela E.2 - Composição química de nefelinas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	NeS-I	BtHblP												BtHblP											
Amostra	MAI060	MAI092I												MAI102											
Cristal	26	27	28	29	29	30	31	32	32	33	33	34	34	35	36	37	38	39	40	41	41	42	43		
Textura ¹	b	n	<kfl	b	b	n	n	n	b	n	b	n	b	n	n	n	n	n	n	n	b	n	n		
SiO ₂	43,74	45,16	45,00	44,17	44,63	44,52	44,42	44,63	44,30	44,08	44,68	44,87	44,20	45,44	45,61	44,76	45,45	44,56	45,67	45,22	44,42	45,62	46,19		
Al ₂ O ₃	33,90	33,04	33,77	33,41	33,23	33,46	33,35	33,14	33,52	33,66	33,16	32,82	33,10	32,76	32,64	33,02	32,93	33,18	32,80	32,61	33,23	32,71	32,32		
TiO ₂		0,01			0,02		0,04	0,02		0,07	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,01				0,03		0,03	0,01		
Fe ₂ O ₃	0,60	0,39	0,45	0,35	0,44	0,45	0,33	0,38	0,39	0,43	0,41	0,38	0,43	0,49	0,51	0,58	0,54	0,53	0,58	0,59	0,50	0,47	0,46		
MnO		0,02		0,01			0,00							0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,01		0,01			
MgO				0,00		0,00		0,00	0,01		0,03		0,00			0,00	0,02	0,01	0,00			0,01			
CaO	0,04	0,84	0,52	0,70	0,63	0,58	0,71	0,68	0,66	0,58	0,53	0,50	0,58	1,43	1,30	1,52	1,41	1,51	1,33	1,32	1,58	1,38	1,24		
Na ₂ O	15,81	15,65	15,75	15,68	15,55	15,69	15,56	15,52	15,58	15,76	15,72	15,66	15,79	15,58	15,11	15,25	15,09	15,36	15,33	15,79	15,08	15,38	15,58		
K ₂ O	6,42	5,07	5,40	5,53	5,48	5,52	5,48	5,40	5,52	5,66	5,53	5,38	5,51	4,48	4,17	4,69	4,46	4,78	4,22	4,39	4,63	4,22	4,06		
SrO	0,06	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,04	0,06	0,05	0,04	0,02			0,01	0,04	0,04	0,01		0,04	0,00	0,06				
BaO	0,00						0,07		0,01	0,09	0,03	0,01	0,08	0,04	0,03	0,02					0,01				
Total	100,57	100,20	100,91	99,87	100,00	100,24	99,99	99,83	100,04	100,35	100,13	99,63	99,72	100,27	99,45	99,90	99,92	99,93	99,97	99,96	99,51	99,81	99,86		
Número de cátions calculado na base de 32 oxigênios.																									
Si	8,352	8,575	8,496	8,449	8,512	8,477	8,480	8,523	8,454	8,406	8,517	8,579	8,474	8,608	8,672	8,525	8,619	8,490	8,649	8,596	8,489	8,652	8,742		
Al	7,629	7,394	7,514	7,532	7,469	7,508	7,504	7,459	7,540	7,565	7,450	7,396	7,479	7,314	7,315	7,412	7,360	7,451	7,321	7,306	7,484	7,311	7,210		
Ti	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,006	0,003	0,000	0,010	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,001	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,004	0,001		
Fe ³⁺	0,086	0,056	0,065	0,050	0,063	0,064	0,047	0,055	0,056	0,061	0,059	0,054	0,062	0,070	0,073	0,083	0,078	0,076	0,082	0,084	0,072	0,067	0,066		
Mn	0,000	0,003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000		
Mg	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002	0,000	0,009	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,006	0,003	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000		
Ca	0,007	0,171	0,105	0,143	0,128	0,119	0,145	0,139	0,136	0,118	0,108	0,102	0,118	0,290	0,264	0,310	0,286	0,308	0,270	0,270	0,324	0,280	0,252		
Na	5,853	5,762	5,766	5,815	5,750	5,792	5,760	5,747	5,765	5,827	5,810	5,805	5,869	5,723	5,571	5,632	5,548	5,674	5,629	5,820	5,587	5,656	5,717		
K	1,564	1,228	1,301	1,349	1,333	1,341	1,335	1,316	1,344	1,377	1,345	1,312	1,347	1,083	1,011	1,140	1,079	1,162	1,019	1,065	1,129	1,021	0,980		
Sr	0,007	0,001	0,001	0,001	0,003	0,002	0,004	0,006	0,005	0,004	0,003	0,000	0,000	0,002	0,005	0,004	0,001	0,000	0,004	0,000	0,006	0,000	0,000		
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,001	0,007	0,002	0,001	0,006	0,003	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000		
Total	23,499	23,193	23,247	23,343	23,261	23,304	23,285	23,248	23,302	23,374	23,304	23,252	23,361	23,098	22,919	23,111	22,976	23,164	22,974	23,146	23,091	22,993	22,968		
Ne	72,40	71,60	72,07	72,05	71,47	71,95	71,64	71,48	71,73	72,29	72,05	72,10	72,50	70,79	70,09	69,77	69,45	70,17	70,42	71,73	69,62	70,64	71,29		
FeNe	1,64	1,08	1,25	0,97	1,22	1,23	0,91	1,06	1,07	1,17	1,14	1,04	1,19	1,33	1,42	1,60	1,51	1,45	1,59	1,61	1,39	1,30	1,28		
Ks	21,54	16,99	18,10	18,62	18,45	18,54	18,48	18,22	18,62	19,02	18,57	18,15	18,53	14,91	14,17	15,72	15,04	16,00	14,20	14,61	15,66	14,20	13,61		
An	0,18	4,17	2,56	3,47	3,12	2,90	3,52	3,38	3,31	2,86	2,62	2,47	2,86	7,03	6,51	7,53	7,02	7,47	6,62	6,51	7,89	6,84	6,14		
Qz	4,24	6,15	6,01	4,89	5,73	5,37	5,45	5,85	5,28	4,66	5,61	6,24	4,92	5,93	7,82	5,38	6,98	4,92	7,17	5,55	5,45	7,03	7,68		

¹ - n, núcleo; b, borda; <, incluso em; idio, idiomórfico.

ANEXO E - Tabela E.2 - Composição química de nefelinas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	BtHblP							HblP										NeS-II							
Amostra	MAI102		MAI114					MAI160										MAI166I							
Cristal	44	45	45	46	46	47	47	48	48	49	50	50	51	51	52	52	53	54	54	55	56	57	58		
Textura ¹	n	n	b	n	b	n	b	n	b	n	n	b	n	b	n	b	<kfl	idio n	idio b	idio	idio n	idio n	b		
SiO ₂	43,99	44,99	44,35	45,56	45,51	44,41	44,09	44,78	43,73	44,26	44,71	44,16	45,21	44,47	43,44	44,48	44,15	44,79	44,66	45,02	44,35	44,81	43,85		
Al ₂ O ₃	33,29	32,76	33,65	32,66	33,17	33,03	33,15	33,08	33,37	33,69	33,51	33,65	32,98	33,72	34,35	33,68	33,36	33,27	32,93	33,24	32,98	33,23	33,33		
TiO ₂	0,01	0,01	0,03			0,01			0,03	0,05		0,03	0,02				0,00						0,05		
Fe ₂ O ₃	0,52	0,42	0,39	0,47	0,54	0,46	0,44	0,36	0,30	0,35	0,30	0,25	0,54	0,35	0,07	0,38	0,32	0,58	0,59	0,58	0,50	0,64	0,43		
MnO	0,01		0,01	0,01		0,01		0,01		0,01		0,00	0,00				0,02	0,01	0,00				0,01		
MgO		0,00		0,01	0,00				0,00	0,01	0,03		0,05	0,01	0,01		0,01	0,01	0,00		0,01				
CaO	1,66	1,31	1,52	1,24	1,36	1,50	1,60	1,00	1,15	1,23	0,87	0,87	0,93	1,04	1,12	1,00	0,99	0,38	0,36	0,39	0,43	0,41	0,43		
Na ₂ O	15,40	15,30	14,90	14,63	15,19	15,37	15,16	15,62	15,45	15,39	15,53	15,80	15,57	15,48	15,43	15,42	15,58	15,77	15,81	15,91	15,86	15,64	15,68		
K ₂ O	4,91	4,59	4,79	4,42	4,51	4,68	4,93	4,97	5,15	5,18	5,13	5,32	4,81	5,32	5,68	5,42	5,25	5,61	5,44	5,61	5,50	5,48	5,78		
SrO	0,01	0,03		0,01	0,02	0,01		0,03	0,06	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03	0,04	0,02	0,08		0,00	0,02	0,03	0,02			
BaO		0,00			0,02					0,02	0,07		0,01		0,02		0,11				0,02		0,05		
Total	99,79	99,43	99,64	99,01	100,32	99,49	99,37	99,85	99,25	100,20	100,18	100,10	100,15	100,43	100,16	100,40	99,87	100,42	99,79	100,77	99,67	100,23	99,61		
Número de cátions calculado na base de 32 oxigênios.																									
Si	8,415	8,591	8,457	8,691	8,599	8,496	8,457	8,537	8,411	8,424	8,499	8,422	8,579	8,445	8,298	8,451	8,446	8,514	8,538	8,530	8,501	8,525	8,425		
Al	7,506	7,373	7,563	7,343	7,387	7,447	7,494	7,432	7,564	7,557	7,507	7,564	7,376	7,547	7,734	7,542	7,522	7,453	7,420	7,423	7,451	7,451	7,547		
Ti	0,001	0,002	0,004	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,005	0,008	0,000	0,004	0,003	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008		
Fe ³⁺	0,074	0,061	0,056	0,068	0,076	0,067	0,064	0,052	0,043	0,050	0,043	0,037	0,077	0,050	0,011	0,054	0,046	0,083	0,084	0,083	0,072	0,092	0,062		
Mn	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002		
Mg	0,000	0,001	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,009	0,000	0,014	0,004	0,002	0,000	0,002	0,002	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000		
Ca	0,340	0,268	0,311	0,253	0,275	0,307	0,329	0,205	0,237	0,250	0,176	0,178	0,190	0,212	0,229	0,203	0,202	0,078	0,073	0,078	0,087	0,083	0,088		
Na	5,712	5,664	5,509	5,411	5,565	5,701	5,638	5,773	5,762	5,679	5,724	5,842	5,729	5,700	5,715	5,681	5,779	5,812	5,860	5,845	5,894	5,769	5,841		
K	1,198	1,118	1,165	1,076	1,087	1,142	1,206	1,209	1,264	1,258	1,244	1,294	1,164	1,289	1,384	1,314	1,281	1,360	1,327	1,356	1,345	1,330	1,417		
Sr	0,001	0,004	0,000	0,002	0,002	0,001	0,000	0,003	0,007	0,002	0,003	0,001	0,002	0,004	0,005	0,002	0,009	0,000	0,000	0,003	0,004	0,002	0,000		
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,005	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,004		
Total	23,249	23,082	23,067	22,847	22,995	23,166	23,187	23,212	23,293	23,233	23,210	23,342	23,137	23,250	23,379	23,248	23,299	23,304	23,304	23,317	23,357	23,253	23,392		
Ne	70,20	70,51	69,19	68,58	69,72	70,55	69,66	71,66	71,47	70,66	71,59	72,47	71,36	70,92	71,18	70,65	71,67	72,07	72,57	72,26	72,81	71,77	72,36		
FeNe	1,42	1,17	1,08	1,33	1,48	1,28	1,22	0,99	0,83	0,97	0,83	0,70	1,49	0,97	0,20	1,05	0,89	1,60	1,62	1,60	1,37	1,78	1,19		
Ks	16,40	15,50	16,30	15,18	15,17	15,74	16,60	16,70	17,45	17,42	17,32	17,88	16,15	17,86	19,20	18,19	17,69	18,78	18,29	18,67	18,50	18,42	19,54		
An	8,19	6,54	7,64	6,27	6,75	7,45	7,96	4,99	5,75	6,09	4,32	4,32	4,63	5,16	5,58	4,95	4,91	1,89	1,78	1,90	2,11	2,02	2,13		
Qz	3,79	6,28	5,79	8,64	6,88	4,98	4,56	5,66	4,50	4,86	5,95	4,63	6,36	5,10	3,84	5,16	4,84	5,66	5,74	5,57	5,20	6,01	4,78		

¹ - n, núcleo; b, borda; <, incluso em; idio, idiomórfico.

ANEXO E - Tabela E.2 - Composição química de nefelinas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	NeS-II				BtAgtNeS											
Amostra	MAI166I				MAI199											
Cristal	58	59	60	61	62	63	63	64	64	65	65	66	66	67	67	68
Textura ¹	n	idio	idio	idio	n	n	b	n	b	b	n	n	b	n	b	b
SiO ₂	42,70	44,81	44,67	44,76	45,17	46,05	44,23	45,26	44,85	45,93	45,75	45,90	45,71	46,49	45,82	45,82
Al ₂ O ₃	34,33	33,22	33,01	33,11	31,46	30,92	31,07	31,42	31,37	31,24	31,42	31,29	31,78	30,74	31,45	30,99
TiO ₂	0,01		0,01		0,03						0,09	0,01	0,01		0,02	
Fe ₂ O ₃	0,47	0,67	0,69	0,73	1,39	1,30	1,68	1,32	1,31	1,35	1,31	1,31	1,32	1,36	1,35	1,40
MnO	0,01	0,01	0,02		0,01	0,00	0,02	0,01		0,00	0,00	0,01		0,01	0,01	
MgO		0,01	0,00	0,01		0,01		0,02		0,01	0,04	0,03		0,01	0,00	0,01
CaO	0,46	0,37	0,55	0,48	0,01	0,00	0,01		0,01	0,00	0,02		0,03	0,02	0,00	0,01
Na ₂ O	15,58	15,72	15,72	15,79	15,85	15,94	15,97	16,01	15,76	16,14	15,96	15,91	15,71	16,11	15,91	16,02
K ₂ O	6,63	5,54	5,31	5,42	4,72	4,27	5,06	4,43	5,18	4,37	4,48	4,50	4,84	4,20	4,62	4,56
SrO			0,02	0,01		0,05	0,04	0,02	0,03		0,02	0,00	0,00	0,02	0,06	0,01
BaO	0,01			0,04	0,03	0,04	0,04	0,07	0,00	0,00	0,05	0,03	0,03	0,02		0,08
Total	100,19	100,34	100,00	100,35	98,68	98,58	98,12	98,55	98,51	99,05	99,14	98,99	99,42	98,98	99,25	98,91
Número de cátions calculado na base de 32 oxigênios.																
Si	8,208	8,521	8,522	8,516	8,708	8,852	8,627	8,726	8,685	8,798	8,761	8,797	8,735	8,897	8,769	8,805
Al	7,778	7,445	7,422	7,424	7,148	7,005	7,143	7,140	7,160	7,052	7,091	7,068	7,158	6,933	7,093	7,019
Ti	0,002	0,000	0,002	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,001	0,001	0,000	0,002	0,000
Fe ³⁺	0,067	0,095	0,099	0,105	0,202	0,188	0,247	0,191	0,191	0,195	0,189	0,189	0,189	0,195	0,195	0,203
Mn	0,001	0,001	0,003	0,000	0,002	0,001	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,002	0,000
Mg	0,000	0,001	0,001	0,003	0,000	0,003	0,000	0,005	0,000	0,003	0,011	0,008	0,000	0,004	0,001	0,004
Ca	0,095	0,076	0,112	0,097	0,003	0,001	0,002	0,000	0,001	0,000	0,004	0,000	0,005	0,003	0,001	0,003
Na	5,807	5,796	5,815	5,825	5,924	5,941	6,040	5,985	5,917	5,994	5,926	5,912	5,821	5,977	5,903	5,969
K	1,626	1,344	1,292	1,315	1,161	1,047	1,259	1,090	1,280	1,068	1,094	1,100	1,180	1,025	1,128	1,118
Sr	0,000	0,000	0,003	0,002	0,000	0,005	0,005	0,002	0,004	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,007	0,001
Ba	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,003	0,003	0,005	0,000	0,000	0,003	0,002	0,002	0,002	0,000	0,006
Total	23,584	23,279	23,269	23,290	23,155	23,045	23,328	23,145	23,238	23,110	23,096	23,080	23,091	23,041	23,100	23,127
Ne	71,52	71,94	72,00	72,04	73,06	73,48	73,17	73,99	72,47	73,88	73,38	73,15	72,18	73,61	72,96	73,26
FeNe	1,29	1,83	1,89	2,01	3,85	3,60	4,63	3,67	3,63	3,72	3,63	3,62	3,64	3,72	3,73	3,86
Ks	22,30	18,57	17,82	18,12	15,94	14,42	16,98	15,00	17,45	14,65	15,09	15,16	16,29	14,06	15,52	15,28
An	2,30	1,85	2,72	2,36	0,07	0,01	0,05	0,00	0,03	0,01	0,10	0,00	0,12	0,08	0,02	0,07
Qz	2,60	5,81	5,57	5,47	7,08	8,48	5,16	7,35	6,42	7,74	7,80	8,07	7,76	8,52	7,77	7,54

¹ - n, núcleo; b, borda; <, incluso em; idio, idiomórfico.

ANEXO E - Tabela E.3 - Composição química de clinopiroxênios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade BtHbNeS													NeS-I													
Amostra	MAI036												MAI058I													
Cristal	1	1	2	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	6	7	7	8	9	9	10	11	11	12	13	13	
Textura ¹	<-anf n	<-anf b	<-anf n	<-anf b	<-anf n	<-anf n	<-anf n	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	n	b	n	b	aci	n	b	aci	n	b	aci	n	b	
SiO ₂	50,83	50,44	50,45	50,22	50,05	50,95	52,41	48,87	51,56	51,13	49,82	50,76	51,63	52,77	51,35	51,98	52,21	52,86	52,69	52,72	52,53	51,85	51,69	51,06	51,57	
TiO ₂	1,50	1,03	1,29	1,72	1,59	1,51	0,90	1,33	0,40	0,90	1,24	1,02	1,17	4,08	0,45	2,66	2,83	1,11	2,97	0,86	0,75	3,30	3,34	1,42	4,22	
Al ₂ O ₃	3,01	3,43	4,02	4,06	4,07	3,01	2,04	3,87	2,20	1,97	2,64	2,23	0,97	1,26	0,76	0,87	0,96	1,15	1,09	1,35	0,98	1,20	1,25	1,01	0,93	
Cr ₂ O ₃	0,02		0,02		0,00		0,01							0,02	0,01					0,00	0,02		0,03	0,04		
ZrO ₂	0,11	0,09	0,08	0,01	0,08		0,05	0,08	0,04	0,02	0,03	0,05	0,49	0,64	0,56	1,13	1,03	0,41	0,93	0,23	0,55	0,69	0,57	0,59	0,39	
FeO _T	8,16	10,43	8,03	7,51	8,46	7,36	7,14	7,21	6,73	6,72	7,01	6,97	25,72	23,81	24,42	25,93	24,93	26,81	25,28	27,33	27,38	25,46	25,44	25,66	22,94	
MnO	1,11	1,11	0,91	0,85	0,91	0,95	1,06	0,81	0,91	1,10	1,10	0,99	1,72	2,39	2,28	1,41	1,89	0,90	1,55	0,60	1,05	1,28	1,27	1,57	2,82	
MgO	12,70	10,80	12,39	12,33	11,74	12,98	13,79	12,52	13,22	13,71	13,04	13,19	1,11	0,23	1,83	0,16	0,27	0,65	0,22	0,48	0,66	0,21	0,21	1,02	0,30	
CaO	21,64	21,82	21,99	22,60	22,18	22,20	22,12	21,73	23,13	21,74	21,53	22,07	6,17	1,60	9,12	1,17	1,60	1,06	1,35	0,68	1,20	2,12	2,32	5,52	1,39	
Na ₂ O	1,30	1,33	1,08	1,10	1,39	1,12	1,15	1,20	0,94	1,09	1,13	1,15	9,48	11,86	7,90	12,75	12,36	12,81	12,27	12,95	12,65	12,00	11,84	10,04	12,92	
K ₂ O	0,03			0,02			0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01		0,01			0,00	0,02	0,02	0,01		0,00	
Soma	100,42	100,48	100,25	100,42	100,47	100,07	100,68	97,63	99,14	98,39	97,55	98,43	98,47	98,68	98,69	98,07	98,08	97,76	98,36	97,23	97,79	98,12	97,95	97,94	97,47	
Fe ₂ O ₃	3,96	4,01	2,98	3,15	4,23	3,09	3,28	4,55	3,52	3,62	3,93	3,86	19,27	17,64	17,21	24,06	22,17	26,14	20,70	26,73	26,97	21,20	20,86	21,07	23,34	
FeO	4,60	6,82	5,35	4,68	4,66	4,58	4,19	3,11	3,56	3,46	3,48	3,50	8,38	7,93	8,94	4,28	4,99	3,29	6,65	3,28	3,12	6,39	6,67	6,71	1,94	
Total	100,69	100,80	100,45	100,72	100,81	100,38	100,95	98,08	99,49	98,76	97,95	98,82	99,91	99,79	99,85	99,35	99,28	99,98	99,50	99,67	99,92	99,55	99,44	99,42	99,43	
Número de cátions calculado na base de 6 oxigênios.																										
Si	1,882	1,885	1,872	1,859	1,856	1,889	1,925	1,853	1,924	1,919	1,891	1,908	1,995	2,017	1,993	1,987	1,998	2,006	2,013	2,008	1,999	1,988	1,987	1,977	1,972	
Al	0,118	0,115	0,128	0,141	0,144	0,111	0,075	0,147	0,076	0,081	0,109	0,092	0,005	0,000	0,007	0,013	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,012	0,013	0,023	0,028	
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Soma T	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,017	2,000	2,000	2,000	2,006	2,013	2,008	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	
Al	0,014	0,036	0,048	0,036	0,033	0,020	0,014	0,026	0,021	0,007	0,009	0,007	0,039	0,057	0,028	0,026	0,042	0,052	0,049	0,061	0,043	0,042	0,044	0,023	0,014	
Ti	0,042	0,029	0,036	0,048	0,044	0,042	0,025	0,037	0,011	0,025	0,035	0,028	0,033	0,114	0,013	0,074	0,079	0,031	0,083	0,024	0,021	0,092	0,093	0,040	0,118	
Fe ³⁺	0,110	0,123	0,083	0,088	0,118	0,086	0,091	0,129	0,098	0,101	0,111	0,108	0,560	0,507	0,503	0,692	0,638	0,747	0,595	0,766	0,772	0,612	0,604	0,614	0,672	
Zr	0,002	0,002	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,009	0,012	0,011	0,021	0,019	0,008	0,017	0,004	0,010	0,013	0,011	0,011	0,007	
Mg	0,701	0,602	0,685	0,680	0,649	0,717	0,755	0,708	0,735	0,767	0,738	0,739	0,064	0,013	0,106	0,009	0,015	0,037	0,013	0,027	0,037	0,012	0,012	0,059	0,017	
Fe ²⁺	0,131	0,213	0,147	0,145	0,144	0,134	0,114	0,099	0,112	0,099	0,107	0,111	0,271	0,254	0,290	0,137	0,160	0,104	0,213	0,104	0,099	0,205	0,214	0,217	0,062	
Mn	0,000	0,006	0,000	0,003	0,009	0,000	0,000	0,000	0,022	0,000	0,000	0,005	0,024	0,043	0,050	0,041	0,047	0,022	0,030	0,013	0,017	0,024	0,023	0,036	0,091	
Soma M1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,981	
Mg								0,000	0,000	0,000	0,000	0,000														
Fe ²⁺	0,012	0,000	0,019	0,000	0,000	0,008	0,014	0,002	0,000	0,010	0,004	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	0,035	0,030	0,029	0,024	0,019	0,030	0,033	0,026	0,007	0,035	0,035	0,026	0,033	0,034	0,025	0,005	0,014	0,007	0,020	0,006	0,016	0,017	0,019	0,015	0,000	
Ca	0,859	0,874	0,874	0,896	0,881	0,882	0,871	0,883	0,925	0,874	0,876	0,889	0,255	0,066	0,379	0,048	0,066	0,043	0,055	0,028	0,049	0,087	0,096	0,229	0,057	
Na	0,094	0,097	0,078	0,079	0,100	0,080	0,082	0,089	0,068	0,079	0,083	0,084	0,710	0,879	0,595	0,945	0,917	0,943	0,909	0,956	0,933	0,892	0,883	0,754	0,958	
K	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	
Soma M2	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	1,000	1,000	0,999	1,000	0,999	0,980	0,999	0,998	0,998	0,993	0,984	0,991	0,999	0,997	0,997	0,998	1,015	
Total	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,999	4,000	4,000	3,999	4,000	3,999	3,997	3,999	3,998	3,998	3,999	3,998	3,999	3,999	3,997	3,997	3,998	3,996	
Jadeite activity																										
800°C								0,097	0,057	0,061	0,076	0,068														
900°C								0,082	0,047	0,050	0,064	0,056														
Hednbergite activity																										
800°C								0,092	0,115	0,103	0,108	0,114														
900°C								0,098	0,12	0,109	0,113	0,118														

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; /, em contato com; aci, acicular; cav, em cavidade; idio, idiomórfico; ints, intersticial; poiq, poiquilítico

ANEXO E - Tabela E.3 - Composição química de clinopiroxênios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade NeS-I																									
Amostra	MAI058I				MAI060																				
Cristal	14	14	14	15	15	16	16	16	17	17	17	18	18	18	19	19	20	20	20	21	21	21	21	21	21
Textura ¹	n	nb	b	<-anf n	<-anf b	<-anf n	<-anf nb	<-anf b	<-anf n	<-anf nb	<-anf b	<-anf n	<-anf nb	<-anf b	<-anf n	<-anf b	<-anf n	<-anf nb	<-anf b	<-anf n1	<-anf n2	<-anf n3	<-anf n4	<-anf n5	<-anf n6
SiO ₂	50,93	51,53	52,05	50,19	50,12	49,60	48,82	50,29	51,16	51,03	52,26	50,10	49,85	49,82	50,42	50,93	49,32	49,34	49,75	50,22	48,22	49,48	48,67	48,92	49,61
TiO ₂	0,77	3,62	3,43	0,66	0,29	0,93	0,43	0,26	0,19	0,13	0,09	0,77	0,72	0,30	0,70	0,43	1,01	0,71	0,40	0,73	1,10	0,85	1,14	0,95	1,00
Al ₂ O ₃	0,68	1,16	0,90	2,55	1,36	3,17	1,69	1,33	0,93	0,95	1,08	2,70	2,61	1,44	2,32	1,38	3,07	2,86	1,40	2,62	3,84	2,97	3,58	3,56	3,18
Cr ₂ O ₃			0,02		0,00		0,01	0,03					0,01		0,01	0,02						0,06			
ZrO ₂	1,26	0,58	0,64	0,09	0,07	0,16	0,08	0,08	0,17	0,18	0,11	0,12	0,11	0,12	0,13	0,09	0,14	0,15	0,08	0,04	0,24	0,23	0,21	0,23	0,14
FeO _T	25,49	25,65	24,86	13,21	19,67	13,33	19,89	19,67	23,17	25,77	28,82	13,37	13,92	19,21	12,39	15,19	13,13	15,18	20,07	12,60	14,07	13,26	13,94	13,66	12,67
MnO	2,23	1,32	2,07	2,28	4,38	2,16	4,67	4,34	3,35	3,16	1,46	2,34	2,37	4,66	2,21	3,83	2,12	2,66	4,71	2,10	2,10	2,21	2,23	2,16	1,90
MgO	1,02	0,28	0,28	8,81	3,58	8,69	3,45	3,59	2,13	0,51	0,08	8,61	8,30	3,68	9,27	6,61	8,65	7,39	3,20	9,13	7,99	8,76	7,95	8,24	9,09
CaO	6,97	2,54	1,79	21,34	17,01	21,04	18,46	16,35	11,76	9,75	3,38	21,37	21,22	17,36	21,77	19,07	21,19	20,51	16,91	21,57	21,12	21,27	21,32	21,40	21,71
Na ₂ O	9,24	11,91	12,52	1,45	3,75	1,48	2,62	3,84	6,64	7,58	11,57	1,45	1,52	3,26	1,21	2,64	1,42	1,72	3,57	1,25	1,45	1,38	1,43	1,45	1,39
K ₂ O	0,02		0,05	0,00	0,02			0,00	0,00	0,01	0,00		0,01		0,01	0,04	0,01	0,02		0,01	0,02	0,02		0,00	0,02
Soma	98,62	98,59	98,60	100,58	100,25	100,55	100,12	99,79	99,50	99,07	98,86	100,83	100,63	99,85	100,43	100,23	100,06	100,54	100,10	100,27	100,15	100,49	100,46	100,57	100,71
Fe ₂ O ₃	20,11	21,79	23,27	5,08	10,28	5,04	8,45	9,55	15,77	17,31	26,71	4,96	5,55	8,63	4,04	6,90	4,92	6,18	9,62	4,10	6,00	5,22	5,46	5,70	5,27
FeO	7,39	6,05	3,92	8,64	10,42	8,79	12,29	11,08	8,98	10,19	4,79	8,90	8,93	11,44	8,76	8,98	8,70	9,62	11,42	8,92	8,67	8,57	9,03	8,53	7,92
Total	99,37	100,19	100,28	101,00	101,21	100,90	100,87	100,64	100,91	100,62	101,42	101,21	101,07	100,60	100,69	100,81	100,41	101,01	100,98	100,64	100,51	100,72	100,80	100,91	101,10
Número de cátions calculado na base de 6 oxigênios.																									
Si	1,976	1,969	1,979	1,903	1,947	1,881	1,919	1,962	1,980	1,992	1,988	1,897	1,895	1,949	1,912	1,953	1,880	1,886	1,945	1,907	1,844	1,881	1,857	1,860	1,874
Al	0,024	0,031	0,021	0,097	0,053	0,119	0,078	0,038	0,020	0,008	0,012	0,103	0,105	0,051	0,088	0,047	0,120	0,114	0,055	0,093	0,156	0,119	0,143	0,140	0,126
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma T	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Al	0,008	0,021	0,019	0,016	0,009	0,023	0,000	0,023	0,022	0,036	0,036	0,018	0,012	0,016	0,016	0,015	0,018	0,015	0,009	0,024	0,017	0,014	0,018	0,019	0,015
Ti	0,022	0,101	0,096	0,018	0,008	0,026	0,012	0,007	0,005	0,004	0,003	0,021	0,020	0,008	0,019	0,012	0,028	0,020	0,011	0,020	0,031	0,024	0,032	0,026	0,028
Fe ³⁺	0,587	0,626	0,666	0,145	0,301	0,144	0,247	0,280	0,459	0,509	0,764	0,141	0,159	0,254	0,115	0,199	0,141	0,178	0,283	0,117	0,173	0,149	0,157	0,163	0,150
Zr	0,024	0,011	0,012	0,002	0,001	0,003	0,001	0,002	0,003	0,004	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,001	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003
Mg	0,059	0,016	0,016	0,498	0,207	0,491	0,202	0,209	0,123	0,030	0,004	0,486	0,470	0,215	0,524	0,378	0,492	0,421	0,186	0,517	0,455	0,496	0,452	0,467	0,512
Fe ²⁺	0,240	0,193	0,125	0,274	0,338	0,279	0,404	0,361	0,291	0,333	0,152	0,282	0,284	0,375	0,278	0,288	0,277	0,308	0,373	0,283	0,277	0,272	0,288	0,271	0,250
Mn	0,060	0,032	0,067	0,047	0,136	0,034	0,133	0,118	0,096	0,086	0,038	0,049	0,053	0,130	0,045	0,106	0,040	0,055	0,135	0,038	0,043	0,040	0,050	0,049	0,042
Soma M1	1,000	1,000	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Mg																									
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	0,000
Mn	0,013	0,011	0,000	0,026	0,008	0,036	0,022	0,026	0,014	0,018	0,009	0,026	0,023	0,024	0,026	0,018	0,028	0,031	0,021	0,030	0,026	0,031	0,022	0,021	0,018
Ca	0,290	0,104	0,073	0,867	0,708	0,855	0,777	0,683	0,488	0,408	0,138	0,867	0,864	0,728	0,885	0,783	0,866	0,840	0,708	0,878	0,865	0,866	0,871	0,872	0,878
Na	0,695	0,882	0,923	0,107	0,282	0,109	0,200	0,290	0,498	0,574	0,853	0,106	0,112	0,247	0,089	0,196	0,105	0,128	0,271	0,092	0,108	0,102	0,106	0,107	0,102
K	0,001	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001
Soma M2	0,999	0,997	0,998	1,000	1,000	0,999	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,999	1,000	0,999	0,999	0,999	0,999	1,000
Total	3,999	3,997	3,998	4,000	4,000	3,999	3,999	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,999	3,999	3,999	4,000	3,999	3,999	3,999	3,999	4,000
Jadeite activity																									
800°C																									
900°C																									
Hednbergite activity																									
800°C																									
900°C																									

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; /, em contato com; aci, acicular; cav, em cavidade; idio, idiomórfico; ints, intersticial; poiq, poiquilítico

ANEXO E - Tabela E.3 - Composição química de clinopiroxênios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	NeS-I										AegN														
Amostra	MAI060										MAI090														
Cristal	21	21	21	22	22	22	1	2	3	4	5	23	23	23	24	24	24	25	25	25	26	26	26	27	27
Textura ¹	<-anf n7	<-anf n8	<-anf b	<-anf n	<-anf nb	<-anf b	TÛ	TÛ	TÛ	TÛ	TÛ	/cav n	/cav b1	/cav b2	idio n	idio nb	idio b	idio n	idio nb	idio b	ints n	ints nb	ints b	ints n	ints b
SiO ₂	49,35	49,34	49,22	50,45	50,71	52,85	49,29	49,20	49,38	49,21	49,80	51,56	52,04	52,26	51,86	51,61	51,66	51,68	51,88	52,12	51,29	52,24	52,41	52,12	52,42
TiO ₂	0,86	0,54	0,35	0,52	0,17	0,07	0,72	0,71	0,82	0,68	0,71	0,43	0,47	0,07	0,72	0,51	0,21	0,69	0,59	0,15	0,44	0,44	0,55	0,54	0,79
Al ₂ O ₃	3,12	2,24	2,11	2,01	1,03	1,93	2,60	2,51	2,81	2,47	2,54	0,28	0,26	0,19	0,26	0,22	0,18	0,26	0,25	0,28	0,25	0,71	0,66	0,43	0,37
Cr ₂ O ₃	0,01			0,01	0,03							0,01		0,01	0,03					0,01	0,01		0,03	0,02	
ZrO ₂	0,14	0,10	0,09	0,15	0,18	0,12	0,16	0,16	0,18	0,10	0,09	0,12	0,32		0,55	0,15		0,37	0,11	0,03	0,29	0,04	0,02		0,01
FeO _T	13,20	17,55	17,13	14,58	26,19	28,29	13,00	13,24	13,01	11,98	11,61	24,17	23,99	25,29	26,86	26,12	28,59	26,23	26,22	26,60	26,23	28,67	27,74	28,86	27,23
MnO	2,14	3,64	3,62	2,68	3,87	0,92	2,31	2,36	2,29	2,07	2,06	3,70	3,90	2,70	3,02	4,26	2,83	3,14	2,81	1,78	3,28	1,09	1,03	0,97	1,51
MgO	8,68	5,35	5,28	7,76	0,26	0,14	8,71	8,57	8,63	9,44	9,53	2,37	1,74	2,09	0,68	0,34	0,05	0,91	1,15	1,66	1,26	0,50	0,56	0,70	1,29
CaO	21,52	19,47	19,95	20,20	11,02	2,62	21,45	21,31	21,44	21,87	21,65	9,33	7,79	5,84	4,26	4,66	3,68	5,20	4,91	4,59	6,16	2,20	2,07	2,50	3,16
Na ₂ O	1,44	1,92	1,93	2,12	6,81	11,67	1,57	1,60	1,55	1,34	1,41	7,41	8,15	9,80	10,33	10,20	10,65	9,91	10,19	10,56	9,34	11,95	11,81	11,81	11,16
K ₂ O		0,01	0,02	0,00			0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00		0,00		0,03	0,00		0,04	0,00	0,01		0,03	0,04
Soma	100,46	100,17	99,70	100,49	100,27	98,60	99,82	99,66	100,11	99,16	99,41	99,38	98,67	98,26	98,58	98,08	97,88	98,39	98,11	97,82	98,55	97,85	96,88	97,97	97,98
Fe ₂ O ₃	5,73	5,60	6,10	6,52	16,39	24,60	6,63	6,74	6,09	6,25	5,29	17,40	16,99	23,14	22,53	23,05	24,73	22,05	23,03	24,82	22,13	26,97	24,97	27,21	24,56
FeO	8,05	12,51	11,64	8,72	11,45	6,16	7,03	7,18	7,53	6,35	6,85	8,52	8,70	4,47	6,59	5,38	6,34	6,39	5,49	4,27	6,31	4,41	5,28	4,38	5,13
Total	100,88	100,63	100,22	100,98	101,70	100,95	100,49	100,34	100,72	99,78	99,94	101,00	100,05	100,56	100,25	100,24	100,36	100,24	100,31	100,26	100,47	100,52	99,33	100,69	100,43
Número de cátions calculado na base de 6 oxigênios.																									
Si	1,873	1,920	1,922	1,921	1,975	2,007	1,881	1,882	1,880	1,882	1,898	1,992	2,022	2,003	2,002	2,003	2,005	1,999	2,001	2,000	1,985	1,997	2,023	1,992	2,006
Al	0,127	0,080	0,078	0,079	0,025	0,000	0,117	0,113	0,120	0,111	0,102	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,011	0,003	0,000	0,008	0,000
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,005	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma T	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,007	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,022	2,003	2,002	2,003	2,005	2,000	2,001	2,000	2,000	2,000	2,023	2,000	2,006
Al	0,013	0,023	0,019	0,011	0,022	0,086	0,000	0,000	0,006	0,000	0,012	0,005	0,012	0,009	0,012	0,010	0,008	0,011	0,011	0,012	0,000	0,029	0,030	0,012	0,017
Ti	0,024	0,015	0,010	0,015	0,005	0,002	0,020	0,020	0,023	0,019	0,020	0,012	0,013	0,002	0,020	0,014	0,006	0,019	0,016	0,004	0,012	0,012	0,015	0,015	0,022
Fe ³⁺	0,164	0,164	0,179	0,187	0,480	0,703	0,185	0,186	0,172	0,172	0,150	0,506	0,497	0,667	0,654	0,673	0,722	0,642	0,668	0,717	0,641	0,776	0,725	0,783	0,707
Zr	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,006	0,000	0,010	0,003	0,000	0,007	0,002	0,001	0,005	0,001	0,000	0,000	0,000
Mg	0,491	0,310	0,307	0,440	0,015	0,008	0,495	0,489	0,490	0,538	0,541	0,137	0,101	0,119	0,039	0,020	0,003	0,053	0,066	0,095	0,073	0,029	0,032	0,040	0,074
Fe ²⁺	0,255	0,407	0,380	0,277	0,373	0,196	0,227	0,233	0,242	0,205	0,220	0,275	0,283	0,143	0,213	0,175	0,206	0,207	0,177	0,137	0,204	0,141	0,170	0,140	0,164
Mn	0,050	0,078	0,102	0,067	0,102	0,003	0,069	0,069	0,064	0,064	0,056	0,063	0,089	0,059	0,051	0,105	0,055	0,062	0,058	0,034	0,064	0,013	0,027	0,011	0,016
Soma M1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Mg							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	0,000
Mn	0,018	0,042	0,017	0,019	0,026	0,026	0,006	0,007	0,010	0,003	0,011	0,058	0,040	0,028	0,047	0,035	0,038	0,040	0,034	0,024	0,043	0,023	0,007	0,021	0,033
Ca	0,875	0,812	0,835	0,824	0,460	0,107	0,877	0,873	0,875	0,897	0,884	0,386	0,324	0,240	0,176	0,194	0,153	0,215	0,203	0,189	0,255	0,090	0,086	0,102	0,130
Na	0,106	0,145	0,146	0,156	0,514	0,859	0,116	0,119	0,114	0,099	0,104	0,555	0,614	0,728	0,773	0,768	0,802	0,743	0,762	0,786	0,701	0,886	0,884	0,875	0,828
K	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002
Soma M2	0,999	0,999	0,999	1,000	1,000	0,993	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	1,000	0,978	0,997	0,997	0,996	0,994	0,999	0,999	1,000	0,999	1,000	0,976	1,000	0,993
Total	3,999	3,999	3,999	4,000	4,000	4,000	3,999	3,999	3,999	3,999	3,999	4,000	3,999	4,000	3,999	3,999	4,000	3,999	3,999	4,000	3,999	4,000	3,999	4,000	3,999
Jadeite activity																									
800°C							0,079	0,078	0,086	0,069	0,079														
900°C							0,068	0,067	0,074	0,059	0,067														
Hednbergite activity																									
800°C							0,27	0,281	0,291	0,238	0,261														
900°C							0,273	0,283	0,294	0,241	0,263														

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; /, em contato com; aci, acicular; cav, em cavidade; idio, idiomórfico; ints, intersticial; poiq, poiquilítico

ANEXO E - Tabela E.3 - Composição química de clinopiroxênios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade AegN			BtHblP																		N-I					
Amostra	MAI090			MAI092I																		MAI097B				
Cristal	28	28	29	30	30	31	31	31	32	33	34	34	35	35	1	2	3	4	5	6	36	37	37	38	38	
Textura ¹	n	b	b	<-anf n	<-anf b	<-anf n	<-anf b	<-anf bb	<-anf n	<-anf n	<-anf n	<-anf b	<-anf n	<-anf b	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	/cav	n	b	->anf n	->anf b	
SiO ₂	51,35	52,36	52,53	50,50	50,54	52,49	51,75	50,14	51,66	51,47	51,60	51,16	51,68	49,71	49,66	50,28	50,68	50,66	51,19	50,43	53,07	53,59	51,71	53,61	53,17	
TiO ₂	0,46	1,01	1,16	1,30	1,32	0,70	1,03	1,09	1,19	1,16	1,14	0,69	1,09	1,13	1,22	1,15	1,23	1,24	0,68	1,01	0,41	0,20	0,53	0,12	0,23	
Al ₂ O ₃	0,23	0,25	0,48	3,52	3,17	1,27	2,43	3,19	2,96	2,79	2,75	2,93	2,68	3,57	2,65	2,70	2,83	3,11	1,26	2,52	0,25	0,48	1,49	0,38	0,37	
Cr ₂ O ₃	0,03					0,06			0,02			0,01	0,01							0,01		0,02	0,03			
ZrO ₂	0,20	0,27	0,13	0,01	0,02	0,03		0,01	0,00		0,05	0,08		0,06	0,04	0,04	0,00	0,01	0,07	0,00	0,02	0,04	0,02	0,05	0,02	
FeO _T	24,52	26,78	25,89	7,13	8,52	8,16	7,18	9,92	6,61	7,26	7,05	9,90	7,14	11,02	7,64	6,94	6,26	6,41	7,11	6,79	26,06	9,98	9,45	10,55	9,94	
MnO	3,68	2,25	2,86	0,78	0,92	1,46	0,99	1,03	0,92	0,84	0,78	1,12	0,78	1,10	0,95	0,74	0,83	0,82	1,42	0,79	0,62	2,46	1,88	2,82	2,74	
MgO	1,79	0,68	0,97	13,96	12,36	13,13	14,11	11,42	14,13	14,27	14,43	11,42	13,69	10,47	13,24	14,86	14,09	13,84	13,37	14,19	2,32	11,99	12,83	12,07	12,51	
CaO	7,93	2,89	4,69	21,54	22,16	21,90	21,55	22,27	21,34	21,38	21,70	22,31	22,31	22,02	21,42	21,91	22,03	22,16	21,21	22,67	4,60	20,34	20,80	19,72	19,91	
Na ₂ O	8,25	11,25	9,91	1,32	0,94	1,01	0,95	1,02	1,48	0,72	0,83	1,17	0,79	1,30	1,38	0,70	1,38	1,40	1,14	0,75	10,53	1,32	1,05	1,46	1,33	
K ₂ O	0,01	0,04		0,00	0,06		0,01	0,03	0,05			0,01	0,03	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02		0,01	0,04		0,09	
Soma	98,44	97,78	98,62	100,06	100,02	100,20	99,99	100,12	100,36	99,89	100,34	100,80	100,17	100,41	98,21	99,31	99,34	99,66	97,45	99,17	97,89	100,40	99,81	100,81	100,31	
Fe ₂ O ₃	18,98	23,57	19,58	5,44	3,08	2,61	2,85	4,14	4,65	1,87	2,69	3,90	2,00	5,11	6,21	4,81	5,72	5,66	3,33	4,74	22,74	1,96	3,89	3,00	3,47	
FeO	7,44	5,57	8,27	2,23	5,75	5,81	4,61	6,20	2,43	5,58	4,63	6,39	5,34	6,42	2,05	2,61	1,11	1,32	4,12	2,52	5,60	8,22	5,95	7,85	6,81	
Total	100,12	99,87	100,45	100,60	100,30	100,38	100,28	100,53	100,80	100,08	100,55	101,09	100,37	100,86	98,83	99,79	99,91	100,22	97,78	99,64	100,14	100,56	100,16	101,03	100,64	
Número de cátions calculado na base de 6 oxigênios.																										
Si	1,997	2,017	2,024	1,858	1,885	1,952	1,913	1,878	1,892	1,906	1,900	1,902	1,912	1,863	1,869	1,866	1,874	1,869	1,948	1,878	2,025	2,004	1,936	1,998	1,986	
Al	0,003	0,000	0,000	0,142	0,115	0,048	0,087	0,122	0,108	0,094	0,100	0,098	0,088	0,137	0,118	0,118	0,123	0,131	0,052	0,111	0,000	0,000	0,064	0,002	0,014	
Fe ³⁺	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	0,014	0,015	0,003	0,000	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Soma T	2,000	2,017	2,024	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,025	2,004	2,000	2,000	2,000	
Al	0,007	0,012	0,022	0,011	0,024	0,007	0,019	0,019	0,020	0,028	0,019	0,030	0,028	0,021	0,000	0,000	0,000	0,004	0,005	0,000	0,011	0,021	0,001	0,015	0,002	
Ti	0,013	0,028	0,032	0,036	0,037	0,020	0,029	0,030	0,033	0,032	0,032	0,019	0,030	0,031	0,034	0,032	0,034	0,035	0,019	0,028	0,011	0,006	0,015	0,003	0,006	
Fe ³⁺	0,555	0,683	0,568	0,151	0,086	0,073	0,079	0,117	0,128	0,052	0,075	0,109	0,056	0,144	0,160	0,118	0,154	0,155	0,092	0,120	0,653	0,055	0,110	0,084	0,098	
Zr	0,004	0,005	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	
Mg	0,104	0,039	0,056	0,766	0,687	0,728	0,778	0,638	0,772	0,788	0,792	0,633	0,755	0,585	0,743	0,822	0,777	0,761	0,759	0,788	0,132	0,668	0,716	0,671	0,697	
Fe ²⁺	0,242	0,179	0,267	0,036	0,165	0,172	0,096	0,194	0,047	0,099	0,082	0,199	0,131	0,201	0,063	0,028	0,034	0,043	0,124	0,065	0,179	0,249	0,158	0,227	0,197	
Mn	0,075	0,053	0,053	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,016	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	
Soma M1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
Mg															0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000						
Fe ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,033	0,014	0,009	0,047	0,000	0,027	0,073	0,061	0,000	0,035	0,000	0,004	0,055	0,002	0,000	0,010	0,015	0,000	0,008	0,028	0,018	0,016	
Mn	0,046	0,020	0,040	0,024	0,029	0,046	0,031	0,030	0,028	0,026	0,024	0,027	0,025	0,019	0,030	0,023	0,026	0,024	0,046	0,025	0,007	0,078	0,060	0,089	0,087	
Ca	0,330	0,119	0,194	0,849	0,885	0,872	0,853	0,894	0,837	0,848	0,856	0,889	0,884	0,884	0,864	0,871	0,873	0,876	0,856	0,904	0,188	0,815	0,834	0,787	0,797	
Na	0,622	0,840	0,741	0,094	0,068	0,073	0,068	0,074	0,105	0,052	0,059	0,084	0,056	0,095	0,101	0,051	0,099	0,100	0,084	0,054	0,779	0,096	0,076	0,105	0,096	
K	0,000	0,002	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,004	
Soma M2	0,999	0,982	0,974	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,974	0,996	1,000	1,000	1,000	
Total	3,999	3,999	3,999	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	
Jadeite activity																										
800°C															0,075	0,048	0,080	0,086	0,046	0,048						
900°C															0,064	0,040	0,068	0,073	0,038	0,040						
Hednbergite activity																										
800°C															0,055	0,051	0,03	0,036	0,128	0,062						
900°C															0,061	0,059	0,034	0,04	0,132	0,069						

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; /, em contato com; aci, acicular; cav, em cavidade; idio, idiomórfico; ints, intersticial; poiq, poiquilítico

ANEXO E - Tabela E.3 - Composição química de clinopiroxênios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade N-I										BtHbIP																		
Amostra	MAI097B									MAI102																		
Cristal	39	39	40	41	41	1	2	3	4	42	42	43	43	44	44	45	45	46	46	46	46	46	47	47	47			
Textura ¹	->anf n	->anf b	->anf b	<anf n	<anf n	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	n	b	n	b	n	b	n	b	n1	n2	n3	n4	b	n	nb	b			
SiO ₂	52,58	53,13	52,74	53,29	53,65	52,67	52,93	51,80	51,18	51,15	50,64	51,54	53,28	51,49	51,41	51,71	50,78	51,59	50,86	50,83	51,27	51,27	51,47	48,12	48,53			
TiO ₂	0,05	0,18	0,07	0,08	0,06	0,07	0,24	0,53	0,69	1,71	1,03	1,52	0,15	1,44	0,73	1,40	0,81	1,52	1,79	1,78	1,48	1,62	1,43	2,32	2,17			
Al ₂ O ₃	0,35	0,26	0,42	0,28	0,40	0,24	0,30	1,33	2,96	3,19	3,63	2,80	1,17	2,47	2,35	2,76	3,31	2,76	3,40	3,39	3,02	3,23	2,95	4,99	4,71			
Cr ₂ O ₃		0,03			0,01					0,02				0,02		0,00	0,01	0,01	0,01			0,03	0,01		0,00			
ZrO ₂		0,02		0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02		0,13		0,05	0,02	0,07		0,11	0,02	0,03	0,04		0,05	0,03	0,25	0,20			
FeO _T	13,54	13,60	29,09	19,23	18,55	16,77	25,21	9,19	9,20	6,89	10,16	7,13	10,04	6,45	10,00	6,64	9,64	6,87	6,92	7,12	6,96	6,66	6,43	10,05	9,57			
MnO	2,88	3,13	0,16	2,09	2,44	2,32	0,70	2,06	1,80	0,67	0,92	0,62	0,98	0,61	0,96	0,64	0,93	0,68	0,65	0,65	0,64	0,73	0,68	0,76	0,77			
MgO	9,31	9,70	0,85	5,92	6,27	7,25	2,79	12,75	17,54	13,91	11,10	14,81	11,98	14,89	11,44	14,45	11,46	14,75	13,94	14,24	14,50	13,81	14,23	10,50	10,84			
CaO	18,23	17,06	1,69	10,77	12,23	13,01	4,47	21,30	8,87	21,52	21,52	21,60	21,56	21,43	21,55	21,53	22,09	21,46	21,47	21,43	21,60	21,86	21,60	21,86	21,53			
Na ₂ O	2,60	2,58	12,09	7,30	6,05	6,61	11,52	1,09	3,91	1,29	1,41	0,66	1,59	1,19	1,52	1,17	1,37	0,66	1,16	0,79	0,79	1,24	1,20	1,45	1,38			
K ₂ O				0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	1,00		0,04		0,05		0,06		0,03		0,01	0,00	0,00	0,03	0,01	0,03	0,04			
Soma	99,54	99,68	97,10	98,97	99,70	98,97	98,16	100,05	97,16	100,36	100,58	100,69	100,85	100,01	100,09	100,30	100,55	100,32	100,23	100,27	100,26	100,52	100,03	100,33	99,75			
Fe ₂ O ₃	6,08	4,59	26,75	16,81	12,66	18,16	0,00	4,37	0,00	3,56	3,92	2,10	4,03	4,08	4,43	3,27	4,68	1,50	3,20	2,10	2,41	3,36	3,18	5,05	4,05			
FeO	8,07	9,47	5,02	4,10	7,16	0,43	25,21	5,26	9,20	3,68	6,63	5,24	6,42	2,78	6,02	3,70	5,43	5,52	4,04	5,23	4,79	3,63	3,57	5,50	5,93			
Total	100,15	100,10	99,79	100,66	100,93	100,79	98,16	100,49	97,16	100,69	100,84	100,90	101,20	100,38	100,46	100,63	100,90	100,45	100,52	100,44	100,50	100,78	100,32	100,59	99,95			
Número de cátions calculado na base de 6 oxigênios.																												
Si	1,998	2,017	2,023	2,010	2,025	1,977	1,989	1,934	1,879	1,880	1,886	1,892	1,971	1,892	1,920	1,898	1,887	1,900	1,873	1,875	1,888	1,882	1,894	1,801	1,824			
Al	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,011	0,059	0,121	0,120	0,114	0,108	0,029	0,107	0,080	0,102	0,113	0,100	0,127	0,125	0,112	0,118	0,106	0,199	0,176			
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000			
Soma T	2,000	2,017	2,023	2,010	2,025	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000			
Al	0,014	0,011	0,019	0,012	0,018	0,000	0,003	0,000	0,007	0,018	0,045	0,013	0,022	0,000	0,023	0,017	0,032	0,020	0,021	0,023	0,019	0,022	0,022	0,022	0,033			
Ti	0,001	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002	0,007	0,015	0,019	0,048	0,029	0,043	0,004	0,040	0,020	0,039	0,023	0,043	0,050	0,050	0,041	0,045	0,040	0,065	0,061			
Fe ³⁺	0,174	0,131	0,772	0,477	0,360	0,478	0,776	0,114	0,282	0,099	0,110	0,058	0,112	0,111	0,124	0,090	0,131	0,042	0,089	0,058	0,067	0,093	0,088	0,142	0,115			
Zr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,005	0,004			
Mg	0,527	0,549	0,048	0,333	0,353	0,406	0,156	0,710	0,691	0,762	0,616	0,810	0,661	0,816	0,637	0,791	0,635	0,810	0,765	0,783	0,796	0,756	0,781	0,586	0,607			
Fe ²⁺	0,257	0,301	0,158	0,129	0,226	0,035	0,016	0,162	0,000	0,073	0,198	0,076	0,198	0,032	0,188	0,063	0,169	0,085	0,075	0,085	0,076	0,083	0,068	0,172	0,181			
Mn	0,027	0,002	0,000	0,046	0,042	0,074	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,006	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000			
Soma M1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,995	0,980	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000			
Mg						0,000	0,000	0,000	0,269																			
Fe ²⁺	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,040	0,009	0,085	0,000	0,053	0,000	0,051	0,000	0,085	0,050	0,076	0,071	0,029	0,042	0,000	0,005			
Mn	0,066	0,098	0,005	0,021	0,036	0,000	0,000	0,065	0,056	0,021	0,029	0,019	0,029	0,019	0,025	0,020	0,020	0,021	0,020	0,020	0,020	0,023	0,021	0,016	0,025			
Ca	0,742	0,694	0,069	0,435	0,495	0,523	0,180	0,852	0,349	0,847	0,859	0,849	0,855	0,844	0,862	0,847	0,879	0,847	0,847	0,847	0,852	0,860	0,852	0,877	0,867			
Na	0,192	0,190	0,899	0,534	0,443	0,481	0,840	0,079	0,278	0,092	0,102	0,047	0,114	0,085	0,110	0,083	0,099	0,047	0,083	0,057	0,057	0,088	0,085	0,105	0,101			
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,048	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,002			
Soma M2	1,000	0,982	0,977	0,990	0,975	1,005	1,020	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999				
Total	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,999	3,999				
Jadeite activity																												
800°C						0,011	0,019	0,042	0,178																			
900°C						0,010	0,018	0,035	0,157																			
Hednbergite activity																												
800°C						0,033	0	0,144	0																			
900°C						0,035	0	0,151	0																			

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; /, em contato com; aci, acicular; cav, em cavidade; idio, idiomórfico; ints, intersticial; poiq, poiquilítico

ANEXO E - Tabela E.3 - Composição química de clinopiroxênios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade BtHblP								arpk-QzS																		
Amostra	MAI102							MAI108II																		
Cristal	48	48	1	2	3	4	5	49	49	50	51	51	52	53	54	54	55	55	56	56	57	57	1	2	6	
Textura ¹	n	b	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	n	n	n	n	b	n	n	n	b	<fen kfl n	<fen kfl b	<fen kfl	<fen kfl	n	b	TÜ	TÜ	TÜ	
SiO ₂	51,80	50,12	51,59	51,62	50,89	52,23	51,03	53,14	53,66	53,14	53,52	53,57	53,73	53,94	53,87	54,26	53,99	54,07	52,63	52,15	52,85	53,62	52,40	52,86	52,96	
TiO ₂	1,23	1,04	0,70	0,98	0,98	0,66	0,86	0,04	0,04	0,08	0,01	0,15	0,07	0,21	0,02	0,04	0,12		0,05	0,15	0,05	0,04	0,08	0,08	0,09	
Al ₂ O ₃	2,78	3,28	1,70	2,03	2,46	1,61	2,30	0,33	0,30	0,83	0,29	0,30	0,27	0,30	0,25	0,19	0,77	0,57	0,43	0,50	0,36	0,34	0,21	0,31	0,27	
Cr ₂ O ₃		0,01									0,00			0,02		0,04					0,03					
ZrO ₂	0,02	0,10	0,05	0,06	0,06	0,08	0,04	0,01							0,01		0,00	0,01				0,00	0,00	0,00		
FeO _T	6,32	10,76	7,35	7,86	7,88	7,63	7,75	11,96	10,60	9,34	11,92	8,69	10,03	9,09	9,22	8,54	8,03	9,20	13,12	15,17	12,97	11,13	7,77	9,20	8,41	
MnO	0,69	0,99	1,07	1,15	1,02	1,19	1,05	2,09	1,96	2,54	1,99	1,98	1,96	1,91	2,13	2,14	1,23	1,27	2,13	1,83	2,19	2,12	2,98	2,02	2,08	
MgO	14,60	10,78	13,90	13,33	14,06	13,78	13,47	11,19	12,12	12,48	11,55	13,18	12,26	13,15	12,68	13,25	13,42	12,52	9,61	8,77	10,28	11,74	14,54	12,83	13,59	
CaO	22,03	21,38	22,17	22,12	21,92	22,25	22,06	20,91	21,11	21,07	20,45	21,50	21,72	21,02	21,44	21,64	22,90	22,44	22,14	21,59	20,83	21,12	20,42	21,05	21,49	
Na ₂ O	1,03	1,44	0,89	1,15	0,89	0,96	0,98	1,14	0,93	0,71	1,23	0,84	0,97	0,88	1,07	0,89	0,53	0,95	0,64	0,88	1,07	0,98	0,64	1,30	0,78	
K ₂ O		0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01		0,05	0,15	0,04	0,04	0,03		0,02	0,10	0,02	0,05	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,00	0,01	
Soma	100,49	99,94	99,42	100,31	100,16	100,39	99,55	100,81	100,77	100,35	101,01	100,25	101,04	100,51	100,72	101,10	101,02	101,07	100,76	101,05	100,64	101,12	99,06	99,64	99,68	
Fe ₂ O ₃	3,28	4,68	3,79	4,30	4,93	3,61	4,27	2,78	1,62	1,44	2,80	1,72	2,20	0,90	2,23	1,78	0,43	1,60	0,89	2,14	2,18	1,95	3,53	4,27	2,79	
FeO	3,37	6,55	3,94	3,99	3,45	4,38	3,91	9,46	9,14	8,04	9,40	7,15	8,05	8,28	7,21	6,94	7,64	7,76	12,32	13,24	11,01	9,38	4,59	5,36	5,90	
Total	100,80	100,30	99,80	100,74	100,65	100,76	99,97	101,08	100,93	100,49	101,29	100,42	101,26	100,59	100,93	101,24	101,06	101,22	100,85	101,26	100,82	101,32	99,41	100,07	99,95	
Número de cátions calculado na base de 6 oxigênios.																										
Si	1,897	1,883	1,921	1,910	1,882	1,931	1,900	1,993	2,004	1,988	1,999	1,996	1,997	2,007	2,001	2,004	1,993	2,000	2,000	1,986	1,999	2,000	1,967	1,978	1,981	
Al	0,103	0,117	0,075	0,089	0,107	0,069	0,100	0,007	0,000	0,012	0,001	0,004	0,003	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,014	0,001	0,000	0,009	0,013	0,012	
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,004	0,002	0,011	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	0,024	0,008	0,007	
Soma T	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,004	2,000	2,000	2,000	2,000	2,007	2,001	2,004	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	
Al	0,017	0,028	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,008	0,013	0,025	0,012	0,009	0,009	0,013	0,011	0,008	0,027	0,025	0,019	0,009	0,015	0,015	0,000	0,000	0,000	
Ti	0,034	0,029	0,020	0,027	0,027	0,018	0,024	0,001	0,001	0,002	0,000	0,004	0,002	0,006	0,001	0,001	0,003	0,000	0,001	0,004	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	
Fe ³⁺	0,090	0,132	0,101	0,116	0,124	0,095	0,119	0,079	0,046	0,041	0,079	0,048	0,062	0,025	0,062	0,049	0,012	0,045	0,026	0,061	0,062	0,055	0,075	0,111	0,071	
Zr	0,000	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	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	
Mg	0,797	0,604	0,772	0,735	0,775	0,755	0,748	0,626	0,675	0,696	0,643	0,732	0,679	0,729	0,702	0,730	0,739	0,690	0,544	0,498	0,580	0,653	0,814	0,716	0,758	
Fe ²⁺	0,061	0,205	0,107	0,120	0,072	0,128	0,107	0,287	0,265	0,236	0,266	0,206	0,248	0,227	0,223	0,212	0,219	0,240	0,391	0,422	0,342	0,276	0,109	0,169	0,169	
Mn	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	0,018	0,006	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	
Soma M1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	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	
Fe ²⁺	0,042	0,001	0,017	0,004	0,036	0,013	0,015	0,010	0,020	0,016	0,028	0,017	0,002	0,031	0,001	0,003	0,017	0,000	0,000	0,000	0,006	0,016	0,036	0,000	0,016	
Mn	0,021	0,031	0,034	0,036	0,032	0,037	0,033	0,066	0,062	0,081	0,063	0,062	0,062	0,060	0,067	0,067	0,038	0,040	0,051	0,053	0,070	0,067	0,095	0,062	0,066	
Ca	0,864	0,861	0,885	0,877	0,868	0,881	0,880	0,840	0,845	0,845	0,818	0,858	0,865	0,838	0,853	0,857	0,906	0,889	0,901	0,881	0,844	0,844	0,821	0,844	0,861	
Na	0,073	0,105	0,065	0,083	0,064	0,069	0,071	0,083	0,067	0,051	0,089	0,060	0,070	0,064	0,077	0,064	0,038	0,068	0,047	0,065	0,079	0,071	0,047	0,094	0,056	
K	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,008	0,002	0,001	0,000	0,001	0,005	0,001	0,002	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	
Soma M2	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	0,993	0,999	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
Total	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	
Jadeite activity																										
800°C			0,045	0,060	0,054	0,045	0,059															0,005	0,013	0,008		
900°C			0,037	0,050	0,045	0,038	0,049															0,004	0,011	0,007		
Hednbergite activity																										
800°C			0,107	0,121	0,078	0,123	0,108															0,092	0,159	0,157		
900°C			0,113	0,126	0,086	0,128	0,114															0,102	0,164	0,163		

ANEXO E - Tabela E.3 - Composição química de clinopiroxênios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	arpk-Qz3	BtHbIP																				HbIP			
Amostra	MAI1081	MAI114																				MAI160			
Cristal	7	58	58	58	59	60	60	61	61	62	63	63	64	65	66	66	67	67	67	1	2	3	4	5	68
Textura ¹	TÜ	->anf n	->anf b	->anf b	<ttn	->anf n	->anf b	->anf n	->anf b	->anf n	->anf n	->anf n	n	n	->anf n	->anf b	->anf n	->anf n	->anf b	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	<-anf n
SiO ₂	51,84	52,02	50,56	51,53	51,01	50,85	49,77	51,76	51,13	50,74	51,51	51,73	51,38	51,70	51,99	50,65	52,59	51,50	51,37	49,47	51,56	50,38	50,90	50,73	52,35
TiO ₂	0,01	1,04	1,15	1,09	1,38	1,31	1,15	1,09	1,40	1,18	1,15	0,73	0,76	0,37	1,23	1,42	0,73	1,17	1,32	0,37	1,00	1,06	0,93	1,15	0,81
Al ₂ O ₃	0,28	1,99	3,10	2,66	3,12	3,21	3,45	2,44	3,04	3,15	2,37	2,30	2,45	1,40	2,66	3,31	2,54	2,64	2,84	2,46	2,31	3,07	1,81	2,58	2,47
Cr ₂ O ₃						0,00	0,03	0,02	0,00	0,03			0,02		0,02	0,01		0,04	0,00						0,03
ZrO ₂	0,00	0,04	0,09	0,02		0,02	0,09	0,03		0,04	0,03	0,13	0,23	0,42	0,03	0,01	0,05		0,03	0,24	0,03	0,06	0,04	0,03	0,06
FeO _T	12,77	7,88	9,02	8,05	7,98	8,37	10,06	6,71	7,25	8,10	8,38	10,14	10,99	11,82	7,28	8,87	6,77	7,21	7,26	11,89	6,71	8,19	7,80	6,97	7,65
MnO	2,21	1,25	0,99	0,95	0,88	0,91	1,04	0,94	0,87	0,89	1,24	1,42	1,53	1,87	0,94	1,00	0,90	0,95	0,91	1,43	0,89	0,97	1,20	0,86	0,78
MgO	10,52	12,92	11,73	12,60	12,61	12,34	11,09	14,28	13,14	12,38	12,32	11,25	10,43	9,84	13,15	11,88	13,40	13,19	13,09	10,20	13,81	12,60	13,69	13,36	14,41
CaO	20,55	21,29	22,52	21,92	22,13	22,05	22,07	21,35	21,58	22,53	22,06	21,84	21,28	21,04	22,30	22,40	22,56	21,65	22,21	21,88	22,52	22,80	21,82	22,49	21,36
Na ₂ O	1,24	1,23	1,08	1,19	1,07	1,18	1,26	0,93	1,29	1,09	1,26	1,35	1,34	1,48	1,24	1,18	1,03	1,10	1,11	1,55	1,20	1,09	1,10	1,20	0,83
K ₂ O	0,01	0,01	0,04		0,01			0,01		0,02	0,00	0,03	0,05	0,17	0,02	0,00		0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,03	
Soma	99,43	99,68	100,28	100,02	100,18	100,24	100,01	99,55	99,70	100,16	100,33	100,91	100,46	100,11	100,87	100,72	100,57	99,48	100,16	99,52	100,04	100,22	99,30	99,41	100,74
Fe ₂ O ₃	4,30	2,25	3,71	2,74	2,69	3,31	4,83	2,12	3,05	3,63	3,39	3,69	2,75	3,55	3,08	3,72	1,87	2,19	2,79	7,98	4,53	5,20	5,26	4,91	2,18
FeO	8,90	5,85	5,68	5,59	5,56	5,39	5,71	4,80	4,50	4,83	5,33	6,82	8,52	8,63	4,51	5,53	5,09	5,24	4,75	4,71	2,63	3,51	3,07	2,55	5,69
Total	99,86	99,87	100,56	100,27	100,45	100,55	100,37	99,72	100,00	100,44	100,63	101,15	100,48	100,05	101,13	101,08	100,71	99,66	100,41	100,32	100,49	100,74	99,82	99,90	100,88
Número de cátions calculado na base de 6 oxigênios.																									
Si	1,978	1,939	1,885	1,915	1,894	1,889	1,867	1,920	1,898	1,886	1,913	1,924	1,931	1,958	1,910	1,878	1,935	1,919	1,902	1,874	1,903	1,869	1,899	1,886	1,922
Al	0,013	0,061	0,115	0,085	0,106	0,111	0,133	0,080	0,102	0,114	0,087	0,076	0,069	0,042	0,090	0,122	0,065	0,081	0,098	0,110	0,097	0,131	0,080	0,113	0,078
Fe ³⁺	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,000	0,000	0,021	0,001	0,000
Soma T	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Al	0,000	0,027	0,022	0,032	0,031	0,029	0,019	0,026	0,031	0,024	0,017	0,025	0,039	0,021	0,025	0,023	0,045	0,035	0,026	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,029
Ti	0,000	0,029	0,032	0,030	0,038	0,036	0,032	0,030	0,039	0,033	0,032	0,020	0,021	0,010	0,034	0,040	0,020	0,033	0,037	0,010	0,028	0,030	0,026	0,032	0,023
Fe ³⁺	0,113	0,063	0,104	0,077	0,075	0,093	0,136	0,059	0,085	0,102	0,095	0,103	0,078	0,101	0,085	0,104	0,052	0,061	0,078	0,207	0,125	0,144	0,125	0,135	0,060
Zr	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,001	0,001	0,002	0,004	0,008	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Mg	0,598	0,718	0,652	0,698	0,698	0,683	0,620	0,790	0,727	0,686	0,682	0,624	0,584	0,556	0,720	0,657	0,735	0,733	0,722	0,576	0,760	0,697	0,761	0,740	0,789
Fe ²⁺	0,285	0,162	0,177	0,163	0,158	0,158	0,179	0,094	0,118	0,150	0,166	0,212	0,268	0,273	0,135	0,171	0,147	0,139	0,137	0,153	0,082	0,111	0,087	0,081	0,098
Mn	0,004	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,012	0,000	0,000	0,005	0,008	0,013	0,006	0,031	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,046	0,004	0,015	0,000	0,011	0,000
Soma M1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,997	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Mg	0,000																			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Fe ²⁺	0,000	0,020	0,000	0,011	0,015	0,009	0,000	0,055	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,009	0,025	0,010	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,077
Mn	0,068	0,040	0,020	0,030	0,028	0,029	0,021	0,029	0,027	0,023	0,031	0,031	0,043	0,029	0,029	0,026	0,028	0,030	0,028	0,000	0,024	0,015	0,038	0,016	0,024
Ca	0,840	0,850	0,900	0,873	0,880	0,877	0,887	0,848	0,858	0,897	0,878	0,870	0,857	0,854	0,878	0,890	0,889	0,864	0,881	0,888	0,891	0,906	0,872	0,896	0,840
Na	0,092	0,089	0,078	0,086	0,077	0,085	0,092	0,067	0,093	0,079	0,091	0,097	0,097	0,109	0,089	0,085	0,074	0,079	0,079	0,114	0,086	0,079	0,079	0,087	0,059
K	0,001	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002	0,009	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Soma M2	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,003	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Total	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
Jadeite activity																									
800°C	0,011																			0,068	0,067	0,072	0,050	0,071	
900°C	0,009																			0,058	0,056	0,060	0,042	0,060	
Hednbergite activity																									
800°C	0,278																			0,158	0,08	0,108	0,076	0,084	
900°C	0,281																			0,165	0,085	0,113	0,084	0,088	

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; /, em contato com; aci, acicular; cav, em cavidade; idio, idiomórfico; ints, intersticial; poiq, poiquilítico

ANEXO E - Tabela E.3 - Composição química de clinopiroxênios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade HblP																	NeS-II									
Amostra	MAI160																MAI166I									
Cristal	68	69	69	69	70	70	71	71	71	72	72	72	72	1	3	4	73	73	73	74	74	75	75	76	77	
Textura ¹	<-anf b	<-anf n	<-anf b	<-anf b	<-anf n	<-anf b	<-anf n	<-anf b	<-anf b	/-anf	/-anf	/-anf b	<-anf	TÜ	TÜ	TÜ	<-anf n	<-anf b	<-anf b	<-anf n	<-anf b	<-anf n	<-anf b	<-anf n	<-anf n1	
SiO ₂	52,73	52,30	52,36	50,58	52,79	52,35	51,82	51,06	50,51	52,51	51,48	51,10	51,96	50,41	50,11	50,13	52,52	52,56	51,21	51,58	52,02	51,63	51,66	51,27	51,58	
TiO ₂	0,84	0,80	0,84	0,90	0,60	1,02	0,84	1,24	0,85	0,79	0,61	0,96	0,84	0,89	0,83	0,92	0,79	0,84	0,77	0,78	0,66	0,70	0,68	0,40	0,92	
Al ₂ O ₃	2,38	2,22	2,22	2,93	2,30	2,36	2,47	3,57	3,05	2,14	2,63	2,88	2,40	2,59	2,28	2,37	2,19	2,24	2,51	1,87	2,02	2,11	2,16	1,91	2,68	
Cr ₂ O ₃	0,00		0,01	0,05			0,02	0,03	0,04			0,01						0,00		0,01	0,01	0,02	0,01	0,02		
ZrO ₂	0,07	0,08	0,06	0,24	0,04	0,06	0,07	0,01	0,16	0,03	0,10	0,20	0,08	0,05	0,03	0,05			0,07	0,05			0,06	0,04		
FeO _T	7,78	7,75	8,43	12,06	7,73	8,51	8,49	8,66	12,02	7,40	11,10	10,29	8,44	7,85	6,43	7,00	7,55	7,57	10,85	9,22	9,50	10,29	10,64	12,56	9,42	
MnO	0,83	0,87	0,91	1,17	0,85	0,84	0,87	0,90	1,16	0,79	1,09	0,99	0,88	0,74	0,79	0,78	0,86	0,84	1,56	1,29	1,36	1,62	1,50	2,04	1,14	
MgO	13,30	13,74	13,28	9,97	13,37	13,21	13,14	11,78	9,54	13,82	10,56	11,23	13,08	12,67	14,41	13,70	13,95	14,02	10,79	12,33	12,00	11,04	11,13	9,55	12,33	
CaO	22,00	21,94	22,01	21,99	22,41	22,25	22,12	21,58	21,19	21,92	22,04	21,62	22,12	20,99	21,37	21,60	22,21	22,21	21,67	22,09	21,84	21,83	21,79	21,41	21,87	
Na ₂ O	1,29	0,83	0,85	1,30	1,12	0,99	0,91	1,61	1,57	1,28	1,21	1,06	0,86	1,49	1,18	1,48	0,84	0,73	1,27	1,19	1,12	1,38	1,24	1,39	1,14	
K ₂ O				0,02		0,02		0,00		0,09	0,01	0,03		0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01		0,00	0,02	0,01		
Soma	101,23	100,53	100,97	101,21	101,21	101,61	100,76	100,44	100,09	100,77	100,83	100,36	100,66	97,70	97,43	98,04	100,91	101,02	100,72	100,40	100,53	100,62	100,89	100,61	101,08	
Fe ₂ O ₃	2,92	1,95	1,95	4,23	2,92	2,80	2,87	3,88	3,71	3,99	3,03	2,11	2,26	4,39	5,67	6,61	2,39	1,86	3,77	4,36	2,92	3,98	3,66	4,27	3,70	
FeO	5,15	5,99	6,68	8,25	5,10	5,99	5,90	5,17	8,68	3,81	8,38	8,39	6,41	3,90	1,33	1,05	5,40	5,90	7,46	5,30	6,87	6,71	7,35	8,71	6,09	
Total	101,44	100,65	101,10	101,34	101,46	101,83	100,95	100,79	100,25	101,15	101,03	100,36	100,81	98,14	98,00	98,70	101,15	101,20	101,03	100,79	100,81	101,00	101,19	100,97	101,45	
Número de cátions calculado na base de 6 oxigênios.																										
Si	1,929	1,930	1,931	1,893	1,933	1,917	1,914	1,891	1,909	1,924	1,924	1,915	1,922	1,909	1,888	1,881	1,928	1,929	1,915	1,918	1,936	1,927	1,926	1,935	1,905	
Al	0,071	0,070	0,069	0,107	0,067	0,083	0,086	0,109	0,091	0,076	0,076	0,085	0,078	0,091	0,101	0,105	0,072	0,071	0,085	0,082	0,064	0,073	0,074	0,065	0,095	
Fe ³⁺	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	0,011	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Soma T	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	
Al	0,032	0,027	0,027	0,022	0,032	0,019	0,022	0,047	0,045	0,016	0,040	0,042	0,027	0,024	0,000	0,000	0,023	0,026	0,025	0,000	0,025	0,020	0,021	0,020	0,022	
Ti	0,024	0,022	0,024	0,025	0,017	0,028	0,024	0,034	0,024	0,022	0,017	0,027	0,024	0,025	0,023	0,026	0,022	0,023	0,021	0,022	0,018	0,019	0,019	0,011	0,026	
Fe ³⁺	0,080	0,054	0,054	0,119	0,080	0,077	0,080	0,108	0,106	0,110	0,085	0,059	0,063	0,124	0,148	0,170	0,066	0,051	0,106	0,122	0,082	0,112	0,103	0,121	0,103	
Zr	0,001	0,001	0,001	0,004	0,001	0,001	0,001	0,000	0,003	0,000	0,002	0,004	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	
Mg	0,726	0,756	0,730	0,556	0,730	0,721	0,724	0,650	0,538	0,755	0,588	0,627	0,721	0,715	0,809	0,766	0,763	0,767	0,601	0,684	0,666	0,614	0,619	0,537	0,679	
Fe ²⁺	0,137	0,139	0,164	0,258	0,141	0,154	0,150	0,160	0,274	0,097	0,262	0,241	0,164	0,111	0,019	0,036	0,126	0,133	0,233	0,165	0,209	0,210	0,229	0,275	0,171	
Mn	0,000	0,000	0,000	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,011	0,007	0,000	0,024	0,009	0,034	0,000	
Soma M1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
Mg																										
Fe ²⁺	0,021	0,046	0,042	0,000	0,015	0,030	0,032	0,000	0,000	0,020	0,000	0,022	0,034	0,014	0,025	0,000	0,040	0,048	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,017	
Mn	0,026	0,027	0,028	0,023	0,026	0,026	0,027	0,028	0,026	0,025	0,029	0,031	0,028	0,024	0,025	0,024	0,027	0,026	0,038	0,033	0,043	0,027	0,039	0,031	0,036	
Ca	0,863	0,868	0,869	0,882	0,879	0,873	0,875	0,856	0,858	0,860	0,883	0,868	0,877	0,852	0,863	0,868	0,874	0,873	0,868	0,880	0,871	0,873	0,870	0,866	0,865	
Na	0,092	0,059	0,061	0,094	0,079	0,071	0,065	0,116	0,115	0,091	0,088	0,077	0,062	0,109	0,086	0,108	0,060	0,052	0,092	0,086	0,081	0,100	0,090	0,102	0,082	
K	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	
Soma M2	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
Total	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,999	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	
Jadeite activity																										
800°C														0,090	0,063	0,071										
900°C														0,076	0,053	0,060										
Hednbergite activity																										
800°C														0,138	0,029	0,026										
900°C														0,142	0,034	0,03										

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; /, em contato com; aci, acicular; cav, em cavidade; idio, idiomórfico; ints, intersticial; poiq, poiquilítico

ANEXO E - Tabela E.3 - Composição química de clinopiroxênios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	NeS-II					BtM																			
Amostra	MAI166I					MAI182C																			
Cristal	77	77	1	2	2b	78	78	79	79	80	81	81	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	
Textura ¹	<-anf n2	<-anf b	TÜ	TÜ	TÜ	poi q n	poi q b	idio n	idio b	<bt n	</bt n	</bt b	<bt n	poi q n	poi q b	poi q n	poi q b	poi q n	poi q b	n	b	n	b	<bt	TÜ
SiO ₂	51,90	50,60	51,37	47,54	48,77	52,86	52,10	51,87	52,91	52,31	52,97	52,90	53,22	52,88	52,65	53,00	52,86	52,11	52,76	51,92	52,57	53,19	52,73	52,89	51,61
TiO ₂	0,57	0,73	0,67	0,47	0,36	0,56	0,51	0,85	0,56	0,49	0,72	0,54	0,47	0,50	0,56	0,65	0,74	0,88	0,57	0,77	0,51	0,53	0,69	0,36	0,57
Al ₂ O ₃	2,01	2,61	1,91	2,10	1,65	1,37	1,51	1,74	1,48	1,43	1,50	1,42	1,16	1,25	1,54	1,53	1,68	1,79	1,31	1,97	1,43	1,28	1,44	1,24	1,34
Cr ₂ O ₃	0,01	0,02				0,01		0,03	0,00	0,02	0,05	0,02	0,02	0,02		0,04						0,02			
ZrO ₂	0,02	0,11	0,05	0,13	0,08	0,03	0,01	0,05	0,01	0,02	0,03	0,06	0,05	0,02				0,09	0,01	0,07		0,02	0,01	0,01	0,02
FeO _T	9,72	11,82	8,35	11,88	11,60	10,00	9,75	10,90	10,07	10,63	10,10	9,94	9,39	10,25	9,67	9,85	10,23	9,88	10,18	10,86	10,62	10,16	11,37	10,03	8,83
MnO	1,41	1,77	1,19	1,96	2,03	0,84	0,83	0,75	0,87	0,89	0,85	0,85	0,75	0,87	0,83	0,82	0,88	0,77	0,84	0,80	0,86	0,78	0,91	0,85	0,79
MgO	11,87	10,03	12,78	9,61	9,95	14,77	13,83	13,86	13,73	13,86	14,59	13,87	14,33	14,30	13,95	14,66	14,05	14,37	14,03	13,53	14,51	15,24	14,87	14,67	14,00
CaO	21,86	21,43	22,07	21,33	21,32	19,84	20,97	20,27	20,72	20,40	20,18	20,64	21,28	20,12	20,90	19,99	20,68	19,99	20,11	20,13	19,58	19,63	18,67	19,68	20,40
Na ₂ O	1,08	1,52	1,06	1,64	1,50	0,43	0,45	0,43	0,49	0,41	0,45	0,44	0,40	0,37	0,43	0,40	0,45	0,46	0,39	0,52	0,40	0,42	0,38	0,41	0,40
K ₂ O		0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,02	0,04			0,01	0,01		0,01	0,01				0,02		0,01
Soma	100,45	100,67	99,45	96,67	97,26	100,72	99,99	100,77	100,87	100,47	101,46	100,73	101,07	100,56	100,53	100,96	101,58	100,35	100,20	100,56	100,47	101,26	101,09	100,14	97,96
Fe ₂ O ₃	3,03	5,30	3,84	9,56	7,75	1,00	1,67	1,74	0,63	1,44	1,06	0,40	0,80	0,45	0,79	0,39	1,00	1,00	0,04	1,27	1,07	1,26	0,98	0,65	0,42
FeO	6,99	7,05	4,89	3,28	4,63	9,10	8,24	9,33	9,51	9,34	9,15	9,58	8,67	9,85	8,96	9,50	9,33	8,98	10,15	9,72	9,66	9,03	10,49	9,44	8,45
Total	100,73	101,07	99,83	97,63	98,04	100,78	100,15	100,86	100,92	100,58	101,48	100,69	101,08	100,57	100,61	100,96	101,68	100,36	100,20	100,62	100,58	101,36	101,19	100,20	98,00
Número de cátions calculado na base de 6 oxigênios.																									
Si	1,936	1,899	1,922	1,857	1,893	1,956	1,946	1,929	1,962	1,949	1,949	1,964	1,964	1,965	1,955	1,958	1,945	1,937	1,969	1,935	1,954	1,955	1,950	1,968	1,963
Al	0,064	0,101	0,078	0,097	0,075	0,044	0,054	0,071	0,038	0,051	0,051	0,036	0,036	0,035	0,045	0,042	0,055	0,063	0,031	0,065	0,046	0,045	0,050	0,032	0,037
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,046	0,031	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
Soma T	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Al	0,024	0,015	0,007	0,000	0,000	0,016	0,012	0,005	0,026	0,012	0,014	0,026	0,014	0,020	0,023	0,024	0,018	0,016	0,027	0,021	0,016	0,010	0,013	0,023	0,023
Ti	0,016	0,021	0,019	0,013	0,010	0,016	0,014	0,024	0,016	0,014	0,020	0,015	0,013	0,014	0,016	0,018	0,021	0,024	0,016	0,021	0,014	0,015	0,019	0,010	0,016
Fe ³⁺	0,085	0,150	0,107	0,228	0,191	0,028	0,047	0,049	0,017	0,040	0,029	0,011	0,022	0,013	0,022	0,011	0,028	0,028	0,001	0,036	0,030	0,035	0,027	0,018	0,012
Zr	0,000	0,002	0,001	0,002	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,660	0,561	0,713	0,560	0,576	0,815	0,770	0,768	0,759	0,770	0,800	0,768	0,788	0,792	0,772	0,807	0,771	0,796	0,780	0,752	0,804	0,835	0,820	0,814	0,794
Fe ²⁺	0,215	0,221	0,154	0,114	0,154	0,126	0,157	0,153	0,182	0,164	0,136	0,179	0,161	0,161	0,167	0,139	0,162	0,134	0,176	0,169	0,136	0,105	0,121	0,135	0,156
Mn	0,000	0,030	0,000	0,065	0,067	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
Soma M1	1,000	1,000	1,000	0,982	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Mg			0,000	0,000	0,000																				0,000
Fe ²⁺	0,004	0,000	0,001	0,000	0,000	0,156	0,101	0,137	0,113	0,127	0,145	0,119	0,107	0,145	0,111	0,154	0,125	0,146	0,141	0,134	0,165	0,173	0,203	0,159	0,113
Mn	0,045	0,026	0,038	0,000	0,000	0,026	0,026	0,024	0,027	0,028	0,026	0,027	0,024	0,027	0,026	0,026	0,027	0,024	0,026	0,025	0,027	0,024	0,029	0,027	0,025
Ca	0,874	0,862	0,885	0,893	0,887	0,787	0,839	0,808	0,823	0,814	0,795	0,821	0,841	0,801	0,832	0,791	0,815	0,796	0,804	0,804	0,780	0,773	0,740	0,785	0,831
Na	0,078	0,111	0,077	0,124	0,113	0,031	0,032	0,031	0,035	0,029	0,032	0,031	0,029	0,026	0,031	0,029	0,032	0,033	0,028	0,037	0,029	0,030	0,027	0,030	0,030
K	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Soma M2	1,000	1,000	1,000	1,017	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Total	4,000	4,000	4,000	3,999	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
Jadeite activity																									
800°C			0,056	0,057	0,051																				0,025
900°C			0,047	0,050	0,043																				0,020
Hednbergite activity																									
800°C			0,15	0,108	0,16																				0,182
900°C			0,155	0,117	0,166																				0,191

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; /, em contato com; aci, acicular; cav, em cavidade; idio, idiomórfico; ints, intersticial; poi q, poiquilítico

ANEXO E - Tabela E.3 - Composição química de clinopiroxênios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade BtM				BtAgTNeS																						
Amostra MAI182C				MAI199																						
Cristal				89	89	90	91	91	92	92	92	93	93	94	95	95	96	96	97	97	98	99	100	1		
Textura ¹	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	/anf n	/anf b	/anf n	/anf	/anf poiq	<anf	/anf n	/anf b	n	b	n	n	b	/anf n	/anf b	/anf n	/anf b	/anf poiq	idio	/anf-rin	TÜ	
SiO ₂	51,54	49,76	52,43	51,88	51,44	51,77	51,21	51,70	51,48	51,27	51,35	51,36	51,13	52,08	51,25	51,05	51,51	51,56	51,54	51,54	51,73	51,73	51,94	52,25	51,88	
TiO ₂	0,51	0,69	0,65	0,53	0,96	0,91	0,97	0,46	0,82	1,23	1,02	0,83	1,11	0,89	1,21	1,08	0,96	0,90	0,81	1,30	1,16	0,63	0,80	0,92	1,08	
Al ₂ O ₃	1,16	1,83	1,53	1,40	1,10	1,55	1,05	1,09	0,98	1,03	1,06	1,04	1,03	1,06	1,01	0,99	0,90	0,92	1,07	1,02	1,14	1,05	1,08	1,12	1,00	
Cr ₂ O ₃							0,02			0,02				0,03			0,02	0,05	0,02		0,00		0,03	0,06		
ZrO ₂	0,04	0,05	0,05	0,03	1,07	0,89	0,88	0,34	0,70	1,07	0,86	0,93	0,97	0,79	1,18	0,89	0,95	0,93	1,00	0,64	1,01	0,35	0,29	0,37	1,04	
FeO _T	9,92	8,43	9,42	10,62	22,41	20,52	21,33	26,08	24,42	22,39	21,76	23,86	21,76	22,40	24,66	21,75	20,96	22,49	22,57	24,35	25,49	25,72	25,23	25,47	21,84	
MnO	0,86	0,70	0,85	0,92	1,66	1,73	1,68	0,64	1,09	1,72	1,76	1,35	1,78	1,48	1,15	1,73	1,72	1,59	1,39	1,24	1,14	0,98	0,96	0,87	1,86	
MgO	15,06	14,04	14,49	14,83	2,68	3,37	3,48	1,45	1,65	2,89	3,25	2,16	3,18	2,80	1,60	3,06	3,51	2,82	2,51	1,93	1,54	1,33	1,52	1,49	3,28	
CaO	18,77	18,94	20,40	19,85	7,80	8,70	9,17	3,56	5,47	8,25	8,78	6,37	8,75	7,25	4,49	8,53	8,87	7,56	6,43	6,07	4,77	4,62	4,99	4,36	9,07	
Na ₂ O	0,39	0,48	0,43	0,38	8,82	8,49	7,99	11,30	10,01	8,75	8,19	9,53	8,07	9,11	10,52	8,42	8,05	8,96	9,21	9,87	10,48	10,50	10,46	10,82	8,86	
K ₂ O	0,01	0,00	0,00	0,00		0,00	0,01		0,04	0,04		0,02		0,01	0,02	0,00	0,02	0,03	0,01	0,03	0,04	0,03	0,05	0,02	0,01	
Soma	98,26	94,92	100,25	100,45	97,94	97,93	97,79	96,62	96,65	98,66	98,04	97,44	97,78	97,89	97,10	97,50	97,46	97,81	96,57	98,00	98,48	96,94	97,35	97,75	99,92	
Fe ₂ O ₃	1,54	0,55	1,04	2,96	17,79	16,57	16,44	24,79	20,32	18,54	16,75	19,81	16,16	17,96	21,26	17,42	15,68	18,48	17,51	20,56	21,77	22,17	22,00	22,32	20,76	
FeO	8,54	7,93	8,49	7,96	6,40	5,61	6,54	3,77	6,13	5,71	6,69	6,04	7,22	6,24	5,54	6,08	6,85	5,86	6,81	5,85	5,90	5,77	5,43	5,39	3,16	
Total	98,42	94,98	100,35	100,75	98,65	98,70	98,54	98,77	97,98	99,43	98,86	98,50	98,43	98,88	98,05	98,36	98,07	98,68	97,30	99,42	99,66	98,81	99,24	99,55	102,00	
Número de cátions calculado na base de 6 oxigênios.																										
Si	1,951	1,947	1,948	1,926	1,987	1,988	1,981	1,993	2,005	1,967	1,982	1,989	1,983	2,003	1,987	1,980	1,998	1,990	2,012	1,982	1,980	2,003	2,001	2,002	1,957	
Al	0,049	0,053	0,052	0,061	0,013	0,012	0,019	0,007	0,000	0,033	0,018	0,011	0,017	0,000	0,013	0,020	0,002	0,010	0,000	0,018	0,020	0,000	0,000	0,000	0,043	
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,012	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	
Soma T	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,005	2,000	2,000	2,000	2,000	2,003	2,000	2,000	2,000	2,000	2,012	2,000	2,000	2,003	2,001	2,002	2,000	
Al	0,003	0,031	0,015	0,000	0,036	0,059	0,029	0,043	0,045	0,013	0,031	0,036	0,030	0,048	0,033	0,025	0,039	0,032	0,049	0,028	0,032	0,048	0,049	0,050	0,002	
Ti	0,014	0,019	0,018	0,015	0,027	0,025	0,027	0,013	0,023	0,034	0,029	0,023	0,031	0,025	0,034	0,030	0,027	0,025	0,023	0,036	0,032	0,018	0,022	0,026	0,030	
Fe ³⁺	0,044	0,016	0,029	0,070	0,517	0,479	0,479	0,719	0,596	0,535	0,487	0,577	0,472	0,520	0,620	0,508	0,458	0,537	0,514	0,595	0,627	0,646	0,638	0,644	0,561	
Zr	0,001	0,001	0,001	0,001	0,020	0,017	0,017	0,006	0,013	0,020	0,016	0,018	0,018	0,015	0,022	0,017	0,018	0,018	0,019	0,012	0,019	0,007	0,005	0,007	0,019	
Mg	0,850	0,819	0,803	0,821	0,154	0,193	0,201	0,083	0,096	0,165	0,187	0,125	0,184	0,161	0,093	0,177	0,203	0,162	0,146	0,111	0,088	0,077	0,088	0,085	0,184	
Fe ²⁺	0,088	0,114	0,134	0,094	0,207	0,180	0,212	0,122	0,200	0,183	0,216	0,195	0,234	0,201	0,180	0,197	0,222	0,189	0,222	0,188	0,189	0,187	0,175	0,173	0,129	
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,039	0,047	0,036	0,013	0,028	0,049	0,035	0,026	0,031	0,031	0,018	0,046	0,033	0,038	0,026	0,030	0,014	0,018	0,023	0,015	0,059	
Soma M1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,984	
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000																					0,000	
Fe ²⁺	0,182	0,146	0,130	0,154	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	0,028	0,023	0,027	0,029	0,016	0,009	0,019	0,008	0,008	0,007	0,023	0,018	0,028	0,017	0,020	0,011	0,024	0,014	0,020	0,011	0,023	0,014	0,008	0,013	0,000	
Ca	0,761	0,794	0,812	0,790	0,323	0,358	0,380	0,147	0,228	0,339	0,363	0,264	0,364	0,299	0,187	0,354	0,369	0,313	0,269	0,250	0,196	0,192	0,206	0,179	0,367	
Na	0,028	0,036	0,031	0,027	0,660	0,632	0,599	0,845	0,756	0,651	0,613	0,716	0,607	0,679	0,791	0,633	0,606	0,671	0,697	0,736	0,778	0,788	0,781	0,804	0,648	
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,003	0,001	0,000	
Soma M2	1,000	0,999	1,000	1,000	0,999	0,999	0,999	0,999	0,994	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,996	0,998	0,999	0,999	0,999	0,987	0,999	0,999	0,996	0,998	0,997	1,015
Total	4,000	3,999	4,000	4,000	3,999	3,999	3,999	3,999	3,999	3,999	3,999	3,999	3,999	3,999	3,998	3,999	3,999	3,999	3,999	3,999	3,999	3,999	3,999	3,999	3,999	
Jadeite activity																										
800°C	0,020	0,039	0,027	0,020																					0,043	
900°C	0,016	0,031	0,022	0,016																					0,042	
Hednbergite activity																										
800°C	0,149	0,157	0,172	0,139																					0,317	
900°C	0,16	0,168	0,181	0,151																					0,315	

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; /, em contato com; aci, acicular; cav, em cavidade; idio, idiomórfico; ints, intersticial; poiq, poiquilítico

ANEXO E - Tabela E.3 - Composição química de clinopiroxênios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia.

Unidade	BtAgtNeS				
Amostra	MAI199				
Cristal	2	3	4	5	6
Textura ¹	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ	TÜ
SiO ₂	51,40	51,91	52,85	51,93	52,22
TiO ₂	0,71	1,48	0,73	1,31	1,09
Al ₂ O ₃	0,78	0,96	1,02	0,96	1,08
Cr ₂ O ₃					
ZrO ₂	0,77	1,18	0,66	1,16	0,83
FeO _T	21,74	25,14	26,22	25,01	24,08
MnO	2,11	1,22	0,72	1,21	1,30
MgO	3,48	1,35	1,39	1,83	2,14
CaO	10,14	4,31	3,65	5,13	6,06
Na ₂ O	7,84	11,77	11,84	11,16	10,09
K ₂ O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06
Soma	98,97	99,33	99,09	99,71	98,95
Fe ₂ O ₃	18,79	27,59	27,55	26,55	22,25
FeO	4,83	0,32	1,43	1,12	4,06
Total	100,85	102,10	101,85	102,37	101,18
Número de cátions calculado na base de 6 oxigênios.					
Si	1,968	1,954	1,987	1,952	1,984
Al	0,032	0,043	0,013	0,043	0,016
Fe ³⁺	0,000	0,003	0,000	0,006	0,000
Soma T	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Al	0,003	0,000	0,032	0,000	0,032
Ti	0,020	0,041	0,020	0,037	0,030
Fe ³⁺	0,517	0,727	0,729	0,698	0,603
Zr	0,014	0,022	0,012	0,021	0,015
Mg	0,199	0,076	0,078	0,103	0,121
Fe ²⁺	0,179	0,061	0,096	0,082	0,162
Mn	0,068	0,039	0,023	0,038	0,035
Soma M1	1,000	0,966	0,989	0,979	1,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,001	0,000	0,000	0,000	0,006
Ca	0,416	0,174	0,147	0,207	0,247
Na	0,582	0,859	0,863	0,813	0,743
K	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003
Soma M2	0,999	1,033	1,010	1,020	0,999
Total	3,999	3,999	4,000	4,000	3,999
Jadeite activity					
800°C	0,035	0,041	0,043	0,040	0,047
900°C	0,033	0,041	0,043	0,040	0,046
Hednbergite activity					
800°C	0,42	0	0,743	0,133	0,437
900°C	0,419	0	0,717	0,134	0,437

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; /, em contato com; aci, acicular; cav, em cavidade; idio, idiomórfico; ints, intersticial; poiq, poiquilítico

ANEXO E - Tabela E.4 - Composição química de anfibólios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	BtHbNeS																BtHbIP							
Amostra	MAI036																MAI092I							
Cristal	1	1	2	2	3	3	3	4	4	5	5	5	6	6	7	7	8	8	9	10	11	11	12	
Textura ¹	->cpx n	->cpx b	->bt n	->bt b	n	nb	b	c/ lam n	c/ lam b	->cpx c/ lam n	->cpx c/ lam n	->cpx c/ lam b	->cpx c/ lam n	->cpx c/ lam b	->cpx c/ lam n	->cpx c/ lam b	->cpx n	->cpx b	->cpx	idio	idio n	idio b	->cpx/ bt n	
SiO ₂	39,57	39,12	39,46	39,38	39,49	39,51	38,56	39,64	38,78	40,11	39,51	40,14	39,64	39,27	39,83	39,40	40,41	40,16	39,03	39,38	39,49	39,45	40,27	
TiO ₂	4,60	3,56	4,07	3,72	3,48	4,38	2,59	4,47	2,26	3,79	4,06	2,89	2,65	3,74	1,80	2,30	2,39	1,38	2,30	1,41	1,37	1,28	2,63	
Al ₂ O ₃	12,26	12,77	12,21	12,52	12,15	12,39	12,78	12,96	13,39	12,26	12,37	13,94	12,02	12,50	12,57	12,72	11,75	11,52	11,56	11,61	11,47	11,72	11,59	
MnO	1,20	1,38	1,17	1,20	1,34	1,21	1,42	1,01	1,19	1,07	1,28	1,15	1,39	1,34	1,40	1,43	1,28	1,52	1,58	2,19	2,34	2,52	1,61	
FeO _T	15,83	17,64	16,51	17,13	17,69	16,32	18,85	14,49	17,62	14,59	15,91	16,07	18,05	16,57	18,48	18,61	16,77	19,90	21,11	21,34	21,30	21,74	17,99	
ZnO	0,03	0,06	0,09	0,06	0,04	0,08	0,05	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,04	0,02	0,05	0,07	0,04	0,07	0,08	0,12	0,07	0,13	0,03	
MgO	9,59	8,65	9,66	9,11	8,74	9,58	8,34	10,57	9,32	10,90	9,93	8,32	8,96	9,25	8,97	8,61	10,07	8,45	7,42	7,19	7,23	6,49	9,30	
CaO	10,55	10,99	10,74	11,00	10,89	10,68	10,88	10,75	10,77	10,91	10,67	10,05	10,88	10,84	11,12	10,94	10,96	10,16	10,39	10,24	10,38	10,22	10,59	
Na ₂ O	2,92	2,72	2,87	2,83	2,76	2,90	2,64	2,92	2,65	2,99	2,88	2,60	2,78	2,74	2,76	2,67	3,00	3,23	3,04	3,19	3,11	3,04	3,00	
K ₂ O	1,89	2,08	1,96	2,01	1,91	1,91	1,98	1,95	2,04	1,87	1,91	1,92	1,95	2,02	1,87	2,05	1,98	1,83	1,90	1,83	1,80	1,79	1,75	
F	0,02	0,01	0,02			0,00				0,01					0,01		0,01		0,00	0,01	0,00		0,00	
Cl	0,03	0,06	0,05	0,04	0,05	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05	0,02	0,04	0,05	0,06	0,05	0,05	0,01	0,02	0,04	0,01	0,00	0,02	0,02	
Soma	98,47	99,03	98,80	99,00	98,54	99,01	98,12	98,84	98,09	98,58	98,60	97,19	98,41	98,35	98,91	98,84	98,67	98,24	98,46	98,52	98,56	98,40	98,79	
FeO	6,81	9,14	7,10	8,57	9,62	6,89	10,12	5,30	8,83	5,97	6,52	11,38	10,05	8,10	11,14	10,66	8,65	11,74	11,82	12,59	12,78	13,94	9,52	
Fe ₂ O ₃	10,03	9,45	10,46	9,52	8,97	10,48	9,70	10,21	9,77	9,58	10,43	5,22	8,89	9,41	8,15	8,83	9,02	9,07	10,32	9,72	9,47	8,67	9,42	
Total	99,48	99,98	99,85	99,96	99,44	100,06	99,09	99,86	99,07	99,54	99,65	97,71	99,30	99,29	99,73	99,73	99,57	99,15	99,49	99,50	99,51	99,27	99,73	
Número de cátions calculado na base de 24 ânions.																								
Si	5,989	5,933	5,959	5,957	6,015	5,953	5,904	5,930	5,881	6,009	5,957	6,137	6,033	5,968	6,021	5,977	6,081	6,121	6,004	6,048	6,065	6,091	6,085	
Al	2,011	2,067	2,041	2,043	1,985	2,047	2,096	2,070	2,119	1,991	2,043	1,863	1,967	2,032	1,979	2,023	1,919	1,879	1,996	1,952	1,935	1,909	1,915	
Ti	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	
Soma T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	
Ti	0,524	0,406	0,462	0,423	0,399	0,497	0,298	0,503	0,258	0,427	0,461	0,332	0,303	0,428	0,205	0,262	0,271	0,159	0,266	0,163	0,158	0,149	0,299	
Al	0,176	0,216	0,132	0,189	0,196	0,154	0,210	0,215	0,274	0,174	0,155	0,649	0,189	0,207	0,261	0,251	0,165	0,191	0,100	0,150	0,141	0,223	0,149	
Fe ³⁺	1,143	1,078	1,188	1,084	1,028	1,188	1,117	1,150	1,114	1,080	1,184	0,599	1,018	1,077	0,928	1,008	1,021	1,039	1,195	1,124	1,094	1,007	1,070	
Zn	0,003	0,006	0,010	0,007	0,005	0,009	0,005	0,003	0,004	0,005	0,007	0,007	0,005	0,002	0,006	0,007	0,004	0,008	0,009	0,014	0,008	0,015	0,004	
Mn	0,129	0,177	0,135	0,153	0,162	0,132	0,169	0,108	0,123	0,131	0,140	0,060	0,172	0,162	0,170	0,171	0,163	0,186	0,206	0,285	0,302	0,312	0,180	
Fe ²⁺	0,861	1,159	0,897	1,083	1,225	0,869	1,296	0,663	1,121	0,748	0,822	1,455	1,279	1,029	1,408	1,353	1,089	1,497	1,521	1,617	1,641	1,800	1,203	
Mg	2,164	1,956	2,175	2,054	1,985	2,152	1,904	2,357	2,107	2,434	2,232	1,896	2,033	2,096	2,022	1,947	2,259	1,920	1,702	1,646	1,655	1,494	2,095	
Soma C	5,000	4,998	4,999	4,993	5,000	5,001	4,999	4,999	5,001	4,999	5,001	4,998	4,999	5,001	5,000	4,999	4,972	5,000	4,999	4,999	4,999	5,000	5,000	
Mn	0,024	0,000	0,014	0,000	0,011	0,022	0,015	0,020	0,030	0,004	0,024	0,089	0,007	0,010	0,009	0,013	0,000	0,010	0,000	0,000	0,003	0,018	0,026	
Ca	1,711	1,786	1,738	1,783	1,777	1,724	1,785	1,723	1,750	1,751	1,724	1,646	1,774	1,765	1,801	1,778	1,767	1,659	1,713	1,685	1,708	1,691	1,715	
Na	0,265	0,214	0,248	0,217	0,212	0,254	0,200	0,257	0,221	0,244	0,252	0,265	0,219	0,225	0,190	0,209	0,233	0,331	0,287	0,315	0,289	0,292	0,260	
Soma B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,001	1,999	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,001	2,001	
Na	0,592	0,586	0,592	0,613	0,603	0,593	0,583	0,590	0,559	0,624	0,590	0,506	0,601	0,583	0,619	0,577	0,642	0,624	0,619	0,635	0,637	0,618	0,619	
K	0,365	0,402	0,378	0,388	0,371	0,367	0,387	0,372	0,395	0,357	0,367	0,374	0,379	0,392	0,361	0,397	0,380	0,356	0,373	0,359	0,353	0,353	0,337	
Soma A	0,957	0,988	0,970	1,001	0,974	0,960	0,970	0,962	0,954	0,981	0,957	0,880	0,980	0,975	0,980	0,974	1,022	0,980	0,992	0,994	0,990	0,971	0,956	
F	0,007	0,004	0,007	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,003	0,000	0,002	0,007	0,002	0,000	0,001	
Cl	0,006	0,014	0,012	0,011	0,012	0,012	0,007	0,012	0,009	0,012	0,006	0,011	0,012	0,015	0,012	0,012	0,004	0,005	0,011	0,002	0,001	0,004	0,006	
Soma W	0,013	0,018	0,019	0,011	0,012	0,013	0,007	0,012	0,009	0,015	0,006	0,011	0,012	0,015	0,016	0,012	0,007	0,005	0,013	0,009	0,003	0,004	0,007	
Total	15,957	15,986	15,969	15,994	15,974	15,961	15,969	15,961	15,956	15,979	15,958	15,878	15,979	15,976	15,980	15,973	15,994	15,980	15,991	15,993	15,989	15,972	15,957	

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; //, em contato com; idio, idiomórfico; c/ lam, com lamelas de titanita.

ANEXO E - Tabela E.4 - Composição química de anfibólios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	BtHblP									N-I						QzAFS-I							
Amostra	MAI092I									MAI097B						MAI110							
Cristal	12	13	13	14	14	15	15	16	17	18	18	19	19	20	20	21	22	22	23	24	24	25	25
Textura ¹	->cpx/ bt																						
	b	->cpx n	->cpx b	idio n	idio b	->bt n	->bt b	->cpx	->cpx b	n	b	n	b	n	b	n	>cpx n	>cpx b	>cpx b	<- bt n	<- bt b	n1	n2
SiO ₂	39,14	40,38	39,74	39,49	38,81	38,91	39,26	39,53	40,00	51,71	52,69	52,93	52,36	52,29	50,69	49,01	52,86	49,95	49,77	51,18	49,45	49,24	49,73
TiO ₂	1,44	2,34	1,34	1,41	1,27	1,68	1,45	2,29	1,33	1,13	0,75	0,71	0,78	0,84	1,07	1,32	0,11	0,49	0,77	0,65	0,75	1,02	1,04
Al ₂ O ₃	11,78	11,45	11,52	11,74	11,79	11,19	11,40	11,56	10,95	3,47	2,54	2,28	2,56	2,75	3,96	5,22	1,27	2,20	1,79	1,34	2,84	3,30	3,23
MnO	1,99	2,03	2,51	2,57	2,57	2,62	2,55	1,86	2,51	1,89	2,00	2,14	2,28	1,97	1,92	2,11	2,46	2,85	3,32	2,88	2,85	2,37	2,65
FeO _T	21,35	16,79	20,34	20,93	22,05	22,45	21,05	20,93	20,59	10,38	10,35	10,73	11,20	10,36	9,86	12,01	19,79	23,19	24,19	21,11	21,25	18,65	19,38
ZnO	0,10	0,08	0,13	0,14	0,13	0,13	0,14	0,07	0,12	0,07	0,05	0,09	0,09	0,06	0,06	0,03	0,08	0,18	0,19	0,19	0,16	0,11	0,11
MgO	7,41	9,93	7,60	7,16	6,40	6,79	7,10	7,33	7,60	16,42	16,57	16,26	15,68	16,67	16,25	15,31	10,35	7,75	6,70	9,49	8,90	10,63	10,11
CaO	10,27	10,59	10,32	9,91	9,99	10,10	10,03	10,59	10,31	8,43	7,79	7,76	7,46	7,97	8,45	8,58	9,15	6,95	6,07	5,49	6,82	7,94	7,71
Na ₂ O	3,09	3,13	3,11	3,21	3,28	3,17	3,37	2,95	3,16	4,15	4,34	4,15	4,20	4,15	3,95	4,01	1,96	3,91	4,33	5,05	4,22	4,29	4,32
K ₂ O	1,92	1,67	1,79	1,85	1,92	1,89	1,78	1,85	1,82	1,07	0,94	0,97	0,96	0,93	1,08	1,14	0,48	1,04	1,00	0,87	1,14	0,90	0,90
F		0,02			0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02		0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,02	0,01	0,04
Cl	0,00	0,01		0,01	0,01	0,04	0,03	0,03	0,02	0,05	0,03	0,02			0,02	0,04	0,02	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01
Soma	98,49	98,41	98,40	98,41	98,23	98,98	98,16	99,01	98,41	98,76	98,06	98,05	97,59	98,02	97,31	98,78	98,55	98,58	98,17	98,27	98,42	98,48	99,24
FeO	12,13	8,24	12,12	12,06	12,90	11,94	11,98	12,47	12,44	8,10	8,03	8,38	8,64	7,79	7,57	6,83	15,83	20,57	21,26	17,88	18,38	16,39	17,02
Fe ₂ O ₃	10,25	9,50	9,13	9,86	10,17	11,68	10,08	9,40	9,06	2,54	2,58	2,61	2,85	2,86	2,54	5,75	4,40	2,91	3,25	3,59	3,19	2,51	2,63
Total	99,52	99,36	99,32	99,40	99,25	100,15	99,17	99,96	99,32	99,02	98,32	98,31	97,88	98,30	97,57	99,36	98,99	98,88	98,50	98,63	98,74	98,73	99,50
Número de cátions calculado na base de 24 ânions.																							
Si	6,004	6,094	6,091	6,061	6,007	5,983	6,054	6,053	6,141	7,438	7,591	7,634	7,606	7,539	7,386	7,095	7,802	7,626	7,682	7,730	7,513	7,412	7,448
Al	1,996	1,906	1,909	1,939	1,993	2,017	1,946	1,947	1,859	0,562	0,409	0,366	0,394	0,461	0,614	0,891	0,198	0,374	0,318	0,239	0,487	0,585	0,552
Ti	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	0,015	0,000	0,000	0,000	0,031	0,000	0,003	0,000
Soma T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,001	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Ti	0,166	0,266	0,154	0,162	0,148	0,194	0,168	0,264	0,154	0,122	0,081	0,077	0,086	0,091	0,117	0,129	0,013	0,056	0,089	0,042	0,085	0,112	0,117
Al	0,134	0,131	0,172	0,184	0,157	0,011	0,126	0,139	0,123	0,026	0,022	0,022	0,045	0,006	0,066	0,000	0,022	0,022	0,007	0,000	0,022	0,000	0,018
Fe ³⁺	1,182	1,078	1,053	1,139	1,184	1,352	1,169	1,083	1,048	0,275	0,279	0,284	0,311	0,310	0,279	0,627	0,488	0,335	0,378	0,408	0,364	0,284	0,297
Zn	0,012	0,009	0,015	0,015	0,015	0,015	0,016	0,008	0,013	0,007	0,005	0,010	0,010	0,006	0,006	0,003	0,009	0,020	0,022	0,021	0,018	0,013	0,012
Mn	0,254	0,242	0,315	0,314	0,337	0,336	0,333	0,235	0,326	0,075	0,086	0,100	0,103	0,065	0,080	0,110	0,236	0,177	0,218	0,134	0,158	0,142	0,168
Fe ²⁺	1,557	1,041	1,554	1,548	1,670	1,535	1,545	1,598	1,596	0,974	0,968	1,011	1,049	0,939	0,922	0,827	1,954	2,626	2,744	2,258	2,336	2,064	2,130
Mg	1,695	2,234	1,736	1,638	1,477	1,556	1,632	1,673	1,739	3,521	3,559	3,496	3,396	3,583	3,530	3,304	2,277	1,764	1,542	2,137	2,016	2,385	2,257
Soma C	5,000	5,001	4,999	5,000	4,988	4,999	4,989	5,000	4,999	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	4,999	5,000	5,000	5,000	4,999	5,000	4,999
Mn	0,004	0,018	0,011	0,020	0,000	0,005	0,000	0,007	0,000	0,155	0,158	0,161	0,177	0,176	0,157	0,148	0,071	0,192	0,216	0,235	0,208	0,160	0,168
Ca	1,688	1,712	1,695	1,630	1,657	1,664	1,657	1,738	1,696	1,299	1,203	1,199	1,161	1,231	1,319	1,331	1,447	1,137	1,004	0,888	1,110	1,281	1,237
Na	0,308	0,270	0,295	0,350	0,343	0,331	0,343	0,256	0,304	0,546	0,639	0,640	0,662	0,593	0,524	0,521	0,482	0,671	0,780	0,877	0,681	0,559	0,595
Soma B	2,000	2,000	2,001	2,000	2,000	2,000	2,000	2,001	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,999	2,000	2,000
Na	0,611	0,646	0,630	0,605	0,641	0,614	0,665	0,620	0,637	0,611	0,573	0,521	0,521	0,567	0,592	0,605	0,079	0,486	0,516	0,602	0,562	0,693	0,660
K	0,376	0,322	0,350	0,362	0,379	0,371	0,350	0,361	0,356	0,196	0,174	0,179	0,179	0,171	0,201	0,210	0,091	0,203	0,197	0,168	0,221	0,173	0,173
Soma A	0,987	0,968	0,980	0,967	1,020	0,985	1,015	0,981	0,993	0,807	0,747	0,700	0,700	0,738	0,793	0,815	0,170	0,689	0,713	0,770	0,783	0,866	0,833
F	0,000	0,008	0,000	0,000	0,006	0,002	0,002	0,009	0,001	0,000	0,008	0,003	0,005	0,011	0,000	0,005	0,004	0,011	0,005	0,002	0,009	0,004	0,019
Cl	0,001	0,002	0,000	0,002	0,002	0,010	0,007	0,008	0,004	0,012	0,007	0,005	0,000	0,000	0,005	0,009	0,006	0,012	0,008	0,005	0,004	0,004	0,003
Soma W	0,001	0,010	0,000	0,002	0,008	0,012	0,009	0,017	0,005	0,012	0,015	0,008	0,005	0,011	0,005	0,014	0,010	0,023	0,013	0,007	0,013	0,008	0,022
Total	15,987	15,969	15,980	15,967	16,008	15,984	16,004	15,982	15,992	15,807	15,747	15,700	15,700	15,738	15,793	15,816	15,169	15,689	15,713	15,770	15,781	15,866	15,832

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; //, em contato com; idio, idiomórfico; c/ lam, com lamelas de titanita.

ANEXO E - Tabela E.4 - Composição química de anfibólios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	QzAFS-I													BtHbIP									
Amostra	MAI110													MAI114									
Cristal	25	26	26	26	27	28	28	29	30	30	30	30	30	31	31	32	32	32	32	32	33	34	35
Textura ¹	b	n	nb	b	n	b	b	n	n1	n2	n3	n4	b	<-cpx	<-cpx	n1	n2	n3	n4	b	<-cpx	<-cpx	<-cpx
SiO ₂	49,79	49,17	48,98	49,94	49,11	49,49	48,98	49,01	51,45	48,99	48,65	49,05	48,65	40,58	40,59	40,18	39,78	40,34	40,06	41,11	40,12	40,29	40,38
TiO ₂	0,94	0,91	0,91	0,69	0,95	0,63	1,13	0,82	0,44	0,70	0,90	0,90	0,94	2,86	2,74	3,09	3,13	2,99	3,00	2,75	2,91	2,89	3,37
Al ₂ O ₃	1,79	3,49	2,08	1,99	2,65	2,04	1,55	2,58	1,54	3,52	3,51	2,65	2,05	13,00	12,68	12,97	13,18	13,10	13,12	13,16	12,87	13,03	12,71
MnO	3,31	2,59	3,10	3,11	2,91	3,17	3,43	3,01	2,73	2,59	2,62	2,84	3,28	1,12	1,04	1,20	1,25	1,19	1,19	1,27	1,18	1,12	1,27
FeO _T	24,59	18,35	27,03	24,24	22,39	24,21	28,09	23,97	19,30	19,85	20,31	22,73	25,42	16,47	16,04	16,60	16,92	17,06	16,98	16,68	16,62	15,91	16,10
ZnO	0,20	0,08	0,21	0,20	0,11	0,18	0,17	0,19	0,11	0,13	0,15	0,17	0,20	0,02	0,06	0,03	0,05	0,07	0,03	0,06	0,07	0,05	0,09
MgO	6,73	10,49	4,96	6,90	8,24	6,88	4,64	6,91	10,27	9,60	9,13	7,49	5,79	10,12	10,50	9,81	9,75	9,50	9,65	9,85	9,96	10,26	9,81
CaO	5,66	8,15	5,78	6,37	6,80	6,44	3,98	7,14	5,99	7,24	7,90	7,19	5,26	11,09	10,93	11,12	11,23	10,87	11,15	11,06	11,03	11,08	11,00
Na ₂ O	4,64	4,31	4,54	4,37	4,17	4,18	5,04	4,20	4,86	4,34	4,14	4,24	4,70	2,78	2,83	2,77	2,62	2,63	2,65	2,75	2,67	2,77	2,70
K ₂ O	1,12	0,90	1,14	0,99	0,97	1,04	1,30	1,00	1,21	1,28	1,03	1,02	1,25	1,85	1,84	1,87	1,95	1,85	1,91	1,78	1,83	1,80	1,75
F	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,02	0,01		0,01	0,01		0,00	0,00	0,01	0,02	0,00		0,01	0,02	0,01
Cl	0,01	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,04	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04		0,02	0,02	0,04	0,01	0,04	0,01	0,03
Soma	98,79	98,48	98,78	98,85	98,34	98,30	98,35	98,89	97,95	98,27	98,35	98,32	97,59	99,93	99,30	99,65	99,88	99,64	99,78	100,49	99,32	99,24	99,21
FeO	21,30	16,46	24,03	21,50	19,28	21,35	23,71	21,55	16,93	17,49	18,24	20,55	22,09	8,83	8,23	8,75	8,43	9,50	9,10	9,77	8,64	8,32	8,73
Fe ₂ O ₃	3,66	2,10	3,33	3,04	3,46	3,18	4,87	2,69	2,64	2,63	2,30	2,43	3,70	8,49	8,68	8,73	9,44	8,40	8,76	7,67	8,87	8,43	8,20
Total	99,16	98,69	99,11	99,15	98,69	98,62	98,84	99,16	98,21	98,53	98,58	98,56	97,97	100,78	100,17	100,52	100,83	100,48	100,65	101,25	100,21	100,08	100,03
Número de cátions calculado na base de 24 ânions.																							
Si	7,652	7,406	7,629	7,652	7,509	7,630	7,674	7,535	7,750	7,427	7,405	7,544	7,620	6,019	6,041	5,992	5,928	6,021	5,975	6,067	5,996	6,007	6,047
Al	0,324	0,594	0,371	0,348	0,478	0,370	0,286	0,465	0,250	0,573	0,595	0,456	0,378	1,981	1,959	2,008	2,072	1,979	2,025	1,933	2,004	1,993	1,953
Ti	0,023	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma T	7,999	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	7,999	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Ti	0,085	0,104	0,107	0,080	0,096	0,073	0,093	0,095	0,050	0,080	0,103	0,104	0,110	0,319	0,307	0,347	0,351	0,336	0,337	0,305	0,327	0,324	0,380
Al	0,000	0,025	0,010	0,012	0,000	0,001	0,000	0,002	0,023	0,056	0,035	0,024	0,000	0,292	0,265	0,271	0,242	0,325	0,281	0,356	0,263	0,297	0,290
Fe ³⁺	0,422	0,239	0,390	0,351	0,397	0,367	0,574	0,311	0,299	0,300	0,264	0,280	0,437	0,947	0,972	0,980	1,058	0,943	0,983	0,852	0,997	0,946	0,923
Zn	0,023	0,008	0,024	0,023	0,013	0,020	0,020	0,022	0,012	0,015	0,017	0,019	0,023	0,002	0,007	0,004	0,005	0,008	0,003	0,007	0,008	0,006	0,010
Mn	0,189	0,196	0,186	0,203	0,150	0,204	0,123	0,215	0,177	0,162	0,189	0,212	0,184	0,107	0,096	0,128	0,128	0,089	0,116	0,106	0,105	0,108	0,115
Fe ²⁺	2,738	2,073	3,131	2,755	2,466	2,754	3,106	2,771	2,132	2,217	2,321	2,643	2,893	1,096	1,024	1,091	1,051	1,187	1,135	1,207	1,080	1,038	1,094
Mg	1,542	2,355	1,152	1,576	1,878	1,581	1,084	1,584	2,306	2,170	2,072	1,717	1,352	2,238	2,329	2,181	2,166	2,114	2,146	2,167	2,219	2,281	2,190
Soma C	4,999	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	4,999	5,000	5,001	4,999	4,999	5,001	5,000	5,002	5,001	5,002	5,001	5,000	4,999	5,000	5,002
Mn	0,242	0,134	0,223	0,201	0,227	0,210	0,332	0,177	0,171	0,171	0,149	0,158	0,251	0,034	0,036	0,024	0,030	0,061	0,034	0,053	0,045	0,034	0,047
Ca	0,932	1,315	0,965	1,046	1,114	1,064	0,668	1,176	0,967	1,176	1,288	1,185	0,883	1,762	1,743	1,777	1,793	1,738	1,782	1,749	1,766	1,770	1,765
Na	0,826	0,551	0,813	0,754	0,659	0,726	0,999	0,647	0,862	0,653	0,563	0,657	0,867	0,203	0,221	0,199	0,177	0,200	0,184	0,198	0,189	0,196	0,188
Soma B	2,000	2,000	2,001	2,001	2,000	2,000	1,999	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,001	1,999	2,000	2,000	2,000	1,999	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Na	0,557	0,708	0,558	0,545	0,577	0,524	0,532	0,605	0,557	0,622	0,659	0,608	0,561	0,596	0,595	0,602	0,580	0,561	0,582	0,589	0,585	0,604	0,596
K	0,219	0,174	0,226	0,194	0,189	0,204	0,260	0,195	0,233	0,248	0,199	0,201	0,250	0,350	0,349	0,356	0,371	0,352	0,363	0,335	0,349	0,342	0,334
Soma A	0,776	0,882	0,784	0,739	0,766	0,728	0,792	0,800	0,790	0,870	0,858	0,809	0,811	0,946	0,944	0,958	0,951	0,913	0,945	0,924	0,934	0,946	0,930
F	0,005	0,004	0,002	0,003	0,005	0,005	0,008	0,017	0,007	0,006	0,000	0,003	0,004	0,000	0,001	0,001	0,003	0,008	0,001	0,000	0,007	0,008	0,002
Cl	0,002	0,006	0,012	0,009	0,007	0,009	0,006	0,006	0,010	0,002	0,004	0,009	0,010	0,011	0,010	0,000	0,005	0,006	0,010	0,004	0,010	0,004	0,007
Soma W	0,007	0,010	0,014	0,012	0,012	0,014	0,014	0,023	0,017	0,008	0,004	0,012	0,014	0,011	0,011	0,001	0,008	0,014	0,011	0,004	0,017	0,012	0,009
Total	15,774	15,882	15,785	15,740	15,766	15,728	15,791	15,800	15,789	15,870	15,859	15,808	15,810	15,946	15,944	15,960	15,952	15,914	15,946	15,924	15,933	15,946	15,932

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; //, em contato com; ídio, idiomórfico; c/ lam, com lamelas de titanita.

ANEXO E - Tabela E.4 - Composição química de anfibólios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	BtHbIP										HbIP												
Amostra	MAI114										MAI160												
Cristal	35	36	37	37	38	38	39	40	40	41	42	42	42	43	43	43	44	44	45	45	45	46	46
Textura ¹	<-cpx	<-cpx	n	b	<-cpx b	<-cpx n	<-cpx n	<-cpx n	<-cpx b	<-cpx	->cpx n	->cpx nb	->cpx b	->cpx n	->cpx n2	->cpx b	n	b	->cpx b	->cpx n2	->cpx n1	->cpx n1	->cpx n2
SiO ₂	40,16	40,14	40,61	39,78	39,54	40,03	40,04	40,12	40,37	40,66	39,89	40,36	38,59	40,27	39,97	38,76	39,75	38,97	38,75	39,65	39,78	39,46	40,03
TiO ₂	2,86	2,99	2,90	3,16	2,70	3,01	3,05	3,02	3,10	2,86	3,28	3,73	3,22	3,09	2,78	2,68	3,63	3,06	3,12	3,87	3,66	3,80	1,81
Al ₂ O ₃	13,20	13,07	12,91	13,65	13,46	13,07	12,72	12,80	12,76	12,97	12,33	12,73	13,39	12,90	13,53	13,32	12,89	13,28	13,30	13,06	12,72	13,10	13,89
MnO	1,18	1,30	1,27	1,25	1,21	1,21	1,46	1,26	1,31	1,24	1,34	1,13	1,46	1,14	1,27	1,46	1,22	1,47	1,36	1,21	1,31	1,18	1,15
FeO _T	16,45	16,12	16,32	16,37	16,53	16,40	16,82	16,23	16,45	15,94	19,57	18,80	21,95	17,72	19,26	22,11	19,81	22,07	21,87	18,83	19,13	18,62	19,32
ZnO	0,07	0,04	0,06	0,09	0,02	0,10	0,07	0,03	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,08	0,09	0,09	0,06	0,05	0,07	0,07	0,06
MgO	10,12	9,93	9,95	9,61	9,69	10,00	9,71	9,87	9,86	10,29	7,94	8,40	6,22	9,01	7,96	6,20	7,70	5,92	6,21	7,93	8,10	8,00	8,10
CaO	11,04	11,13	11,15	10,85	10,91	10,97	11,05	11,13	11,07	11,12	10,75	11,11	10,64	10,99	10,34	10,60	10,65	10,83	10,73	10,95	10,75	11,12	10,40
Na ₂ O	2,73	2,74	2,73	2,75	2,85	2,73	2,74	2,73	2,79	2,83	2,92	2,78	2,82	3,02	3,66	2,83	2,89	2,75	2,82	2,82	3,03	2,83	3,29
K ₂ O	1,81	1,81	1,80	1,87	1,78	1,74	1,82	1,82	1,81	1,80	1,78	1,79	1,88	1,74	1,10	1,91	1,84	1,81	1,84	1,74	1,72	1,90	1,43
F				0,01		0,02				0,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,00			0,01		0,01		0,00
Cl	0,03	0,04	0,05	0,02	0,00	0,04	0,07	0,02	0,02	0,04	0,04	0,01	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,07	0,02	0,05	0,03
Soma	99,65	99,31	99,75	99,41	98,70	99,32	99,56	99,03	99,61	99,82	99,91	100,90	100,27	99,99	99,99	99,99	100,50	100,28	100,12	100,18	100,30	100,13	99,51
FeO	8,29	8,58	9,14	8,28	8,53	8,25	8,56	8,78	8,72	8,46	11,31	10,98	12,86	10,14	11,09	13,55	11,13	14,26	13,38	10,85	10,37	10,63	12,17
Fe ₂ O ₃	9,07	8,38	7,98	8,99	8,89	9,06	9,18	8,28	8,59	8,31	9,18	8,69	10,10	8,43	9,08	9,51	9,64	8,68	9,43	8,87	9,74	8,88	7,94
Total	100,56	100,15	100,55	100,31	99,59	100,22	100,48	99,86	100,47	100,65	100,83	101,78	101,29	100,84	100,90	100,95	101,47	101,15	101,07	101,07	101,28	101,02	100,30
Número de cátions calculado na base de 24 ânions.																							
Si	5,969	5,997	6,043	5,938	5,938	5,976	5,988	6,017	6,021	6,029	6,022	6,017	5,866	6,018	5,978	5,904	5,969	5,936	5,900	5,967	5,971	5,944	6,000
Al	2,031	2,003	1,957	2,062	2,062	2,024	2,012	1,983	1,979	1,971	1,978	1,983	2,134	1,982	2,022	2,096	2,031	2,064	2,100	2,033	2,029	2,056	2,000
Ti	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
Soma T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Ti	0,320	0,336	0,325	0,355	0,305	0,338	0,343	0,341	0,348	0,319	0,372	0,418	0,368	0,347	0,313	0,307	0,410	0,351	0,357	0,438	0,413	0,431	0,204
Al	0,281	0,299	0,307	0,340	0,320	0,276	0,229	0,279	0,265	0,296	0,215	0,254	0,265	0,290	0,363	0,295	0,250	0,320	0,287	0,283	0,221	0,269	0,453
Fe ³⁺	1,014	0,942	0,893	1,010	1,005	1,018	1,033	0,934	0,965	0,927	1,043	0,976	1,156	0,949	1,021	1,089	1,090	0,996	1,080	1,005	1,099	1,007	0,896
Zn	0,007	0,005	0,006	0,009	0,002	0,011	0,008	0,003	0,008	0,007	0,006	0,006	0,005	0,006	0,006	0,008	0,010	0,010	0,007	0,005	0,007	0,008	0,006
Mn	0,104	0,134	0,124	0,113	0,127	0,102	0,151	0,134	0,135	0,126	0,148	0,112	0,162	0,135	0,135	0,165	0,119	0,164	0,154	0,125	0,145	0,150	0,105
Fe ²⁺	1,031	1,072	1,138	1,034	1,071	1,030	1,070	1,101	1,087	1,050	1,428	1,368	1,635	1,266	1,389	1,727	1,398	1,815	1,705	1,365	1,302	1,339	1,526
Mg	2,242	2,212	2,207	2,139	2,169	2,226	2,165	2,207	2,192	2,275	1,787	1,867	1,410	2,007	1,775	1,408	1,724	1,344	1,410	1,779	1,812	1,796	1,810
Soma C	4,999	5,000	5,000	5,000	4,999	5,001	4,999	4,999	5,000	5,000	4,999	5,001	5,001	5,000	5,002	4,999	5,001	5,000	5,000	5,000	4,999	5,000	5,000
Mn	0,045	0,030	0,036	0,045	0,028	0,050	0,034	0,026	0,030	0,030	0,023	0,031	0,026	0,010	0,027	0,023	0,036	0,025	0,021	0,029	0,021	0,000	0,041
Ca	1,758	1,782	1,778	1,735	1,756	1,755	1,770	1,788	1,769	1,767	1,739	1,775	1,733	1,760	1,657	1,730	1,713	1,767	1,751	1,766	1,729	1,795	1,670
Na	0,197	0,188	0,186	0,220	0,217	0,195	0,196	0,186	0,201	0,203	0,238	0,195	0,241	0,231	0,316	0,247	0,251	0,207	0,228	0,205	0,250	0,205	0,289
Soma B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,001	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,001	2,000	2,001	2,000	2,000	2,000	1,999	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Na	0,590	0,606	0,602	0,576	0,613	0,595	0,599	0,608	0,606	0,611	0,616	0,609	0,590	0,644	0,745	0,589	0,591	0,605	0,604	0,617	0,632	0,621	0,667
K	0,343	0,345	0,342	0,356	0,341	0,331	0,347	0,348	0,344	0,341	0,343	0,340	0,365	0,332	0,211	0,371	0,352	0,352	0,357	0,334	0,329	0,365	0,273
Soma A	0,933	0,951	0,944	0,932	0,954	0,926	0,946	0,956	0,950	0,952	0,959	0,949	0,955	0,976	0,956	0,960	0,943	0,957	0,961	0,951	0,961	0,986	0,940
F	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,001	0,008	0,006	0,008	0,005	0,008	0,002	0,000	0,000	0,005	0,000	0,005	0,000	0,002
Cl	0,008	0,010	0,013	0,006	0,001	0,011	0,018	0,005	0,005	0,009	0,010	0,004	0,010	0,011	0,011	0,012	0,010	0,008	0,014	0,019	0,006	0,013	0,007
Soma W	0,008	0,010	0,013	0,011	0,001	0,020	0,018	0,005	0,005	0,010	0,018	0,010	0,018	0,016	0,019	0,014	0,010	0,008	0,019	0,019	0,011	0,013	0,009
Total	15,932	15,951	15,944	15,932	15,954	15,927	15,945	15,955	15,950	15,952	15,958	15,951	15,956	15,977	15,958	15,959	15,944	15,956	15,961	15,951	15,960	15,986	15,940

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; //, em contato com; idio, idiomórfico; c/ lam, com lamelas de titanita.

ANEXO E - Tabela E.4 - Composição química de anfibólios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	HblP				NeS-II																		
Amostra	MAI160				MAI166I																		
Cristal	46	47	47	47	48	48	49	49	50	50	51	51	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57
Textura ¹	->cpx b	->cpx	ints n	ints b	>cpx n	>cpx b	n	b	->cpx n	->cpx b	->cpx n	->cpx b	->cpx n	->cpx b	->cpx n	-> bt n	-> bt b	->cpx n	->cpx b	->cpx n	->cpx b	n	b
SiO ₂	38,36	39,00	38,69	38,63	39,99	41,42	41,16	41,05	41,58	41,35	40,59	41,07	40,86	40,80	40,80	41,03	41,38	41,10	40,89	42,96	40,96	41,40	41,11
TiO ₂	2,55	2,56	2,23	2,33	1,36	1,55	1,73	1,66	1,51	1,46	1,77	1,70	1,48	1,36	1,38	1,43	1,13	1,48	1,60	1,21	1,48	1,36	1,62
Al ₂ O ₃	13,42	13,08	13,37	13,21	11,37	10,61	10,82	10,90	10,90	10,77	11,24	11,14	11,03	10,84	10,58	10,40	10,56	10,70	10,87	9,74	10,86	10,85	11,00
MnO	1,49	1,45	1,50	1,68	2,59	2,63	2,61	2,59	2,40	2,70	2,54	2,66	2,61	2,77	2,66	2,44	2,65	2,72	2,53	2,29	2,67	2,57	2,55
FeO _T	23,45	23,18	23,56	23,77	20,63	20,58	19,80	20,34	18,86	20,81	20,68	21,77	21,08	21,30	20,70	19,29	20,08	21,53	20,71	17,40	21,30	20,37	20,31
ZnO	0,06	0,03	0,09	0,09	0,14	0,11	0,18	0,12	0,10	0,14	0,16	0,16	0,13	0,18	0,10	0,15	0,14	0,12	0,11	0,06	0,15	0,10	0,14
MgO	5,48	5,92	5,51	5,23	7,55	7,42	8,19	7,71	8,97	7,50	7,63	7,00	7,64	7,12	7,53	9,23	7,90	7,15	7,85	10,37	7,64	8,17	7,64
CaO	10,56	10,39	10,46	10,22	9,95	9,85	9,85	10,17	10,16	10,07	10,20	9,78	9,92	9,62	9,63	10,11	9,75	9,90	10,33	10,55	10,18	10,06	10,32
Na ₂ O	2,88	3,04	2,77	2,99	3,32	3,40	3,50	3,20	3,33	3,43	3,29	3,53	3,42	3,56	3,53	3,48	3,54	3,44	3,32	3,35	3,36	3,41	3,30
K ₂ O	1,88	1,88	1,77	1,84	1,74	1,55	1,67	1,69	1,66	1,72	1,69	1,74	1,75	1,76	1,73	1,63	1,72	1,76	1,67	1,67	1,64	1,75	1,71
F		0,00	0,00	0,01		0,01	0,01						0,00	0,03	0,01	0,01			0,02	0,00		0,01	
Cl	0,05	0,03	0,05	0,06	0,00	0,02	0,01	0,00					0,00	0,03	0,02	0,00	0,01	0,03		0,01	0,01	0,01	0,01
Soma	100,18	100,57	100,00	100,06	98,64	99,15	99,53	99,44	99,47	99,95	99,79	100,55	99,93	99,36	98,66	99,21	98,86	99,93	99,90	99,61	100,25	100,06	99,71
FeO	14,49	14,09	15,17	14,93	11,88	13,48	11,25	12,73	11,13	13,15	12,12	13,08	12,23	12,84	12,40	9,92	12,63	13,35	12,36	10,84	12,57	12,14	12,98
Fe ₂ O ₃	9,96	10,10	9,32	9,83	9,72	7,89	9,51	8,45	8,59	8,51	9,52	9,65	9,84	9,40	9,23	10,42	8,28	9,09	9,28	7,29	9,71	9,15	8,15
Total	101,18	101,58	100,94	101,04	99,61	99,94	100,48	100,28	100,33	100,80	100,75	101,52	100,92	100,30	99,58	100,25	99,69	100,84	100,83	100,34	101,22	100,98	100,52
Número de cátions calculado na base de 24 ânions.																							
Si	5,862	5,917	5,914	5,914	6,109	6,303	6,210	6,225	6,242	6,248	6,138	6,183	6,166	6,210	6,235	6,178	6,291	6,229	6,176	6,399	6,171	6,219	6,223
Al	2,138	2,083	2,086	2,086	1,891	1,697	1,790	1,775	1,758	1,752	1,862	1,817	1,834	1,790	1,765	1,822	1,709	1,771	1,824	1,601	1,829	1,781	1,777
Ti	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
Soma T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Ti	0,293	0,292	0,256	0,268	0,156	0,178	0,196	0,190	0,170	0,166	0,201	0,193	0,168	0,155	0,158	0,162	0,129	0,169	0,182	0,135	0,168	0,153	0,185
Al	0,280	0,256	0,322	0,297	0,157	0,206	0,134	0,173	0,170	0,166	0,141	0,160	0,127	0,155	0,140	0,023	0,183	0,140	0,111	0,109	0,099	0,140	0,186
Fe ³⁺	1,145	1,154	1,073	1,131	1,117	0,902	1,079	0,966	0,970	0,967	1,083	1,093	1,117	1,077	1,060	1,180	0,947	1,036	1,054	0,817	1,101	1,034	0,928
Zn	0,007	0,003	0,010	0,010	0,015	0,012	0,020	0,014	0,011	0,016	0,018	0,018	0,015	0,020	0,011	0,017	0,015	0,013	0,012	0,007	0,016	0,011	0,016
Mn	0,175	0,168	0,144	0,188	0,317	0,302	0,309	0,301	0,273	0,334	0,304	0,317	0,311	0,343	0,330	0,297	0,329	0,334	0,312	0,278	0,317	0,307	0,319
Fe ²⁺	1,852	1,788	1,938	1,912	1,518	1,717	1,420	1,614	1,398	1,662	1,533	1,648	1,543	1,634	1,586	1,249	1,606	1,693	1,562	1,350	1,583	1,525	1,643
Mg	1,248	1,339	1,256	1,194	1,720	1,683	1,842	1,743	2,007	1,689	1,720	1,571	1,719	1,616	1,715	2,072	1,791	1,615	1,767	2,303	1,716	1,830	1,724
Soma C	5,000	5,000	4,999	5,000	5,000	5,000	5,001	4,999	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	4,999	5,000	5,000	5,001
Mn	0,018	0,019	0,050	0,030	0,019	0,037	0,024	0,032	0,032	0,011	0,021	0,022	0,023	0,014	0,015	0,015	0,013	0,015	0,012	0,011	0,023	0,020	0,008
Ca	1,729	1,689	1,713	1,676	1,629	1,606	1,592	1,652	1,634	1,630	1,653	1,578	1,604	1,569	1,577	1,631	1,588	1,608	1,672	1,684	1,643	1,619	1,674
Na	0,253	0,292	0,237	0,294	0,353	0,357	0,384	0,316	0,334	0,358	0,326	0,400	0,373	0,417	0,409	0,355	0,399	0,377	0,317	0,305	0,333	0,361	0,318
Soma B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,001	2,000	2,000	2,000	2,000	1,999	2,000	2,000	2,000	2,000	2,001	2,001	2,000	2,000	2,001	2,000	1,999	2,000	2,000
Na	0,600	0,602	0,584	0,593	0,631	0,646	0,640	0,625	0,635	0,647	0,639	0,630	0,627	0,634	0,637	0,661	0,644	0,633	0,656	0,662	0,648	0,633	0,651
K	0,367	0,364	0,345	0,359	0,339	0,301	0,321	0,327	0,318	0,332	0,326	0,334	0,337	0,342	0,337	0,313	0,334	0,340	0,322	0,317	0,315	0,335	0,330
Soma A	0,967	0,966	0,929	0,952	0,970	0,947	0,961	0,952	0,953	0,979	0,965	0,964	0,964	0,976	0,974	0,974	0,978	0,973	0,978	0,979	0,963	0,968	0,981
F	0,000	0,002	0,001	0,005	0,000	0,007	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,013	0,003	0,004	0,000	0,000	0,009	0,002	0,000	0,006	0,000
Cl	0,014	0,008	0,014	0,014	0,000	0,005	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,007	0,005	0,001	0,004	0,008	0,000	0,002	0,002	0,003	0,002
Soma W	0,014	0,010	0,015	0,019	0,000	0,012	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,020	0,008	0,005	0,004	0,008	0,009	0,004	0,002	0,009	0,002
Total	15,967	15,966	15,928	15,952	15,971	15,947	15,961	15,953	15,952	15,978	15,965	15,964	15,964	15,976	15,975	15,975	15,978	15,973	15,979	15,978	15,962	15,968	15,982

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; //, em contato com; idio, idiomórfico; c/ lam, com lamelas de titanita.

ANEXO E - Tabela E.4 - Composição química de anfibólios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	BtAgtnes																		
Amostra	MAI199																		
Cristal	58	58	59	59	60	60	60	61	62	62	62	63	63	64	65	66	66	66	66
Textura ¹	n	b	/cpx n	/cpx b	/cpx n	/cpx b1	/cpx b2	<cpx	/cpx n	/cpx b1	/cpx b2	/cpx n	/cpx n	/cpx n	<cpx	/cpx n	/cpx b1	/cpx b2	<cpx
SiO ₂	49,03	48,48	49,50	50,06	49,90	49,48	48,53	49,18	49,72	49,66	49,07	48,83	50,99	49,42	50,47	49,42	48,60	49,27	49,77
TiO ₂	1,67	1,94	1,56	1,41	1,38	1,08	1,55	1,54	1,68	1,39	1,43	1,38	0,92	1,38	1,06	1,43	1,60	1,30	1,34
Al ₂ O ₃	3,42	3,75	3,40	3,23	3,19	3,46	3,91	3,60	3,07	3,32	3,28	3,55	2,08	3,24	2,54	3,10	3,59	3,19	3,07
MnO	3,15	2,85	3,09	3,03	3,01	2,94	3,21	3,24	3,03	3,01	3,19	3,00	2,86	3,06	3,63	3,36	3,32	3,24	3,11
FeO _T	19,90	20,58	18,19	17,95	17,90	19,08	18,91	18,80	17,02	17,96	17,53	19,09	18,34	19,70	17,09	18,07	18,64	17,27	17,81
ZnO	0,15	0,20	0,13	0,17	0,11	0,10	0,14	0,12	0,12	0,15	0,15	0,18	0,13	0,20	0,13	0,14	0,17	0,15	0,15
MgO	8,39	7,86	9,60	9,38	9,85	9,02	9,04	8,74	10,32	9,62	9,94	9,02	9,84	8,27	10,08	9,22	8,50	9,69	9,75
CaO	2,89	2,25	3,64	3,18	3,01	2,45	3,48	2,73	3,54	2,89	3,99	4,02	3,11	2,20	3,40	3,42	2,95	3,03	2,72
Na ₂ O	7,83	8,03	7,31	7,50	7,74	8,07	7,41	7,75	7,29	7,48	7,12	7,13	7,67	7,95	7,43	7,43	7,48	7,75	7,85
K ₂ O	1,51	1,62	1,50	1,57	1,54	1,54	1,55	1,68	1,48	1,52	1,52	1,44	1,47	1,55	1,47	1,49	1,57	1,53	1,54
F		0,00	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01
Cl	0,03		0,01	0,01	0,03			0,01		0,03			0,00	0,00		0,01	0,01		
Soma	97,97	97,56	97,94	97,50	97,67	97,22	97,74	97,40	97,27	97,03	97,23	97,65	97,42	96,98	97,30	97,10	96,44	96,42	97,11
FeO	10,05	9,80	10,06	10,79	9,43	9,65	9,64	9,68	8,97	9,79	9,52	11,19	11,59	11,01	10,05	10,43	10,33	8,32	9,14
Fe ₂ O ₃	10,95	11,99	9,04	7,96	9,41	10,48	10,30	10,13	8,95	9,08	8,90	8,78	7,50	9,66	7,83	8,50	9,24	9,94	9,64
Total	99,07	98,76	98,85	98,30	98,61	98,27	98,77	98,42	98,16	97,94	98,13	98,53	98,17	97,95	98,09	97,95	97,37	97,41	98,08
Número de cátions calculado na base de 24 ânions.																			
Si	7,368	7,323	7,404	7,513	7,452	7,427	7,294	7,403	7,446	7,466	7,386	7,364	7,645	7,486	7,565	7,467	7,411	7,437	7,468
Al	0,606	0,668	0,596	0,487	0,548	0,573	0,693	0,597	0,542	0,534	0,582	0,631	0,355	0,514	0,435	0,533	0,589	0,563	0,532
Ti	0,027	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,012	0,000	0,032	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma T	8,001	8,001	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Ti	0,162	0,211	0,176	0,159	0,155	0,121	0,162	0,174	0,178	0,157	0,130	0,152	0,104	0,157	0,119	0,163	0,183	0,147	0,151
Al	0,000	0,000	0,003	0,085	0,013	0,039	0,000	0,042	0,000	0,054	0,000	0,000	0,013	0,065	0,014	0,019	0,056	0,005	0,011
Fe ³⁺	1,239	1,361	1,018	0,898	1,058	1,183	1,165	1,148	1,009	1,028	1,009	0,997	0,847	1,100	0,882	0,965	1,059	1,128	1,089
Zn	0,017	0,022	0,014	0,018	0,012	0,011	0,016	0,013	0,013	0,016	0,017	0,020	0,014	0,023	0,015	0,016	0,019	0,016	0,016
Mn	0,401	0,365	0,390	0,385	0,381	0,374	0,409	0,413	0,374	0,358	0,407	0,383	0,363	0,392	0,458	0,430	0,429	0,414	0,395
Fe ²⁺	1,262	1,239	1,257	1,355	1,177	1,212	1,212	1,219	1,123	1,230	1,198	1,411	1,453	1,396	1,260	1,318	1,318	1,052	1,146
Mg	1,879	1,770	2,141	2,099	2,193	2,018	2,025	1,961	2,304	2,156	2,230	2,028	2,199	1,868	2,252	2,077	1,932	2,181	2,181
Soma C	4,960	4,968	4,999	4,999	4,989	4,958	4,989	4,970	5,001	4,999	4,991	4,991	4,993	5,001	5,000	4,988	4,996	4,943	4,989
Mn	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,465	0,364	0,583	0,511	0,482	0,394	0,560	0,440	0,568	0,466	0,643	0,650	0,500	0,357	0,546	0,554	0,482	0,490	0,437
Na	1,535	1,636	1,416	1,489	1,518	1,606	1,440	1,560	1,421	1,510	1,357	1,350	1,500	1,643	1,451	1,446	1,518	1,510	1,563
Soma B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,001	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Na	0,747	0,716	0,704	0,694	0,723	0,743	0,720	0,702	0,696	0,671	0,721	0,734	0,729	0,692	0,709	0,730	0,693	0,758	0,721
K	0,289	0,312	0,286	0,301	0,293	0,295	0,297	0,323	0,283	0,292	0,292	0,277	0,281	0,300	0,281	0,287	0,305	0,295	0,295
Soma A	1,036	1,028	0,990	0,995	1,016	1,038	1,017	1,025	0,979	0,963	1,013	1,011	1,010	0,992	0,990	1,017	0,998	1,053	1,016
F	0,000	0,001	0,005	0,009	0,009	0,004	0,002	0,009	0,001	0,002	0,006	0,002	0,001	0,005	0,001	0,002	0,009	0,001	0,004
Cl	0,008	0,000	0,002	0,002	0,006	0,000	0,000	0,002	0,000	0,007	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,003	0,002	0,000	0,000
Soma W	0,008	0,001	0,007	0,011	0,015	0,004	0,002	0,011	0,001	0,009	0,006	0,002	0,002	0,006	0,001	0,005	0,011	0,001	0,004
Total	15,997	15,997	15,989	15,994	16,005	15,996	16,006	15,995	15,980	15,963	16,004	16,002	16,003	15,993	15,990	16,005	15,994	15,996	16,005

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; /, em contato com; idio, idiomórfico; c/ lam, com lamelas de titanita.

ANEXO E - Tabela E.5 - Composição química de titanitas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	BtHbNeS																NeS-I									
Amostra	MAI036																MAI060									
Cristal	1	2	2	2	2	2	3	4	4	5	5	6	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	12			
Textura ¹	<bt	idio n1	idio n2	idio n3	idio nb	idio b	<-bt/op	n	b	n	b	<-op	lam<-anf	lam<-anf	lam<-anf	idio/cpx n	idio/cpx nb	idio/cpx b	idio/rar	idio/rar	idio/cpx n	idio/cpx b	n			
SiO ₂	30,56	30,04	28,64	28,98	29,29	29,32	31,37	28,96	29,62	29,80	29,97	30,85	31,48	30,99	31,01	29,74	29,81	30,68	29,93	30,74	29,90	30,41	30,06			
TiO ₂	35,79	33,65	33,51	33,83	34,37	33,23	35,25	33,29	34,76	35,33	35,15	36,45	33,95	35,45	33,50	30,93	31,77	34,10	31,43	31,43	30,99	31,70	32,15			
ZrO ₂	0,39	1,20	0,64	0,61	0,67	1,05	0,51	0,92	1,12	0,95	0,81	0,17	0,31	0,34	0,55	1,47	1,52	0,20	1,39	0,61	1,43	0,83	1,15			
Al ₂ O ₃	1,33	1,37	1,57	1,61	1,59	1,46	1,49	1,53	1,31	1,37	1,44	1,31	2,14	1,48	2,15	1,59	1,65	0,90	1,68	1,66	1,68	1,88	1,73			
Fe ₂ O ₃	0,97	1,43	1,89	1,82	1,76	1,49	2,03	1,67	1,22	1,44	1,33	1,46	2,59	1,57	2,48	2,56	2,72	3,80	2,64	3,47	2,76	3,80	3,06			
MnO	0,15	0,14	0,18	0,13	0,21	0,18	0,11	0,15	0,10	0,15	0,16	0,14	0,20	0,10	0,18	0,17	0,19	0,16	0,18	0,13	0,17	0,20	0,17			
MgO	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01		0,99	0,07	0,67	0,02	0,02		0,03	0,04	0,05	0,03	0,04			
CaO	29,34	28,10	26,09	26,69	27,01	27,51	30,09	27,32	27,93	28,25	28,61	30,10	28,07	29,02	28,09	27,31	27,83	29,65	27,99	28,84	27,63	28,86	28,19			
Na ₂ O	0,05	0,13	0,10	0,07	0,06	0,11	0,07	0,08	0,09	0,15	0,12	0,06	0,39	0,06	0,24	0,13	0,09	0,19	0,10	0,17	0,13	0,09	0,11			
K ₂ O		0,00		0,01	0,00	0,04	0,05	0,00	0,04	0,01	0,02	0,00	0,19	0,12	0,17		0,00		0,01	0,07	0,00					
Nb ₂ O ₅	0,01	0,08	0,07	0,04	0,03	0,08	0,02	0,01	0,06	0,00			0,01	0,01	0,01			0,03	0,05	0,03	0,03	0,06	0,03			
La ₂ O ₃	0,18	0,42	0,61	0,55	0,50	0,58	0,11	0,52	0,37	0,53	0,46	0,31	0,20	0,19	0,27	0,62	0,46	0,08	0,49	0,20	0,42	0,28	0,44			
Ce ₂ O ₃	0,56	1,52	2,81	2,34	2,37	2,15	0,27	2,32	1,67	1,83	1,44	0,54	0,75	0,81	0,84	2,09	1,68	0,28	1,70	0,60	1,77	0,71	1,48			
Nd ₂ O ₃	0,20	0,71	1,94	1,60	1,49	1,06	0,02	1,20	0,72	0,92	0,66	0,16	0,36	0,32	0,35	0,74	0,58	0,04	0,65	0,18	0,65	0,26	0,55			
Y ₂ O ₃			0,07													0,12	0,10		0,06		0,10		0,07			
F	0,02			0,00	0,04		0,03	0,02	0,02		0,02	0,03	0,03			0,01			0,02	0,00	0,03	0,01	0,01			
Total	99,57	98,80	98,16	98,35	99,45	98,28	101,43	98,01	99,05	100,74	100,20	101,58	101,66	100,51	100,50	97,51	98,43	100,10	98,35	98,16	97,73	99,15	99,23			
Número de cátions calculado na base de 3 cátions.																										
Si	0,997	1,000	0,979	0,982	0,981	0,988	1,000	0,981	0,987	0,978	0,983	0,986	0,996	1,002	0,997	1,008	0,997	0,992	1,001	1,012	1,006	0,997	0,994			
Ti	0,878	0,842	0,861	0,862	0,865	0,842	0,845	0,848	0,871	0,872	0,867	0,876	0,808	0,862	0,810	0,788	0,799	0,829	0,791	0,778	0,784	0,781	0,800			
Zr	0,006	0,019	0,011	0,010	0,011	0,017	0,008	0,015	0,018	0,015	0,013	0,003	0,005	0,005	0,009	0,024	0,025	0,003	0,023	0,010	0,023	0,013	0,019			
Al	0,051	0,054	0,063	0,064	0,063	0,058	0,056	0,061	0,052	0,053	0,056	0,050	0,080	0,056	0,081	0,064	0,065	0,034	0,066	0,064	0,066	0,073	0,068			
Fe ³⁺	0,024	0,036	0,049	0,046	0,044	0,038	0,049	0,042	0,030	0,036	0,033	0,035	0,062	0,038	0,060	0,065	0,069	0,092	0,067	0,086	0,070	0,094	0,076			
Mn	0,004	0,004	0,005	0,004	0,006	0,005	0,003	0,004	0,003	0,004	0,005	0,004	0,005	0,003	0,005	0,005	0,005	0,004	0,005	0,004	0,005	0,006	0,005			
Mg	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,047	0,003	0,032	0,001	0,001	0,000	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002			
Ca	1,025	1,002	0,955	0,969	0,969	0,994	1,028	0,991	0,997	0,993	1,005	1,031	0,951	1,006	0,967	0,991	0,998	1,027	1,003	1,018	0,996	1,013	0,999			
Na	0,003	0,008	0,007	0,004	0,004	0,007	0,004	0,005	0,006	0,009	0,007	0,004	0,024	0,004	0,015	0,009	0,006	0,012	0,006	0,011	0,009	0,006	0,007			
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,008	0,005	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000			
Nb	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000			
La	0,002	0,005	0,008	0,007	0,006	0,007	0,001	0,007	0,005	0,006	0,006	0,004	0,002	0,002	0,003	0,008	0,006	0,001	0,006	0,002	0,005	0,003	0,005			
Ce	0,007	0,019	0,035	0,029	0,029	0,027	0,003	0,029	0,020	0,022	0,017	0,006	0,009	0,010	0,010	0,026	0,021	0,003	0,021	0,007	0,022	0,009	0,018			
Nd	0,002	0,008	0,024	0,019	0,018	0,013	0,000	0,015	0,009	0,011	0,008	0,002	0,004	0,004	0,004	0,009	0,007	0,000	0,008	0,002	0,008	0,003	0,007			
Y	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,001			
F	0,002	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,003	0,002	0,002	0,000	0,002	0,003	0,003	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,003	0,001	0,001			
Total	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000			

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; >, com inclusão de; /, em contato com; lam, lamelar; idio, idiomórfico; subidio, subidiomórfico; zon, zonada.

ANEXO E - Tabela E.5 - Composição química de titanitas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	NeS-I								BtHbIP															
Amostra	MAI060								MAI092I															
Cristal	12	12	13	13	13	14	14	14	15	15	16	17	18	18	18	18	19	20	20	21	22	22	23	
Textura ¹	nb	b	n	b1	b2	n	nb	b	idio n	idio b	->anf/ op	op/bt	zon n1	zon n2	zon nb	zon b	lam<bt	idio n	idio b	lam<bt	idio n	idio b		
SiO ₂	29,74	30,59	30,49	29,58	30,27	29,69	30,68	30,63	30,60	30,46	30,55	31,07	30,20	28,98	29,36	30,49	30,96	29,93	30,66	30,91	28,99	29,82	30,62	
TiO ₂	31,37	34,20	32,38	30,99	30,83	31,16	33,53	30,72	32,47	34,53	30,77	35,16	31,86	34,55	33,89	34,59	34,81	34,90	30,44	35,00	33,96	35,04	36,82	
ZrO ₂	1,37	0,24	0,37	1,32	0,76	1,14	0,15	0,71	0,58	1,46	0,83	0,18	0,57	0,47	0,53	0,81	0,01	0,66	0,69	0,33	0,62	0,45	0,20	
Al ₂ O ₃	1,58	0,82	1,36	1,60	1,80	1,63	0,94	1,66	2,34	1,49	2,47	1,39	1,62	1,36	1,37	1,27	1,96	1,27	2,79	1,74	1,35	1,28	0,52	
Fe ₂ O ₃	2,72	2,73	3,41	2,69	3,39	2,91	3,30	3,33	2,77	1,86	3,57	2,28	3,61	1,91	1,90	1,56	2,18	1,54	3,00	1,83	1,93	1,53	2,39	
MnO	0,16	0,08	0,19	0,19	0,17	0,17	0,11	0,16	0,09	0,09	0,17	0,10	0,06	0,17	0,18	0,15	0,20	0,17	0,24	0,12	0,21	0,14	0,13	
MgO	0,04		0,04	0,05	0,02	0,03	0,01	0,01	0,05	0,01	0,07	0,04	0,07	0,05	0,04	0,01	0,04	0,02	0,08	0,01	0,05	0,01	0,02	
CaO	27,51	29,47	28,84	27,37	29,10	28,29	29,77	29,39	29,09	29,80	28,69	29,58	29,09	26,66	27,61	29,45	30,06	28,71	29,00	30,33	27,15	28,30	29,69	
Na ₂ O	0,16	0,26	0,23	0,11	0,16	0,12	0,26	0,18	0,14	0,07	0,21	0,15	0,10	0,11	0,05	0,05	0,14	0,14	0,15	0,20	0,15	0,16	0,22	
K ₂ O	0,00	0,00	0,02			0,01	0,01		0,03	0,01	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,11	0,02	0,09	0,03	0,01		0,02	
Nb ₂ O ₅		0,00	0,01	0,04	0,01	0,02	0,04		0,02	0,09	0,07	0,04	0,04	0,02	0,01	0,00	0,05	0,03	0,02		0,03	0,07	0,06	
La ₂ O ₃	0,43	0,12	0,16	0,53	0,15	0,38	0,06	0,21	0,22	0,20	0,32	0,08	0,11	0,51	0,33	0,23		0,25	0,35	0,08	0,39	0,34	0,07	
Ce ₂ O ₃	1,87	0,57	0,69	1,92	0,64	1,49	0,35	0,66	0,59	0,53	0,76	0,30	0,87	2,07	1,60	0,61	0,05	1,19	0,76	0,15	2,18	1,29	0,23	
Nd ₂ O ₃	0,63	0,23	0,23	0,69	0,15	0,46	0,16	0,19	0,15	0,18	0,17	0,15	0,80	1,59	1,14	0,22	0,05	0,59	0,22	0,05	1,57	0,86	0,19	
Y ₂ O ₃	0,09			0,05		0,08								0,08	0,02						0,10			
F				0,01	0,02			0,03	0,03		0,02		0,03		0,02		0,03	0,02			0,03		0,03	
Total	97,67	99,32	98,42	97,14	97,47	97,59	99,36	97,89	99,18	100,77	98,71	100,52	99,04	98,53	98,04	99,46	100,64	99,44	98,50	100,78	98,71	99,30	101,20	
Número de cátions calculado na base de 3 cátions.																								
Si	1,002	0,998	1,003	1,004	1,003	0,996	0,997	1,011	0,996	0,984	1,000	0,999	0,993	0,979	0,988	0,997	0,988	0,985	1,003	0,987	0,976	0,986	0,983	
Ti	0,795	0,839	0,801	0,791	0,768	0,786	0,820	0,762	0,795	0,839	0,758	0,850	0,788	0,878	0,857	0,850	0,836	0,864	0,749	0,840	0,860	0,871	0,889	
Zr	0,023	0,004	0,006	0,022	0,012	0,019	0,002	0,011	0,009	0,023	0,013	0,003	0,009	0,008	0,009	0,013	0,000	0,011	0,011	0,005	0,010	0,007	0,003	
Al	0,063	0,032	0,053	0,064	0,070	0,064	0,036	0,065	0,090	0,057	0,095	0,053	0,063	0,054	0,054	0,049	0,074	0,049	0,108	0,066	0,053	0,050	0,020	
Fe ³⁺	0,069	0,067	0,084	0,069	0,085	0,073	0,081	0,083	0,068	0,045	0,088	0,055	0,089	0,049	0,048	0,038	0,052	0,038	0,074	0,044	0,049	0,038	0,058	
Mn	0,005	0,002	0,005	0,005	0,005	0,005	0,003	0,004	0,002	0,002	0,005	0,003	0,002	0,005	0,005	0,004	0,005	0,005	0,007	0,003	0,006	0,004	0,004	
Mg	0,002	0,000	0,002	0,002	0,001	0,002	0,000	0,001	0,003	0,000	0,003	0,002	0,003	0,003	0,002	0,001	0,002	0,001	0,004	0,000	0,003	0,001	0,001	
Ca	0,993	1,030	1,017	0,995	1,033	1,017	1,037	1,039	1,015	1,032	1,007	1,019	1,025	0,965	0,995	1,031	1,028	1,013	1,016	1,038	0,980	1,002	1,022	
Na	0,011	0,017	0,015	0,007	0,010	0,007	0,016	0,011	0,009	0,004	0,013	0,009	0,007	0,007	0,003	0,003	0,008	0,009	0,009	0,012	0,010	0,011	0,013	
K	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,001	0,004	0,001	0,000	0,000	0,001	
Nb	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	
La	0,005	0,001	0,002	0,007	0,002	0,005	0,001	0,003	0,003	0,002	0,004	0,001	0,001	0,006	0,004	0,003	0,000	0,003	0,004	0,001	0,005	0,004	0,001	
Ce	0,023	0,007	0,008	0,024	0,008	0,018	0,004	0,008	0,007	0,006	0,009	0,004	0,011	0,026	0,020	0,007	0,001	0,014	0,009	0,002	0,027	0,016	0,003	
Nd	0,008	0,003	0,003	0,008	0,002	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,009	0,019	0,014	0,003	0,001	0,007	0,003	0,001	0,019	0,010	0,002	
Y	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	
F	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,004	0,004	0,000	0,002	0,000	0,004	0,000	0,002	0,000	0,003	0,002	0,000	0,000	0,003	0,000	0,003	
Total	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; >, com inclusão de; /, em contato com; lam, lamelar; idio, idiomórfico; subidio, subidiomórfico; zon, zonada.

ANEXO E - Tabela E.5 - Composição química de titanitas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade Amostra Cristal	BtHbIP MAI092I 23	N-I MAI097B 24 24 24 25 25 25 26 26 26 27 27 27 28 29 29 29																BtHbIP MAI102 30 31 31 32 33 33					
Textura ¹		subido n	subido nb	subido b	n	nb	b	n	b	/mt b	/mt n	/mt n2	/mt b	/anf-mt	/mt n	/mt nb	/mt nb	<- op	nb	b cl	/op-cpx	n	n
SiO ₂	29,97	29,52	29,53	29,53	30,86	29,46	29,68	29,46	28,99	30,46	30,81	30,48	29,52	29,25	30,32	30,34	29,84	30,80	30,58	29,81	30,96	29,99	30,32
TiO ₂	34,76	33,71	33,04	33,85	36,91	32,31	34,79	32,69	32,75	35,14	34,07	33,52	31,70	31,74	32,90	34,72	32,01	37,54	34,43	34,07	35,25	33,09	32,53
ZrO ₂	0,62	0,48	0,56	0,44		0,12	0,29	0,57	0,49	0,01	0,05	0,04	0,49	0,13	0,14	0,10	0,07	0,22	0,73	2,34	0,51	1,37	1,00
Al ₂ O ₃	1,22	1,21	1,20	1,12	0,43	0,81	0,49	1,16	1,13	0,43	1,02	1,04	0,89	0,69	0,81	0,93	0,70	1,05	1,46	1,14	1,76	1,86	1,81
Fe ₂ O ₃	1,41	2,66	2,49	2,41	2,21	3,58	3,43	2,60	2,63	3,62	3,50	3,87	4,13	4,10	3,10	3,03	4,20	1,64	1,58	1,54	2,41	1,98	2,56
MnO	0,16	0,36	0,34	0,33	0,25	0,47	0,55	0,33	0,39	0,45	0,51	0,43	0,35	0,56	0,45	0,25	0,31	0,12	0,10	0,14	0,16	0,08	0,09
MgO	0,01					0,14	0,05						0,11	0,10				0,01		0,02	0,04	0,02	0,03
CaO	28,80	27,33	27,59	27,29	30,01	26,86	27,47	27,25	26,90	29,06	29,47	29,01	27,37	26,71	28,56	29,25	28,70	29,75	29,43	28,38	30,38	27,94	28,64
Na ₂ O	0,08	0,07	0,08	0,14	0,07	0,28	0,26	0,06	0,10	0,11	0,05	0,01	0,19	0,25	0,09	0,04	0,08	0,08	0,09	0,14	0,04	0,10	0,09
K ₂ O	0,02	0,02		0,03		0,01	0,02	0,01	0,08	0,03	0,00			0,01			0,01	0,01	0,00	0,11	0,08	0,00	0,02
Nb ₂ O ₅					0,00		0,06	0,04	0,01	0,05				0,01			0,01	0,00		0,02	0,05	0,06	0,01
La ₂ O ₃	0,28	0,45	0,52	0,51	0,01	0,43	0,31	0,54	0,47	0,15	0,02	0,23	0,43	0,47	0,25	0,06	0,14	0,17	0,31	0,37	0,09	0,50	0,32
Ce ₂ O ₃	1,25	1,93	1,97	2,21	0,21	1,93	1,17	1,99	2,01	0,56	0,15	0,78	1,28	1,78	0,95	0,62	0,86	0,32	0,77	1,22	0,27	1,52	1,33
Nd ₂ O ₃	0,61	0,86	0,86	0,92	0,09	0,89	0,44	1,08	0,96	0,18	0,02	0,13	0,43	0,74	0,25	0,36	0,61	0,16	0,29	0,54	0,09	0,50	0,46
Y ₂ O ₃	0,05	0,24	0,21	0,22		0,24	0,04	0,23	0,18				0,10	0,19		0,01	0,14						0,01
F	0,02	0,01	0,02	0,01		0,01	0,01		0,02			0,02		0,00				0,03				0,03	
Total	99,27							97,99	97,11	100,27	99,67	99,56	96,99	96,75	97,82	99,73	97,68	101,91	99,76	99,83	102,09	99,05	99,22
Número de cátions calculado na base de 3 cátions.																							
Si	0,989	0,988	0,992	0,989	0,991	0,996	0,985	0,997	0,989	0,991	1,000	0,997	0,998	0,997	1,009	0,990	0,997	0,983	0,997	0,985	0,981	0,995	0,998
Ti	0,863	0,849	0,835	0,852	0,892	0,822	0,868	0,832	0,840	0,860	0,831	0,824	0,806	0,814	0,824	0,852	0,804	0,901	0,844	0,846	0,840	0,826	0,805
Zr	0,010	0,008	0,009	0,007	0,000	0,002	0,005	0,009	0,008	0,000	0,001	0,001	0,008	0,002	0,002	0,002	0,001	0,003	0,012	0,038	0,008	0,022	0,016
Al	0,048	0,048	0,048	0,044	0,016	0,032	0,019	0,046	0,046	0,016	0,039	0,040	0,035	0,028	0,032	0,036	0,028	0,039	0,056	0,045	0,066	0,073	0,070
Fe ³⁺	0,035	0,067	0,063	0,061	0,053	0,091	0,086	0,066	0,068	0,089	0,085	0,095	0,105	0,105	0,078	0,075	0,106	0,039	0,039	0,038	0,057	0,049	0,063
Mn	0,004	0,010	0,010	0,009	0,007	0,013	0,016	0,009	0,011	0,013	0,014	0,012	0,010	0,016	0,013	0,007	0,009	0,003	0,003	0,004	0,004	0,002	0,003
Mg	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001
Ca	1,018	0,980	0,993	0,979	1,033	0,973	0,977	0,988	0,983	1,013	1,024	1,016	0,991	0,975	1,019	1,023	1,028	1,017	1,028	1,004	1,031	0,993	1,010
Na	0,005	0,005	0,005	0,009	0,004	0,018	0,017	0,004	0,006	0,007	0,003	0,001	0,013	0,017	0,006	0,003	0,005	0,005	0,006	0,009	0,003	0,007	0,006
K	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,004	0,003	0,000	0,001
Nb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
La	0,003	0,006	0,006	0,006	0,000	0,005	0,004	0,007	0,006	0,002	0,000	0,003	0,005	0,006	0,003	0,001	0,002	0,002	0,004	0,004	0,001	0,006	0,004
Ce	0,015	0,024	0,024	0,027	0,003	0,024	0,014	0,025	0,025	0,007	0,002	0,009	0,016	0,022	0,012	0,007	0,011	0,004	0,009	0,015	0,003	0,018	0,016
Nd	0,007	0,010	0,010	0,011	0,001	0,011	0,005	0,013	0,012	0,002	0,000	0,001	0,005	0,009	0,003	0,004	0,007	0,002	0,003	0,006	0,001	0,006	0,005
Y	0,001	0,004	0,004	0,004	0,000	0,004	0,001	0,004	0,003	0,000	0,000	0,000	0,002	0,004	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
F	0,002	0,001	0,002	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,002	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
Total	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; >, com inclusão de; /, em contato com; lam, lamelar; idio, idiomórfico; subidio, subidiomórfico; zon, zonada.

ANEXO E - Tabela E.5 - Composição química de titanitas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	BtHblP								arpk-QzS														
Amostra	MAI102								MAI108II														
Cristal	33	34	34	35	36	36	37	38	39	39	39	40	40	41	41	42	42	42	42	42	43	43	43
Textura ¹	b	idio/op	idio/op	/op	/bt	<-op<bt	<-op<cpx	/op<cpx	n	nb	b			<-ilm n	<-ilm b	n	n	nb	b	b	n	n	b
SiO ₂	30,30	30,72	30,92	30,75	31,30	30,95	30,68	31,09	30,07	30,60	30,71	30,27	30,95	30,94	30,75	29,89	29,75	30,50	31,20	30,79	30,66	30,07	30,50
TiO ₂	32,47	36,36	37,23	35,11	35,42	37,59	35,22	36,30	28,96	31,36	30,57	33,56	34,45	34,74	35,73	26,88	26,49	29,16	32,36	35,80	27,54	28,34	30,88
ZrO ₂	1,59	0,27	0,25	1,00	0,15	0,05	0,35	0,29	0,26	0,09	0,09	0,08	0,05	0,05	0,05	0,20	0,28	0,10	0,05	0,04	0,14	0,80	0,20
Al ₂ O ₃	2,08	1,69	1,38	1,90	2,44	1,20	0,92	1,30	2,09	2,22	3,60	0,78	0,75	0,97	1,01	3,27	2,90	3,00	2,48	0,94	3,96	2,50	2,77
Fe ₂ O ₃	2,27	1,76	1,84	1,80	1,27	1,40	2,62	2,38	4,04	3,61	2,14	2,97	3,23	4,12	2,84	4,94	4,74	4,12	2,91	2,64	4,64	4,87	3,77
MnO	0,09	0,14	0,12	0,09	0,07	0,15	0,16	0,14	0,38	0,38	0,19	0,33	0,30	0,54	0,56	0,36	0,38	0,42	0,35	0,44	0,45	0,42	0,36
MgO	0,00	0,01			0,03	0,02	0,15	0,05	0,20	0,15	0,05	0,07	0,05	0,04	0,05	0,41	0,37	0,24	0,29	0,03	0,38	0,40	0,23
CaO	29,02	29,90	30,31	30,38	30,10	30,49	28,61	29,40	27,57	28,25	29,66	28,72	28,65	29,68	29,60	27,50	27,28	28,54	29,77	29,87	28,38	27,64	28,10
Na ₂ O	0,08	0,09	0,06	0,04	0,08	0,08	0,07	0,06	0,09	0,09	0,05	0,12	0,07	0,07	0,08	0,04	0,10	0,07	0,06	0,06	0,07	0,09	0,10
K ₂ O	0,04	0,07	0,07	0,00	0,00	0,09	0,20	0,07	0,00		0,01		0,14	0,01	0,01	0,00	0,00		0,04	0,01		0,03	0,08
Nb ₂ O ₅	0,08	0,00	0,05	0,02		0,04	0,04	0,01		0,02	0,01	0,06			0,03			0,03	0,01	0,02	0,07	0,07	0,05
La ₂ O ₃	0,27	0,06	0,04	0,04	0,06	0,05	0,29	0,10	0,35	0,22	0,00	0,23	0,30	0,01	0,06	0,22	0,22	0,20		0,09	0,36	0,50	0,36
Ce ₂ O ₃	0,74	0,14	0,15	0,14	0,06	0,10	1,00	0,52	1,35	1,03	0,09	0,96	0,97	0,15	0,17	1,15	1,00	0,89		0,28	1,21	1,92	1,53
Nd ₂ O ₃	0,29	0,05	0,00	0,03	0,04	0,04	0,55	0,24	0,64	0,55	0,08	0,45	0,25	0,05	0,06	0,56	0,68	0,49	0,01	0,12	0,60	0,71	0,61
Y ₂ O ₃	0,03						0,07		0,19	0,20	0,02	0,18	0,00			0,82	1,06	0,27	0,13		0,15	0,09	0,03
F					0,03		0,00			0,02	0,03		0,00		0,01		0,02	0,03				0,04	0,03
Total	99,35	101,25	102,45	101,31	101,03	102,27	100,92	101,94	96,19	98,79	97,31	98,76	100,17	101,38	101,00	96,24	95,28	98,08	99,67	101,13	98,62	98,49	99,60
Número de cátions calculado na base de 3 cátions.																							
Si	0,993	0,980	0,977	0,981	0,995	0,978	0,995	0,992	1,016	1,005	1,004	1,000	1,008	0,989	0,986	1,003	1,010	1,002	1,001	0,987	1,000	0,998	0,995
Ti	0,800	0,872	0,885	0,842	0,847	0,894	0,859	0,871	0,736	0,775	0,751	0,834	0,844	0,835	0,862	0,679	0,676	0,721	0,780	0,863	0,675	0,707	0,758
Zr	0,025	0,004	0,004	0,016	0,002	0,001	0,006	0,005	0,004	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,005	0,002	0,001	0,001	0,002	0,013	0,003
Al	0,080	0,063	0,052	0,071	0,091	0,045	0,035	0,049	0,083	0,086	0,139	0,030	0,029	0,037	0,038	0,129	0,116	0,116	0,094	0,036	0,152	0,098	0,107
Fe ³⁺	0,056	0,042	0,044	0,043	0,030	0,033	0,064	0,057	0,103	0,089	0,053	0,074	0,079	0,099	0,069	0,125	0,121	0,102	0,070	0,064	0,114	0,122	0,093
Mn	0,002	0,004	0,003	0,002	0,002	0,004	0,004	0,004	0,011	0,011	0,005	0,009	0,008	0,015	0,015	0,010	0,011	0,012	0,010	0,012	0,012	0,012	0,010
Mg	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,007	0,002	0,010	0,007	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,020	0,019	0,012	0,014	0,001	0,018	0,020	0,011
Ca	1,019	1,022	1,026	1,038	1,025	1,033	0,994	1,005	0,998	0,994	1,038	1,017	1,000	1,016	1,017	0,989	0,992	1,005	1,023	1,026	0,992	0,983	0,983
Na	0,005	0,005	0,004	0,003	0,005	0,005	0,005	0,004	0,006	0,005	0,003	0,008	0,004	0,004	0,005	0,002	0,007	0,005	0,003	0,004	0,004	0,006	0,006
K	0,002	0,003	0,003	0,000	0,000	0,004	0,008	0,003	0,000	0,000	0,001	0,000	0,006	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,003
Nb	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
La	0,003	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,003	0,001	0,004	0,003	0,000	0,003	0,004	0,000	0,001	0,003	0,003	0,002	0,000	0,001	0,004	0,006	0,004
Ce	0,009	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,012	0,006	0,017	0,012	0,001	0,012	0,012	0,002	0,002	0,014	0,012	0,011	0,000	0,003	0,014	0,023	0,018
Nd	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,003	0,008	0,006	0,001	0,005	0,003	0,001	0,001	0,007	0,008	0,006	0,000	0,001	0,007	0,008	0,007
Y	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,015	0,019	0,005	0,002	0,000	0,003	0,002	0,000
F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000	0,004	0,004
Total	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; >, com inclusão de; /, em contato com; lam, lamelar; idio, idiomórfico; subidio, subidiomórfico; zon, zonada.

ANEXO E - Tabela E.5 - Composição química de titanitas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	arpkQzS	QzAFS-I																BtHbIP					
Amostra	MAI108II	MAI110																MAI114					
Cristal	44	45	45	45	46	46	47	47	47	47	48	48	49	49	49	49	49	50	50	50	51	51	52
Textura ¹	b	/mt n1	/mt n2	/mt b	/mt n	/mt b	/mt n1	/mt n2	/mt b1	/mt b2	n	b	n1	n2	n3	n4	b	n	nb	b	n	b	n
SiO ₂	30,33	30,06	29,85	30,37	29,48	29,46	29,80	30,02	29,97	29,63	29,93	30,37	29,90	29,89	29,84	29,75	30,11	29,91	30,03	30,43	29,48	30,15	30,26
TiO ₂	30,51	31,90	31,61	32,11	31,09	30,89	32,01	32,26	33,45	31,36	31,85	32,20	32,19	33,09	31,53	32,18	32,33	35,57	35,23	34,49	34,75	34,39	33,37
ZrO ₂	0,29	0,15	0,11	0,04	0,10	0,24	0,23	0,22	0,08	0,07	0,10	0,04	0,24	0,08	0,17	0,09	0,04	0,66	0,57	1,08	0,59	0,98	2,04
Al ₂ O ₃	2,46	0,46	0,55	0,54	0,33	0,36	0,49	0,52	0,53	0,59	0,58	0,55	0,36	0,34	0,36	0,42	0,52	1,20	1,32	1,52	1,18	1,39	1,55
Fe ₂ O ₃	3,63	4,46	4,49	4,91	5,41	4,82	4,42	4,27	4,00	4,49	4,03	4,01	4,57	4,13	4,54	4,91	4,81	1,57	1,63	1,90	1,57	1,49	1,87
MnO	0,40	0,35	0,44	0,39	0,44	0,42	0,37	0,44	0,51	0,39	0,38	0,38	0,39	0,41	0,49	0,43	0,41	0,17	0,17	0,11	0,20	0,16	0,13
MgO	0,19									0,01								0,04	0,03	0,01	0,04	0,02	0,03
CaO	28,13	27,54	27,05	27,97	26,36	25,92	27,83	27,53	28,31	27,00	27,18	27,71	26,95	27,35	26,45	27,86	27,96	28,43	28,95	29,15	27,76	28,79	29,14
Na ₂ O	0,10	0,42	0,45	0,23	0,59	0,78	0,46	0,41	0,36	0,50	0,43	0,42	0,59	0,49	0,70	0,34	0,30	0,07	0,03	0,06	0,09	0,11	0,05
K ₂ O	0,06			0,08		0,05				0,01	0,01	0,01				0,01	0,00			0,04		0,07	
Nb ₂ O ₅	0,02		0,02	0,02	0,01	0,04	0,01			0,01						0,02	0,03	0,05	0,06	0,03	0,02	0,05	0,05
La ₂ O ₃	0,25	0,19	0,24	0,16	0,19	0,19	0,18	0,12	0,09	0,24	0,25	0,18	0,24	0,20	0,20	0,22	0,17	0,40	0,29	0,28	0,39	0,24	0,29
Ce ₂ O ₃	1,00	1,00	1,17	0,78	0,81	0,87	0,99	0,72	0,64	1,12	1,26	0,97	0,90	0,82	0,90	0,93	0,79	1,32	1,20	0,69	1,61	0,84	0,51
Nd ₂ O ₃	0,53	0,44	0,62	0,56	0,50	0,62	0,48	0,46	0,38	0,75	0,66	0,55	0,54	0,42	0,55	0,51	0,49	0,63	0,56	0,27	0,87	0,33	0,13
Y ₂ O ₃	0,15	0,16	0,25	0,14	1,46	1,29	0,15	0,14	0,07	0,33	0,22	0,15	0,35	0,41	0,60	0,30	0,20	0,05	0,04		0,10		
F			0,02						0,02			0,02			0,03	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00			0,04
Total	98,05	97,13	96,85	98,30	96,78	95,96	97,43	97,10	98,39	96,50	96,89	97,55	97,21	97,67	96,33	97,98	98,17	100,07	100,11	100,07	98,64	99,01	99,45
Número de cátions calculado na base de 3 cátions.																							
Si	1,002	1,010	1,008	1,009	1,000	1,006	0,998	1,007	0,991	1,004	1,011	1,015	1,005	1,000	1,011	0,993	1,001	0,983	0,983	0,991	0,986	0,993	0,993
Ti	0,758	0,806	0,803	0,802	0,793	0,793	0,806	0,814	0,832	0,799	0,809	0,809	0,814	0,832	0,804	0,808	0,809	0,879	0,867	0,845	0,874	0,852	0,824
Zr	0,005	0,002	0,002	0,001	0,002	0,004	0,004	0,004	0,001	0,001	0,002	0,001	0,004	0,001	0,003	0,001	0,001	0,011	0,009	0,017	0,010	0,016	0,033
Al	0,096	0,018	0,022	0,021	0,013	0,015	0,019	0,021	0,020	0,023	0,023	0,022	0,014	0,014	0,014	0,016	0,020	0,046	0,051	0,058	0,046	0,054	0,060
Fe ³⁺	0,090	0,113	0,114	0,123	0,138	0,124	0,111	0,108	0,100	0,114	0,102	0,101	0,116	0,104	0,116	0,123	0,120	0,039	0,040	0,047	0,039	0,037	0,046
Mn	0,011	0,010	0,013	0,011	0,013	0,012	0,010	0,013	0,014	0,011	0,011	0,011	0,011	0,012	0,014	0,012	0,011	0,005	0,005	0,003	0,006	0,004	0,004
Mg	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002
Ca	0,996	0,991	0,979	0,995	0,958	0,948	0,998	0,990	1,003	0,980	0,983	0,992	0,971	0,980	0,961	0,997	0,996	1,001	1,015	1,017	0,995	1,016	1,025
Na	0,006	0,028	0,030	0,015	0,039	0,051	0,030	0,027	0,023	0,033	0,028	0,027	0,038	0,032	0,046	0,022	0,019	0,005	0,002	0,004	0,006	0,007	0,003
K	0,003	0,000	0,000	0,004	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000
Nb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001
La	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,003	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,005	0,004	0,003	0,005	0,003	0,003
Ce	0,012	0,012	0,014	0,010	0,010	0,011	0,012	0,009	0,008	0,014	0,016	0,012	0,011	0,010	0,011	0,011	0,010	0,016	0,014	0,008	0,020	0,010	0,006
Nd	0,006	0,005	0,007	0,007	0,006	0,008	0,006	0,005	0,005	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,007	0,006	0,006	0,007	0,007	0,003	0,010	0,004	0,002
Y	0,003	0,003	0,004	0,002	0,026	0,023	0,003	0,003	0,001	0,006	0,004	0,003	0,006	0,007	0,011	0,005	0,003	0,001	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000
F	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,003	0,001	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
Total	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; >, com inclusão de; /, em contato com; lam, lamelar; idio, idiomórfico; subidio, subidiomórfico; zon, zonada.

ANEXO E - Tabela E.5 - Composição química de titanitas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	BtHblP					N-II			HblP														
Amostra	MAI114					MAI136			MAI160														
Cristal	52	53	53	54	54	55	56	57	58	58	58	59	59	59	60	60	61	61	61	62	62	62	63
Textura ¹	b	> ilm n	> ilm b	n	b				b	nb	n	n	n	b	n	b	zon1	zon2	zon3	zon1	zon2	zon3	n
SiO ₂	30,28	30,02	29,65	30,27	30,35	29,38	29,56	29,65	30,37	30,17	30,84	30,43	30,75	30,33	30,25	30,88	31,17	30,20	30,58	30,29	29,88	30,07	30,99
TiO ₂	33,26	33,84	34,94	35,17	34,43	32,53	32,48	33,06	32,49	33,65	35,20	33,21	32,53	32,54	32,86	33,17	32,52	31,77	32,48	33,30	32,84	33,15	33,74
ZrO ₂	1,49	1,19	0,45	0,56	1,24	1,08	0,95	1,16	1,43	1,24	0,63	1,29	0,39	1,19	2,18	1,44	0,31	2,48	1,70	1,14	2,46	1,77	0,23
Al ₂ O ₃	1,68	1,65	1,40	1,34	1,23	0,96	0,84	0,88	1,76	1,72	1,44	1,57	3,50	1,67	1,74	1,55	2,93	1,57	1,64	1,59	1,54	1,70	2,19
Fe ₂ O ₃	1,96	2,08	1,72	1,69	1,58	2,83	3,32	2,73	1,99	1,96	1,26	1,71	1,26	1,92	1,98	1,79	1,93	1,83	1,94	1,89	1,77	1,83	2,10
MnO	0,15	0,19	0,17	0,15	0,19	0,35	0,38	0,35	0,09	0,07	0,09	0,09	0,00	0,11	0,12	0,11	0,02	0,11	0,09	0,10	0,12	0,10	0,05
MgO	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,05	0,07	0,05	0,01	0,01		0,00			0,01				0,00	0,02	0,01	0,01	
CaO	29,15	28,29	27,91	28,65	28,88	26,72	27,23	27,06	28,77	29,44	30,37	29,01	30,03	28,56	29,17	28,80	30,27	28,61	29,22	29,54	28,60	29,05	29,93
Na ₂ O	0,04	0,09	0,12	0,09	0,13	0,15	0,17	0,19	0,12	0,08	0,09	0,12	0,06	0,08	0,06	0,11	0,09	0,15	0,08	0,12	0,13	0,09	0,12
K ₂ O	0,08		0,00		0,01	0,01			0,10	0,02	0,02	0,00	0,00	0,08	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02			0,00	0,00
Nb ₂ O ₅	0,02		0,01	0,03	0,01	0,04	0,01	0,02	0,04	0,06	0,04	0,00	0,02	0,03	0,11	0,04	0,00	0,01	0,05	0,02	0,04	0,03	0,02
La ₂ O ₃	0,25	0,32	0,35	0,29	0,39	0,32	0,39	0,37	0,33	0,37	0,14	0,29	0,03	0,30	0,38	0,31	0,04	0,42	0,29	0,30	0,31	0,34	0,11
Ce ₂ O ₃	0,50	1,00	1,62	1,19	0,98	1,62	1,37	1,78	0,92	0,77	0,42	0,96	0,21	0,91	0,79	0,85	0,20	1,23	0,89	0,89	1,21	1,20	0,44
Nd ₂ O ₃	0,09	0,71	1,08	0,58	0,37	0,97	0,67	0,96	0,36	0,30	0,07	0,29	0,16	0,30	0,32	0,29	0,15	0,35	0,34	0,26	0,42	0,56	0,18
Y ₂ O ₃		0,05	0,14	0,03		0,31	0,23	0,26	0,05	0,02		0,03		0,04		0,02		0,03	0,01		0,06	0,07	
F	0,00	0,03	0,02		0,02		0,01	0,02		0,00	0,02	0,02	0,04	0,01			0,01	0,00				0,01	
Total	98,98	99,48	99,62	100,07	99,82	97,32	97,66	98,53	98,82	99,88	100,62	99,03	98,98	98,07	99,97	99,37	99,67	98,79	99,31	99,45	99,39	99,97	100,11
Número de cátions calculado na base de 3 cátions.																							
Si	0,994	0,990	0,982	0,991	0,995	1,000	0,998	0,998	1,002	0,984	0,991	1,002	0,993	1,007	0,990	1,013	1,000	1,003	1,004	0,991	0,988	0,986	0,997
Ti	0,821	0,839	0,870	0,866	0,849	0,832	0,825	0,837	0,806	0,826	0,851	0,822	0,790	0,813	0,809	0,818	0,785	0,793	0,802	0,819	0,817	0,818	0,816
Zr	0,024	0,019	0,007	0,009	0,020	0,018	0,016	0,019	0,023	0,020	0,010	0,021	0,006	0,019	0,035	0,023	0,005	0,040	0,027	0,018	0,040	0,028	0,004
Al	0,065	0,064	0,055	0,052	0,048	0,038	0,033	0,035	0,068	0,066	0,055	0,061	0,133	0,065	0,067	0,060	0,111	0,061	0,063	0,061	0,060	0,066	0,083
Fe ³⁺	0,048	0,052	0,043	0,042	0,039	0,073	0,084	0,069	0,049	0,048	0,030	0,042	0,031	0,048	0,049	0,044	0,047	0,046	0,048	0,046	0,044	0,045	0,051
Mn	0,004	0,005	0,005	0,004	0,005	0,010	0,011	0,010	0,002	0,002	0,003	0,002	0,000	0,003	0,003	0,003	0,000	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,001
Mg	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000
Ca	1,025	0,999	0,990	1,005	1,014	0,974	0,985	0,976	1,017	1,029	1,046	1,023	1,039	1,016	1,023	1,012	1,041	1,018	1,028	1,035	1,014	1,021	1,032
Na	0,003	0,006	0,008	0,006	0,008	0,010	0,011	0,012	0,008	0,005	0,006	0,008	0,004	0,005	0,004	0,007	0,006	0,010	0,005	0,008	0,008	0,006	0,007
K	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,001	0,001	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Nb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000
La	0,003	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004	0,005	0,005	0,004	0,004	0,002	0,003	0,000	0,004	0,005	0,004	0,000	0,005	0,003	0,004	0,004	0,004	0,001
Ce	0,006	0,012	0,020	0,014	0,012	0,020	0,017	0,022	0,011	0,009	0,005	0,012	0,002	0,011	0,009	0,010	0,002	0,015	0,011	0,011	0,015	0,014	0,005
Nd	0,001	0,008	0,013	0,007	0,004	0,012	0,008	0,012	0,004	0,003	0,001	0,003	0,002	0,004	0,004	0,003	0,002	0,004	0,004	0,003	0,005	0,007	0,002
Y	0,000	0,001	0,003	0,000	0,000	0,006	0,004	0,005	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
F	0,000	0,003	0,002	0,000	0,002	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,002	0,002	0,004	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Total	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; >, com inclusão de; /, em contato com; lam, lamelar; idio, idiomórfico; subidio, subidiomórfico; zon, zonada.

ANEXO E - Tabela E.5 - Composição química de titanitas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	HbIP					NeS-II										BtAgNeS									
Amostra	MAI160					MAI166I										MAI199									
Cristal	63	63	63	64	64	65	65	66	66	67	67	67	68	68	68	69	69	69	70	70	70	70	71		
Textura ¹	n	n	b	/mt	/mt	n	b	n	b	zon1	zon2	zon3	zon1	zon2	b	n	n	b	n	n	nb	b	<mt n		
SiO ₂	29,84	30,31	30,53	30,54	30,84	30,56	30,12	30,10	30,66	29,79	30,39	30,15	29,80	30,00	30,17	30,29	29,87	29,72	30,10	30,56	30,03	29,82	29,92		
TiO ₂	32,18	32,45	33,70	33,73	34,10	31,93	30,65	33,13	30,39	32,95	32,06	30,65	33,49	32,82	31,68	35,85	33,91	33,71	34,57	36,44	33,90	33,38	34,93		
ZrO ₂	2,46	2,48	1,19	1,02	0,44	1,33	1,58	0,97	1,99	0,91	0,96	1,34	0,90	0,79	1,26	0,23	0,59	0,91	0,42	0,18	0,56	0,96	0,70		
Al ₂ O ₃	1,57	1,63	1,71	2,06	2,04	2,08	1,82	1,39	2,09	1,43	1,99	1,87	1,25	1,44	2,01	0,29	0,39	0,39	0,37	0,23	0,38	0,41	0,37		
Fe ₂ O ₃	1,83	1,83	2,02	2,11	2,60	3,03	3,30	2,38	3,46	2,53	3,19	3,26	2,27	2,49	2,86	1,58	2,48	2,36	2,21	1,31	2,43	2,60	2,47		
MnO	0,11	0,11	0,11	0,09	0,09	0,18	0,20	0,16	0,12	0,20	0,16	0,18	0,17	0,19	0,18	0,17	0,24	0,27	0,24	0,20	0,27	0,30	0,29		
MgO			0,00	0,02	0,00	0,10	0,09	0,02	0,08	0,04	0,07	0,07	0,02	0,03	0,09		0,01	0,04	0,01	0,00	0,03	0,04	0,03		
CaO	28,62	29,10	28,81	29,41	30,19	28,79	28,68	27,80	28,62	28,04	29,34	28,81	27,81	28,27	28,52	26,41	26,25	25,62	26,18	26,45	26,33	25,98	26,22		
Na ₂ O	0,18	0,10	0,10	0,11	0,06	0,19	0,23	0,15	0,19	0,14	0,20	0,24	0,13	0,12	0,23	1,31	1,06	1,05	1,06	1,43	1,08	1,03	1,20		
K ₂ O	0,01		0,08	0,00		0,00	0,03			0,00		0,13		0,00	0,06	0,01		0,02		0,01			0,02		
Nb ₂ O ₅	0,04	0,09	0,00	0,03	0,03	0,07	0,06	0,02	0,06	0,03	0,07	0,01	0,02	0,03	0,04		0,03	0,03	0,02		0,03	0,04			
La ₂ O ₃	0,44	0,32	0,41	0,18	0,09	0,31	0,25	0,56	0,28	0,54	0,25	0,27	0,43	0,40	0,33	0,34	0,36	0,38	0,28	0,22	0,31	0,38	0,41		
Ce ₂ O ₃	1,08	0,85	1,06	0,27	0,26	0,80	0,86	1,79	0,78	1,78	0,63	0,80	1,93	1,58	1,09	0,85	1,31	1,41	1,24	1,02	1,15	1,47	1,43		
Nd ₂ O ₃	0,33	0,25	0,39	0,05	0,06	0,25	0,33	0,56	0,17	0,59	0,20	0,25	0,80	0,57	0,30	0,38	0,63	0,85	0,48	0,44	0,56	0,70	0,64		
Y ₂ O ₃	0,01	0,01	0,04			0,00	0,04	0,11	0,00	0,12		0,04	0,14	0,08	0,03			0,03				0,00			
F	0,00				0,01		0,02		0,04	0,02	0,03	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01			0,01		0,02	0,00	0,01		
Total	98,70	99,52	100,16	99,62	100,79	99,62	98,28	99,14	98,94	99,12	99,53	98,09	99,15	98,82	98,87	97,71	97,13	96,80	97,19	98,49	97,08	97,11	98,63		
Número de cátions calculado na base de 3 cátions.																									
Si	0,992	0,997	0,996	0,991	0,987	0,997	0,997	1,000	1,008	0,990	0,989	0,996	0,993	0,996	0,993	1,005	1,004	1,007	1,009	1,005	1,008	1,006	0,992		
Ti	0,804	0,802	0,827	0,823	0,821	0,783	0,763	0,828	0,751	0,823	0,784	0,762	0,839	0,820	0,784	0,894	0,857	0,859	0,872	0,901	0,855	0,847	0,871		
Zr	0,040	0,040	0,019	0,016	0,007	0,021	0,025	0,016	0,032	0,015	0,015	0,022	0,015	0,013	0,020	0,004	0,010	0,015	0,007	0,003	0,009	0,016	0,011		
Al	0,061	0,063	0,066	0,079	0,077	0,080	0,071	0,055	0,081	0,056	0,076	0,073	0,049	0,056	0,078	0,011	0,015	0,016	0,015	0,009	0,015	0,016	0,014		
Fe ³⁺	0,046	0,045	0,050	0,052	0,063	0,074	0,082	0,059	0,085	0,063	0,078	0,081	0,057	0,062	0,071	0,039	0,063	0,060	0,056	0,032	0,061	0,066	0,062		
Mn	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,005	0,006	0,005	0,003	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,007	0,008	0,007	0,005	0,008	0,009	0,008		
Mg	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,005	0,005	0,001	0,004	0,002	0,004	0,004	0,001	0,001	0,005	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,002	0,001		
Ca	1,019	1,025	1,007	1,023	1,035	1,006	1,017	0,990	1,008	0,998	1,023	1,020	0,993	1,006	1,005	0,938	0,946	0,930	0,941	0,932	0,947	0,939	0,932		
Na	0,011	0,006	0,007	0,007	0,003	0,012	0,015	0,010	0,012	0,009	0,012	0,015	0,008	0,008	0,015	0,084	0,069	0,069	0,069	0,091	0,070	0,067	0,077		
K	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001		
Nb	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000		
La	0,005	0,004	0,005	0,002	0,001	0,004	0,003	0,007	0,003	0,007	0,003	0,003	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,005	0,003	0,003	0,004	0,005	0,005		
Ce	0,013	0,010	0,013	0,003	0,003	0,010	0,010	0,022	0,009	0,022	0,007	0,010	0,024	0,019	0,013	0,010	0,016	0,017	0,015	0,012	0,014	0,018	0,017		
Nd	0,004	0,003	0,005	0,001	0,001	0,003	0,004	0,007	0,002	0,007	0,002	0,003	0,009	0,007	0,004	0,004	0,008	0,010	0,006	0,005	0,007	0,008	0,008		
Y	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,002	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	0,000	0,004	0,002	0,003	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,001		
Total	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000		

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; >, com inclusão de; /, em contato com; lam, lamelar; idio, idiomórfico; subidio, subidiomórfico; zon, zonada.

ANEXO E - Tabela E.5 - Composição química de titanitas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia.

Unidade	BtAgtNeS								
Amostra	MAI199								
Cristal	71	71	72	72	73	73	74	74	74
Textura ¹	<mt b		zon1	zon2	n	b	n	nb	b
SiO ₂	29,84	30,01	29,91	30,10	29,65	29,53	29,99	30,12	29,89
TiO ₂	34,09	34,90	34,47	35,71	35,71	33,76	34,31	35,36	34,47
ZrO ₂	0,91	0,54	0,65	0,25	0,41	0,95	0,28	0,30	0,48
Al ₂ O ₃	0,41	0,37	0,37	0,32	0,39	0,39	0,44	0,39	0,43
Fe ₂ O ₃	2,70	2,14	2,11	1,52	2,17	2,60	2,30	2,01	2,43
MnO	0,29	0,25	0,29	0,22	0,26	0,26	0,18	0,25	0,22
MgO	0,04	0,03	0,02		0,03	0,04	0,02	0,02	0,01
CaO	26,00	26,28	26,13	26,37	26,48	25,60	27,03	26,19	26,59
Na ₂ O	1,11	1,17	1,15	1,34	1,09	1,08	0,74	1,24	0,91
K ₂ O	0,01	0,00		0,02	0,00	0,01			0,02
Nb ₂ O ₅	0,06		0,04		0,05	0,03	0,00	0,02	0,01
La ₂ O ₃	0,42	0,38	0,37	0,31	0,30	0,38	0,42	0,30	0,52
Ce ₂ O ₃	1,51	1,10	1,41	0,99	1,09	1,48	1,56	1,20	1,66
Nd ₂ O ₃	0,72	0,51	0,75	0,51	0,41	0,75	0,61	0,60	0,68
Y ₂ O ₃	0,00					0,02	0,10	0,01	0,06
F		0,00	0,02	0,03		0,01			
Total	98,10	97,69	97,68	97,69	98,04	96,90	98,01	98,00	98,38

Número de cátions calculado na base de 3 cátions.

Si	0,998	1,001	1,001	1,000	0,986	1,000	1,002	1,001	0,997
Ti	0,857	0,875	0,868	0,892	0,893	0,860	0,862	0,883	0,865
Zr	0,015	0,009	0,011	0,004	0,007	0,016	0,005	0,005	0,008
Al	0,016	0,015	0,014	0,013	0,015	0,016	0,017	0,015	0,017
Fe ³⁺	0,068	0,054	0,053	0,038	0,054	0,066	0,058	0,050	0,061
Mn	0,008	0,007	0,008	0,006	0,007	0,007	0,005	0,007	0,006
Mg	0,002	0,001	0,001	0,000	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
Ca	0,931	0,939	0,937	0,938	0,943	0,929	0,968	0,932	0,950
Na	0,072	0,075	0,074	0,086	0,070	0,071	0,048	0,080	0,059
K	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001
Nb	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
La	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,005	0,005	0,004	0,006
Ce	0,018	0,013	0,017	0,012	0,013	0,018	0,019	0,015	0,020
Nd	0,009	0,006	0,009	0,006	0,005	0,009	0,007	0,007	0,008
Y	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001
F	0,000	0,000	0,002	0,003	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Total	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; -> substituindo; < incluso em; >, com inclusão de; /, em contato com; lam, lamelar; idio, idiomórfico; subidio, subidiomórfico; zon, zonada.

ANEXO E - Tabela E.6 - Composição química de biotitas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	BtHbNeS															mA					BtHbIP				
Amostra	MAI036															MAI070B					MAI092I				
Cristal	1	1	2	2	3	3	4	5	5	6	6	6	7	7	8	9	10	11	12	12	13	13	14		
Textura ¹	n	b	n	b	n	b	>mt-ap	<-anf n	<-anf b	n	/ttn	b	n	b	ints		ints	ints	ints n	ints b	<-anf n	<-anf b	n		
SiO ₂	35,68	35,49	35,91	35,79	35,92	35,71	35,34	36,69	36,33	36,13	36,00	36,17	36,00	35,91	39,48	42,14	37,45	40,16	40,08	40,69	35,62	35,87	36,16		
Al ₂ O ₃	14,63	14,74	14,75	15,14	14,82	15,11	15,38	14,94	15,15	15,16	15,06	15,54	14,87	15,48	8,77	7,93	9,51	8,38	8,20	8,66	14,11	13,88	14,02		
TiO ₂	4,05	4,25	3,34	3,31	4,39	4,23	3,86	3,03	2,63	3,92	3,83	3,97	3,64	2,92	3,12	2,06	2,36	3,11	3,11	3,05	2,74	2,78	2,41		
FeO _T	19,79	20,87	19,23	19,00	19,89	20,20	20,45	16,53	16,75	20,08	19,46	19,95	18,93	19,22	26,50	25,20	31,17	27,96	26,96	25,87	22,71	23,12	21,67		
MnO	1,20	1,27	1,15	1,15	1,19	1,14	1,29	0,95	0,97	1,15	1,16	1,21	1,18	1,14	2,28	2,53	3,14	2,66	2,28	2,30	1,36	1,39	1,34		
MgO	11,44	10,88	12,11	12,21	11,60	11,48	10,93	14,21	14,01	11,23	11,78	10,98	12,11	12,34	6,59	6,84	3,55	5,04	6,63	6,50	10,43	10,29	11,50		
ZnO	0,09	0,10	0,08	0,09	0,08	0,09	0,12	0,09	0,05	0,09	0,10	0,06	0,08	0,09	0,14	0,13	0,10	0,11	0,15	0,08	0,09	0,12	0,05		
CaO			0,05	0,01			0,02	0,05	0,02	0,01	0,06	0,01		0,02	0,03	0,06	0,03		0,00		0,02		0,01		
BaO	0,02											0,01	0,04	0,05	0,05	0,04					0,64	0,02	0,03		
Na ₂ O	0,25	0,27	0,25	0,23	0,28	0,25	0,25	0,36	0,34	0,28	0,25	0,24	0,31	0,28	0,23	0,09	0,12	0,20	0,29	0,15	0,41	0,41	0,35		
K ₂ O	10,21	10,23	10,03	10,20	10,10	10,44	10,45	10,11	10,31	10,08	10,32	10,22	10,01	10,07	9,38	9,30	9,18	9,11	9,27	9,34	9,49	9,96	9,98		
Cl	0,01	0,04	0,05	0,00	0,02	0,01	0,00					0,01		0,03	0,21	0,31	0,11	0,17	0,20	0,24	0,01	0,00			
F	0,01		0,01	0,01		0,01		0,00		0,01		0,01	0,00		0,01		0,00	0,02	0,00		0,01	0,01	0,01		
Total	97,38	98,14	96,96	97,14	98,28	98,67	98,10	96,97	96,56	98,13	98,02	98,37	97,16	97,54	96,79	96,64	96,72	96,92	97,17	96,88	97,65	97,85	97,54		
Número de cátions calculado na base de 11 oxigênios.																									
Si	2,711	2,692	2,728	2,711	2,700	2,682	2,677	2,744	2,736	2,718	2,709	2,713	2,723	2,709	3,115	3,287	3,044	3,177	3,149	3,181	2,744	2,756	2,764		
Al	1,289	1,308	1,272	1,289	1,300	1,318	1,323	1,256	1,264	1,282	1,291	1,287	1,277	1,291	0,815	0,713	0,911	0,781	0,759	0,798	1,256	1,244	1,236		
Fe ³⁺	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	0,070	0,000	0,046	0,042	0,092	0,021	0,000	0,000	0,000		
Soma Z	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000		
Al	0,021	0,009	0,049	0,063	0,013	0,020	0,051	0,061	0,080	0,062	0,045	0,086	0,049	0,085	0,000	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025	0,013	0,027		
Fe ²⁺	1,258	1,324	1,222	1,204	1,250	1,269	1,296	1,034	1,055	1,263	1,225	1,251	1,198	1,213	1,678	1,644	2,073	1,808	1,680	1,670	1,463	1,486	1,385		
Ti	0,232	0,242	0,191	0,189	0,248	0,239	0,220	0,170	0,149	0,222	0,217	0,224	0,207	0,166	0,185	0,121	0,144	0,185	0,184	0,179	0,159	0,161	0,139		
Mn	0,077	0,082	0,074	0,074	0,075	0,073	0,083	0,060	0,062	0,073	0,074	0,077	0,075	0,073	0,152	0,167	0,216	0,178	0,152	0,152	0,089	0,090	0,087		
Mg	1,296	1,230	1,372	1,379	1,300	1,286	1,235	1,584	1,573	1,259	1,322	1,228	1,366	1,388	0,775	0,795	0,430	0,594	0,777	0,757	1,198	1,179	1,310		
Zn	0,005	0,005	0,004	0,005	0,005	0,005	0,007	0,005	0,003	0,005	0,005	0,003	0,004	0,005	0,008	0,007	0,006	0,006	0,008	0,005	0,005	0,007	0,003		
Soma Y	2,884	2,887	2,907	2,908	2,886	2,886	2,884	2,910	2,919	2,879	2,882	2,866	2,895	2,924	2,791	2,744	2,864	2,766	2,792	2,759	2,933	2,928	2,948		
Ca	0,000	0,000	0,004	0,001	0,000	0,000	0,002	0,004	0,002	0,001	0,005	0,001	0,000	0,001	0,002	0,005	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001		
Ba	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,019	0,001	0,001		
Na	0,037	0,039	0,037	0,034	0,040	0,036	0,037	0,053	0,050	0,040	0,037	0,034	0,046	0,042	0,035	0,014	0,018	0,031	0,044	0,022	0,061	0,062	0,053		
K	0,990	0,990	0,972	0,986	0,968	1,000	1,010	0,965	0,990	0,967	0,991	0,978	0,966	0,969	0,944	0,926	0,952	0,919	0,929	0,931	0,933	0,976	0,973		
Soma X	1,027	1,029	1,013	1,021	1,009	1,036	1,048	1,021	1,042	1,008	1,033	1,013	1,013	1,013	0,983	0,946	0,972	0,950	0,974	0,954	1,015	1,039	1,027		
Cl	0,001	0,006	0,006	0,001	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,004	0,028	0,041	0,015	0,023	0,026	0,032	0,002	0,001	0,000		
F	0,002	0,000	0,002	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,004	0,000	0,001	0,006	0,000	0,000	0,002	0,001	0,003		
Total	7,911	7,916	7,921	7,929	7,895	7,923	7,932	7,931	7,960	7,887	7,915	7,879	7,908	7,938	7,774	7,690	7,836	7,716	7,766	7,713	7,948	7,967	7,976		

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; < incluso em; > com inclusão de; idio, idiomórfico; poi, poiquilitico.

ANEXO E - Tabela E.6 - Composição química de biotitas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	BtHblP								N-I						BtHblP									
Amostra	MAI092I								MAI097B						MAI102									
Cristal	14	15	16	16	17	17	18	18	19	20	21	22	22	23	24	24	25	25	26	26	27	27	28	28
Textura ¹	b	/anf	<-anf n	<-anf b	n	b	n	b	n	n	n	n	b	n	n	b	n	b	n	b	n	b	n	n
SiO ₂	35,57	36,55	36,96	36,24	36,37	36,43	36,12	36,19	37,35	38,79	38,87	37,96	39,31	37,73	37,14	38,01	37,10	37,67	36,66	36,73	36,61	36,74	36,79	
Al ₂ O ₃	14,17	14,30	13,74	13,90	13,83	13,80	13,80	14,08	13,94	12,96	13,24	13,46	12,60	14,12	14,40	14,71	14,32	14,01	14,28	14,75	14,17	14,11	14,68	
TiO ₂	2,94	2,20	2,10	2,58	2,65	2,83	2,16	2,32	3,99	3,26	3,42	3,83	2,41	4,10	5,59	5,40	5,71	5,39	5,36	5,54	5,66	5,56	5,62	
FeO _T	23,09	21,59	21,02	22,11	22,18	21,17	22,13	21,63	13,51	12,87	12,33	12,69	11,90	13,53	14,24	13,96	14,48	14,19	14,57	14,13	14,42	13,83	14,40	
MnO	1,42	2,15	2,08	2,19	1,22	1,16	2,28	2,21	1,39	1,18	1,29	1,06	1,01	1,29	0,80	0,78	0,72	0,64	0,76	0,75	0,69	0,70	0,81	
MgO	10,07	10,50	11,21	10,34	11,03	11,10	10,56	10,63	15,64	16,34	16,52	16,39	17,16	15,34	14,90	14,68	14,94	15,16	15,27	14,96	15,12	14,85	14,85	
ZnO	0,10	0,21	0,18	0,20	0,09	0,08	0,19	0,15	0,12	0,11	0,14	0,07	0,08	0,08	0,07	0,06	0,03	0,03	0,05	0,05	0,03	0,02	0,04	
CaO		0,00	0,02	0,00	0,04	0,00		0,01	0,03	0,02	0,00	0,03			0,01	0,02	0,00	0,08	0,02	0,00	0,01	0,06	0,02	
BaO	0,06	0,03	0,05	0,01	0,06	0,00		0,03		0,02		0,07	0,06		0,01		0,00		0,07	0,08		0,00		
Na ₂ O	0,26	0,28	0,25	0,26	0,33	0,28	0,31	0,30	0,55	0,53	0,54	0,52	0,40	0,53	0,61	0,57	0,60	0,58	0,56	0,60	0,61	0,40	0,56	
K ₂ O	9,97	9,88	10,23	10,04	9,89	10,01	9,91	9,85	9,79	9,85	9,79	9,77	10,20	9,87	9,77	9,63	9,78	9,82	9,76	9,81	9,74	9,98	9,92	
Cl	0,01	0,03		0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,04	0,03	0,06	0,04	0,03	0,03	0,04	0,02	0,01	0,00	0,03	0,02	0,00	0,02		
F	0,02	0,00	0,03				0,01	0,02	0,02			0,01	0,02	0,02	0,01		0,01	0,02	0,01	0,01		0,01		
Total	97,67	97,73	97,87	97,89	97,70	96,87	97,47	97,44	96,37	95,96	96,19	95,90	95,19	96,64	97,60	97,84	97,70	97,59	97,40	97,42	97,07	96,28	97,69	
Número de cátions calculado na base de 11 oxigênios.																								
Si	2,739	2,793	2,816	2,778	2,779	2,793	2,782	2,778	2,775	2,875	2,866	2,816	2,924	2,790	2,726	2,767	2,722	2,760	2,705	2,702	2,706	2,732	2,702	
Al	1,261	1,207	1,184	1,222	1,221	1,207	1,218	1,222	1,221	1,125	1,134	1,177	1,076	1,210	1,246	1,233	1,238	1,210	1,242	1,279	1,234	1,237	1,271	
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,028	0,000	0,040	0,031	0,053	0,019	0,059	0,031	0,027	
Soma Z	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	
Al	0,025	0,080	0,050	0,034	0,024	0,040	0,034	0,052	0,000	0,007	0,016	0,000	0,028	0,021	0,000	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Fe ²⁺	1,487	1,380	1,339	1,417	1,417	1,357	1,425	1,389	0,836	0,798	0,760	0,780	0,740	0,837	0,846	0,850	0,848	0,839	0,846	0,850	0,832	0,829	0,857	
Ti	0,170	0,126	0,120	0,149	0,152	0,163	0,125	0,134	0,223	0,182	0,190	0,214	0,135	0,228	0,309	0,296	0,315	0,297	0,298	0,307	0,315	0,311	0,311	
Mn	0,093	0,139	0,134	0,142	0,079	0,075	0,149	0,144	0,087	0,074	0,080	0,066	0,064	0,081	0,050	0,048	0,045	0,040	0,047	0,043	0,043	0,044	0,050	
Mg	1,156	1,196	1,273	1,182	1,256	1,269	1,212	1,217	1,732	1,805	1,816	1,813	1,903	1,691	1,631	1,593	1,634	1,656	1,680	1,641	1,666	1,646	1,626	
Zn	0,006	0,012	0,010	0,011	0,005	0,004	0,011	0,008	0,007	0,006	0,007	0,004	0,004	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001	0,003	0,003	0,002	0,001	0,002	
Soma Y	2,931	2,922	2,917	2,924	2,929	2,905	2,946	2,935	2,879	2,866	2,863	2,873	2,870	2,858	2,836	2,815	2,842	2,831	2,871	2,844	2,856	2,830	2,844	
Ca	0,000	0,000	0,001	0,000	0,004	0,000	0,000	0,001	0,003	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,006	0,002	0,000	0,001	0,005	0,002	
Ba	0,002	0,001	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	
Na	0,038	0,041	0,038	0,038	0,049	0,041	0,046	0,045	0,079	0,076	0,077	0,075	0,057	0,076	0,087	0,080	0,085	0,082	0,081	0,085	0,088	0,057	0,080	
K	0,979	0,963	0,994	0,982	0,964	0,979	0,974	0,965	0,928	0,931	0,921	0,925	0,968	0,931	0,915	0,894	0,915	0,918	0,919	0,921	0,918	0,947	0,929	
Soma X	1,019	1,006	1,035	1,020	1,018	1,021	1,020	1,012	1,010	1,010	0,998	1,005	1,027	1,007	1,003	0,976	1,001	1,006	1,003	1,008	1,007	1,009	1,011	
Cl	0,001	0,004	0,000	0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,006	0,003	0,007	0,005	0,004	0,004	0,004	0,003	0,002	0,001	0,003	0,003	0,000	0,002	0,000	
F	0,004	0,001	0,007	0,000	0,000	0,000	0,002	0,004	0,004	0,000	0,000	0,002	0,006	0,005	0,003	0,000	0,001	0,005	0,002	0,002	0,000	0,002	0,000	
Total	7,951	7,927	7,952	7,944	7,948	7,926	7,966	7,947	7,888	7,875	7,861	7,878	7,897	7,865	7,839	7,791	7,843	7,837	7,873	7,852	7,863	7,839	7,855	

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; < incluso em; > com inclusão de; idio, idiomórfico; poiq, poiquilítico.

ANEXO E - Tabela E.6 - Composição química de biotitas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	BtHblP	arpk-QzS												QzAFS-I					BtHblP					
Amostra	MAI102	MAI108II												MAI110					MAI114					
Cristal	28	29	29	30	30	31	31	31	32	32	33	33	34	35	36	37	38	39	39	40	40	41	41	
Textura ¹	b	n	b	n	b	n	b	b	n	b	n	b	n	idio				n	b	b	b	n	b	
SiO ₂	36,44	37,71	40,40	38,36	39,63	37,53	37,06	39,03	37,36	37,52	38,11	38,48	36,75	38,39	36,43	36,80	37,39	36,50	36,65	36,62	37,01	36,51	36,60	
Al ₂ O ₃	14,43	13,77	12,45	13,59	13,10	14,37	14,59	13,47	14,31	14,17	13,94	13,62	11,92	11,20	11,72	12,06	11,66	14,38	14,29	14,24	14,44	14,41	14,48	
TiO ₂	5,59	3,82	3,18	3,85	2,96	3,94	4,15	3,22	3,57	3,75	3,73	3,44	5,02	3,32	4,53	4,71	3,54	5,36	5,28	5,41	5,36	5,32	5,36	
FeO _T	14,01	13,92	11,69	13,34	11,76	13,50	13,81	12,04	13,31	13,28	13,90	13,32	24,57	22,62	25,67	24,15	22,41	16,85	16,93	17,07	16,66	17,08	17,04	
MnO	0,80	0,48	0,45	0,57	0,48	0,48	0,48	0,42	0,53	0,52	0,59	0,57	1,60	1,28	1,55	1,48	1,32	0,92	0,89	0,94	0,93	1,00	1,00	
MgO	15,08	16,25	18,53	16,63	18,13	16,70	15,86	18,16	16,50	16,50	16,23	16,92	8,24	9,84	7,67	8,77	10,37	12,97	12,96	13,03	12,86	12,78	12,76	
ZnO	0,05	0,09	0,04	0,05	0,07	0,08	0,08	0,05	0,06	0,05	0,09	0,09	0,19	0,12	0,18	0,13	0,13	0,09	0,09	0,08	0,06	0,06	0,06	
CaO	0,04	0,01	0,02	0,05	0,01		0,00	0,03	0,04		0,04	0,02			0,03		0,02	0,02	0,01		0,05	0,01		
BaO	0,04	1,26	0,00	0,15	0,00	0,79	1,53	0,08	0,83	0,93	0,79	0,23	0,04	0,03				0,05			0,03		0,11	
Na ₂ O	0,57	0,25	0,23	0,27	0,22	0,34	0,29	0,24	0,24	0,27	0,22	0,23	0,50	0,32	0,38	0,52	0,34	0,46	0,43	0,50	0,48	0,44	0,47	
K ₂ O	9,72	9,82	10,46	10,15	10,29	9,74	9,48	10,37	9,97	9,85	9,87	10,12	9,20	9,68	9,50	9,53	9,57	9,58	9,61	9,78	9,86	9,85	9,86	
Cl	0,03	0,17	0,12	0,14	0,14	0,11	0,13	0,13	0,16	0,09	0,18	0,10	0,06	0,05	0,04	0,06	0,04	0,03	0,01	0,01				
F	0,02	0,01	0,00	0,01		0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,03	0,00			0,01		0,02	0,01	0,01			0,01		
Total	96,81	97,56	97,57	97,15	96,80	97,59	97,48	97,24	96,90	96,95	97,71	97,13	98,09	96,85	97,71	98,22	96,82	97,21	97,17	97,67	97,75	97,47	97,74	
Número de cátions calculado na base de 11 oxigênios.																								
Si	2,699	2,787	2,917	2,816	2,887	2,754	2,741	2,840	2,766	2,773	2,800	2,824	2,830	2,957	2,838	2,827	2,884	2,725	2,736	2,725	2,744	2,724	2,724	
Al	1,260	1,199	1,060	1,176	1,113	1,243	1,259	1,155	1,234	1,227	1,200	1,176	1,082	1,017	1,076	1,092	1,060	1,265	1,257	1,249	1,256	1,267	1,270	
Fe ³⁺	0,041	0,014	0,023	0,008	0,000	0,003	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,088	0,027	0,086	0,082	0,056	0,010	0,007	0,026	0,000	0,009	0,006	
Soma Z	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,000	0,012	0,000	0,015	0,007	0,007	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	
Fe ²⁺	0,826	0,846	0,683	0,811	0,717	0,825	0,854	0,728	0,824	0,821	0,854	0,817	1,495	1,430	1,586	1,469	1,390	1,042	1,050	1,036	1,033	1,056	1,054	
Ti	0,311	0,212	0,173	0,213	0,162	0,218	0,231	0,176	0,199	0,209	0,206	0,190	0,291	0,192	0,265	0,272	0,205	0,301	0,296	0,303	0,299	0,299	0,300	
Mn	0,050	0,030	0,028	0,035	0,030	0,030	0,030	0,026	0,033	0,033	0,037	0,036	0,104	0,083	0,102	0,096	0,086	0,058	0,057	0,059	0,059	0,063	0,063	
Mg	1,665	1,790	1,995	1,820	1,969	1,827	1,749	1,970	1,821	1,818	1,778	1,851	0,946	1,130	0,891	1,004	1,193	1,443	1,442	1,445	1,421	1,421	1,416	
Zn	0,003	0,005	0,002	0,003	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,005	0,005	0,011	0,007	0,010	0,007	0,008	0,005	0,005	0,004	0,003	0,004	0,003	
Soma Y	2,853	2,878	2,878	2,879	2,890	2,900	2,876	2,901	2,892	2,888	2,882	2,895	2,836	2,836	2,845	2,842	2,875	2,844	2,845	2,843	2,817	2,839	2,833	
Ca	0,003	0,001	0,002	0,004	0,001	0,000	0,000	0,002	0,003	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,004	0,001	0,000	
Ba	0,001	0,036	0,000	0,004	0,000	0,023	0,044	0,002	0,024	0,027	0,023	0,007	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	
Na	0,082	0,037	0,032	0,038	0,031	0,049	0,042	0,034	0,034	0,039	0,032	0,033	0,075	0,048	0,058	0,078	0,052	0,066	0,063	0,072	0,070	0,064	0,068	
K	0,918	0,926	0,964	0,951	0,956	0,912	0,894	0,963	0,942	0,929	0,925	0,947	0,904	0,951	0,944	0,934	0,942	0,912	0,915	0,928	0,933	0,937	0,936	
Soma X	1,004	0,999	0,997	0,996	0,988	0,984	0,981	1,001	1,003	0,995	0,982	0,988	0,980	1,000	1,005	1,012	0,995	0,981	0,979	1,000	1,007	1,002	1,008	
Cl	0,004	0,022	0,014	0,017	0,017	0,014	0,017	0,016	0,019	0,011	0,022	0,012	0,008	0,006	0,005	0,008	0,005	0,004	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	
F	0,004	0,003	0,001	0,002	0,000	0,002	0,003	0,003	0,008	0,004	0,007	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,005	0,002	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	
Total	7,857	7,878	7,876	7,875	7,878	7,883	7,856	7,901	7,896	7,883	7,864	7,883	7,816	7,835	7,849	7,854	7,869	7,826	7,823	7,844	7,824	7,842	7,840	

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; < incluso em; > com inclusão de; idio, idiomórfico; poi, poiquilítico.

ANEXO E - Tabela E.6 - Composição química de biotitas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	BtHblP		N-II										HblP						NeS-II				
Amostra	MAI114		MAI136										MAI160						MAI166I				
Cristal	42	42	43	44	45	45	46	46	47	47	48	48	49	49	50	50	51	52	53	54	54	55	56
Textura ¹	n	b	idio	idio	n	b	n	b	n	b	n	b	n	b	n	b				<-anf	<-anf	<-anf	<-anf
SiO ₂	36,75	36,22	37,76	36,60	36,63	37,17	36,98	37,68	36,23	37,02	39,46	37,64	35,81	35,48	35,85	34,77	35,64	35,21	35,55	38,60	37,48	38,37	38,20
Al ₂ O ₃	14,37	14,43	13,36	12,61	13,05	12,53	12,54	12,67	13,27	13,15	9,82	11,46	14,03	14,78	13,76	14,54	13,81	14,36	14,38	12,56	13,44	12,79	12,81
TiO ₂	5,04	5,33	6,06	4,67	5,26	5,29	5,19	5,02	6,16	5,62	3,04	3,80	3,64	3,68	4,08	4,13	4,42	4,22	3,21	2,52	2,34	2,99	2,27
FeO _T	16,95	16,73	15,11	18,72	19,76	18,79	18,93	15,91	16,86	15,86	16,79	17,87	25,10	24,89	25,44	26,17	25,55	25,61	24,83	19,12	20,84	18,37	18,66
MnO	1,01	1,00	0,88	1,52	1,52	1,54	1,45	1,14	1,11	1,02	1,41	1,46	1,24	1,31	1,20	1,27	1,22	1,27	1,16	1,87	2,17	1,78	2,21
MgO	12,88	12,93	13,63	12,15	10,80	11,29	11,87	13,91	12,64	13,00	15,11	13,54	8,09	8,07	8,05	7,28	7,78	7,66	8,38	12,51	11,09	12,44	12,85
ZnO	0,07	0,10	0,06	0,09	0,13	0,12	0,09	0,11	0,10	0,09	0,15	0,13	0,10	0,14	0,09	0,12	0,14	0,15	0,12	0,21	0,19	0,15	0,23
CaO			0,00	0,00	0,02	0,01	0,00		0,01	0,03	0,01		0,02	0,02	0,02	0,06		0,00	0,02	0,05	0,00		0,03
BaO						0,00	0,01		0,44	0,10	0,01		0,11		0,11	0,04	0,04	0,03	0,30		0,06		0,00
Na ₂ O	0,41	0,47	0,47	0,47	0,53	0,59	0,53	0,64	0,53	0,52	0,52	0,59	0,39	0,39	0,35	0,36	0,46	0,36	0,30	0,40	0,41	0,44	0,44
K ₂ O	9,93	9,73	9,49	9,44	9,41	9,43	9,30	9,44	9,41	9,48	9,66	9,52	9,59	9,59	9,49	9,69	9,60	9,60	9,71	9,79	9,63	9,84	9,74
Cl		0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,06		0,03	0,04	0,04	0,03	0,00	0,03	0,02	0,05		0,02	0,01			0,01
F			0,03	0,00	0,01	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01		0,01				0,01	0,02	0,01	0,00		0,02		0,01
Total	97,42	96,95	96,87	96,31	97,15	96,80	96,93	96,61	96,76	95,93	96,02	96,06	98,15	98,35	98,48	98,46	98,73	98,49	97,98	97,64	97,66	97,17	97,47
Número de cátions calculado na base de 11 oxigênios.																							
Si	2,741	2,714	2,797	2,793	2,783	2,820	2,801	2,819	2,733	2,790	2,985	2,868	2,762	2,725	2,758	2,694	2,741	2,715	2,748	2,903	2,848	2,889	2,879
Al	1,259	1,274	1,166	1,134	1,168	1,120	1,120	1,117	1,180	1,168	0,876	1,029	1,238	1,275	1,242	1,306	1,252	1,285	1,252	1,097	1,152	1,111	1,121
Fe ³⁺	0,000	0,012	0,037	0,072	0,049	0,059	0,079	0,064	0,088	0,041	0,139	0,103	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma Z	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
Al	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,037	0,064	0,005	0,022	0,000	0,019	0,058	0,016	0,052	0,024	0,017
Fe ²⁺	1,057	1,036	0,899	1,122	1,207	1,133	1,120	0,931	0,976	0,958	0,923	1,036	1,619	1,599	1,637	1,696	1,636	1,651	1,605	1,203	1,325	1,157	1,176
Ti	0,283	0,300	0,338	0,268	0,301	0,302	0,296	0,283	0,350	0,319	0,173	0,218	0,211	0,213	0,236	0,241	0,256	0,245	0,187	0,143	0,134	0,169	0,129
Mn	0,064	0,064	0,056	0,098	0,098	0,099	0,093	0,072	0,071	0,065	0,090	0,094	0,081	0,085	0,078	0,083	0,079	0,083	0,076	0,119	0,140	0,114	0,141
Mg	1,432	1,444	1,505	1,382	1,223	1,277	1,340	1,551	1,421	1,461	1,704	1,538	0,930	0,924	0,923	0,841	0,892	0,880	0,966	1,403	1,256	1,396	1,444
Zn	0,004	0,005	0,003	0,005	0,007	0,007	0,005	0,006	0,006	0,005	0,008	0,007	0,006	0,008	0,005	0,007	0,008	0,009	0,007	0,011	0,010	0,008	0,013
Soma Y	2,839	2,844	2,797	2,871	2,828	2,811	2,849	2,837	2,817	2,803	2,890	2,886	2,878	2,885	2,880	2,882	2,863	2,879	2,891	2,883	2,907	2,861	2,907
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,001	0,000	0,001	0,002	0,002	0,005	0,000	0,000	0,001	0,004	0,000	0,000	0,003
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,003	0,000	0,000	0,003	0,000	0,003	0,001	0,001	0,001	0,009	0,000	0,002	0,000	0,000
Na	0,060	0,068	0,068	0,070	0,079	0,087	0,078	0,094	0,078	0,075	0,077	0,087	0,058	0,057	0,053	0,053	0,069	0,054	0,046	0,059	0,061	0,065	0,065
K	0,945	0,930	0,897	0,919	0,912	0,913	0,899	0,901	0,905	0,912	0,932	0,925	0,944	0,940	0,931	0,958	0,942	0,944	0,958	0,939	0,934	0,945	0,937
Soma X	1,004	0,998	0,965	0,989	0,992	1,000	0,977	0,994	0,997	0,993	1,010	1,012	1,006	0,999	0,989	1,018	1,012	1,000	1,014	1,002	0,996	1,010	1,004
Cl	0,000	0,001	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,007	0,000	0,004	0,005	0,005	0,004	0,000	0,004	0,003	0,006	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,002
F	0,000	0,000	0,006	0,001	0,002	0,004	0,001	0,004	0,001	0,002	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,003	0,004	0,003	0,001	0,000	0,004	0,000	0,002
Total	7,844	7,843	7,762	7,861	7,820	7,811	7,826	7,831	7,814	7,795	7,900	7,898	7,885	7,884	7,869	7,900	7,875	7,879	7,905	7,885	7,903	7,870	7,911

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; < incluso em; > com inclusão de; idio, idiomórfico; poiq, poiquilítico.

ANEXO E - Tabela E.6 - Composição química de biotitas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia.

Unidade	BtM												BtAgtNeS
Amostra	MAI182C												MAI199
Cristal	57	58	59	60	61	62	62	63	63	64	65	65	66
Textura ¹	poiq	< kfl	< kfl	< kfl	poiq	poiq n	poiq b	poiq n	poiq b		poiq n	poiq b	<-anf/ cpx
SiO ₂	37,48	37,44	37,96	37,56	38,12	38,30	37,76	37,73	37,53	38,16	37,67	37,69	39,35
Al ₂ O ₃	13,12	13,35	13,29	13,16	13,05	13,55	13,21	13,05	13,18	13,12	13,17	13,18	10,29
TiO ₂	3,78	6,20	5,26	5,28	6,72	5,43	6,75	6,82	5,58	6,33	6,46	4,82	2,17
FeO _T	19,77	14,93	18,10	19,99	17,26	14,49	18,10	14,92	15,86	16,06	18,09	17,55	18,99
MnO	0,25	0,22	0,24	0,25	0,24	0,18	0,29	0,22	0,23	0,23	0,25	0,26	2,49
MgO	12,47	14,38	12,60	11,72	13,08	15,39	11,93	13,75	13,72	14,01	12,38	13,20	11,88
ZnO	0,05	0,03	0,05	0,01	0,01	0,02	0,07	0,02	0,08	0,03	0,04		
CaO		0,03		0,00		0,03	0,00				0,03		0,08
BaO	0,53	0,48	0,58	0,49	0,47	0,50	0,48	0,45	0,51	0,55	0,50	0,43	
Na ₂ O	0,12	0,21	0,15	0,17	0,33	0,23	0,24	0,39	0,22	0,28	0,30	0,10	0,43
K ₂ O	9,69	10,05	9,85	9,73	9,65	10,03	9,82	9,46	9,70	9,55	9,66	9,92	9,58
Cl	0,16	0,17	0,15	0,13	0,13	0,11	0,14	0,11	0,12	0,12	0,15	0,11	
F				0,01		0,02		0,02		0,01	0,02	0,00	0,01
Total	97,42	97,49	98,24	98,49	99,06	98,28	98,79	96,95	96,73	98,46	98,72	97,26	95,27
Número de cátions calculado na base de 11 oxigênios.													
Si	2,829	2,768	2,819	2,805	2,791	2,794	2,789	2,794	2,802	2,796	2,784	2,818	3,038
Al	1,167	1,163	1,163	1,158	1,126	1,165	1,150	1,139	1,160	1,133	1,147	1,162	0,936
Fe ³⁺	0,003	0,069	0,018	0,037	0,083	0,041	0,061	0,068	0,038	0,072	0,069	0,020	0,025
Soma Z	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
Al	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⁺	1,245	0,855	1,106	1,212	0,974	0,843	1,057	0,856	0,952	0,912	1,049	1,077	1,201
Ti	0,215	0,345	0,294	0,297	0,370	0,298	0,375	0,380	0,313	0,349	0,359	0,271	0,126
Mn	0,016	0,014	0,015	0,016	0,015	0,011	0,018	0,014	0,014	0,014	0,016	0,017	0,163
Mg	1,403	1,585	1,395	1,305	1,428	1,674	1,314	1,518	1,527	1,530	1,364	1,471	1,367
Zn	0,003	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,004	0,001	0,004	0,002	0,002	0,000	0,000
Soma Y	2,879	2,798	2,809	2,829	2,787	2,825	2,763	2,768	2,807	2,805	2,788	2,837	2,857
Ca	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,006
Ba	0,016	0,014	0,017	0,014	0,014	0,014	0,014	0,013	0,015	0,016	0,014	0,013	0,000
Na	0,017	0,030	0,021	0,024	0,046	0,032	0,034	0,056	0,032	0,040	0,043	0,015	0,064
K	0,933	0,948	0,933	0,927	0,901	0,933	0,925	0,894	0,924	0,893	0,911	0,946	0,944
Soma X	0,966	0,994	0,971	0,965	0,961	0,982	0,974	0,963	0,971	0,948	0,971	0,974	1,014
Cl	0,021	0,021	0,019	0,017	0,016	0,014	0,017	0,014	0,015	0,015	0,019	0,014	0,000
F	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,005	0,000	0,004	0,000	0,002	0,005	0,001	0,003
Total	7,845	7,793	7,780	7,794	7,749	7,807	7,737	7,731	7,778	7,754	7,758	7,810	7,871

¹ - n, núcleo; b, borda; <- sendo substituído por; < incluso em; > com inclusão de; idio, idiomórfico; poiq, poiquilítico.

ANEXO E - Tabela E.7a - Composição química de ilmenitas de rochas do Macico Alcalino de Itatiaia. Continua...

Unidade N-I				QzAFS-I				arpk-QzS			BtHbIP	
Amostra MAI097B				MAI110				MAI108II			MAI114	
Crystal	2	3	4	1	3	4	5	1	2	7	3a	3b
SiO ₂	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	0,05	0,00	0,00
TiO ₂	47,46	46,59	47,35	48,94	49,08	49,11	48,21	44,64	44,55	47,05	50,46	50,68
Al ₂ O ₃	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05
FeO _(T)	29,24	34,82	36,58	36,21	36,49	35,70	35,51	44,84	45,05	35,37	37,28	37,10
MnO	19,98	15,15	12,58	13,89	13,73	14,26	14,69	7,47	6,48	14,42	10,95	10,76
MgO	0,04	0,00	0,00	0,04	0,07	0,06	0,07	0,08	0,06	0,04	1,71	1,99
CaO	0,04	0,03	0,04	0,09	0,01	0,03	0,03	0,02	0,30	0,12	0,00	0,00
ZnO	0,93	1,20	0,97	0,06	0,06	0,05	0,08	0,07	0,17	0,11	0,02	0,05
Nb ₂ O ₃	0,37	1,02	1,01	0,95	0,64	0,69	1,27	0,73	0,63	0,75	0,14	0,11
Sum	98,10	98,83	98,54	100,21	100,07	99,93	99,85	97,87	97,28	97,93	100,60	100,74
Fe ₂ O ₃	8,55	10,40	8,48	7,18	7,14	6,82	8,06	13,86	13,50	8,80	6,72	6,67
FeO	21,55	25,46	28,95	29,75	30,07	29,56	28,26	32,37	32,90	27,45	31,23	31,10
Total	98,96	99,87	99,39	100,93	100,79	100,61	100,66	99,26	98,64	98,81	101,27	101,41
Formulae based on 3 oxygens												
Si	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000
Ti	0,914	0,893	0,911	0,925	0,928	0,930	0,915	0,861	0,864	0,909	0,936	0,937
Al	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
Fe ⁺⁺	0,165	0,199	0,163	0,136	0,135	0,129	0,153	0,267	0,262	0,170	0,125	0,123
Fe ⁺⁺⁺	0,461	0,543	0,620	0,625	0,632	0,623	0,596	0,694	0,709	0,589	0,644	0,639
Mn	0,433	0,327	0,273	0,296	0,292	0,304	0,314	0,162	0,141	0,314	0,229	0,224
Mg	0,002	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,063	0,073
Ca	0,001	0,001	0,001	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001	0,008	0,003	0,000	0,000
Zn	0,018	0,023	0,018	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,002	0,000	0,001
Nb	0,005	0,013	0,013	0,012	0,008	0,009	0,016	0,010	0,008	0,010	0,002	0,001
Total	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Ilmenite activity												
800°C	0,510	0,580	0,647	0,637	0,639	0,633	0,608	0,673	0,697	0,601	0,642	0,637
900°C	0,502	0,574	0,644	0,633	0,635	0,629	0,604	0,671	0,696	0,596	0,639	0,634

ANEXO E - Tabela E.7a - Composição química de ilmenitas de rochas do Macico Alcalino de Itatiaia.

Unidade BtHbIP			HbIP		BtM		BtAgtNeS				
Amostra MAI114			MAI160		MAI182C		MAI199				
Crystal	4	6	5	1	5	6	3b	4	6	9	9b
SiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,05
TiO ₂	50,68	50,64	49,90	47,60	49,08	49,60	51,81	51,52	52,17	51,73	51,54
Al ₂ O ₃	0,06	0,04	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02
FeO _(T)	39,63	36,88	32,45	46,23	45,84	46,19	26,27	32,59	23,81	29,68	33,78
MnO	8,01	11,07	15,55	3,27	3,47	3,34	22,26	16,20	24,96	19,24	14,65
MgO	2,11	1,89	0,49	0,09	0,08	0,08	0,00	0,07	0,11	0,03	0,04
CaO	0,06	0,02	0,16	0,01	0,01	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00
ZnO	0,02	0,03	0,02	0,07	0,02	0,02	0,57	0,00	0,46	0,09	0,05
Nb ₂ O ₃	0,15	0,05	0,16	0,45	0,19	0,21	0,21	0,30	0,09	0,45	0,59
Sum	100,71	100,63	98,74	97,73	98,70	99,47	101,14	100,73	101,60	101,22	100,72
Fe ₂ O ₃	6,67	6,62	4,90	7,72	5,97	5,68	3,03	3,14	3,04	3,07	2,57
FeO	33,63	30,92	28,04	39,28	40,47	41,08	23,55	29,77	21,07	26,91	31,47
Total	101,38	101,29	99,23	98,51	99,30	100,04	101,44	101,05	101,91	101,52	100,98
Formulae based on 3 oxygens											
Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Ti	0,937	0,938	0,952	0,922	0,941	0,944	0,970	0,968	0,971	0,968	0,971
Al	0,002	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ⁺⁺	0,123	0,123	0,093	0,150	0,115	0,108	0,057	0,059	0,057	0,058	0,048
Fe ⁺⁺⁺	0,691	0,636	0,595	0,846	0,863	0,869	0,490	0,622	0,436	0,560	0,659
Mn	0,167	0,231	0,334	0,071	0,075	0,072	0,469	0,343	0,523	0,406	0,311
Mg	0,077	0,069	0,018	0,003	0,003	0,003	0,000	0,002	0,004	0,001	0,001
Ca	0,002	0,001	0,004	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
Zn	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,010	0,000	0,008	0,002	0,001
Nb	0,002	0,001	0,002	0,006	0,003	0,003	0,003	0,004	0,001	0,006	0,008
Total	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Ilmenite activity											
800°C	0,686	0,636	0,619	0,814	0,834	0,841	0,555	0,650	0,503	0,619	0,683
900°C	0,681	0,632	0,614	0,815	0,834	0,841	0,549	0,646	0,496	0,614	0,680

ANEXO E - Tabela E.7a - Composição química de magnetitas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	BtHblNeS				NeS-I						BtHblP						N-I
Amostra	MAI036				MAI060						MAI092I						MAI097B
Cristal	1R	2R	3R	5R	1	2a	2b	3	4	5	1	4	5	6	7		1
Been Ø ¹	1	1	1	1	20	20	20	20	20	20	1	1	1	1	1		20
# Analyses ²	3/2	3/2	3/3	3/3	1	1	1	1	1	1	3	2	2	2	3		1
SiO ₂					0,05	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00		0,02
TiO ₂	12,51	6,64	9,46	18,53	4,96	4,46	4,05	5,42	5,34	4,14	3,57	1,96	2,53	2,11	3,07		1,50
Al ₂ O ₃	0,24	0,29	0,29	0,25	0,67	0,27	0,31	0,45	0,37	0,17	0,67	0,56	0,40	0,55	0,70		0,18
FeO _(T)	74,06	81,51	77,89	68,38	82,56	83,24	84,43	81,98	82,93	83,36	85,97	87,41	86,48	89,31	85,78		90,48
MnO	6,19	4,02	4,89	6,58	5,63	5,57	5,12	5,89	5,55	4,94	3,15	3,24	2,03	1,67	3,63		1,41
MgO	0,13	0,06	0,08	0,21	0,03	0,02	0,01	0,06	0,02	0,02	0,00	0,04	0,07	0,03	0,03		0,02
CaO					0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,01	0,05	0,01		0,02
ZnO	0,02	0,02	0,01	0,01	0,53	0,44	0,42	0,58	0,37	0,22	0,35	0,40	0,21	0,18	0,41		0,22
Nb ₂ O ₃	0,02	0,02	0,01	0,02	0,06	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00		0,05
Sum	93,16	92,57	92,62	93,98	94,48	94,02	94,38	94,39	94,58	92,86	93,73	93,65	91,74	93,94	93,63		93,90
Fe ₂ O ₃	42,90	54,49	48,72	31,06	58,73	60,09	61,10	58,16	58,56	60,03	61,18	64,65	62,27	64,47	62,13		66,17
FeO	35,46	32,48	34,05	40,43	29,72	29,17	29,45	29,65	30,24	29,35	30,91	29,24	30,45	31,29	29,87		30,94
Total	97,46	98,03	97,50	97,10	100,36	100,04	100,50	100,21	100,44	98,88	99,86	100,13	97,98	100,40	99,85		100,53
Formulae based on 4 oxygens																	
Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000		0,001
Ti	0,366	0,195	0,278	0,541	0,142	0,128	0,116	0,155	0,153	0,121	0,103	0,056	0,074	0,061	0,088		0,043
Al	0,011	0,014	0,014	0,011	0,030	0,012	0,014	0,020	0,017	0,008	0,030	0,025	0,018	0,025	0,032		0,008
Fe ⁺³	1,256	1,597	1,431	0,907	1,681	1,731	1,752	1,669	1,677	1,751	1,763	1,862	1,833	1,852	1,791		1,904
Fe ⁺²	1,154	1,058	1,111	1,312	0,946	0,934	0,939	0,945	0,963	0,951	0,990	0,936	0,996	0,999	0,957		0,989
Mn	0,204	0,133	0,162	0,216	0,181	0,181	0,165	0,190	0,179	0,162	0,102	0,105	0,067	0,054	0,118		0,046
Mg	0,007	0,003	0,004	0,012	0,002	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,000	0,002	0,004	0,002	0,001		0,001
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,002	0,000		0,001
Zn	0,001	0,000	0,000	0,000	0,015	0,012	0,012	0,016	0,010	0,006	0,010	0,011	0,006	0,005	0,012		0,006
Nb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,001
Total	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000		3,000
Magnetite activity																	
800°C	0,573	0,695	0,635	0,426	0,718	0,727	0,742	0,711	0,712	0,74	0,783	0,826	0,831	0,856	0,787		0,886
900°C	0,523	0,673	0,599	0,364	0,702	0,713	0,731	0,694	0,695	0,728	0,774	0,823	0,827	0,853	0,78		0,884

ANEXO E - Tabela E.7a - Composição química de magnetitas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	N-I				HblP						arpk-QzS				QzAFS-I		
Amostra	MAI097B				MAI107						MAI108II				MAI110		
Cristal	2	3	4	5	1R	2R	4R	5R	6R		1	2	4	7	1	2	3
Been Ø ¹	20	20	20	20	1	1	1	1	1		1	1	1	1	20	20	20
# Analyses ²	1	1	1	1	3/1	3/3	3/2	3/1	3/3		1	1	1	1	1	1	1
SiO ₂	0,01	0,03	0,01	0,01							0,00	0,05	0,00	0,02	0,08	0,06	0,08
TiO ₂	6,90	5,37	6,38	4,81	9,99	9,72	8,25	11,46	12,34		0,91	0,46	0,56	0,71	5,94	5,58	5,68
Al ₂ O ₃	0,16	0,02	0,01	0,04	0,68	0,58	0,48	0,36	0,66		0,34	0,76	0,42	0,25	0,09	0,09	0,10
FeO _(T)	83,81	84,86	84,76	85,36	79,43	80,85	82,14	79,31	77,58		90,35	90,31	91,51	91,07	85,76	86,11	85,80
MnO	3,34	3,13	2,99	3,37	4,70	3,74	3,61	4,08	4,79		0,63	0,42	0,24	0,30	2,05	2,17	2,21
MgO	0,03	0,02	0,05	0,06	0,04	0,05	0,03	0,02	0,03		0,00	0,02	0,01	0,00	0,03	0,03	0,03
CaO	0,03	0,05	0,01	0,03							0,10	0,09	0,04	0,08	0,13	0,06	0,00
ZnO	0,17	0,01	0,02	0,18	0,20	0,20	0,09	0,08	0,18		0,23	0,45	0,30	0,18	0,06	0,06	0,05
Nb ₂ O ₃	0,06	0,06	0,03	0,00	0,02	0,01	0,02	0,05	0,03		0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03
Sum	94,51	93,55	94,26	93,86	95,05	95,16	94,62	95,35	95,60		92,57	92,58	93,09	92,61	94,13	94,15	93,98
Fe ₂ O ₃	55,47	58,08	56,60	59,55	48,88	49,65	52,41	46,44	44,44		66,26	66,55	67,26	66,78	57,17	57,96	57,53
FeO	33,90	32,60	33,83	31,78	35,44	36,17	34,98	37,53	37,60		30,73	30,43	30,99	30,98	34,32	33,96	34,04
Total	100,07	99,37	99,93	99,82	99,95	100,13	99,87	100,00	100,06		99,20	99,24	99,83	99,30	99,86	99,96	99,74
Formulae based on 4 oxygens																	
Si	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,002	0,000	0,001	0,003	0,002	0,003
Ti	0,198	0,156	0,184	0,139	0,286	0,278	0,237	0,328	0,352		0,027	0,013	0,016	0,021	0,171	0,161	0,164
Al	0,007	0,001	0,000	0,002	0,030	0,026	0,022	0,016	0,030		0,016	0,035	0,019	0,011	0,004	0,004	0,005
Fe ⁺³	1,594	1,685	1,631	1,720	1,398	1,419	1,504	1,328	1,267		1,931	1,935	1,948	1,946	1,648	1,670	1,661
Fe ⁺²	1,083	1,051	1,083	1,020	1,126	1,149	1,116	1,193	1,191		0,995	0,983	0,998	1,003	1,099	1,087	1,092
Mn	0,108	0,102	0,097	0,110	0,151	0,120	0,117	0,131	0,154		0,021	0,014	0,008	0,010	0,067	0,070	0,072
Mg	0,001	0,001	0,003	0,003	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002		0,000	0,001	0,001	0,000	0,002	0,001	0,002
Ca	0,001	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,004	0,004	0,002	0,003	0,005	0,002	0,000
Zn	0,005	0,000	0,000	0,005	0,006	0,006	0,003	0,002	0,005		0,007	0,013	0,009	0,005	0,002	0,002	0,001
Nb	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Total	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000		3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Magnetite activity																	
800°C	0,698	0,735	0,712	0,745	0,631	0,638	0,668	0,603	0,586		0,932	0,96	0,961	0,952	0,73	0,739	0,736
900°C	0,678	0,72	0,693	0,732	0,594	0,604	0,641	0,561	0,54		0,932	0,96	0,961	0,951	0,714	0,724	0,72

¹ - diameter of the been in µm

² - number of analyses reintegrated: magnetite / ilmenite

ANEXO E - Tabela E.7a - Composição química de magnetitas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Unidade	QzAFS-I		BtHblP					HblP					NeS-II			
Amostra	MAI110		MAI114					MAI160					MAI166I			
Cristal	4	5	3	4	4b	6	7	8	1	2	3	4	5	1	2	3
Been Ø ¹	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
# Analyses ²	1	1	1	1	2	2	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1
SiO ₂	0,03	0,07	0,00	0,01	0,07	0,11	0,00	0,00	0,02	0,10	0,00	0,03	0,36	0,00	0,00	0,00
TiO ₂	5,80	5,38	8,77	8,30	8,10	8,72	9,21	8,35	3,08	6,01	1,46	1,62	3,54	3,92	4,68	3,99
Al ₂ O ₃	0,10	0,09	1,78	1,89	1,52	1,74	1,60	1,41	0,66	0,88	0,63	0,67	0,59	0,50	0,61	0,52
FeO _(T)	85,64	85,95	79,35	81,24	81,39	79,83	79,52	81,52	85,69	77,39	88,19	88,36	85,33	84,22	82,53	83,19
MnO	2,31	2,05	4,38	2,66	3,24	3,63	3,98	3,33	2,14	1,61	1,56	1,80	1,40	3,74	4,19	4,20
MgO	0,00	0,01	0,85	0,75	0,59	0,77	0,69	0,29	0,12	0,10	0,03	0,12	0,09	0,07	0,04	0,02
CaO	0,02	0,01	0,01	0,04	0,03	0,03	0,01	0,01	0,02	0,15	0,03	0,05	0,46	0,01	0,00	0,00
ZnO	0,04	0,01	0,42	0,37	0,29	0,42	0,34	0,30	0,23	0,28	0,21	0,24	0,19	0,32	0,41	0,43
Nb ₂ O ₃	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,01	0,04	0,02	0,00	0,04	0,00
Sum	93,94	93,57	95,55	95,25	95,22	95,25	95,35	95,23	91,97	86,55	92,12	92,93	91,98	92,77	92,51	92,35
Fe ₂ O ₃	57,39	57,90	50,86	51,38	52,00	50,48	49,93	51,62	60,94	50,36	64,44	64,63	59,29	60,03	58,05	59,50
FeO	34,00	33,85	33,59	35,01	34,60	34,41	34,59	35,08	30,86	32,07	30,20	30,21	31,98	30,21	30,30	29,65
Total	99,69	99,37	100,65	100,40	100,43	100,31	100,35	100,40	98,08	91,59	98,58	99,40	97,92	98,79	98,32	98,31
Formulae based on 4 oxygens																
Si	0,001	0,003	0,000	0,000	0,003	0,004	0,000	0,000	0,001	0,004	0,000	0,001	0,014	0,000	0,000	0,000
Ti	0,168	0,156	0,246	0,234	0,229	0,246	0,260	0,237	0,090	0,188	0,043	0,047	0,104	0,114	0,137	0,117
Al	0,004	0,004	0,078	0,083	0,067	0,077	0,071	0,063	0,030	0,043	0,029	0,030	0,027	0,023	0,028	0,024
Fe ⁺³	1,658	1,679	1,429	1,448	1,470	1,424	1,409	1,464	1,787	1,573	1,886	1,873	1,737	1,749	1,698	1,743
Fe ⁺²	1,092	1,091	1,049	1,097	1,087	1,078	1,085	1,105	1,006	1,113	0,982	0,973	1,041	0,978	0,985	0,965
Mn	0,075	0,067	0,139	0,084	0,103	0,115	0,126	0,106	0,071	0,057	0,051	0,059	0,046	0,123	0,138	0,138
Mg	0,000	0,001	0,047	0,042	0,033	0,043	0,039	0,016	0,007	0,006	0,002	0,007	0,005	0,004	0,002	0,001
Ca	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,007	0,001	0,002	0,019	0,000	0,000	0,000
Zn	0,001	0,000	0,011	0,010	0,008	0,012	0,009	0,008	0,007	0,008	0,006	0,007	0,006	0,009	0,012	0,012
Nb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000
Total	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Magnetite activity																
800°C	0,733	0,745	0,634	0,655	0,659	0,64	0,632	0,662	0,807	0,714	0,882	0,797	0,803	0,76	0,737	0,753
900°C	0,717	0,731	0,604	0,628	0,633	0,611	0,6	0,635	0,8	0,696	0,88	0,789	0,796	0,75	0,723	0,742

ANEXO E - Tabela E.7a - Composição química de magnetitas de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia.

Unidade	NeS-II		BtM					BrAgtNeS				
Amostra	MAI166I		MAI182C					MAI199				
Cristal	4	1R	3R	5R	7R	2R	4	5R	6	9	3b	
Been Ø ¹	20	1	1	1	1	1	1	1	1	20	20	
# Analyses ²	1	3/2	3/2	3/2	3/3	3/2	1	3/2	2	2	2	
SiO ₂	0,02						0,02		0,23	0,01	0,02	
TiO ₂	3,57	12,53	21,90	13,30	13,92	20,90	3,29	22,78	6,48	6,41	6,95	
Al ₂ O ₃	0,43	0,40	0,19	0,46	0,58	0,10	0,05	0,07	0,13	0,10	0,12	
FeO _(T)	83,15	76,18	70,93	78,82	79,38	64,37	90,35	63,53	83,73	84,72	83,05	
MnO	3,83	0,94	1,57	1,04	1,06	10,51	0,78	9,61	3,79	3,01	3,51	
MgO	0,02	0,04	0,04	0,04	0,05	0,07	0,00	0,02	0,06	0,03	0,02	
CaO	0,03						0,34		0,03	0,00	0,01	
ZnO	0,36	0,07	0,10	0,15	0,15	0,84	0,05	0,67	0,31	0,11	0,61	
Nb ₂ O ₃	0,05	0,01	0,04	0,01	0,00	0,05	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00	
Sum	91,45	90,17	94,77	93,81	95,16	96,83	94,88	96,73	94,75	94,37	94,28	
Fe ₂ O ₃	59,73	40,35	24,55	41,35	40,92	28,30	63,44	24,35	56,08	56,53	55,25	
FeO	29,40	39,88	48,84	41,61	42,57	38,91	33,27	41,62	33,27	33,85	33,33	
Total	97,44	94,21	97,23	97,95	99,26	99,66	101,23	99,17	100,37	100,04	99,82	
Formulae based on 4 oxygens												
Si	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,009	0,000	0,001	
Ti	0,106	0,379	0,638	0,387	0,400	0,595	0,094	0,650	0,185	0,184	0,200	
Al	0,020	0,019	0,009	0,021	0,026	0,004	0,002	0,003	0,006	0,004	0,005	
Fe ⁺³	1,766	1,222	0,715	1,204	1,175	0,805	1,809	0,695	1,606	1,626	1,593	
Fe ⁺²	0,966	1,342	1,581	1,347	1,358	1,231	1,054	1,321	1,059	1,082	1,068	
Mn	0,127	0,032	0,051	0,034	0,034	0,337	0,025	0,309	0,122	0,097	0,114	
Mg	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004	0,000	0,001	0,003	0,002	0,001	
Ca	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014	0,000	0,001	0,000	0,001	
Zn	0,010	0,002	0,003	0,004	0,004	0,023	0,001	0,019	0,009	0,003	0,017	
Nb	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	
Total	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	
Magnetite activity												
800°C	0,767	0,558	0,324	0,552	0,542	0,365	0,83	0,301	0,704	0,712	0,695	
900°C	0,758	0,517	0,275	0,509	0,498	0,302	0,824	0,247	0,683	0,693	0,673	

¹ - diameter of the been in µm² - number of analyses reintegrated: magnetite / ilmenite

ANEXO E - Tabela E.7c - Composição química de hercynita de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia.

Unidade	NeS-I												
Amostra	MAI030												
Cristal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO ₂	0,13	0,11	0,13	0,11	0,12	0,09	0,09	0,09	0,07	0,15	0,06	0,71	0,12
TiO ₂			0,10	0,07	0,04		0,16	0,19	0,01	0,06	0,02	0,06	0,09
Al ₂ O ₃	51,66	34,43	52,21	52,32	52,13	48,72	52,54	53,66	52,93	53,24	53,63	3,13	52,33
Fe ₂ O _{3t}	46,75	65,59	46,70	46,34	45,94	49,87	46,22	45,34	44,53	44,49	45,43	96,17	44,18
MnO	3,89	2,54	3,21	3,74	3,41	3,27	2,99	2,94	3,17	3,24	3,99	0,28	3,27
MgO	1,10	0,78	1,16	1,24	1,09	1,00	1,16	0,84	1,49	1,47	0,82	0,02	1,50
CaO	0,05	0,06	0,04		0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,07		0,02	0,06
Cr ₂ O ₃		0,03			0,02						0,02	0,02	0,01
ZnO	0,51	0,40	0,49	0,39	0,50	0,59	0,49	0,56	0,29	0,28	0,49		0,34
Nb ₂ O ₃	0,36	0,59	0,41	0,47	0,01	0,03	0,02			0,08	0,04	0,05	0,01
Fe ₂ O ₃	8,72	28,81	7,81	8,00	7,51	11,86	7,16	5,52	6,49	6,15	6,53	61,38	6,52
FeO	34,22	33,10	35,00	34,50	34,58	34,20	35,15	35,83	34,23	34,50	35,00	31,30	33,88
Total	100,68	100,87	100,57	100,91	99,48	99,87	99,82	99,74	98,78	99,23	100,67	97,10	98,15
Formulae based on 4 oxygens													
Si	0,004	0,004	0,004	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,004	0,002	0,028	0,004
Ti	0,000	0,000	0,002	0,002	0,001	0,000	0,004	0,004	0,000	0,001	0,001	0,002	0,002
Al	1,794	1,294	1,810	1,808	1,823	1,725	1,828	1,863	1,850	1,851	1,850	0,143	1,842
Fe3	0,193	0,691	0,173	0,176	0,168	0,268	0,159	0,122	0,145	0,137	0,144	1,795	0,147
Fe2	0,843	0,882	0,861	0,846	0,858	0,859	0,868	0,883	0,849	0,851	0,857	1,017	0,846
Mn	0,097	0,069	0,080	0,093	0,086	0,083	0,075	0,073	0,080	0,081	0,099	0,009	0,083
Mg	0,048	0,037	0,051	0,054	0,048	0,045	0,051	0,037	0,066	0,065	0,036	0,001	0,067
Ca	0,002	0,002	0,001	0,000	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,000	0,001	0,002
Cr	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Zn	0,011	0,009	0,011	0,008	0,011	0,013	0,011	0,012	0,006	0,006	0,011	0,000	0,008
Nb	0,005	0,010	0,006	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000
Totalcat	3,000	2,999	3,000	3,001	3,000	3,002	3,000	3,002	3,002	3,000	3,001	3,004	3,000

ANEXO E - Tabela E.7c - Composição química de coríndon de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia.

Unidade	NeS-I				
Amostra	MAI030				
Cristal	14	15	16	17	18
SiO ₂	0,09	0,06	0,08	0,07	0,10
TiO ₂	0,11	0,20	0,02	0,03	0,01
Al ₂ O ₃	102,35	101,28	100,79	101,12	99,36
Fe ₂ O _{3t}	0,93	1,19	0,84	0,96	2,03
MnO			0,01	0,01	
MgO	0,01	0,01	0,01		
CaO		0,00	0,01		
Cr ₂ O ₃		0,00	0,00	0,04	0,01
ZnO				0,00	0,01
Nb ₂ O ₃	0,04	0,04	0,03		
total	98,12	97,42	96,47	96,92	96,26
Formulae based on 4 oxygens					
Si	0,002	0,001	0,002	0,002	0,003
Ti	0,002	0,004	0,000	0,001	0,000
Al	2,978	2,971	2,981	2,978	2,958
Fe3					
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nb	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Totalcat	3,000	3,000	3,000	3,001	3,001

ANEXO E - Tabela E.8 - Composição química de minerais acessórios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Mineral	Andradite		Ankerita		Britholite	Calkinsite-(Ce)		Catapleii	Chevkinite								
Unidade	NeS-II		AegN		NeS-II	AegN		NeS-I	arpk-QzS				QzAFS-I			N-II	
Amostra	MAI166I		MAI090		MAI166I	MAI090		MAI058I	MAI108II				MAI110			MAI136	
Método	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS
Análise	5	4	19	18	11	3	2	5	17	18	17	18	19	20	10	2	3
SiO ₂	35,46	35,68	0,06	0,11	21,43	2,56		43,29	20,90	20,98	19,98	20,12	18,18	21,15	20,31	20,41	20,41
TiO ₂	2,22	2,68	0,07		0,02	1,21	0,15	0,02	18,64	18,72	17,48	17,13	17,36	19,52	17,61	18,40	17,81
ZrO ₂	0,18	0,14	0,03	0,02			0,03	34,15	1,22	1,26	1,12	0,67	0,37	2,06	1,88	1,71	1,33
Al ₂ O ₃	3,00	3,29	0,13	0,05	0,80	0,17	0,04	0,05	2,82	2,71	0,33	0,28	1,34	1,68	0,09	0,13	0,04
Fe ₂ O ₃	23,40	22,87	39,26	36,15		1,71		0,04	7,49	7,75	10,17	10,38	13,35	7,60	10,25	10,17	10,40
MnO	2,17	2,17	9,64	7,21	0,14			0,02	0,25	0,21	0,67	0,76	0,75	0,44	0,75	0,78	0,86
MgO	0,10	0,10	2,78	8,05		0,01			1,15	1,09	0,35	0,36	0,10	0,76	0,23	0,20	0,23
CaO	31,12	31,62	5,55	6,89	15,99	6,79	1,20	0,53	6,27	6,25	4,12	3,83	2,46	6,30	5,31	4,98	4,12
Na ₂ O	0,21	0,17	0,05	0,03	0,46				6,20				0,35	0,02	0,13	0,05	0,02
K ₂ O	0,02	0,03	0,01	0,01	0,09	0,03		0,01	0,00	0,02	0,00	0,03	0,14	0,02	0,01	0,02	
Nb ₂ O ₅					0,07	0,02		0,85	0,15	0,09	0,12	0,12	0,14	0,14	0,09	0,13	0,16
La ₂ O ₃					12,42	15,80	18,88	0,00	8,24	8,76	9,20	8,86	6,48	8,72	11,85	10,93	11,46
Ce ₂ O ₃					28,45	28,72	33,37	0,06	20,27	20,85	22,05	22,51	18,49	20,88	19,50	21,02	21,36
Nd ₂ O ₃					6,89	4,78	4,62		6,36	5,91	6,49	6,68	6,17	5,76	2,71	4,17	4,36
Y ₂ O ₃																	
F					0,22	0,03	0,06		0,04	0,01	0,02	0,03	0,09	0,02	0,01	0,02	0,01
BaO					0,03	0,02		0,03									
P ₂ O ₅																	
Dy ₂ O ₃																	
Er ₂ O ₃																	
Yb ₂ O ₃																	
U ₃ O ₈																	
Th+O ₂																	
PbO																	
Soma	97,89	98,75	57,57	58,51	87,01	61,86	58,35	85,27	93,79	94,61	92,11	91,76	85,77	95,07	90,72	93,11	92,56

ANEXO E - Tabela E.8 - Composição química de minerais acessórios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Mineral	Chevkinite				Hiortdahlite				Kupletskite								
Unidade	N-II				NeS-I												
Amostra	MAI136				MAI060				MAI058I								
Método	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS
Análise	9	23	20	18	17	21	22	24	19	1	7	3	6	9	10	8	4
SiO ₂	22,30	31,16	31,36	31,38	31,44	31,56	31,59	31,64	32,01	34,25	34,82	34,91	35,10	35,80	35,80	35,94	36,09
TiO ₂	17,35	1,34	1,16	1,01	1,31	1,94	0,72	1,09	3,09	9,84	10,55	7,44	11,02	9,94	9,66	10,64	10,45
ZrO ₂	1,95	15,23	13,99	13,41	12,99	10,52	13,34	12,72	9,77	0,20	0,09	3,68	0,79	0,95	0,99	1,03	0,56
Al ₂ O ₃	0,55	0,04	0,02	0,01	0,03	0,06	0,02	0,03	0,03	1,23	1,14	0,84	1,17	0,66	2,30	0,78	0,28
Fe ₂ O ₃	8,76	0,20	1,20	1,21	1,25	1,35	1,30	1,32	1,48	11,65	12,16	11,50	11,66	10,67	10,64	11,10	11,06
MnO	0,86	2,22	2,67	2,48	2,35	2,71	2,44	2,54	2,91	24,69	23,32	23,53	21,65	22,91	20,90	23,43	23,39
MgO	0,29	0,02	0,34	0,08	0,28	0,04	0,07	0,09	0,06	0,36	0,80	0,96	1,88	1,79	1,96	1,40	0,91
CaO	4,73	27,94	33,74	39,80	35,56	39,21	40,28	40,36	40,38	1,63	1,58	1,00	1,56	1,13	1,36	1,46	1,14
Na ₂ O	0,22	7,91	6,45	5,27	6,16	5,87	5,25	5,22	5,32	2,29	2,41	2,65	2,52	2,91	3,30	2,72	3,05
K ₂ O	0,10	0,02		0,02			0,01	0,01	0,02	6,27	6,25	6,16	6,31	6,15	5,81	5,94	6,03
Nb ₂ O ₅	0,07	0,13	0,26	0,31	0,21	0,24	0,43	0,31	0,22	0,12	0,06	0,16	0,13	0,13	0,15	0,13	0,11
La ₂ O ₃	10,81	0,04			0,03	0,07	0,04	0,04		0,07	0,11		0,08	0,01	0,05	0,00	0,00
Ce ₂ O ₃	18,04	0,11	0,02	0,18	0,05	0,22	0,11	0,11	0,13	0,08	0,15		0,27	0,09	0,19	0,10	0,01
Nd ₂ O ₃	2,46	0,04	0,01	0,07	0,03	0,07	0,01	0,02	0,09		0,05	0,02	0,01	0,01	0,04		
Y ₂ O ₃																	
F	0,02							0,05	0,01	0,01	0,04		0,03	0,01	0,03	0,03	
BaO			0,05	0,06			0,01								0,01		
P ₂ O ₅																	
Dy ₂ O ₃																	
Er ₂ O ₃																	
Yb ₂ O ₃																	
U ₃ O ₈																	
Th+O ₂																	
PbO																	
Soma	88,51	86,40	91,26	95,29	91,67	93,85	95,63	95,55	95,50	92,69	93,53	92,85	94,17	93,15	93,19	94,70	93,07

ANEXO E - Tabela E.8 - Composição química de minerais acessórios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Mineral	Lavenite						Rinkite			Synchysite-(Ce)				Zirconolite			
	NeS-I	BtAgtNeS						N-II			BtHbIP						
Amostra	MAI058	MAI199						MAI136			MAI102				MAI114		
Método	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS	WDS
Análise	2	12	13	23	24	25	26	11	18	4	5	6	8	5	10	13	14
SiO ₂	36,30	30,46	30,85	30,30	30,17	30,58	30,63	29,13	29,46		0,07	0,35	0,06	0,25	0,38	0,08	0,09
TiO ₂	9,81	5,45	8,28	6,16	6,00	5,75	6,49	7,40	7,68	0,46	0,20	0,50	0,81	30,52	30,97	21,51	22,38
ZrO ₂	0,67	20,34	16,31	19,88	21,10	20,81	19,54	1,37	1,48					33,06	31,76	30,19	28,79
Al ₂ O ₃	0,28	0,04	0,07	0,07	0,04	0,01	0,01	0,01	0,04			0,08	0,00	0,33	0,39	0,30	0,33
Fe ₂ O ₃	11,22	4,97	5,60	5,39	4,87	4,86	5,20	0,17	0,11	0,00		0,43	0,32	6,65	6,64	8,24	8,00
MnO	23,80	6,24	7,13	6,36	6,04	5,96	6,24	0,12	0,35					0,40	0,31	0,99	0,91
MgO	0,37	0,36	0,38	0,42	0,36	0,44	0,48		0,00			0,05		0,09	0,03	0,10	0,08
CaO	1,13	13,11	14,34	14,04	13,20	13,65	14,43	26,69	26,96	16,33	18,40	10,59	21,86	10,98	10,44	9,70	10,38
Na ₂ O	3,11	10,55	9,88	10,09	10,48	10,35	10,00	8,75	8,28							0,02	
K ₂ O	5,84	0,00		0,01		0,00	0,02	0,01	0,02		0,01	0,01	0,01	0,03	0,18	0,07	0,12
Nb ₂ O ₅	0,13	0,35	0,41	0,43	0,51	0,54	0,51	0,04	0,03	0,07		0,02	0,02	0,84	0,83	0,58	0,61
La ₂ O ₃	0,03		0,01		0,00	0,01		3,39	2,83	14,55	5,94	13,51	5,38	0,65	1,54	1,72	0,83
Ce ₂ O ₃		0,01	0,01	0,05	0,02	0,06	0,12	9,71	8,76	26,22	21,77	28,35	20,17	3,61	7,17	5,10	3,88
Nd ₂ O ₃	0,03	0,01	0,01	0,03	0,02	0,06		3,49	3,67	5,24	12,69	8,25	9,60	2,16	2,21	1,12	1,68
Y ₂ O ₃																	
F	0,02							0,01		0,01	0,09	0,06	0,00				
BaO											0,02	0,01	0,01				
P ₂ O ₅																	
Dy ₂ O ₃																	
Er ₂ O ₃																	
Yb ₂ O ₃																	
U ₃ O ₈																	
Th+O ₂																	
PbO																	
Soma	92,73	91,90	93,28	93,24	92,82	93,08	93,67	90,29	89,66	62,87	59,18	62,20	58,24	89,57	92,86	79,72	78,08

ANEXO E - Tabela E.8 - Composição química de minerais acessórios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Mineral	Zirconolite		? Allanite		Britholite				Chevkinite				Lavenite		Pyrochlorite	
	BtHbIP		BtAgtNeS	NeS-II	BtAgtNeS			NeS-II	mA	apkv-Qz	N-II	BtAgtNeS			mA	
Amostra	MAI114		MAI199	MAI166	MAI199		MAI208	MAI 166	MAI070B	MAI108	MAI136	MAI199		MAI208		MAI070B
Método	WDS	WDS	WDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS
Análise	15	12	22 eds 5-5 ?		eds 12	eds 20-2	14	10 eds 2 - 1	eds 7 - 1	eds 1-5	eds 5-1	eds 13-2	eds 4-1	3	5	eds 3 -1
SiO ₂	0,25	5,96	10,15	34,73	25,75	21,99	20,24	20,81	24,24	27,41	25,17	23,83	22,94	28,43	30,47	30,49
TiO ₂	20,21	19,00	10,47				0,06	0,22		24,62	21,12	21,73	18,89	5,22	1,91	1,48
ZrO ₂	28,71	27,39	0,58						1,64		2,24	2,43		23,27	14,37	14,66
Al ₂ O ₃	0,31	2,57	1,25	12,62			0,03	0,00		0,75	2,76				0,03	0,11
Fe ₂ O ₃	8,52	7,77	1,51	18,75			0,27	0,34		9,57	8,63	11,15	10,11	3,65	1,29	0,61
MnO	1,04	0,96	0,69	3,18			0,48	0,45					3,61	5,64	3,80	3,29
MgO	0,11	0,10	0,17								0,90				0,38	0,22
CaO	10,06	9,42	4,70	12,35	10,98	10,90	15,99	13,71	15,94	3,91	7,85	5,57	2,00	11,17	24,98	24,28
Na ₂ O		0,06	0,52				0,03							10,56	7,42	7,46
K ₂ O	0,07	1,37	0,12				0,00	0,02							0,01	
Nb ₂ O ₅	0,55	0,55					0,03	0,05		10,78	0,83	1,97	1,45	3,32	0,19	0,10
La ₂ O ₃	0,86	1,17	4,01	8,49	17,45	24,43	10,82	14,08	23,07		9,68	13,57	22,40		0,08	0,04
Ce ₂ O ₃	4,04	3,54	6,40	9,87	35,52	31,95	19,87	29,28	30,75	17,49	19,33	19,75	17,17		0,24	0,11
Nd ₂ O ₃	1,58	1,03	3,00		7,89	3,33	8,14	9,42	2,12	1,55					0,08	0,12
Y ₂ O ₃							5,92	1,48							0,81	0,68
F							0,21	0,13						8,74		8,27
BaO							0,08	0,07							0,01	0,04
P ₂ O ₅						1,62			2,24							
Dy ₂ O ₃																
Er ₂ O ₃																
Yb ₂ O ₃																
U ₃ O ₈						0,50										
Th+O ₂					2,40	5,29				3,93	1,50		1,42			1,30
PbO																
Soma	76,30	80,87	43,58				82,19	90,06	100,00	100,01	100,01	100,00		86,09	83,70	93,53

ANEXO E - Tabela E.8 - Composição química de minerais acessórios de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Mineral	Pyrochlore				Rinkite	Synchysite-(Ce)		Xenotim	Zirconolite			?	?	?	?	?	?	?
	mA	BtAgtNeS				N-II		mA	BtHbIP			mA	BtAgtNeS					
Amostra	MAI070	MAI199				MAI136		MAI070	MAI102	MAI114		MAI070	MAI199	MAI208				
Método	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	EDS
Análise	eds 3 - 2	eds 10-2	eds 3-2	eds 14-4	eds 1-1	eds 1-2	eds 5-3	eds 5 - 2	eds 2-1	eds 3-1	eds 2-1	eds 7 - 2	eds 13-1	13	15	4	6	11
SiO ₂			1,42	13,16	31,79			3,56					26,05	0,14	0,60	5,46	22,31	22,42
TiO ₂		46,77	11,74	11,99	7,13				35,81	36,89	22,93	17,64	13,58	9,36	8,57	6,59	6,76	29,64
ZrO ₂					1,47				37,21	34,43	35,60			0,26	0,23	0,16	0,30	8,51
Al ₂ O ₃				1,36					0,46				4,21	0,03	0,06	0,01	9,82	0,58
Fe ₂ O ₃		5,47		1,64					8,00	6,90	7,79	2,98		0,42	0,28	0,32	0,44	3,36
MnO		33,90												0,16	0,17	0,18	0,25	0,82
MgO																	0,01	0,02
CaO	1,48		10,30	6,14	27,06	35,91	28,46		11,24	12,57	10,26	3,40	12,90	15,36	16,03	14,96	10,25	19,91
Na ₂ O		1,86	5,02	0,56	9,04								2,75	6,71	6,32	5,52	6,03	0,45
K ₂ O															0,00	0,02	0,09	0,02
Nb ₂ O ₅	59,60	12,01	47,10	46,73	1,88					9,21	16,29	6,51	25,84					0,16
La ₂ O ₃						9,76	18,98						16,64	0,91	1,26	3,79	0,66	1,22
Ce ₂ O ₃	4,00		3,87	6,34	8,84	26,41	34,64		7,29		4,09	31,45	6,24	3,01	3,51	9,20	2,16	4,10
Nd ₂ O ₃						9,08	8,30					2,93		0,90	1,11	3,08	0,57	2,45
Y ₂ O ₃	18,75					9,53	3,04	45,04						0,26	0,34	1,01	0,09	0,96
F			5,88		12,78	9,31	6,57					14,48				0,08	0,00	
BaO																		
P ₂ O ₅								38,75										
Dy ₂ O ₃								8,73										
Er ₂ O ₃	0,78																	
Yb ₂ O ₃	1,61											0,83						
U ₃ O ₈			14,69	7,55														
Th+O ₂	9,56			4,53				3,92			3,04	3,13						
PbO													8,44					
Soma	95,78					100,00	99,99	100,00	100,01	100,00	100,00	99,99		37,52	38,50	50,38	59,74	94,61

re

i

ANEXO F

ANEXO F - Tabela de composição química das rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Amostra	MAI043	MAI030	MAI012	MAI050	MAI068	MAI060	MAI058B	MAI053I	MAI053II	MAI046F	MAI046E
Unidade	NeS-I	NeS-I	NeS-I	NeS-I	NeS-I	NeS-I	NeS-I	NeS-I	Diq-Foid	Diq-Foid	Diq-Maf
Lab.	A	B	A	A	A	A	A	B	B	A	B
SiO ₂	55,50	56,63	55,95	55,92	53,32	53,57	55,35	54,43	55,27	55,05	45,49
TiO ₂	0,34	0,49	0,43	0,49	0,60	0,37	0,27	0,57	0,13	0,53	2,98
Al ₂ O ₃	23,77	22,60	22,53	23,21	22,02	22,52	20,95	21,86	21,14	22,41	16,46
Fe ₂ O ₃	2,05	2,64	2,63	2,40	2,60	2,03	2,38	2,62	3,49	2,51	9,31
MnO	0,25	0,19	0,17	0,18	0,19	0,16	0,32	0,20	0,26	0,16	0,16
MgO	0,14	0,20	0,20	0,23	0,29	0,18	0,11	0,26	0,11	0,25	2,43
CaO	1,74	1,46	2,10	1,35	1,54	1,23	0,83	1,48	0,97	1,34	6,82
Na ₂ O	1,49	3,48	4,74	5,85	8,44	8,18	8,27	7,28	9,10	5,71	5,22
K ₂ O	12,24	9,75	8,61	9,47	8,04	8,62	8,61	8,12	6,64	8,67	6,39
P ₂ O ₅	0,02	0,05	0,06	0,05	0,07	0,03	0,01	0,07		0,06	0,82
SO ₃	0,08	0,01	0,07	0,03	0,14	0,16	0,08	0,15	0,08	0,09	0,28
LOI	1,30	1,25	1,32	1,68	1,49	1,69	1,30	1,78	1,73	2,11	2,59
Total	99,23	99,13	99,26	101,18	99,14	98,93	98,91	99,25	99,26	99,21	99,41
Li	18,40	28,15	26,60	30,20	21,20	11,90	29,30	12,86	29,41	18,40	19,33
Cs		1,03						1,10	1,87		2,37
Rb	229,90	198,08	248,50	182,20	101,70	132,60	176,40	78,83	169,87	131,50	231,12
Ba	22,00	294,43	316,00	123,00	286,00	9,00	32,00	378,62	7,52	246,00	1508,13
Be	< 5	5,09	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	3,74	10,94	< 5	2,42
Sr	1026,00	1619,70	1891,00	900,00	1206,00	302,00	192,00	661,89	126,88	1274,00	1420,12
Pb	24,20	13,85	32,80	18,40	15,90	10,20	44,40	10,89	33,49	23,90	10,23
Th	30,10	20,45	33,90	21,00	16,20	26,50	46,00	12,17	27,08	12,00	11,11
U	3,00	2,86	8,10	3,60	1,50	2,80	10,40	5,18	6,40	1,60	3,00
Zr		541,15						805,67	1289,22		478,41
Hf		11,52						15,51	24,95		11,41
Ta	7,40	8,36	13,70	11,10	12,90	11,70	10,20	12,32	3,42	7,80	5,91
Y	26,50	27,45	36,80	17,60	18,50	32,30	42,70	17,30	17,79	9,70	30,77
Nb	201,70	175,63	298,20	238,50	234,70	173,00	436,20	245,65	182,66	200,50	97,42
Sc	< 1	0,11	< 1	< 1	< 1	< 1	1,00	0,03	0,11	< 1	7,15
Cr	2,00	2,82	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,05	< 1	2,00	8,34
Ni	1,00	< 0,5	0,60	1,10	< 0,5	< 0,5	0,60	< 0,5	< 0,5	1,50	3,55
Sn	1,70	1,87	2,00	1,70	2,30	2,10	1,90	1,93	3,42	1,40	2,53
Co	< 1	0,32	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	0,48	0,14	< 1	19,26
V	14,00	36,45	19,00	26,00	33,00	16,00	13,00	33,16	35,77	32,00	132,46
W	1,60	1,69	3,60	1,30	2,10	4,70	2,40	1,09	0,67	2,40	5,99
Ga		27,80						27,66	43,99		27,18
Zn	141,00	101,62	127,00	129,00	122,00	99,00	265,00	98,81	155,40	117,00	118,25
Cu	< 0,5	4,67	1,40	1,40	0,60	0,70	0,70	2,43	0,65	3,90	23,98
Mo	2,40	2,66	3,50	0,50	3,80	13,70	4,30	2,02	1,07	2,40	1,35
Bi	< 0,5	0,106	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,061	0,153	< 0,5	0,046
Cd	< 0,5	0,184	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,256	0,319	< 0,5	0,068
Sb	< 0,5	0,431	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,172	0,391	< 0,5	0,260
La		211,82						89,68	94,64		89,37
Ce		334,47						140,23	169,43		175,07
Pr		26,48						12,47	7,35		17,88
Nd		69,54						35,47	16,18		69,66
Sm		7,306						4,290	1,660		12,490
Eu		2,223						1,274	0,479		3,879
Gd		7,027						3,891	2,307		9,860
Tb		0,791						0,478	0,275		1,251
Dy		4,512						2,813	1,928		6,658
Ho		0,965						0,581	0,468		1,144
Er		2,937						1,742	1,606		2,799
Tm		0,450						0,265	0,297		0,353
Yb		2,846						1,811	2,237		2,053
Lu		0,416						0,279	0,381		0,293
mg#	11,92	13,05	13,09	15,96	18,10	14,94	8,39	16,43	5,88	16,48	34,09
R1	247,12	178,98	-45,53	-638,12	-1404,31	-1410,80	-1328,19	-937,11	-1192,34	-463,25	-624,87
R2	659,46	609,53	676,63	611,21	611,17	582,36	505,29	600,12	523,99	595,44	1173,17
IA	0,66	0,72	0,76	0,86	1,03	1,01	1,09	0,95	1,05	0,84	0,94
A/NK	1,51	1,39	1,32	1,17	0,97	0,99	0,91	1,05	0,95	1,19	1,06
A/CNK	1,26	1,19	1,08	1,04	0,87	0,90	0,86	0,93	0,88	1,06	0,59
K ₂ O/Na ₂ O	8,21	2,80	1,82	1,62	0,95	1,05	1,04	1,12	0,73	1,52	1,22
Nb/Ta	27,26	21,01	21,77	21,49	18,19	14,79	42,76	19,93	53,38	25,71	16,49
Zr/Hf		46,98						51,94	51,68		41,95
Eu/Eu*		0,95						0,95	0,75		1,07
(La/Lu)N		52,85						33,36	25,78		31,66
Q	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	5,06	3,79	1,82	1,04	-	-	-	-	-	1,46	-
or	72,33	57,61	50,88	55,96	47,51	50,94	50,88	47,98	39,24	51,23	32,46
ab	3,78	19,68	19,62	11,10	6,48	5,73	10,28	13,67	19,74	16,76	-
an	8,50	6,92	10,03	6,37	-	-	-	3,49	-	6,26	3,59
ne	4,49	5,27	10,86	20,70	33,60	33,65	26,84	25,45	28,19	16,77	22,93
lc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,15
ac	-	-	-	-	1,76	0,30	2,14	-	3,13	-	-
di	-	-	-	-	5,63	3,91	3,56	2,90	4,25	-	20,42
hy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ol	1,57	1,80	1,84	1,67	-	-	0,97	0,68	1,75	1,70	0,50
mt	0,92	1,19	1,18	1,08	0,29	0,76	-	1,18	-	1,13	3,57
il	0,65	0,93	0,82	0,93	1,14	0,70	0,51	1,08	0,25	1,01	5,66
hm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ap	0,05	0,12	0,14	0,12	0,17	0,07	0,02	0,17	-	0,14	1,94
aq	1,30	1,25	1,32	1,68	1,49	1,69	1,30	1,78	1,73	2,11	2,59

Lab.: Laboratório utilizado nas análises dos elementos traço e ETRs: A- AcmeLabs, via ICP-AES/ICP-MS; B- UNICAMP, via ICP-MS; C- Geoanalítica-USP, via ICP-MS.
Óxidos analisados via FRX pela AcmeLabs, exceto nas amostras analisadas pela Geoanalítica-USP.

ANEXO F - Tabela de composição química das rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Amostra	MAI067	MAI022BI	MAI036	MAI061	MAI192	MAI063	MAI208	MAI199	MAI197	MAI206I	MAI089B
Unidade	BtHblNeS	BtHblNeS	BtHblNeS	SdlNeS	SdlNeS	SdlNeS	BtAgtNeS	BtAgtNeS	BtAgtNeS	BtAgtNeS	BtAgtNeS
Lab.	A	B	B	A	A	A	A	B	A	A	A
SiO ₂	58,47	55,86	56,01	58,29	58,51	60,92	58,33	58,56	58,57	58,12	59,75
TiO ₂	0,89	1,12	1,64	0,85	0,87	0,77	0,49	0,88	0,53	1,06	0,84
Al ₂ O ₃	18,87	19,30	18,26	19,49	19,03	18,71	20,23	18,83	19,97	18,53	18,55
Fe ₂ O ₃	3,28	3,67	5,04	3,03	3,08	2,92	2,74	3,15	2,22	3,37	2,94
MnO	0,14	0,20	0,23	0,20	0,24	0,22	0,36	0,33	0,18	0,26	0,21
MgO	0,87	1,00	1,41	0,39	0,56	0,36	0,24	0,48	0,28	0,54	0,56
CaO	2,06	2,84	2,65	1,57	1,24	1,19	0,74	0,91	0,88	1,29	0,96
Na ₂ O	4,31	6,40	4,32	6,00	7,41	6,65	9,17	8,33	8,13	7,09	6,53
K ₂ O	8,86	6,83	8,39	8,22	6,68	6,61	5,53	6,16	6,23	6,74	6,73
P ₂ O ₅	0,24	0,39	0,42	0,08	0,12	0,08	0,03	0,09	0,05	0,10	0,11
SO ₃	0,04	0,45	0,01	0,08	0,23	0,08	0,27	0,09	0,06	0,26	0,09
LOI	1,19	0,97	0,97	0,66	1,06	0,76	0,91	1,10	1,56	1,29	1,62
Total	99,37	99,41	99,50	99,37	99,14	99,38	99,31	99,14	98,76	98,80	99,00
Li	10,70	19,77	9,75	10,10	15,90	7,70	28,50	27,25	23,80	14,40	9,80
Cs		0,63	0,98					3,19			
Rb	96,50	109,04	81,44	148,00	143,30	109,80	185,00	193,45	145,60	146,80	127,40
Ba	33,00	486,92	18,78	8,00	7,00	< 5	< 5	0,62	< 5	5,00	9,00
Be	< 5	3,10	1,23	< 5	< 5	< 5	< 5	4,75	< 5	< 5	< 5
Sr	589,00	1453,32	462,18	99,00	30,00	13,00	< 5	1,82	6,00	21,00	62,00
Pb	10,70	12,21	7,11	15,10	14,60	11,80	28,10	19,19	10,60	10,80	12,50
Th	6,30	11,34	8,44	24,50	13,60	10,50	28,20	31,98	10,20	12,20	8,40
U	1,40	2,34	1,30	3,40	2,30	2,10	8,10	3,42	1,80	1,40	1,50
Zr		418,48	281,95					916,62			
Hf		11,24	7,19					20,98			
Ta	3,90	6,90	5,74	18,00	8,60	11,80	18,60	15,49	7,50	18,70	8,80
Y	20,60	33,31	36,39	42,20	32,80	38,00	46,50	64,79	22,00	50,90	32,90
Nb	63,90	105,06	84,74	266,30	166,00	122,40	331,20	231,84	123,80	218,90	124,60
Sc	2,00	1,86	3,03	1,00	1,00	4,00	2,00	1,96	2,00	2,00	1,00
Cr	2,00	< 1	4,13	1,00	2,00	2,00	1,00	0,75	2,00	2,00	2,00
Ni	1,30	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,70	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,70	< 0,5	0,90
Sn	1,40	2,56	2,33	4,30	3,50	3,70	6,20	5,13	2,90	4,50	2,80
Co	< 1	1,27	0,22	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
V	< 10	28,54	21,86	21,00	18,00	10,00	10,00	21,09	13,00	26,00	21,00
W	2,30	4,30	1,59	1,60	2,50	2,20	< 0,5	1,99	0,80	3,30	3,70
Ga		21,29	20,35					27,71			
Zn	102,00	95,74	123,78	123,00	133,00	99,00	177,00	152,27	81,00	132,00	115,00
Cu	0,70	9,32	7,19	0,80	2,20	< 0,5	1,30	3,19	1,30	2,10	0,90
Mo	5,60	15,99	2,35	3,50	7,50	5,90	0,60	3,85	2,10	6,60	8,90
Bi	< 0,5	0,042	0,025	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,139	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cd	< 0,5	0,446	0,107	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,282	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Sb	< 0,5	0,068	0,066	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,168	< 0,5	< 0,5	< 0,5
La		165,72	253,93					271,39			
Ce		331,23	508,12					540,11			
Pr		35,53	54,91					55,51			
Nd		133,34	210,52					198,48			
Sm		18,169	27,464					27,974			
Eu		6,480	8,980					2,786			
Gd		13,074	19,167					20,641			
Tb		1,473	1,991					2,522			
Dy		7,153	8,883					13,065			
Ho		1,228	1,416					2,339			
Er		3,145	3,488					6,175			
Tm		0,400	0,395					0,827			
Yb		2,442	2,273					5,059			
Lu		0,363	0,335					0,748			
mg#	34,45	35,06	35,66	20,32	26,48	19,63	14,79	23,19	19,99	24,10	27,40
R1	188,67	-268,35	68,27	-266,45	-394,39	58,66	-744,48	-598,17	-510,81	-332,79	-6,90
R2	633,78	732,12	711,73	569,71	533,81	512,26	487,98	490,61	499,84	528,36	494,43
IA	0,88	0,93	0,89	0,96	1,02	0,97	1,04	1,08	1,01	1,02	0,97
A/NK	1,13	1,08	1,13	1,04	0,98	1,03	0,96	0,92	0,99	0,98	1,03
A/CNK	0,92	0,84	0,87	0,90	0,88	0,92	0,90	0,85	0,92	0,87	0,94
K ₂ O/Na ₂ O	2,06	1,07	1,94	1,37	0,90	0,99	0,60	0,74	0,77	0,95	1,03
Nb/Ta	16,38	15,22	14,77	14,79	19,30	10,37	17,81	14,97	16,51	11,71	14,16
Zr/Hf		37,22	39,21					43,68			
Eu/Eu*		1,28	1,19					0,35			
(La/Lu)N		47,39	78,68					37,69			
Q	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
or	52,35	40,36	49,58	48,57	39,47	39,06	32,68	36,40	36,81	39,83	39,77
ab	25,69	27,35	21,86	26,32	35,39	44,16	37,65	35,90	37,37	35,33	41,89
an	6,11	5,33	5,70	2,25	-	1,96	-	-	-	-	1,75
ne	5,71	12,92	7,92	12,96	13,70	6,28	19,29	14,44	16,61	12,17	6,91
lc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ac	-	-	-	-	0,46	-	2,23	2,83	0,30	0,42	-
di	2,09	5,08	3,84	4,23	4,49	2,90	3,02	3,34	3,43	4,80	1,90
hy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ol	2,07	1,29	2,78	0,36	0,75	0,86	1,48	1,69	0,35	0,57	1,51
mt	1,48	1,65	2,27	1,36	1,15	1,31	0,12	-	0,85	1,31	1,32
il	1,69	2,13	3,11	1,61	1,65	1,46	0,93	1,67	1,01	2,01	1,60
hm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ap	0,57	0,92	0,99	0,19	0,28	0,19	0,07	0,21	0,12	0,24	0,26
aq	1,19	0,97	0,97	0,66	1,06	0,76	0,91	1,10	1,56	1,29	1,62

Lab.: Laboratório utilizado nas análises dos elementos traço e ETRs: A- AcmeLabs, via ICP-AES/ICP-MS; B- UNICAMP, via ICP-MS; C- Geoanalítica-USP, via ICP-MS.
Óxidos analisados via FRX pela AcmeLabs, exceto nas amostras analisadas pela Geoanalítica-USP.

ANEXO F - Tabela de composição química das rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Amostra	MAI204	MAI196	MAI206II	MAI198IV	MAI066A	MAI202	MAI144B	MAI114	MAI102	MAI098	MAI092I
Unidade	BtAgTNeS	BtAgTNeS	Diq-Trq	Diq-Trq	BtHblP	BtHblP	BtHblP	BtHblP	BtHblP	BtHblP	BtHblP
Lab.	B	A	A	A	A	A	A	B	A	A	B
SiO ₂	60,18	60,21	60,78	60,69	59,24	59,40	58,35	58,35	58,16	58,07	58,40
TiO ₂	1,21	0,89	0,52	0,84	1,06	0,88	1,09	1,09	1,17	1,17	1,10
Al ₂ O ₃	17,74	18,20	18,58	18,87	18,06	18,28	18,40	18,44	18,35	18,49	18,56
Fe ₂ O ₃	3,47	2,70	2,61	3,16	3,86	3,83	3,36	3,33	3,86	3,94	3,51
MnO	0,22	0,16	0,21	0,40	0,14	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,17
MgO	0,84	0,69	0,39	0,31	1,16	1,07	0,98	0,93	1,13	1,15	0,96
CaO	1,38	1,36	0,82	0,19	2,20	2,09	2,09	2,14	2,38	2,40	2,14
Na ₂ O	6,04	5,77	6,55	5,89	4,70	5,18	4,62	4,90	5,09	4,61	5,65
K ₂ O	6,74	7,16	7,14	6,70	7,50	6,90	7,75	7,75	7,43	7,54	7,56
P ₂ O ₅	0,22	0,21	0,06	0,09	0,37	0,39	0,28	0,28	0,39	0,39	0,30
SO ₃	0,03	0,02	0,04		0,01	0,01	0,01	0,02	0,07	0,01	0,14
LOI	0,96	1,30	0,71	1,66	0,64	0,84	1,55	1,17	0,64	1,00	0,94
Total	99,17	98,74	98,70	98,98	99,20	99,38	98,86	98,82	99,06	99,15	99,69
Li	6,25	11,00	11,40	74,30	18,10	24,10	24,90	8,69	9,40	17,20	19,14
Cs	0,69							1,09			1,16
Rb	56,88	70,10	147,70	189,00	90,10	92,00	103,50	109,67	96,20	88,70	141,47
Ba	36,92	7,00	94,00	< 5	540,00	1115,00	333,00	420,53	491,00	435,00	427,20
Be	0,95	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	1,40	< 5	< 5	1,52
Sr	27,84	30,00	391,00	50,00	1129,00	1254,00	1070,00	1201,52	1160,00	1133,00	1221,52
Pb	3,92	9,20	11,00	20,40	12,40	12,10	10,00	9,29	10,00	9,90	11,30
Th	5,91	4,10	27,00	12,10	6,90	7,70	6,50	8,05	6,40	6,90	9,55
U	0,75	0,80	7,70	3,50	1,70	1,70	1,40	1,57	1,40	1,50	2,05
Zr	227,43							200,23			262,92
Hf	6,68							5,48			6,54
Ta	13,84	3,60	19,60	10,90	3,60	4,90	4,60	5,00	3,90	3,80	4,92
Y	51,86	16,10	50,10	32,20	21,20	23,70	24,90	29,22	22,50	19,40	30,39
Nb	111,84	62,10	261,40	194,40	63,80	81,60	76,40	69,11	64,40	60,60	77,48
Sc	1,71	3,00	1,00	2,00	4,00	5,00	3,00	2,56	3,00	4,00	2,38
Cr	1,92	3,00	3,00	2,00	2,00	3,00	4,00	2,16	1,00	< 1	2,59
Ni	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,60	0,80	1,20	< 0,5	0,50	< 0,5	< 0,5
Sn	3,42	1,50	3,40	4,50	1,60	2,10	1,70	1,79	1,90	1,40	1,95
Co	0,03	< 1	< 1	< 1	2,00	< 1	1,00	0,53	2,00	1,00	0,55
V	24,23	14,00	< 10	17,00	25,00	11,00	23,00	26,43	19,00	24,00	27,16
W	0,81	0,90	1,50	1,60	1,30	1,50	< 0,5	1,50	1,00	< 0,5	5,75
Ga	19,47							17,71			18,95
Zn	71,03	75,00	126,00	165,00	93,00	94,00	81,00	80,83	91,00	82,00	93,99
Cu	4,39	1,20	1,20	1,60	4,20	1,40	3,60	4,67	4,90	< 0,5	5,17
Mo	2,06	2,30	1,20	1,50	2,70	3,60	1,10	2,64	2,70	< 0,5	4,65
Bi	0,019	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,018	< 0,5	< 0,5	0,032
Cd	0,075	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,073	< 0,5	< 0,5	0,091
Sb	0,062	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,057	< 0,5	< 0,5	0,079
La	194,81							114,97			123,61
Ce	435,08							246,53			252,22
Pr	55,83							27,86			27,78
Nd	228,88							114,34			111,13
Sm	37,270							17,199			16,701
Eu	3,263							5,760			5,769
Gd	24,376							11,897			11,596
Tb	2,974							1,391			1,368
Dy	13,871							6,799			6,720
Ho	2,126							1,128			1,134
Er	4,789							2,788			2,839
Tm	0,514							0,334			0,370
Yb	2,795							1,916			2,222
Lu	0,356							0,278			0,329
mg#	32,42	33,61	22,84	16,27	37,32	35,63	36,62	35,62	36,71	36,64	35,14
R1	170,78	197,82	-24,92	284,34	400,33	385,99	322,87	224,23	203,60	340,29	0,96
R2	537,37	536,81	471,61	405,93	647,26	635,34	633,23	636,88	670,72	676,60	640,73
IA	0,97	0,95	1,00	0,90	0,88	0,87	0,87	0,89	0,89	0,85	0,94
A/NK	1,03	1,06	1,00	1,11	1,14	1,14	1,15	1,12	1,12	1,17	1,06
A/CNK	0,90	0,92	0,93	1,09	0,91	0,92	0,93	0,91	0,88	0,92	0,87
K ₂ O/Na ₂ O	1,12	1,24	1,09	1,14	1,60	1,33	1,68	1,58	1,46	1,64	1,34
Nb/Ta	8,08	17,25	13,34	17,83	17,72	16,65	16,61	13,82	16,51	15,95	15,75
Zr/Hf	34,03							36,57			40,21
Eu/Eu*	0,33							1,23			1,26
(La/Lu)N	56,80							42,93			39,00
Q	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	-	-	-	1,80	-	-	-	-	-	-	-
or	39,83	42,31	42,19	39,59	44,32	40,77	45,80	45,80	43,90	44,55	44,67
ab	43,30	41,09	41,19	49,66	36,51	40,25	33,19	32,22	33,00	33,10	31,57
an	1,47	2,67	0,33	0,36	6,07	6,27	6,61	5,51	5,50	7,51	3,43
ne	4,14	4,13	7,58	0,09	1,73	1,92	3,17	4,93	5,23	3,18	8,31
lc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ac	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
di	3,22	2,21	2,82	-	1,99	1,28	1,57	2,67	3,06	1,51	4,27
hy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ol	1,46	1,35	1,03	2,20	2,80	3,13	2,27	1,77	2,24	2,88	1,39
mt	1,56	1,21	1,17	1,42	1,74	1,72	1,51	1,50	1,74	1,77	1,58
il	2,30	1,69	0,99	1,60	2,01	1,67	2,07	2,07	2,22	2,22	2,09
hm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ap	0,52	0,50	0,14	0,21	0,88	0,92	0,66	0,66	0,92	0,92	0,71
aq	0,96	1,30	0,71	1,66	0,64	0,84	1,55	1,17	0,64	1,00	0,94

Lab.: Laboratório utilizado nas análises dos elementos traço e ETRs: A- AcmeLabs, via ICP-AES/ICP-MS; B- UNICAMP, via ICP-MS; C- Geoanalítica-USP, via ICP-MS.
Óxidos analisados via FRX pela AcmeLabs, exceto nas amostras analisadas pela Geoanalítica-USP.

ANEXO F - Tabela de composição química das rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Amostra	MAI149	MAI148	MAI092II	MAI100II	MAI090	MAI103	MAI097B	MAI110	MAI099	MAI079	MAI076
Unidade	BtHblP	BtHblP	Diq-Foid	Diq-Trq	AgtN	N-I	N-I	QzAFS-I	QzAFS-I	QzAFS-I	QzAFS-I
Lab.	A	B	B	A	B	A	B	B	A	A	A
SiO ₂	60,02	59,08	57,40	61,16	64,30	62,28	62,69	64,05	64,63	64,36	63,34
TiO ₂	1,06	1,06	0,16	0,83	0,40	0,81	0,70	0,64	0,80	0,72	0,81
Al ₂ O ₃	18,15	18,48	22,68	19,22	17,12	17,56	17,92	17,15	16,76	16,81	17,54
Fe ₂ O ₃	2,35	3,16	1,75	2,84	2,20	2,83	2,75	2,85	2,80	2,70	2,59
MnO	0,08	0,20	0,09	0,21	0,28	0,13	0,10	0,22	0,18	0,21	0,16
MgO	0,88	0,89	0,02	0,49	0,13	0,50	0,38	0,41	0,43	0,43	0,37
CaO	0,68	1,88	0,61	1,33	0,36	1,02	0,82	0,60	0,73	0,70	0,78
Na ₂ O	4,54	4,51	9,41	5,93	6,70	5,62	5,71	5,74	5,58	6,06	6,12
K ₂ O	8,43	7,59	6,22	6,85	5,95	6,67	7,12	6,36	6,47	6,24	6,54
P ₂ O ₅	0,24	0,28		0,10	0,02	0,16	0,12	0,08	0,09	0,08	0,09
SO ₃	0,04	0,02	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01		0,00		0,01
LOI	2,37	1,84	0,81	1,23	1,38	1,12	1,07	1,21	0,66	0,61	0,60
Total	99,06	99,27	99,38	100,38	99,01	98,94	99,54	99,52	99,32	99,13	99,14
Li	34,20	21,58	4,93	27,60	4,82	12,10	12,70	7,63	17,00	16,20	8,10
Cs		1,75	0,82		2,09		1,48	0,53			
Rb	162,00	142,09	124,57	155,30	187,20	192,80	92,53	108,60	176,40	146,60	140,90
Ba	430,00	455,84	7,31	90,00	1,07	162,00	25,99	8,64	27,00	10,00	< 5
Be	< 5	2,51	1,28	< 5	6,21	< 5	2,69	3,15	< 5	< 5	< 5
Sr	904,00	1139,38	63,30	337,00	6,28	305,00	45,28	9,16	18,00	10,00	5,00
Pb	33,30	22,57	11,88	16,20	14,89	17,90	9,79	5,06	21,10	10,30	16,10
Th	9,60	7,27	7,02	14,70	20,72	23,50	6,41	13,00	16,70	18,80	10,90
U	1,00	1,46	7,42	2,90	8,22	3,80	2,74	2,08	2,90	2,50	1,30
Zr		208,47	356,98		358,07		371,49	805,30			
Hf		5,59	6,39		11,47		10,01	18,45			
Ta	2,40	5,22	0,89	9,50	2,83	13,90	8,70	9,72	9,20	7,90	8,00
Y	19,00	30,22	2,78	30,40	17,83	57,90	25,59	20,42	32,60	33,90	35,20
Nb	43,00	74,77	39,65	167,00	166,66	191,40	121,31	161,90	158,40	146,60	110,20
Sc	2,00	2,33	< 1	1,00	1,49	3,00	1,84	2,29	7,00	7,00	8,00
Cr	2,00	0,51	0,37	< 1	2,94	2,00	3,30	2,43	1,00	< 1	1,00
Ni	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,60	0,26	0,29	0,60	< 0,5	1,00
Sn	4,60	6,46	0,52	3,50	4,58	7,00	3,40	3,50	5,00	3,90	3,10
Co	1,00	0,25	< 1	< 1	0,02	< 1	0,30	0,23	< 1	< 1	< 1
V	14,00	23,99	5,91	18,00	5,19	< 10	12,17	6,31	< 10	< 10	11,00
W	9,90	3,43	1,45	1,10	2,11	1,50	2,72	0,78	1,50	0,70	2,30
Ga		17,56	36,85		24,92		19,88	22,01			
Zn	66,00	103,10	63,02	113,00	110,38	93,00	94,01	77,26	108,00	96,00	92,00
Cu	6,40	3,60	0,49	3,40	4,78	3,30	2,70	3,18	1,20	< 0,5	1,10
Mo	48,60	3,07	3,24	1,00	8,53	2,70	11,78	0,73	1,30	0,60	2,40
Bi	< 0,5	0,170	0,025	< 0,5	0,146	< 0,5	0,044	0,023	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cd	< 0,5	0,613	0,101	< 0,5	0,105	< 0,5	0,109	0,052	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Sb	< 0,5	0,035	0,026	< 0,5	0,251	< 0,5	0,045	0,025	< 0,5	< 0,5	< 0,5
La		122,53	28,55		89,33		52,27	113,57			
Ce		256,84	24,39		137,03		116,79	128,11			
Pr		28,61	1,61		13,77		13,38	21,91			
Nd		113,24	3,56		42,28		52,35	74,36			
Sm		16,777	0,333		5,289		8,255	9,644			
Eu		5,659	0,166		0,418		1,619	0,622			
Gd		11,839	0,407		4,247		6,172	6,726			
Tb		1,386	0,040		0,514		0,848	0,821			
Dy		6,655	0,284		3,035		4,947	4,379			
Ho		1,125	0,072		0,583		0,930	0,807			
Er		2,806	0,297		1,859		2,530	2,247			
Tm		0,339	0,065		0,299		0,373	0,343			
Yb		2,026	0,592		2,100		2,368	2,394			
Lu		0,283	0,120		0,330		0,349	0,385			
mg#	42,59	35,82	2,21	25,48	10,48	25,93	21,49	22,18	23,33	23,99	22,06
R1	329,67	453,64	-1019,67	274,66	447,35	502,04	397,04	653,42	720,38	590,25	431,49
R2	472,51	607,87	511,22	543,69	380,85	478,45	458,17	421,01	428,26	426,03	445,93
IA	0,91	0,85	0,98	0,89	1,02	0,94	0,95	0,95	0,97	0,99	0,98
A/NK	1,09	1,18	1,02	1,12	0,98	1,07	1,05	1,05	1,04	1,01	1,02
A/CNK	1,02	0,97	0,97	0,98	0,94	0,96	0,96	0,98	0,96	0,93	0,94
K ₂ O/Na ₂ O	1,86	1,68	0,66	1,16	0,89	1,19	1,25	1,11	1,16	1,03	1,07
Nb/Ta	17,92	14,31	44,75	17,58	58,99	13,77	13,95	16,66	17,22	18,56	13,78
Zr/Hf		37,27	55,86		31,23		37,10	43,64			
Eu/Eu*		1,22	1,37		0,27		0,69	0,24			
(La/Lu)N		44,94	24,69		28,10		15,55	30,62			
Q	-	-	-	-	1,43	1,20	0,00	3,85	5,11	3,18	0,68
C	0,95	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
or	49,81	44,85	36,75	40,48	35,16	39,41	42,07	37,58	38,23	36,87	38,65
ab	38,13	37,31	30,44	44,12	54,93	47,51	48,27	48,57	47,19	51,27	51,74
an	1,81	7,50	1,45	5,64	-	3,01	2,26	2,25	1,59	0,24	1,09
ne	0,01	0,39	26,47	3,23	-	-	-	-	-	-	-
lc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ac	-	-	-	-	1,50	-	-	-	-	-	-
di	-	-	1,40	0,26	1,45	0,83	0,86	0,18	1,21	2,27	1,83
hy	-	-	-	-	1,80	2,23	1,33	2,80	1,95	1,52	1,25
ol	1,90	2,64	0,58	1,94	-	-	0,48	-	-	-	-
mt	1,06	1,42	0,79	1,28	0,24	1,27	1,24	1,28	1,26	1,21	1,17
il	2,01	2,01	0,30	1,58	0,76	1,54	1,33	1,22	1,52	1,37	1,54
hm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ap	0,57	0,66	-	0,24	0,05	0,38	0,28	0,19	0,21	0,19	0,21
aq	2,37	1,84	0,81	1,23	1,38	1,12	1,07	1,21	0,66	0,61	0,60

Lab.: Laboratório utilizado nas análises dos elementos traço e ETRs: A- AcmeLabs, via ICP-AES/ICP-MS; B- UNICAMP, via ICP-MS; C- Geoanalítica-USP, via ICP-MS.
Óxidos analisados via FRX pela AcmeLabs, exceto nas amostras analisadas pela Geoanalítica-USP.

ANEXO F - Tabela de composição química das rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Amostra	MAI073	MAI130	MAI129	MAI133	MAI093	MAI081	MAI074	MAI070B	MAI138II	MAI136	MAI146C
Unidade	QzAFS-I	Diq-Rto	Diq-Rto	QzAFS-II	QzAFS-II	QzAFS-II	Diq-Rto	mA	N-II	N-II	N-II
Lab.	A	B	A	B	A	A	A	B	A	B	A
SiO ₂	64,60	73,14	67,99	66,64	65,50	64,48	72,49	70,47	62,59	61,80	63,61
TiO ₂	0,72	0,18	0,36	0,46	0,59	0,55	0,17	0,22	0,79	0,75	0,69
Al ₂ O ₃	17,50	13,06	15,90	16,11	16,19	16,15	13,36	13,54	17,46	17,54	17,05
Fe ₂ O ₃	2,25	1,81	2,13	2,83	2,91	2,79	2,25	2,17	3,05	2,75	2,91
MnO	0,11			0,15	0,22	0,28	0,10	0,19	0,23	0,19	0,23
MgO	0,22	0,06	0,08	0,15	0,34	0,20	0,06	0,19	0,51	0,53	0,44
CaO	0,38	0,05		0,17	0,38	0,50	0,15	0,46	0,47	1,04	0,78
Na ₂ O	5,90	3,57	5,49	5,83	5,75	5,63	4,95	4,27	5,85	5,63	6,01
K ₂ O	6,79	5,67	5,38	5,80	5,97	5,98	4,87	5,47	6,50	6,82	6,31
P ₂ O ₅	0,07	0,02	0,03	0,06	0,08	0,07		0,01	0,17	0,14	0,13
SO ₃	0,00			0,01		0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	
LOI	0,68	1,16	1,14	1,00	0,74	2,00	0,56	1,70	1,02	2,20	0,88
Total	99,54	98,80	98,69	99,43	98,89	98,85	99,15	98,82	98,78	99,52	99,22
Li	7,00	4,04	7,60	9,44	12,00	10,70	14,30	22,00	26,50	8,56	15,10
Cs		1,02		0,98				2,79		0,83	
Rb	142,80	263,00	212,20	143,97	161,60	207,60	255,50	334,75	152,40	106,87	161,00
Ba	< 5	0,10	< 5	2,59	12,00	14,00	< 5	18,80	134,00	59,04	100,00
Be	< 5	4,18	< 5	2,99	< 5	< 5	< 5	6,55	< 5	2,24	< 5
Sr	< 5	0,27	6,00	3,74	9,00	21,00	6,00	21,14	182,00	114,96	136,00
Pb	12,20	5,04	18,00	9,35	16,80	12,10	37,10	23,33	13,40	11,21	18,90
Th	13,80	0,85	27,70	11,45	17,50	25,80	37,40	32,94	13,60	10,37	15,20
U	2,00	6,17	4,00	3,41	2,00	5,30	10,60	11,57	2,20	2,70	2,80
Zr		467,78		759,87				429,46		429,02	
Hf		16,80		18,30				15,58		10,46	
Ta	5,60	17,20	15,10	3,86	8,60	13,70	16,00	12,43	5,50	6,89	7,10
Y	30,80	1,75	32,70	19,24	22,00	35,90	69,10	42,46	50,40	29,19	29,50
Nb	107,80	248,39	274,20	141,63	143,30	217,10	241,50	244,26	117,90	102,79	146,30
Sc	5,00	0,41	3,00	2,79	8,00	5,00	2,00	1,45	4,00	2,81	4,00
Cr	< 1	2,42	2,00	< 1	2,00	2,00	1,00	0,53	2,00	0,73	3,00
Ni	< 0,5	< 0,5	0,90	< 0,5	< 0,5	0,70	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,70
Sn	2,70	7,99	7,70	3,82	3,90	4,40	10,10	7,00	3,00	2,80	3,90
Co	< 1	< 1	< 1	0,08	< 1	< 1	< 1	0,13	< 1	< 1	< 1
V	< 10	2,64	< 10	3,42	< 10	< 10	< 10	2,76	< 10	5,24	< 10
W	9,70	3,14	1,60	1,45	0,60	1,40	2,10	11,35	0,70	1,82	0,60
Ga		20,64		21,89				23,67		18,77	
Zn	68,00	34,40	27,00	89,39	116,00	152,00	218,00	130,65	114,00	91,28	112,00
Cu	0,60	0,92	3,40	1,81	0,90	< 0,5	1,20	2,51	2,70	2,61	2,90
Mo	0,90	0,85	< 0,5	0,89	< 0,5	2,10	1,40	3,60	0,70	0,53	0,60
Bi	< 0,5	0,329	< 0,5	0,097	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,241	< 0,5	0,056	< 0,5
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,117	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,377	< 0,5	0,110	< 0,5
Sb	< 0,5	0,300	< 0,5	0,063	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,301	< 0,5	0,096	< 0,5
La		1,15		76,60				78,36		102,82	
Ce		6,55		79,80				156,21		192,56	
Pr		0,21		14,45				16,86		22,22	
Nd		0,80		51,22				57,22		80,46	
Sm		0,157		7,189				10,078		11,658	
Eu		0,008		0,231				0,256		2,508	
Gd		0,153		5,266				7,621		8,543	
Tb		0,026		0,681				1,205		1,064	
Dy		0,201		3,682				7,565		5,894	
Ho		0,046		0,691				1,495		1,090	
Er		0,177		1,907				4,422		2,975	
Tm		0,044		0,279				0,715		0,420	
Yb		0,340		1,931				4,895		2,714	
Lu		0,064		0,315				0,740		0,404	
mg#	16,23	6,16	6,93	9,50	18,80	12,44	5,02	14,78	24,89	27,63	23,05
R1	545,84	2227,47	1258,35	929,67	837,22	813,59	1870,43	1837,96	475,73	435,01	537,22
R2	394,91	264,56	315,92	341,70	375,16	380,27	281,14	324,29	418,14	481,69	439,79
IA	0,97	0,92	0,93	0,99	0,98	0,97	1,00	0,96	0,95	0,95	0,98
A/NK	1,03	1,09	1,07	1,02	1,02	1,03	1,00	1,05	1,05	1,05	1,02
A/CNK	0,99	1,08	1,07	1,00	0,97	0,97	0,98	0,98	1,00	0,95	0,94
K ₂ O/Na ₂ O	1,15	1,59	0,98	0,99	1,04	1,06	0,98	1,28	1,11	1,21	1,05
Nb/Ta	19,25	14,44	18,16	36,74	16,66	15,85	15,09	19,65	21,44	14,92	20,61
Zr/Hf		27,85		41,52				27,56		41,03	
Eu/Eu*		0,16		0,11				0,09		0,77	
(La/Lu)N		1,87		25,24				10,99		26,42	
Q	2,95	29,95	14,85	9,22	7,34	6,98	24,00	22,74	1,59	0,04	2,16
C	-	1,01	1,12	0,08	-	-	-	-	0,36	-	-
or	40,12	33,50	31,79	34,27	35,28	35,34	28,78	32,32	38,41	40,30	37,29
ab	49,91	30,21	46,45	49,30	48,65	47,54	41,60	36,10	49,47	47,60	50,85
an	1,22	0,12	-	0,45	0,73	1,19	-	1,64	1,22	2,47	0,91
ne	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
lc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ac	-	-	-	-	-	-	0,23	-	-	-	-
di	0,18	-	-	-	0,54	0,72	0,66	0,50	-	1,48	1,78
hy	1,46	1,45	1,49	2,39	2,58	2,20	1,76	2,12	3,09	2,13	2,06
ol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
mt	1,01	0,81	0,96	1,27	1,31	1,26	0,90	0,98	1,37	1,24	1,31
il	1,37	0,34	0,68	0,87	1,12	1,04	0,32	0,42	1,50	1,42	1,31
hm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ap	0,17	0,05	0,07	0,14	0,19	0,17	-	0,02	0,40	0,33	0,31
aq	0,68	1,16	1,14	1,00	0,74	2,00	0,56	1,70	1,02	2,20	0,88

Lab.: Laboratório utilizado nas análises dos elementos traço e ETRs: A- AcmeLabs, via ICP-AES/ICP-MS; B- UNICAMP, via ICP-MS; C- Geoanalítica-USP, via ICP-MS.

Óxidos analisados via FRX pela AcmeLabs, exceto nas amostras analisadas pela Geoanalítica-USP.

ANEXO F - Tabela de composição química das rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Amostra	MAI189	MAI154	MAI137	MAI108II	MAI118B	MAI122	MAI120	MAI087	MAI112B	MAI113II	MAI144
Unidade	arpk-QzS	arpk-QzS	arpk-QzS	arpk-QzS	T-I	T-I	T-I	T-I	T-I	T-I	T-I
Lab.	A	A	A	B	A	B	A	A	B	A	A
SiO ₂	58,30	62,49	62,86	63,53	60,26	60,99	62,67	62,58	64,93	63,45	59,59
TiO ₂	1,08	0,79	0,85	0,67	0,94	0,77	0,71	0,82	0,61	0,80	1,14
Al ₂ O ₃	17,99	16,83	17,12	16,76	17,85	17,50	17,69	18,31	16,79	18,04	18,85
Fe ₂ O ₃	5,02	3,76	3,60	3,18	4,19	3,39	3,16	3,62	2,85	2,78	2,96
MnO	0,18	0,19	0,14	0,13	0,18	0,16	0,15	0,21	0,13	0,22	0,10
MgO	1,40	0,81	0,85	0,71	0,88	0,81	0,71	0,66	0,42	0,45	0,75
CaO	2,89	1,52	2,11	1,71	2,29	1,90	1,34	0,96	0,92	0,89	1,47
Na ₂ O	4,99	5,06	5,00	5,06	5,06	4,94	4,51	4,25	5,24	4,73	4,39
K ₂ O	5,71	6,33	6,28	6,10	5,99	6,55	6,94	6,28	6,62	6,64	8,12
P ₂ O ₅	0,51	0,25	0,33	0,22	0,41	0,24	0,18	0,17	0,12	0,11	0,37
SO ₃	0,01	0,01		0,00	0,01	0,01		0,01		0,00	0,01
LOI	0,72	0,61	1,50	0,85	0,89	1,73	0,51	1,43	0,66	0,89	1,10
Total	99,41	98,90	100,98	99,28	99,43	99,30	98,91	99,58	99,49	99,19	99,03
Li	11,50	20,60	13,60	26,19	21,20	14,10	31,10	15,10	14,97	19,70	4,10
Cs				2,01		2,07			2,91		
Rb	135,20	172,70	139,60	137,43	146,60	90,68	211,00	160,60	144,37	226,10	92,80
Ba	2068,00	654,00	1026,00	1153,78	1589,00	630,69	641,00	485,00	244,73	153,00	282,00
Be	< 5	< 5	< 5	3,66	< 5	4,12	< 5	< 5	3,04	< 5	< 5
Sr	2303,00	510,00	1309,00	694,04	1852,00	422,27	864,00	474,00	143,88	223,00	707,00
Pb	20,40	23,40	15,10	12,87	15,60	11,30	36,50	17,60	15,28	125,40	11,60
Th	10,80	18,00	9,30	21,94	14,30	13,16	22,10	17,10	24,35	20,60	6,00
U	2,20	3,80	2,00	5,26	2,90	4,51	2,90	2,20	5,00	3,40	1,30
Zr				389,67		527,91			554,58		
Hf				10,78		13,43			14,18		
Ta	4,90	6,50	3,20	6,97	5,70	8,22	9,70	8,60	7,58	10,40	3,40
Y	23,90	36,90	25,20	30,15	36,60	31,30	28,40	27,30	28,25	38,90	19,40
Nb	95,60	115,90	59,50	102,24	96,70	126,77	158,00	130,80	127,29	175,10	62,20
Sc	5,00	5,00	4,00	3,47	5,00	1,39	4,00	4,00	3,36	3,00	4,00
Cr	< 1	2,00	3,00	1,44	2,00	1,69	3,00	1,00	0,92	3,00	3,00
Ni	0,50	< 0,5	0,70	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,00	< 0,5	< 0,5	1,50
Sn	3,70	3,10	2,20	3,87	2,00	3,33	4,80	4,00	3,17	3,10	1,40
Co	< 1	2,00	1,00	1,92	2,00	0,66	1,00	1,00	0,68	< 1	2,00
V	34,00	14,00	12,00	24,85	21,00	15,60	14,00	19,00	8,84	13,00	18,00
W	2,60	1,90	0,70	1,38	1,30	2,64	2,60	1,80	1,69	1,50	< 0,5
Ga				19,82		21,44			22,51		
Zn	64,00	132,00	88,00	78,92	146,00	83,37	97,00	133,00	68,61	167,00	80,00
Cu	2,30	4,20	3,70	3,89	3,50	3,02	8,10	1,30	2,56	3,40	4,70
Mo	4,50	2,20	3,00	1,24	1,30	2,34	1,90	2,30	3,89	2,80	1,10
Bi	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,250	< 0,5	0,018	< 0,5	< 0,5	0,044	< 0,5	< 0,5
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,070	< 0,5	0,195	< 0,5	< 0,5	0,040	< 0,5	< 0,5
Sb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,068	< 0,5	0,131	< 0,5	< 0,5	0,023	< 0,5	< 0,5
La				97,60		103,28			135,61		
Ce				188,85		191,77			236,33		
Pr				19,77		21,57			26,82		
Nd				70,31		79,67			90,19		
Sm				10,694		11,699			12,390		
Eu				2,544		3,267			1,471		
Gd				7,883		8,575			8,993		
Tb				1,038		1,078			1,080		
Dy				5,782		5,902			5,675		
Ho				1,087		1,078			1,041		
Er				3,003		2,989			2,920		
Tm				0,437		0,427			0,443		
Yb				2,847		2,815			2,924		
Lu				0,445		0,429			0,470		
mg#	35,59	29,91	31,87	30,67	29,38	32,13	30,80	26,54	22,60	24,28	33,42
R1	623,31	771,40	831,51	911,88	687,84	672,53	853,18	1079,34	829,50	904,34	409,41
R2	731,62	533,01	603,81	547,00	638,87	586,81	525,66	494,69	448,68	471,48	564,31
IA	0,80	0,90	0,88	0,89	0,83	0,87	0,84	0,75	0,94	0,83	0,85
A/NK	1,25	1,11	1,14	1,12	1,21	1,15	1,18	1,33	1,06	1,21	1,18
A/CNK	0,92	0,94	0,91	0,93	0,94	0,94	1,02	1,18	0,96	1,09	1,01
K ₂ O/Na ₂ O	1,14	1,25	1,26	1,21	1,18	1,33	1,54	1,48	1,26	1,40	1,85
Nb/Ta	19,51	17,83	18,59	14,66	16,96	15,41	16,29	15,21	16,79	16,84	18,29
Zr/Hf				36,16		39,30			39,10		
Eu/Eu*				0,84		0,99			0,42		
(La/Lu)N				22,77		24,99			29,95		
Q	0,00	4,32	4,52	6,23	1,82	2,05	5,60	10,27	6,29	7,58	0,00
C	-	-	-	-	-	-	0,75	3,19	-	1,72	1,06
or	33,74	37,40	37,11	36,05	35,40	38,70	41,01	37,11	39,12	39,24	47,98
ab	42,18	42,78	42,31	42,79	42,78	41,75	38,16	35,93	44,34	39,99	37,11
an	9,85	4,53	5,72	5,02	8,32	6,26	5,47	3,65	2,74	3,70	4,88
ne	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
lc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ac	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
di	0,95	1,15	2,14	1,69	0,30	1,33	-	-	0,88	-	-
hy	4,15	3,82	3,09	2,88	4,52	3,38	3,67	3,88	2,36	2,66	0,48
ol	1,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,67
mt	2,26	1,69	1,62	1,43	1,89	1,53	1,42	1,63	1,28	1,25	1,33
il	2,05	1,50	1,61	1,27	1,79	1,46	1,35	1,56	1,16	1,52	2,17
hm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ap	1,21	0,59	0,78	0,52	0,97	0,57	0,43	0,40	0,28	0,26	0,88
aq	0,72	0,61	1,50	0,85	0,89	1,73	0,51	1,43	0,66	0,89	1,10

Lab.: Laboratório utilizado nas análises dos elementos traço e ETRs: A- AcmeLabs, via ICP-AES/ICP-MS; B- UNICAMP, via ICP-MS; C- Geoanalítica-USP, via ICP-MS.
Óxidos analisados via FRX pela AcmeLabs, exceto nas amostras analisadas pela Geoanalítica-USP.

ANEXO F - Tabela de composição química das rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia. *Continua...*

Amostra	MAI150B	MAI115II	MAI182C	MAI155	MAI163	MAI190	MAI107	MAI160	MAI178	MAI180	MAI174B
Unidade	T-I	T-I	BTM	N-III	N-III	HblP	HblP	HblP	MG-mts	NeS-II	NeS-II
Lab.	A	A	B	A	B	A	B	B	B	A	A
SiO ₂	61,48	62,68	54,55	61,76	61,48	60,44	59,52	58,73	46,87	60,69	61,78
TiO ₂	1,00	0,93	1,65	0,75	0,66	0,58	0,80	0,62	2,94	0,72	0,67
Al ₂ O ₃	19,10	18,36	17,29	18,28	18,16	18,45	18,23	19,47	12,34	18,44	17,88
Fe ₂ O ₃	2,44	1,05	6,74	2,70	2,96	3,00	3,70	2,97	16,18	2,43	2,77
MnO	0,17	0,17	0,16	0,21	0,21	0,14	0,16	0,14	0,24	0,18	0,23
MgO	0,57	0,26	2,18	0,40	0,45	0,74	0,95	0,66	4,59	0,38	0,43
CaO	0,67	0,48	4,23	0,56	0,50	1,47	1,71	2,07	8,23	1,25	0,98
Na ₂ O	4,16	5,12	4,60	5,15	5,40	5,74	5,43	6,42	3,95	6,05	7,18
K ₂ O	9,37	8,27	5,22	7,13	6,66	7,19	7,25	6,21	2,24	6,78	5,67
P ₂ O ₅	0,16	0,14	0,96	0,08	0,08	0,20	0,25	0,23	0,42	0,08	0,08
SO ₃	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,04	0,05	0,10
LOI	1,00	1,11	0,52	2,03	2,30	1,05	0,82	1,08	1,04	1,49	0,79
Total	100,29	98,71	98,82	99,12	99,04	99,15	98,95	99,14	99,32	98,81	98,69
Li	27,20	6,60	15,97	6,60	13,22	14,00	8,88	49,07	117,69	43,30	26,60
Cs			1,15		0,98		1,11	3,66	10,14		
Rb	223,40	170,60	93,16	126,90	112,34	110,00	68,95	116,64	118,91	177,20	141,90
Ba	78,00	22,00	2736,06	47,00	6,74	257,00	64,18	1390,66	378,14	225,00	13,00
Be	< 0,5	< 0,5	1,12	< 0,5	3,56	< 0,5	1,30	4,18	7,04	< 0,5	< 0,5
Sr	223,00	53,00	2355,82	44,00	3,89	381,00	144,87	1822,13	156,41	357,00	32,00
Pb	20,40	22,70	12,44	11,50	4,21	14,00	6,20	17,44	20,24	26,20	16,40
Th	13,40	11,50	3,86	6,50	6,60	5,30	4,20	19,04	5,64	25,70	13,50
U	2,20	2,40	0,92	1,70	2,27	1,30	1,22	5,07	1,93	6,00	4,40
Zr			192,21		551,24		196,96	435,12	231,75		
Hf			5,04		14,31		4,87	10,78	6,48		
Ta	7,80	4,70	4,01	3,90	12,03	3,40	4,44	8,13	1,24	9,50	9,20
Y	35,10	21,60	33,41	13,20	6,80	13,30	15,36	18,77	138,46	44,60	34,20
Nb	132,80	82,60	64,32	70,60	153,28	62,50	64,31	134,84	17,90	191,90	153,60
Sc	2,00	3,00	6,96	4,00	0,45	2,00	1,18	1,77	36,89	< 1	2,00
Cr	3,00	3,00	1,29	1,00	2,24	3,00	< 1	2,52	49,04	< 1	< 1
Ni	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,67	0,50	< 0,5	< 0,5	60,46	< 0,5	< 0,5
Sn	2,50	2,20	1,53	1,90	4,20	1,60	1,74	2,56	3,46	3,90	3,90
Co	< 1	< 1	8,43	< 1	0,54	< 1	0,86	1,32	43,92	< 1	< 1
V	13,00	< 10	82,89	< 10	13,55	11,00	18,21	19,78	388,11	< 10	< 10
W	1,10	4,00	0,39	0,60	2,11	< 0,5	0,53	3,12	3,74	1,70	2,20
Ga			20,96		22,65		16,88	19,72	20,90		
Zn	135,00	37,00	116,39	82,00	64,43	74,00	58,96	73,51	198,16	115,00	125,00
Cu	2,30	3,20	6,91	3,40	2,54	1,80	3,16	4,82	341,59	2,50	2,10
Mo	2,60	8,40	1,90	0,60	0,48	1,40	1,67	6,31	4,82	2,60	3,00
Bi	< 0,5	< 0,5	0,015	< 0,5	0,069	< 0,5	0,043	0,112	0,392	< 0,5	< 0,5
Cd	< 0,5	< 0,5	0,109	< 0,5	0,088	< 0,5	0,112	0,099	1,844	< 0,5	< 0,5
Sb	< 0,5	< 0,5	0,032	< 0,5	0,058	< 0,5	0,067	0,226	0,090	< 0,5	< 0,5
La			105,11		30,76		59,23	77,71	88,46		
Ce			216,54		66,26		112,00	137,40	82,92		
Pr			23,17		5,52		12,14	14,00	21,38		
Nd			90,50		18,67		46,39	48,13	92,37		
Sm			14,331		2,330		7,030	6,838	20,749		
Eu			4,949		0,191		2,321	3,068	5,043		
Gd			10,535		1,881		5,041	5,375	22,484		
Tb			1,315		0,224		0,620	0,671	3,613		
Dy			6,885		1,235		3,172	3,688	22,930		
Ho			1,232		0,241		0,558	0,677	4,510		
Er			3,167		0,726		1,464	1,931	11,406		
Tm			0,421		0,107		0,191	0,289	1,511		
Yb			2,586		0,742		1,201	1,888	9,016		
Lu			0,377		0,124		0,178	0,289	1,340		
mg#	31,64	32,91	39,06	22,69	23,15	32,83	33,72	30,57	35,98	23,65	23,52
R1	341,45	374,05	569,21	531,58	529,71	217,01	228,76	90,44	715,93	230,15	153,58
R2	474,69	424,47	899,95	438,40	432,11	555,97	587,75	636,20	1350,37	514,37	476,98
IA	0,89	0,95	0,76	0,89	0,89	0,93	0,92	0,89	0,72	0,94	1,00
A/NK	1,12	1,06	1,31	1,13	1,13	1,07	1,09	1,13	1,38	1,07	1,00
A/CNK	1,05	1,01	0,83	1,06	1,07	0,93	0,92	0,93	0,52	0,94	0,91
K ₂ O/Na ₂ O	2,25	1,62	1,13	1,38	1,23	1,25	1,34	0,97	0,57	1,12	0,79
Nb/Ta	17,03	17,57	16,04	18,10	12,75	18,38	14,47	16,58	14,46	20,20	16,70
Zr/Hf			38,11		38,52		40,47	40,35	35,77		
Eu/Eu*			1,23		0,28		1,19	1,54	0,71		
(La/Lu)N			28,94		25,75		34,54	27,91	6,85		
Q	-	0,33	-	2,27	2,22	-	-	-	-	-	-
C	1,29	0,48	-	1,27	1,36	-	-	-	-	-	-
or	55,37	48,87	30,85	42,13	39,35	42,49	42,84	36,70	13,24	40,06	33,50
ab	34,86	43,18	37,30	43,56	45,66	40,43	37,98	39,57	23,51	44,32	52,72
an	2,28	1,47	11,13	2,26	1,96	3,42	4,02	6,01	9,45	3,29	0,14
ne	0,15	-	0,87	-	-	4,33	4,25	7,95	5,24	3,56	4,01
lc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ac	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
di	-	-	2,95	-	-	2,13	2,34	2,29	23,84	2,00	3,53
hy	-	0,65	-	2,53	3,04	-	-	-	-	-	-
ol	1,63	-	6,06	-	-	2,02	2,54	1,75	9,88	0,92	0,79
mt	1,10	-	2,59	1,21	1,33	1,35	1,66	1,34	4,99	1,09	1,25
il	1,90	1,74	3,13	1,42	1,25	1,10	1,52	1,18	5,58	1,37	1,27
hm	-	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ap	0,38	0,33	2,27	0,19	0,19	0,47	0,59	0,54	0,99	0,19	0,19
aq	1,00	1,11	0,52	2,03	2,30	1,05	0,82	1,08	1,04	1,49	0,79

Lab.: Laboratório utilizado nas análises dos elementos traço e ETRs: A- AcmeLabs, via ICP-AES/ICP-MS; B- UNICAMP, via ICP-MS; C- Geoanalítica-USP, via ICP-MS.
Óxidos analisados via FRX pela AcmeLabs, exceto nas amostras analisadas pela Geoanalítica-USP.

ANEXO F - Tabela de composição química das rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia.

Amostra	MAI166I	MAI166II	MAI171	MAI165	MAI226	MAI027	MAI168	MAI194C
Unidade	NeS-II	Diq-Foid	Diq-Trq	T-II	TB	Emb	Emb	Emb
Lab.	B	B	A	B	C	C	C	C
SiO ₂	60,19	58,45	62,47	67,60	46,75	70,82	65,20	63,82
TiO ₂	0,63	0,21	0,83	0,54	3,43	0,14	0,67	0,50
Al ₂ O ₃	18,95	20,87	17,43	15,48	16,65	15,43	14,79	17,01
Fe ₂ O ₃	2,57	1,89	3,60	2,72	12,69	2,16	6,11	3,37
MnO	0,17	0,15	0,27	0,05	0,21	0,07	0,06	0,10
MgO	0,42	0,10	0,78	0,04	3,81	0,25	2,43	0,57
CaO	1,29	0,76	1,58	0,10	8,46	1,32	1,91	1,39
Na ₂ O	6,93	9,40	4,17	4,78	3,40	3,99	3,88	8,37
K ₂ O	6,75	5,86	6,09	6,35	1,85	5,85	2,86	3,15
P ₂ O ₅	0,10		0,29	0,06	0,88	0,05	0,22	0,16
SO ₃	0,08	0,10	0,02	0,00				
LOI	0,93	1,17	0,97	0,87	1,39	0,40	1,37	0,89
Total	99,19	99,06	98,92	98,77	99,52	100,48	99,50	99,32
Li	24,01	24,60	11,20	1,97				
Cs	3,14	1,04		2,02	0,93	0,52	10,59	1,80
Rb	143,19	184,77	175,80	271,56	39,17	136,64	117,78	176,18
Ba	141,83	1,39	1490,00	23,61	1885,10	583,42	411,62	272,40
Be	2,81	1,40	< 5	3,64	< 5	< 5	< 5	< 5
Sr	229,97	6,08	1012,00	5,53	1777,47	147,95	83,34	219,04
Pb	15,39	4,09	31,30	0,62	7,62	14,81	62,89	11,19
Th	13,02	22,84	13,10	2,12	9,02	5,15	41,02	6,93
U	3,19	3,49	2,20	4,44	1,69	0,75	13,18	2,16
Zr	436,12	447,42		724,52	240,82	45,36	187,02	368,59
Hf	10,82	10,43		19,76	5,37	1,17	4,75	9,70
Ta	7,32	4,66	8,10	13,52	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Y	28,36	13,94	22,20	4,16	30,54	39,58	23,50	38,90
Nb	110,16	117,90	149,40	207,79	88,12	46,78	12,97	63,34
Sc	1,44	0,66	4,00	< 1	19,00	< 1	< 1	< 1
Cr	3,36	< 1	3,00	2,78	51,00	< 1	176,00	< 1
Ni	< 0,5	< 0,5	0,50	< 0,5	29,00	< 0,5	55,00	< 0,5
Sn	3,05	2,18	3,80	6,00				
Co	0,14	< 1	3,00	0,05	30,00	< 1	17,00	< 1
V	13,94	6,64	22,00	6,86	209,00	< 10	101,00	48,00
W	2,91	3,94	3,70	4,71	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Ga	21,11	27,57		22,74	24,00	18,00	23,00	31,00
Zn	90,63	56,82	57,00	11,32	140,00	32,00	102,00	82,00
Cu	4,27	0,88	2,40	2,21	43,00	< 0,5	13,00	< 0,5
Mo	3,65	5,99	9,00	2,21	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Bi	0,192	0,048	< 0,5	0,063	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cd	0,164	0,145	< 0,5	0,041	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Sb	0,099	0,029	< 0,5	0,156	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
La	91,26	88,17		9,09	80,85	54,57	36,34	67,81
Ce	173,62	179,08		44,19	155,20	77,03	73,78	127,23
Pr	19,62	8,92		1,79	16,90	11,66	9,09	19,47
Nd	70,40	21,56		6,14	68,63	40,59	32,72	63,56
Sm	10,420	2,140		0,951	12,418	8,224	6,400	11,732
Eu	2,344	0,323		0,103	3,844	1,342	1,072	1,272
Gd	7,669	2,625		0,882	10,120	8,005	5,321	7,700
Tb	1,000	0,292		0,112	1,240	1,308	0,770	1,211
Dy	5,574	1,866		0,725	6,362	7,677	4,258	6,888
Ho	1,057	0,441		0,148	1,180	1,467	0,836	1,438
Er	2,898	1,531		0,465	2,938	3,739	2,183	4,163
Tm	0,417	0,286		0,080	0,388	0,490	0,298	0,652
Yb	2,603	2,197		0,575	2,027	2,809	1,855	4,394
Lu	0,397	0,386		0,104	0,295	0,383	0,281	0,656
mg#	24,46	9,49	30,03	2,83	37,30	18,65	44,07	25,10
R1	-109,74	-866,90	1145,04	1238,58	1069,45	1874,18	2125,14	444,79
R2	530,64	495,73	549,71	316,39	1420,83	456,36	615,09	510,72
IA	0,99	1,04	0,77	0,95	0,46	0,84	0,64	1,01
A/NK	1,01	0,96	1,30	1,05	2,19	1,20	1,56	0,99
A/CNK	0,90	0,90	1,07	1,04	0,72	1,01	1,14	0,86
K ₂ O/Na ₂ O	0,97	0,62	1,46	1,33	0,54	1,47	0,74	0,38
Nb/Ta	15,05	25,29	18,44	15,36				
Zr/Hf	40,31	42,89		36,68	44,88	38,83	39,37	38,01
Eu/Eu*	0,80	0,42		0,34	1,05	0,50	0,56	0,41
(La/Lu)N	23,86	23,71		9,07	28,42	14,80	13,43	10,72
Q	-	-	10,22	14,67	1,22	27,90	31,37	9,63
C	-	-	1,83	0,71	-	2,10	4,84	0,79
or	39,89	34,63	35,99	37,52	10,93	34,57	16,90	18,61
ab	40,18	34,90	35,15	40,43	21,31	24,19	20,05	54,82
an	0,94	-	5,95	0,10	28,66	6,25	8,07	5,88
ne	9,72	21,57	-	-	-	-	-	-
lc	-	-	-	-	-	-	-	-
ac	-	1,70	-	-	-	-	-	-
di	4,03	3,30	-	-	6,26	-	-	-
hy	-	-	4,25	1,70	15,41	2,43	10,45	3,76
ol	0,42	0,46	-	-	-	-	-	-
mt	1,16	-	1,62	1,22	3,91	0,97	2,75	1,52
il	1,20	0,40	1,58	1,03	6,51	0,26	1,28	0,95
hm	-	-	-	-	-	-	-	-
ap	0,24	-	0,69	0,14	2,08	0,11	0,51	0,37
aq	0,93	1,17	0,97	0,87	1,39	0,40	1,37	0,89

Lab.: Laboratório utilizado nas análises dos elementos traço e ETRs: A- AcmeLabs, via ICP-AES/ICP-MS; B- UNICAMP, via ICP-MS; C- Geoanalítica-USP, via ICP-MS. Óxidos analisados via FRX pela AcmeLabs, exceto nas amostras analisadas pela Geoanalítica-USP.

ANEXO G

ANEXO G - Tabela de composição isotópica das rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia

Amostra	Unidade	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(m)}$	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}$	$\epsilon\text{Nd}_{(i)}$	TDM	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(m)}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$	Idade
MAI030	NeS-I	0,512426	0,063530	0,512396	-2,93	637	0,705297	0,353855	0,704939	71,3
MAI053	NeS-I	0,512443	0,073145	0,512409	-2,68	661	0,705039	0,344587	0,704690	71,3
MAI046E	Diq-Maf	0,512507	0,108427	0,512457	-1,75	785	0,705317	0,470906	0,704841	71,3
MAI166I	NeS-II	0,512352	0,089509	0,512313	-4,66	855	0,707477	1,802029	0,705749	67,5
MAI036	BtHblNeS	0,512399	0,078887	0,512362	-3,60	738	0,705542	0,509880	0,705026	71,3
MAI114	BtHblP	0,512370	0,090959	0,512329	-4,28	843	0,705709	0,264121	0,705448	69,9
MAI092I	BtHblP	0,512366	0,090880	0,512324	-4,37	848	0,705741	0,335129	0,705409	69,7
MAI160	HblP	0,512345	0,085912	0,512307	-4,76	840	0,705716	0,185222	0,705538	67,5
MAI090	AgtN	0,512314	0,075650	0,512280	-5,24	812	0,754477	86,697055	0,668800	69,6
MAI110	QzAFS-I	0,512291	0,078430	0,512256	-5,74	854	0,730521	34,396084	0,696974	68,7
MAI130	Diq-Rto	0,512284	0,119269	0,512230	-6,22	1225	0,793208	2896,541120	-2,062271	69,4
MAI070B	mA	0,512277	0,106497	0,512229	-6,24	1092	0,743709	46,000579	0,698361	69,4
MAI108II	arpk-QzS	0,512265	0,091977	0,512223	-6,37	979	0,706988	0,573040	0,706429	68,7
MAI122	T-I	0,512315	0,088802	0,512275	-5,36	895	0,706539	0,621447	0,705933	68,7
MAI226	MG-mts	0,512440	0,109415	0,512391	-3,12	889	0,705395	0,063766	0,705333	67,5
MAI027	Emb	0,512141	0,122509	0,511679	-4,25	1505	0,739809	2,681350	0,717826	580,0
MAI194C	Emb	0,511712	0,111612	0,511273	-11,55	1988	0,740940	4,103474	0,705829	600,0
MAI168	Emb	0,511440	0,118276	0,510959	-17,17	2578	0,754741	2,338648	0,734061	620,0
Amostra		$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(m)}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(m)}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(m)}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$	Idade
MAI030	NeS-I	18,406	15,505	38,853	7,390	13,158	18,259	15,498	38,510	71,3
MAI053I	NeS-I	18,543	15,529	38,942	2,429	30,416	18,205	15,513	38,681	71,3
MAI046E	Diq-Maf	18,602	15,556	38,976	3,834	18,762	18,393	15,546	38,722	71,3
MAI166I	NeS-II	18,633	15,560	38,648	4,223	13,211	18,494	15,553	38,462	67,5
MAI036	BtHblNeS	18,256	15,495	38,561	6,701	11,597	18,127	15,489	38,286	71,3
MAI114	BtHblP	18,485	15,553	38,708	5,304	10,767	18,368	15,547	38,510	69,9
MAI092I	BtHblP	18,498	15,557	38,701	4,803	11,586	18,372	15,551	38,509	69,7
MAI160	HblP	18,687	15,558	38,703	3,883	18,562	18,491	15,549	38,461	67,5
MAI090	AgtN	18,740	15,577	38,795	2,606	35,334	18,356	15,559	38,478	69,6
MAI110	QzAFS-I	18,323	15,562	38,721	6,467	26,110	18,043	15,549	38,146	68,7
MAI130	Diq-Rto	18,582	15,593	38,712	0,143	78,143	17,736	15,552	38,673	69,4
MAI070B	mA	18,638	15,590	38,623	2,943	31,648	18,296	15,574	38,302	69,4
MAI108II	arpk-QzS	18,843	15,595	38,776	4,309	26,216	18,563	15,582	38,392	68,7
MAI122	T-I	18,701	15,590	38,777	3,017	25,539	18,427	15,577	38,515	68,7
MAI226	MG-mts	18,467	15,547	38,741	5,513	14,133	18,319	15,540	38,480	67,5
MAI027	Emb	17,836	15,589	38,745	7,074	3,210	17,801	15,587	38,664	580,0
MAI194C	Emb	19,080	15,724	38,959	3,216	13,538	18,933	15,717	38,808	600,0
MAI168	Emb	19,747	15,699	38,576	3,316	12,513	19,616	15,693	38,437	620,0

ANEXO H

ANEXO H - Resultados SHRIMP U-Pb em zircões de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia

Amostra	Cristal	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	²⁰⁶ Pb _{rad} (ppm)	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb razão % erro	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U razão % erro	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th razão % erro	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U Idade 1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb Idade 1σ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th Idade 1σ
MAI036	1	539	140	0,26	5,07	0,0805 4,37	0,0110 1,19	0,00695 5,50	67,38 0,94	100,31 400,53	70,17 13,93
MAI036	2	181	130	0,72	1,74	0,0690 4,93	0,0112 1,41	0,00447 4,72	69,98 1,23	44,66 482,67	72,62 7,44
MAI036	3	300	525	1,75	2,82	0,0515 2,45	0,0110 1,28	0,00354 2,34	70,19 0,91	203,27 114,51	70,95 1,79
MAI036	4	308	243	0,79	2,92	0,0514 2,23	0,0111 1,27	0,00369 3,07	70,54 0,93	49,51 155,10	71,35 2,94
MAI036	5	158	242	1,53	1,55	0,0711 2,66	0,0114 1,44	0,00409 3,05	70,64 1,37	73,07 548,82	73,57 4,47
MAI036	6	117	106	0,90	1,17	0,0835 7,12	0,0116 1,73	0,00450 4,26	70,74 1,92	-2,99 967,43	66,23 10,91
MAI036	7	802	15	0,02	7,65	0,0502 1,27	0,0111 1,13	0,00608 7,48	70,96 0,80	108,27 61,82	63,23 32,21
MAI036	8	513	155	0,30	4,94	0,0548 1,63	0,0112 1,18	0,00396 3,35	71,15 0,86	26,00 140,40	64,30 5,06
MAI036	9	320	206	0,64	3,10	0,0517 2,63	0,0113 1,26	0,00360 3,24	71,58 0,93	-43,83 181,26	66,78 3,43
MAI036	10	684	1630	2,38	6,57	0,0490 1,55	0,0112 1,16	0,00350 1,65	71,69 0,84	140,33 93,86	70,58 1,23
MAI036	11	282	382	1,35	2,72	0,0505 2,40	0,0112 1,65	0,00359 2,93	71,79 1,19	134,40 109,80	71,77 2,25
MAI036	12	902	1879	2,08	8,82	0,0496 1,34	0,0114 1,21	0,00360 1,62	72,59 0,88	12,47 76,30	71,74 1,20
MAI036	13	166	117	0,70	1,62	0,0503 4,96	0,0114 1,41	0,00388 4,09	72,72 1,22	146,08 374,78	77,24 6,89
MAI036		170	2	0,01	1,48	0,0642 2,68	0,0101 1,37	0,02830 10,51	63,49 1,11	2,25 476,53	
MAI092I	1	431	1068	2,48	3,87	0,0514 1,84	0,0105 1,29	0,00325 1,92	66,79 0,87	121,40 95,18	64,93 1,28
MAI092I	2	166	469	2,82	1,52	0,0551 4,68	0,0106 1,45	0,00330 3,48	67,72 1,02	144,15 216,38	65,40 2,32
MAI092I	3	390	615	1,58	3,63	0,0576 4,25	0,0108 1,28	0,00363 2,27	68,54 0,96	37,13 279,69	69,52 2,28
MAI092I	4	266	743	2,80	2,46	0,0538 2,97	0,0108 1,35	0,00343 2,17	68,63 0,97	121,83 186,35	68,20 1,62
MAI092I	5	445	527	1,18	4,15	0,0499 2,07	0,0109 1,28	0,00348 2,41	69,32 0,90	40,95 123,02	68,72 1,91
MAI092I	6	358	629	1,76	3,35	0,0514 2,08	0,0109 1,29	0,00344 2,21	69,34 0,95	37,34 201,70	67,95 1,91
MAI092I	7	635	1949	3,07	5,95	0,0513 1,57	0,0109 1,23	0,00340 1,69	69,50 0,90	30,52 177,95	67,71 1,26
MAI092I	8	519	942	1,81	4,86	0,0513 1,74	0,0109 1,36	0,00338 2,05	69,60 0,96	88,83 101,90	67,09 1,46
MAI092I	9	729	2020	2,77	6,84	0,0491 1,51	0,0109 1,31	0,00345 1,68	69,89 0,91	95,22 74,94	69,42 1,19
MAI092I	10	423	903	2,14	4,01	0,0500 2,00	0,0110 1,85	0,00342 2,43	70,58 1,31	50,64 116,34	68,20 1,74
MAI092I	11	466	1215	2,60	4,45	0,0491 1,77	0,0111 1,25	0,00342 1,89	70,99 0,90	57,20 120,77	68,54 1,31
MAI092I	12	287	682	2,38	2,85	0,0786 1,94	0,0116 1,93	0,00464 2,52	71,42 1,54	152,12 415,07	86,27 2,88
MAI092I	13	340	1543	4,55	3,26	0,0497 2,11	0,0112 1,33	0,00355 3,34	71,45 0,97	47,03 132,74	71,25 1,99
MAI090	1	306	474	1,55	2,86	0,0663 4,89	0,0109 1,46	0,00364 2,45	68,14 1,22	113,35 451,96	66,88 3,38
MAI090	2	306	427	1,40	2,82	0,0520 5,11	0,0107 1,31	0,00342 2,46	68,44 0,93	34,44 220,12	66,97 2,08
MAI090	3	470	874	1,86	4,36	0,0522 1,71	0,0108 1,24	0,00341 1,92	68,79 0,87	52,46 129,70	67,36 1,46
MAI090	4	517	344	0,66	4,79	0,0521 1,66	0,0108 1,24	0,00373 2,49	68,80 0,86	130,04 99,67	72,31 2,35
MAI090	5	682	1505	2,21	6,35	0,0504 1,47	0,0108 1,38	0,00339 1,79	69,18 0,97	32,23 136,05	67,41 1,36
MAI090	6	450	797	1,77	4,21	0,0520 2,07	0,0109 1,25	0,00344 1,99	69,55 0,96	75,43 236,69	67,91 1,97
MAI090	7	649	1219	1,88	6,11	0,0535 1,96	0,0110 1,22	0,00351 1,74	69,77 0,87	70,07 138,00	68,91 1,40
MAI090	8	393	701	1,79	3,69	0,0480 2,13	0,0109 1,27	0,00335 2,11	69,77 0,95	-31,84 228,89	66,80 1,90
MAI090	9	718	1463	2,04	6,74	0,0490 1,44	0,0109 1,21	0,00344 1,67	69,85 0,85	45,60 96,78	68,80 1,24
MAI090	10	279	451	1,62	2,64	0,0543 2,33	0,0110 1,34	0,00363 2,49	70,23 0,94	154,06 79,92	71,43 1,81
MAI090	11	253	381	1,50	2,41	0,0534 4,63	0,0111 1,36	0,00371 2,65	70,54 1,11	58,53 344,77	72,49 3,04
MAI090	12	1037	2498	2,41	9,87	0,0480 1,21	0,0111 1,18	0,00348 1,51	71,05 0,84	103,63 28,69	70,34 1,04
MAI110	1	310	310	1,00	2,84	0,0556 2,55	0,0107 1,32	0,00345 2,80	67,67 0,95	69,74 215,63	65,16 2,81
MAI110	2	90	136	1,51	0,84	0,0671 5,46	0,0108 1,72	0,00346 4,29	67,74 1,44	40,81 560,32	62,46 4,50
MAI110	3	198	242	1,22	1,83	0,0538 2,64	0,0108 1,41	0,00362 3,06	68,29 0,99	-71,04 190,43	68,93 2,50
MAI110	4	189	158	0,83	1,74	0,0525 3,04	0,0107 1,42	0,00333 3,76	68,33 1,05	86,57 246,57	64,15 3,90
MAI110	5	367	415	1,13	3,40	0,0565 2,56	0,0108 1,51	0,00349 2,87	68,36 1,07	64,84 201,51	66,05 2,58
MAI110	6	311	230	0,74	2,88	0,0512 2,70	0,0108 1,32	0,00363 3,10	68,51 0,91	-124,52 126,08	67,64 2,39
MAI110	7	493	410	0,83	4,56	0,0505 1,76	0,0108 1,25	0,00348 2,44	68,73 0,87	81,44 117,30	68,38 2,19
MAI110	7	212	214	1,01	1,90	0,0549 4,82	0,0104 1,44	0,00333 3,27	66,09 0,97	-27,34 214,91	62,30 2,53
MAI110	8	237	285	1,21	2,20	0,0524 2,67	0,0108 1,41	0,00344 2,90	68,83 1,00	-83,57 182,90	65,85 2,31
MAI110	9	261	205	0,78	2,43	0,0539 2,28	0,0108 1,34	0,00349 3,20	68,87 0,93	19,48 109,49	65,16 2,35

ANEXO H - Resultados SHRIMP U-Pb em zircões de rochas do Maciço Alcalino de Itatiaia

Amostra	Cristal	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	²⁰⁶ Pb _{rad} (ppm)	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb razão % erro	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U razão % erro	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th razão % erro	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U Idade 1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb Idade 1σ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th Idade 1σ
MAI110	10	468	395	0,85	4,37	0,0520 1,81	0,0109 1,25	0,00344 2,51	69,24 0,90	47,76 164,85	66,13 2,59
MAI110	11	397	301	0,76	3,73	0,0520 1,97	0,0109 1,28	0,00333 2,85	69,52 0,92	51,97 166,27	63,53 2,89
MAI110	12	457	401	0,88	4,31	0,0563 2,88	0,0110 1,39	0,00364 2,82	69,54 0,98	79,41 138,19	67,92 2,17
MAI110	13	424	405	0,96	4,02	0,0503 1,97	0,0110 1,28	0,00350 2,57	70,55 0,92	80,76 134,49	69,02 2,30
MAI070B	1	1172	1018	0,87	10,58	0,0533 1,40	0,0105 1,28	0,00345 1,88	66,92 0,86	97,93 97,15	66,35 1,64
MAI070B	2	565	383	0,68	5,15	0,0521 1,64	0,0106 1,24	0,00350 2,52	67,60 0,85	87,09 120,02	67,19 2,43
MAI070B	3	422	447	1,06	3,88	0,0530 2,91	0,0107 1,27	0,00354 2,41	68,13 0,87	3,13 107,66	67,95 1,74
MAI070B	4	1156	1047	0,91	10,74	0,0515 1,82	0,0108 1,24	0,00353 1,84	68,96 0,87	65,53 103,80	68,60 1,66
MAI070B	5	836	711	0,85	7,82	0,0554 2,01	0,0109 1,20	0,00362 1,94	69,10 0,86	63,60 166,07	67,75 2,34
MAI070B	6	1256	1169	0,93	11,73	0,0503 1,14	0,0109 1,18	0,00347 2,50	69,43 0,83	69,92 86,07	68,33 1,95
MAI070B	7	1122	791	0,71	10,49	0,0485 1,22	0,0109 1,19	0,00347 1,95	69,60 0,83	3,01 75,11	68,16 1,67
MAI070B	8	912	741	0,81	8,59	0,0497 1,34	0,0110 1,24	0,00341 2,68	70,00 0,86	20,57 46,99	66,53 1,82
MAI070B	9	1033	777	0,75	9,72	0,0494 1,25	0,0110 1,19	0,00355 1,97	70,10 0,83	84,98 46,06	70,43 1,47
MAI070B	10	1544	1806	1,17	14,57	0,0481 1,04	0,0110 1,17	0,00344 1,58	70,40 0,82	95,56 51,69	69,37 1,18
MAI070B	11	1164	1065	0,91	10,99	0,0482 1,21	0,0110 1,18	0,00345 1,81	70,43 0,83	105,27 52,31	69,55 1,37
MAI070B	12	1914	2105	1,10	18,62	0,0482 0,90	0,0113 1,16	0,00357 1,49	72,46 0,84	21,66 48,79	71,04 1,14
MAI070B	13	2145	4307	2,01	21,53	0,0484 0,86	0,0117 1,23	0,00366 1,44	74,80 0,91	81,28 43,82	73,55 1,07
MAI108II	1	374	316	0,85	3,36	0,0502 2,12	0,0105 1,24	0,00339 2,82	66,78 0,83	49,46 93,19	66,29 2,05
MAI108II	2	231	255	1,10	2,12	0,0604 2,44	0,0107 1,55	0,00362 3,16	67,38 1,07	130,21 167,46	67,12 2,53
MAI108II	3	288	233	0,81	2,64	0,0523 2,41	0,0107 1,29	0,00355 3,17	67,99 0,93	33,10 203,13	67,74 3,28
MAI108II	4	331	300	0,91	3,04	0,0495 2,26	0,0107 1,26	0,00359 2,80	68,30 0,89	26,54 164,02	70,66 2,66
MAI108II	5	229	174	0,76	2,10	0,0503 4,23	0,0107 1,75	0,00329 3,85	68,33 1,20	57,57 153,07	64,20 2,90
MAI108II	6	200	154	0,77	1,85	0,0525 3,61	0,0108 1,38	0,00357 3,76	68,58 1,07	38,17 325,06	67,88 4,99
MAI108II	7	398	636	1,60	3,66	0,0478 2,08	0,0107 1,46	0,00336 2,33	68,69 1,00	92,39 49,16	67,75 1,57
MAI108II	8	474	406	0,86	4,37	0,0487 1,98	0,0107 1,20	0,00354 2,72	68,77 0,86	112,01 143,03	71,09 2,61
MAI108II	9	181	183	1,01	1,67	0,0512 3,08	0,0108 1,41	0,00371 3,51	68,88 1,02	167,29 199,55	73,95 3,35
MAI108II	10	104	123	1,18	1,00	0,0761 7,30	0,0112 1,60	0,00392 4,20	69,10 1,93	101,49 955,94	65,44 9,03
MAI108II	11	177	214	1,21	1,77	0,1041 5,44	0,0116 1,39	0,00513 3,71	69,20 1,56	73,27 863,52	75,61 7,40
MAI108II	12	558	210	0,38	5,24	0,0567 3,75	0,0109 1,18	0,00389 4,31	69,40 0,85	166,08 175,06	67,57 5,20
MAI108II	13	409	408	1,00	3,82	0,0503 3,09	0,0109 1,22	0,00355 2,51	69,46 0,87	21,58 145,58	69,44 2,16
MAI108II	14	276	281	1,02	2,59	0,0499 2,46	0,0109 1,29	0,00349 2,96	69,82 0,92	118,85 126,04	69,59 2,39
MAI108II	15	181	248	1,37	1,71	0,0528 5,00	0,0110 1,45	0,00350 3,85	69,91 1,06	11,14 239,72	67,86 3,00
MAI108II	16	174	140	0,80	2,06	0,1301 3,09	0,0138 1,35	0,00713 3,15	79,54 1,81	210,92 871,75	73,50 13,03
MAI166I	1	596	463	0,78	5,30	0,0517 1,65	0,0103 1,47	0,00342 2,50	66,00 0,98	69,35 133,94	66,11 2,36
MAI166I	2	678	1121	1,65	6,07	0,0465 1,68	0,0104 1,17	0,00328 1,86	66,76 0,80	15,98 110,85	66,13 1,39
MAI166I	3	618	526	0,85	5,59	0,0494 1,70	0,0105 1,18	0,00341 2,30	67,43 0,79	81,80 63,20	67,76 1,67
MAI166I	4	879	1087	1,24	8,01	0,0484 1,41	0,0106 1,22	0,00338 2,28	68,04 0,83	100,56 39,81	68,01 1,56
MAI166I	5	307	158	0,52	2,93	0,0530 3,24	0,0111 1,27	0,00358 3,65	70,62 0,92	53,84 171,37	65,88 3,92
MAI166I	6	750	732	0,98	6,76	0,0483 1,52	0,0105 1,15	0,00329 2,03	67,13 0,78	62,78 76,74	65,84 1,52
MAI166I	7	341	138	0,40	3,12	0,0494 2,24	0,0107 1,25	0,00338 3,89	68,25 0,87	113,06 109,88	66,77 3,70
MAI166I	8	1241	1654	1,33	11,42	0,0488 1,16	0,0107 1,15	0,00341 1,61	68,60 0,78	72,23 44,48	68,34 1,12
MAI166I	9	806	618	0,77	7,25	0,0502 1,50	0,0105 1,15	0,00330 2,39	66,84 0,78	31,15 94,23	64,17 1,90
MAI166I	10	400	267	0,67	31,82	0,0597 0,67	0,0925 1,11	0,02823 1,60	570,05 6,05	571,05 19,29	558,16 8,42
MAI166I	11	378	320	0,85	3,50	0,0549 2,88	0,0108 1,24	0,00358 2,77	68,50 0,94	85,95 253,32	67,63 3,59
MAI166I	12	310	112	0,36	2,97	0,0969 3,14	0,0111 1,46	0,00683 4,75	67,05 1,29	115,31 604,37	60,95 16,35
MAI166I	13	247	102	0,41	2,23	0,0541 2,51	0,0105 1,37	0,00371 4,34	66,97 0,96	90,29 193,98	66,63 5,48