**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**LITOGEOQUÍMICA E QUÍMICA MINERAL DO MACIÇO
CHARNOCKÍTICO AIMORÉS-MG.**

Fernando Machado de Mello

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Machado

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

**SÃO PAULO
2000**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

LITOGEOQUÍMICA E QUÍMICA MINERAL DO MACIÇO CHARNOCKÍTICO AIMORÉS-MG

FERNANDO MACHADO DE MELLO

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Machado

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO JULGADORA

	Nome	Assinatura
Presidente:	Prof. Dr. Rômulo Machado
Examinadores:	Prof. Dr. Essaïd Bilal
	Prof. Dr. Herbet Conceição
	Prof. Dr. Marcos Aurélio Farias de Oliveira
	Prof. Dr. Oswaldo Siga Junior

SÃO PAULO
2000

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**LITOGEOQUÍMICA E QUÍMICA MINERAL DO MACIÇO
CHARNOCKÍTICO AIMORÉS-MG.**

Fernando Machado de Mello

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Machado

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

SÃO PAULO

2000

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004368

À memória de minha mãe

SUMÁRIO

Lista de Abreviações, Figuras, Pranchas e Quadros	iii
Agradecimentos	xii
Resumo	xvi
Abstract	xviii
 I - INTRODUÇÃO	
I.1 - APRESENTAÇÃO DO TEMA	1
I.2 - LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIOGRAFICOS	2
I.2.1 - Clima, Vegetação e Solo	3
I.2.2 - Relevo e Drenagem	3
I.3 - MÉTODOS DE TRABALHO	4
I.4 - CONSIDERAÇÕES SOBRE CHARNOCKITOS	5
 II - CONTEXTO GEOLÓGICO	
II.1 - BREVE HISTÓRICO	7
II.2 - LITOESTRATIGRAFIA	14
II.3 - CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DAS BANDAS «TM» DO SATÉLITE LANDSAT-5	14
II.4 - GEOLOGIA ESTRUTURAL REGIONAL	20
 III - GEOLOGIA LOCAL	
III.1 - INTRODUÇÃO	24
III.2 - A ESTRUTURA DO MACIÇO AIMORÉS	27
III.3 - PETROGRAFIA E MINERALOGIA	32
III.3.1 - Suíte Monzodiorítica Granodiorítica (SMG)	32
III.3.1.1 - Monzodioritos-Granodioritos com Piroxênio (SMGp)	33
III.3.1.2 - Quartzo-Monzodioritos com Titanita(SMGt)	40
III.3.2 - Suíte Charnockítica (SC)	42
III.3.2.1 - Suíte Charnockítica (unidade SCh)	42
III.3.2.2 - Suíte Charnockítica (unidade SCp)	47
III.3.3 - Suíte Granada-Granítica (SGG)	51
III.3.4 - Rochas Encaixantes	51
III.4 - QUÍMICA MINERAL	57
III.4.1 - Feldspatos	57
III.4.2 - Biotitas	61
III.4.3 - Piroxênios	79
III.4.4 - Anfibólios	83
III.4.5 - Zircões	91
III.4.6 - Granadas	92
III.4.7 - Apatitas	93
III.5 - LITOGEOQUÍMICA	95
III.5.1 - Caracterização Geoquímica	101
III.5.2 - Comportamento dos Elementos Maiores	107
III.5.3 - Comportamento dos Elementos Traços	111
III.5.4 - Elementos Terras Raras e Incompatíveis	114

III.5.5	- Diagramas de Discriminação de Ambientes Tectônicos	122
III.6	- ANÁLISES ISOTÓPICAS	127
III.6.1	- Análises Rb/Sr	127
III.6.2	- Método Sm/Nd	129
III.6.3	- U/Th/Pb em Monazitas	131
III.6.4	- U/Pb em Zircões	133
IV - GEOTERMOMETRIA E GEOBAROMETRIA		
IV.1	- GEOTERMOMETRIA E GEOBAROMETRIA	135
V - COMPARAÇÕES COM OUTRAS SUÍTES MAGMÁTICAS		
V.I	- INTRODUÇÃO	138
V.II	-COMPARAÇÃO DAS UNIDADES DO MIA COM OUTRAS SUÍTES MAGMÁTICAS	139
VI - CONCLUSÕES		147
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		152
ANEXO I - METOLOGIA		170
ANEXO II - ANÁLISES QUÍMICAS DAS ROCHAS		173
ANEXO III - ANÁLISES QUÍMICAS DOS MINERAIS		178
ANEXO IV - MAPAS DE PONTOS E GEOLÓGICO SIMPLIFICADO		

Lista de abreviações

Gerais

CAPES - Coordenação de Apoio à Pesquisa e Ensino Superior
CPRM - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
CVRD - Companhia Vale do Rio Doce
ES - Estado do Espírito Santo
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IG-USP - Instituto de Geociências da USP
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia
MG - Estado de Minas Gerais
UFRRJ - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
USP - Universidade de São Paulo

Termos Geológicos

a.f.u. - átomos por fórmula unitária
anf - Anfibólio
ap - Apatita
bi - Biotita
ETR - Elementos Terras Raras
ETRL - Elementos Terras Raras Leves
ETRP - Elementos Terras Raras Pesadas
f. - Fotografia e fotomicrografia
FRX - Fluorescência de Raio X
Enc. - Enclave
gr - Granada
HFS - *High Field Strenght Elements*
ICP - *Induced Coupled Plasma*
kf - Feldspato potássico
MEV - Microscópio Eletrônico de Varredura
MIA - Maciço Intrusivo Aimorés
N// - Nicóis paralelos
Nx - Nicóis cruzados
pl - Plagioclásio
Pto. - Ponto
px - Piroxênio
qz - Quartzo
Ro - Razão inicial Rb/Sr
SC - Suíte Charnockítica
SCh - Unidade Quartzo-Monzonitos/Granitos com piroxênio
SCp - Unidade Granitos porfíricos
SGG - Suíte Granada-Granítica (unidade granada-granitos)
SMG - Suíte Monzodiorítica-Granodiorítica
SMGp - Unidade Monzodioritos-Granodioritos com piroxênio
SMGt - Unidade Quartzo-Monzodioritos com titanita
TM - *Thematic Mapper*
ti - titanita

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

Figura 1.1 - Localização da região estudada	2
--	---

Capítulo II

Figuras 2.1a e 2.1b - Imagens Landsat mostrando a estrutura circular do Maciço de Aimorés, em a, bandas (357) e, em b, (PC1)	18
Figuras 2.2a e b - Mapa Geológico e Perfis Regionais da Região do Vale do RioDoce	21

Capítulo III

Figura 3.1 - Mapa geológico simplificado do Plúton de Aimorés	25
Figura 3.2 - Diagrama de classificação das rochas intrusivas do MIA, segundo o diagrama de Middlemost (1985)	26
Figura 3.3 - Estereograma mostrando a disposição da foliação magmática das diferentes suítes do MIA	28
Figura 3.4 - Estereograma mostrando a disposição de estruturas lineares magmáticas (orientação de megacristais) das diferentes suítes do MIA	28
Figura 3.5 - Class. dos feldspatos das diferentes suítes do MIA, segundo o diagrama An - Ab - Or	57
Figura 3.6 - Em A, conteúdo de An em megacristais de plagioclásio e matriz (SMG) e, em B, conteúdo de An em megacristais e matriz (SC) e enclaves associados	58
Figura 3.7 - A, conteúdo de An em Megacristais de plagioclásio e aqueles da matriz (SC), em B, comparação entre as unidades da SC, com enclaves	59
Figura 3.8 - A, comparação entre o conteúdo de An em plagioclásios da SMG e SC, em B, comparação entre a SGG e a SC	60
Figura 3.9 - Diagramas de variação de XMg <i>versus</i> Al ₂ O ₃ ; TiO ₂ ; MnO; Na ₂ O, Al ^{VI} e Al ^{IV} , em biotitas da SMG.	62
Figura 3.10a - Diagramas de variação de elementos em biotitas; TiO ₂ <i>versus</i> SiO ₂ ; Al ₂ O ₃ e MgO, da SC e SGG.	63
Figura 3.10b - Diagramas de variação de elementos em biotitas, em função da distância do centro (C) e da borda (B) do cristal	64
Figura 3.11 - Diagramas de variação de diversos elementos, em biotitas das suítes do MIA.	66
Figura 3.12 - Preenchimento das camadas octaédricas (A), visto através do diagrama XFe <i>versus</i> (R ²⁺ + R ³⁺) e, em (B), XFe <i>versus</i> Na+K, preenchimento de camadas interfoliais das biotitas do MIA	67
Figura 3.13 - Diagrama R ²⁺ + R ³⁺ <i>versus</i> Ti (a.f.u.) das biotitas do MIA	68

Figura 3.14 - Em (A), sítio vago ($\square$) <i>versus</i> Ti (a.f.u.), em biotitas do MIA, em (B), sítio vago ($\square$) <i>versus</i> $2R^{2+}$	69
Figura 3.15 - Posição das biotitas do MIA no diagrama R^{3+} <i>versus</i> R^{2+}	69
Figura 3.16 - Substituições em biotitas do MIA : em (A), Al^{VI} <i>versus</i> Ti e, (B), R^{2+} <i>versus</i> $2Al^{VI}$.	70
Figura 3.17 - Posicionamento das Biotitas do MIA no diagrama R^{2+} <i>versus</i> Ti (a.f.u.)	71
Figura 3.18 - Diagrama Mg <i>versus</i> $Fe^{2+} + Mn$ (a.f.u.), das biotitas do MIA	71
Figura 3.19 - Substituição em biotitas do MIA, em (A) R ($R=2-Al^{IV}-Al^{VI}$) <i>versus</i> Ti (a.f.u.) e, em (B) R^{2+} <i>versus</i> Al^{VI} .	72
Figura 3.20 - Diagrama Al^{VI} <i>versus</i> Al^{IV} , em biotitas do MIA.	73
Figura 3.21 - Classificação das biotitas das diferentes suítes do MIA, em relação aos pólos eastonita, siderofilita, flogopita e anita	74
Figura 3.22 - Posição das biotitas das suítes do MIA e do embasamento no diagrama de Chevrement <i>et al.</i> (1988)	75
Figura 3.23 - Diagrama mostrando a evolução da razão mg (a.f.u.) <i>versus</i> MgOT para as biotitas do MIA e embasamento granítico	76
Figura 3.24 - Evolução da razão Ti em biotitas <i>versus</i> conteúdo de MgOT para as unidades do MIA e embasamento granítico	77
Figura 3.25 - Posicionamento para as biotitas das suítes do MIA e embasamento granítico nos diagramas (A e B) de Nachit (1986)	78
Figura 3.26 - Posicionamento das biotitas estudadas segundo o diagrama de Abdel-Rahman (1994)	79
Figura 3.27 - Classificação dos piroxênios, segundo o diagrama Enstatita (En) - Ferrossilita (Fs) - Wollastonita (Wo)	80
Figura 3.28 - Diagrama MgO <i>versus</i> Al_2O_3 dos piroxênios do MIA	81
Figura 3.29 - Em A, Diagrama mg ($mg=Mg/Fe^{2+}$) (a.f.u.) <i>versus</i> MgO ; em B, FeO/MgO <i>versus</i> Al_2O_3 dos piroxênios das unidades do MIA	81
Figura 3.30 - Em A, diagrama FeO/MgO <i>versus</i> Fe-Mn ($Fe-Mn=Fe^{2+}/Fe^{2+}+Mn$) ; em B, diagrama $100*mg$ ($mg=Mg/Fe^{2+}$) <i>versus</i> Fe-Mn ($Fe^{2+}/Fe^{2+}+Mn$) p/ a mesma amostra	82
Figura 3.31 - Diagrama $100*mg$ ($mg=Mg/Fe^{2+}$) <i>versus</i> Al_2O_3 dos piroxênios do MIA	83
Figura 3.32 - Classificação dos anfibólios do MIA segundo Leake, 1978	84
Figura 3.33 - Diagrama de classificação de anfibólios do MIA, segundo Fabriès (1978) e Giret <i>et al.</i> (1980)	85
Figura 3.34 - Em A, diagrama Na_2O <i>versus</i> FeO em anfibólios. Em B, Diagrama MgO <i>versus</i> $Na_2O + K_2O$ em anfibólios das unidades do MIA	86
Figura 3.35 - Diagrama CAI <i>versus</i> TAI dos anfibólios do MIA	87

Figura 3.36 - Diagrama Al^{IV} <i>versus</i> $A(Na+K)$ em anfibólios do MIA	88
Figura 3.37 - Substituições em anfibólios do MIA, diagrama CTi (titânio na posição octaédrica) <i>versus</i> R^{2+} ($R^{2+} = CFe^{2+} + CMg + CMn$)	89
Figura 3.38 - Diagrama CTi <i>versus</i> CAI (posições octaédricas) em anfibólios do MIA	89
Figura 3.39 - Diagrama CTi <i>versus</i> ANa dos anfibólios do MIA	90
Figura 3.40 - Diagrama CTi <i>versus</i> $CFe_2 + CMn$ e CMg <i>versus</i> $CFe_2 + CMn$	91
Figura 3.41 - Composição dos zircões do MIA : (A) conteúdo de HfO_2 <i>versus</i> Y_2O_3 ; em (B), HfO_2 <i>versus</i> HfO_2/ZrO_2 , em (C) diagrama triangular $50*Hf - 5000*Th - Zr$	92
Figura 3.42 - Diagramas de variação CaO (% em peso) <i>versus</i> F , P_2O_5 , Cl , STR , La_2O_3 , Ce_2O_3 , Sm_2O_3 e Nd_2O_3 de apatitas do MIA	94
Figura 3.43 - Diagramas tipo «Harker» das rochas do MIA	99
Figura 3.44 - Diagrama $ACNK$ ($ACNK = Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$ em moles) <i>versus</i> ANK ($ANK = Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O)$ em moles) para as rochas do MIA, Maniar & Piccoli 1989	102
Figura 3.45 - Dados MgO <i>versus</i> $ACNK$ <i>versus</i> MgO das suítes do MIA, do embasamento granítico e dos maciços Ibituba e de Lagoa Preta, modificado de Bilal e Fonteilles (1991)	103
Figura 3.46 - Diagrama AFM para as suítes do MIA, em A, SMG; em B; SC	104
Figura 3.47 - Diagrama de classificação de séries magmáticas proposto por Irvine & Baragar (1971), com a distribuição das rochas do MIA, do embasamento e dos Maciços Ibituba e Lagoa Preta	105
Figura 3.48 - Posicionamento das rochas do MIA, do embasamento granítico e amostras dos Maciços Ibituba e Lagoa Preta, em relação à algumas séries de rochas plutônicas (modificado de Lameyre & Bowden, 1982) utilizando o diagrama QAP	105
Figura 3.49 - Diagrama de Debon e Le Fort (1983), com a distribuição das rochas do MIA, do embasamento granítico e dos Maciços Ibituba e Lagoa Preta	106
Figura 3.50 - Diagrama de Peacock (1931). Em A, para a SMG, em B, para a SC	107
Figura 3.51 - Diagramas de variação de MgO <i>versus</i> TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , CaO , MnO , P_2O_5 e SiO_2 , para rochas do MIA, do emb. granítico e dos maciços de Ibituba e Lagoa Preta	108
Figura 3.52 - Diagrama de variação do CaO <i>versus</i> CaO/K_2O . Em (A), <i>versus</i> Na_2O/K_2O e, em (B), para as rochas do MIA, do embasamento granítico e amostras dos Maciços Ibituba e Lagoa Preta	110
Figura 3.53 - Diagrama FMMT ($FMMT = Fe_2O_3 + MgO + MnO + TiO_2$) <i>versus</i> SiO_2 , para as rochas do MIA, do embasamento granítico e amostras dos Maciços Ibituba e Lagoa Preta	111

Figura 3.54 - Diagramas de variação de MgO <i>versus</i> Zn , Ga, Ni, Zr, Nb e Sr, para as rochas do MIA, do embasamento granítico e amostras dos Maciços Ibituba e Lagoa Preta	112
Figura 3.55 - Em A, diagrama Ba/1000- MgO - ACNK. Em B, diagrama Zr-FMMT*30-ACNK*200, para as rochas do MIA, do embasamento granítico e amostra dos Maciços Ibituba e Lagoa Preta	113
Figura 3.56 - Diagrama FMMT <i>versus</i> , em (A) Zn ; em (B), Th ; em (C), Ni e, em (D), Zr, para as rochas do MIA, do embasamento granítico e amostras dos Maciços Ibituba e Lagoa Preta	114
Figura 3.57 - Diagrama Ba/Sr - FMMT - Rb/20, para as rochas do MIA, do embasamento granítico e dos maciços de Ibituba e Lagoa Preta	114
Figura 3.58 - Espectros de elementos terras raras normalizados em relação ao padrão do condrito de Boynton (1984) para as diferentes suítes do MIA	116
Figura 3.59 - Padrão de distribuição de elementos incompatíveis para as diferentes associações do MIA, com normalização segundo o padrão dos « <i>Ocean Ridge Granites</i> » de Pearce <i>et al.</i> (1984)	118
Figura 3.60 - Padrão de distribuição de elementos incompatíveis para a SMG, com normalização segundo o padrão dos « <i>Ocean Ridge Granites</i> » (Pearce <i>et al.</i> 1984) e condrito de Thompson <i>et al.</i> 1982)	119
Figura 3.61 - Padrão de distribuição de elementos incompatíveis para a SC e SGG com normalização segundo o padrão dos « <i>Ocean Ridge Granites</i> » (Pearce <i>et al.</i> , 1984) e condrito de Thompson <i>et al.</i> (1982)	120
Figura 3.62 - Padrão de distribuição de elementos incompatíveis para as suítes do MIA, com normalização segundo o padrão dos « <i>ORG</i> » (Pearce <i>et al.</i> 1984) e para condritos normalizado com os valores (e ordem) de Thompson <i>et al.</i> (1982) ; com as correções sugeridas por Rollinson (1993)	121
Figura 3.63 - Distribuição das amostras do MIA no diagrama R1 <i>versus</i> R2, de Batchelor & Bowden (1985)	122
Figura 3.64 - Posicionamento das rochas do MIA no diagrama propostos por Pearce <i>et al.</i> (1984) para discriminação de ambientes tectônicos de granitóides	123
Figura 3.65 A e B - Distribuição das rochas do MIA no diagrama Zr + Nb + Ce + Y <i>versus</i> (K ₂ O+Na ₂ O)/CaO e FeOT/MgO (Whalen <i>et al.</i> 1987), para granitos do tipo A pós-tectônicos	124
Figura 3.66 - Diagrama de Brown (1982). Em A, para a SC ; em B, comparando-se a SC com a SMG ; em C, para os granodioritos da SMG ; em D, para os monzodioritos somados aos quartzo-monzodioritos da SMG	125
Figura 3.67 - Disposição das rochas do MIA no diagrama de discriminação de ambientes tectônicos proposto para suítes intrusivas Mesozóicas e Terciárias comparadas com o campo de alcance para andesitos Cálculo-alcalinos Normais. Modificado de Brown (1982)	126
Figura 3.68A - Isócrona Rb/Sr para o conjunto de dados obtidos das amostras do MIA	128

Figura 3.68B - Isócrona Rb/Sr para as amostras da SC, da SCp e SGG	128
Figura 3.69 - Histograma balanceado representando o tratamento efetuado nos dados U/Th/Pb em monazitas, segundo o modelo de Montel <i>et al.</i> (1994 e 1996)	132
Figura 3.70 - Diagrama concórdia para dados U/Pb em zircões	134

Capítulo IV

Figura 4.1 - Temperaturas estimadas para as rochas do MIA, segundo o diagrama $(Na+K+2Ca)/Al \times Si$ (em proporções catiônicas) <i>versus</i> Zr (em ppm), proposto por Watson & Harrison (1983)	136
Figura 4.2 - Posição das rochas das suítes do MIA no diagrama SiO_2 <i>versus</i> P_2O_5 . Isotermas segundo Watson & Harrison (1984)	137

Capítulo V

Figura 5.1 - Comparação entre diversas suítes magmáticas e as suítes Monzodiorítica-Granodiorítica (SMG) e Charnockítica (SC) do Maciço Aimorés, segundo diagrama SiO_2 <i>versus</i> TiO_2 .	140
Figura 5.2 - Comparação entre diversas suítes magmáticas e as suítes Monzodiorítica-Granodiorítica (SMG) e Charnockítica (SC) do Maciço Aimorés, segundo diagrama SiO_2 <i>versus</i> Al_2O_3	141
Figura 5.3 - Comparação entre diversas suítes magmáticas e as suítes Monzodiorítica-Granodiorítica (SMG) e Charnockítica (SC) do Maciço Aimorés, segundo diagrama SiO_2 <i>versus</i> MgO	142
Figura 5.4 - Comparação entre diversas suítes magmáticas e as suítes Monzodiorítica-Granodiorítica (SMG) e Charnockítica (SC) do Maciço Aimorés, segundo diagrama SiO_2 <i>versus</i> CaO	142
Figura 5.5 - Comparação entre diversas suítes magmáticas e as suítes Monzodiorítica-Granodiorítica (SMG) e Charnockítica (SC) do Maciço Aimorés, segundo diagrama SiO_2 <i>versus</i> MnO	143
Figura 5.6 - Comparação entre diversas suítes magmáticas e as suítes Monzodiorítica-Granodiorítica (SMG) e Charnockítica (SC) do Maciço Aimorés, segundo diagrama SiO_2 <i>versus</i> Na_2O	144
Figura 5.7 - Comparação entre diversas suítes magmáticas e as suítes Monzodiorítica-Granodiorítica (SMG) e Charnockítica (SC) do Maciço Aimorés, segundo diagrama SiO_2 <i>versus</i> K_2O	145
Figura 5.8 - Comparação entre diversas suítes magmáticas e as suítes Monzodiorítica-Granodiorítica (SMG) e Charnockítica (SC) do Maciço Aimorés, segundo diagrama SiO_2 <i>versus</i> P_2O_5 .	146

LISTA DE QUADROS

Capítulo II

Quadro 2.1 - Resumo dos dados geocronológicos disponíveis sobre granitóides neoproterozóicos e rochas metamórficas regionais do Vale do Rio Doce	8
---	---

Capítulo III

Quadro 3.1 - Resumo de análises modais e normativas dos principais litotipos do MIA	36
--	----

LISTA DE TABELAS

Capítulo III

Tabela 3.1 - Resultados de análises Rb/Sr das amostras do MIA	127
Tabela 3.2 - Resultados de análises Sm/Nd das amostras do MIA	130
Tabela 3.3 - Dados obtidos de U/Pb em zircões da amostra FAM10, da SCh	133

Capítulo IV

Tabela 4.1 - Média de pressões obtidas no cálculo geotermométrico c/ base em anfibólios, a partir de diferentes métodos, para as unidades do MIA	135
---	-----

LISTA DE PRANCHAS

Capítulo III

Prancha 3.1	29
--------------------	----

Fotografia A - Lineação de fluxo magmático em megacristais de feldspato potássico. Pto. 27, corte XY, plano horizontal
 Fotografia B - Estrutura sigmoidal em enclave máfico microgranular. Pto. 62.
 Fotografia C - Estrutura do tipo *sigma* em megacristais de feldspato. Pto. 5.
 Fotografia D - Estruturas de cisalhamento tardias. Corte XZ (AG).
 Fotografia E - Estruturas sigmoidais em enclave máfico microgranular. Pto. 82.
 Fotografia F - Cisalhamento dúctil/Rúptil sinistral. Pto. 5.
 Fotografia G - Estruturas deformacionais amplificadas por níveis máficos. Pto. 27.

Prancha 3.2	31
--------------------	----

Fotografia A - Zona de cisalhamento dúctil, subvertical. Pto. 72.
 Fotografia B - Dobras apertadas associadas a cisalhamento não coaxial. Pto. 82.
 Fotografia C - Estruturas, «en échelon» (em monzodioritos) dúcteis-rúpteis cortando as estruturas deformacionais dúcteis anteriores (porção sudeste do plúton).

Prancha 3.3

37

Fotografia A - Estruturas tipo *pillow* em monzodiorito (**SMGp**). Pto. 63.

Fotografia B - Enclave de granodiorito (**SMGp**), sendo cortado por granito e pegmatito. (Pto.64)

Fotografia C - Aspecto de amostra de mão de diorito com piroxênio, (FAM 21)

Fotografia D - Enclaves ácidos angulosos em charnockitos com relações por vezes intrusivas em monzodioritos (**SMGp**). Pto. 41.

Fotografia E - Amostra de mão de quartzo-diorito com titanita, FAM 71.

Fotografia F - Relações de contato entre granitos tardios, dique ácido e quartzo-monzonito com titanita (**SMGt**). Pto.71.

Prancha 3.4

38

Fotomicrografia A - Detalhe da mineralogia da **SMGp**. Amostra FAM 28, com Nx

Fotomicrografia B - Detalhe da mineralogia de amostra da **SMGt**, (FAM 47), com Nx.

Fotomicrografia C - Detalhe da mineralogia de enclave em **SMGp**, amostra FAM 62B, mostrando a relação entre plagioclásio e biotita. N//.

Fotomicrografia D - Mesma figura anterior, com Nx.

Prancha 3.5

44

Fotomicrografia A - Detalhe da mineralogia de enclave da **SMGp**. Amostra FAM 64A, com N//.

Fotomicrografia B - Mesma figura anterior, com Nx.

Fotomicrografia C - Detalhe da mineralogia de enclave da **SMGp**. Amostra FAM 64B, com N//.

Fotomicrografia D - Mesma figura anterior, com Nx.

Prancha 3.6

45

Fotomicrografia A - Detalhe da mineralogia da amostra FAM 68A, com N//.

Fotomicrografia B - Mesma figura anterior, com Nx.

Fotomicrografia C - Megacristal de feldspato potássico, com zoneamento e inclusão de plagioclásio. Amostra FAM 4 (**SCh**), com Nx.

Fotomicrografia D - Borda de megacristal de feldspato potássico, em contato com plagioclásio e quartzo. Amostra FAM 4, com Nx

Prancha 3.7

48

Fotografia A - Afloramento de charnockito, mostrando rocha fresca e alterada. Pto. 10.

Fotografia B - Amostra de mão de charnockito (FAM 4).

Fotografia C - Detalhe de afloramento (SCp), , mostrando a disposição dos megacristais de feldspato orientados, em trama magmático-deformacional, corte XZ. Pto. 27.

Fotografia D - Detalhe de afloramento, mostrando enclave de rocha básica com megacristais de feldspato alcalino, em contatos interpenetrativos (SCp). Pto. 24

Fotografia E - Detalhe de afloramento mostrando enclaves de rocha básica orientados, próximos ao contato com embasamento. Pto.5 (SCP).

Fotografia F - Detalhe de afloramento, mostrando enclaves variados, em uma mesma banda, com bordas retilíneas, em SCp. Pto. 25.

Prancha 3.8

49

Fotomicrografia A - Detalhe da mineralogia da SCh, , mostrando a relação entre anfibólio, piroxênio, biotita e plagioclásio. Amostra FAM 4, com Nx.

Fotomicrografia B - Detalhe da mineralogia da SCh, mostrando a relação entre piroxênio e plagioclásio. Notar um grande cristal de zircão à esquerda. Amostra FAM 4, Nx.

Fotomicrografia C - Detalhe da mineralogia da SCh, mostrando a matriz deformada. Amostra FAM 4, N//.

Fotomicrografia D - Relação entre biotitas e anfibólios. Amostra FAM 5 (SCp), com Nx.

Prancha 3.9

52

Fotomicrografia A - Textura equigranular de enclave ácido na SCp. Amostra FAM79A, com N//.

Fotomicrografia B - Mesma figura anterior, com Nx.

Fotomicrografia C - Textura equigranular em enclave ácido de SCp. Amostra FAM27G, com N//.

Fotomicrografia D - Mesma figura anterior, com Nx.

Prancha 3.10

53

Fotografia A- Amostra de mão de granada granito da SGG (FAM 1). Fotografia

B- Amostra de mão de enclave na SMGp (FAM 64B).

Fotografia C- Amostra de mão de enclave em SMGp (FAM 64).

Fotografia D- Amostra de mão de enclave ácido em SCh (FAM 84A).

Fotografia E - Amostra de mão de enclave na SCp (FAM 27G).

Fotografia F- Amostra de mão de enclave na SCp (FAM 79A).

Prancha 3.11

54

Fotomicrografia A - Detalhe da mineralogia mostrando as relações entre os cristais de granada e biotita. Amostra FAM 1 (SGG), com N//.

Fotomicrografia B - Detalhe da mineralogia, mostrando os cristais de plagioclásio e biotita. Amostra FAM 1, com Nx.

Fotomicrografia C - Detalhe da mineralogia, de granito do embasamento. Amostra FAM80, com N//.

Fotomicrografia D - Mesma figura anterior, com Nx.

Prancha 3.12

55

Fotografia A - Afloramento de pedreira em Baixo Guandu, de granitos do embasamento com enclaves básicos associados (Pto.86)

Fotografia B - Detalhe de afloramento do embasamento, com restos de calcio-silicáticas intensamente deformadas (Pto 60).

Fotografia C - Amostra de mão de granito do embasamento, Pto. 80.

Prancha 3.13

56

Fotomicrografia A - Detalhe da mineralogia, de enclave ácido em AC, amostra FAM 86A

Fotomicrografia B - Mesma figura anterior, com Nx.

Fotomicrografia C - Detalhe da mineralogia, de enclave básico em AC, amostra FAM 86B

Fotomicrografia D - Mesma figura anterior, com Nx.

Agradecimentos

Este trabalho só foi realizado com a colaboração de várias pessoas e instituições, as quais gostaria de exprimir meus agradecimentos.

Ao Instituto de Geociências da USP, a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Escola de Minas de Saint Etienne (França) e ao acordo CAPES-COFECUB (Projeto 158/94), coordenado pelo Prof. Dr. Johildo Barbosa, da Universidade Federal da Bahia, quero registrar meu profundo reconhecimento.

Ao orientador, Prof. Dr. Rômulo Machado, pela sua paciência, solicitude e atitudes encorajadoras durante todo o trabalho, mostrando a todo momento sua disposição em apoiar-me. Devo-lhe, também, seu rigor e tenacidade, que foram tão caros a este trabalho.

Ao Prof. Dr. Essaid Bilal, pelas suas sugestões, assistência técnica e acolhida na França, quero deixar meus profundos agradecimentos, e expressar minha alegria de tê-lo conhecido. A minha recepção na França foi mais do que amigável, e seu amor ao trabalho é um exemplo a ser seguido.

Ao Prof Dr. Issamu Endo, que nos momentos iniciais deste trabalho teve uma participação decisiva.

Ao Prof. Dr. Antonio Romalino dos Santos Fragoso Cesar, pela ajuda em todos os momentos, desde substituição em minhas aulas na UFRRJ, até ajuda em todos os momentos da tese.

A Ana Paula de Meireles Reis Pelosi, a « Nem », não poderia deixar de agradecer, por tudo que fez para que este trabalho tivesse êxito. Aos colegas da Pós-Graduação do IG-USP, Nolan, Heloísa, Gélson «Sapo», Mauro, Francisco «Chico Bill», Cleide, Roseli, «Ninguém», «Lili», Marcelo e também à aluna de graduação Ana Flávia Veloso, pela revisão no *abstract*.

Ao colega Prof. Msc Alexis Rosa Nummer, que em todos os momentos mostrou uma disponibilidade e companheirismo a toda prova.

Ao amigo Dr. Arnaldo Alcover, pelo seu apoio através do CETEM

Vincent Theisse, amigo de todas as horas na França, pela paciência e incomparável solicitude.

Nicia e Soninha, da secretaria do antigo DGG, que nunca mediram esforços para encaminhar meus pedidos.

Ao Gatão, Luis e Paulinho da laminação do IG-USP, sempre dispostos e com uma palavra amiga.

Ao Prof. Dr. Ian McReath, pelas críticas construtivas no exame de qualificação e apoio no pedido de estágio «sandwich» para a França, bem como ao Prof. Dr. Janasi, pelas valiosas sugestões ao trabalho neste mesmo exame de qualificação.

Ao Prof. Dr. Benjamim Bley de Brito-Neves, pelo encorajamento durante a tese.

Ao prof. Dr. Theodoro Isnard, pelas proveitosas sugestões com relação ao tratamento de imagens.

Ao amigo de longa data, Heitor Siqueira Sayeg, sempre presente e atencioso.

Ao Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Junior, pelo acolhimento caloroso nos primeiros dias na França

À Capes, através da técnica Marta Elias, bem como pela concessão de uma bolsa de doutorado «sandwich» que permitiu realizar a parte analítica do trabalho na França.

À Regina, do Decanato da pós-Graduação da UFRRJ, bem como a Denise Fraga, também da UFRRJ

Ao Dr. Jacques Moutte, responsável pelo laboratório de geoquímica da Escola de Minas de Saint Etienne, Centro SPIN.

À Prof. Maria Geralda de Carvalho e aos professores do Depto de Geociências, assim como ao Zé, camarada «cabra da peste» e a Marta, exemplo de funcionários públicos.

Ao aluno do curso de graduação de geologia da UFRRJ, Rafael Malaguti, pela ajuda nos trabalhos de campo

Christianne David e Marie Therese Cherblanc, laboratoristas do SPIN, sempre gentis e prestativas no trabalho de confecção de lâminas delgadas e pastilhas.

A Blandine Albert, Mohamed Nashaoui, Abdelhaim Sedqui, Jerome Hocquet, Laurent, Segolene Gery, Afid Alfafiz, Ahmed Touil, colegas do SPIN, responsáveis pelo ambiente acolhedor do centro.

A Dra. Veschambre, responsável pelo equipamento da Microsonda da Universidade de Clermont Ferrand, à Dra. la Forêt, de Fontainebleu (Escola de Minas de Paris) e H. Remy, responsável pela microsonda da Universidade Paris VI (Jussieu), pela sua assistência técnica nos trabalhos de análises.

Aos amigos romenos Stefan Marincea e Ciprian Teleman, pelo companheirismo e pelas valiosas sugestões e críticas nas análises de dados.

A Sophie Lemaire, que nos momentos de dificuldade sempre mostrou sua força e carinho.

E, finalmente, à Minha Família, que não tenho palavras que possam exprimir minha gratidão e reconhecimento durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Resumo

O Maciço Intrusivo Aimorés localiza-se no limite dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo, às margens do Rio Doce. Foram realizados trabalhos de mapeamento de semi-detalle do maciço, estudos petrológicos, geoquímicos e isotópicos visando elucidar a natureza do magmatismo gerador das suítes charnockíticas-monzodioríticas-graníticas, bem como suas implicações na evolução do magmatismo da região do vale do Rio Doce.

O objetivo principal deste trabalho é mostrar os resultados dos estudos litogeoquímicos, de química mineral e isotópicos das rochas constitutivas deste plúton.

A região do Rio Doce está localizada na parte centro-norte da Província Estrutural da Mantiqueira, à leste do Cráton do São Francisco. Esta província é representada por um cinturão móvel Neoproterozóico, associado ao Ciclo Brasileiro (900-450 Ma). Este cinturão móvel retrabalhou um embasamento Paleoproterozóico ou mais antigo e foi acompanhado por extensa granitogênese neoproterozóica.

O magmatismo granitóide neoproterozóico da região em pauta tem sido dividido em termos tectônicos da seguinte maneira: **pré-tectônico** (representado pelos granitos da Suíte Galiléia), **sin-tectônico** (p.e. Suíte Urucum), **tardi-** a **pós-tectônico** (Suíte Aimorés) e **pós-tectônico** (Complexo sienítico de Ibituruna).

O Maciço Intrusivo Aimorés (MIA) é constituído de rochas básicas a intermediárias, na parte central, e de rochas ácidas na porção externa. Foram definidas, com base nos dados petrográficos e litogeoquímicos, três suítes: (i) Suíte **Monzodiorítica-Granodiorítica** (SMG), (ii) Suíte **Charnockítica** (SC) e, (iii) Suíte **Granada-Granítica** (SGG). A primeira suíte é constituída de duas unidades de mapeamento: os **Monzodioritos-Granodioritos** com **piroxênio** (SMGp) e os **Quartzo-Monzodioritos** com **titanita** (SMGt). A segunda é constituída por duas unidades de mapeamento: (a) **Quartzo-Monzonitos/Granitos** com **hiperstênio** ou «**Charnockitos s.b**» (SCh) e, (b) **Granitos porfiríticos** (SCp); enquanto a terceira é composta por apenas uma unidade de mapeamento, os **Granada-Granitos** (SGG).

As rochas do Maciço Aimorés definem um *trend* no diagrama QAP de Streckeisen (1973), que corresponde ao de uma série subalcalina monzonítica no diagrama de Lameyre & Bowden *et al.* (1984).

O índice de saturação em alumina (*ACNK*) das rochas do Maciço Aimorés aumenta com o índice de diferenciação, sendo correlacionado com o grau de evolução da rocha. Esta evolução é inicialmente rápida, tornando-se suave quando o *ACNK* é igual a um (cristalização da biotita). O fracionamento do anfibólio (pobre em Al) aumenta com o *ACNK*.

O **MIA** é caracterizado por conteúdos mais elevados em K_2O e $Fe_2O_3^*/(Fe_2O_3^*+MgO)$ do que as suítes granitóides pré- e sin-tectônicas da região estudada. No diagrama *R1 versus R2* de Batchelor & Bowden (1985), as rochas monzodioríticas e quartzo-monzodioríticas da **SMG** discriminam-se no campo de granitóides relacionados ao soerguimento pós-colisional, enquanto as da **SC** discriminam-se no campo tardi-orogênico. A **SGG** situa-se no campo sin-orogênico.

Estudos de química mineral efetuados nas suítes do maciço permitiram caracterizar os tipos de minerais existentes, bem como definir a existência de modificações tardi-magmáticas relacionadas ao reequilíbrio parcial no estado sólido das composições primárias de feldspatos, piroxênios e biotitas.

A análise geotermométrica, com base na composição do par clinopiroxênio-ortopiroxênio, segundo o geotermômetro de Wood & Banno (1973), forneceu valores de temperatura de 812 °C e 876°C, para a **SMG**; e de 860°C, para a **SC**. A média de pressões obtidas no cálculo geobarométrico, com base em anfibólios a partir do método de Schimdt (1992), foi de 6,4 Kbars para a **SMGp** e 6,3 Kbars para a **SCh**.

As análises isotópicas foram efetuadas pela sistemática Rb/Sr e Sm/Nd em rocha total, U/Th/Pb em monazitas e U/Pb em zircões. Destas análises, ressaltam-se os valores de ϵ_{Nd} bastante negativos para as rochas da **SMG** e **SC** (entre -8,07 e -6,58), a idade de $498 \pm 35,6$ Ma no diagrama concórdia pelo método U/Pb em zircões (intercepto inferior) da **SC**, e a idade de cristalização de monazitas em torno de ~490 Ma, para a **SGG**.

Abstract

The Aimorés massif is located on the boundary of the Minas Gerais and Espírito Santo states, in southern Brazil. Semi-detailed mapping, petrological, geochemistry and geochronology studies were carried out to interpret complex charnockitic-monzodioritic-granitoids intrusions and its role in magmatic evolution at the Rio Doce region.

The main objective of this study is to show some geochemical, mineral microprobe and isotopes analyses of the massif rocks.

The Rio Doce region is located in the central-northern part of Mantiqueira Structural Province, east of São Francisco Craton, eastern Minas Gerais State and north-west of Espírito Santo state. This province is represented by Neoproterozoic mobile belt associated with the Brasiliano Cycle (900 - 450 Ma). This mobile belt reworked the early-Proterozoic or older basement and was followed by extensive granitogenesis.

The Neoproterozoic granitoids in the studied region can be divided in terms of tectonic emplacement: the **pre-tectonic** (represented by the Galiléia granitoids), **sin-tectonic** (e.g. Urucum granitoids), **late- to post-tectonic** (the Aimorés Suite) and **post-tectonic plutons** (e.g. Ibituruna syenite complex).

The Aimorés Massif (MIA) is composed by basic to intermediate rocks, in the central portion, and acid rocks in the external portion. As a result of petrographic and litochemical data, three suites were defined: (i) **Monzodioritic-Granodioritic Suite (SMG)**, (ii) **Charnockitic Suite (SC)** and, (iii) **Garnet-bearing Granitic Suite (SGG)**. The first suite is composed of two mapping units: the **pyroxen-bearing Monzodiorites-Granodiorites (SMGp)** and the **sphene-bearing Quartz-Monzodiorites (SMGt)**. The second suite also contains two mapping units: (a) **hypersthene-bearing Quartz-Monzonites/Granites or «Charnockites s.l.» (SCh)** and, (b) **porphyritic Granites (SCp)**; the third suite is composed by only one mapping unit, the **Garnet-bearing Granites (SGG)**.

The Aimorés pluton shows a trend in the Streckeisen's (1973) *QAP* diagram that corresponds to an subalkaline monzonitic series, according to Lameyre & Bowden (1984).

The *ACNK* (Aluminium Saturation Index) increases with the differentiation index, being related to the rock degree of evolution. This evolution is initially quick and becomes slow

from $ACNK=1$ on (biotite crystallization). The amphibole fractionation (Al-poor) increases with the $ACNK$.

The late and post tectonic granitoids suites are characterized by very high K_2O contents and the $Fe_2O_3^*/(Fe_2O_3^* + MgO)$ ratios, in contrast to the pre- and sin-tectonic granitoids suites of the studied region. Monzodioritic and Quartz-monzodioritic rocks of the **SMG** falls in the post collisional uplift field of the Batchelor & Bowden (1985) $R1$ versus $R2$ diagram, whereas the **SC** suite falls in the late-orogenic field. The **SGG** suite falls in the sin-orogenic field.

Microprobe mineral analyses made it possible to characterize the different minerals, as well as to define late magmatic modifications, related to partial re-equilibrium in the solid state of the compositions of feldspar, pyroxen and biotite.

Geothermometrics analyses, based in the orthopyroxene-clinopyroxene pair (geothermometer of Wood & Banno 1973), furnishes temperature values of 812 °C and 876 °C for **SMG** and 860°C for **SC**. The average pressions obtained by the Schimdt's (1992) method (based in amphiboles), furnishes 6.4 Kbars for **SMGp** and 6.3 Kbars for **SCh**.

Isotopic analyses were made by the Rb/Sr and Sm/Nd whole rock systematics and U/Pb in zircons. From these analysis, one can stress the negatives values of ϵ_{Nd} (-8.07 to 6.58) to the **SMG** and **SC** rocks, with the age of 498 ± 35.5 Ma in the U/Pb concordia diagram (lower intercept) and the average age of ~490 Ma for monazites from **SGG**.

«Sapo não pula por boniteza, porém por percisão»

(Provérbio Capiat.)

Sagarana - Guimarães Rosa

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL

1.1- APRESENTAÇÃO DO TEMA

A caracterização geológica e geoquímica do Maciço Aimorés, uma suíte intrusiva charnockitóide de idade brasileira, é o tema central deste trabalho. O referido maciço situa-se no contexto da cadeia montanhosa da costa do Atlântico Sul, de idade proterozóica, associada ao Ciclo Brasileiro (900-450 Ma), localizada no norte da Província Mantiqueira.

A escolha do Maciço Aimorés para estudos foi motivada pela carência de trabalhos de detalhe na região, sobretudo envolvendo aspectos estruturais, geoquímicos e geocronológicos. Este trabalho visa caracterizar as possíveis fontes do magmatismo gerador das unidades plutônicas do Complexo Aimorés, com base em trabalhos petrográficos, litogeoquímicos, de química mineral e isotópicos.

Desta maneira, o trabalho justifica-se pela ausência de estudos de mapeamento geológico sistemático, ausência de dados de química mineral e litogeoquímica dos charnockitóides e granitóides associados, juntamente com a inexistência de dados estruturais que possam subsidiar uma discussão sobre o posicionamento desta unidade plutônica e suas relação com unidades equivalentes. Os dados geocronológicos são também escassos e deixam dúvidas sobre o posicionamento temporal preciso entre charnockitos e granitóides associados.

Para atingir estes objetivos, realizaram-se trabalhos de campo e de laboratório, visando o estabelecimento das condições de posicionamento deste plúton, baseando-se nos modelos de petrologia estrutural, partindo da coleta de dados estruturais e petrográficos, análises de seções delgadas orientadas e análise microtectônica.

Os afloramentos existentes na região de estudo apresentam uma situação favorável, caracterizada pela existência de pedreiras e de excelentes exposições de rocha fresca, além da boa infra-estrutura e acesso pelas cidades de Aimorés-MG e Baixo Guandu-ES.

Assim, a necessidade de um melhor conhecimento sobre os aspectos supramencionados contribuiu tanto para uma melhor avaliação deste magmatismo quanto para o

entendimento do quadro geotectônico desta importante faixa, assim como poderá ser útil em futuras pesquisas de prospecção mineral.

I.2 - LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIOGRAFICOS.

A área enfocada neste trabalho compreende grande parte do município de Aimorés-MG, envolvendo parte das folhas topográficas 1:100.000 do IBGE, de Colatina-ES, São Gabriel da Palha-ES, Baixo Guandu-ES e Conselheiro Pena-MG. A região situa-se no médio Vale do Rio Doce, sendo a área facilmente acessada pela Br-259 através de Colatina-ES, conforme pode ser visto na Figura 1.1.

Figura. 1.1 - Localização da região estudada.

I.2.1 - Clima, Vegetação e Solo

A região do Vale do Rio Doce é caracterizada por um clima tropical com temperaturas médias de 24°C a 35°C, sendo que nos meses de dezembro e janeiro as máximas atingem 40°C e, nos meses mais frios, as mínimas atingem 20°C. Duas estações são bem representadas: uma estação seca entre março e setembro e outra chuvosa entre outubro e fevereiro. A pluviosidade anual situa-se em torno de 1500 mm, com abundância de chuvas torrenciais.

Predomina uma mistura de cerrado com uma passagem para o tipo caatinga, onde ocorrem a aroeira e o algodão de seda, embora o estágio de devastação desta vegetação natural esteja bem avançado. Nos vales de drenagem restam vestígios de floresta tropical. Culturas tradicionais como milho, feijão e mandioca, associadas à criação de bovinos predominam no interior do maciço de Aimorés.

O solo é do tipo latossolo, com cores variadas, entre o amarelo e o castanho.

I.2.2 - Relevo e Drenagem

Dos cinco ciclos de erosão, definidos na classificação de King (1956) (Gondwana, Pós-Gondwana, Sul Americano, Velhas e Paraguaçu), três deles foram reconhecidos na região por Barbosa (1964): os ciclos Sul Americano, Velhas e Paraguaçu.

A superfície de erosão Sul Americana, esculpida durante um longo período no decorrer do Terciário Inferior, iniciada a partir do soerguimento relativo do continente no período cenomaniano, tendo seu fim no Terciário Superior, é representada na região pelas cristas de 700 a 800m de altitude. Uma das principais características desta superfície é a geração de solos, geralmente colúvio-aluvionares que a recobrem, e mantém sua integridade sobre diferentes tipos litológicos. Estes solos das extensas planícies Sul-americanas sofreram contínua e profunda lixiviação e laterização, devido a um longo período de estabilização do nível de base.

O ciclo Velhas se inicia a partir de um soerguimento registrado no final do Oligoceno, originando uma paisagem ondulada, dissecada por vales profundos e abertos, desenvolvidos em clima árido. Caracteriza-se pelas típicas montanhas graníticas, em forma de

«pão de açúcar», ou pontões, ornadas por abundante material coluvionar, que vai gerar espessa cobertura de solo, de altitude média entre 400-600 m.

Finalmente, correspondendo aos estágios erosivos mais jovens, do Quaternário, reconhece-se o ciclo Paraguaçu, que caracteriza-se pela abertura de gargantas e vales dos sistemas fluviais que desaguam diretamente no mar. Na região em pauta, encontram-se como exemplos desta superfície as montanhas formadas pelos xistos (300 m) e os terrenos aluvionares (80-120 m), ligados à bacia do Rio Doce.

Regionalmente, as drenagens são dendríticas, localmente controladas por falhas. Na área do plúton, a drenagem exhibe um padrão radial, centrípeto.

1.3 - MÉTODOS DE TRABALHO

A preparação e análise do material geológico foram desenvolvidas em laboratórios do Instituto de Geociências da USP, nos do Departamento de Geociências da UFRJ e, em laboratórios no exterior, nas Escolas de Minas de Saint Etienne, e de Paris, nas Universidades de Clermont-Ferrand e de Paris VI- Pierre et Marie Curie, na França.

Foram feitas revisão e compilação bibliográficas das informações regionais disponíveis na literatura geológica, fotointerpretação e análise de imagens de satélite, com a aquisição de cartogramas e processamento digital de imagens Landsat-TM. Analizou-se imagens de satélite e, a partir das mesmas, demarcou-se os principais elementos estruturais visíveis (falhas, fraturas, contatos, dentre outros), culminando com a seleção de áreas-alvo que foram revisitadas posteriormente.

Nos trabalhos de campo foram realizadas coletas sistemáticas de dados estruturais, incluindo mapeamento geológico do plúton e rochas encaixantes na escala 1:50.000. Além disso, foram elaboradas seções esquemáticas e de detalhe dos principais afloramentos, coletando-se amostras para análises petrográficas, estruturais, geoquímicas e geocronológicas. Em uma primeira fase, realizou-se o reconhecimento geológico das unidades litológicas, avaliando-se, assim, suas principais variações faciológicas.

O tratamento das amostras compreendeu a confecção de lâminas delgadas e seleção das amostras para análises geoquímicas e isotópicas. Utilizou-se, para este fim, britadores, moinhos, peneiras, mesas concentradoras e separador magnético «Frantz» disponíveis no

Laboratório do Centro de Pesquisas Geocronológicas-CEPEGEO da Universidade de São Paulo e na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

I.4 - CONSIDERAÇÕES SOBRE CHARNOKITOS

Uma parte essencial da crosta continental é constituída pelos charnockitos, que são rochas de composição granítica de fácies granulito. No entanto, elas permanecem pouco conhecidas e não figuram em diagramas de discriminação de ambientes tectônicos, como os de Lameyre & Bowden (1984) e o de Pearce *et al.* (1984).

Os charnockitos foram definidos por Holland (1900) como sendo rochas de composição granítica com ortopiroxênio. Em seguida, Pichamutu (1969) propôs que estas rochas se cristalizariam em condições de alto grau metamórfico, sendo comuns charnockitos granatíferos, ressaltando que a presença de ortopiroxênio pode ser resultado de uma baixa pressão parcial de H₂O ou de uma diferença na composição do líquido magmático.

Associados frequentemente aos anortositos, suas ocorrências são relativamente restritas. Seis modelos foram propostos para explicar sua formação, dentre os quais incluem-se modelos metamórficos e magmáticos, a saber:

- 1 - Os charnockitos são líquidos residuais resultantes da cristalização fracionada, seja de um magma «plagioclásico» (Michot, 1960 e 1965), seja de um magma monzonorítico, com ou sem contaminação crustal (Duchesne & Demaiffe 1978; Petersen 1980a e 1980b; Duchesne *et al.* 1985a e 1985b);

- 2 - eles seriam sólidos residuais, resultantes de extração de um líquido granítico (Lambert & Heier 1966; Pride & Muecke 1980; Nesbitt 1980);

- 3 - resultam da colocação de um magma sub-saturado em água na fácies granulito, sendo que seu posicionamento se efetua na parte anidra da crosta (Martingnole 1979);

- 4 - charnockitos são produtos de uma anatexia seca, ao longo da ocorrência do metamorfismo granulítico com CO₂ (Martingnole 1979; Wendtland 1981);

- 5 - são oriundos do metamorfismo granulítico desenvolvido à diferentes níveis da crosta e desencadeado pela circulação de um fluido que contém essencialmente CO₂ (Martingnole 1979; Smith *et al.* 1979 ; Newton *et al.* 1980);

6 - são *cumulatos*, com sua origem sendo ligada à processos de cristalização fracionada (Field *et al.* 1980).

Fases fluídas complexas são encontradas em geral na fácies granulito, a qual caracteriza-se pelo predomínio de CO₂ (Touret 1971), e, também H₂O, CH₄ e H₂ (Clemens 1988). A abundância de CO₂ na fácies granulito é atribuído aos seguintes fenômenos: (i) oxidação da grafita; (ii) decarbonatação das encaixantes (reação entre o líquido silicatado e as rochas carbonatadas) e, (iii) origem juvenil.

Charnockitos se formam em condições de baixa pressão parcial de água, porém admite-se que, nos estágios finais de sua cristalização, os magmas charnockíticos estariam no limite da saturação em água (Martignole 1979). Estas baixas pressões são devidas a fenômenos de absorção de água pelos líquidos anatéticos (Quensel 1951) ou resultados da diluição da H₂O inicial pelo CO₂ (Condie *et al.* 1982).

As rochas básicas e intermediárias que se encontram associadas aos charnockitos ss., como os mangeritos, monzonoritos, noritos e opdalitos, constituem a suíte charnockitóide. O interesse nesta suíte se deve ao fato de que os charnockitos e granulitos são considerados como constituintes essenciais da crosta profunda (Michot 1951; 1963; Belousov 1966; Lambert & Heier 1966 e Fountain & Salisbury 1981).

A cor verde, verde-azulada ou cinza-esverdeada, observada em boa parte dos charnockitos, deve-se, segundo Coutinho (1994), à liberação de óxidos de ferro presentes nos ortopiroxênios em alteração. Estes óxidos preenchem fraturas e clivagens de quartzo e feldspatos, conferindo-lhes uma coloração esverdeada. Somados aos minerais esverdeados como anfibólios e piroxênios, esta cor se acentuaria com o aumento no conteúdo em ortopiroxênio.

CAPÍTULO II

CONTEXTO GEOLÓGICO

II.1 - BREVE HISTÓRICO

O Maciço de Aimorés situa-se na porção setentrional do Cinturão Atlântico, desenvolvido durante o Proterozóico Superior, servindo como antepaís para este cinturão, nesta região, o Cráton de São Francisco (Almeida 1976, 1977 e 1981; Schobbenhaus *et al.* 1984). Situada na Província Estrutural Mantiqueira (Almeida *et al.* 1981), o cinturão é constituído por associações variadas de rochas, orientadas grosseiramente NNE-SSW e NE-SW, que apresentam uma evolução petrológica e tectônica de estilo complexo, vinculada ao desenvolvimento de duas orogêneses principais: uma mais antiga, a orogênese Transamazônica (2.200~1.800 Ma) e outra mais jovem, a orogênese Brasileira (Siga Jr. *et al.* 1982), esta última podendo corresponder a uma ou mais colagens orogênicas, durante o evento Brasileiro/Pan Africano, tomado no seu sentido mais abrangente, ou seja entre 900 a 450 Ma. Esta faixa, ou parte dela, intensamente intrudida por granitos, tem recebido inúmeras denominações, tais como Série Mantiqueira (Barbosa, 1954), Paraíba-Desengano (Ebert 1955, Rosier, 1957), Paraibides (Ebert 1955), Faixa Ribeira (Ebert 1962), Paraíba (Ebert 1967), Cinturão Paraíba (Cordani *et al.* 1968), Faixa Paraibides (Ebert 1971), Cinturão Atlântico (Ferreira 1971; Leonardos Jr. 1973; Fyfe & Leonardos Jr. 1974; Loczy & Ladeira 1976), Paraíba do Sul (Almeida *et al.* 1971), Cinturão Ribeira (Hasui *et al.* 1975), Região de Dobramentos Sudeste (Almeida *et al.* 1976), Atlântides (Grossi Sad & Ladeira 1977), Província Mantiqueira (Almeida *et al.* 1981) ou Cinturão de Cisalhamento Atlântico (Machado & Endo 1993). No **Quadro 2.1** encontra-se uma síntese dos dados geocronológicos disponíveis para os granitóides neoproterozóicos da região do Vale do Rio Doce e suas principais unidades geológicas regionais.

Dentre os trabalhos de cunho regional da década de 40, citam-se aqueles realizados por Williams & Moraes (1942), Abreu (1943) e Lamego (1949). Na década seguinte, destaca-se o trabalho de Brajniov (1955), que descreve as litologias do pré-Cambriano do Espírito Santo e elabora uma carta geológica da área na escala 1:400.000, descrevendo pela primeira vez as rochas

charnockitóides do Alto e Médio Vale do Rio Doce, considerando-as como de origem metamórfica, resultantes da transformação de noritos.

Quadro 2.1 - Resumo dos dados geocronológicos disponíveis sobre os granitóides neoproterozóicos e rochas metamórficas regionais do Vale do Rio Doce.

Unidade	Litologia	Idade (Ma)	Método	Razão Inicial $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$	Referência
Ibituruna	Sienito	511±13	Rb/Sr	0,710	Besang <i>et al.</i> (1977)
Suite Urucum	Granitóides Granitóides Biotita em Granodiorito Moscovita em Pegmatito Granitóide	503 589 ± 30 572 ± 17 480 576 ± 4	Rb/Sr Rb/Sr K/Ar K/Ar U/Pb (Zircão)	0,726 0,747	Silva <i>et al.</i> (1987) Nalini (1997) Barbosa (1964) Cordani <i>et al.</i> (1968) Nalini (1997)
Suite Galiléia	Dioritos Tonalitos e Granodioritos de Ipanema-Mg Granitóides Granitóides	650 550 ± 20 592 ± 26 594 ± 6	Rb/Sr Rb/Sr Rb/Sr U/Pb (Zircão)	0,712 0,713 0,721	Silva <i>et al.</i> (1987) Angeli (1988) Nalini (1997) Nalini (1997)
Batólito Pedra Azul Maciço de Rubim Stº Antônio do Jacinto	Granito Granito Granito	615 ± 35 603 ± 20 575 ± 10	Rb/Sr Rb/Sr Rb/Sr	0,709 0,707 0,706	Siga Jr. (1986) Siga Jr. (1986) Siga Jr. (1986)
Suite Aimorés (Pº. Paraíso) (Lagoa Preta)	Charnockito Charnockito Biotita em Gabronorito Charnockito	600 520 ± 20 509 ± 14 585 ± 7	Rb/Sr Rb/Sr K/Ar Pb/Pb (Zircão)	0,708 0,711	Silva <i>et al.</i> (1987) Siga Jr. (1986) Vieira <i>et al.</i> (1993) Dussin <i>et al.</i> (1998)
Gnaiss Piedade	Gnaiss Foliado	560 ± 15	Rb/Sr	0,711	Silva <i>et al.</i> (1987)
Complexo Paraíba do Sul	Gnaiss Kinzigítico Ortognaisse Tonalítico e Gnaiss Kinzigítico Gnaiss Gnaiss Kinzigítico Biotita em Gnaiss Kinzigítico Biotita em Gnaiss	600 660 2070 630 ± 30 457 ± 7 447 ± 6	Rb/Sr Rb/Sr Rb/Sr Rb/Sr K/Ar K/Ar	0,708 0,708 0,709 0,708	Cordani (1973) Vieira <i>et al.</i> (1993) modificado de Silva <i>et al.</i> (1987) Silva <i>et al.</i> (1987) Silva <i>et al.</i> (1987) Vieira <i>et al.</i> (1993) Vieira <i>et al.</i> (1993)
Complexo Pocrane	Gnaiss de Carangola-Mg Gnaiss à biotita e Hornbl. Gnaisses à biot. e granada	2200 775 ± 19 790	Rb/Sr Rb/Sr Rb/Sr	0,709 0,707 0,707	Silva <i>et al.</i> (1987) Angeli (1988) Vieira <i>et al.</i> (1993)
Complexo Juiz de Fora	Granulitos de Juiz de Fora Migmatitos de Tarumirim Gnaisses indivisos Granulitos de Caratinga Gnaisses indivisos	3280 2000 560 1800 892 ± 7	Rb/Sr Rb/Sr Rb/Sr Rb/Sr Rb/Sr	0,703 0,708 0,73	Cordani (1973) Hasui <i>et al.</i> (1978) Silva <i>et al.</i> (1987) Silva <i>et al.</i> (1987) Vieira <i>et al.</i> (1993)

Guimarães (1956), retomando as amostras de Brajniov (1955), propõe que os charnockitos do Espírito Santo sejam derivados de intrusões gabro-noríticas do proterozóico, ou seja, de origem magmática. Para os charnockitos da faixa Paraíba-Desengano é sugerido uma origem a partir de regiões profundas num geossinclinal pré-paleozóico (Guimarães 1961).

Rosier (1957 e 1965), ao realizar pesquisas geológicas no Estado do Rio de Janeiro, sugere o modelo geossinclinal para a evolução geotectônica da região e denomina Série Paraíba-Desengano as sequências supracrustais e Série Serra dos Órgãos para os gnaisses granitóides. Posteriormente, Ebert (1967) redefine a Série Paraíba-Desengano, denominando o conjunto que se estende de São Paulo ao Espírito Santo, de Grupo Paraíba, sendo que, no mesmo ano, Almeida (1967) atribui uma idade brasileira para este conjunto de rochas.

Delhal *et al.* (1969) concluem que os granulitos bandados da Série Paraíba do Sul seriam rochas paraderivadas de sedimentos com zircões detríticos de 2,0 Ga, e a suíte Serra dos Órgãos seriam gnaisses sintectônicos de uma orogenia a 620 ± 20 Ma. Outros eventos datados seriam os seguintes: os últimos granitos tardios (540 ± 60 Ma); pegmatitos (464 ± 11 Ma); evento mais jovem (450 ± 30 Ma); diabásios (133 ± 6 Ma).

Silva e Ferrari (1976) reconheceram corpos charnockitóides que estariam relacionados à Associação Paraíba do Sul. Propõem para os mesmos uma origem magmática e dividem em quatro associações o conjunto de rochas da Faixa Ribeira, da seguinte forma: gnaisses e migmatitos aluminosos, com lentes de rochas cálcio-silicáticas, quartzitos, mármore, anfibolitos, gneiss e charnockitos, denominados de «Associação Paraíba do Sul»; charnockitos e metamorfitos intermediários a básicos, designados «Complexo Charnockítico»; rochas granitóides e diatexitos, englobados no «Complexo Migmatítico»; granitóides de expressão circular a elípticos, referidos como «Maciços Intrusivos».

Pinheiro *et al.* (1978), analisando os Granulitos e/ou Charnockitos do denominado Cinturão Granulítico Atlântico, que abrange os Maciços de Aimorés, Itapina, Itaguaçu e Itanhomi, consideraram sua paragênese formada no metamorfismo de fácies granulito a partir de rochas com texturas ígneas preservadas.

Meneses e Paradela (1978), baseados em imagens de radar e Landsat, juntamente com as informações de Silva e Ferrari (1976), reconhecem batólitos charnockitóides ao norte do Espírito Santo e sustentam uma origem magmático-migmática para os mesmos.

Fonseca *et al.* (1979), descrevem a estruturação geológica geral no Espírito Santo e regiões circunvizinhas do Rio de Janeiro e Minas Gerais, reconhecendo a direção estrutural preferencial NE-SW e NNE-SSW e os grandes falhamentos inversos para NW, em escamas.

Siga Jr (1986) apresenta dados radiométricos Rb/Sr e U/Pb para as rochas granitóides do denominado «Domínio Brasileiro Externo» da porção nordeste de Minas Gerais, obtendo um amplo intervalo de tempo para a formação destas rochas (650 - 450 Ma). Neste intervalo, propõe três episódios de geração de granitóides: (i) granitóides de caráter sin- a tardi-tectônicos (650 - 550 Ma); (ii) granitóides tardi- a pós-tectônicos (550-500 Ma) e, (iii) granitóides pós-tectônicos (500 - 450 Ma).

Trabalhos recentes realizados em suítes graníticas brasileiras da referida faixa têm caracterizado a existência de múltiplas injeções magmáticas com evolução e posicionamento relacionados ao Ciclo Brasileiro. Destes estudos destacam-se os de Söllner *et al.* (1987), onde os autores apresentam idades Rb/Sr e U/Pb para a orogênese Brasileira na região do Espírito Santo, destacando uma fase principal do metamorfismo e anatexia em $590 \pm 2-4$ Ma (metatexitos e migmatitos com razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ «Ro» = 0,708-0,709), zircões herdados (idade de cristalização) de 2,1 Ga, intrusão de granitos com Ro = 0,711 e idades de 580 ± 20 Ma, superposição dínamo-tectônica em $519 \pm 10-16$ Ma. Referem-se ainda a plútons elípticos (Santa Angélica p.e.) com Ro de 0,707 e idades de 513 ± 8 Ma, estas últimas idades U-Pb em zircões.

Söllner *et al.* (1989) determinaram idades U/Pb em zircões de suíte charnoenderbítica Brasileira do «Complexo Costeiro» no Espírito Santo, os quais podem ser assim sintetizados: zircões da Série Iriri (clímax do metamorfismo de alto grau) 558 ± 2 Ma; fases de anatexia em 10 Ma antes e, 60 Ma depois, com Ro=0,7127 a 0,7132 para as rochas ácidas e, 0,709 a 0,7115, para as rochas básicas.

Wiedmann (1993), em uma síntese sobre os granitóides do Espírito Santo, discute a evolução de um possível arco magmático posicionado no Eo-Paleozóico, de caráter tardi a pós-colisional, e conclui que o metamorfismo principal (fácies anfibolito) foi ao redor de 600 Ma, com zircões herdados de 2,0 Ga, admitindo que o magmatismo da Serra dos Órgãos e da Suíte Aimorés teriam 600 Ma, com duas fases metamórficas principais. Para a autora, o magmatismo teria se desenvolvido no período tardi a pós-orogênico, onde distinguem-se três séries magmáticas distintas: (i) Série Toleítica; (ii) Série Cálcico-Alcalina Médio a alto K e, (iii) uma Série Cálcico-alcalina de Alto K. Figueiredo & Campos Neto (1993) propõem a existência de um

arco magmático, denominando-o de «Arco Mágmatco Rio Doce», para a região dos Estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro, com intervalo de 590 a 480 Ma.

Nos trabalhos da CPRM (Féboli 1993 e Silva 1993), os granitóides brasileiros são diferenciados em função das estruturas regionais, existindo três grupos principais: Maçios pré- a sin-fases de deformações tangenciais (i); Maçios sin-transcorrências; (ii) e Maçios pós-transcorrências. O primeiro grupo de maços corresponde a batólitos lineares de forma lenticular e concordantes com a foliação regional, predominando geoquimicamente rochas cálcico-alcalinas e metaluminosas que são interpretadas como sendo um conjunto pré- a sin-colisional, formado em ambientes de arco vulcânico e intraplaca. Os dados geocronológicos indicam idades de 580-590 Ma (U/Pb, em zircão, para os Maços Rio Guandu e Estrela), 449 ± 5 Ma (K/Ar, em biotita, para o Maço Rio Guandu) e 732 Ma (Rb/Sr, para o Maço Jequitibá). O segundo grupo é caracterizado por maços alongados, por vezes irregulares, de dimensões batolíticas, interpretados como corpos pós-colisionais, de caráter peraluminoso e metaluminoso, gerado em ambiente de arco vulcânico e intraplaca em condições tardi-orogênicas, apresentando idades (K/Ar) de 550 a 600 Ma (Suíte Intrusiva Galiléia). O último grupo inclui o Maço Aimorés, que é caracterizado por associações de rochas ácidas, básicas e ultrabásicas, incluindo-se ainda, granitos, charnockitos, tonalitos, gabros, anortositos, noritos e piroxenitos. Estas últimas faciologias, geralmente ocorrem como porções menos deformadas e inseridas nos grupos anteriores. Possuem formas arredondadas, de pequeno tamanho, geralmente não ultrapassando 1 Km² em área, e mostram um zoneamento concêntrico. Eles são interpretados como granitóides do tipo-I, Cálcico-alcalinos e toleíticos, formados em ambiente intraplaca e de arco vulcânico, com posicionamento tardi-orogênico e soerguimento pós-colisional. As idades obtidas são de 515 ± 5 Ma (U/Pb em zircão para o Maço de Lagoa Preta).

Campos Neto e Figueiredo (1995) distinguem na região norte da província Mantiqueira duas orogêneses principais associadas ao Ciclo Brasileiro/Pan Africano: a orogênese Brasileiro I e a orogênese Rio Doce. Este conjunto de orogêneses seria o resultado de uma conjunção orogênica de microcontinentes, arcos de ilhas e complexos acrescionários, que teriam sofrido uma intensa tectônica transtensional, semelhante à evolução proposta para o desenvolvimento da costa Oeste Norte-Americana. Neste contexto, a orogênese Brasileira I (~630 Ma) seria responsável pela formação dos dobramentos na borda sudeste do cráton São Francisco, pela acreção de diferentes microplacas, bem como pela formação de um arco magmático. O estágio final desta primeira orogênese, de caráter extensional, seria representada

pelo cinturão Itu, no estado de São Paulo. A orogênese Rio Doce subsequente, o mais novo componente deste sistema, é caracterizada como um evento tectono-magmático do final do Proterozóico Superior e o início do Cambriano (580 - 480 Ma), sobretudo no interior da denominada microplaca Serra do Mar, sendo que esta orogênese seria responsável pela formação de batólitos Cálculo-alcalinos associados a um arco magmático formado entre 590 e 570 Ma. O estágio de colisão continental (560 - 530 Ma) foi responsável pela migmatização e pela intrusão de granitos peraluminosos. Os granitos e pegmatitos associados a uma fase pós-colisional teriam se formado entre 520 e 480 Ma. Portanto, a região de Aimorés se situaria no limite entre a microplaca Serra do Mar, afetada pela orogênese Rio Doce, e pelo Sistema de Cavalcamento Juiz de Fora.

Machado (1997) propõe um modelo tectono-magmático para o «Cinturão de Cisalhamento Atlântico», no Rio de Janeiro, composto de quatro fases principais: (i) fase pré-colisional (~650 - 620 Ma), com uma subducção de crosta oceânica em direção à NW, com magmatismo do tipo I-Cordilheirano representado por corpos batolíticos (batólitos Angelim, Bela Joana, Serra dos Órgãos e Niterói), posicionados em condições de fácies anfibolito/granulito; (ii) uma fase colisional (600 - 590/570 Ma), onde, após um forte espessamento crustal, se formariam os granitos do tipo-S (*p.e.* Serra das Araras e Rio Turvo); (iii) uma fase tardi colisional (~537 Ma), responsável pelos granitos classificados como do tipo-I Caledoniano (Maciço Pedra Branca) e; (iv) uma fase pós-colisional (~490 Ma), associando-se um magmatismo de contribuição crustal e mantélica, em regime extensional (granitos Sana e Nova Friburgo).

Dentre os trabalhos recentes de cunho mais local, em corpos pertencentes à Suíte Aimorés, relacionam-se o de Horn *et al.* (1997), que estudando os complexos intrusivos de Ibituba e Itapina propõem três grupos de idades, obtidas em monazitas pelo método U/Pb/Th, em microsonda, que são os seguintes: (i) 650-550 Ma, (ii) ~ 450 Ma e, (iii) 250 até 150 Ma. Consideram estes corpos com sendo tardi-orogênicos (Ibituba e Itapina) a sin-colisionais (Ibituba), baseados no diagrama R1-R2 de Batchelor & Bowden (1985). Além disso, com base em análise de elementos traços, sugerem efeitos de contaminação crustal nestes corpos.

A origem do enriquecimento dos elementos incompatíveis no plúton de Venda Nova-ES é interpretada como produto de um manto enriquecido (Ludka *et al.* 1997), ou como consequência de «mixing» de líquidos graníticos com contaminação crustal (Wiedmann *et al.* 1995).

Mendes (1996) e Mendes *et al.* (1997a e 1997b) consideram o maciço de Várzea Alegre-ES como um exemplo do magmatismo tardi- a pós-tectônico, de idade brasileira, com feições indicativas de fusões crustais com contribuição mantélica, sugerindo que a diferenciação magmática seria o resultado da interveniência de processos de cristalização fracionada, associada à mistura de magmas. Outros exemplos de corpos intrusivos, no Espírito Santo, pertencentes ao «Arco Magmático Tardi- a Pós-colisional» seriam os plútons de Santa Angélica, Castelo e Pedra Azul. Os dois primeiros apresentando feições de raízes de plútons e o terceiro, com uma área maior de rochas híbridas, evidenciaria níveis de intrusão e erosão mais superficiais (Wiedmann *et al.* 1997).

Machado & Demange (1998) propõem a existência de um arco magmático mais antigo do que o Arco Magmático Rio Doce (Figueiredo & Campos Neto 1995) denominado Arco Magmático Rio Paraíba do Sul, com intervalo de idades proposto entre 590 e 650 Ma, tendo características cordilheiranas.

A idade de 585 ± 7 Ma, obtida em rochas do maciço de Lagoa Preta pelo método de monozircão por evaporação, foi interpretada como a idade da intrusão (Dussin *et al.* 1998). Consideram este magmatismo como relacionado a anatexia crustal ocorrida no domínio interno da Faixa Araçuai. Vieira (1997) (in Dussin *et al.* 1998) caracteriza-o como um magmatismo de afinidade toleítica a cálcico-alcalina.

Os granitóides tardi- a pós-tectônicos, aos quais o maciço de Aimorés está relacionado, são colocados em nível crustal inferior, no intervalo de tempo entre 537-520 Ma, sendo controlados por uma fase deformacional extensional, sucedida por um período de quietude magmática (Bilal *et al.* 1999). Os autores consideram, ainda, uma importante contribuição crustal (crosta transamazônica) para geração destas rochas ($\epsilon_{\text{Nd}(600 \text{ Ma})} -7$ a -8 e $\text{Ro } ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,723$).

Ainda sobre o maciço de Várzea Alegre, Medeiros & Wiedmann (1999), analisando suas condições de P e T de cristalização, mostram resultados de geobarometria (Al em anfibólios) de 5,9 Kbar para sua parte interna, e de 6,5 Kbar, para a externa. Os resultados obtidos em geotermometria (760°-850°C, para os pares ortopiroxênio-clinopiroxênio e para anfibólios/plagioclásios) são interpretados como reequilíbrios entre piroxênios, entre biotitas e anfibólios, no estado *subsolidus*, em condições infracrustais.

II.2 - LITOESTRATIGRAFIA

O embasamento da região estudada compõe-se de três grandes unidades litoestratigráficas (Silva *et al.* 1987): complexos considerados de idade arqueana (Complexo Juiz de Fora e Complexo Pocrane); complexos de idade proterozóica inferior (Complexo Paraíba do Sul e Gnaisses Piedade) e o conjunto dos granitos intrusivos neoproterozóicos. Estas unidades são descritas, resumidamente, a seguir.

O Complexo Juiz de Fora constitui-se de gnaisses com biotita e com biotita e granada, gnaisses com hiperstênio e gnaisses quartzo-feldspáticos. O metamorfismo situa-se nas fácies anfibolito a granulito, sendo que este conjunto, considerado de idade arqueana, foi remobilizado durante os ciclos Transamazônico e Brasileiro.

O Complexo Pocrane, com uma foliação intensa, é de composição granodiorítica a tonalítica, compõe-se de rochas ortognáissicas com biotita e/ou hornblenda, às vezes granatíferas.

O Complexo Paraíba do Sul compõe-se de gnaisses com biotita e granada, gnaisses com granada, sillimanita e cordierita, ortognaisses tonalíticos e rochas paragnáissicas.

Os granitos intrusivos neoproterozóicos, que constituem o embasamento da Suíte Aimorés, são representados pelas Suítes Galiléia e Urucum. A Suíte Galiléia é constituída, predominantemente, de granodioritos e tonalitos, e a Suíte Urucum, de granitos a duas micas e pegmatitos.

III.3 - CARACTERÍSTICAS E APLICACOES DAS BANDAS «TM» DO SATELITE LANDSAT-5

Utilizou-se de imagens TM-Landsat (INPE-MCT) visando-se fazer um reconhecimento prévio das principais feições geológicas da região e auxiliar na seleção de caminhamentos e detectar a continuidade das estruturas geológicas. O uso de imagens Landsat apresenta vantagens sobre fotos aéreas tradicionais, pois permite avaliar a resposta do espectro das diferentes litologias nas seis bandas do espectro refletido. Adicionalmente permite a seleção e variação de escalas (boa resolução até 1:60.000) oferecendo também a possibilidade do tratamento digital (realce de contraste, filtragens etc.) o que permite uma melhor avaliação dos contrastes litológicos e estruturas da região.

Foram adquiridas seis bandas Landsat-5 «TM» (Bandas 1,2,3,4,5 e 7) para o quadrante onde se situa a região estudada (Órbita 216 ; ponto 735). Estas imagens foram obtidas no mês de março (1993), tradicionalmente um mês «chuvoso» na região. O tratamento das imagens foi efetuado com base no software ERMAPPER, disponível no Laboratório de Informática Geológica do IG-USP.

A expressão topográfica da região é o aspecto que, inicialmente, mais se destaca na análise destas imagens, sendo realçada pelo par sombra/faces iluminada de cristas e vales. A estrutura circular de Aimorés se destaca de uma maneira muito mais acentuada do que estruturas lineares, predominantes na região. O comportamento espectral também auxiliou na definição das litologias, principalmente na delimitação dos contatos entre as rochas pertencentes à intrusão das encaixantes. Segue-se uma síntese das características teóricas de cada, banda, bem como sua resposta na região estudada.

Banda 1, azul (0,45 - 0,52 μm). Esta banda apresenta penetração em corpos de água e sua absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos permite caracterizar a vegetação. Estes aspectos foram observados na área do plúton, porém não foi possível separar os diferentes tipos de vegetação na parte central do plúton. Isto se deve à implantação de culturas, principalmente milho e feijão, em alguns locais claramente irrigadas, que obliteram o comportamento da vegetação natural.

Banda 2, verde (0,52 - 0,60 μm). Nesta banda os sedimentos em suspensão podem ser analisados, tanto nos seus aspectos qualitativos como quantitativos. Na região estudada estes aspectos foram pouco úteis.

Banda 3, vermelho (0,63 - 0,69 μm). Nesta banda ressalta-se o contraste entre áreas ocupadas com vegetação com áreas sem vegetação, bem como estradas e áreas urbanizadas. Com isto, é possível fazer a análise de variações litológicas em áreas de pouca cobertura vegetal em parte, certamente, pela maior ou menor presença de óxidos de Fe. Nas áreas com cobertura vegetal natural, nota-se que as cristas aparecem com o matiz mais claro do que as encostas, o que pode ser explicado pela maior robustez desta vegetação nas encostas. Na ausência desta cobertura vegetal, que ocorre na parte central do plúton, quando se observam os morrotes de granitos com granada em meio a rochas de composição básica/intermediária, a diferença entre os tipos litológicos é ressaltada pela reflectância mais acentuada, devido a maior quantidade, nestes granitos, de fragmentos silicosos.

Banda 4, infravermelho próximo (0,76 - 0,90 μm). A caracterização da morfologia de um terreno, neste intervalo espectral, é auxiliada pois a diferença na vegetação é minimizada. Esta banda permitiu salientar tanto as estruturas lineares mascaradas pela cobertura vegetal quanto a topografia.

Banda 5, infravermelho médio (1,55 - 1,75 μm). É uma banda que apresenta sensibilidade elevada ao teor de umidade das plantas, mascarando assim muitos aspectos topográficos. Porém, as cristas graníticas do Maciço de Aimorés foram fortemente ressaltadas, contribuindo assim para uma melhor caracterização morfológica da área.

Banda 7, infravermelho de onda curta (2,08 - 2,35 μm). Nesta banda, as informações obtidas são principalmente de caráter geomorfológico e de tipo de solos. Foi muito importante na identificação de estruturas lineares, tais como falhas e fraturas, da área mapeada.

A combinação destas bandas, realizadas em composições coloridas, foi outro procedimento adotado que, aliado ao realce de contraste, permitiu uma integração conjunta das principais características observadas em cada banda separada. Das combinações realizadas, considerou-se que as combinações das bandas 357 (**Figura 2.2a**), respectivamente nas cores RGB (Red, Green & Blue-Vermelho, Verde e Azul), foram aquelas que deram as melhores respostas em termos de riqueza de textura de imagem e espectral (**Figura 2.2b**). Nota-se que as cidades de Aimorés-MG e Baixo Guandu-ES, na parte inferior da imagem, a sul do Rio Doce, são ressaltadas juntamente com as estradas secundárias que cortam o plúton (tons mais claros) e pequenos corpos de água (represas) na sua parte central. A Estrada de Ferro da CVRD também têm uma resposta expressiva nestas imagens (linha paralela ao Rio Doce).

Dentre as feições de interesse puramente geológicos, salientam-se as cristas de granitos porfiríticos que circundam a porção interna do plúton (e também os morrotes que aí estão incluídos), exibindo em geral tonalidades mais claras, do que as exposições da parte central do mesmo. Outra feição que merece destaque ocorre na porção sudeste do corpo, aparecendo como uma feição circular subsidiária, sugerindo tratar-se de uma intrusão secundária posterior à colocação da estrutura principal do plúton. Foram realizados trabalhos de campo complementares com o objetivo de confirmar ou não a existência desta feição secundária. Contudo, até o momento não se tem uma resposta definitiva.

As feições lineares paralelas, de orientação NE, que são observadas somente na parte sudeste da imagem, aparentemente não continuam nas rochas encaixantes, podendo ser consideradas, portanto, como feições mais «jóvens». Estas últimas estruturas são de difícil

reconhecimento em campo, observando-se apenas a instalação de pequenas drenagens. A estrutura linear mais marcante obtida com base no tratamento destas imagens é uma zona de cisalhamento dúctil, subvertical, de direção N100, observada na parte norte e noroeste do corpo, a sul das cristas mais elevadas de granito porfirítico.

Outro procedimento efetuado foi a análise das principais componentes sendo extraída a «PC1», que contém a maior parte das informações correlacionáveis das bandas principais, representando o "albedo". Trata-se de uma imagem texturalmente rica, que, aliada à aplicação de filtros de convolução Laplacianos (5 X 5), do tipo Passa Alta (*High Pass Filters*) realçou, pela primeira vez, as estruturas da parte interna do plúton, como pode ser observado na **Figura 2.2b**. Nota-se, na parte sudoeste, feições lineares que representam o *strike* da foliação magmática dos granodioritos.

Embora o realce do comportamento espectral das rochas tenha auxiliado no reconhecimento de litologias e contatos, as características texturais obtidas nas imagens foram mais importantes no sentido de auxiliar os trabalhos iniciais de reconhecimento de unidades de mapeamento e, também, na sua disposição estrutural.

Figuras 2.1a (ao lado) e 2.1b (página seguinte) - Imagens Landsat mostrando a estrutura circular do Maciço de Aimorés, em a , bandas (357) e, em b, (PC1).

II.4 - GEOLOGIA ESTRUTURAL REGIONAL

A região em pauta (ver Figura 2.2, a e b) caracteriza-se por uma grande complexidade estrutural, sobretudo nas regiões que compõem as rochas encaixantes do embasamento do maciço de Aimorés. Esta complexidade se deve a superposição de diversos eventos tectônicos nas rochas da região, bem como ao seu nível crustal agora exposto.

No Levantamento Geológico da Folha SE.24 - Rio Doce, na escala 1:1.000.000 (Silva *et al.* 1987), propõe-se uma divisão em seis grandes domínios estruturais, dos quais dois deles abrangem a região do maciço: o domínio do Cinturão Móvel Atlântico, constituído pelos Complexos Paraíba do Sul e Pocrane, o domínio do Grupo Crenaque, incluindo as suítes intrusivas Galiléia e Aimorés.

Segundo Silva *et al.* (1987), o embasamento do Cinturão Móvel Atlântico é constituído pelo Complexo Paraíba do Sul, que foi fortemente estruturado pela ação de movimentos compressivos SE-NW, originando os movimentos tangenciais brasileiros. Esta estruturação é refletida por uma foliação milonítica e/ou bandamento composicional desenvolvida sob regime de cisalhamento simples, dúctil.

Dentre os lineamentos mais expressivos na região, destacam-se os seguintes: de direção NE-SW - de Itinga-Jequitinhonha e de Frei Inocêncio-Ataléia; de direção NNE-SSW - de Itambacuri-Padre Paraíso; de direção NNW-SSE - de Vitória-Ecoporanga, e, de direção SSW-NNE, o lineamento Guaçuí, que é considerado como continuação da zona de cisalhamento de Além-Paraíba, do Rio de Janeiro.

Vieira (1993) propõe para a região cinco fases de deformação, assim definidas: Deformação Dn, que foi responsável pela geração do bandamento metamórfico pré-transposicional, associado a um metamorfismo em fácies anfibolito alto, de baixo ângulo, encontrado nas rochas gnáissicas (para e orto) e, localizadamente, em porções migmatizadas com idade máxima considerada de 2.050 Ma, e, mínima, de 650 Ma; a Deformação D1, correspondendo a um cisalhamento, dúctil, de baixo ângulo, de direção NE-SW e, localizadamente, E-W, pervasivo nas rochas da região e tendo sido gerado em condições de fácies anfibolito alto.

Figura 2.2a - Mapa Geológico regional da região do Rio Doce (modificado de Nalini, 1997). Legenda: 1 - Complexo Juiz de Fora (charnockitos, gnaisses a hiperstênio ou biotita); 2 - Complexo Pocrane (ortognaisses tonalíticos a graníticos); 3 - Complexo Paraíba do Sul (gnaisses a biotita e/ou hornblenda com ou sem granada); 4 - Gnaiss Piedade (gnaiss a biotita); 5 - Grupo Rio Doce, formação São Tomé (xistos a biotita, muscovita, granada e estaurolita e gnaisses); 6 - Grupo Crenaque (quartzitos a sericita); 7 - Suíte intrusiva Medina (rochas graníticas); 8 - Suíte intrusiva Montanha (augen granitóides e gnaisses a biotita, granada, silimanita e cordierita); 9 - Suíte Intrusiva Urucum (granitos a duas micas); 10 - Suíte Intrusiva Galiléia (tonalitos granodioritos e granitos); 11 - Suíte Aimorés (charnockitos, dioritos e granodioritos); 12 - Maciço de Ibituruna (sienitos)

Figura 2.2b - Perfis relativos à figura anterior, com a mesma legenda.

O conjunto de deformações D2/D3 afetou principalmente litologias pertencentes ao Complexo Paraíba dos Sul. Caracteriza-se por dobras suaves de grande amplitude, com eixos NNE, quando relacionadas à fase D2 e, com caimento para NW, quando relacionadas à fase D3.

A fase de deformação D4 é representada por extensas zonas de cisalhamento de alto ângulo, destacando-se o Lineamento Transcorrente de Guaçuí e a falha contracional de Baixo Guandu, de direção SSE-NNW.

CAPÍTULO III

GEOLOGIA LOCAL

III.1 - INTRODUÇÃO

O Maciço Intrusivo Aimorés (MIA) possui forma anelar, com cerca de 12 Km de diâmetro, caracterizando-se, internamente, por uma estrutura de alto ângulo, com predomínio de mergulhos para o interior do mesmo. Ele é constituído de rochas básicas a intermediárias na sua parte central (predomínio de tonalitos, monzodioritos, quartzo-monzodioritos e granodioritos, que contém às vezes piroxênio e titanita), e de rochas progressivamente mais ácidas em direção à porção externa, variando de quartzo-monzonitos, quartzo-monzodioritos (charnockitos *s.l.*) até granitos (predomínio de granitos porfiríticos), em contatos concordantes e tectônicos com as encaixantes. Granada-granitos aparecem na parte interna e externa do corpo.

Com base nos dados petrográficos e litogeoquímicos, estas rochas foram agrupadas em três suítes: (i) Suíte Monzodiorítica-Granodiorítica (SMG); (ii) Suíte Charnockítica (SC) e, (iii) Suíte Granada Granítica (SGG). A primeira suíte é constituída de duas unidades de mapeamento: (a) Monzodioritos-Granodioritos com piroxênio (SMGp) e, (b) os Quartzo-Monzodioritos com titanita (SMGt). A segunda suíte é composta de duas unidades de mapeamento: (a) Quartzo-Monzonitos/Granitos com hiperstênio ou « Charnockitos *s.l.* » (SCh) e, (b) Granitos porfiríticos (SCp). A terceira suíte corresponde a uma unidade de mapeamento, os Granada-Granitos (SGG) (Figura 3.1). A SMG ocupa preferencialmente a porção interna do plúton, a SCh ocupa a porção intermediária, a SCp, a parte externa, enquanto a SGG ocupa sobretudo a parte interna (ver diagrama de Middlemost 1985, na Figura 3.2; as análises químicas de rocha total encontram-se no Anexo II). O contato entre as unidades, com exceção da SGG, apresenta-se muitas vezes relações difusas e interpenetrativas, sugerindo contemporaneidade entre elas. Estas relações de contato são esperadas em intrusões com pulsos magmáticos distintos (composições e idades), porém com características reológicas próximas, propiciando deste modo, misturas de magmas freqüentes.

Figura 3.1 - Mapa geológico simplificado do plúton de Aimorés.

Figura 3.2 - Diagrama de classificação das rochas intrusivas do **MIA**, segundo o diagrama de Middlemost (1985).

III.2 - A ESTRUTURA DO MACIÇO AIMORÉS

O embasamento do Maciço Aimorés, como mostrado anteriormente, é constituído por rochas metamórficas de alto grau e associações de granitóides, incluindo gnaisses diversos e granulitos pertencentes aos Complexos Juiz de Fora, Paraíba do Sul e Pocrane. O maciço possui forma grosseiramente circular, caracterizando-se por uma estrutura com uma foliação magmática de alto ângulo, havendo predomínio de mergulhos para o interior do maciço.

As rochas do maciço, além de preservarem estruturas de fluxo ígneo, mostram evidências de deformação no estado sólido, evidenciado pela extinção ondulante do quartzo e fraturamento de megacristais de feldspatos. Estas tramas deformacionais dúcteis/rúpteis podem estar relacionadas a um processo deformacional mais tardio, diferentemente daqueles associados à colocação do plúton. Além disso, são encontrados indicadores cinemáticos macroscópicos extensionais, sugerindo a existência de estrutura de colapso posterior à sua colocação (**Pranchas 3.1 e 3.2**).

As estruturas internas observadas na borda do maciço caracterizam-se por uma foliação de fluxo ígneo de alto ângulo, com mergulhos centrípetos das unidades, o que pode ser observado no estereograma da **Figura 3.3**. Estes dados sugerem uma geometria correspondente à porção inferior de um diápiro. A orientação linear dos megacristais de feldspatos nesta foliação mostra uma disposição subhorizontal, seguindo a sua trajetória circular (**Figura 3.4**). A disposição geométrica destes elementos estruturais (planares e lineares) é compatível com a existência de movimentos horizontais durante a cristalização do corpo. Na parte central do plúton, estas estruturas não são observadas claramente. Devido à maior susceptibilidade erosiva das rochas básicas, nesta porção do corpo, observa-se, em imagens, realce da estruturas circular (**Prancha 2.1**).

Figura 3.3 - Estereograma (Projeção tipo Schmidt, hemisfério inferior) mostrando a disposição da foliação magmática das diferentes unidades do MIA. Em **A**, pólos dos planos ($n=31$), em **B**, diagrama de isofrequência correspondente (contornos em 3%, 6% e 10%).

Figura 3.4 - Estereograma (Projeção tipo Schmidt, hemisfério inferior) mostrando a disposição de estruturas lineares magmáticas (orientação de megacristais) das diferentes unidades do MIA. Em **A**, lineações ($n=28$); em **B**, diagrama de isofrequência correspondente (contornos em 4%, 7% e 10%).

Prancha 3.1

Fotografia A - Lineação de fluxo magmático em megacristais de feldspatos (pto. 27, corte XY, plano horizontal).

Fotografia B - Estrutura sigmoidal em enclave máfico microgranular (pto. 62).

Fotografia C - Estrutura do tipo «*sigma*» em megacristais de feldspatos (pto.5).

Fotografia D - Estruturas de cisalhamento tardias afetando a foliação magmática (corte XZ).

Fotografia E - Estruturas sigmoidais em enclaves microgranulares máficos (pto. 82).

Fotografia F - Cisalhamento dúctil/rúptil sinistral afetando enclaves máficos próximo ao contato com a encaixante (pto. 5).

Fotografia G - Estruturas deformacionais amplificadas por níveis máficos (pto. 27).

A	D
B	E
	F
C	G

As estruturas apresentadas na **Prancha 3.1** mostram a existência de superposição de foliação deformacional afetando a foliação de fluxo magmático. Alguns afloramentos sugerem a influência do contato das encaixantes durante o resfriamento do magma. Em um estágio posterior, durante o resfriamento, poderia ter ocorrido o colapso gravitacional.

São observadas estruturas deformacionais dúcteis, mesoscópicas e microscópicas, como pares de foliações S-C, lamelas de quartzo e estruturas assimétricas tipo «sigma» em megacristais de feldspatos (Prancha 3.1).

Estas estruturas magmáticas e deformacionais foram afetadas por zonas de cisalhamento dúctil, discretas, de alto ângulo, principalmente sinistrais, que preservam localmente estruturas como dobras de fluxo (Prancha 3.2).

Prancha 3.2

Fotografia A - Zona de cisalhamento dúctil subvertical (pto.72).

Fotografia B - Dobras apertadas associadas a cisalhamento (pto. 82).

Fotografia C - Estruturas dúcteis-rúpteis, *en échelon* (em monzodioritos), cortando as estruturas magmáticas e deformacionais dúcteis anteriores (porção sudeste do plúton).

III.3 - PETROGRAFIA E MINERALOGIA

Conforme referido anteriormente (item III.1), foram separadas as seguintes unidades de mapeamento: na Suíte Monzodiorítica-Granodiorítica (SMG), a unidade Monzodioritos-Granodioritos com piroxênio (SMGp), e a unidade Quartzo-Monzodioritos com titanita (SMGt); na Suíte Charnockítica, a unidade Charnockitóide com hiperstênio (SCh), e a unidade dos Granitos Porfíricos (SCp) e, na Suíte Granada-Granítica, a unidade de Granada-Granitos (SGG). As rochas da SCp se destacam pelas cotas elevadas e pela morfologia em «pão de açúcar», e fazendo contato com as rochas encaixantes. A parte central do plúton exibe uma morfologia plana e arrasada, onde destacam-se pequenas elevações da SGG.

Com exceção das rochas da SMG, as demais rochas constituintes do maciço são de granulação grossa e textura porfírica a mega-porfírica, sendo ausentes, na escala de afloramento, estruturas deformacionais intensas.

A seguir é feita uma descrição petrográfica macro e microscópica das unidades de mapeamento.

III.3.1 - Suíte Monzodiorítica-Granodiorítica (SMG).

As rochas desta suíte apresentam cor escura, verde ou cinza, quando frescas, assumindo tons escuros quando alteradas. Esta suíte ocupa a parte central arrasada da intrusão e aflora na porção sudeste como blocos isolados ou em lajedos, mostrando com frequência alteração pronunciada.

Em função do elevado grau de alteração desta suíte, não foi possível estabelecer com precisão as relações de contato com a SC e com as rochas encaixantes. Observou-se, entretanto, que rochas da SGG e SCh são intrusivas na SMG.

Os monzodioritos-granodioritos desta suíte são maciços com textura equigranular, apresentando no conjunto uma estrutura tipo *pillow* e *net veined* (ver **Prancha 3.3 - f. A**). Estas feições petrográficas contrastam com as feições da SC, que são mais grossas e porfíricas. A SMG aparece, com menor frequência, cortada por corpos charnockitóides, graníticos e aplíticos (**Prancha 3.3 - f. B**).

Na **SMG** são distinguidas duas unidades de mapeamento: uma, representada pelos monzodioritos-granodioritos com piroxênio (**SMGp**, Suíte Monzodiorítica-Granodiorítica com piroxênio) e, outra, os monzodioritos-granodioritos com titanita (**SMGt**, Suíte Monzodiorítica-Granodiorítica com titanita). A primeira é caracterizada por rochas esverdeadas, que contém piroxênio como constituinte da mineralogia primária; a segunda, por rochas acinzentadas, que exibem titanita em lugar do piroxênio (**Prancha 3.3 - f. E e D**).

Como enclaves nesta suíte são encontrados rochas básicas a ácidas, incluindo desde tipos com morfologia arredondada, sugerindo acentuado grau de assimilação, até tipos com contatos angulosos, evidenciando assim pouco ou nenhum grau de assimilação (**Prancha 3.3, f.D**).

São distinguidos três tipos de enclaves: os de composição diorítica, granodiorítica e granítica, incluindo diques. Ocorre, ainda, no centro da estrutura, um corpo pegmatítico com cerca de 50 m² de exposição areal, constituído de quartzo, feldspato potássico e turmalina (abundante).

III.3.1.1 - Monzodioritos-Granodioritos com Piroxênio (SMGp)

A - Monzodioritos (amostras FAM 85, FAM28, FAM 32 e FAM52)

As rochas desta unidade apresentam cor verde-oliva, granulação média (as amostras FAM52 e FAM32 são de granulação mais fina), com textura dominante inequigranular seriada, exibindo domínios deformacionais incipientes, de granulação fina, localmente com megacristais de feldspato alcalino e plagioclásio (ver **Prancha 3.4 - f.A**).

Os minerais essenciais são plagioclásio, quartzo, ortoclásio, biotita, anfibólio e piroxênio; aparecendo apatita, zircão, magnetita e ilmenita como acessórios; sendo raros os minerais de alteração (barita em fraturas no piroxênio).

Foi realizada uma estimativa de composição modal (ver **Quadro 3.1**), tomando como referência, para esta unidade, a amostra FAM28. Para isto, utilizou-se de um programa de análise de imagens (Leica Q500 MC), que possibilita uma avaliação da porcentagem dos minerais em lâmina. A amostra acima apresentou o seguinte intervalo composicional: Plagioclásio 40-48%; Piroxênios 15-20% (Ortopiroxênio sempre >> que Clinopiroxênio), Feldspato Potássico 10-15%, Quartzo 5-8%; Anfibólios 3-5%; Biotita 2-4%; Opacos (Ilmenita sempre>>

Magnetita) 3-7% ; Apatita 1-3%. Ao microscópio notam-se estruturas deformacionais como extinção ondulante do quartzo, lamelas recurvadas e fraturas em feldspatos.

O piroxênio foi caracterizado como clinopiroxênio e ortopiroxênio, este último ocorrendo em maior quantidade. São subidiomórficos e apresentam bordas arredondadas. O ortopiroxênio apresenta pleocroísmo verde a rosa-salmão, por vezes alterados, exibindo estruturas esqueléticas. São substituídos por anfibólio e/ou biotita. Possuem tamanho entre 0,25 a 2,5 mm, constituindo por vezes aglomerados máficos com biotitas e anfibólios, apresentando inclusões de minerais opacos, apatita e zircão. O clinopiroxênio é do tipo augita e associa-se ao ortopiroxênio.

Distinguem-se duas gerações de plagioclásio: como megacristal e como integrante da matriz. São idiomórficos (sobretudo os megacristais) a xenomórficos, com granulação entre 0,25 mm e 10mm, sendo caracterizados como do tipo andesina ($An_{34,6-40,7}$ na matriz e $An_{36,9-43,5}$ nos megacristais) ou, mais raramente, labradorita, ocorrendo tanto nos domínios deformados quanto nos não deformados. Os cristais maiores apresentam freqüentes inclusões de piroxênio, apatita, zircão e de ilmenita/magnetita. Ocorrem feições deformacionais como lamelas recurvadas e fraturamento de grãos. O feldspato potássico (ortoclásio) pode ser pertítico a mesopertítico, xenomórfico, de dimensões submilimétricas a centimétricas, exibindo por vezes feições de recristalização. São raras ocorrências de mirmequitas.

O quartzo, de tamanho variável entre 0,25 mm a 0,5 cm, apresenta-se, nos domínios deformados, como aglomerados policristalinos, em contatos poligonalizados, com extinção ondulante.

O anfibólio (hornblenda pargasítica com ferro (II)) aparece associado ao piroxênio, preenchendo fraturas/clivagens ou contornando o mesmo. Ocorrem também isolado na matriz, ou associado aos minerais opacos. Os cristais possuem tamanho variável de 0,5 a 2,5 mm.

A biotita é de cor castanha, idiomórfica a subidiomórfica, de tamanho variável com cristais desde tamanho submilimétrico até milimétrica (até 2 mm). Ocorre associada ao anfibólio. Alguns cristais exibem uma estrutura esquelética.

A apatita é o mineral acessório mais abundante, chegando a constituir 3% em volume. Possui forma idiomórfica, com tamanho variável de submilimétrico a milimétrico (até 2,5 mm). Ocorrem ainda zircão e magnetita/ilmenita.

As amostras desta unidade apresentam diferenças no conteúdo e proporção de minerais máficos (ver **Quadro 3.1**). Nota-se que a amostra FAM 52 possui uma granulação mais fina do que as demais, bem como maior quantidade de minerais opacos.

Com base no estudo pormenorizado das relações entre os minerais, foi possível estabelecer a seguinte sequência de cristalização, com o zircão aparecendo como mineral de cristalização precoce, seguido pelo par ilmenita/magnetita, piroxênio, plagioclásio (uma geração mais antiga, com megacristais, e outra mais jovem, compondo a matriz), ortoclásio e quartzo. Os anfibólios e biotitas representam, possivelmente, fases de cristalização tardia, decorrentes de substituições *subsolidus* dos piroxênios.

Quadro 3.1 - Resumo de análises modais e médias normativas dos principais litotipos do MIA.

	UNID./Amostra		Qzo	Cor	Ort	Ab	An	Diop	Hip	Ol	Anf	Biot	Mag	Ilm	Apa	Tit	Zir	Gra	Aces	Total
SMG	SMGp/Grd.	Média/CIPW	22.18	0.94	10.96	26.99	20.21	0	8.21	0			8.61	1.433	0.467					
	Amostrai (FAM21G) - Modal		20-25		8-12	45-50		8-10			3-5	3-5			***		**		~5	
	SMGp/Monz.	Média/CIPW	4.748	0	11.31	24.19	19.05	5.347	10.37	0			17.37	5.035	2.578					99.99
	Amostra (FAM28) - Modal		5-8		10-15	40-48		15-20					3-7		1-3		**			
	SMGt	Média/CIPW	9.205	0.23	16.67	25.155	19.63	1.29	9.44	0			12.66	3.945	1.775					100.00
	Amostra (FAM 47) - Modal		7-10		15-18	40-45					8-10	8-10			2-5	3-5	**		~3	
SC	SCh	Média/CIPW	14.3	0.08	27.78	26.68	12.23	0.558	6.27	0			9.451	1.823	0.835					100.00
	Amostra (FAM 85) - Modal		15-20		25-30	35-40		7-10			3-5	5-7			***		**		~3	
	SCp	Média/CIPW	17.94	0.42	27.25	24.73	11.41	0.103	6.35	0			9.22	1.77	0.793					100.00
	Amostra (FAM 25) - Modal		18-20		25-30	30-35					3-5	5-7	1-3		**		**			
SGG	SGG	Média/CIPW	32.88	1.79	32.67	21.37	5.25	0	2.51	0			2.85	0.457	0.213					100.00
	Amostra (FAM1) - Modal		28-32		35-40	25-30						1-2		<1	*		**	~3		
ENC	FAM27G/CIPW		27.14	0.64	35.28	22.23	7.55	0	2.7	0			3.52	0.45	0.51					100.02
	Amostra (FAM27 G) - Modal		25-30		35-40	20-25					1-3	3-5			**		*			
	FAM84A/CIPW		24.89	0.69	39.74	27.26	4.12	0	1.16	0			1.64	0.34	0.17					100.01
	Amostra (FAM84 A) - Modal		25-30		40-45	25-30						3-5			**		*		~1	
	FAM64/CIPW		22.33	0.6	13.77	26.91	18.79	0	8.08	0			7.88	1.32	0.31					99.99
	Amostra (FAM64) - Modal		20-25		10-15	45-50					1-3	12-15			***		*		~1	

Abreviações: Qzo - Quartzo; Cor - Córindon; Ort - Ortoclásio; Ab - Albita; An - Anortita; Diop - Diopsídio; Hip - Hiperstênio; Ol - Olivina; Anf - Anfibólio; Biot - Biotita; Mag - Magnetita; Ilm - Ilmentita; Apa - Apatita; Tit - Titanita; Zir - Zircão; Gra - Granada; Aces - Acessórios.

Prancha 3.3

Fotografia A - Estruturas tipo *pillows* em monzodioritos com piroxênio (SMGp), pto. 63.

Fotografia B - Enclaves de granodiorito em SMGp sendo cortados por granitos e pegmatitos, estes últimos mais tardios (pto. 64).

Fotografia C - Aspecto de amostra de mão, de granodiorito da SMGp (amostra FAM 21).

Fotografia D - Enclaves ácidos triangulares em charnockitos que, por sua vez, são intrusivos em monzodioritos com piroxênio (SMGp), pto. 41.

Fotografia E - Amostra de mão de Quartzo-Monzodiorito com Titanita (SMGt). Amostra FAM 71.

Fotografia F - Afloramento mostrando as relações de contato entre granitos tardios, dique ácido e Quartzo-Monzodiorito com titanita (SMGt), pto.71.

A	D
B	E
C	F

Prancha 3.4

Fotomicrografia A - Detalhe da mineralogia da **SMGp**, mostrando a relação entre plagioclásio (por vezes comtem extinção ondulante incipiente), biotita, anfibólio e piroxênio, nota-se um grande cristal de apatita em forma de bastão. Observa-se que a biotita possui contatos retilíneos com ortopiroxênio e anfibólio, com este último circundando um cristal no canto inferior esquerdo da foto. A biotita, associada com anfibólio/piroxênio, não possui extinção ondulante, apresentando com frequência inclusões de opacos. Anfibólios isolados são raros. Nx (amostra de Monzodiorito, FAM 28).

Fotomicrografia B - Detalhe da mineralogia da **SMGt** mostrando a relação entre biotita, anfibólio e plagioclásio, bem como cristais de apatita, Nx (amostra FAM 47)

Fotomicrografia C - Detalhe da mineralogia de um enclave na **SMGp**, (amostra FAM 62B), mostrando um megacrital de plagioclásio no canto superior direito, e biotita associada com anfibólio. N//.

Fotomicrografia D - Mesma figura anterior, em Nx.

A	C
B	D

B - Granodioritos (amostras FAM 21, 21 G)

Estas rochas apresentam cor verde-oliva, granulação média-grossa, textura inequigranular seriada, com domínios deformacionais de granulação média a fina (a deformação aqui é mais intensa do que nos termos monzodioríticos) e esparsos megacristais de feldspato alcalino e de plagioclásio (ver **Prancha 3.3 - f. C**).

Os minerais essenciais desta suíte são plagioclásio, quartzo, feldspato potássico, biotita, anfibólio e piroxênio; aparecendo apatita, zircão, magnetita e ilmenita como acessórios; os poucos minerais de alteração, que foram identificados através do MEV, são pirita, esfarelita , calcita, barita e clorita.

Foi realizada uma estimativa de composição modal aproximada, tomando como referência, para estes termos, a amostra FAM 21G. A avaliação da porcentagem foi realizada com auxílio do programa de análise de imagens (Leica Q500 MC), apresentando o seguinte intervalo composicional: Quartzo 20-25%; Feldspato Potássico 8-12%; Plagioclásio 45-50%; Piroxênios 8-10%; Anfibólios <1%; Biotita 3-5%; acessórios ~5%. Estruturas deformacionais como extinção ondulante do quartzo, lamelas recurvadas e fraturas em plagioclásios, são as mais intensas de todo o conjunto das unidades estudadas do MIA .

Novamente são distinguidas duas gerações de plagioclásios: como megacristal e na matriz. São xenomórficos (principalmente na matriz) e subidiomórficos (sobretudo os megacristais), com tamanho entre 0,25mm e 10mm, sendo caracterizados como plagioclásio do tipo andesina ($An_{37,2} - 39,7$, na matriz e, $An_{36,8} - 40,0$ nos megacristais). Os cristais maiores apresentam freqüentes inclusões de piroxênio, apatita, zircão e minerais opacos. O ortoclásio pode ser pertítico a mesopertítico, xenomórfico, de dimensões submilimétricas a centimétricas (até 3cm), exibindo por vezes feições deformacionais.

O piroxênio caracteriza-se como clinopiroxênio e, em maior quantidade, como ortopiroxênio. São xenomórficos e de bordas arredondadas. O ortopiroxênio apresenta pleocroísmo verde a rosa-salmão, com zonas alteradas, onde se desenvolvem estruturas esqueléticas. É do tipo hiperstênio (ferrossilita), estando, com freqüência, substituídos por anfibólio e/ou biotita. Os grãos são de tamanho entre 0,25 até 2,5mm, constituindo por vezes aglomerados máficos associados com biotita e anfibólio. O clinopiroxênio é do tipo augita, raramente hedenbergita, associando-se com freqüência ao ortopiroxênio.

O quartzo, de tamanho variável entre 0,25 mm até 0,5 cm, apresenta-se, nos domínios deformados, como aglomerados policristalinos, contatos poligonalizados, exibindo ainda extinção ondulante. No contato com o plagioclásio observa-se o desenvolvimento de mirmequitas.

A biotita é de cor castanha, idiomórfica a subidiomórfica, de tamanho variável, com cristais de tamanho submilimétrico a milimétrico (até 2 mm), ocorrendo orientada nos domínios mais deformados, exibindo cristais deformados.

Como acessórios ocorrem apatita, idiomórfica, com tamanho variável de submilimétrico a milimétrico (até 2,5 mm). Ocorrem ainda zircão e a associação magnetita/ilmenita. Ainda como mineral de alteração, associado à saussuritização de feldspatos, ocorre a esfalerita.

III.3.1.2 - Quartzo-Monzodioritos com Titanita (SMGt)

São rochas de cor cinza, granulação fina-média e textura predominante equigranular, localmente com megacristais de feldspato potássico e plagioclásio, porém em menor frequência do que na SMGp.

Utilizou-se como referência para esta unidade a amostra Fam 47. Os minerais essenciais são plagioclásio, quartzo, feldspato potássico, biotita e anfibólio (ver **Prancha 3.3, f. E e F** e **Prancha 3.4-f.B**). As fases acessórias são consituídas de titanita, apatita, zircão, magnetita e ilmenita. Os minerais de alteração são pirita, calcita e clorita.

Estimativa de composição modal: Quartzo 7-10%; Feldspato Potássico 15-18%; Plagioclásio 40-45%; Anfibólios 8-10%; Biotita 8-10%; Titanita 3-5% e Apatita 2-5%.

Os plagioclásios são xenomórficos a subidiomórficos, de tamanho variável entre 0,5 mm até 1 mm, sendo do tipo andesina ($An_{32,5-40,2}$). O feldspato potássico (microclínio), xenomórfico, com intervalo de tamanho entre 0,5 a 0,7 mm, é pertítico, mostra-se com frequência texturas deformacionais como microbandas de cisalhamento, fraturamento e extinção ondulante.

O quartzo, com tamanho médio de 1mm, apresenta extinção ondulante e chega a formar subgrãos.

O anfibólio, xenomórfico, caracterizado como hornblenda pargasítica com Ferro (II), aparece associado com a biotita, com tamanho variável entre 0,5 a 2,5 mm.

A biotita, pleocróica, é de cor verde a marron-castanho, subidiomórfica, com tamanho entre 0,5 e 3,0 mm, encontra-se isolada ou substituindo o anfibólio.

A titanita é o mineral acessório mais abundante. De forma subidiomórfica, submilimétrica, chega a constituir, em determinadas amostras, 5% do total dos minerais. Aparecem ainda apatita, zircão e o par magnetita/ilmenita.

Exemplo de enclave na unidade SMG -amostra Fam 64 (Granodiorito)

Esta amostra apresenta uma granulação média-grossa, textura inequigranular seriada, localmente apresentando megacristais de feldspato potássico e de plagioclásio

Os minerais essenciais deste enclave são plagioclásio (45-50%), quartzo (20-25%), ortoclásio micropertítico (10-15%), biotita (12-15%), anfibólio (1-3%) e como acessórios (~1%) aparecem piroxênio, apatita, zircão, magnetita e ilmenita.

Estruturas de natureza deformacional são incipientes, aparecendo alguma extinção ondulante do quartzo.

Os plagioclásios ocorrem como megacristais ou em grãos de tamanho médio, xenomórficos a subidiomórficos, apresentando inclusões de biotita, apatita, zircão e opacos. O feldspato potássico (ortoclásio), micropertítico, sempre xenomórficos, atinge até 4mm de tamanho, exibindo por vezes em suas bordas, ou mesmo no núcleo, mirmequitas. A saussuritização é incipiente.

Os piroxênios, raros, são de tamanho submilimétrico, aparecendo isolado ou em aglomerados máficos.

O quartzo, sempre xenomórfico, parece ser de cristalização tardia e apresenta deformação incipiente.

A biotita é de cor marrom-castanha, idiomórfica a subidiomórfica, de tamanho submilimétrico a milimétrico (até 2 mm), ocorrendo em aglomerados, associadas ao anfibólio, ou em inclusões, pouco frequentes, em plagioclásios. Não apresenta sinais de deformação.

A apatita, depois do ortopiroxênio, é o mineral acessório mais abundante, ocorrendo ainda zircão e a associação magnetita/ilmenita.

Ainda como enclaves, ocorrem granodioritos (amostra FAM 62B, ver **Prancha 3.4- f.C e D**) e granitóides (amostras FAM 64A e 64B, **Prancha 3.4** e FAM 68A, **Prancha 3.5 f.A e B**).

III.3.2 - Suíte Charnockítica (SC)

As rochas desta suíte, que se distinguem das demais faciologias do MIA, pela sua marcante textura porfírica, apresentam algumas diferenças na mineralogia, principalmente pela presença ou não do piroxênio. Esta suíte ocupa a transição da parte central arrasada da intrusão para o «anel montanhoso» externo.

Os contatos das rochas desta suíte são transicionais, sendo em geral de difícil reconhecimento, devido a dificuldade de diferenciação textural/mineralógica em campo.

Distinguem-se duas unidades de mapeamento nesta suíte: uma, representada pelos charnockitóides (hiperstênio-quartzo-monzodioritos) (SCH, Suíte Charnockítica com hiperstênio) e, outra, representada por granitos porfíricos (SCp, Suíte Charnockítica porfírica). A primeira é caracterizada por rochas esverdeadas, que contém piroxênio como constituinte da mineralogia primária enquanto a segunda, caracteriza-se por rochas de cor acinzentada, com ausência de piroxênio. Os enclaves desta suíte são mais freqüentes na SCp, constituindo por de rochas de composições variadas, de básicas a ácidas, exibindo em geral contatos angulosos (ver **Prancha 3.7, f. D,E e F**).

III.3.2.1 - Suíte Charnockítica (unidade SCH).

São rochas de cor verde-escura, quando frescas, e amarelada a avermelhada, quando alteradas, confundindo-se assim facilmente com os granitos.

As rochas desta suíte formam um anel descontínuo que contorna a parte central da intrusão. Este anel coincide com as porções mais elevadas do centro, contrastando assim com a região central, que é plana. Estas rochas, quando alteradas, são exploradas como material de construção ou como sabreiras, e quando não alteradas, são exploradas como pedra ornamental. As amostras selecionadas para análises químicas, foram recolhidas em pedreiras. Ocorrem ainda como matacões ou como lajedos horizontalizados na parte central da estrutura, mostrando relações de intrusão com a SMGp. Os afloramentos alterados são aqueles que permitem observar com maior clareza a textura porfírica destas rochas, bem como visualizar a orientação dos megacristais, que, por vezes, apresentam-se com entelhamento. A orientação preferencial dos

megacristais na **SCh** é concordante com a sua configuração anelar, ao contrário do que ocorre nas intrusões charnockitóides da **SMG**, onde a disposição é aleatória.

Estas rochas apresentam estrutura maciça e homogênea, quando frescas, e textura porfirítica, quando alteradas (ver **Prancha 3.7, f.A e B**). A granulação da matriz é grossa, passando a média a fina nos domínios deformacionais (ver **Prancha 3.8-f.C**).

Os enclaves, quando presentes, são de granitos (amostra **FAM84A**) e charnockitóides de granulação mais fina (amostra **FAM84B**).

Os minerais essenciais são feldspato potássico, plagioclásio, quartzo, biotita, anfibólio e piroxênio. Na fase acessória aparece apatita, zircão, allanita, magnetita e ilmenita. Como minerais de alteração observam-se pirita, esfalerita, calcita e clorita.

A estimativa de composição modal apresentou a seguinte proporção: Quartzo 15-20%, Feldspato Potássico 25-30%; Plagioclásio 35-40%; Piroxênio 7-10%; Anfibólio 3-5%; Biotita 5-7%; acessórios ~3 %.

São comuns estruturas de natureza deformacional como extinção ondulante do quartzo, lamelas recurvadas de plagioclásio, microfraturas e biotitas arqueadas.

O feldspato potássico (ortoclásio) é frequentemente pertítico e ocorre como megacristal ou na matriz. Ele é xenomórfico, de tamanho milimétrico (matriz) a centimétrico (megacristal), chegando atingir 5 cm. Apresentam-se zonados, de forma oscilatória ou contínua, englobando por vezes cristais de plagioclásio (ver **Prancha 3.6 f. C e D**).

O plagioclásio ocorre como megacristal e como integrante da matriz. São xenomórficos a subidiomórficos (principalmente os megacristais). Possuem tamanho variável de milimétrico a centimétrico (até 6 cm), de composição oligoclásio-andesina, tanto nos cristais dos domínios deformados quanto naqueles não deformados. Os cristais maiores, zonados, apresentam-se freqüentemente com inclusões de piroxênios, apatita, zircão e minerais opacos. São freqüentes feições deformacionais como lamelas recurvadas, assim como fraturamento de grãos.

Prancha 3.5

Fotomicrografia A - Detalhe da mineralogia de enclave de **SMGp**. Amostra FAM 64A, em N//, mostrando agregados de biotita/anfibólio, em matriz de quartzo e plagioclásio.

Fotomicrografia B - Mesma figura anterior, em Nx

Fotomicrografia C - Detalhe da mineralogia do enclave da **SMGp**. Amostra FAM 64B, N//, mostrando a disposição de microclínio e biotita.

Fotomicrografia D - Mesma figura anterior, em Nx.

A	C
B	D

Prancha 3.6

Fotomicrografia A - Detalhe da mineralogia, mostrando aglomerados máficos de biotita/piroxênio/opacos em meio à matriz quartzo-feldspática (amostra FAM 68A).

Fotomicrografia B - Mesma figura anterior, em Nx.

Fotomicrografia C - Megacrystal de feldspato potássico, com zoneamento e inclusão de plagioclásio. Amostra FAM 4 (SCh). Nx.

Fotomicrografia D - Borda de megacrystal de feldspato potássico, em contato com plagioclásio e quartzo, com este último em extinção ondulante. Amostra FAM 4. Nx.

A	C
B	D

Os clinopiroxênios (subordinados) ocorrem freqüentemente associados aos ortopiroxênios (predominantes). Possuem tamanho entre 0,25 - 2 mm (**Prancha 3.8-f.A e B**). São cristais xenomórficos, com composição do hiperstênio, campo da ferrossilita, que apresentam um forte pleocroísmo verde-rosa. O clinopiroxênio é augita, de composição mais próxima do campo hedenbergítico do que os clinopiroxênios da **SMGp**, cuja composição se aproxima do campo do diopsídio. Com freqüência, estão alterados, corroídos, sendo substituídos por anfibólio e/ou biotita.

O quartzo, de tamanho variável entre submilimétrico a milimétrico (até 1mm), apresenta extinção ondulante incipiente, desenvolvendo, localmente, mirmequitas.

O anfibólio, hornblenda ferro-pargasítica, aparece associado ao ortopiroxênio, por vezes contornado-o completamente. Possui tamanho variável, entre 0,25 a 1mm (ver **Prancha 3.8-f.A**).

A biotita é de cor castanha, idiomórfica a subidiomórfica, de tamanho variável, com cristais variando de submilimétrico a milimétrico (até 1,5 mm), mostrando-se orientada nos domínios deformados, e exibindo relações de substituição com os anfibólios.

O acessório primário principal é apatita, de forma idiomórfica, com tamanho submilimétrico a milimétrico (até 2,5 mm). Ocorre também allanita (ortita), com halos pleocróicos característicos, mostrando-se enriquecida em terras raras (análises em MEV). Ocorrem, ainda, como fases acessórias primárias, zircão e o par magnetita/ilmenita.

Foi possível estabelecer a sequência de cristalização, onde o zircão e apatita são as fases precoces, seguido pelo par ilmenita/magnetita ; piroxênio, plagioclásio (como na **SMGp**, uma geração mais antiga, com megacristais, e outra mais jovem, fazendo parte da matriz), ortoclásio e quartzo. Anfibólio e biotita parecem representar fase tardia.

Enclave na unidade SCh (amostra FAM 84 A)

Este enclave de composição granítica possui cor branca acinzentada (**Prancha 3.10-f. D**) e apresenta ao microscópio textura inequigranular seriada, granulação média a grossa. O mineral mais importante é o feldspato potássico (pertitas, 40-45%), que atinge 5mm, em cristais xenomórficos, com freqüentes inclusões de plagioclásio e apatita. Ocorrem ainda plagioclásio (25-30%); quartzo (25-30%), em cristais de até 6mm; biotita subidiomórfica (3-5%),

em cristais que apresentam pleocroísmo marron claro/escuro. Subordinadamente (<1%), ocorrem apatita (em bastões prismáticos ou cristalizados ou em finíssimas agulhas), zircão e óxidos de ferro/titânio.

III.2.2.2 - Suíte Charnockítica (unidade SCp).

As rochas da suíte charnockítica (SC) estão em contato direto com rochas do embasamento e da unidade SCh, SMG e SGG.

Esta suíte ocupa a porção mais externa da intrusão, exibindo suas as cotas mais elevadas podendo chegar até 800m (a altitude do Rio Doce na Região é cerca de 100m). São rochas de cor cinza, quando frescas ou amareladas a avermelhadas quando alteradas, sendo confundidas facilmente com os charnockitóides (ver **Prancha 3.7-f.C,D E e F**).

As rochas desta suíte apresentam estrutura maciça e textura porfirítica a megaporfirítica, por vezes heterogêneas, ricas em enclaves, ocorrendo ainda granitos com granada, intrusivos nesta unidade. A partir da análise de imagens digitalizadas (utilizando-se o programa Leica Q500 MC) das porções mais homogêneas chegou-se à uma média modal de 35 % de megacristais. O contato com as rochas do embasamento apresenta-se encoberto.

Os minerais essenciais desta suíte são feldspato potássico, plagioclásio, quartzo, biotita e anfibólio (**Prancha 3.8-f.D**). Como fases acessórias aparecem apatita, zircão, magnetita e ilmenita. Os minerais de alteração são calcita, allanita, rutilo e clorita.

A estimativa de composição modal é a seguinte: Quartzo 18-20%; Feldspato Potássico 25-30%; Plagioclásio 30-35%; Biotita 5-7%; Minerais Opacos 1-3%; Anfibólios 3-5%.

A granulação é grossa, de textura porfirítica dominante, com granulação média a fina nos domínios deformados. As estruturas deformacionais são: extinção ondulante do quartzo, lamelas recurvadas de plagioclásio e microfraturas.

O feldspato potássico (microclínio) ocorre como megacristal e como integrante da matriz, sendo muitas vezes pertítico, xenomórfico, em cristais milimétricos a centimétricos (até 6 cm). Apresenta-se, como na unidade descrita anteriormente, zonado, de forma contínua ou oscilatória.

Prancha 3.7

Fotografia A - Afloramento de charnockito, mostrando a rocha fresca e alterada, pto. 10.

Fotografia B - Amostra de mão, de charnockito (FAM 4).

Fotografia C - Detalhe de afloramento (SCp), mostrando a disposição dos megacristais de feldspato potássico orientados, em trama magmático-deformacional corte XZ, pto. 27.

Fotografia D - Detalhe de afloramento, mostrando um enclave de rocha básica com megacristais de feldspato alcalino K, em contatos interpenetrativos em SCp (pto. 24).

Fotografia E - Detalhe de afloramento, mostrando enclaves básicos orientados, próximos ao contato com embasamento. (pto.5, SCp)

Fotografia F - Detalhe de afloramento, mostrando enclaves variados, em uma mesma banda, de bordas retilíneas, em SCp. (pto. 25).

A	D
B	E
C	F

Prancha 3.8

Fotomicrografia A - Detalhe da mineralogia da **SCh**, mostrando a relação entre anfibólio, piroxênio, biotita e plagioclásio. Nx. (Amostra FAM 4).

Fotomicrografia B - Detalhe da mineralogia da **SCh**, mostrando a relação entre piroxênio e plagioclásio, com um grande cristal de zircão à esquerda. Nx. (Amostra FAM 4).

Fotomicrografia C - Detalhe da mineralogia da **SCh**, mostrando a matriz deformada. Nx. (Amostra FAM 4).

Fotomicrografia D - Relação entre biotita e anfibólio (**SCp**). Amostra FAM 5. Nx.

A	C
B	D

Os plagioclásios são xenomórficos (sobretudo na matriz) a subidiomórficos (principalmente megacristais), de tamanho milimétrico a centimétrico (até 5cm), composição oligoclásio ($An_{24,4} - 30,3$, na matriz e $An_{22,6} - 30,6$, nos megacristais), tanto nos domínios deformados quanto nos não deformados. Os cristais maiores, zonados, apresentam-se freqüentemente com inclusões de apatita, zircão e minerais opacos. São freqüentes feições deformacionais.

O quartzo, de tamanho variável, submilimétrico a milimétrico (até 1mm), mostra extinção ondulante fraca, desenvolvendo no contato com o plagioclásio cristais de mirmequita.

O anfibólio é do tipo hornblenda ferro-pargasítica. Os grãos possuem tamanho entre 0,25 a 1mm.

A biotita é de cor vermelho-castanha, de forma idiomórfica a subidiomórfica, submilimétrica a milimétrica (até 2,0 mm).

Como minerais acessórios primários encontram-se a apatita (idiomórfica), zircão e o par magnetita/ilmenita. Como fases acessórias secundárias foram identificadas pirita, esfarelita, calcita, allanita e clorita.

Enclaves na Unidade SCp

Ocorrem enclaves de diferentes tipos composicionais (ácidos e básicos), assim como em diferentes graus de assimilação.

Como enclaves nesta unidade, ocorrem leucogranitos, amostra FAM27G (ver **Prancha 3.10, f.D**), que se apresentam com bordas angulosas, com tamanhos variáveis entre 30 cm e 1,5 m. Este granito tem uma cor branca clara, apresentando ao microscópio textura equigranular, granulação média a grossa, tendo como mineral mais importante o microclínio (~45%), em grãos de até 4mm, xenomórficos, com inclusões de plagioclásio com bordas corroídas. O plagioclásio (20-25%), de tamanho médio de 1mm, subidiomórfico, apresenta-se freqüentemente sausrizado. O quartzo (25-30%), com grãos entre 2 a 4mm; biotita subidiomórfica (3-5%), em cristais com pleocroísmo marron claro a escuro, substituindo com freqüência o anfibólio. O anfibólio (1-3%) ocorre como cristais isolados com tamanho ao redor de 2mm. Os acessórios são apatita, zircão e óxidos de ferro/titânio.

III.3.3 - Granada Granitos. (Unidade SGG).

São rochas que afloram preferencialmente na parte interna do MIA. Apresentam cor branca-acinzentada, quando frescas, e amarelada, quando alteradas (Prancha 3.10-f.A). Os afloramentos desta rochas, no domínio interno, ressaltam-se na paisagem, mostrando relações de contatos claramente intrusivos.

Os minerais essenciais constituintes desta unidade são feldspato potássico, plagioclásio, quartzo e granada. Como fases acessórias aparecem biotita, zircão, magnetita e ilmenita.

A estimativa modal, com base em análises auxiliadas pelo *software* Leica Q500 MC, forneceu as seguintes porcentagens médias: Feldspato Potássico (35-40%); Plagioclásio (25-30%); Biotita (1-2%); Granada ~3%; Minerais Opacos <1%.

São rochas de granulação grossa com textura equigranular predominante, exibindo granulação média a fina nos domínios mais deformados.

O feldspato potássico (microclínio) e o plagioclásio ocorrem como megacristais ou como integrante da matriz, possuindo forma xenomórfica. O plagioclásio, nos domínios deformados e não deformados, é do tipo oligoclásio, de composição ($An_{22,4-24,4}$). Os cristais são xenomórficos a subidiomórficos, de tamanho milimétrico a centimétrico. A granada é de composição almandina-magnesiana, com tamanho médio de 0,7 mm (Prancha 3.11-f.A e B).

O quartzo é de tamanho entre submilimétrico a milimétrico; a biotita é de cor castanha, idiomórfica a subidiomórfica, de tamanho submilimétrico a milimétrico (até 1,0 mm).

Ainda como fases acessórias primárias aparecem zircão, monazita e o par magnetita/ilmenita.

III.3.4 - Rochas Encaixantes.

Ocorrem como rochas encaixantes do MIA desde rochas gnáissicas, cálcio-silicáticas e granitóides diversos. Como o estudo do embasamento não era o objetivo deste trabalho, limitou-se aqui a uma apresentação de análises químicas realizadas e fotos (Prancha 3.11, f.C e D e Prancha 3.12). Descrições detalhadas sobre a petrografia e geoquímica do embasamento granítico encontram-se em Vieira (1993).

Prancha 3.9

Fotomicrografia A - Textura equigranular em enclave ácido de **SCp**. Amostra FAM79A, N//

Fotomicrografia B - Mesma figura anterior, em Nx.

Fotomicrografia C - Textura equigranular em enclave ácido de **SCp**. Amostra FAM27G, N//

Fotomicrografia D - Mesma figura anterior, em Nx.

A	C
B	D

Prancha 3.10

Fotografia A - Amostra de mão, de granada granito da **SGG**. (FAM 1).

Fotografia B - Amostra de mão, de enclave em **SMGp**. (FAM 64B).

Fotografia C - Amostra de mão, de enclave em **SMGp**. (FAM 64).

Fotografia D - Amostra de mão, de enclave ácido na **SCh**. (FAM 84A).

Fotografia E - Amostra de mão, de enclave em **SCp**. (FAM 27G).

Fotografia F- Amostra de mão, de enclave em **SCp**. (FAM 79A).

A	D
B	E
C	F

Prancha 3.11

Fotomicrografia A - Detalhe da mineralogia, mostrando relações entre granada e biotita. Amostra FAM 1 (SGG). N//.

Fotomicrografia B - Detalhe da mineralogia, mostrando cristais de plagioclásio e biotita. Amostra FAM 1 (SGG). Nx.

Fotomicrografia C - Detalhe da mineralogia, de granito do embasamento. Amostra FAM80. N//.

Fotomicrografia D - Mesma figura anterior, em Nx.

A	C
B	D

Prancha 3.12

Fotografia A - Afloramento de pedra em Baixo Guandu, de granitos do embasamento (pto. 86), com enclaves básicos associados.

Fotografia B - Detalhe de afloramento do embasamento, onde observam-se rochas gnáissicas cálcio-silicáticas, intensamente deformadas (pto. 60).

Fotografia C - Amostra de mão de granito do embasamento, à norte do MIA; (pto. 80).

Prancha 3.13

Fotomicrografia A - Detalhe da mineralogia, de enclave ácido em **SCh**. Amostra FAM 86A.

Fotomicrografia B - Mesma figura anterior, em Nx.

Fotomicrografia C - Detalhe da mineralogia, de enclave básico em **SCh**. Amostra FAM 86B.

Fotomicrografia D - Mesma figura anterior, em Nx.

A	C
B	D

III.4 - Química Mineral

Após uma descrição sucinta dos minerais constituintes das diferentes suítes, segue-se uma caracterização química dos minerais essenciais (plagioclásio, biotita e piroxênios) e de alguns acessórios (granada, apatita e zircão) com base nos dados obtidos em Microsonda Eletrônica, realizados em diversos laboratórios franceses. Para o do tratamento desses dados foram utilizados os programas Excel, Minpet e Newpet. As análises químicas dos minerais encontram-se no **Anexo III**.

III.4.1 - Feldspatos

Os plagioclásios, para a maioria das suítes, têm uma composição predominante oligoclásio-andesina, com exceção de algumas amostras da **SMGp**, que possui composição de labradorita (**Figura 3.5**).

Figura 3.5 - Classificação dos feldspatos das diferentes suítes do **MIA**, segundo o diagrama An - Ab - Or. Legenda - (+) Embasamento Granítico; (○) **SMGp**; (■) **SMGt**; (●) **SCh**; (◇) **SCp**; (◆) **SGG**; (▽) Enclaves; (□) Maciço de Ibituba; (▼) Maciço de Lagoa Preta.

Na **SMGp**, a composição predominante é andesina, exibindo porém variações composicionais entre os megacristais e a matriz. Esta última apresenta um intervalo de variação composicional de $An_{34,6}$ a $An_{40,7}$, enquanto nos megacristais situa-se entre $An_{36,9}$ a $An_{43,5}$. Nota-se, entretanto, que alguns megacristais são levemente mais cálcicos (**Figura 3.6**). Na **SMGt**, os plagioclásios são igualmente de composição andesina ($An_{32,5}$ a $An_{40,2}$) (**Figura 3.6**).

Figura 3.6 -Em **A**, Conteúdo de An em megacristais e matriz (**SMG**) e, em **B**, conteúdo de An em megacristais e matriz (**SC**) e enclaves associados. **C**- Centro do megacristal, **B**-Borda do megacristal, **M**-matriz. Símbolos dos megacristais; da **SMGp**: (×) granodiorito, FAM21; (□) monzodiorito, FAM85; (▲) monzodiorito, FAM52. Símbolos para os cristais da matriz: (○-**SMGp**), (■) quartzo-monzodiorito com titanita, FAM47 (**SMGt**); (■) enclave em **SMG**, granodiorito FAM64; (▽) enclave FAM62-B. Símbolos dos megacristais da **SCh**: (● e ●) charnockito, FAM4G); (■ - charnockito, FAM10). Símbolos para a matriz: (● enclaves ácidos em **SCh**, FAM84A); (■) charnockito, FAM10 e (●) outras amostras da **SCh**.

A **SCh** mostra uma grande variação na composição dos plagioclásios, tanto nos megacristais quanto na matriz. Nos megacristais distinguem-se dois grupos: um que varia entre An_{30} a An_{33} e, outro, entre $An_{27,5}$ a An_{32} . Neles, observa-se a existência de dois tipos de zoneamento: um contínuo, com núcleo mais cálcico e, outro oscilatório, sugerindo neste caso uma complexidade na cristalização dos mesmos (**Figura 3.7**). Nota-se que a borda dos

megacristais são ligeiramente menos cálcicas do que a parte central, evidenciando um re-equilíbrio parcial destes. Na matriz esta variação se situa entre An_{27} a $An_{32,2}$. Conclui-se que a variação composicional entre os megacristais e a matriz se situa no mesmo intervalo.

Na **SCp** observa-se um notável zoneamento dos megacristais, que pode mesmo ser observado macroscopicamente. Distinguem-se igualmente dois grupos composicionais: um entre An_{29} a $An_{30,5}$ e outro entre $An_{22,6}$ a An_{30} . Na matriz esta variação situa-se entre $An_{24,4}$ a $An_{30,3}$. Desta forma, repete-se nesta unidade o mesmo tipo de variação composicional mencionado acima.

Para efeitos de comparação, foram lançados, no diagrama da **Figura 3.8**, os dados composicionais dos plagioclásios das diferentes unidades do **MIA** e do embasamento. Nota-se, como tendência geral, que existe uma diminuição no conteúdo de An do núcleo para as bordas dos cristais, o que evidencia o re-equilíbrio parcial destes cristais.

Figura 3.7 - Em **A**, Conteúdo de An em Megacristais e na matriz (**SC**), em **B**, comparação entre as unidades da **SC**, com enclaves. **C**- Centro do megacristal, **B**-Borda do megacristal, **M**-Matriz. Símbolos: para os megacristais: (● e ●) charnockito, FAM4G (**SCh**); (◁ e ▷) granito porfirítico, FAM5 e FAM25 (**SCp**), (◻) granito porfirítico, FAM77 (**SCp**). Para os cristais da matriz: (●) **SCh**; (◊) **SCp**, (◻) enclave em **SMG**, granodiorito FAM64; (▽) enclave ácido em **SCp**, FAM27G, e enclave ácido em **SCh** (●) amostra FAM84A. Foi incluído neste diagrama um megacristal do embasamento granítico, (▶) granito, FAM80.

Figura 3.8 - Em **A**, comparação entre o conteúdo de An em plagioclásios da **SMG** e **SC**; em **B** comparação entre a **SGG** e a **SC**. **C**- Centro do megacristal, **B**-Borda do megacristal, **M**- Matriz. Mesmos símbolos das figuras anteriores, incluindo para os megacristais da **SGG** (Δ) (granada granito, FAM1); e para os cristais da matriz desta mesma amostra ($\blacklozenge$).

Nota-se que os plagioclásios (megacristais e matriz) da **SMG** são mais ricos em Ca do que da **SC** (megacristais e matriz) (**Figura 3.8A**), enquanto os plagioclásios da **SGG** são mais pobres do que os destas suítes (**Figura 3.8B**). A correlação composicional entre os megacristais e a matriz sugere duas hipótese: 1 - ausência de reequilíbrio importante após a cristalização, e 2 - presença de reequilíbrio. No primeiro caso, não teria ocorrido uma variação significativa da composição do mineral durante o processo de cristalização. No segundo, este reequilíbrio teria sido muito intenso, promovendo a homogeneização composicional de ambas as fases.

Nos enclaves observa-se a existência de um equilíbrio entre a rocha hospedeira e o enclave correspondente, refletindo assim uma composição similar entre os plagioclásios das diferentes rochas. Os plagioclásios dos enclaves graníticos na **SMGp** são de composição oligoclásio-andesina ($An_{28,5}$ a $An_{40,9}$); na **SC**, os tipos graníticos, são entre $An_{18,8}$ a $An_{20,9}$ (oligoclásio), e os tipos básicos, entre An_{28} a $An_{29,1}$ (oligoclásio). Nos enclaves da **SCp**, de natureza mais ácida do que da rocha hospedeira, esta composição varia de $An_{22,1}$ a $An_{24,5}$ (oligoclásio).

Na SGG, o plagioclásio é tipo oligoclásio, de composição variável entre $An_{22,4}$ a $An_{24,4}$.

Com relação aos feldspatos alcalinos, eles são do tipo pertítico, incluindo também ortoclásio ou microclínio (**Figura 3. 5**).

III.4.2 - Biotitas

Suíte Monzodiorítica-Granodiorítica (SMG)

Nos diferentes tipos de amostras analisadas desta suíte nota-se que não há uma correlação direta entre a química mineral e a química global da rocha. Observa-se, por exemplo, que rochas menos evoluídas possuem índice XMg ($Mg/Mg+Fe$) mais baixos do que rochas mais evoluídas. Além disso, como um todo, existem variações internas diferentes das variações entre os tipos composicionais (ver **Figura 3.9** e tabela de biotitas no **Anexo 3**).

Utilizando-se o XMg como índice de diferenciação, nota-se que o Al_2O_3 possui um comportamento mais ou menos constante, com teores compreendidos entre 14 a 14,5%. Observa-se uma variação muito pequena no interior de cada amostra. Com relação ao TiO_2 , observa-se um decréscimo com a diferenciação, passando-se dos monzodioritos para o quartzo-monzodioritos. Os granodioritos apresentam teores em TiO_2 mais elevados. Os teores mais baixos em TiO_2 (entre 3,0 a 2,5%), nos quartzo-monzodioritos, podem ser explicados pela presença de grande quantidade de titanita nestas rochas. No diagrama TiO_2 versus XMg, nota-se uma boa correlação entre a diminuição de TiO_2 com o índice de diferenciação, refletindo assim a evolução magmática desta suíte.

O MnO varia entre 0,28 a 0,03%, sendo mais elevado nos enclaves e, mais baixo, nos monzodioritos e granodioritos, com os quartzo-monzodioritos possuindo teores intermediários.

O Na_2O possui comportamento heterogêneo, com algumas amostras apresentando variações internas e outras não (enclaves). Os valores variam entre 0,09 e 0,005 e aumentam com a diferenciação (**Figura 3.9**).

Apesar do Al^{IV} ter um comportamento constante, o Al^{VI} aumenta com a diferenciação e apresenta uma variação interna, sendo maior nos tonalitos/granodioritos (0,5 e 0,3). Os valores mais elevados são apresentados pela amostra de enclave (0,7).

Em resumo, não observa-se uma correlação direta entre a composição mineral e a composição global da rocha, com as variações sendo independentes, exceto no caso do TiO_2 . Estes aspectos são mais compatíveis com um reequilíbrio dos elementos no estado sólido, pois, caso contrário, deveria ocorrer uma correlação direta.

Figura 3.9 - Diagramas de variação de XMg *versus* Al_2O_3 ; TiO_2 ; MnO ; Na_2O , Al^{VI} e Al^{IV} , em biotitas da SMG. Legenda: (○) monzodioritos da SMGp; (▲)tonalitos/granodioritos da SMGp; (■) SMGt.

Suite Charnockítica (SC) e Granada Granitos (SGG)

Da mesma forma que na suíte anterior, buscou-se aqui avaliar as variações dos elementos com um índice de diferenciação. Nota-se que, no geral, a SiO_2 não varia com a

diferenciação, exibindo apenas pequenas variações internas, que se tornam um pouco mais acentuada na SGG (Figura 3.10a).

O Al_2O_3 apresenta um leve enriquecimento com a diferenciação. Os SGG são mais enriquecidos neste elemento (entre 17,0 a 19,0%).

O FeO é mais ou menos constante nas rochas da SC, não exibindo portanto variações internas, com os teores situando-se entre 28 e 29%. O Mg apresenta pequenas variações internas, com teores crescentes com a diferenciação. Os teores neste elemento são ao redor de 5,5%, sendo mais elevado na SGG (chegando a 13,0%).

O MnO varia de 0,1 a 0,3%, com teores um pouco mais baixos nos quartzos monzonitos, (~0,1%), mais altos nos granitos e nos quartzos monzodioritos, (~0,3%). O enclave FAM27G apresenta teores mais elevados neste elemento (0,6%), enquanto o enclave FAM84B apresenta teores intermediários (0,2%).

O CaO e o TiO_2 apresentam uma forte dispersão nas amostras analisadas, exibindo igualmente variações significativas no interior de cada suíte para um índice de diferenciação considerado (Figura 3.10b).

O Al^{IV} apresenta também uma certa dispersão, com valores variáveis entre 2,15 e 2,55. O Al^{VI} cresce com a diferenciação para a SMG e SC e apresenta uma evolução interna no mesmo sentido. Contrariamente, a SGG sugere um decréscimo com a diferenciação e apresenta-se mais enriquecida do que as demais, com valores ao redor de 2,5.

Figura 3.10a -Diagramas de variação de elementos em biotitas; TiO_2 versus SiO_2 ; Al_2O_3 e MgO, da SC e SGG. Legenda - (●) SCh; (◇) SCp e (◆) SGG.

Figura 3.10b - Diagramas de variação de elementos em biotitas em função da distância (DST) do centro (C) e da borda (B) do cristal. Legenda: (○) amostra FAM85 - monzodioritos da SMGp; (▲) amostra FAM21G, tonalitos/granodioritos da SMGp; (Δ) amostra FAM4 - SCh; (▽) amostra FAM4 - SCh; (◁) amostra FAM10 -SCh (◇) amostra FAM25 - SCp e (▷) amostra FAM 25, SCp.

Conclusão parcial para as suítes SMG e SC

Pelo exposto, conclui-se que alguns elementos mostram-se mais sensíveis com o índice de diferenciação, a exemplo do Al^{VI} . Porém, de forma geral, nota-se um comportamento mais ou menos constante para alguns elementos (SiO_2 , FeO , MgO) destacando-se dispersão para o caso do CaO , TiO_2 e Al^{IV} , o que é compatível com uma recristalização no estado sólido nas diferentes amostras analisadas. Apenas o TiO_2 , na **SMG**, apresenta o registro da evolução magmática (**Figura 3.11**).

O comportamento dos elementos nas biotitas é independente da composição química da rocha analisada, pois nota-se um comportamento aproximadamente constante para vários elementos, em função da variação do índice de diferenciação, traduzindo assim um reequilíbrio no estado sólido para o nível das biotitas (**Figura 3.10**). Entretanto, os resultados de análises de química mineral mostram pequenas variações para alguns elementos (Ti , Mn , Mg e K) quando comparados centro e borda de um mesmo cristal, mostrando que estas biotitas preservam um certo zoneamento, sugerindo um reequilíbrio parcial no estado sólido (**Figura 3.10b**).

Figura 3.11- (continua na página seguinte) Diagramas de variação de diversos elementos, em biotitas das diferentes suítes do **MIA**. Legenda: (○) **SMG**; (●) **SC** e (◆) **SGG**.

Figura 3.11- (continuação) Diagramas de variação de diversos elementos, em biotitas das diferentes suítes do **MIA**. Legenda: (○) **SMG**; (●) **SC** e (◆) **SGG**.

SUBSTITUIÇÕES

Foram analisadas as possibilidades de substituições ocorridas nas biotitas. Para isto, foram testadas em diagramas tipo «Harker» as possibilidades de correlação entre os elementos ou grupos de elementos, que fazem parte da composição deste mineral e que possibilitam avaliar as substituições ocorridas. Segue-se abaixo uma discussão destas substituições para as diferentes suítes do **MIA**.

O preenchimento das camadas octaédricas apresenta valores no intervalo esperado para esta posição (soma dos cátions entre 5,6 e 5,9; segundo Deer *et al.* 1992), mostrando que ela é deficitária (**Figura 3.12A**). Contudo, para as camadas interfoliares, este preenchimento é completo, pois os valores de Na + K são ao redor de 2 (**Figura 3.12B**). A camada octaédrica é tanto mais incompleta quanto maior é a diferenciação da rocha.

Figura 3.12 - Preenchimento das camadas octaédricas (A), visto através do diagrama XFe *versus* ($R^{2+} + R^{3+}$) e , em (B), XFe *versus* Na+K, com preenchimento de camadas interfoliares de biotitas do MIA. Legenda: (○) monzodioritos da SMGp; (▲) tonalitos/granodioritos da SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves.

O aumento moderado, para diferentes grupos de rochas analisados, da soma $R^{2+} + R^{3+}$ (ligada ao preenchimento do sítio octaédrico, com $R^{2+} = \text{Fe} + \text{Mn} + \text{Mg}$ e $R^{3+} = \text{Al}^{\text{VI}} + \text{Ti} + \text{Cr}$) com o aumento do Ti mostra que ocorre o preenchimento da posição tetraédrica por este elemento (Figura 3.13).

Figura 3.13 - Diagrama $R^{2+} + R^{3+}$ versus Ti (a.f.u.) para as biotitas do MIA. Legenda: (○) monzodioritos da SMGp; (▲) tonalitos/granodioritos da SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves.

Em geral, o titânio é facilmente introduzido na biotita, e pode ser explicado por uma substituição de Mg, Fe e Al, na posição octaédrica (Robert 1976; Guidotti 1984), segundo as leis:

Sendo que ($\square$) é o sítio vago, e pode ser estimado pela relação :

$$\square = 6 - (R^{2+} + R^{3+})$$

No MIA ocorrem as substituições envolvendo o Ti, que são (A), (B) e (D), como será visto a seguir.

O sítio vago possui uma leve correlação positiva com o Ti (Figura 3.14), mostrando a possibilidade da substituição (A) $(2R^{2+})^{VI} = Ti^{VI} + \square^{VI}$.

Figura 3.14 - Em (A), sítio vago ($\square$) calculado pela relação : $\square = 6 - (R^{2+} + R^{3+})$; *versus* Ti (a.f.u.), em biotitas do MIA, em (B), sítio vago ($\square$) *versus* $2 \cdot R^{2+}$. Legenda: ($\circ$) monzodioritos da SMGp; ($\triangle$) tonalitos/granodioritos da SMGp; ($\blacksquare$) SMGt; ($\bullet$) SCh; ($\diamond$) SCp; ($\blacklozenge$) SGG; (∇) Enclaves.

O diagrama R^{2+} *versus* R^{3+} (**Figura 3.15**) mostra uma correlação negativa, sugerindo que a substituição esperada é do tipo: $\text{Si}^{\text{IV}} + \text{R}^{2+} = \text{Al}^{\text{IV}} + \text{R}^{3+}$

Figura 3.15 - Posição das biotitas do MIA no diagrama R^{3+} *versus* R^{2+} . Legenda como na figura anterior.

O diagrama da **Figura 3.16**, Al^{VI} versus Ti , mostra que existe uma correlação negativa entre estes parâmetros, sugerindo que a substituição possível é a (B) $2Al^{VI} = (R^{2+})^{VI} + Ti^{VI}$. Esta substituição é acompanhada pelo aumento do sítio vago, juntamente com o decréscimo do Ti , embora de maneira diferenciada para os diferentes grupos de rochas. O aumento do conteúdo de Al^{VI} com a diminuição do Ti (**Figura 3.16**) sugere a ocorrência da substituição (D) $Si^{IV} + Al^{VI} = Al^{IV} + Ti^{VI}$.

Figura 3.16 - Substituições em biotitas do MIA : em (A), Al^{VI} versus Ti e, em (B), R^{2+} versus $2*Al^{VI}$. Legenda: (○) monzodioritos da SMGp; (▲) tonalitos/granodioritos da SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves.

O diagrama da **Figura 3.17** (R^{2+} versus Ti) mostra que não existe correlação entre estes parâmetros, indicando que não ocorreria a substituição (C) $(R^{2+})^{VI} + 2Si^{IV} = Ti^{VI} + 2Al^{IV}$.

Figura 3.17 - Posicionamento das Biotitas do **MIA** no diagrama R^{2+} *versus* Ti (a.f.u.). Legenda: (○) monzodioritos da **SMGp**; (▲) tonalitos/granodioritos da **SMGp**; (■) **SMGt**; (●) **SCh**; (◇) **SCp**; (◆) **SGG**; (▽) Enclaves.

A correlação negativa entre a soma $Fe^{2+} + Mn$ *versus* Mg mostra que a existência da substituição ($Fe + Mn = Mg$) está associada às substituições precedentes. Nota-se que há um aumento do conteúdo de Fe^{2+} nas biotitas com diferenciação, sendo que nesta substituição o Mn possui um papel de menor importância (**Figura 3.18**).

Figura 3.18 - Diagrama Mg *versus* $Fe^{2+} + Mn$ (a.f.u.), das biotitas do **MIA**. Legenda como na figura anterior.

Para avaliar a substituição principal responsável pela introdução do alumínio nas biotitas, usou-se a expressão $R = 2-(Al^{IV}-Al^{VI})$, que exprime a quantidade de moscovita nas biotitas (nas biotitas $R = 0$, nas moscovitas $R = 4$). Para as biotitas do **MIA**, R possui valor negativo (**Figura 3.19A**), indicando que a introdução de alumínio nas biotitas se faz essencialmente segundo a substituição $Si^{IV} + (R^{2+})^{VI} = Al^{IV} + Al^{VI}$ (substituição eastonítica), com o seu caráter lacunar sendo essencialmente ligado a introdução do titânio. Por outro lado, verifica-se no diagrama R^{2+} versus Al^{VI} (**Figura 3.19B**) que não ocorre a substituição do Al^{VI} na posição octaédrica.

Figura 3.19 - Substituição em biotitas do **MIA**, em (A) R ($R = 2-Al^{IV}-Al^{VI}$) versus Ti (a.f.u.) e, em (B) R^{2+} versus Al^{VI} . Legenda- (○) monzodioritos da **SMGp**; (△) tonalitos/granodioritos da **SMGp**; (■) **SMGt**; (●) **SCh**; (◇) **SCp**; (◆) **SGG**; (▽) Enclaves.

O diagrama Al^{VI} versus Al^{IV} (**Figura 3.20**) mostra que a substituição é acoplada, isto é, a composição das biotitas se dirige, de forma paralela, em direção aos pólos Siderofilita/Anita.

Figura 3.20 - Diagrama Al^{VI} versus Al^{IV} , em biotitas do **MIA**. Legenda: (○) monzodioritos da **SMGp**; (▲) tonalitos/granodioritos da **SMGp**; (■) **SMGt**; (●) **SCh**; (◇) **SCp**; (◆) **SGG**; (▽) Enclaves.

Diagramas de Classificação de Biotitas

As biotitas das diferentes suítes do **MIA** são classificadas como biotitas verdadeiras ($X_{Fe} > 1/3$), situando-se no campo da anita (**Figura 3.21**). Observa-se que o X_{Fe} varia entre 59 a 60, para a **SMGp**; com valores em torno de 62, para a **SMGt**; entre 75 e 76, para a **SCh**; entre 75 a 79, para a **SCp**, e entre 40 a 70, para a **SGG**. Este mesmo índice é entre 59 a 67, para os enclaves da **SMGp**; entre 62 a 65, para enclaves da **SC**, e entre 68 a 69, para enclaves da **SCp**. Com exceção das biotitas dos **SGG**, com conteúdos de Al_2O_3 acima de 16%, as biotitas das demais suítes são caracterizadas por um conteúdo mais baixo em Al_2O_3 (entre 13,01% a 15,07%).

Figura 3.21 - Classificação das biotitas das diferentes suítes do **MIA**, em relação aos pólos eastonita, siderofilita, flogopita e anita. Legenda: (○) **SMGp**; (■) **SMGt**; (●) **SCh**; (◇) **SCp**; (◆) **SGG**; (▽) **Enclaves**.

No diagrama de Chevrement *et al.* 1988 (**Figura 3.22**), observa-se que as biotitas do **MIA** situam-se preferencialmente no campo dos granitos da associação subalcalina, no setor de composição ferropotássico do diagrama, com as biotitas da **SC** sendo mais enriquecidas em FeO e dispondo-se na parte do campo alcalino, enquanto as da **SMGp**, são mais enriquecidas em Mg. As biotitas dos granitos do embasamento e da **SGG** situam-se no campo cálcico-alcalino.

Figura 3.22 - Posição das biotitas do **MIA**, incluindo amostras do embasamento, no diagrama de Chevrement *et al.* (1988). Os campos representam as biotitas de diversos granitóides da França. Ia-Série Aluminopotássica tipo Limousin; Ib - Série Aluminopotássica tipo Gueret; II - Cálculo-alcalina; III - Subalcalina, a- subtipo ferropotássico e b- subtipo magnésio potássico; IV - Alcalino. Legenda - (+) Embasamento Granítico; (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves.

No diagrama da **Figura 3.23**, mg ($mg=100 \cdot Mg/(Mg+Fe)$) *versus* MgO (rocha total), o conjunto de amostras analisadas exibe uma correlação positiva, com exceção das amostras dos SGG e dos enclaves, que não apresentam correlação entre estes parâmetros. Nota-se neste diagrama que ocorre empobrecimento de Mg nas biotitas durante a evolução magmática.

Figura 3.23 - Diagrama mostrando evolução da razão **mg** ($mg=100 \cdot Mg/(Mg+Fe)$ a.f.u.) *versus* **MgOT** (% em peso de MgO em rocha total) para as biotitas do **MIA** e do embasamento granítico. Legenda: (+) Embasamento Granítico; (○) **SMGp**; (■) **SMGt**; (●) **SCh**; (◇) **SCp**; (◆) **SGG**; (▽) Enclaves.

Observa-se no diagrama MgO (rocha total) *versus* Ti que as biotitas da **SMGt** são mais empobrecidas em Ti do que as biotitas das outras unidades (**Figura 3.24**), mostrando, por um lado, a incorporação deste elemento nas titanitas e, por outro, a cristalização simultânea destes dois minerais. As demais unidades desta suíte, mostram uma correlação negativa no citado diagrama. O conteúdo em Ti das biotitas dos enclaves é inferior aos das rochas hospedeiras, sugerindo que houve um isolamento térmico dos mesmos.

Figura 3.24 - Evolução da razão Ti (a.f.u.) em biotitas *versus* conteúdo de **MgOT** (% MgO em rocha total) para as unidades do **MIA** e do embasamento granítico. Legenda: (+) Embasamento Granítico; (○) **SMGp**; (■) **SMGt**; (●) **SCh**; (◇) **SCp**; (◆) **SGG**; (▽) Enclaves.

No diagrama de Nachit (1986) as biotitas do **MIA** se dispõem no campo das biotitas primárias, magmáticas (**Figura 3.25A**), enquanto no outro diagrama do mesmo autor (Nachit, 1985) (**Figura 3.25B**), elas se posicionam em diferentes campos. As biotitas da **SC** situam-se no campo dos granitos subalcalinos; as da **SMG**, no campo dos granitos cálcico-alcalinos e as da **SGG**, no campo dos granitos alumino-potássicos.

Figura 3.25 - Em **A** - Disposição das biotitas do **MIA** e do embasamento granítico no diagrama triangular (em % de óxidos) de Nachit (1986). Em **B**; posição de biotitas do **MIA** no diagrama Mg versus Al (a.f.u.) separando estes minerais para diferentes séries magmáticas (modificado de Nachit *et al.* 1985). Campo I- Linha Alumino-Potássica; II - Cálculo-alcalina; III - Subalcalina; IV - Alcalina e Peralcalina. Legenda: (+) Embasamento Granítico; (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves.

Em relação ao diagrama de Abdel-Raham (1994), estas mesmas biotitas se situam próximas ao limite dos três campos propostos: no campo das suítes peraluminosas (SGG e parte dos enclaves), das suítes cálcico-alcálicas (SMGp e SMGt, parte do embasamento, dos enclaves, da SGG e parte da SCh) e das suítes alcalinas anorogênicas (SC) (Figura 3.26).

Figura 3.26 - Posicionamento das biotitas estudadas no diagrama de Abdel-Rahman (1994). Campo I - Suítes Peraluminosas; campo II - Suítes Alcalinas Anorogênicas; campo III - Suítes Cálcico-alcálicas. Legenda como na figura anterior.

III.4.3 - Piroxênios

O piroxênio predominante é do tipo ortopiroxênio, com o clinopiroxênio sendo subordinado. Classificam-se como ferrossilita e augita, como mostrado no diagrama da figura 3.27. As *tie-lines*, que não se cruzam, foram obtidas em análises de pares clinopiroxênio-ortopiroxênio coexistentes, indicando que a cristalização ocorreu em condições de equilíbrio. A inclinação destas linhas, para o lado esquerdo do diagrama, evidencia que o XMg é maior para os clinopiroxênio (Brown, 1961).

Figura 3.27. Classificação dos piroxênios, segundo o diagrama Enstatita (En) - Ferrossilita (Fs) - Wollastonita (Wo), para os orto e clinopiroxênio. Legenda: (▽) (enclave em SCh, FAM84B); (■) ortopiroxênio-ferrossilita de granodiorito da SMGp, FAM21), (✕) clinopiroxênio em augitas diopsídicas de monzodiorito da SMGp, FAM85), (▲) clinopiroxênio-augitas hedenbergíticas de charnockito da SCh, FAM10), (◀) clinopiroxênio-hedenbergita, granodiorito da SMGp, FAM21). Símbolos com *tie lines*: (▶) monzodioritos da SMGp, FAM28) ; (▼) monzodiorito da SMGp, FAM52); (●) monzodioritos da SMGp, FAM28; (○) SMGp; (●) SCh.

No diagrama MgO *versus* Al₂O₃ nota-se que este último elemento diminui de 0,95 para 0,5%, mostrando uma estabilização em diferentes temperaturas (**Figura 3.28**). Este fenômeno pode ser deduzido no diagrama *mg* ($mg = Mg/Mg+Fe^{2+}$) *versus* MgO (**Figura 3.29A**). Nele, nota-se que há uma diminuição de *mg*, dos termos menos diferenciados da SMG para os mais diferenciados da SC. Além disso, nota-se uma evolução no interior de cada suíte. O conteúdo em Al₂O₃ reflete o decréscimo da temperatura de cristalização da SMG, ao contrário das rochas da SC, que se cristalizaram em temperaturas praticamente constantes.

Figura 3.28 - Diagrama MgO *versus* Al₂O₃ em piroxênios do MIA.

Figura 3.29 - Em A, Diagrama **mg** ($\text{mg} = \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$) (a.f.u.) *versus* MgO das unidades do MIA. Em B, Diagrama FeO/MgO *versus* Al₂O₃ dos piroxênios das unidades do MIA. Símbolos como na figura anterior.

No diagrama FeO/MgO *versus* Al₂O₃ (**Figura 3.29B**) nota-se uma correlação linear negativa, com os valores mínimos de Al₂O₃ sendo encontrados na SC, nos clinopiroxênio e ortopiroxênio, respectivamente. Em um outro diagrama utilizado, FeO/MgO *versus* Fe-Mn ($\text{Fe-Mn} = \text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mn})$), cada amostra é caracterizada por uma razão FeO/MgO e $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mn})$ diferente, que aumenta das amostras da SMG para as da SC (**Figura 3.30-A**). O enclave

analisado, pertencente à **SCh**, situa-se no mesmo domínio da rocha hospedeira, evidenciando um re-equilíbrio deste. A relação $100 \cdot \text{mg}$ versus $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}^{2+} + \text{Mn}$ mostra claramente uma evolução contínua entre as rochas da **SMGp** e da **SCh** e enclaves, apesar de variações internas de cada suíte (**Figura 3.30-B**).

Figura 3.30 - Em A, diagrama FeO/MgO *versus* **Fe-Mn** ($\text{Fe-Mn} = \text{Fe}^{2+} / \text{Fe}^{2+} + \text{Mn}$) dos piroxênios do **MIA**. Em B, Diagrama $100 \cdot \text{mg}$ ($\text{mg} = \text{Mg} / \text{Mg} + \text{Fe}^{2+}$) *versus* **Fe-Mn** ($\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}^{2+} + \text{Mn}$) para a mesma amostra. Símbolos como na **Figura 3.28**.

Os piroxênios são ricos em SiO_2 (entre 47% e 52%) e pobres em Al_2O_3 (entre 0,3% e 1,4%) (ver tabela de análises de piroxênios no **Anexo II**). O diagrama $100 \cdot \text{mg}$ versus Al_2O_3 mostra uma correlação contínua e positiva entre as suítes e no seu interior (**Figura 3.31**).

Figura 3.31 - Diagrama $100 \cdot \text{mg}$ ($\text{mg} = \text{Mg}/\text{Fe}^{2+}$) versus Al_2O_3 dos piroxênios do **MIA**. Símbolos como na **Figura 3.28**.

III.4.4 - Anfibólios

Anfibólios são minerais comuns em rochas plutônicas cálcica-alcálicas, podendo ser formados durante fases «magmáticas» ou pós-magmáticas. No **MIA** ocorrem anfibólios em bordas de piroxênios, como inclusões em plagioclásios, e associados à biotita. São anfibólios cálcicos, com valores em Ca compreendidos entre 1,7 e 1,92 a.f.u. Dados analíticos da maior parte das análises mostram teores elevados em titânio (entre 0,2 e 0,25 a.f.u.), sugerindo, segundo Heltz (1973), cristalização sob condições de baixa $f\text{O}_2$.

No diagrama da **Figura 3.32**, proposto por Leake (1978), os anfibólios do **MIA** situam-se no campo da hornblenda ferro pargasítica (SC) e hornblenda pargasítica com Fe (II) (SMG), com $\text{ANa} + \text{AK} > 0,5$; $\text{Ti} < 0,5$ e $\text{Fe}^{+3} < \text{Al}^{\text{VI}}$. Os enclaves repartem-se nos dois campos.

Figura 3.32 - Classificação dos anfíbólios do MIA segundo Leake, 1978. Legenda: (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (▼) Enclaves.

No diagrama de Giret *et al.* (1980), os anfíbólios estudados se situam no campo dos granitóides pós-tectônicos (**Figura 3.33**).

Figura 3.33 - Diagrama de classificação de anfíbólios do **MIA**, que ocupam o campo de anfíbólios de granitóides pós-tectônicos, segundo Fabriès (1978) e Giret *et al.* (1980). A área hachurada corresponde ao campo ocupado pelos anfíbólios de granitóides pré-tectônicos da Suíte Intrusiva Galiléia (Nalini, 1997). Legenda: (○) **SMGp**; (■) **SMGt**; (●) **SCh**; (◇) **SCp**; (V) Enclaves.

O conteúdo de Na_2O nas suítes estudadas varia entre 1,1 a 1,9% e aumenta com o grau de evolução da rocha, sendo esta variação mais pronunciada nos granodioritos da **SMGp**. O mesmo ocorre com o conteúdo em FeO (entre 20 a 30%) e também com a soma dos álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$). Ao contrário, o conteúdo de MgO diminui com a diferenciação (**Figura 3.34**).

Figura 3.34 - Em A, Diagrama MgO *versus* Na₂O+K₂O em anfibólios. Em B, diagrama Na₂O *versus* FeO, em anfibólios das unidades do MIA. Legenda: (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (▽) Enclaves.

A incorporação de alumínio na posição tetraédrica (TAI) em anfibólios é facilitada pelo aumento da pressão ou pela diminuição da temperatura (Heltz, 1973). No caso das rochas do MIA, observa-se no diagrama da **Figura 3.35** uma diminuição do conteúdo de TAI com o aumento do alumínio na posição octaédrica (CAI), o que poderia ser explicado por um aumento da pressão, como será visto adiante, conforme sugerem os dados de geotermômetros obtidos para estas rochas. Este mesmo diagrama mostra que a maior parte do Al está sob a forma de Al^{IV} (teores de Al^{IV} compreendidos entre 1,5 e 1,9 a.f.u.; e Al^{VI} entre 0,1 e 0,5 a.f.u.)

Figura 3.35 - Diagrama CAI *versus* TAI dos anfibólios do MIA. Legenda: (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (△) enclaves na SMG (amostra FAM64), (▽) enclave na SC (amostra FAM27G).

Verifica-se no diagrama da **Figura 3.35** que os anfibólios da SMG se cristalizaram em condições de temperaturas mais elevadas, ou pressões mais baixas, do que os anfibólios da SC.

Substituições

Da mesma forma que nas biotitas, procurou-se analisar possíveis substituições ocorridas em anfibólios, com base em diagramas tipo «Harker», testando-se para isso os diferentes elementos que fazem parte da composição deste mineral. A substituição edenítica é evidenciada pelo diagrama da **Figura 3.36** (Na+K)A *versus* Al^{IV}, onde ocorre a variação desde o pólo pargasita até o pólo hornblenda.

Figura 3.36 - Diagrama Al^{IV} versus $A (Na+K)$ em anfibólios do **MIA**. Legenda: (○) **SMGp**; (■) **SMGt**; (●) **SCh**; (◇) **SCp**; (△) enclaves na **SMG** (amostra FAM64), (▽) enclave na **SC** (amostra FAM27G).

Em geral, o titânio pode ser incorporado na estrutura dos anfibólios segundo as seguintes leis de substituições:

O diagrama da **Figura 3.37**, apesar da dispersão apresentada, mostra um aumento de R^{2+} com um aumento de Ti, sugerindo que a substituição (A), substituição Ti-Tschermakita, ocorre nos anfibólios do **MIA**, bem como nos enclaves.

Figura 3.37 - Substituições em anfibólios do MIA, em diagrama CTi (titânio na posição octaédrica) *versus* R^{2+} ($R^{2+} = CFe^2 + CMg + CMn$). Legenda: (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (△) enclaves na SMG (amostra FAM64), (▽) enclave na SC (amostra FAM27G).

No diagrama da **Figura 3.38**, de CTi versus CAI, mostra que inexistente uma correlação evidente entre estes elementos, sugerindo a impossibilidade de ocorrência da substituição B.

Figura 3.38 - Diagrama CTi versus CAI (posições octaédricas) em anfibólios do MIA. Legenda - (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (△) enclaves na SMG (amostra FAM64), (▽) enclave na SC (amostra FAM27G).

A reação C parece não ter ocorrido, pois como pode ser verificado no diagrama da **Figura 3.39**, não existe uma correlação direta entre o ANa e o CTi, bem como as relações entre o CTi e o CMg são relativamente constantes, enquanto o ACa é nulo (ver **Anexo II**, tabela dos anfibólios).

Figura 3.39 - Diagrama CTi versus ANa dos anfibólios do MIA. Legenda: (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (△) enclaves na SMG (amostra FAM64), (▽) enclave na SC (amostra FAM27G).

Nos diagramas da **Figura 3.40** observa-se um aumento da soma Fe + Mn com a diminuição de Mg, enquanto que com o Ti a relação não é definida. Portanto, a substituição $Mg = Fe + Mn$ seria acoplada à substituição A.

Figura 3.40 - Diagrama CTi *versus* $\text{CFe}^{2+} + \text{CMn}$ e CMg *versus* $\text{CFe}^{2+} + \text{CMn}$ em anfibólios do MIA. Legenda: (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (△) enclaves na SMG (amostra FAM64), (▽) enclave na SC (amostra FAM27G).

III.4.5 - Zircões

O conteúdo em HfO_2 dos zircões das rochas do MIA são em geral acima de 1,3 e abaixo de 1,9%, sendo que os termos da SGG apresentam os valores mais elevados (~1,8%). Nota-se uma correlação positiva com a razão $\text{HfO}_2/\text{ZrO}_2$, ocorrendo um aumento desta no interior da SCh e SCp, sugerindo maior participação crustal nesta última unidade (**Figura 3.41 A e B**).

Verifica-se no diagrama triangular, da **Figura 3.41 C**, um aumento no conteúdo de Th da SC para a SMG, indicando uma menor contaminação crustal desta última. Segundo Pupin (1992), o conteúdo de HfO_2 , em zircões, sempre superior a 1,3%, reflete contribuição crustal em condições de baixa temperatura (~ 650°C). Os teores em ThO_2 sempre inferiores a 3.000 ppm são igualmente compatíveis com uma esta contribuição crustal (**Figura 3.41**).

Figura 3.41 - Composição dos zircões do MIA. Em (A), conteúdo de HfO_2 versus Y_2O_3 ; em (B), HfO_2 versus HfO_2/ZrO_2 , em (C) diagrama triangular $50*Hf$ - $5000*Th$ - Zr . Legenda: (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves.

III.4.6 - Granadas

As granadas, encontradas apenas na SGG, possuem composição geral almandina. A sua variação composicional reflete a natureza da rocha encaixante. Por exemplo, quando

encaixadas nas rochas da SC, o conteúdo em Mg deste mineral é menor do que na SMG (monzodioritos-granodioritos), refletindo assim uma contaminação pelas mesmas.

Quando a encaixante são rochas da SC, a composição da granada é a seguinte :

Por outro lado, quando a rocha portadora deste mineral se encontra encaixada na SMG, a sua composição é mais empobrecida na molécula de grossulária :

III.4.7 - Apatitas

Foram analisadas apatitas das suítes do MIA. Para a confecção dos diagramas, foram utilizadas apenas as análises que apresentavam bom fechamento. O tamanho excessivamente reduzido de certos cristais dificultou a análise de alguns tipos de rochas, inviabilizando assim a sua análise. As apatitas foram classificadas como fluorapatitas ($3,4\% < F < 3,8\%$), em função das altas concentrações em flúor. As apatitas da SMG são mais ricas em Cl, com conteúdos em CaO entre 52,8 a 55,2% e em P_2O_5 entre 39,9 a 42,3%, valores estes considerados normais para rochas granitóides. As apatitas da SCh, em relação às das demais unidades, mostram-se empobrecidas em P_2O_5 e enriquecidas em Ce_2O_3 , e relativamente ao Nd_2O_3 e às terras raras totais (Figura 3.42).

Figura 3.42 - Diagramas de variação CaO (% em peso) *versus* F, P_2O_5 , Cl, ΣTR , La_2O_3 , Ce_2O_3 , Sm_2O_3 e Nd_2O_3 , de apatitas do MIA. $\Sigma TR = (La_2O_3 + Ce_2O_3 + Sm_2O_3 + Nd_2O_3)$. Legenda: (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp.

III.5 - LITOGEOQUÍMICA

Introdução

Para os estudos litogeoquímicos foram selecionadas 26 amostras representativas das principais unidades do Maciço Intrusivo Aimorés (MIA). Paralelamente, foram analisadas duas amostras do Maciço Lagoa Preta (uma de charnockito e uma de leucogabro) e uma do Maciço Ibituba (charnockito), visando a comparação com suítes análogas. Além disso, foram analisadas três amostras do embasamento, uma da parte norte do maciço e, outras duas, da parte sul, visando avaliar eventuais fenômenos de contaminação em suas diferentes faciologias.

As amostras foram analisadas com base em técnicas analíticas de Fluorescência de Raios - X (FRX) e de Espectrometria de Emissão (ICP), efetuadas no Laboratório do *Centre des Sciences des Processus Industriels et Naturels* (Centro SPIN) da Escola de Minas de Saint-Etienne, França.

Para a classificação destas amostras analisadas optou-se pelo diagrama de Middlemost (1985), como apresentado na **Figura 3.2**. Os tipos petrográficos aí lançados serão discutidos brevemente a seguir, com o objetivo de fornecer ao leitor mais informações sobre os mesmos.

As rochas da **SMG** classificam-se como:

Monzodioritos (FAM85, FAM 28, FAM 52)

Quartzo-Monzodioritos (FAM 47, FAM 71, FAM 32)

Tonalitos a Granodioritos (FAM 21, FAM 21D e FAM 21G)

Cabe aqui salientar que as amostras caem nos mesmos campos composicionais do diagrama de classificação de Debon & Le Fort (1983), exceto a amostra FAM 32, que se localiza no campo dos monzodioritos.

1 - Monzodioritos (%)	3 - Tonalitos (%)
SiO ₂ : entre 50,73 e 51,62	SiO ₂ : entre 62,94 a 64,73
TiO ₂ : entre 2,66 e 2,94	TiO ₂ : entre 0,76 a 0,83
MgO: entre 2,88 e 3,51	MgO: entre 1,76 a 1,92
2 - Quartzo-Monzodioritos (%)	4 - Enc. (FAM64) (%)
SiO ₂ : entre 50,05 e 55,78	SiO ₂ : 65,43
TiO ₂ : entre 2,15 a 3,39	TiO ₂ : 0,73
MgO: entre 2,3 a 3,05	MgO: 1,92

Observa-se que os Tonalitos/Granodioritos se ajustam melhor no *trend* de evolução quando se compara os diagramas tipo «Harker» (Figura 3.43). Esta fácies é a que se mostra mais evoluída em relação ao conjunto de amostras da SMG, com exceção da amostra FAM 21G, que é empobrecida em Nb, a FAM 21, que é fortemente enriquecida em W, o que pode estar refletindo um possível problema de preparação de amostra.

Os Quartzo-Monzodioritos são em geral enriquecidos em Ti, Pb, W, série La e Ce e, as vezes, em alguns elementos HFS, podendo ainda ser empobrecidos em Fe, Mn e Na. A amostra FAM 47 é a que apresenta maiores problemas do conjunto analisado. O enriquecimento em Ce e La pode ser explicado pela grande quantidade de apatita presente nestas amostras (até 5%).

Os Monzodioritos são empobrecidos em Al e Na, às vezes em Hf (amostra FAM 52) e, relativamente, em Mn e Fe; sendo que a amostra FAM 85 é enriquecida em Ga e Ca.

Os Tonalitos/Granodioritos se comportam de uma maneira geral alinhados no mesmo *trend* com os demais termos da suíte.

Os diagramas da suíte mostram dispersão em alguns elementos como K, Ba e Pb, sendo que alguns deles sugerem a existência de dois *trends* (Nb, Y, Pb, La, Ce e Hf). Porém tais diagramas envolvem amostras diferentes. O fato desses *trends* não incluírem as mesmas amostras indica que se trata de um efeito da dispersão.

Nota-se um decréscimo geral nos elementos de transição (Fe, Sc), alcalinos terrosos (Mg, Ca e Sr), Lantanídeos (La e Ce), sendo que este decréscimo é bem mais acentuado nos elementos HFS (Nb, Y, Zr, Hf, P, Ti).

Observa-se ainda enriquecimento em Cr, Ni e Th, enquanto o Al e Na têm um comportamento mais ou menos constante.

O Rb e o Pb mostram dois níveis de enriquecimento, porém relacionados à amostras diferentes.

O empobrecimento em Ca, Mg, Fe, Mn, Sr, é compatível com a cristalização magmática de fases essenciais como plagioclásio e minerais máficos (piroxênios, anfibólios e biotitas). Da mesma forma, o empobrecimento em elementos HFS é compatível com a cristalização fracionada de fases acessórias como zircão e apatita.

O enclave, uma rocha de composição granodiorítica, em relação ao conjunto, tem um comportamento semelhante aos tonalitos.

As rochas da unidade SC classificam-se como:

Granitos (FAM5A, FAM 24A e FAM 84C)

Quartzo-Monzonitos (FAM 4G, FAM 4H, FAM 4L, FAM 4I, FAM 4K, FAM 4J, FAM 84D, FAM 84E, FAM 84F, FAM 10)

Quartzo-Sienito (FAM 4)

Quartzo-Monzodioritos (FAM 25)

1 - Granitos (%)

SiO₂: entre 64,27 a 67,43

TiO₂: entre 0,67 a 0,89

MgO: entre 0,71 a 0,98

3 - Quartzo-Monzonitos (%)

SiO₂: entre 57,34 a 64,55

TiO₂: entre 0,83 a 1,65

MgO: entre 0,85 a 1,63

2 - Quartzo-Sienito (%)

SiO₂: 62,84

TiO₂: 0,76

MgO: 0,83

4 - Quartzo-Monzodioritos (%)

SiO₂: 65,29

TiO₂: 1,22

MgO: 1,24

As amostras de granitos porfíricos FAM 24 e FAM 5A são enriquecidas em Th e La, empobrecidas em Ti, Sr, Ba e, relativamente, em Mn; a amostra FAM 5A é empobrecida apenas em Rb (**Figuras 3.43; 3.51; Anexo II**).

Os Quartzo-Monzonitos apresentam um comportamento geral uniforme, com apenas algumas amostras sendo enriquecidas em determinados elementos alcalinos e alcalinos terrosos,

como a FAM 4K, em Ca; a FAM 10, em Na; a FAM 4G, em Ba; a FAM 84F, em Na; e empobrecidos em Y e Th (FAM 10), ou ainda a FAM 84D, em Cr.

A amostra de Quartzo-sienito (FAM 4) apresenta-se fortemente enriquecida em W (~20X), em Al, Nb e relativamente em Na, enquanto a de Quartzo-monozodiorito, em Y, sendo também empobrecida em Al, Na, La e Ce.

Em geral, o conjunto de amostras analisado apresenta uma boa correlação nos diferentes diagramas confeccionados, ocorrendo forte dispersão para o Th, Ba, Ga, Hf e, menos acentuada, para Ca, Sr e Pb, La e Cr. Os diferentes grupos composicionais apresentam um aumento com a diferenciação em Si, K, e relativamente em Rb e Pb. No caso do Hf observa-se dois níveis composicionais distintos: um superior, contendo os Quartzo-monzonitos e, outro inferior, com os demais tipos composicionais.

Nota-se que o Al apresenta um comportamento constante para os diferentes tipos composicionais.

Os elementos de transição (Fe, Mn, Sc) decrescem com a diferenciação, juntamente com alguns elementos HFS (Y, Nb, Ti, P), V, Ca, Zn e, relativamente, La, Ce e Cr.

O decréscimo dos elementos de transição, juntamente com o Ca e Mg refletem a cristalização fracionada dos plagioclásios, opacos (ilmenita/magnetita) e máficos (piroxênios, anfibólios e biotitas) (Figura 3.43).

O decréscimo em alguns elementos HFS (P, Zr, Y) e lantanídeos é compatível com a cristalização de acessórios como zircão, apatita e allanita.

Fi

Figura 3.43 Diagramas de Harker das rochas do MIA . Óxidos em % em peso; outros elementos em ppm. Legenda - (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves.

Figura 3.43 (cont.) - Diagramas de Harker das rochas do MIA. Óxidos em % em peso; outros elementos em ppm. Legenda como na figura anterior.

Figura 3.43 (continuação) - Diagramas de Harker das rochas do **MIA**. Óxidos em % em peso; outros elementos em ppm. Legenda como na figura anterior.

III.5.1 - Caracterização Geoquímica

As análises químicas globais (elementos maiores, menores e traços) das amostras do **MIA** evidenciam um caráter metaluminoso a ligeiramente peraluminoso (**Figura 3.44**), como apresentado no diagrama da **Figura 3.45**, proposto por Bilal & Fonteiles (1991). Nota-se neste diagrama que os granitóides chegam a saturação em Al quando $ACNK=1$ ($ACNK = Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$ em moles), valor este que corresponde ao conteúdo em MgO próximo de 1%, que é comparável com os granitos estaníferos pós-tectônicos de Goiás (Bilal *et al.*, 1991), aos granitos do sudoeste dos EUA (Anderson e Bender, 1989), aos granitos alcalinos do maciço de Air, na Nigéria (Moreau, 1982), e aos granitos tipo Gabo, do cinturão Lachlan, na Austrália, (Collins *et al.*, 1982). A disposição da amostra de granito do embasamento (FAM 80), juntamente com os tonalitos/granodioritos é comparável com os granitos cálcico-alcalinos pré-tectônicos, sugerindo um possível efeito da contaminação destes pelas rochas do embasamento. Esta amostra do embasamento dispõe-se fora do *trend* principal, assim como os granitos da **SGG**. Este mesmo tipo de comportamento também é observado no diagrama de Maniar e Piccoli (1989), com este conjunto das amostras situando-se no campo dos granitos levemente peraluminosos (**Figura 3.44**).

Figura 3. 44 - Diagrama ACNK ($ACNK = Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$ em moles) *versus* ANK ($ANK = Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O)$ em moles) para as rochas do MIA, segundo Maniar e Piccoli (1989). Legenda: (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▼) Enclaves; (□) Maciço Ibituba; (▼) Maciço Lagoa Preta.

No diagrama AFM, as duas suítes estudadas têm comportamento similar, com uma evolução que trunca o limite dos campos toleítico e cálcico-alcalino, diferindo entretanto pelos teores em MgO, que são mais baixos na SC, com a SMG possuindo um caráter menos magnésiano do que a SC. No diagrama nota-se dois *trends* distintos porém com evolução paralela **Figura 3.46**.

Figura 3.45 - Diagrama de MgO *versus* ACNK ($ACNK = Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$ em moles) das rochas do MIA, de maciços equivalentes (Ibituba e de Lagoa Preta), de rochas do embasamento (Ia e Ib), em comparação com a série cálcico-alcalina (« tipo-I ») dos batólitos de Moruya (II), a suíte sin-colisional (« tipo-S ») do maciço de Kosciusko (III) e as suítes tardi-tectônicas magnésio-potássicas (IV) (modificado de Bilal e Fonteilles, 1991). Legenda: (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves; (□) Maciço Ibituba; (▼) Maciço Lagoa Preta.

Figura 3.46 - Diagrama AFM, em A, para SMG; em B para a SC. Legenda: (○) SMG e (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves.

A soma dos álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) varia de 5% a 10%, com a maior parte das amostras situando-se no campo sub-alcálico (**Figura 3.47**). Nota-se, entretanto, que uma parte delas (~1/3) situa-se no limite do campo alcálico. Neste grupo inclui as amostras da SCh e os Monzodioritos e Quartzo-monzodioritos da SMG. Este comportamento é também verificado no diagrama QAP, modificado de Lameyre e Bowden (1982), onde as amostras se dispõem um pouco acima do *trend* dos granitos da série sub-alcálica (**Figura 3.48**). As amostras do embasamento, juntamente com algumas de monzodioritos-granodioritos da SMGp definem um outro *trend*. O comportamento destas amostras da SMGp sugere uma contaminação aluminosa a partir das rochas do embasamento.

A tendência é subalcálica, com as amostras situando-se principalmente no campo da evolução das suítes graníticas metaluminosas (**Figura 3.49**)

No diagrama de Peacock (1931), as amostras da SMG classificam-se como cálcico-alcálicas (campo C-A), enquanto as da SC, como álcali-cálcicas (campo A-C) (**Figura 3.50 A e B**).

Figura 3.47 - Diagrama de classificação de séries magmáticas proposto por Irvine & Baragar (1971), com a distribuição das rochas do **MIA**, com amostras do embasamento, dos maciços de Ibituba e Lagoa Preta. Legenda: (+) Embasamento Granítico; (○) **SMGp**; (■) **SMGt**; (●) **SCh**; (◇) **SCp**; (◆) **SGG**; (▽) Enclaves; (□) Maciço Ibituba; (▼) Maciço Lagoa Preta.

Figura 3.48 - Posicionamento das rochas do **MIA**, do embasamento granítico e dos maciços de Ibituba e Lagoa Preta em relação à algumas séries de rochas plutônicas (modificado de Lameyre & Bowden 1982), utilizando o diagrama QAP. Séries: **a** - alcalina; **sa** - subalcalina, **ca** - cálcico-alcalina (baixo, médio e alto-K); **al** - alumino-potássica; **t** - toleítica. Legenda: (+) Embasamento Granítico; (○) **SMGp**; (■) **SMGt**; (●) **SCh**; (◇) **SCp**; (◆) **SGG**; (▽) Enclaves; (□) Maciço Ibituba; (▼) Maciço Lagoa Preta.

Figura 3.49 - Diagrama de Debon & Le Fort (1983), com a distribuição das rochas do **MIA**, do embasamento granítico e dos Maciços Ibituba e Lagoa Preta: campo das suítes graníticas Peraluminosas ($A > 0$) - em I, com muscovita > biotita (em volume); em II, biotita > muscovita; em III, com existência apenas de biotita. Campo das suítes metaluminosas, onde em IV ocorre a associação hornblenda e biotita (biotita, hornblenda, ortopiroxênio, clinopiroxênio, epídoto primário e titanita); em V ocorre uma alta proporção de clinopiroxênio $\pm$ epídoto primário, $\pm$ titanita e, em VI, são encontradas rochas ígneas excepcionais. $A = [Al - (K + Na + 2Ca)]$, $B = [Fe + Mg + Ti]$. Legenda: (+) Embasamento Granítico; (O) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves; (□) Maciço Ibituba; (▼) Maciço Lagoa Preta.

Figura 3.50 - Diagrama de Peacock (1931), em A, para a SMG; em B, para a SC.

III.5.2 - Comportamento dos Elementos Maiores

Como índice de diferenciação utilizou-se, inicialmente, o SiO_2 . Verifica-se, com este elemento, que as amostras se distribuem de forma contínua, não exibindo *gaps* significativos, o que é compatível com uma amostragem representativa do MIA. Em seguida, utilizou-se como índice de diferenciação o MgO , quer seja pela sua estabilidade em relação ao intemperismo, sua dosagem precisa por FRX e por ICP, pelo seu amplo intervalo de variação (0,2 a 3,5%), bem como pelo seu caráter discriminante entre as diferentes unidades. Adicionalmente, é um elemento que, na presença de uma fase fluída, torna-se menos susceptível a mobilidade do que a SiO_2 , assim como reflete muito bem os processos de cristalização fracionada. Observa-se uma diminuição do conteúdo de MgO com o incremento da diferenciação das duas suítes, ressaltando-se nestes diagramas um grupo de elementos com comportamento compatível como Ca, Ti, P e menos pronunciado como Al e o Na; e outro grupo de elementos com comportamento incompatível, como K e Si (**Figura 3.51**). A amostra 4I da SCh é única que não se ajusta ao *trend* da suíte, alinhando-se em geral mais no *trend* da SMG. O Fe e Mn mostram uma «quebra» no alinhamento dos pontos, o que pode ser atribuído ao fracionamento dos piroxênios, seguido pelo das biotitas.

O conteúdo decrescente em Ti, Ca, Fe, Mn e Si é compatível com a cristalização contínua dos minerais ferromagnesianos e feldspatos (plagioclásio), desde os monzodioritos-granodioritos até os granitos.

Figura 3.51 (continua na página. seguinte) - Diagramas de variação de MgO *versus* TiO₂ (A), Al₂O₃ (B), Fe₂O₃ (C), K₂O (D), CaO (E), MnO (F), P₂O₅ (G) e SiO₂ (H), para rochas do MIA, do embasamento granítico e dos Maciços Ibituba e Lagoa Preta. Legenda: (+) Embasamento Granítico; (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves; (□) Maciço Ibituba; (▼) Maciço Lagoa Preta.

Figura 3.51 - Diagramas de variação de MgO *versus* TiO₂ (A), Al₂O₃ (B), Fe₂O₃ (C), K₂O (D), CaO (E), MnO (F), P₂O₅ (G) e SiO₂ (H), para rochas do MIA, do embasamento granítico e dos Maciços Ibituba e Lagoa Preta. Legenda - (+) Embasamento Granítico; (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves; (□) Maciço Ibituba; (▼) Maciço Lagoa Preta.

Outro elemento utilizado para distinguir a influência do fracionamento dos feldspatos foi o CaO, cujo conteúdo varia entre 1% a 7,4%, sendo que suas relações apresentam, para conteúdos cada vez menores de CaO, uma diminuição da relação $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ e também $\text{CaO}/\text{K}_2\text{O}$, aparecendo dois grupos com gradientes bem distintos; um representado pela **SCh** e outro pela **SMG** (**Figura 3.52**).

Figura 3.52 - Diagrama de variação do CaO *versus* CaO/K₂O, (em A) e *versus* Na₂O/K₂O (em B), para as rochas do MIA, do embasamento granítico e dos Maciços Ibituba e Lagoa Preta. Legenda: (+) Embasamento Granítico; (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves; (□) Maciço Ibituba; (▼) Maciço Lagoa Preta.

Observa-se nos diagramas anteriores que os minerais ferromagnesianos desempenharam um papel importante na evolução dessas suítes, o que é também traduzido pelo decréscimo na soma dos **FMMT** (**Figura 3.53**).

Figura. 3. 53 - Diagrama FMMT ($\text{FMMT} = \text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO} + \text{MnO} + \text{TiO}_2$) *versus* SiO_2 , para as rochas do MIA, do embasamento granítico e dos Maciços Ibituba e Lagoa Preta. Legenda : (+) Embasamento Granítico; (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves; (□) Maciço Ibituba; (▼) Maciço Lagoa Preta.

III.5.3 - Comportamento dos Elementos Traços.

A correlação dos elementos como Ni, Nb, Zr, Zn, Ga e Sr em relação ao índice de diferenciação MgO permite distinguir três grupos de comportamento distinto durante a diferenciação. Um grupo, onde ocorre um decréscimo no conteúdo dos elementos (como o Nb, Zr, e Zn); porém com gradientes diferentes para as duas suítes; um segundo grupo, onde ocorre uma dispersão para as amostras das suítes SMG e SC; para Ga e Sr, porém com o mesmo tipo de correlação; e o terceiro tipo de comportamento verificado pelo Ni, onde as duas suítes possuem comportamentos diferentes, com a SC decrescendo com a diferenciação, enquanto a SMG aumenta. Destas observações conclui-se que os elementos Zn, Ga e Ni mostram um comportamento que ressalta o papel do fracionamento da biotita na incorporação destes elementos. O Zr seria fortemente controlado pela cristalização do zircão e o Sr pelo feldspato potássico em ambas as suítes (**Figura 3.54**).

Figura 3.54 - Diagramas de variação de MgO *versus* Zn, Ga, Ni, Zr, Nb e Sr, para as rochas do MIA, do embasamento granítico e dos Maciços Ibituba e Lagoa Preta. Legenda: (+) Embasamento Granítico; (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves; (□) Maciço Ibituba; (▼) Maciço Lagoa Preta.

A observação do diagrama Ba/1000-MgO-ACNK permite distinguir dois grupos com *trends* distintos: Um grupo reunindo as amostras da SC e parte das amostras da SMG e da SGG e duas amostras do embasamento (**Figura 3. 55A**). Este segundo *trend* é sugestivo da contaminação de parte das amostras da SMG pelas encaixantes. No diagrama Zr-FMMT-ACNK*200 (**Figura 3.55B**), nota-se que a evolução das amostras da SC é diferente da evolução das amostras que compõem o outro *trend*, sugerindo que os tonalitos/granodioritos da SMG estão mais próximos dos granitos do embasamento, os quais correspondem ao *trend* de evolução de suítes pré-colisionais na região (Bilal *et al.* 1999, no prelo).

Figura 3. 55 - Em A, diagrama Ba/1000 - MgO - ACNK (ACNK = $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ em moles). Em B, diagrama Zr-FMMT*30-ACNK*200, para as rochas do MIA, do embasamento granítico e dos Maciços Ibituba e Lagoa Preta. Legenda: (+) Embasamento Granítico; (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◊) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves; (□) Maciço Ibituba; (▼) Maciço Lagoa Preta.

Outro importante parâmetro de diferenciação utilizado foi o conteúdo em FMMT (FMMT = $\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO} + \text{MnO} + \text{TiO}_2$). Em relação aos elementos Zn, Th, Ni e Zr, nota-se que o Zn apresenta uma correlação direta com o fracionamento dos ferromagnesianos, inicialmente a cristalização dos piroxênios, e, depois, das biotita (Figura 3.56). Estes minerais revelam uma incorporação contínua destes elementos. Com relação ao zircão, existe um aumento com a diminuição da soma FMMT, até chegar ao nível de saturação em Zr, seguindo-se uma queda linear e continua deste elemento, traduzindo assim a cristalização de zircão. Esta mudança coincide com o início da cristalização da biotita (Figura 3.56).

A razão Ba/Sr aumenta de forma linear e contínua no interior das duas suítes, desde os termos menos diferenciados até os mais diferenciados, mostrando o papel do fracionamento do plagioclásio (Figura 3.57).

Figura 3. 56 - Diagrama FMMT ($\text{FMMT} = \text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO} + \text{MnO} + \text{TiO}_2$) *versus*, em (A) Zn; em (B), Th; em (C), Ni e em (D), Zr, para as rochas do MIA, do embasamento granítico e dos Maciços Ibituba e Lagoa Preta. Legenda - (+) Embasamento Granítico; (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves; (□) Maciço Ibituba; (▼) Maciço Lagoa Preta.

Figura 3.57 - Diagrama Ba/Sr - FMMT ($\text{FMMT} = \text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO} + \text{MnO} + \text{TiO}_2$) - Rb/20, para as rochas do MIA, do embasamento granítico e dos maciços de Ibituba e Lagoa Preta. Símbolos como na figura anterior.

III.5.4 - Elementos Terras Raras (ETR) e Incompatíveis.

A análise dos espectros dos elementos terras raras (ETR) normalizados em relação ao condrito (Boynnton, 1984) (**Figura 3.58**) mostra, para as diferentes faciologias analisadas, um fracionamento geral das ETR, sendo mais acentuado para os elementos terras raras leves (ETRL).

Na **SMG**, o fracionamento do ETRL é mais acentuado do que dos elementos das terras raras pesadas (ETRP), apresentando fraca anomalia negativa de Eu. As amostras de composição intermediária são mais enriquecidas em terras raras totais do que as ácidas. O enclave, situado entre os dois grupos acima, apresenta, em relação aos mesmos, um fracionamento mais acentuado nos ETRL e menos nos ETRP.

Na **SC**, ocorre igualmente fracionamento mais acentuado nos ETRL em relação aos ETRP, sendo estas últimas relativamente menos fracionadas. Os enclaves associados possuem conteúdos totais inferiores aos da rocha hospedeira. Além disso, apresentam fracionamento mais acentuado no ETRP e presença de anomalia negativa em Eu. Uma das amostras da **SGG** acompanha o espectro geral de um dos enclaves (amostra FAM27G), enquanto a outra, acompanha a da **SC**. As duas amostras apresentam anomalia negativa de Eu.

A comparação entre os espectros acima revela um comportamento muito semelhante entre as amostras da **SC** e **SMG**, sobretudo para os termos menos diferenciados desta última. Existe, porém, uma leve diferença no fracionamento nos ETRP entre elas. Nota-se também que o conteúdo total de terras raras (Σ TR) é menor nos tonalitos/granodioritos do que nos monzodioritos da **SMGp**. Este fato é incompatível com uma evolução dos monzodioritos em direção aos tonalitos/granodioritos, tendo em vista o maior enriquecimento de Σ TR dos primeiros. No mesmo sentido, a correspondência entre os espectros e os conteúdos em Σ TR entre os monzodioritos da **SMGp** com a **SC** sugere que estes pertencem a séries distintas.

Figura 3.58 - Espectros de elementos terras raras normalizados em relação ao padrão do condrito de Boynton (1984), para as diferentes unidades do MIA. Em A, SMG e enclaves (FAM64), em B, SC, SGG e enclaves (FAM84A, em SCh e FAM27G em SCp). Em C, comparação entre as suítes acima e seus enclaves. Legenda - (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves. Os valores utilizados na normalização do condrito são: La - 0,31; Ce - 0,8080; Pr - 0,1220; Nd - 0,6; Sm - 0,1950; Eu - 0,0735; Gd - 0,2590; Tb - 0,0474; Dy - 0,3220; Ho - 0,0718; Er - 0,21; Tm - 0,0324; Yb - 0,2090; Lu - 0,0322.

Nos diagramas multi-elementos normalizados em relação aos «Ocean Ridge Granites» (ORG) (Figura 3.59), as diferentes suítes analisadas mostram um enriquecimento em elementos «LILE», especialmente K, Rb e Ba. Observam-se ainda fracas anomalias negativas em Zr, positivas em Sm, Y e Yb. Na SMG, o diagrama da Figura 3.60 mostra que o espectro é diferente para os termos desta suíte, notando-se uma anomalia positiva em Ba para os monzodioritos, quartzo-monzodioritos com titanita, e uma anomalia levemente negativa para os tonalitos/granodioritos em Nb, Sr, P e Ti. Verifica-se ainda um enriquecimento em HFS nos monzodioritos e qzo-monzodioritos a titanita da SMG, relativamente aos granodioritos. Em relação à normalização ao condrito (Figura 3.60), estas diferenças se tornam mais acentuadas, com uma parte das amostras da SMG (tonalitos/granodioritos) apresentando anomalias negativas em P, Ti, Sr e Nb, e outra parte, as anomalias negativas são em Nb (fraca) e Sr (acentuada), ressaltando assim as diferenças entre estes dois grupos.

Na Figura 3.61, com os elementos normalizados em relação aos ORG, nota-se uma correspondência dos espectros entre as duas unidades da SC, com leves anomalias negativas em Hf, em contraste com fortes anomalias negativas em Nb nos enclaves (da SC) e nos SGG, com este último apresentando ainda anomalias negativas em Ba, Sr e Ti. Em relação à normalização ao condrito, a SC apresenta anomalias negativas em Th, Nb, Sr (acentuada), P e Ti. Isto também se verifica na SGG (exceto para o Th), porém com anomalia negativa em Nb acentuada.

Para efeito de comparação entre as diferentes unidades das suítes, selecionou-se as amostras mais representativas dos mesmos, sendo então normalizadas em relação aos ORG e ao condrito (Figura 3.62). Como resultado, ressalta-se o comportamento idêntico entre amostras (monzodioritos) de uma unidade da SMG com a amostra representativa da SC. O outro grupo (tonalitos/granodioritos) da unidade SMGp apresenta teores significativamente mais baixos no diagrama de multi-elementos. Ressalta-se, na normalização para os ORG, anomalia positiva em Ba para a SC e monzodioritos da SMGp, juntamente com enriquecimento em HFS relativamente aos granodioritos da SMGp e SGG. Com a normalização aos condritos, evidencia-se um conteúdo levemente superior nos elementos estudados nos monzodioritos da SMG, com ausência de anomalias negativas em P e Ti.

Figura 3.59 - Padrão de distribuição de elementos incompatíveis para as diferentes associações do MIA, com normalização segundo o padrão dos «*Ocean Ridge Granites*» (ORG) de Pearce *et al.* 1984). Legenda: (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves. Os valores de normalização em relação aos ORG são: K- 0,4; Rb- 4; Ba- 50; Th- 0,8; Nb- 10; Ce-35; Hf- 9; Zr-340; Sm-9; Y-70; Yb-8

Figura 3.60 - Distribuição de elementos incompatíveis para a SMG, com normalização segundo os «*Ocean Ridge Granites*» (Pearce *et al.* 1984) e condrito Thompson (1982). Legenda: (○) monzodioritos da SMGp; (×) tonalitos/granodioritos da SMGp; (■) SMGt. Os valores de normalização do condrito são: Ba- 6,9; Rb- 0,35; Th- 0,042; K- 120; Nb- 0,350; Ta- 0,02; La- 0,329; Ce- 0,865; Sr- 11,800; Nd- 0,630; P- 46,0; Sm- 0,203; Zr- 6,840; Hf- 0,2; Ti- 620; Tb- 0,052; Y- 2,0; Yb-0,220.

Figura 3.61 - Padrão de distribuição de elementos incompatíveis para a SC e SGG com normalização segundo o padrão dos «*Ocean Ridge Granites*» (Pearce *et al.* 1984) e condrito de Thompson (1982). Legenda: (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves (FAM27G e FAM84A, esta última sendo empobrecido em Yb).

Figura 3.62 - Padrão de distribuição de elementos incompatíveis para as unidades do MIA, com normalização segundo o padrão dos «*Ocean Ridge Granites*» (Pearce *et al.* 1984). O segundo é normalizado com os valores (e ordem) de Thompson (1982). Legenda: (+) Embasamento Granítico; (○) monzodioritos da SMGp; (×) tonalitos/granodioritos da SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp e (◆) SGG.

III.5.5 - Diagramas de Discriminação de Ambientes Tectônicos

No diagrama de Batchelor e Bowden (1985), as unidades estudadas distribuem-se desde o campo dos granitos pré-colisionais até o dos granitos tardi-orogênicos (**Figura 3.63**). Nota-se a seguinte discriminação: as unidades da **SC** discriminam-se no campo tardi-orogênico, os tonalitos/granodioritos da **SMG** discriminam-se no campo pré-colisional, os monzodioritos e quartzo-monzodioritos com titanita desta suíte, juntamente com a amostra do Maciço Ibituba, no campo de *Uplift* (soerguimento, levantamento) pós-colisional; enquanto a **SGG**, no campo sin-colisional (**Figura 3.63**). O uso indiscriminado destes diagramas têm sido bastante criticado na literatura, por terem sido baseados originalmente em arcos magmáticos jovens, razão pela qual estes resultados devem ser utilizados com cautela (cf. Wiedmann, 1993). No entanto, os resultados aqui apresentados, se não correspondem aos ambientes tectônicos, mostram uma boa discriminação entre os diferentes termos das suítes analisadas.

Figura 3.63 - Distribuição das amostras do MIA no diagrama **R1** ($R1 = 4Si - 11(Na+K) - 2(Fe+Ti)$) versus **R2** ($R2 = 6Ca+2Mg+Al$), em proporções catiônicas, de Batchelor & Bowden (1985). Legenda: (+) Embasamento Granítico; (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves; (□) Maciço de Ibituba; (▼) Maciço de Lagoa Preta.

Nos diagramas de discriminação de ambientes tectônicos propostos por Pearce *et al.* (1984), baseado no conteúdo de Nb, Rb e Y, observa-se que as rochas do **MIA** têm comportamentos distintos, com as amostras da **SMG** situando-se no campo dos granitos intra-placa e de arco vulcânico (**Figura 3. 64**), enquanto as **SC** e do Maciço Ibituba ocupam o campo de granitos intra-placa, próximo do campo dos granitos de arco vulcânico. As amostras do embasamento, da **SGG** e dos enclaves ocupam o campo de granitos de arco vulcânico.

Figura 3.64 - Posicionamento das rochas do **MIA** no diagrama propostos por Pearce *et al.* (1984) para discriminação de ambientes tectônicos de granitóides. Legenda: (+) Embasamento Granítico; (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves; (□) Maciço Ibituba; (▼) Maciço Lagoa Preta.

Nos diagrama propostos por Whalen *et al.* (1987) (**Figura 3.65 A**), especialmente construídos para granitos do tipo-A, observa-se que as rochas aqui estudadas discriminam-se preferencialmente no campo destes granitos, com exceção daquelas com suspeita de contaminação pelas encaixantes e de amostras do embasamento, as quais situam--se respectivamente, no campo dos granitos félsicos fracionados e de granitos orogênicos.

A

B

Figura . 3.65 A e B - Distribuição das rochas do MIA no diagrama Zr + Nb + Ce + Y *versus* $(K_2O + Na_2O) / CaO$ e $FeOT/MgO$ (Whalen *et al.* 1987) para granitos do tipo A, pós-tectônicos, com campos de granitos félsicos fracionados (FG) e granitos orogênicos (OGT). Legenda: (+) Embasamento Granítico; (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves; (□) Maciço Ibituba; (▼) Maciço Lagoa Preta.

No diagrama proposto por Brown (1982), observa-se o seguinte: os termos monzodioríticos e quartzo-monzodioríticos com titanita da **SMG** possuem «*alkali-lime index*» ~55% de SiO_2 (**Figura 3.66**). Para a **SC** este índice sobe para ~60% de SiO_2 , para os tonalitos/granodioritos, ~61%, com estes dois últimos sendo comparáveis aos valores dos granitos de arco continental da Nova Guiné (~60%); enquanto o primeiro é comparável ao «Alaska Range Batholit» (~55%), os quais correspondem a arcos magmáticos «maduros» (**Figura 3.67**). Nesta figura nota-se ainda que os tonalitos/granodioritos da **SMG**, juntamente com o enclave, possuem menor maturidade do que as demais rochas da **SMG**, **SC** e **SGG**.

Figura 3.66 - Diagrama de Brown (1982). Em A, para a **SC**; em B, comparando-se **SC** e **SMG**, em C, para os tonalitos/granodioritos da **SMG**, e, em D, para os monzodioritos somados aos quartzo-monzodioritos da **SMG**. Legenda: (○) **SMG**; (■) **SMGt**; (●) **SC**; (▽) enclave FAM64. Em C, (×) Tonalitos/Granodioritos da **SMGp**.

Figura 3.67 - Disposição das rochas do MIA no diagrama de discriminação de ambiente tectônico proposto para suítes intrusivas Mesozóicas e Terciárias, comparadas com o campo de dos andesitos cálcico-alcálinos Normais (área CAN), modificado de Brown (1982). As linhas contínuas são: NB, para o Arco «New Britain Solomon Islands»; NC é para o Arco Continental da Nova Guiné, NM, para o Cinturão Móvel Nova Guiné (dados de Hine & Mason, 1978; Mason & MacDonald, 1978). As linhas tracejadas são: CA, correspondendo ao Arco Norte Caribenho e EP, aos Dioritos Precoces do Panamá (Kesler *et al.*, 1975). O sentido da seta indica o aumento da maturidade do arco. Legenda: (○) SMGp; (■) SMGt; (●) SCh; (◇) SCp; (◆) SGG; (▽) Enclaves.

III.6 - ANÁLISES ISOTÓPICAS

Foram realizadas análises isotópicas com o objetivo de determinar a idade das suítes, bem como auxiliar nas discussões sobre a evolução magmática dos mesmos. As análises isotópicas foram efetuadas pela sistemática Rb/Sr e Sm/Nd, em rocha total, U/Th/Pb, em monazitas e, U/Pb, em zircões.

III.6.1 - Análises Rb/Sr

Estas análises foram realizadas no Centro de Pesquisas Geocronológicas da Universidade de São Paulo (CPGeo-USP), seguindo-se o procedimento metodológico descrito em Kawashita (1972). Utilizou-se o espectômetro de massas VARIANMAT, modelo TH-5, sendo que o erro analítico foi estimado em 2% e a normalização dos dados isotópicos de $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}=0,1194$ (padrão NBS 987) e para $\lambda\text{Rb}^{87}=1,42 \times 10^{-11}$.

Foram selecionadas quatro amostras representativas das principais suítes do maciço estudado. Embora os dados Rb/Sr obtidos não tenham permitido a definição de uma boa isócrona, as razões iniciais de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ possibilitam uma avaliação das possíveis áreas fontes para a geração do magmatismo. (Ver Tabela 3.1 e Figura 3.68).

Tabela 3. 1 - Resultados das análises Rb/Sr das amostras do MIA.

Amostra	Unidade	Rb(ppm)	Sr(ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	Erro	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Erro
FAM-4	SCh	142.4	339.6	1.215	0.034	0.71756	0.00009
FAM-25	SCp	124.9	332.8	1.087	0.031	0.71686	0.00009
FAM-1	SGG	146.6	75.6	5.644	0.159	0.76548	0.00007
FAM-21	SMGp	71.2	215.5	0.957	0.027	0.71962	0.00009

Figura 3.68A - Isócrona para o conjunto de dados obtidos das amostras do MIA.

Figura 3.68B - Isócrona para as amostras da SC, SCp e SGG.

A isócrona é definida por quatro pontos analíticos, sendo dois da SC, um da SMG e um da SGG. O elevado valor do MSWD (73,587) reflete a má qualidade desta isócrona. Nota-se que a amostra da SGG apresenta uma razão Rb/Sr muito elevada (5,644) em comparação com os valores das demais amostras, situadas entre 0,957 e 1,215. A ausência de distribuição dos pontos analíticos ao longo da isócrona, aliada à falta de cogeneticidade da amostra da SGG, conforme discutido anteriormente, torna o dado aqui obtido desprovido de significado geológico. Em consequência, a R_o de 0,70797 obtida não pode ser utilizada como indicador petrogenético.

Os valores encontrados nas amostras da SMG e SC, em Sr (entre 215,15 e 339,6 ppm) e a relação $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0,71686 e 0,71962 ppm) (Tabela 3.1) são comparáveis aos valores encontrados para os granitos caledonianos da Escócia, sendo porém mais elevados do que os valores obtidos para os granitos do tipo cordilheirano, para valores de Sr correspondentes, ou ainda mais baixos do que dos granitóides do domínio Piracaia e, relativamente, aos granitóides dos domínios São Roque e Costeiro (ver diagrama da figura 83, p. 201, em Tassinari, 1988).

III.6.2 - Método Sm/Nd

Estas análises foram obtidas igualmente no Centro de Pesquisas Geocronológicas da Universidade de São Paulo (CPGeo-USP). As mesmas amostras analisadas pelo método Rb/Sr foram utilizadas para as análises Sm/Nd (ver Tabela 3.2).

As idades modelo Tdm (De Paolo, 1988) situam-se entre 1.513 ± 54 a 2.023 ± 82 Ma., o que é comparável com os valores de idade modelo obtidos para granitóides brasileiros na Província Mantiqueira (Tassinari & Sato 1996 ; Sato, 1998 e Nalini, 1997).

Os valores de $\epsilon\text{Nd}_{(500)}$ das suítes estudadas, com variações de valores negativos entre -8,07 a -6,58 (Tabela 3.2), refletem uma importante contribuição crustal dos magmas que produziram estas rochas. Estes valores são comparáveis com aqueles disponíveis sobre os granitóides brasileiros na região de Galiléia-MG, entre -7 e -9 (Nalini, 1997), aos granitóides do leste do Estado de São Paulo, entre -3 e -11 (Tassinari & Sato, 1996; Sato, 1998). Considerando os dados disponíveis sobre o embasamento paleo-proterozóico da região, incluindo o Complexo Juiz de Fora, e as rochas da região de Cabo Frio -RJ (entre -17 e -29, Sato 1998), os dados aqui obtidos são significativamente menos negativos (entre -8,07 e -6,58). Assim sendo, os dados

isotópicos aqui obtidos sugerem contribuição mantélica para geração deste magmatismo, pois os valores isotópicos das rochas do embasamento são mais negativos, apesar dos valores relativamente elevados dos isótopos de Sr.

Tabela 3.2 - Dados Sm/Nd de amostras do MIA.

Amostra	Sm(ppm)	Nd(ppm)	Sm/Nd	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	Erro	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	Erro
FAM-4	12.456	70.273	0.1772516	0.1072	0.0004	0.511984	0.000041
FAM-25	16.551	77.978	0.2122522	0.1283	0.0004	0.512077	0.00004
FAM-1	7.425	32.659	0.2273493	0.1375	0.0005	0.512031	0.000045
FAM-21	7.936	41.555	0.1909758	0.1155	0.0004	0.511974	0.00003

Amostra	TDM(Ma)	Fator f	$\epsilon\text{Nd}(0)$	$\epsilon\text{Nd}(500\text{Ma.})$	$\epsilon\text{Nd}(600\text{Ma.})$
FAM-4	1513.6 ± 54.8	-0.4551	-12.76	-7.05	-5.90
FAM-25	1721.9 ± 65.8	-0.3475	-10.94	-6.58	-5.71
FAM-1	2023.7 ± 82.1	-0.3011	-11.84	-8.07	-7.31
FAM-21	1656.6 ± 43.5	-0.4129	-12.95	-7.77	-6.74

III.6.3 - U / Th / Pb em Monazitas

A monazita é muito utilizada para datações pelo método U/Pb, por ser um mineral abundante em granitos e metassedimentos. Os teores em U, Pb e Th encontrados em monazitas permitem o cálculo da idade de sua cristalização, conforme tem sido mostrado por Montel *et al.* (1994 e 1996). Trata-se de um método relativamente rápido e pouco dispendioso, com alto valor interpretativo, reproduzindo em alguns casos idades U/Pb obtidas em zircões. Este método consiste na determinação, com base na microsonda eletrônica, dos teores de U, Pb e Th, cuja metodologia é descrita pormenorizadamente em Montel *et al.* (1994 e 1996). As análises das monazitas da SGG foram realizadas na microsonda eletrônica Camebax SX-100 da Universidade Blaise Pascal, em Clermont-Ferrand (França).

Foram executadas 70 análises em duas amostras da SGG, das quais apenas 31 foram consideradas representativas, em função do fechamento acima de 95% (ver tabela monazitas, no Anexo3). As idades pontuais obtidas neste grupo variam entre 572 ± 85 Ma e 445 ± 56 Ma, foram obtidas a partir do cálculo de integração de idades com o uso de «software» (em desenvolvimento), cujo método encontra-se apresentado em Montel *et al.* (1994 e 1996). Apresentaram os seguintes grandes grupos de idades, de 468 ± 16 ; 492 ± 20 ; 517 ± 25 e 562 ± 37 Ma (Figura 3.46). A discussão individual das análises revela um grupo menor de idades: para a amostra FAM1, 470 ± 15 ; 502 ± 18 e 552 ± 30 Ma; para a amostra FAM9B, 471 ± 24 ; 515 ± 24 e 567 ± 50 . Contudo, estas idades podem refletir perdas episódicas de Pb, sugerindo «resets» de uma cristalização de monazitas a partir de 562 ± 37 Ma. (Figura 3.69).

Figura 3.69 - Histograma balanceado representando o tratamento efetuado nos dados U/Th/Pb em monazitas, segundo o modelo de Montel *et al.* (1994 e 1996). Na parte superior, para o conjunto de análises efetuadas, na parte central, para a amostra FAM1, na parte inferior, para a amostra FAM 9B. As idades constantes nos histogramas referem-se aos cortes efetuados para os cálculos dos diferentes grupos de idades, fornecendo a escala.

III.6.4 U/Pb em Zircões

Foram analisados pelo método U/Pb em zircão por diluição isotópica em amostras da SCh (amostra FAM 10). Tais amostras foram separadas e enviadas ao laboratório de geocronologia dos Estados Unidos (Geochron Laboratories), onde foram abradados e selecionados (15). Destes, quatorze amostras foram analisadas conjuntamente e, uma, pontualmente.

Nota-se que os zircões analisados dispõem-se próximo da concórdia, sugerindo uma boa qualidade da idade obtida, resultando em uma idade de boa precisão. A Tabela 3.3 abaixo contém os dados obtidos.

Tabela 3.3 -Dados obtidos em U/Pb em zircões da amostra FAM10, da SCh.

	Z2(14 grãos)	Z1(1 grão)
Peso (mg)	0,0164	0,0089
Concentrações		
U(ppm)	367,79	732,81
Pb(ppm)	31,86	65,36
Razões atômicas		
$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	11031,65	17445,62
$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	0,188	0,228
$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$	0,08083	0,08064
% erro	0,06	0,09
$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	0,63903	0,6367
% erro	0,09	0,11
$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	0,05734	0,05727
% erro	0,06	0,07
Idades Ma		
$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$	501,1	499,9
$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	501,7	500,3
$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	504,6	501,8
Coef. Corr.	0,714	0,787
Pb comum total (pg)	2,8	1,9

A idade de $498 \pm 35,6$ Ma obtida a partir do intercepto inferior (Figura 3.70) é compatível com a faixa de idades obtidas em monazitas pelo método U/Pb/Th, apresentadas no Capítulo III (445 Ma a 572 Ma). A disposição dos pontos na discórdia sugere que estes zircões se originaram a partir de um magma resultante da fusão de uma crosta antiga. A idade do intercepto superior indica a idade de cristalização a partir da fusão de um protólito possivelmente mesoproterozóico. A idade obtida no intercepto superior ($1036,1 \pm 613$ Ma) apresenta um erro muito elevado, impossibilitando, assim, uma melhor avaliação. Contudo, ela pode representar a idade de cristalização do protólito.

Novos dados em núcleos de zircões (SHRIMP) poderiam precisar melhor esta variação de idade indicada pelo intercepto superior. Contudo, este refinamento de dados não deve alterar significativamente a idade fornecida pelo intercepto inferior, que se tornaria mais restrito, considerando o fato de que a análise do monozircão (Z1) está muito próximo da concórdia. Assim, pode-se afirmar que a última idade representa a idade da cristalização destes zircões da SC, em torno de 500 Ma, e conseqüentemente, a idade da formação deste plúton. Além disso, este valor representa um período de importante granitogênese na região com significativa participação de material crustal na formação destes corpos charnockíticos.

Figura 3.70 - Diagrama concórdia para dados U/Pb em zircões. Z1 corresponde a uma análise pontual em zircão, enquanto Z2 corresponde ao conjunto de análises de 14 zircões. Amostra FAM10 da SCh.

CAPÍTULO IV

GEOTERMOMETRIA E GEOBAROMETRIA

IV.1 - Geotermometria e Geobarometria

A partir das análises de química mineral, procederam-se os cálculos geotermobarométricos nas amostras das diferentes suítes do MIA.

O calculo geobarométrico foi efetuado com base na composição dos anfibólios, utilizando-se para isso o método de Schmidt (1992). O resultado obtido foi de pressões individuais de até 6,7 Kbar, para amostra da SMGp, embora as médias calculadas não ultrapassem 6,4 Kbar (Tabela 4.1)

Tabela 4.1 - Médias de pressões obtidas no cálculo geotermométrico com base em anfibólios, a partir de diferentes métodos, para as suítes do MIA. Os valores são expressos em Kbars. Os números entre parênteses correspondem ao número de análises realizadas.

Método	média SMGp (8)	média SMGt(2)	média SCp (11)	média SCh (4)
Hammarstrom & Zen 1986	6.1	5.2	5.9	5.4
Hollister <i>et al.</i> 1987	6.4	5.4	6.2	5.7
Johnson & Rutherford 1989	4.9	4.2	4.8	4.4
Schmidt 1992	6.4	5.6	6.3	5.8

Os valores de temperatura foram calculados com base na composição do par clinopiroxênio-ortopiroxênio, segundo o geotermômetro proposto por Wells (1977), obtendo-se valores de aproximadamente 1.000 °C, para a SMG e, segundo o de Wood & Banno (1973), de

812 °C e 876°C ; de aproximadamente 750 °C (Wells op cit.), para a **SC** e de 860°C, segundo o de Wood & Banno (1973).

As temperaturas obtidas com base na aplicação dos geotermômetros propostos por Watson & Harrison (1983 e 1984) variam entre 750°C e 800°C, para a **SGG** e **SMG** (excluindo as amostras de granodioritos), entre 800°C e 860°C, para a **SC** (quando se considera a saturação de Zr) (**Figura 4.1**), entre 950°C e 1080°C, para as **SC** e **SMG**, e entre 800 e 950°C, para a **SGG** (quando se consideram os teores em P₂O₅), com base no método proposto por Harrison & Watson (1984) (**Figura 4.2**).

Figura 4.1 - Temperaturas estimadas para as rochas do **MIA**, segundo o diagrama $(Na+K+2Ca)/Al \times Si$ (em proporções catiônicas) *versus* Zr (em ppm), proposto por Watson & Harrison (1983). Legenda: (+) Embasamento Granítico; (O) **SMGp**; (■) **SMGt**; (●) **SCh**; (◇) **SCp**; (◆) **SGG**; (▽) Enclaves.

Figura 4.2 - Posição das rochas das suítes do **MIA** no diagrama SiO_2 versus P_2O_5 . Isotermas segundo Watson & Harrison (1984). Legenda como na figura anterior.

Em resumo, considerando todos os métodos discutidos acima, para a **SMG** as temperaturas mínimas e máximas são da ordem de 800°C e 1080°C respectivamente; para a **SC**, as temperaturas mínimas e máximas são da ordem de 800°C e 1000°C respectivamente; enquanto para a **SGG** as temperaturas mínimas e máximas são da ordem de 750°C e 800°C respectivamente. Com base nestes dados, conclui-se que as rochas destas suítes foram cristalizadas sob condições da fácies granulito (> 5,5 Kb e >750°C), provavelmente na interface Crosta Inferior/Média.

A paragênese considerada primária para rochas portadoras de piroxênios é plagioclásio + quartzo + ortopiroxênio + clinopiroxênio + ilmenita, ou seja, uma paragênese típica de magmas onde a cristalização ocorreu sob condições de alta temperatura e anidras, onde a $\text{PCO}_2 \gg \text{PH}_2\text{O}$. Porém, considerando-se a possibilidade da intervenção de pequenas quantidades de água na composição inicial do sistema (Wendlandt, 1981; Martignole, 1979 e Hewitt & Jones, 1984), pode-se considerar a hipótese de uma cristalização primária da biotita.

CAPÍTULO V

COMPARAÇÃO COM OUTRAS SUÍTES MAGMÁTICAS

V.1 - INTRODUÇÃO

Para efeitos de comparação com algumas suítes magmáticas, do Brasil e do exterior, as análises químicas das rochas da SMG e SC do MIA foram plotadas conjuntamente em diagramas do tipo Harker. Utilizou-se, nesta comparação, as seguintes séries: Córsega (região da Balagne), Maciço Central Francês (granitóides de Saint-Julien-la-Vêtre), Intrusão Charnockítica de Arderey (Ilhas Windmill, Antártica), granitóides cálcico-alcalinos da Sierra Nevada (EUA), e vulcânicas orogênicas, a «Série cálcico-alcalina normal das Hautes Cascades», Oregon, EUA e do Maciço Charnockítico de Várzea Alegre-ES.

O estudo da Série Intrusiva de Tuolumne foi realizado com o objetivo de testar um modelo para a origem das sequências plutônicas comagmáticas no Batólito de Sierra Nevada, EUA (Bateman & Chappell, 1979). Este plúton, contrariamente ao que se verifica no MIA, apresenta-se zonado, com as unidades granitóides sendo progressivamente mais félsicas e mais jovens em direção ao centro do corpo, sendo aqui de composição granítica e monzo/sieno-granítica (granito porfirítico), passando para composição quartzo-diorítica, na parte externa.

O plúton Monzodiorítico Saint-Julien-la-Vêtre, Maciço Central Francês, exhibe feições híbridas, como no MIA, onde há uma interação entre magmas félsicos e máficos (Barbarin 1988). Trata-se de um exemplo de Granitos Cálcico-Alcalinos Potássicos, no Maciço Central Francês, sendo classificado como um tipo KCG (Granitóides Cálcico-Alcalinos Potássicos, na classificação de Barbarin 1999), correspondendo assim a um granitóide de origem mista (crosta + manto), posicionado em zonas colisionais ou pós-colisionais.

O batólito da região da Córsega-Sardenha é constituído por quatro grandes tipos de associações magmáticas, dentre elas a «Associação Cálcico-alcalina Magnésio-potássica» (Orsini, 1976; Rossi, 1986), onde termos monzoníticos a sienomonzoníticos são associados a rochas básicas (gabros-dioritos, sienomonzonitos ± quartzosos) e interpretados como de *mélange*

magmática. Os dados geoquímicos indicam para estes granitóides uma origem relacionada à fusão parcial de uma crosta de composição grauváquica, em contexto granulítico (Cocherie, 1985). Os termos básicos seriam provenientes da hibridização, em profundidade, de magmas basálticos mantélicos.

Foram comparadas também as análises de uma série vulcânica orogênica, a «Série cálcico-alcalina normal das Hautes Cascades», Oregon, EUA, usando dados de McBirney, 1984 (*in* Bonin, 1995).

Um exemplo de tipo de magma charnockítico (*C-type*, de Kilpatrick & Ellis, 1992) foi também utilizado na comparação. Trata-se da Intrusão Charnockítica de Arderey, das Ilhas Windmill, Antártica. Esta intrusão caracteriza-se por apresentar texturas e assembléias ígneas bem preservadas, tendo sofrido pouca deformação (Kilpatrick & Ellis, 1992).

Finalmente, as análises químicas das suítes SMG e SC do MIA também foram comparadas àquelas do Maciço de Várzea Alegre (dados de Mendes, 1993).

V.2 - COMPARAÇÃO DAS UNIDADES DO MIA COM OUTRAS SUÍTES MAGMÁTICAS

As rochas do MIA, quando comparadas com suítes acima, é mais enriquecida em TiO_2 do que as rochas vulcânicas das Hautes Cascades e da Série Intrusiva de Tuolumne, do Batólito de Sierra Nevada, tendo valores equivalentes aos termos intermediários da associação Cálcico-alcalina Magnésio-potássica da Córsega, aos granitóides de Saint-Julien-la-Vêtre e aos de Várzea Alegre, sendo porém empobrecida em relação aos charnockitos da Antártica. Os termos mais básicos do MIA são mais enriquecidos do que os charnockitos da Antártica e à associação Cálcico-alcalina Magnésio-potássica da Córsega (Figura 5.1).

Figura 5.1 - Comparação entre diversas suítes magmáticas com as suítes Monzodiorítica-Granodiorita (SMG) e Charnockítica (SC) do Maciço Aimorés, diagrama SiO_2 versus TiO_2 . Legenda: (○) SMG e SC do MIA; (△) Maciço de Várzea Alegre- ES; (▼) Associação Cálculo-alcalina Magnésio-potássica da Balagne, Córsega-França; (▶) Charnockitos de Arderey, Antártica; (■) Série Intrusiva de Tuolumne, Sierra Nevada, EUA; (◀) Vulcânicas Cálculo-alcalinas Cordilheiras, EUA; (⊕) Plúton Monzogranítico Saint-Julien-la-Vêtre, Maciço Central Francês.

Para o Al_2O_3 , as rochas do MIA são equivalentes a do Maciço de Várzea Alegre, à associação Cálculo-alcalina Magnésio-potássica da Córsega e granitóides de Saint-Julien-la-Vêtre, sendo porém mais enriquecida do que os charnockitos da Antártica. Por outro lado, elas são mais empobrecidas do que a associação Cálculo-alcalina Magnésio-potássica da Córsega, do que a Série Tuolumne e do batólito Sierra Nevada, EUA (**Figura 5.2**).

Figura 5.2 - Comparação entre diversas suítes magmáticas com as suítes Monzodiorítica-Granodiorítica (SMG) e Charnockítica (SC) do Maciço Aimorés, no diagrama SiO_2 versus Al_2O_3 .
 Legenda: (○) SMG e SC do MIA; (△) Maciço de Várzea Alegre- ES; (▼) Associação Cálculo-alcalina Magnésio-Potássica da Balagne, Córsega-França; (▶) Charnockitos de Arderey, Antártica; (■) Série Intrusiva de Tuolumne, Sierra Nevada, EUA; (◀) Vulcânicas Cálculo-alcalinas Cordilheiranas, EUA; (●) Plúton Monzonogranítico Saint-Julien-la-Vêtre, Maciço Central Francês.

Para o MgO , a SC têm teores equivalentes às rochas de Várzea Alegre (esta última é ligeiramente mais enriquecida), sendo empobrecida em relação ao restante das suítes. Cabe ressaltar que, para os granodioritos da SMG, estes valores são equivalentes aos da associação Cálculo-alcalina Magnésio-potássica da Córsega, aos granitóides de Saint-Julien-la-Vêtre e Série Tuolumne (Figura 5.3).

Figura 5.3 - Comparação entre diversas suítes magmáticas com as suítes Monzodiorítica-Granodiorítica (SMG) e Charnockítica (SC) do Maciço Aimorés, diagrama SiO_2 versus MgO . Legenda como na figura anterior.

Para o CaO , a SC e termos monzodioríticos da SMG são equivalentes aos granitóides de Saint-Julien-la-Vêtre e Várzea Alegre, sendo mais empobrecidos do que os charnockitos da Antártica, associação Cálculo-alcalina Magnésio-potássica e a Série Tuolumne. Os granodioritos da SMG são equivalentes à esta última (**Figura 5.4**)

Figura 5.4 - Comparação entre diversas suítes magmáticas com as suítes Monzodiorítica-Granodiorítica (SMG) e Charnockítica (SC) do Maciço Aimorés, no diagrama SiO_2 versus CaO . Legenda como na figura 5.2

Para o MnO, as rochas do MIA, Várzea Alegre e os charnockitos da Antártica seguem no mesmo *trend*, onde a SC caracteriza-se por um enriquecimento em relação aos granitóides de Saint-Julien-la-Vêtre e a associação Cálculo-alcalina Magnésio-potássica da Córsega. A SMG mostra-se enriquecida em relação aos granitóides de Saint-Julien-la-Vêtre, possuindo teores próximos às rochas de Várzea Alegre, aos charnockitos da Antártica e às rochas vulcânicas das Hautes Cascades (Figura 5.5).

Figura 5.5 - Comparação entre diversas suítes magmáticas com as suítes Monzodiorítica-Granodiorítica (SMG) e Charnockítica (SC) do Maciço Aimorés, no diagrama SiO₂ versus MnO. Legenda: (○) SMG e SC do MIA; (△) Maciço de Várzea Alegre- ES; (▼) Associação Cálculo-alcalina Magnésio-Potássica da região da Balagne, Córsega-França; (▲) Charnockitos de Arderey, Antártica; (■) Série Intrusiva de Tuolumne, Sierra Nevada, EUA; (△) Vulcânicas Cálculo-alcalinas Cordilheiranas, EUA; (●) Plúton Monzogranítico Saint-Julien-la-Vêtre, Maciço Central Francês.

O Na₂O, na SC é mais enriquecido do que nos charnockitos da Antártica, tendo teores equivalentes aos granitóides de Saint-Julien-la-Vêtre e à associação Cálculo-alcalina Magnésio-potássica da Córsega, com empobrecimento em relação às rochas vulcânicas cordilheiranas. A SMG é mais enriquecida do que os charnockitos da Antártica, tendo conteúdos similares aos granitóides de Saint-Julien-la-Vêtre e à associação Cálculo-alcalina Magnésio-potássica da Córsega, sendo porém empobrecida em relação às rochas vulcânicas consideradas (Figura 5.6).

Figura 5.6 - Comparação entre diversas suítes magmáticas com as suítes Monzodiorítica-Granodiorítica (SMG) e Charnockítica (SC) do Maciço Aimorés, diagrama SiO_2 *versus* Na_2O . Legenda como na figura anterior.

Os teores em K_2O , da SC são mais elevados do que os charnockitos da Antártica, as rochas vulcânicas das Hautes Cascades e também do maciço de Várzea Alegre, sendo equivalentes aos granitóides de Saint-Julien-la-Vêtre e à associação Cálcico-alcálica Magnésio-potássica da Córsega. A SMG é mais enriquecida neste elemento do que as vulcânicas cordilheranas, mais empobrecida do que os granitóides de Saint-Julien-la-Vêtre e à associação Cálcico-alcálica Magnésio-potássica da Córsega (**Figura 5.7**).

Figura 5.7 - Comparação entre diversas suítes magmáticas com as suítes Monzodiorítica-Granodiorita (SMG) e Charnockítica (SC) do Maciço Aimorés, no diagrama SiO_2 versus K_2O . Legenda: (○) SMG e SC do MIA; (△) Maciço de Várzea Alegre- ES; (▼) Associação Cálculo-alcalina Magnésio-Potássica da região da Balagne, Córsega-França; (▶) Charnockitos de Arderey, Antártica; (■) Série Intrusiva de Tuolumne, Sierra Nevada, EUA; (◀) Vulcânicas Cálculo-alcalinas Cordilheiras, EUA; (◐) Plúton Monzonogranítico Saint-Julien-la-Vêtre, Maciço Central Francês.

O P_2O_5 mostra-se para a SC um enriquecimento em relação às vulcânicas, com teores equivalentes aos charnockitos da Antártica, à associação cálcico-alcalina magnésio-potássica da Córsega e ao Maciço de Várzea Alegre. A SMG é enriquecida neste elemento em relação às vulcânicas, sendo equivalente em relação à associação cálcico-alcalina magnésio-potássica e empobrecida em relação aos charnockitos da Antártica (**Figura 5.8**).

Figura 5.8 - Comparação entre diversas suítes magmáticas e as suítes Monzodiorítica-Granodiorítica (SMG) e Charnockítica (SC) do Maciço Aimorés, diagrama SiO_2 versus P_2O_5 . Legenda como na figura anterior.

CAPITULO VI

CONCLUSÕES

O Maciço Intrusivo Aimorés (MIA) possui forma anelar de aproximadamente 12 Km de diâmetro e caracteriza-se por uma estrutura de alto ângulo. As estruturas de fluxo ígneo são superpostas por estruturas de deformação no estado sólido, relacionadas a tramas deformacionais tardias ao posicionamento do corpo. São registrados indicadores cinemáticos sugestivos da existência de colapso posterior à sua colocação. A geometria interna do corpo é comparável com a seção inferior de um diápiro, cuja colocação é compatível com condições de crosta inferior, o que também é evidenciado pelo grau metamórfico das rochas encaixantes.

Foram definidas, com base nos dados petrográficos e litogeoquímicos, três suítes:

(i) Suíte Monzodiorítica-Granodiorítica (SMG), (ii) Suíte Charnockítica (SC) e, (iii) Suíte Granada -Granítica (SGG). A primeira suíte é constituída de duas unidades de mapeamento: os Monzodioritos-Granodioritos com piroxênio (SMGp) e os Quartzo-Monzodioritos com titanita (SMGt). A SMGp têm composição básica/intermediária, granulação média a fina, escura, localmente porfirítica. A assembléia mineral é constituída de quartzo + plagioclásio + ortopiroxênio + clinopiroxênio + feldspato potássico + anfibólio + biotita + ilmenita/magnetita. Os termos granodioríticos possuem uma deformação mais intensa do que os termos monzodioríticos. Na SMGt, a assembléia mineral é caracterizada por quartzo + plagioclásio + titanita + feldspato potássico + anfibólio + biotita + ilmenita/magnetita.

A segunda suíte engloba duas unidades de mapeamento: (a) Quartzo-Monzonitos/Granitos com hiperstênio ou «Charnockitos s.l» (SCh) e, (b) Granitos porfiríticos (SCp). A SCh possui granulação grossa, porfirítica, de composição ácida, sendo constituída de uma assembléia com quartzo + plagioclásio + ortopiroxênio + clinopiroxênio + feldspato potássico + anfibólio + biotita + ilmenita/magnetita. A SCp possui textura porfirítica, de composição ácida, caracterizada por uma assembléia mineral com quartzo + plagioclásio + feldspato potássico + anfibólio + biotita + ilmenita/magnetita.

A terceira suíte engloba de apenas uma unidade de mapeamento, os Granada-Granitos (SGG). Possui composição ácida, textura porfírica, constituída de uma assembléia mineral com quartzo + plagioclásio + feldspato potássico + granada + biotita + ilmenita/magnetita.

As análises de química mineral permitiram definir a composição dos diferentes minerais das suítes, bem como caracterizá-las, com base geoquímica (composição das biotitas), como pertencentes à associação subalcalina (diagrama de Chevrement *et al.* 1988) ou série cálcico-alcalina (para biotitas da SMG) no diagrama de Nachit *et al.* (1985). Além disso, verifica-se diferenças na composição dos piroxênios, anfibólios e plagioclásios das diferentes suítes. Os resultados sugerem a existência de um reequilíbrio parcial de composições primárias destes minerais.

Os diagramas tipo «Harker» mostram a existência de *trends* lineares mais ou contínuos para vários elementos e um certo grau de dispersão para outros. Estas variações são mais acentuadas para as amostras da unidade básica/intermediária (SMG) do que as da unidade ácida/intermediária (SC). Nota-se uma dispersão acentuada para as duas suítes em Na, Ba, La e Ce. A SC, em relação a SMG, mostra um decréscimo mais acentuado com a diferenciação para elementos como Fe, Mn, Y, Zr, Nb, Ga, Zn, Hf e Sc; com um aumento em Rb, Th e Pb. O Ca apresenta um comportamento idêntico para as duas suítes. Por outro lado, o Ni e Cr comportam-se de maneira diferente nas duas suítes, aumentando com a diferenciação na SMG, com o Ni decrescendo, e o Cr mantendo-se mais ou menos constante para a SC. Por outro lado, a maior dispersão destes elementos na SMG pode ser explicada pela presença de cumulos ferromagnesianos e félsicos ou, ainda, por uma maior interação fluido/rocha nos estágios finais de cristalização. A melhor correlação linear observada para as amostras da SC sugere a cristalização contínua de uma mesma assembléia mineral. Evidencia-se, desta maneira, mecanismos de cristalização fracionada associados a processos de mistura de magma.

As análises químicas dos elementos maiores e traços, das rochas do MIA, permitem caracterizá-las como metaluminosas a ligeiramente peraluminosas, sugerindo uma participação crustal na sua geração. Os granitos do embasamento analisados, bem como os termos tonalíticos/granodioríticos da SMGp, ocupam o campo de granitóides pré-colisionais no diagrama R1 *versus* R2, de Batchelor & Bowden (1985), enquanto o restante das amostras da SMG situa-se no campo de soerguimento pós-colisional. As rochas da SC situam-se no campo tardi-orogênico do mesmo diagrama. Uma explicação para este fato seria a contaminação dos

termos granodioríticos da SMG pelo embasamento. As amostras do embasamento e dos granitos da SGG dispõem-se fora dos *trends* definidos pelas suítes principais, com estes últimos caracterizando-se por uma natureza peraluminosa. A maior parte das amostras da SC situa-se no campo dos granitos da série sub-alcalina de Lameyre & Bowden (1982).

Em consequência do acima exposto, conclui-se pela existência de duas suítes magmáticas distintas: uma menos evoluída, constituída pelas rochas monzodioríticas da SMG e, outra, mais evoluída, pelas rochas da SC. O conjunto dos dados obtidos sugere que, ou os granodioritos da SMG seriam mega-enclaves ou teriam sofrido uma contaminação mais acentuada pelas rochas do embasamento, herdando assim seu caráter pré-colisional. Os dados aqui discutidos sugerem duas hipóteses para a geração destas suítes: (i) estas suítes seriam cogenéticas e, (ii) não teriam relação de cogeneticidade. A primeira hipótese é sustentada pelas relações de campo, onde os magmas estudados revelam condições reológicas muito similares. Contudo, os vários diagramas geoquímicos apresentados sugerem evoluções diferentes para estas suítes. Isto poderia ser explicado pela interação química com as rochas encaixantes, que seria mais acentuada na SMG do que na SC. Este fato falsearia a interpretação deduzida a partir de diagramas tectônicos. A segunda hipótese é sugerida pelo comportamento diferenciado das suítes em vários diagramas (AFM, MgO *versus* Zr, Nb,Zn,Mn; SiO₂ *versus* Hf, V; ACNK *versus* ANK de Maniar & Piccoli, 1989; SiO₂ *versus* Na₂O + K₂O, de Irvine & Baragar, 1971 e A *versus* B de Debon & Le Fort, 1983). Isto é reforçado pelo comportamento diferenciado do Ni e Cr nas duas suítes, juntamente com diferenças importantes nas curvas de diagramas do tipo «Harker». Da mesma maneira, nota-se nos diagramas de elementos terras raras padrões diferenciados de evolução para os termos tonalíticos/granodioríticos, também refletidos nos diagramas multi-elementos. As amostras analisadas dos Maciços Ibituba e Lagoa Preta se ajustam aos *trends* das rochas básicas da SMG. Contudo, esta segunda hipótese dificilmente explica os seguintes aspectos: características reológicas similares (contatos interpenetrativos, magma *mixing* e *mingling*), idades relativas muito próximas do magmatismo (pré-, tardi- a pós-colisional) e mesmo grau de deformação das duas suítes.

Os cálculos geobarométricos efetuados a partir da composição de anfibólios, com base nas análises de química mineral, utilizando-se o método de Schmidt (1992), permitiram determinar pressões entre 6,0 e 6,7 Kbar. Alguns dados geotermométricos (geotermômetro de Wood & Banno 1973), a partir da composição de clinopiroxênio e ortopiroxênio, sugerem para a SMG temperaturas de até 876 °C e, para a SC, de 860 °C.

A paragênese considerada primária para rochas portadoras de piroxênio é plagioclásio + quartzo + ortopiroxênio + clinopiroxênio + ilmenita, ou seja, uma paragênese típica de magmas onde a cristalização ocorreu sob condições anidras de alta temperatura, com $PCO_2 \gg PH_2O$.

A contaminação crustal destas unidades revela-se pelo conteúdo elevado de HfO_2 nos zircões, sempre superior a 1, 3%, pelo conteúdo de ThO_2 , entre 0 e 2.000 ppm, i.e., sempre inferior a 3.000 ppm. Esta contaminação é também evidenciada pelos valores elevados em K, Nb, Y e Rb, bem como pelos valores negativos de ϵ_{Nd} (entre -8,07 e - 6,58). Contudo, cabe salientar que os valores de ϵ_{Nd} do embasamento não são tão negativos quanto os do MIA, o que dificilmente explicaria a origem destes valores somente a partir do embasamento com este tipo de assinatura isotópica. Assim, uma origem com contribuição mantélica para os magmas não pode ser descartada com base no estágio atual de conhecimento isotópico da região.

A comparação dos dados geoquímicos dos elementos maiores das rochas do MIA, com algumas suítes graníticas do Brasil e do exterior, mostra uma afinidade química muito grande com as rochas do Maciço Várzea Alegre, do Estado do Espírito Santo, com a «Associação Cálcico-alcálica Magnésio-Potássica» da região da Balagne, Córsega na França, com a «Intrusão Charnockítica de Arderey» das Ilhas Windmill, Antártica, bem como com os granitóides de Saint-Julien-la-Vêtre, do Maciço Central Francês. Estes últimos correspondem a exemplos de magmatismo cálcio-alcálico Alto-K (tipo-KCG de Barbarin 1999), gerado num ambiente tectônico do tipo-Caledoniano (Pitcher 1983 e 1987). A geração dos granitos do tipo-KCG são relacionados a períodos de relaxamento dentro do evento colisional ou na transição entre o regime compressional e extensional (Lameyre 1998 e Bonin 1990, *in*: Barbarin 1999).

Quando um pequeno volume de magma félsico é introduzido em um grande volume de magma máfico, ocorre o processo de *mixing*, enquanto, no caso contrário, a ou seja, introdução de pequenos volumes de magmas máficos em grandes volumes de magmas félsicos ocorre somente o processo de *mingling*, com o magma máfico se dissociando em pequenos glóbulos (Barbarin, 1988). O processo de *mixing* favorece a formação de rochas híbridas homogêneas, enquanto o de *mingling* favorece a formação de rochas heterogêneas (estruturas bandadas, associações *net-veined*, maior quantidade de enclaves e xenocristais), aspectos estes que são mais compatíveis com o que se verifica no Maciço de Aimorés.

Com relação ao magmatismo Neoproterozóico regional, tem sido caracterizado dois arcos magmáticos Neoproterozóicos: o Arco Magmático Rio Doce (Figueiredo & Campos

Neto 1993) e o Arco Magmático Rio Paraíba do Sul (Machado & Demange 1998). Os granitóides aqui estudados se ajustam melhor ao período magmático tardi- a pós-colisional do arco mais jovem.

Os dados geoquímicos permitem relacionar a geração das rochas do MIA a uma fusão de fontes com intensa participação crustal, alimentadas por fontes mantélicas. Estes mesmos dados indicam que, pelo menos em parte, estas rochas evoluíram em um ambiente tardi- a pós-colisional, relacionado ao estágios finais do Ciclo Brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL-RAHAM, A. M. 1994. Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline and peraluminous magmas. **Journal of Petrology**, v.35, n.2, p. 525-541.
- ABREU, S.F. 1943. Feições morfológicas e demográficas do litoral do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5, n.2, p. 215-234.
- ALMEIDA, F.F.M. 1967. Origem e evolução da plataforma brasileira. **Boletim. DNPM/DGM.Rio de Janeiro**, n.241, p. 1-36.
- ALMEIDA, F.F.M. 1971. Geochronological division of the precambrian of South America. **Revista Brasileira de Geociências**, v.1, n.1, p.13-21.
- ALMEIDA, F.F.M. 1976. Estruturas do pré-Cambriano Inferior Brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Ouro Preto, 1976. **Boletim de Resumos**. Ouro Preto, SBG. p. 201-202.
- ALMEIDA, F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v.7, n.4, p.349-364.
- ALMEIDA, F.F.M. 1981. O Cráton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRATON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS. **Anais**. Salvador, SBG - Núcleo da Bahia. p.1-10.
- ANDERSON, J.L. ; BENDER, E.E. 1989. Nature and origin of proterozoic A-type granitic magmatism in the south Western USA. **Lithos**, v.23, p.19-52.
- ANGELI, N. 1988. **Pesquisa dos jazimentos de níquel e geologia da Folha de Ipanema - Minas Gerais**. São Paulo, 290p. Tese (doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- BARBARIN, B. 1988. Field evidence for successive mixing and mingling between the Piolard Diorite and the Saint-Julien-la-Vêtre Monzogranite (Nord-Forez, Massif Central, France). **Canadian Journal Earth Science**, v.25, p.49-59.
- BARBARIN, B. 1990. Granitoids: main petrogenetic classifications in the relation to origin and tectonic setting. **Geological Journal**, v.25, p.227-238.
- BARBARIN, B. 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. **Lithos**, v.43, n.3, p. 605-626.

- BARBOSA, O. 1934. Resumo da geologia do Estado de Minas Gerais. **Boletim. Serviço Geológico do Estado de Minas Gerais. Rio de Janeiro**, n.3, p.1-40.
- BARBOSA, A. L. ; GROSSI SAD, J. H. 1983. Reinterpretação des "Séries" Juiz de Fora e Paralba, em Minas Gerais e Rio de Janeiro. *In*: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 2., Belo Horizonte, 1983. **Anais**. Belo Horizonte, SBG. p.1-15.
- BATCHELOR, R.A. ; P.BOWDEN, P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. **Chemical Geology**, v.48, p.43-55.
- BARBOSA, A.L.M.; SAD, J.H.G., TORRES, N. ; MELO, M.T.V. 1964. Geologia das quadriculas Barra do Cuité e Conselheiro Pena, MG. **Relatório do Arquivo Técnico. Divisão de Geologia e Mineralogia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Rio de Janeiro**, v.64, p.1-285.
- BARBOSA, A.L.M.; SAD, J.H.G.; TORRES, N.; MELO, M.T.V. 1966. **Geologia da região do médio Rio Doce**. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Rio de Janeiro. (Publicação, 2). p. 1-10.
- BATCHELOR, R.A.; BOWDEN, P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoids series using multicationic parameters. **Chemical Geology**, v.48, p. 43-55.
- BATEMAN, P.C. ; CHAPPELL, B.W. 1979. Crystallization, fractionation, and solidification of the Tuolumne Intrusive Series, Yosemite National Park, California. **Geological Society of American Bulletin**, v.90, p. 465-482.
- BAYER, P.; HORN, H.; LAMMERER, B.; SCHMIDT-THOMÉ, R.; WEBER-DEFENBACH, K.; WIEDEMANN, C.M. 1986. The Brasiliano Mobile Belt in Southern Espirito Santo (Brazil) and Its Igneous Intrusions. **Zentralblatt für Geologie und Paläontologie. Teil I**, v.9/10, p. 1429-1439.
- BELOUSSOV, V.V. 1966. Modern concepts of the structure and development of the earth's crust and the upper mantle of continents. **Quartely Journal of Geology Society. London**, v.122, p.293-314.
- BESANG, C.; EBERLE, W.G.; LAHNER, L.; LENZ, H.; MUELLER, P. ; PALSEN, S. 1977. Radiometrische Altersbestirnmungen an Gesteinen eus Minas Gerais und Espirito Santo, Brasilien. **Geologische Jahrbuch**, v. 24, p.149-179.
- BHATTACHARYYA, C. 1971. An evaluation of the chemical distinctions between igneous and metamorphic orthopyroxenes. **The American Mineralogist**, v. 56, p. 499-506.

- BILAL, E. ; FONTEILLES, M. 1991. Les granites anorogéniques de la région de Goiás (Brésil).
In: SEANCE SPECIALE DE LA SOCIETE GEOLOGIQUE DE FRANCE A LA MEMOIRE DE J. LAMEYRE. **Résumés**. Paris, p. 25.
- BILAL, E. ; NALINI Jr.,H.; HORN, H. A., CORREIA-NEVES, J.M. ; GIRET, A., FUZIKAWA, K. FERNANDES, M.L.; MELLO, F. M. ; MOUTTE, J. 1998. Granitóides Neoproterozóicos da Região do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., Belo Horizonte, 1998. **Anais**. Belo Horizonte, SBG. p.512.
- BILAL, E. ; NALINI Jr.,H. ; HORN, H. A., CORREIA-NEVES, J.M. ; GIRET, A., FUZIKAWA, K. ; FERNANDES, M.L. ;MELLO, F. M. ; MOUTTE, J. 1998. Neoproterozoic granitoid suites of Rio Doce Region, Brazil. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BASEMENT TECTONICS, 14., Ouro Preto, Brasil, 1998. **Abstracts : International Conference on Precambrian and Craton Tectonics**. Ouro Preto, Universidade Federal de Ouro Preto. p. 41-43.
- BILAL, E. ; HORN, H. ; NALINI Jr., H. A., CORREIA-NEVES, J.M. ; GIRET, A., FUZIKAWA, K. ; FERNANDES, M.L. ;MELLO, F. M. ; MOUTTE, J. 1999. The magmatism and tectonic relationships of the neoproterozoic granitoid suites in southeastern Brazil. *In*: **HUTTON SYMPOSIUM ABSTRACTS**, 4. p.133.
- BONIN, B. 1995. **Pétrologie endogène**. Paris, Ed Dunot. 336p
- BOYNTON, W.V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth element: meteorite studies. *In*: HENDERSON, P. (eds.). **Rare earth element geochemistry**. Amsterdam, Elsevier, p. 63-114.
- BOWEN, N.L. 1928. **The evolution of the igneous rocks**. New York, Dover Publications. 332 p.
- BRAJNIKOV, B. 1955. Matériaux pour servir a la carte géologique de État d'Espirito Santo. **Relatório Anual. Divisão Geografica**, v.1, n.1-3, p.11-176.
- BROWN, G.M. 1961. Co-existing pyroxenes in igneous assemblages: a re-evaluation of the existing data on tie-line orientations. **Geological Magazine**, v.98, n.4, p.333-343.
- BROWN, G.C. 1982. Calc-alkaline intrusive rocks: their diversity, evolution and relation to volcanic arcs. *In*: THORPE, R.S. (ed.). **Andesites**. Chichester, John Wiley & Sons. p.437-461.

- CAMPOS NETO, M.C. ; FIGUEIREDO, M.C.H. 1992. A orogênese Rio Doce. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., São Paulo, 1990. **Boletim de Resumos Expandidos**. São Paulo, SBG. v.1 p. 276-277.
- CAMPOS NETO, M.C. ; FIGUEIREDO, M.C.H. 1995. The Rio Doce orogeny, southeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v.8, n.2, p.143-162.
- CARVALHO, J.B. ; PEREIRA, L.M.M. 1997. Caracterização petrológica das rochas graníticas e charnockíticas da porção leste do Estado de Minas Gerais, baseada em dados Petrográficos. *In* : SIMPOSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 9., Ouro Preto, 1997. **Anais**. SBG, Minas Gerais. Boletim, 14, p.98-100.
- CHEVREMONT, P. ; GAGNY, C. ; LA ROCHE, H de ; PUPIN, J. P. : ROSSI, P. 1988. Representation cartographique du plutonisme acide et du plutonisme intermédiaire associé. **Documents du BRGM**, n. 152, p.1-61.
- CLARKE, D. 1993. **NEWPET** : a petrological program. Canada, Department of Earth Sciences/ Memorial University of Newfoundland.
- CLEMMENS, J.D. 1990. The granulite granite connexion. In « granulites and crustal evolution » **Nato Asi, Serie C : Mathematical and Physical Sciences**, v.311, p. 25-36.
- COLLINS, W.J. ; BEAMS, S.D. ; WHITE, A.J.R. ; CHAPPELL, B.W. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to Southeastern Australia. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 80, p.189-200.
- CONDIE, K. C. ; ALLEN, P. ; NARYANA, B.L. 1982. Geochemistry of the archean low to high grade transition zone, Southern India. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v.81, p.157-167.
- CORDANI, U. G. 1971. Síntese da geocronologia Pré-Cambriana da região costeira atlântica meridional da América do Sul. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., São Paulo, 1971. **Boletim de Resumos**. São Paulo, SBG. p. 179- 180.
- CORDANI, U.G; DELHAL, J.; LEDENT, D. 1973. Orogenèses superposés dans le precambrien du Brèsil sudoriental. **Revista Brasileira de Geociências**, v.3 , n.1, p.1-22.
- CORDANI, U. G.; BRITO NEVES, B. B. 1982. The geologic evolution of South America during the Archean and Early Proterozoic. **Revista Brasileira de Geociências**, v.12, n.1/3, p. 78-88.

- COUTINHO, J.M.V. 1994. O Pré-Cambriano do Vale do Rio Doce como fonte alimentadora de sedimentos costeiros. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., Porto Alegre, 1994. **Anais**. Porto Alegre, SBG. p.43-58.
- COX, K. G., BELL, J. D.; PANKHURST, R. J. 1979. **The interpretation of igneous rocks**. London, George Allen. 450p.
- DELHAL, J.; LEDENT, D.; CORDANI, U. 1969. Ages Pb/U, Sr/Rb et Ar/K des formations métamorphiques et granitiques du Sud-Est du Brésil (Etats de Rio de Janeiro et de Minas Gerais). **Annales de la Société Géologique de Belgique**, v.92, p.271-293.
- DEBON, F. ; Le FORT, P. 1983. A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. **Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Earth Sciences**, v.73, n.1, p.135-149.
- DEER, W. A., HOWIE, R.A. ; ZUSSMAN, J. 1962. **Rock-forming minerals, 1 : ortho and ring silicates**. London, Longman. 333p.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A. ; ZUSSMAN, J. 1993. **An introduction of rock-forming minerals**. London, Longman. 696p.
- DEMANGE, M., MACHADO, R. ; MONTEIRO, R.L., 1991. Les granitoïdes brésiliens des ceintures Ribeira (Etat de Rio de Janeiro) et Dom Feliciano (Etat du Rio Grande do Sul) (Brésil). *In*: COLLOQUE SUR LES GRANITES, Paris, 1991. Paris, Société Géologique de France.
- DE PAOLO, D. J. 1981. Trace element and isotopic effects of combined wall rock assimilation and fractional crystallization. **Earth Planetary Science Letters**, v.53, p.189-202.
- D'LEMOIS, R.S. ; BROWN, M. ; STRACHAN, R.A. 1992. Granite magma generation, ascent and emplacement within a transpressional orogen. **Journal of the Geological Society**. London, n.149, p. 487-490.
- DUCHESNE, J.C.; DEMAÏFFE, D. 1978. Trace elements and anorthosite genesis. **Earth and Planetary Science Letters**, v.38, p.249-272.
- DUCHESNE, J.C.; ROELANDTS, I.; DEMAÏFFE, D. ; WEIS, D. 1985. Petrogenesis of monzonitic dykes in the Egersund-Ogna anorthosite (Rogaland, S.W. Norway) : trace elements and isotopic (Sr,Pb) constraints. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 90, p. 214-225.

- DUCHESNE, J.C. ; MAQUIL, R. ; DEMAÏFFE, D. 1985. The Rogaland anorthosites : facts and epeculations. in « The Precambrian of Southern Norway ». **Nato Advanced Asi Series. Serie C**, v. 158, p.499-476 .
- DUSSIN, I. A., DUSSIN. T.M., VIEIRA, V.S., MACAMBIRA, M.J.B. 1998. Idade do Maciço de Lagoa Preta (Suíte Aimorés, MG/ES) : determinação de 207Pb/206Pb sobre zircões de hiperstênio granito. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., Belo Horizonte, 1998. **Anais**. Belo Horizonte, SBG. p.34.
- EBERT, H. 1953. Relatório. **Relatório Anual do Diretor 1954. Departamento Nacional da Produção Mineral.Divisão de Mineralogia**. Rio de Janeiro. p.55-7.
- EBERT, H. 1955. Pesquisas geológicas na parte sudeste de Minas Gerais e Nordeste. **Relatório Anual do Diretor 1955. Departamento Nacional da Produção Mineral.Divisão de Mineralogia**. Rio de Janeiro. p.79-89.
- EBERT, H. 1967. A estrutura pré-Cambriana do Sudoeste de Minas Gerais e áreas adjacentes. **Boletim. Paranaense de Geociências**. Curitiba, v.26, p. 42-45
- EVANS, B.W. 1982. Amphiboles in metamorphosed ultramafic rocks. **Reviews in Mineralogy**, v.9B, p. 98-11.
- FABRIÈS, J. 1978. Les Types paragenétiques des amphiboles sodiques dans les roches magmatiques. **Bulletin de Mineralogie**, v.101, p.155-165.
- FÉBOLI, W.L.; RIBEIRO, J.H.; HEINECK, C.A.; RAPOSO, F.O.; SOUZA, E.C. 1993. Estratigrafia. *In*: FEBOLI, W.L. (org.). **Programa Levantamentos Geologicos Basicos : Domingos Martins - Folha SF 24-V-A-III**. Brasília, DNPM/CPRM. p. 27-101.
- FIELD, D. ; DRURY, S.A. ; COPPER, D.C. 1980. Rare earth and LIL element fractionation in high-grade charnockitic gneisses, South Norway. **Lithos**, v. 13, p.281-289.
- FIGUEIREDO, M.C. ; CAMPOS NETO, M. 1993. Geochemistry of the Rio Doce magmatic arc, southeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.65, n. 1, p. 63-81.
- FIGUEIREDO, M.C.H.; CAMPOS NETO, M.C. ; RÊGO, I.T.S.F. 1989. Geoquímica dos terrenos Juiz de Fora, Paraíba do Sul e Costeiro nos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. *In*: WORKSHOP GEOQUIMICA ISOTOPICA, GEOCRONOLOGIA E LITOGEOQUIMICA DAS REGIÕES SUL E SUDESTE DO BRASIL, São Paulo, 1990. **Boletim de Resumos**. São Paulo, SBGq/IG-USP. p. 4145.
- FIGUEIREDO, M.C.H.; CAMPOS NETO, M.C. 1993. Geochemistry of the Rio Doce magmatic arc, Southeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 65, p. 63-81.

- FONSECA, M. J. G.; DA SILVA, Z. C. G., CAMPOS, D. A.; TOSATTO, P. 1979. Folhas Rio de Janeiro/Vitória/Iguape SF 23, SF 24, SG 23. Texto Explicativo. In: SCHOBENHAUS FILHO (coord.). **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo** : Brasília, DNPM. 240p.
- FONTES, C.Q.; NETTO, C.; COSTA, M.R.A.; BALTAZAR, O.F.; SILVA, S.L. ; VIEIRA, V.S. 1978. In: Projeto JEQUITINHONHA: relatório final. Belo Horizonte, DNPM/CPRM. (Relatório do Arquivo Técnico da DGM, n. 2787). v.1.
- FOUNTAIN, D.M. ; SALISBURY, N.H. 1981. Exposed cross-sections through the continental crust : Implications for crustal structure, petrology and evolution. **Earth Planetary Science Letters**, v.56, p. 263-277.
- GIRET, A. ; BONIN, B. ; LEGER, J.M. 1980. Amphibole composition trends in oversaturated and undersaturated alkaline plutonic ring complexes. **Canadian Mineralogist**, v.18, p.481-495.
- GROSSI SAD, U.H. ; LADEIRA, E.A. 1968. **Esboço tectônico do Estado de Minas Gerais : escala 1 :1000 000**. Belo Horizonte, Departamento Nacional da Produção Mineral.
- GUIDOTTI, C. 1984. Micas in metamorphic rocks. **Reviews in Mineralogy**, v. 13, p.357-456.
- GUIMARÃES, D. 1956. Os charnoquitos do Espírito Santo. **Boletim do Instituto de Tecnologia Industrial**, n.23, p.1-30.
- GUIMARÃES, D. 1961. A origem dos charnoquitos. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, v. 10, p.2, p.5-38.
- HAMMARSTROM, J.M. ; ZEN, E. 1986. Aluminium in hornblende: an empirical igneous geobarometer. **The American Mineralogist**, v. 71, p.1297-1313.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R. ; COIMBRA, A. M. 1975. The Ribeira folded belt. **Revista Brasileira de Geociências. São Paulo**, v.5, n.4, p.257-266.
- HASUI, Y., ALMEIDA, F.F.M. ; BRITO NEVES, B.B. 1978. As estruturas brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife, 1978. **Anais**. Recife, SBG. v.6, p.2423-2437.
- HELTZ, R.T. 1973. Phase relations of basalt magmas in their melting ranges at $P(H_2O) = 5$ Kbars as a function of oxygen fugacity I: mafic phases. **Journal of Petrology**, v.14, p.249-302.
- HEWITT, D A.; JONES, DR. 1984. Experimental phase relations of the micas. **Reviews in Mineralogy**, v.13, p.201-297.

- HOLLAND, T. H. 1900. The charnockite serie, a groupe of Archean hypersthenic rocks in peninsular India. **Geological Survey of India Memoir**, v.28, n.2, p.192-249.
- HORN, H. A. ; WEBER-DEFENBACH, K. 1987. Geochemical and genetic studies of three inversely zoned intrusive bodies of both alkaline and subalkaline composition in the Ribeira Mobile Belt (Espírito Santo, Brazil). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 17, n.4, p. 488-497.
- HORN, H.A.; GIRET, J.M.M.; CORREIA NEVES ; BILAL, E. 1997. The Ibituba-Itapina intrusive complex, northern State of Espírito Santo, southeast Brazil: Chemistry and preliminary dating. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 2., Salvador, 1997. **Extended abstracts and Program**. Salvador, Superintendência de Geologia e Recursos Minerais. p.206-208.
- HUBBARD, F.H. ; WHITLEY, JE. 1979. REE in charnockite and associated rocks, southwest Sweden. **Lithos**, v. 12, p. 1-11.
- IRVINE, T. N. ; BARAGAR, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. **Canadian Journal of Earth Sciences**, v.8, p.523-548.
- JANASI, V A. 1992. **Rochas sieníticas e mangerítico-charnoquíticas neoproterozóicas da região entre Caldas e Campestre (MG): aspectos petrológicos**. São Paulo, 298p. Tese(doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- JENKINS, D.M. 1983. Stability and compositions relations of calcic amphiboles in ultramafic rocks. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 83, p.375-384.
- JOHNSON, M. C. ; RUTHERFORD, M. J. 1989. Experimental calibration of the aluminium in hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California) volcanic rocks. **Geology**, v.17, p.837-841.
- LAGARDE, J.L., CAPDEVILA, R. ; FOUCARDE, S. 1992. Granites et collision continentale: l'exemple des granitoïdes carbonifères dans la chaîne hercynienne ouest-européenne. **Bulletin de la Societe Géologique de France**, v.163, p.597-610.
- LAMBERT, I. B. ; HEIER, K.S. 1968. Geochemical investigations of deep seated rocks in the Australian Shield. **Lithos**, v.1, p.30-53.
- LAMEGO, A.R. 1949. A faixa costeira de Vitória. **Boletim. Departamento Nacional da Produção Mineral. Divisão de Geologia e Mineralogia**. Rio de Janeiro, n.168, p.1-68.

- LAMEYRE, J., BOWDEN, P. 1982. - Plutonic rock types series: discrimination of various granitoid series and related rocks. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v.14, p.169-186.
- LA ROCHE, H. de 1964. Sur l'expression graphique des relations entre la composition chimique et la composition minéralogique quantitative des roches cristallines. Présentation d'un diagramme destiné à l'étude chimico-minéralogique des massifs granitiques ou granodioritiques. **Science de la Terre**, v. 9, p.293-337.
- LEAKE, B. E. 1978. Nomenclature of amphiboles. **The American Mineralogist**, v.63, p.1023-1052.
- LEAKE, B. E. 1990. Granite magmas: their sources, initiation and consequences of emplacement. **Journal Geological Society. London**, v.147, p. 579-589.
- LE FORT, P. 1981. Manaslu leucogranite: a collision signature of the Himalaya - a model for its genesis and emplacement. **Journal of Geophysical Research. Section B**, v. 86, n.11, p.10545-10568.
- LE FORT, P. ; CUNEY, M. ; DENIEL, C. ; FRANCE-LANORD, C. ; SHEPPARD, S.M.F. ; UPRETI, B.N. ; VIDAL, P. 1987. Crustal generation of the himalayan leucogranites. **Tectonophysics**, v.134, p.39-57.
- LE MAITRE, R.W. (ed.) 1989. **A classification of igneous rocks and glossary of terms : recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematic of igneous rocks**. Oxford, Blackwell. 193p.
- LUDKA, I.P.; WIEDMANN, C.M. ; TÖPFNER, C. 1997. On the origin of Incompatible element enrichment in the Venda Nova pluton, State of Espírito Santo, Southeast Brazil. *In* : INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 2., Salvador, 1997. **Extended Abstracts and Program**. Salvador, Superintendência de Geologia e Recursos Minerais. p. 127-128.
- MACHADO FILHO, L.; RIBEIRO, M. W.; GONZALES, S. R.; SCHENINI, C. A.; SANTOS NETO, A.; PALMEIRA, R. C. B.; PIRES, J. L.; TEIXEIRA, W.; CASTRO, H. E. F. 1990. Geologia. *In*: Projeto RADAMBRASIL : Folhas SF.23/24 Rio de Janeiro/Vitoria. Rio de Janeiro, MME. p.27-304 (Levantamento de Recursos Naturais, 32).

- MACHADO, R. 1990. Batólito Serra do Orgãos: uma entidade plutônica calcio-alcalina sin-colisional de arco magmático brasileiro do cinturão Ribeira no Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Boletim de Resumos Expandidos**. Natal, SBG. p.221.
- MACHADO, R. 1997. **Litogeoquímica e tectônica dos granitóides Neoproterozóicos do cinturão Paraíba do Sul no Estado do Rio de Janeiro**. São Paulo, 215p Tese (livre docente) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MACHADO, R. ; DEMANGE, M. 1991. Contexto tectônico e estrutural dos granitóides brasileiros do Estado do Rio de Janeiro. In: SIMPOSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTONICOS, 3., 1991. **Boletim de Resumos Expandidos**. Rio Claro, SBG. p.64-65.
- MACHADO, R. ; ENDO, I. 1993a. O cinturão de cisalhamento *atlântico*: um exemplo de tectônica transpressional Neoproterozóica. In: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 7. / SIMPOSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTONICOS, 4./ WORKSHOP GEOLOGIA ESTRUTURAL DOS MINERIOS DE FERRO, Belo Horizonte, 1993. **Anais**. Belo Horizonte, SBG-Nucleo Minas Gerais. P.188-191.
- MACHADO, R. ; ENDO, I. 1993b. A megaestrutura em flor positiva do vale do rio Paraíba do Sul no Rio de Janeiro. In: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 3., Rio de Janeiro, 1993. **Atas**. Rio de Janeiro, SBG-Nucleo SP/RJ, Petrobrás, CPRM, DRM. p.208-213.
- MACHADO, R. ; DEMANGE, M. 1994. Classificação estrutural e tectônica dos granitóides Neoproterozóicos do Cinturão Paraíba do Sul no Estado do Rio de Janeiro. **Boletim do IG-USP. Série Científica**, v. 25, p.81-96.
- MACHADO, R. DEMANGE, M. ; VIALLETE, Y. 1996. Idades geocronológicas Rb/Sr da granitogênese brasileira no segmento setentrional da faixa Ribeira, Estado do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., Salvador, 1996. Salvador, SBG. v.1, p.38-40.
- MACHADO, R. ; DEMANGE, M. 1998. Caracterização geoquímica e tectônica dos granitóides pré-colisionais neoproterozóicos do Cinturão Paraíba do Sul no Estado do Rio de Janeiro. **Publicação Especial. Sociedade Brasileira de Geologia**, n. 5, p.21-39.
- MANIAR, P. D. ; PICCOLI, P.M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. **Geological Society of America Bulletin**, v. 101, p. 635-643.
- MARTINGNOLE, J. 1979. Charnockite genesis and the proterozoic crust. **Precambrian Research**, v.9, p. 303-310.

- McCULLOCH, M.T. ; CHAPPELL, B.W. 1982. Nd isotopic characteristics of S- and I-type granites. **Earth Planetary Science Letters**, v.58, p.51-64.
- MEDEIROS, S. R. 1993. **Geologia, petrologia e geoquímica do complexo intrusivo de Várzea Alegre, ES**. Rio de Janeiro, 143 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- MEDEIROS, S.R.; WIEDEMANN, C.M. 1999. Condições de cristalização (P e T) de magmas cálcio-alcálicos de médio a alto-K no Cinturão Ribeira - estudo do Complexo Intrusivo de Várzea Alegre (CIVA), no Espírito Santo. *In* : CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 5./ CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 7., Porto Seguro, BA, 1999. **Anais**. Porto Seguro, SBGq. p.552-554.
- MEDEIROS, S.R., MENDES, J.C. ; WIEDEMANN, CM. 1994. Feições diagnósticas do complexo intrusivo de Varzea Alegre, ES. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., Balneário Camboriú, SC, 1994. **Boletim de Resumos Expandidos**. Balneario Camboriu, SBG. v.1, p.140-141.
- MELLO, F. M. e MACHADO, R. 1997. Dados preliminares sobre a estrutura da suíte plutônica de Aimorés. Simpósio de Geologia do Sudeste, Itatiaia. 124-125
- MENDES, J.C.; WIEDEMANN, CM.; FIGUEIREDO, M.CM 1994. Enderbitos e hiperstênio-gabros do maciço de Venda Nova-ES: considerações petrográficas e geoquímicas. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., Balneário Camboriú, SC, 1994. **Boletim de Resumos Expandidos**. Camboriu, SBG. v.1, p.133-134
- MENDES, J.C.; WIEDEMANN, C.M. ; McREATH, I. 1997. Charnockitic magmatic rocks from the Várzea Alegre massif, State of Espírito Santo, southeast Brazil : conditions of formation. *In* : INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 2., Salvador, BA, 1997. **Extended Abstracts and Program**. Salvador, Superintendencia de Geologia e Recursos Minerais. p.130-132.
- MENDES, J.C. 1996. **Caracterização petrogenética das bordas Noríticas/Charnoenderbíticas dos Maciços Intrusivos de Venda Nova e Várzea Alegre, ES**. São Paulo, 238p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- MENESES, P. R. ; PARADELLA, W. R. 1978. Síntese geológica preliminar da parte sul do Estado do Espírito Santo. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 1., São José dos Campos, SP, 1978. *Anais*. São José dos Campos, INPE/CNPq. p. 479-499.
- MICHOT, P. 1951. Essay sur la géologie de la catazone. *Bulletin de la Academie Royal Belge Cl. des Sciences*, v.37, p. 260-276.
- MICHOT, P. 1960. La géologie de la catazone : le problème des anorthosites, la palingénèse basique et la tectonique catazonale dans le Rogaland méridional (Norvège méridional). *Norges Geologiske Undersogelse*, v.212, p. 1-54.
- MICHOT, P. 1965. Le magma plagioclasiq. *Geologische Rundschau*, v.54, p.956-976.
- MIDDLEMOST, E. A. K. 1985. *Magmas and magmatic rocks*. Longman, New York. 206p.
- MONTEL, J. M. 1986. Experimental determination of the solubility of Ce-monazite in $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O-Na}_2\text{O}$ melts at 800°C, 2 kbar, under H_2O -saturated conditions. *Geology*, v.14, p.659-662.
- MONTEL, J. M. 1993. A model for monazite/melt equilibrium and application to the generation of granitic magmas. *Chemical Geology*, v.110, p.127-146.
- MONTEL, J.M. ; VESCHAMBRE, M. ; NICOLLET, C. 1994. Datation de la monazite à la microsonde électronique. *Compte Rendus de l' Academie des Sciences. Paris*, 318(II):1489-1495.
- MONTEL, J.M. ; FORET, S., VESCHAMBRE, M. ; NICOLLET, C. & PROVOST, A. 1996. Electron microprobe dating of monazite. *Chemical Geology*, 131: 37-53.
- MOREAU, C. 1982. *Les complexes annulaires anorogéniques à suites anorthositiques de l'Aïr central et septentrional (Niger)*. Thèse (doctorat), Univ. Nancy I.- 356 p. (Inédita).
- NACHIT, H. ; RAZAFIMAHEFA, N. ; STUSSI, J.M. ; CARRON, J.P. 1985. Composition Chimique des biotites et typologie magmatique des granitoïdes. *Comptes Rendus Academie Sciences Paris. Serie II*, v. 301, n.11, p.813-818.
- NACHIT, H. 1986. *Contribution à l'étude analytique et des biotites des granitoïdes : applications typologiques*. Brest, 93p. Thèse (doctorat).
- NALINI Jr., H. A. 1997. *Caractérisation des suites magmatiques néoproterozoïques de la région de Conselheiro Pena et Galiléia (Minas Gerais, Brésil)*. Saint Etienne, 237p. Thèse (doctorat). Ecole des Mines de Saint Etienne.

- NESBITT, H.W. 1980. Genesis of the New Quebec and Adirondack granulites : evidence for their production by partial melting. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 72, p.303-310.
- NEWTON, R.C.; SMITH, J. V. ; WINDLEY, B.F. 1980. Carbonic metamorphism, granulites and crustal growth. **Nature**, v.288, p.45-50.
- ORSINI, J.B. 1980. **Le batholite Corso-sarde: un modèle de batholite hercynien**. Thèse (doctorat) - Université Marseille III.
- PEACOCK, M.A. 1931. Classification of igneous rock series. **Journal of Geology**, v.39, p.54-67.
- PEARCE, J.A.; HARRIS, N.B.W. ; TINDLE, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. **Journal of Petrology**, v.25, n.4, p.956-983
- PEDROSA-SOARES, A.C.; NOCE, C.M.; VIDAL, P.; MONTEIRO, R.L.B.P. & SALAZAR, E. 1992. Toward a new tectonic model for the Late-Proterozoic Araçuaí (SE Brazil) - West Congolian (SW Africa) belt. **Journal of South American Earth Sciences**, v.6, n. 1/2, p.33-47.
- PETERSEN, J.S. 1980a. Rare-earth element fractionation and petrogenetic modelling in charnockitic rocks, southwest Norway. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v.73, p.161-172.
- PETERSEN, J.S. 1980b. The zoned Kleivan granite and end member of the anorthosite suite in Southwest Norway. **Lithos**, v. 13, p.79-95
- PICHAMUTU, C.S. 1969. Nomenclature of charnockites. **India Mineralogist**, v. 10, p. 23-35.
- PINHEIRO, J.C.F.; BIONDI, J.C. ; PINHEIRO, S.O. 1978. Granulitos e/ou charnockitos do cinturão granulítico Atlântico - Maciços de Aimorés, Itapina, Itaguaçu e Itanhomi. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife, 1978. **Anais. Recife, SBG.** v.3, p.1288-1302.
- PRIDE, C. ; MUECKE, G. K. 1980. Rare earth element geochemistry of the Scourian Complex, NW Scotland - evidence for the granite-granulite link. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 73, p. 403-412.
- PUPIN, J.P. 1992. Les zircons des granites océaniques et continentaux : couplage typologie-géochimie des elements en traces. **Bulletin de la Societe Géologique de France**, v.163, n.4, p.495-507.

- KAIYI, W.; YUEHUA, Y.; RUIYING, Y.; YIFEI, C. 1985. REE geochemistry of early precambrian charnockites and tonalitic-granodioritic gneisses of the Qianan region, eastern Hebei, north China. **Precambrian Research**, v.27, p. 63-84.
- KAWASHITA, K. 1972. **O método Rb/Sr em rochas sedimentares, aplicação para as bacias do Paraná e Amazonas**. São Paulo, 11p. Tese (doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- KILKPATRICK, J. A. ; ELLIS, D. J. 1992. C-type magmas: igneous charnockites and their extrusive equivalents. **Transactions Royal Society Edinburgh. Earth Sciences**, v. 83, p.155-164.
- KING, L.A 1956. **Geomorfologia do Brasil Oriental**. Rio de Janeiro, IBGE. 265p.
- QUENSEL, P. 1951. The charnockite series of the Varberg district on the southwest coast of Sweden . **Arkiv Min. Geol.** , v.1, p. 229-332.
- REGO, I.T.S.F. 1989. **Petrologia e geoquímica da unidade charnoquítica Bela Joana, São Fidélis, RJ**. São Paulo, 348p. Tese (doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- RICHARD, L. L. 1995. **MINPET geological software** - mineralogical and petrological data processing system.
- ROLLINSON, H. 1993. **Using geochemical data: evaluation, presentation. interpretation**. New York, Longman. 352p.
- ROSIER, G.F. 1957. A geologia da Serra do Mar entre os picos de Maria Comprida e do Desengano. **Boletim. Departamento Nacional da Produção Mineral. Divisão de Geologia e Mineralogia**. Rio de Janeiro, n. 166, p.1-58.
- ROSIER, G.F. 1965. Pesquisas geológicas na parte Oriental do Estado do Rio de Janeiro e na parte vizinha do Estado de Minas Gerais. **Boletim. Departamento Nacional da Produção Mineral. Divisão de Geologia e Mineralogia**. Rio de Janeiro, n. 122, p.1-41.
- ROSSI, P. 1986. **Organisation et genèse d'un grand batholite orogénique: le batholite calco-Alcalin de la Corse**. Toulouse, 300 p. Thèse (doctorat) d'Etat, Université de Toulouse.
- SAXENA, SK. 1968. Chemical study of phase equilibria in charnockites, Varberg, Sweeden. **The American Mineralogist**, v. 53, p.1674-1695.

- SCHIMDT, M.W. 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure : an experimental calibration of the Al-in-hornblend barometer. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v.110, p. 304-310.
- SCHOBENHAUS, C.; ALMEIDA CAMPOS, D.; DERZE, G.R. ; ASMUS, H.E. 1984. **Geologia do Brasil** : texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da area oceânica adjacente. 501 p.
- SIGA JR., O.; TEIXEIRA, W.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. ; DELHAL, J. 1982. O padrão geológico-geocronológico das rochas de alto grau da parte setentrional da faixa Ribeira, a norte do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *In*: CONGRESO LATINOAMERICANO DE GEOLOGIA, 5., Buenos Aires, 1982. **Acta**. Buenos Aires. v.1, p.349-370
- SIGA JR., O.; TASSINARI, C.G. ; VAN SCHMUS, WR. 1989. Caracterização geocronológica de maciços charnoquíticos do sudeste brasileiro. *In*: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 1., Rio de Janeiro, 1989. **Boletim de resumos**. Rio de Janeiro, SBG-Núcleo RJ-SP. p. 90-91.
- SILVA, J. N. ; FERRARI, P. G. 1976. Projeto Espírito Santo : relatório final. Belo Horizonte, DNPM/CPRM . 285 p.
- SILVA, A. S. ; MIGNON, R. A. ; PIMENTEL, E. C. 1978. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo** Folha SE.23 - Belo Horizonte. Brasília, DNPM-DGM.
- SILVA, J.M.R.; LIMA, M.I.C.; VERONESE, V.F.; RIBEIRO JR., R.N.; ROCHA, R.M. ; SIGA JR., O. 1987. Geologia. *In*: Projeto RADAMBRASIL, Folha SE.24 - Rio Doce. Brasília, MME. (Levantamento de Recursos Naturais, 34).
- SLUITNER, Z. ; WEBER-DEFENBACH, K. 1989. Geochemistry of charnoenderbitic granulites and associated amphibolitic gneisses in the coast region of Espírito Santo, Brazil. **Zentralblatt für Geologie und Paläontologie. Teil I**, n.(5/6), p. 917-931.
- SMITH, J.V. ; NEWTON, R.C. ; JANADHAN, A.S. 1979. Significance of granulite metamorphism for stabilization of planetary crust : charnockite formation at Kabbaldurga, S. India : Roles of CO₂ and H₂O ; speculations on Venus and Mars (Resum). **Lunar and Planetary Science X**, p. 1134-1136.

- SOLLNER, F.; LAMMERER, B.; WEBER-DIEFENBACH, K. E HANSEN, B.T. 1987. The Brasiliano Orogenesis: Age determinations (Rb-Sr and U-Pb) in the Costal Mountain Region of Espírito Santo, Brazil. **Zentralblatt für Geologie und Paläontologie. Teil I**, n. (7/8), p. 729-741.
- SOLLNER, F.; LAMMERER, B. ; WEBER-DIEFENBACH, K. 1989. Brasiliano Age of a charnoenderbitic Rock Suite in the Complexo Costeiro (Ribeira Mobile Belt), Espírito Santo/Brazil: evidence From U-Pb Geochronology on Zircons. **Zentralblatt für Geologie und Paläontologie. Teil I**, n. (5/6), p. 933-945.
- STEIGER, R. H. ; JAEGER, E. 1977. Subcommittee on geochronology: convention on the use of decay constants in geo and cosmochemistry. **Earth Planetary Science Letters**, v.36, p.359-362.
- STRECKEISEN, A. 1976. To each plutonic rock its proper name. **Earth Science Reviews**, v.12, p.1-33.
- TASSINARI, C.C.G. 1988. **As idades dos eventos metamórficos da porção sudeste do estado de São Paulo e sua evolução crustal**. São Paulo, 236p. Tese (doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- THIÉBLEMONT, D. ; CABANIS, B. 1990. Utilisation d'un diagramme (Rb/100)-Tb-Ta pour la discrimination géochimique et l'étude pétrogénétique des roches magmatiques acides. **Bulletin de la Societe Geologique de France. Serie B**, v.6, n.1, p. 23-35.
- THOMPSON, R.N. 1982. British Tertiary volcanic province. **Scotland Journal Geology**, v. 18 , p. 49-107
- TOUIL, A. 1994. **Geochimie et mineralogie comparees d'associations acid-basiques de type magnesiopotassique et calco-alkalin: exemple du Massif de L'Agly**. Saint Etienne, 502p. These (doctorat), Ecole des Mines de Saint Etienne-Paris.
- TOURET, J. 1974. Géologie des domaines cristallins. **Annales de la Societe Géologique de Belgique**, vol. Jub. P. Michot, p. 267-287.
- TOURET, J. 1971. Les faciès granulite en Norvège méridionale . II . Les inclusions fluides. **Lithos**, v. 4, p. 423-436.
- TULLER, M.P.(org.) 1993. **Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil**, Folha SE.24-Y-C-VI Colatina : texto explicativo. Brasília, DNPM/CPRM. p.1-163.
- VIEIRA, V. S. (org.) 1993. **Programa de levantamentos geologicos básicos do Brasil**, Folha SE24-Y-C-V-Baixo Guandu. Brasília, DNPM/CPRM. p.1-204.

- VIEIRA, V.S.; SOUZA, E.C.; RAPOSO, F.O.; SILVA, L.C.; HEINECK, C.A. 1993. Geologia da Folha Baixo Guandu. In: Vieira, V. S. (org.). **Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil**, Folha SE24-Y-C-V-Baixo Guandu. Brasília, DNPM/CPRM. p.15-134.
- VIEIRA, V.S.; RAPOSO, F.O.; DELGADO, I.M. 1993. A granitogênese Brasileira na evolução do cinturão móvel Costeiro (cinturão móvel Ribeira) em áreas dos Estados do Espírito Santo e Minas Gerais. In: **WORKSHOP SOBRE MAGMATISMO GRANÍTICO E MINERALIZAÇÕES ASSOCIADAS. Resumos Expandidos e Roteiro de Excursão**. (Publicação Especial da Academia Brasileira de Ciências). p. 83-86.
- WATSON, E.B.; HARRISON, T.M. 1983. zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. **Earth Planetary Science Letters**, v. 64, p. 295-304.
- WATSON, E.B.; HARRISON, T.M. 1984. Accessory minerals and the geochemical evolution of crustal magmatic systems: a summary and prospectus of experimental approaches. **Physics of the Earth and Planetary Interiors**, v.64, p. 295-304.
- WEISS, D. 1983. Pb isotopes in Ascension Island rocks: oceanic origin for the gabbroic to granitic plutonic xenoliths. **Earth Planetary Science Letters**, v. 62, p. 273-282.
- WELLS, P.R.A. (1977) - Pyroxene thermometry in sample and complex system. **Contributions to Mineral and Petrology**, v.12, p.245-314.
- WENDTLANDT, R.F. 1981. Influence of CO₂ on melting of model granulite facies assemblage: a model for the genesis of charnockites. **The American Mineralogist**, v. 66, p.1164-1174.
- WHALEN, J.B.; CURRIE, K.L.; CHAPPELL, B.W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 95, p.407-419.
- WIEDEMANN, C.M. 1992. Evolução magmática Brasileira do Cinturão Móvel Ribeira no Estado do Espírito Santo. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, 37., São Paulo, 1992. **Boletim de Resumos Expandidos**. São Paulo, SBG. p. 376-377.
- WIEDEMANN, C. M. 1993. The evolution of the Early Paleozoic, Late- to Post-Collisional Magmatic Arc of the Coastal Mobile Belt, in the State of Espírito Santo, eastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências. Suplemento**, v. 1, p. 163-181.

- WIEDEMANN, C.; BAYER, P.; HORN, H.; LAMMERER, B.; LUDKA, IP.; SCHMIDT-THOMÉ, R. ; WEBER-DEFENBACH, K. 1986. Maciços intrusivos do Espírito Santo e seu contexto regional. **Revista Brasileira de Geociências**, v.16, n.1, p. 24-37.
- WIEDEMANN, C.; PENHA, H. ; SCHMIDT-THOMÉ 1987. Granitoids of Espírito Santo and Rio de Janeiro States. **Revista Brasileira de Geociências**, v.17, n.4, p. 674-689.
- WIEDEMANN, C. ; MENDES, J.C. 1993. Field evidence of magma mixing in the fate Brasiliano magmatic arc of Espírito Santo, Eastern Brazil. In: **WORKSHOP SOBRE MAGMATISMO GRANÍTICO E MINERALIZAÇÕES ASSOCIADAS. Resumo Expandido e Roteiro de Excursão**. (Publicação Especial da Academia Brasileira de Ciências). p. 91-116.
- WIEDEMANN, C.; LAMMERER, B.; MENDES, J.C. ; LUDKA, IP. 1995. The evolution of the Brasiliano/Panafrican mobile belt along the central part of the Brazilian coast (Espírito Santo). In: **CENTENNIAL GEOCONGRESS**, Johannesburg, South Africa, 1995. **Extended Abstracts**.
- WIEDEMANN, C. ; MENDES, J.C. ; MOURA, J.C. ; COSTA NASCIMENTO, R.C. ; LUDKA, I.P. 1997. Granitoids of the Espírito Santo Magmatic Arc. In: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 2.**, Salvador, 1997. **Field Guide**. Salvador, Superintendencia de Geologia e Recursos Minerais. p.57-76.

ANEXO I

Metodologia

1 - Separação dos zircões e monazitas

A separação dos zircões e das monazitas foi executada nos laboratórios de preparação de amostras do Instituto de Geociências-USP (São Paulo-SP), do Instituto de Geologia da UNESP (Rio Claro-SP) e da Escola de Minas de Saint Etienne (França)

Foram executadas as seguintes operações:

- 1- Moagem de uma amostra de 15 kg em média em um moinho de mandíbula;
- 2- Moagem pelo moinho de disco;
- 3- Peneiramento e separação da fração de 100-250 «meshs»;
- 4- Separação de uma fração pesada utilizando-se uma bateia mecânica (UNESP-Rio Claro);
- 5- Separação dos minerais magnéticos com imã de mão;
- 6- Separação dos minerais de diferentes susceptibilidades magnéticas, utilizando separador magnético FRANTZ, com uma inclinação longitudinal de 10°, e amperagens sucessivas de 0,2 , 0,5, 1,0 e 1,5 A;
- 7- Separação dos zircões e monazitas utilizando lupa binocular;
- 8- Colocação dos zircões e monazitas em uma lâmina com resina;
- 9- Polimento manual da lâmina da etapa precedente.

2.1 - Espectometria de emissão (ICP - *Induced Coupled Plasma*)

Resumo do procedimento para solubilização das amostras:

- 1- Pesagem de 250 mg da amostra em béquer de teflon de 30ml. Pesagem do béquer vazio e da tampa para calcular a taxa de diluição no final do procedimento;
- 2- Adição de 1ml de HNO₃ e depois 3ml de HCl. Secagem (100°C), com o béquer aberto;

- 3- Após a secagem das amostras secarem, adição de 2ml HF. Secagem a 100°C com o béquer aberto;
- 4- Adição de 2ml de HF, com fechamento dos béqueres por um período de 2 a 3 dias (120°C);
- 5- Após o resfriamento, abertura dos béqueres e secagem sobre a placa a 120°C;
- 6- Adição de 2ml de HNO₃. Secagem a (120°C), com os béqueres abertos;
- 7- Adição de 2ml de HNO₃. Secagem a (120°C), com os béqueres abertos;
- 8- Adição de 2ml de HCL. Secagem a (120°C), com os béqueres abertos;
- 9- Retirada dos béqueres da placa, adição de 25 ml de HCl a 2M , fechamento dos mesmos, agitar e deixar algumas horas sobre a placa à 100°C.
- 10- Retirada dos béqueres da placa, deixando-os abertos, proceder a pesagem.

Devido às numerosas interferências das terras raras, entre elas e entre outros elementos metálicos (Fe e Al, em particular), mas também devido ao fato de que estas possuem valores ínfimos nas amostras, as terras raras são separadas da solução matriz utilizando-se resinas de troca de iônica. Uma alíquota da solução mãe, precedentemente empregada para a dosagem dos elementos maiores e de certos elementos tracos, é colocada em uma coluna de resina de troca iônica.

3 - Fluorescência de Raios-X

Aparelho utilizado é um espectômetro de dispersão de comprimento de onda, marca (WDS) Phillips PW1404. Para as dosagens dos elementos maiores, calcina-se 1g da amostra durante 2hs a uma temperatura de 960°C. A perda ao fogo é calculada pela diferença de peso da amostra antes e depois da calcinação. Em seguida, mistura-se 0,3g do pó calcinado com 0,3g de nitrato de Lítio (LiNO₃) e com 5,4g de tetra borato de Lítio (Li₂B₄O₇). Em um forno de indução atinge-se a fusão desta mistura depois de 8min, com temperatura média de 1100°C. O fundido assim obtido é colocado em uma pastilha de platina de 30mm de diâmetro.

A dosagem dos elementos traços é feita em pastilhas preparadas, pesando-se 10g de amostra moída e 30g de cêra marca «Hoescht». Esta mistura é pressionada em um moinho de aço durante 10s, sob uma pressão de 20 ton.

Os erros para os elementos maiores se situam entre 1% e 5%. Os limites de detecção para os elementos traços são; 2 ppm para o Ni, Cu, Zn, Ga e Rb; 1.5 ppm para o Sr, Y, Zr, Nb; 3 ppm para o Hf, W, Pb, Th, U e Sn; 5 ppm para o Cs; 3.5 ppm para o Ba; 7.5 ppm para o La e 8 ppm para o Ce.

Métodos de análise dos minerais

1-Microsonda

As microanálises quantitativas dos elementos constituintes das fases minerais foram efetuadas na Microsonda Camebax SX-100 do *Departament des Sciences de la Terre* da Universidade Blaise-Pascal em Clermont-Ferrand (França), e na Microsonda Camebax SX-50 da Universidade Paris-VI (Jussieu), em Paris, e na Microsonda marca «Cameca» da Escola de Minas de Paris, Fontainebleau (França). Estas análises são executadas em lâminas delgadas metalizadas em Carbono. As condições analíticas para a maior parte dos minerais são as seguintes: tensão de aceleração de 15 KV; intensidade de corrente de 15nA; sonda focalizada sob uma superfície de 1µm² e um tempo de contagem de 20s.

2-Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

O Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) constitui uma importante ferramenta para o estudo dos minerais, sobretudo para uma análise inicial qualitativa para os de tamanho reduzido que dificilmente seriam identificados no microscópio óptico.

O MEV utilizado (JEOL JSM840 da EMSE) está acoplado a um Espectômetro à dispersão de energia (Microanalisador Tracor TN 5500), que capta os fótons X emitidos pela amostra. Obtém-se, a partir desse espectômetro, análises pontuais qualitativas.

ANEXO II

Análises Químicas das Rochas

Suíte	SMG								
Unidade	SMGp						SMGt		
	Quartzo-Monzodiorito	Monzodioritos			Tonalitos a Granodioritos			Quartzo-Monzodioritos com Titanita	
Amostra	FAM32	FAM28	FAM52	FAM85	FAM21G	FAM21	FAM21D	FAM71	FAM47
Óxidos (%)									
SiO ₂	50,05	50,73	51	51,62	62,94	63,66	64,73	55,41	55,78
TiO ₂	3,39	2,92	2,94	2,66	0,78	0,83	0,76	2,15	2,33
Al ₂ O ₃	15,29	15,19	15,35	16,05	16,22	16,58	16,25	16,77	16,41
Fe ₂ O ₃ *	13,76	13,65	13,7	12,71	6,06	6,63	5,98	9,14	9,68
MnO	0,19	0,2	0,2	0,19	0,1	0,12	0,1	0,13	0,14
MgO	3,05	3,46	3,51	2,88	1,76	1,92	1,8	2,94	2,3
CaO	7,35	7,37	7,41	7,29	4,47	4,62	4,49	5,79	5,5
Na ₂ O	3,14	3,27	3,22	3,23	3,35	3,36	3,32	3,46	2,96
K ₂ O	1,77	2,2	2,19	2,43	2,04	1,82	1,96	3,24	2,84
P ₂ O ₅	1,29	1,38	1,4	1,24	0,22	0,24	0,21	0,8	0,95
P.F.	0	0	0	0,21	1,31	1,18	1,06	0,57	0,59
Total	99,29	100,36	100,91	100,51	99,25	100,96	100,68	100,39	99,48
#Mg	30,51	33,43	33,67	30,98	36,52	36,45	37,35	38,92	32
ACNK	0,75	0,72	0,73	0,76	1,02	1,04	1,03	0,85	0,91
Traços(ppm)									
Ba	1344,9	1816,9	1580,3	1659,5	721,2	534,5	608,1	1367,4	1508,6
Rb	35,3	42,7	32,4	37,1	61,1	66,2	63,7	82,2	80,5
Sr	642,6	529,6	578,5	650,7	213,2	203,8	209	523,7	488,2
Y	32,3	50,8	46,8	47,8	22,5	22	18,5	30,9	40,8
Zr	371	556,6	496,7	469,2	198,2	205,6	189,1	414,2	431,8
Nb	38,6	51,8	44,9	43,6	14,8	27,7	21	34	36,3
Th	2,2	2,2	2,9	6,4	5	6,9	4,9	9,1	3,7
Pb	10,4	15,4	12,2	14,6	12,7	11,9	13,2	17,2	17
Ga	24,6	25	25,4	26,6	20,2	19,8	19,5	23,3	22,7
Zn	137,1	128,3	136,3	124,5	69,4	79,1	70,2	115,6	123,3
Ni	21,5	4,49	4,16	5,01	11,3	11,6	11,7	7,85	5,25
V	183	166	171	142	89,6	98,2	91,4	128	136
Cr	17,9	1,44	1,17	3,95	20,8	28,6	23,7	8,04	5,12
Hf	13	13,5	11	12,7	4,5	5,5	6,1	12,5	11,2
Cs	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Sc	22,1	21,8	24,1	19,4	17,2	18,7	17,1	14,6	18,2
W	46,6	70,8	55,4	16,1	17,9	236,3	18,7	21,7	129,7
ETR (ppm)									
La	67,7	86	75,6	72,1	26,8	38,3	27,8	101	86,4
Ce	156	196	172	154	54,5	76,9	56	223	196
Nd	78,3	98,4	108	98,4	25	--	25,7	--	100
Sm	15,4	20,5	19,5	16,4	5,72	--	6,09	--	19,7
Eu	3,07	4,17	3,99	4,05	1,33	1,68	1,3	3,2	3,18
Gd	9,84	13,4	12,9	12,4	4,21	--	4,2	--	11,4
Dy	7,16	9,62	9,52	9,47	4,03	--	3,67	--	7,96
Er	3,09	4,52	4,77	4,41	1,78	--	1,64	--	3,6
Yb	2,41	3,53	3,3	3,43	1,22	1,49	0,95	2,57	2,58
Eu/Eu*	0,76	0,77	0,77	0,87	0,83		0,79		0,65
(La/Yb)N	18,94	16,43	15,45	14,17	14,81	17,33	19,69	26,50	22,58

Fe₂O₃* - Todo ferro calculado sob a forma de Fe₂O₃

Suíte	SC							
Unidade	SCh							
Charnockitos s.l. (Quartzo-Monzonitos)								
Amostra	FAM10	FAM84D	FAM84E	FAM4L	FAM84F	*FAM4	FAM4I	FAM4J
Óxidos (%)								
SiO ₂	57,34	60,69	62,57	62,6	62,71	62,84	62,96	63,35
TiO ₂	1,65	1,4	1,14	1,1	1,03	0,76	0,83	0,9
Al ₂ O ₃	15,25	15,39	15,62	15,5	15,98	16,75	16,35	15,37
Fe ₂ O ₃ *	10,77	9,73	7,74	7,34	7,14	5,33	6,11	6
MnO	0,18	0,16	0,13	0,12	0,11	0,09	0,09	0,1
MgO	1,69	1,39	1,14	1,09	1	0,83	1,63	0,93
CaO	4,56	3,93	3,32	3,23	3,32	2,86	3,31	2,71
Na ₂ O	3,43	3,43	3,34	3,4	3,56	3,48	3,21	3,2
K ₂ O	3,74	3,88	4,89	4,86	4,98	5,79	5,24	4,98
P ₂ O ₅	0,67	0,57	0,42	0,42	0,4	0,3	0,32	0,34
P.F.	0,01	0,18	0,27	0,41	0,16	0,63	0,46	0,46
Total	99,29	100,74	100,57	100,08	100,41	99,65	100,28	98,34
#Mg	23,71	22,06	22,59	22,73	21,72	23,57	34,57	23,49
ACNK	0,85	0,91	0,93	0,93	0,92	0,97	0,96	0,99
Traços (ppm)								
Ba	1851,7	1325,4	1725,5	1645,1	1755,6	1842,1	1767,3	1745,6
Rb	81,8	120,5	146,6	124,5	130,1	138,6	129,1	137,3
Sr	399,6	291,9	307	302,7	322	318,3	305,7	292,4
Y	45,2	44,4	37,4	33,5	28,7	22,8	26,7	27,8
Zr	728,1	614,4	560	566,8	520,5	435,6	426,7	480,7
Nb	49,5	45,4	47	29,8	37,3	44,9	33,6	33,8
Th	3,1	6,5	12	5,5	7,7	8,2	6,5	9,5
Pb	16,2	18,1	19,9	22,3	22,8	22,9	23,4	22,2
Ga	23,9	24,3	23,3	23,8	24,1	24,1	22	22,5
Zn	137,1	135,3	109,7	106,6	93	83,4	87,8	98,8
Ni	3,5	2,61	2,56	2,18	1,79	1,94	14,5	1,88
V	59	54,7	39,3	39,2	31,7	29,5	29,6	31,7
Cr	5,19	2,41	3,08	3,03	2,7	3,3	3,95	2,75
Hf	15,1	12,8	14,9	13,6	13,1	10,6	12,2	15,5
Cs	5	5	5	5	5	5	5	7,8
Sc	18,3	19	14	12,1	11,8	9,24	9,19	10,3
W	79,4	16,7	14,8	18,5	26,8	346,7	19,1	18,1
ETR (ppm)								
La	70,5	66,1	68,8	62,8	54,8	64,2	51,3	65,8
Ce	159	161	169	143	111	136	108	139
Nd	86,7	--	--	72,4	61,3	--	57,8	--
Sm	17,8	--	--	15,9	13,6	--	12,4	--
Eu	3,21	3,15	3,29	2,71	2,38	3,21	2,68	3,16
Gd	11,4	--	--	9,67	8,22	--	6,99	--
Dy	9,27	--	--	6,82	5,7	--	4,9	--
Er	4,4	--	--	3,08	2,57	--	2,41	--
Yb	3,11	4,17	3,27	2,34	1,91	2,06	2,04	2,49
Eu/Eu*	0,69			0,67	0,69		0,88	
(La/Yb)N	15,28	10,69	14,18	18,09	19,34	21,01	16,95	17,82

Fe₂O₃* - Todo ferro calculado sob a forma de Fe₂O₃

* - Quartzo Sienito

Suíte	SC						
Unidade	SCh				SCp		
	Charnockitos s.l. (Quartzo-Monzonitos)				Quartzo- Monzodiorito	Granitos	
Amostra	FAM4K	FAM4H	FAM4G	FAM84C	FAM25	FAM24A	FAM5A
Óxidos (%)							
SiO ₂	63,78	63,8	64,55	67,43	62,59	64,27	65,11
TiO ₂	0,94	0,96	0,87	0,67	1,22	0,84	0,89
Al ₂ O ₃	15,89	15,64	15,62	15,42	14,82	15,27	15,43
Fe ₂ O ₃ *	6,24	6,27	5,83	4,67	8,55	5,68	5,91
MnO	0,1	0,1	0,09	0,08	0,14	0,09	0,09
MgO	0,88	0,95	0,85	0,71	1,24	0,96	0,98
CaO	3,33	2,95	2,64	2,7	3,47	2,6	2,64
Na ₂ O	3,35	3,23	3,19	3,32	3,02	3,1	3,12
K ₂ O	4,98	5,24	5,9	5,13	4,32	5,12	5,09
P ₂ O ₅	0,38	0,38	0,37	0,31	0,47	0,34	0,34
P.F.	0,61	0,46	0,44	0,41	0,38	0,38	0,36
Total	100,48	100	100,36	100,85	100,23	98,66	99,96
#Mg	21,84	23,08	22,41	23,15	22,32	25,08	24,73
ACNK	0,94	0,96	0,95	0,97	0,93	0,99	1
Traços (ppm)							
Ba	1688,9	1740,8	1972,8	1784,1	1752,6	1413,3	1489,1
Rb	125,4	129,5	142,3	134,2	124,5	160,5	227,1
Sr	298,7	295,5	303,6	304,3	314,9	249,1	250,6
Y	21,7	26,6	26,1	20,2	49,7	31,3	34,2
Zr	469	513,5	440,7	352,5	593,2	451,2	480,7
Nb	29	33,7	32,3	23,6	52,2	32,8	36,3
Th	8,5	4,4	8,2	5,2	10	12,3	12,4
Pb	23,8	22,9	24,9	23	22,1	24,2	24,6
Ga	23,2	22,1	22	21,1	22,4	22,8	24,8
Zn	93	94,9	90,9	69	129,8	96,4	100,3
Ni	1,94	1,79	1,64	1,64	1,91	1,05	1,56
V	29	32,6	29,8	22,3	42,5	30,6	34,6
Cr	2,49	2,87	2,22	2,51	2,56	2,37	2,27
Hf	14	13,4	11,9	10,8	10,7	10,6	8,4
Cs	5	5,8	5	8,2	5,9	8,7	8,1
Sc	8,89	11,6	9,41	5,96	16,8	7,35	9,23
W	20,8	20,7	15,8	20,8	124,3	74,1	84,3
ETR (ppm)							
La	51,4	50,3	62	48,8	47,8	82,7	95,3
Ce	111	114	149	112	118	119	137
Nd	--	--	--	--	82,2	80,5	91,1
Sm	--	--	--	--	16,2	13,3	15,7
Eu	2,8	3,24	3,31	2,59	3,37	2,17	2,54
Gd	--	--	--	--	12,1	8,71	9,64
Dy	--	--	--	--	9,34	6,11	7,44
Er	--	--	--	--	4,61	2,85	3,35
Yb	2,39	2,54	1,93	1,83	3,39	2,15	2,32
Eu/Eu*					0,74	0,62	0,63
(La/Yb)N	14,50	13,35	21,66	17,98	9,51	25,93	27,69

Fe₂O₃* - Todo ferro calculado sob a forma de Fe₂O₃

Suíte	SGG					
Unidade	SGG			Enclaves		
	Granitos			Granodiorito	Granito	Alcali-Felds, Granito
Amostra	FAM9B	FAM1	FAM9A	FAM64	FAM27G	FAM84A
Óxidos (%)						
SiO ₂	72,76	73,08	74,65	65,43	71,47	72,27
TiO ₂	0,24	0,21	0,28	0,73	0,24	0,18
Al ₂ O ₃	14,81	14,11	13,36	16,06	14,53	14,91
Fe ₂ O ₃ *	1,76	1,81	2,44	5,72	2,48	1,14
MnO	0,03	0,02	0,04	0,1	0,06	0,01
MgO	0,5	0,47	0,53	1,92	0,4	0,2
CaO	1,32	1,09	1,17	4,16	1,84	0,93
Na ₂ O	2,74	2,52	2,45	3,35	2,69	3,25
K ₂ O	5,9	5,6	5,34	2,45	6,1	6,77
P ₂ O ₅	0,08	0,13	0,09	0,15	0,24	0,08
P.F.	0,41	0,4	0,44	0,48	0,2	0,22
Total	100,56	99,45	100,8	100,55	100,24	99,95
#Mg	36,01	33,97	30,08	39,94	24,21	25,79
ACNK	1,11	1,16	1,12	1,02	1,01	1,04
Traços (ppm)						
Ba	560,1	370,8	379,5	464,8	1691,6	1134,9
Rb	152,9	144,6	138,7	103,7	132,9	228,2
Sr	109,4	75,1	77,5	183,8	287,7	60,2
Y	29	8,69	23,2	22,6	10,2	8,35
Zr	135,6	108,2	115,2	210,3	172,8	63,5
Nb	10,2	7,96	12,9	18,8	10,4	8,44
Th	27,6	14	24,3	13,3	9,5	17,8
Pb	44	34,4	36,7	15,7	32,1	44,4
Ga	17,1	15,2	16,2	19,6	17,5	18,7
Zn	43	33,4	43,1	83,8	47,2	82,1
Ni	1,73	1,11	1,71	8,75	0,91	1,28
V	11,5	5,67	10,3	78,9	8,73	9,19
Cr	4,37	3,69	4,21	20,6	3,68	2,3
Hf	3,6	3	3	6,2	7,1	3
Cs	6,8	5	5	5	5	5
Sc	3,31	2,14	4,01	13,7	2,89	0,91
W	164,9	295,8	205,3	20,9	21,3	19,6
ETR (ppm)						
La	55,2	20,1	42,7	63	34,4	31,8
Ce	118	41,2	89,5	121	83,6	65,7
Nd	63,5	21,5	--	54,2	30,5	26,5
Sm	12,8	4,49	--	8,77	4,66	5,8
Eu	0,76	0,49	0,65	1,47	1,92	0,37
Gd	8,32	3,81	--	6	3,01	3,17
Dy	5,11	2,11	--	4,17	2,16	1,53
Er	3,09	0,65	--	2,27	1,06	0,49
Yb	2,69	0,42	2,15	1,9	0,89	0,32
Eu/Eu*	0,23	0,37	--	0,62	1,57	0,27
La/Yb)N	13,83	32,42	13,39	22,35	26,15	66,17

Fe₂O₃* - Todo ferro calculado sob a forma de Fe₂O₃

Unidade	Embasamento			M. Lagoa Preta		M Ibituba
	Quartzo-Diorito	Granodiorito	Granito	Leuco-Gabro	Diorito	Quartzo-Monzonito
Amostra	FAM86B	FAM80B	FAM86A	MLP1	MLP4	I4
Óxidos (%)						
SiO ₂	54,93	67,92	73,5	43,01	47,64	57,02
TiO ₂	1,33	0,58	0,26	0,05	2,93	1,93
Al ₂ O ₃	18,03	15,48	14,09	24,26	14,43	15,98
Fe ₂ O ₃ *	9,42	4,59	2	7,41	18,17	9,31
MnO	0,15	0,07	0,04	0,09	0,32	0,15
MgO	2,97	1,49	0,35	13,08	3,47	2,4
CaO	7,77	3,54	2,39	12,6	8,44	5,51
Na ₂ O	3,6	3,08	3,07	0,33	3,24	3,35
K ₂ O	1,5	2,66	3,93	0,04	0,52	3,96
P ₂ O ₅	0,37	0,17	0,05	0	1,45	0,82
P.F.	0,61	0,5	0,35	0,74	0	0,23
Total	100,69	100,08	100,04	101,6	100,62	100,65
#Mg	38,44	39,14	25,74	48,84	27,45	33,80
ACNK	0,83	1,08	1,03	1,03	0,68	0,81
Traços (ppm)						
Ba	812,7	575,5	1536,4	27,9	244,6	2484,3
Rb	39,6	95,2	74,6	2	3,2	57
Sr	451,3	176	268,5	445,4	490,9	638,6
Y	34,4	9,18	6,26	0,44	41,7	42,9
Zr	225,4	188,1	98,8	23	246,3	401,7
Nb	15,3	10,5	6,07	17,6	25	32,9
Th	2,4	7,7	7,1	1,3	4,9	3,9
Pb	3,6	9	15	3	4,3	20,8
Ga	20,6	18,8	13,5	12,6	23,9	23,9
Zn	96,5	61,8	34,2	34,3	146,8	115,6
Ni	7,78	7,59	0,85	164	0,62	6,33
V	185	69	24,5	6,79	142	121
Cr	25	16,3	1,67	22,5	0,47	2,97
Hf	5,9	4,5	5	3	3,9	11,7
Cs	5	5	5	5	5	5
Sc	27,2	9,91	2,99	1,97	34,8	16,4
W	20,4	16,9	20,5	16,5	20	17,9
ETR (ppm)						
La	25,2	37	20,7	0,95	20	98,1
Ce	76,8	93,9	48,4	2,16	42,2	217
Nd	--	--	--	--	--	--
Sm	--	--	--	--	--	--
Eu	2,09	1,34	1,08	0,2	3,45	4,29
Gd	0	--	--	--	--	--
Dy	0	--	--	--	--	--
Er	0	--	--	--	--	--
Yb	3,65	0,61	0,61	0,35	1,58	1,75
Eu/Eu*						
(La/Yb)N	4,65	40,83	22,80	1,81	8,53	37,79

Fe₂O₃* - Todo ferro calculado sob a forma de Fe₂O₃

ANEXO III

ANÁLISES QUÍMICAS DOS MINERAIS

ANFIBÓLIOS

Unidade	SMGp											SMGt	
Amostra	FAM28	FAM28	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM85	FAM85	FAM47	FAM47
Posição	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
Óxidos (%)													
SiO ₂	40,26	39,47	41,30	41,37	41,13	40,96	40,86	41,35	41,62	41,53	41,47	41,64	41,66
TiO ₂	2,08	1,90	1,72	1,89	2,19	2,12	1,35	1,85	1,65	1,94	1,70	1,82	1,85
Al ₂ O ₃	10,73	10,97	11,17	10,90	10,94	11,32	10,96	11,00	11,13	10,78	11,23	9,94	10,02
FeO	24,63	25,36	20,92	21,00	20,89	21,13	21,94	21,19	21,69	20,97	20,87	23,24	23,16
MnO	0,28	0,20	0,19	0,11	0,12	0,18	0,06	0,00	0,19	0,14	0,18	0,42	0,53
MgO	6,52	6,55	7,32	7,49	7,49	7,14	7,44	7,41	7,37	7,80	7,92	6,62	6,82
CaO	11,07	11,05	10,98	11,16	11,01	11,08	10,95	11,29	10,96	11,49	11,34	11,32	11,24
Na ₂ O	1,44	1,63	1,30	1,31	1,43	1,44	1,27	1,30	1,45	1,38	1,20	1,39	1,28
K ₂ O	1,59	1,63	1,48	1,65	1,52	1,58	1,51	1,71	1,42	1,58	1,69	1,46	1,40
F	0,00	0,00	0,28	0,19	0,26	0,26	0,09	0,28	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,11	0,13	0,03	0,06	0,05	0,06	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	98,60	98,75	96,77	97,19	97,00	97,27	96,47	97,44	98,09	97,61	97,59	97,85	97,95
Cátions (a.f.u.) Calculados pela base de 23 Oxigênios													
Si	6,234	6,117	6,447	6,437	6,414	6,385	6,385	6,423	6,437	6,404	6,378	6,473	6,451
Al ^{IV}	1,766	1,883	1,553	1,563	1,586	1,615	1,615	1,577	1,563	1,596	1,622	1,527	1,549
SUM_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
Al ^{VI}	0,190	0,118	0,500	0,434	0,422	0,463	0,401	0,435	0,463	0,360	0,412	0,292	0,277
CFe ₃	0,346	0,513	0,000	0,000	0,000	0,000	0,211	0,000	0,002	0,061	0,129	0,100	0,182
CTi	0,242	0,221	0,202	0,221	0,257	0,249	0,158	0,217	0,192	0,225	0,196	0,213	0,215
CMg	1,505	1,513	1,704	1,737	1,742	1,659	1,732	1,717	1,699	1,794	1,816	1,533	1,575
CFe ₂	2,717	2,634	2,594	2,607	2,579	2,630	2,498	2,632	2,644	2,560	2,448	2,862	2,750
CMn	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
BFe ₂	0,127	0,139	0,137	0,126	0,145	0,125	0,158	0,121	0,160	0,084	0,108	0,059	0,066
BMn	0,037	0,026	0,026	0,014	0,015	0,024	0,008	0,000	0,024	0,018	0,024	0,055	0,069
BCa	1,836	1,835	1,837	1,860	1,839	1,851	1,834	1,879	1,816	1,898	1,868	1,885	1,865
BNa	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
ANa	0,433	0,489	0,393	0,396	0,431	0,436	0,386	0,390	0,434	0,413	0,358	0,420	0,384
AK	0,314	0,321	0,294	0,328	0,302	0,314	0,301	0,338	0,280	0,312	0,331	0,289	0,276
CCl	0,000	0,000	0,028	0,034	0,009	0,015	0,013	0,017	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000
CF	0,000	0,000	0,137	0,095	0,127	0,127	0,042	0,137	0,280	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	15,747	15,810	15,687	15,724	15,733	15,750	15,687	15,729	15,714	15,725	15,689	15,709	15,660

ANFIBÓLIOS

Unidade	SCh					SCp							
Amostra	FAM4G	FAM4G	FAM10	FAM10	FAM10	FAM25	FAM5	FAM5	FAM5	FAM5	FAM5	FAM5	FAM5
Posição	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
Óxidos (%)													
SiO ₂	40,04	40,65	40,70	40,61	40,18	39,87	39,66	28,56	39,47	38,19	38,28	39,10	40,31
TiO ₂	1,73	2,13	1,62	2,00	1,98	1,75	1,42	0,00	1,40	1,29	1,07	1,43	1,29
Al ₂ O ₃	10,58	9,78	10,11	10,19	10,61	10,31	10,45	15,15	10,47	10,38	10,51	10,41	10,29
FeO	26,55	26,49	26,73	27,35	26,17	28,27	28,98	37,44	30,04	29,76	28,22	27,35	27,32
MnO	0,35	0,34	0,41	0,27	0,32	0,72	0,87	0,40	1,01	0,93	1,01	1,05	1,12
MgO	4,80	5,19	6,19	5,92	5,82	4,14	4,30	5,26	4,34	4,06	3,94	4,07	4,06
CaO	10,66	10,08	10,23	10,72	10,61	10,77	10,97	0,67	10,07	10,90	10,68	10,94	10,75
Na ₂ O	1,67	1,75	1,34	1,85	1,60	1,29	1,86	0,01	1,85	1,81	1,63	1,73	1,52
K ₂ O	1,44	1,28	1,37	1,54	1,39	1,42	1,89	0,04	1,90	1,87	1,82	1,88	1,76
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	97,81	97,69	98,69	100,46	98,67	98,54	100,39	87,53	100,54	99,18	97,15	97,96	98,42
Cátions (a.f.u.) Calculados pela base de 23 Oxigênios													
Si	6,331	6,436	6,312	6,246	6,255	6,275	6,186	4,946	6,161	6,043	6,160	6,241	6,381
Al ^{IV}	1,669	1,564	1,688	1,754	1,745	1,725	1,814	3,054	1,839	1,935	1,840	1,759	1,619
Al ^{VI}	0,301	0,258	0,159	0,091	0,199	0,186	0,106	0,037	0,086	0,000	0,151	0,197	0,299
CFe ₃	0,157	0,003	0,477	0,345	0,324	0,446	0,438	3,006	0,487	0,716	0,548	0,301	0,194
CTi	0,206	0,254	0,189	0,232	0,232	0,208	0,166	0,000	0,165	0,154	0,129	0,171	0,153
CMg	1,130	1,225	1,431	1,357	1,350	0,972	0,999	1,358	1,009	0,958	0,945	0,967	0,958
CFe ₂	3,207	3,259	2,744	2,975	2,895	3,189	3,291	0,599	3,253	3,171	3,227	3,350	3,397
CMn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014	0,000
BFe ₂	0,147	0,244	0,246	0,198	0,189	0,088	0,052	1,818	0,182	0,028	0,022	0,000	0,026
BMn	0,047	0,046	0,053	0,035	0,042	0,097	0,115	0,059	0,134	0,124	0,138	0,129	0,151
BCa	1,806	1,710	1,700	1,766	1,769	1,816	1,833	0,123	1,684	1,848	1,841	1,871	1,823
BNa	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
ANa	0,511	0,536	0,403	0,552	0,484	0,393	0,561	0,002	0,559	0,555	0,510	0,536	0,466
AK	0,289	0,258	0,271	0,302	0,275	0,284	0,377	0,009	0,377	0,377	0,373	0,383	0,355
CCl	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
CF	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
Total	15,801	15,795	15,674	15,854	15,759	15,678	15,938	15,011	15,936	15,932	15,883	15,918	15,820

ANFIBÓLIOS

Unidade	SCp						ENC						
Amostra	FAM24A	FAM24A	FAM24A	FAM24A	FAM77	FAM77	FAM84B	FAM84B	FAM84B	FAM62B	FAM62B	FAM64	FAM64
Posição	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
Óxidos (%)													
SiO ₂	39,74	40,20	40,29	39,35	40,11	40,07	40,72	40,78	41,03	41,46	41,31	41,83	42,73
TiO ₂	1,44	1,47	1,76	1,86	1,92	1,99	1,98	2,13	1,94	2,27	2,27	1,23	0,08
Al ₂ O ₃	10,79	10,22	11,01	10,96	10,13	10,22	10,03	10,19	10,38	10,14	10,39	10,65	10,76
FeO	26,83	26,13	25,42	25,77	27,32	26,98	26,11	26,17	25,57	23,57	23,93	21,69	21,22
MnO	0,56	0,62	0,73	0,72	0,62	0,71	0,41	0,44	0,50	0,49	0,44	0,75	1,09
MgO	4,35	4,53	4,39	4,11	3,81	3,85	4,93	4,97	5,05	6,31	6,31	7,20	8,23
CaO	10,89	10,83	11,12	11,24	10,64	10,68	10,48	10,43	10,58	10,98	10,65	11,43	11,18
Na ₂ O	1,64	1,63	1,68	1,49	1,73	1,85	1,67	1,74	1,70	1,67	1,78	1,36	1,09
K ₂ O	1,58	1,58	1,65	1,67	1,50	1,26	1,39	1,42	1,25	1,43	1,47	1,42	1,23
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	97,83	97,21	98,05	97,17	97,78	97,61	97,73	98,27	98,00	98,30	98,55	97,55	97,62
Cátions (a.f.u.) Calculados pela base de 23 Oxigênios													
Si	6,301	6,409	6,367	6,280	6,405	6,397	6,444	6,424	6,453	6,452	6,425	6,465	6,515
Al ^{IV}	1,699	1,591	1,633	1,720	1,595	1,603	1,556	1,576	1,547	1,548	1,575	1,535	1,485
Al ^{VI}	0,317	0,329	0,416	0,340	0,310	0,319	0,314	0,314	0,375	0,309	0,327	0,404	0,446
CFe ³	0,213	0,086	0,000	0,133	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,158	0,459
CTi	0,172	0,176	0,209	0,223	0,231	0,239	0,236	0,252	0,229	0,265	0,265	0,143	0,009
CMg	1,028	1,077	1,035	0,978	0,907	0,917	1,164	1,167	1,185	1,464	1,464	1,659	1,870
CFe ²	3,271	3,333	3,340	3,307	3,551	3,525	3,287	3,267	3,211	2,962	2,944	2,636	2,215
CMn	0,000	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
BFe ²	0,074	0,066	0,020	0,000	0,097	0,077	0,168	0,181	0,151	0,106	0,168	0,009	0,032
BMn	0,075	0,084	0,098	0,079	0,084	0,096	0,055	0,059	0,066	0,064	0,057	0,098	0,141
BCa	1,851	1,851	1,882	1,921	1,819	1,827	1,777	1,761	1,783	1,830	1,775	1,893	1,827
BNa	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
ANa	0,505	0,503	0,515	0,460	0,534	0,572	0,513	0,531	0,520	0,503	0,535	0,406	0,322
AK	0,320	0,321	0,333	0,340	0,306	0,257	0,280	0,285	0,250	0,283	0,292	0,280	0,240
CCI	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
CF	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
Total	15,825	15,824	15,848	15,800	15,840	15,829	15,793	15,816	15,770	15,786	15,827	15,687	15,562

ANFIBÓLIOS

Unidade	SCp						ENC						
Amostra	FAM24A	FAM24A	FAM24A	FAM24A	FAM77	FAM77	FAM84B	FAM84B	FAM84B	FAM62B	FAM62B	FAM64	FAM64
Posição	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
Óxidos (%)													
SiO ₂	39,74	40,20	40,29	39,35	40,11	40,07	40,72	40,78	41,03	41,46	41,31	41,83	42,73
TiO ₂	1,44	1,47	1,76	1,86	1,92	1,99	1,98	2,13	1,94	2,27	2,27	1,23	0,08
Al ₂ O ₃	10,79	10,22	11,01	10,96	10,13	10,22	10,03	10,19	10,38	10,14	10,39	10,65	10,76
FeO	26,83	26,13	25,42	25,77	27,32	26,98	26,11	26,17	25,57	23,57	23,93	21,69	21,22
MnO	0,56	0,62	0,73	0,72	0,62	0,71	0,41	0,44	0,50	0,49	0,44	0,75	1,09
MgO	4,35	4,53	4,39	4,11	3,81	3,85	4,93	4,97	5,05	6,31	6,31	7,20	8,23
CaO	10,89	10,83	11,12	11,24	10,64	10,68	10,48	10,43	10,58	10,98	10,65	11,43	11,18
Na ₂ O	1,64	1,63	1,68	1,49	1,73	1,85	1,67	1,74	1,70	1,67	1,78	1,36	1,09
K ₂ O	1,58	1,58	1,65	1,67	1,50	1,26	1,39	1,42	1,25	1,43	1,47	1,42	1,23
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	97,83	97,21	98,05	97,17	97,78	97,61	97,73	98,27	98,00	98,30	98,55	97,55	97,62
Cátions (a.f.u.) Calculados pela base de 23 Oxigênios													
Si	6,301	6,409	6,367	6,280	6,405	6,397	6,444	6,424	6,453	6,452	6,425	6,465	6,515
AlIV	1,699	1,591	1,633	1,720	1,595	1,603	1,556	1,576	1,547	1,548	1,575	1,535	1,485
AlVI	0,317	0,329	0,416	0,340	0,310	0,319	0,314	0,314	0,375	0,309	0,327	0,404	0,446
CFe3	0,213	0,086	0,000	0,133	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,158	0,459
CTi	0,172	0,176	0,209	0,223	0,231	0,239	0,236	0,252	0,229	0,265	0,265	0,143	0,009
CMg	1,028	1,077	1,035	0,978	0,907	0,917	1,164	1,167	1,185	1,464	1,464	1,659	1,870
CFe2	3,271	3,333	3,340	3,307	3,551	3,525	3,287	3,267	3,211	2,962	2,944	2,636	2,215
CMn	0,000	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
BFe2	0,074	0,066	0,020	0,000	0,097	0,077	0,168	0,181	0,151	0,106	0,168	0,009	0,032
BMn	0,075	0,084	0,098	0,079	0,084	0,096	0,055	0,059	0,066	0,064	0,057	0,098	0,141
BCa	1,851	1,851	1,882	1,921	1,819	1,827	1,777	1,761	1,783	1,830	1,775	1,893	1,827
BNa	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
ANa	0,505	0,503	0,515	0,460	0,534	0,572	0,513	0,531	0,520	0,503	0,535	0,406	0,322
AK	0,320	0,321	0,333	0,340	0,306	0,257	0,280	0,285	0,250	0,283	0,292	0,280	0,240
CCl	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
CF	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
Total	15,825	15,824	15,848	15,800	15,840	15,829	15,793	15,816	15,770	15,786	15,827	15,687	15,562

ANFIBÓLIOS

Unidade	ENC			MLP			
Amostra	FAM64	FAM27G	FAM27G	MLP	MLP	MLP	MLP
Posição	c	c	c	c	c	c	c
Óxidos(%)							
SiO ₂	42,24	40,46	41,03	39,60	38,04	40,16	39,02
TiO ₂	1,21	1,51	1,52	1,56	1,63	1,62	1,95
Al ₂ O ₃	10,36	10,17	10,18	10,88	10,74	10,55	10,72
FeO	21,99	26,75	26,53	25,83	25,79	25,86	25,66
MnO	0,76	0,88	1,05	0,57	0,50	0,46	0,59
MgO	7,21	4,12	4,06	5,48	5,21	5,37	5,19
CaO	11,16	10,68	10,82	10,90	10,74	10,74	10,76
Na ₂ O	1,30	1,59	1,65	1,52	1,71	1,61	1,62
K ₂ O	1,47	1,36	1,33	1,61	1,55	1,48	1,59
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	97,69	97,51	98,18	97,94	95,92	97,84	97,10
Cátions (a.f.u.) Calculados pela base de 23 Oxigênios							
Si	6,526	6,438	6,485	6,219	6,124	6,320	6,204
AlIV	1,474	1,562	1,515	1,781	1,876	1,680	1,796
AlVI	0,410	0,344	0,381	0,231	0,160	0,275	0,212
CFe3	0,103	0,092	0,000	0,397	0,468	0,234	0,296
CTi	0,141	0,180	0,180	0,185	0,198	0,191	0,234
CMg	1,661	0,977	0,958	1,282	1,250	1,260	1,230
CFe2	2,684	3,407	3,481	2,905	2,924	3,040	3,029
CMn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
BFe2	0,053	0,060	0,026	0,091	0,080	0,129	0,088
BMn	0,100	0,119	0,141	0,075	0,068	0,061	0,080
BCa	1,847	1,821	1,833	1,834	1,852	1,810	1,832
BNa	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ANa	0,389	0,489	0,507	0,462	0,533	0,491	0,499
AK	0,290	0,276	0,268	0,322	0,319	0,298	0,322
CCl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CF	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	15,679	15,765	15,774	15,783	15,852	15,789	15,821

APATITAS

Unidade	SMGp						SMGt					
Amostra	FAM85	FAM85	FAM85	FAM85	FAM85	FAM85	FAM47	FAM47	FAM47	FAM47	FAM47	FAM47
Posição	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
Óxidos (%)												
SiO ₂	0,13	0,19	0,91	0,25	0,29	0,49	1,26	0,26	0,73	0,51	0,40	0,45
CaO	54,61	55,10	53,52	50,68	54,85	53,85	51,82	54,46	54,23	53,81	54,36	53,66
P ₂ O ₅	41,32	42,18	40,23	34,39	41,72	41,08	38,19	41,67	41,46	41,49	41,44	41,44
F	3,61	3,66	3,41	3,04	3,60	3,54	3,17	3,76	3,63	3,59	3,56	3,51
CL	0,11	0,08	0,11	0,08	0,08	0,08	0,01	0,03	0,01	0,00	0,03	0,02
Yb ₂ O ₃	0,000	0,000	0,262	0,013	0,000	0,000	0,129	0,000	0,000	0,000	0,133	0,000
La ₂ O ₃	0,080	0,032	0,184	0,073	0,177	0,312	0,297	0,000	0,000	0,249	0,121	0,232
Ce ₂ O ₃	0,132	0,238	0,960	0,172	0,344	0,369	0,429	0,245	0,378	0,470	0,271	0,608
Y ₂ O ₃	0,070	0,077	0,272	0,099	0,085	0,179	0,113	0,020	0,119	0,061	0,063	0,061
Sm ₂ O ₃	0,047	0,000	0,531	0,000	0,425	0,000	0,366	0,000	0,533	0,000	0,000	0,030
Na ₂ O ₃	0,220	0,238	0,757	0,101	0,128	0,439	0,174	0,239	0,211	0,302	0,412	0,330
ThO ₂	0,015	0,000	0,039	0,000	0,000	0,005	0,098	0,000	0,000	0,000	0,044	0,000
Total	100,348	101,794	101,178	88,902	101,697	100,344	96,054	100,666	101,300	100,478	100,823	100,333
Cátions (a,f,u.) calculados pela base de 12 oxigênios												
Ca	4,791	4,753	4,714	5,096	4,755	4,730	4,768	4,752	4,711	4,703	4,744	4,699
Si	0,011	0,015	0,074	0,024	0,024	0,040	0,108	0,021	0,059	0,042	0,032	0,037
P	2,864	2,876	2,800	2,733	2,858	2,851	2,776	2,873	2,846	2,866	2,858	2,868
CF	1,868	1,866	1,770	1,803	1,840	1,836	1,722	1,935	1,863	1,853	1,834	1,815
CCl	0,029	0,022	0,031	0,026	0,021	0,023	0,004	0,007	0,002	0,000	0,007	0,005
Y	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,010	0,010	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000
La	0,000	0,000	0,010	0,000	0,010	0,010	0,010	0,000	0,000	0,010	0,000	0,010
Ce	0,000	0,010	0,030	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,020
Sm	0,000	0,000	0,020	0,000	0,010	0,000	0,010	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000
Na.	0,010	0,010	0,020	0,000	0,000	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Yb	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	7,676	7,664	7,688	7,863	7,667	7,661	7,702	7,666	7,656	7,641	7,654	7,644

APATITAS

Unidade	SCh													
Amostra	FAM4	FAM4	FAM4	FAM4	FAM4	FAM4	FAM4	FAM4	FAM4	FAM4	FAM4	FAM4	FAM4	FAM4
Posição	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
Óxidos (%)														
SiO ₂	0,72	0,29	0,95	0,49	4,13	3,12	0,38	0,98	11,60	8,53	1,53	0,61	2,99	
CaO	52,90	54,36	53,06	53,55	48,35	50,22	53,81	42,44	43,47	46,25	51,94	53,88	52,06	
P ₂ O ₅	40,22	41,42	39,93	40,78	36,27	37,45	40,78	31,57	33,38	34,29	39,15	41,02	40,19	
F	3,59	3,63	3,45	3,64	3,18	3,40	3,67	2,59	2,65	2,93	3,20	3,48	3,55	
CL	0,03	0,04	0,01	0,01	0,03	0,06	0,04	0,05	0,02	0,02	0,05	0,14	0,03	
Yb ₂ O ₃	0,000	0,013	0,000	0,000	0,048	0,000	0,000	0,102	0,000	0,000	0,034	0,000	0,000	
La ₂ O ₃	0,503	0,072	0,048	0,032	0,232	0,056	0,224	0,279	0,342	0,327	0,223	0,161	0,113	
Ce ₂ O ₃	0,743	0,514	0,725	0,614	0,744	0,357	0,316	0,885	0,938	1,027	0,972	0,488	0,218	
Y ₂ O ₃	0,202	0,118	0,249	0,089	0,354	0,236	0,166	0,395	0,222	0,132	0,602	0,226	0,043	
Sm ₂ O ₃	0,287	0,273	0,349	0,214	0,000	0,000	0,000	0,393	0,349	0,000	0,226	0,000	0,000	
Na ₂ O ₃	0,593	0,274	0,694	0,302	0,439	0,385	0,202	0,718	0,811	0,567	1,002	0,338	0,000	
ThO ₂	0,000	0,039	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,158	0,015	0,147	0,000	0,093	
Total	99,786	101,042	99,469	99,715	93,786	95,268	99,590	80,400	93,938	94,086	99,082	100,326	99,295	
Cátions (a/f,u.) calculados pela base de 12 oxigênios														
Ca	4,705	4,748	4,723	4,736	4,508	4,615	4,762	4,711	3,937	4,237	4,655	4,729	4,551	
Si	0,060	0,023	0,079	0,040	0,359	0,267	0,031	0,102	0,980	0,729	0,128	0,050	0,244	
P	2,827	2,859	2,808	2,850	2,672	2,719	2,852	2,768	2,388	2,482	2,773	2,845	2,776	
CF	1,885	1,874	1,814	1,901	1,748	1,844	1,916	1,695	1,415	1,586	1,694	1,802	1,833	
CCl	0,008	0,011	0,001	0,002	0,009	0,016	0,012	0,017	0,007	0,004	0,015	0,038	0,008	
Y	0,010	0,010	0,010	0,000	0,020	0,010	0,010	0,020	0,010	0,010	0,030	0,010	0,000	
La	0,020	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,000	0,000	
Ce	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,010	0,010	0,030	0,030	0,030	0,030	0,010	0,010	
Sm	0,010	0,010	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,010	0,010	0,000	0,010	0,000	0,000	
Na.	0,020	0,010	0,020	0,010	0,010	0,010	0,010	0,030	0,020	0,020	0,030	0,010	0,000	
Yb	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	
Th	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	
TOTAL	7,672	7,680	7,670	7,666	7,599	7,631	7,685	7,681	7,385	7,518	7,666	7,654	7,581	

APATITAS

Unidade	SCp				
Amostra	FAM24	FAM24	FAM24	FAM24	FAM24
Posição	c	c	c	c	c
Óxidos (%)					
SiO ₂	0,26	0,23	0,37	0,77	0,17
CaO	54,93	54,83	54,33	54,01	54,87
P ₂ O ₅	42,02	41,72	41,64	40,87	41,45
F	3,62	3,72	3,56	3,46	3,75
CL	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
Yb ₂ O ₃	0,000	0,034	0,000	0,000	0,026
La ₂ O ₃	0,032	0,000	0,000	0,000	0,000
Ce ₂ O ₃	0,060	0,000	0,112	0,145	0,132
Y ₂ O ₃	0,135	0,123	0,210	0,629	0,124
Sm ₂ O ₃	0,000	0,000	0,717	0,304	0,169
Na ₂ O ₃	0,257	0,266	0,202	0,367	0,028
ThO ₂	0,000	0,059	0,068	0,000	0,049
Total	101,310	100,988	101,205	100,557	100,786
Cátions (a./f.u.) calculados pela base de 12 oxigênios					
Ca	4,752	4,770	4,725	4,729	4,793
Si	0,021	0,019	0,030	0,063	0,014
P	2,873	2,868	2,862	2,828	2,861
CF	1,848	1,911	1,825	1,787	1,934
CCl	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004
Y	0,010	0,010	0,010	0,030	0,010
La	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ce	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sm	0,000	0,000	0,020	0,010	0,000
Na.	0,010	0,010	0,010	0,010	0,000
Yb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
TOTAL	7,666	7,677	7,657	7,670	7,678

BIOTITAS

Unidade	SMGp											SMGt	
Amostra	FAM85	FAM85	FAM85	FAM85	FAM52	FAM52	FAM21G	FAM21G	FAM21G	FAM21G	FAM21G	FAM47	FAM47
Posição	c	c	cl	bl	c	c	c	c	b2	c2	c	c	c
SiO ₂	35,68	36,11	35,996	36,026	34,59	33,40	35,78	35,68	36,034	36,261	35,90	35,65	35,33
TiO ₂	4,90	4,68	5,189	5,004	4,94	5,69	5,60	5,44	5,751	5,543	5,17	2,99	2,50
Al ₂ O ₃	13,84	14,37	13,967	13,889	14,06	17,10	14,29	14,02	13,921	14,101	14,13	14,93	14,99
Cr ₂ O ₃	0,00	0,04	na.	na.	0,00	0,00	0,05	0,03	na.	na.	0,03	0,00	0,01
FeO	22,52	22,22	21,587	21,564	23,15	24,30	22,77	22,71	21,34	22,21	22,36	24,09	24,07
MnO	0,04	0,03	0,114	0,037	0,09	0,00	0,13	0,07	0,103	0,031	0,08	0,23	0,28
MgO	9,49	9,43	8,973	8,695	9,60	7,36	8,89	8,89	8,912	9,055	8,90	8,17	8,33
CaO	0,00	0,00	0,022	0,025	0,25	0,00	0,00	0,00	0	0	0,00	0,03	0,04
Na ₂ O	0,02	0,02	0,062	0,015	0,00	0,00	0,09	0,05	0,039	0,016	0,04	0,06	0,04
K ₂ O	9,70	9,72	9,519	9,278	9,59	9,73	9,61	9,49	9,579	9,681	9,84	9,53	9,66
Total	96,19	96,61	95,429	94,533	96,27	97,58	97,21	96,37	95,679	96,898	96,44	95,68	95,24
Cátions (a.f.u.) calculados pela base de 24 oxigênios e 4 OH													
Si	5,511	5,532	5,57	5,616	5,374	5,135	5,468	5,498	5,555	5,537	5,525	5,567	5,553
Al ^{IV}	2,489	2,468	2,43	2,384	2,572	2,865	2,532	2,502	2,445	2,463	2,475	2,433	2,447
Al ^{VI}	0,029	0,125	0,115	0,166	0	0,231	0,041	0,043	0,082	0,073	0,087	0,312	0,328
Ti	0,57	0,54	0,604	0,587	0,577	0,658	0,644	0,63	0,667	0,637	0,598	0,352	0,295
Fe ₂	2,91	2,847	2,793	2,811	3,007	3,124	2,91	2,927	2,751	2,836	2,878	3,146	3,163
Cr	na	0,005			na	na	0,006	0,003			0,003	na	0,002
Mn	0,005	0,003	0,015	0,005	0,012	0	0,017	0,009	0,013	0,004	0,01	0,03	0,037
Mg	2,186	2,153	2,07	2,021	2,223	1,687	2,026	2,043	2,048	2,061	2,043	1,903	1,952
Ca	0	0	0,004	0,004	0,041	0	0	0	0	0	0	0,005	0,007
Na	0,005	0,005	0,019	0,005	0,001	0,001	0,027	0,015	0,012	0,005	0,01	0,017	0,012
K	1,911	1,899	1,879	1,845	1,901	1,908	1,873	1,865	1,884	1,886	1,932	1,898	1,937
Cátions	15,616	15,577	15,499	15,444	15,708	15,609	15,544	15,535	15,457	15,502	15,561	15,663	15,733
mg	43	43	43	42	43	35	41	41	43	42	42	38	38

c - centro do cristal; b - borda; i - intermediário. Quando estão numerados, os números referem-se a um mesmo cristal

BIOTITAS

Unidade	Sch									
Amostra	FAM4G	FAM4G	FAM4	FAM4	FAM4	FAM4	FAM4	FAM10	FAM10	FAM10
Posição	c	c	c1	i1	b1	c2	b2	c	c3	b3
SiO ₂	35,35	34,37	34,045	34,404	34,494	35,054	35,018	34,89	34,618	34,517
TiO ₂	5,23	5,37	5,089	5,021	5,389	5,072	5,71	4,51	4,869	5,056
Al ₂ O ₃	13,72	13,01	12,614	13,062	13,082	13,235	13,222	13,78	12,926	13,141
Cr ₂ O ₃	0,00	0,07	na.	na.	na.	na.	na.	0,00	na.	na.
FeO	28,21	29,12	27,438	27,514	28,062	28,48	28,402	28,99	25,618	26,275
MnO	0,14	0,15	0,158	0,167	0,165	0,133	0,195	0,04	0,058	0,138
MgO	5,63	5,35	5,616	5,596	5,493	5,361	5,352	7,04	6,627	6,332
CaO	0,02	0,00	0,062	0,06	0,022	0,001	0,043	0,07	0,031	0
Na ₂ O	0,08	0,00	0,018	0,139	0,062	0,061	0,046	0,00	0,018	0,069
K ₂ O	9,23	9,62	9,14	9,046	9,296	9,297	9,374	9,11	9,054	9,204
Total	97,62	97,07	94,18	95,009	96,065	96,694	97,362	98,44	93,819	94,732
Cátions (a.f.u.) calculados pela base de 24 oxigênios e 4 OH										
Si	5,518	5,459	5,531	5,528	5,498	5,546	5,504	5,421	5,576	5,529
Al ^{IV}	2,482	2,434	2,413	2,472	2,455	2,454	2,447	2,522	2,424	2,471
Al ^{VI}	0,041	0	0	0	0	0,012	0	0	0,028	0,008
Ti	0,615	0,642	0,622	0,607	0,646	0,604	0,675	0,527	0,59	0,609
Fe ²	3,683	3,868	3,728	3,697	3,74	3,768	3,733	3,766	3,451	3,52
Cr	na.	0,009	na.	na.	na.	na.	na.	na.	na.	na.
Mn	0,019	0,02	0,022	0,023	0,022	0,018	0,026	0,005	0,008	0,019
Mg	1,311	1,267	1,36	1,34	1,305	1,264	1,254	1,631	1,591	1,512
Ca	0,003	0,001	0,011	0,01	0,004	0	0,007	0,012	0,005	0
Na	0,024	0	0,006	0,043	0,019	0,019	0,014	0,001	0,006	0,021
K	1,839	1,95	1,894	1,854	1,89	1,876	1,88	1,806	1,86	1,881
Cátions	15,535	15,65	15,587	15,574	15,579	15,561	15,54	15,691	15,539	15,57
mg	26	25	27	27	26	25	25	30	32	30

c - centro do cristal; b - borda; i - intermediário. Quando estão numerados, os números referem-se a um mesmo cristal

BIOTITAS

Unidade	SCp										
Amostra	FAM25	FAM25	FAM25	FAM25	FAM25	FAM25	FAM24A	FAM24A	FAM24A	FAM24A	FAM77
Posição	c	c1	b1	c2	c2-b2	b2	c	c	c	c	c
SiO ₂	34,82	34,751	35,007	34,725	34,902	34,363	34,84	34,25	34,66	34,67	33,99
TiO ₂	4,20	4,182	4,457	4,27	4,537	4,359	3,96	3,86	3,98	4,12	5,25
Al ₂ O ₃	14,16	13,904	13,88	13,662	13,891	13,638	14,12	13,79	14,00	13,69	13,15
Cr ₂ O ₃	0,00	na.	na.	na.	na.	na.	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00
FeO	31,19	28,101	27,662	27,599	28,376	27,994	27,91	27,67	27,89	27,98	29,47
MnO	0,36	0,337	0,332	0,362	0,383	0,38	0,31	0,26	0,31	0,33	0,34
MgO	4,95	4,568	4,404	4,53	4,545	4,764	5,48	5,35	5,56	5,45	4,39
CaO	0,05	0,06	0	0,017	0,06	0,063	0,00	0,05	0,01	0,02	0,04
Na ₂ O	0,00	0,163	0,108	0,058	0,111	0,089	0,06	0,09	0,05	0,10	0,05
K ₂ O	8,73	9,284	9,269	9,223	9,38	9,437	9,26	8,93	9,25	8,77	9,34
Total	98,45	95,35	95,119	94,446	96,185	95,087	95,93	94,28	95,72	95,13	96,02
Cátions (a.f.u.) calculados pela base de 24 oxigênios e 4 OH											
Si	5,457	5,576	5,611	5,612	5,557	5,542	5,541	5,545	5,529	5,557	5,472
Al ^{IV}	2,543	2,424	2,389	2,388	2,443	2,458	2,459	2,455	2,471	2,443	2,492
Al ^{VI}	0,07	0,203	0,231	0,212	0,162	0,132	0,186	0,173	0,159	0,141	0
Ti	0,495	0,505	0,537	0,519	0,543	0,529	0,474	0,47	0,477	0,496	0,636
Fe ₂	4,088	3,771	3,708	3,73	3,778	3,776	3,712	3,746	3,721	3,75	3,967
Cr	0						na	0,003	0,002	na	0
Mn	0,048	0,046	0,045	0,05	0,052	0,052	0,042	0,036	0,042	0,045	0,047
Mg	1,155	1,093	1,052	1,091	1,079	1,145	1,298	1,291	1,322	1,303	1,053
Ca	0,009	0,01	0	0,003	0,01	0,011	0	0,008	0,002	0,004	0,007
Na	0,001	0,051	0,034	0,018	0,034	0,028	0,017	0,028	0,017	0,03	0,017
K	1,746	1,9	1,895	1,902	1,905	1,942	1,879	1,845	1,882	1,793	1,919
Cátions	15,612	15,579	15,502	15,525	15,563	15,615	15,608	15,6	15,624	15,562	15,61
mg	22	22	22	23	22	23	26	26	26	26	21

c - centro do cristal; b - borda; i - intermediário. Quando estão numerados, os números referem-se a um mesmo cristal

BIOTITAS

Unidade	SGG						
Amostra	FAM1	FAM1	FAM36	FAM36	FAM36	FAM36	FAM36
Posição	c	c	c	c	c	c	c
SiO ₂	35,35	36,66	34,50	33,27	33,22	33,41	33,50
TiO ₂	3,74	2,24	4,35	4,00	4,02	4,08	3,73
Al ₂ O ₃	18,60	18,78	16,75	17,46	17,20	17,10	17,70
Cr ₂ O ₃	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	17,43	15,59	26,34	24,38	25,23	24,70	25,27
MnO	0,04	0,00	0,12	0,09	0,02	0,01	0,07
MgO	9,81	12,89	6,15	6,64	6,57	6,29	6,45
CaO	0,01	0,05	0,02	0,02	0,02	0,06	0,00
Na ₂ O	0,17	0,19	0,06	0,00	0,07	0,05	0,02
K ₂ O	9,59	9,61	9,55	9,39	9,36	9,25	9,53
Total	94,73	96,02	97,84	95,25	95,70	94,94	96,28
Cátions (a.f.u.) calculados pela base de 24 oxigênios e 4 OH							
Si	5,373	5,43	5,321	5,235	5,225	5,279	5,234
Al ^{IV}	2,627	2,57	2,679	2,765	2,775	2,721	2,766
Al ^{VI}	0,703	0,705	0,364	0,471	0,412	0,461	0,49
Ti	0,428	0,249	0,505	0,474	0,475	0,485	0,439
Fe ₂	2,215	1,931	3,398	3,209	3,318	3,264	3,302
Cr	na	0,001	na	na	na	na	na
Mn	0,006	0	0,015	0,012	0,003	0,001	0,01
Mg	2,222	2,847	1,414	1,557	1,541	1,481	1,502
Ca	0,002	0,008	0,003	0,003	0,003	0,01	0
Na	0,049	0,054	0,018	0,001	0,02	0,014	0,005
K	1,86	1,815	1,88	1,884	1,877	1,865	1,899
Cátions	15,485	15,61	15,597	15,611	15,649	15,581	15,647
mg	50	60	29	33	32	31	31

c - centro do cristal; b - borda; i - intermediário. Quando estão numerados, os números referem-se a um mesmo cristal

BIOTITAS

Unidade	ENC												
Amostra	FAM62B	FAM62B	FAM64	FAM64	FAM64	FAM84B	FAM84B	FAM84A	FAM84A	FAM84A	FAM27G	FAM27G	FAM27G
Posição	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
SiO ₂	35,06	35,04	35,74	35,31	35,59	34,92	34,41	35,59	35,45	35,71	34,61	34,65	34,69
TiO ₂	5,23	4,32	3,85	3,14	3,67	5,33	5,59	4,48	4,47	4,55	3,65	3,95	2,33
Al ₂ O ₃	13,61	13,676	13,963	14,231	14,137	13,3	13,277	14,401	14,261	14,43	15,07	14,405	15,486
Cr ₂ O ₃	0,01	0,013	0	0,025	0,051	0,001	0	0,009	0,007	0	0,013	0	0
FeO	25,64	26,437	23,348	24,022	23,997	27,856	28,404	24,662	24,655	23,718	28,223	28,534	28,622
MnO	0,16	0,063	0,368	0,46	0,38	0,145	0,225	0,168	0,12	0,127	0,495	0,566	0,62
MgO	6,99	7,073	8,959	8,675	8,678	5,52	5,508	7,687	7,501	7,687	4,41	4,429	4,694
CaO	0,01	0	0,008	0	0,039	0	0	0,029	0	0,034	0,034	0	0,022
Na ₂ O	0,04	0,059	0,042	0	0,039	0,046	0,062	0,07	0,069	0,042	0,039	0,036	0,036
K ₂ O	9,42	9,48	9,574	9,885	9,468	9,211	9,533	9,779	9,716	9,611	9,47	9,444	9,009
Total	96,16	96,162	95,843	95,741	96,051	96,332	97,005	96,876	96,242	95,91	96,014	96,01	95,512
Cátions (a.f.u.) calculados pela base de 24 oxigênios e 4 OH													
Si	5,505	5,523	5,564	5,539	5,545	5,529	5,446	5,516	5,53	5,556	5,514	5,535	5,549
Al ^{IV}	2,495	2,477	2,436	2,461	2,455	2,471	2,475	2,484	2,47	2,444	2,486	2,465	2,451
Al ^{VI}	0,022	0,061	0,124	0,168	0,139	0,009	0	0,144	0,15	0,2	0,342	0,245	0,466
Ti	0,617	0,512	0,45	0,37	0,43	0,635	0,665	0,522	0,524	0,533	0,437	0,474	0,28
Fe ₂	3,367	3,484	3,04	3,151	3,127	3,688	3,76	3,196	3,217	3,086	3,76	3,812	3,829
Cr	0,001	0,002	na	0,003	0,006	na	na	0,001	0,001	na	0,002	na	na
Mn	0,021	0,008	0,049	0,061	0,05	0,019	0,03	0,022	0,016	0,017	0,067	0,077	0,084
Mg	1,637	1,662	2,08	2,029	2,016	1,303	1,3	1,776	1,745	1,783	1,047	1,055	1,119
Ca	0,002	0	0,001	0	0,007	0	0	0,005	0	0,006	0,006	0	0,004
Na	0,012	0,018	0,013	0	0,012	0,014	0,019	0,021	0,021	0,013	0,012	0,011	0,011
K	1,887	1,906	1,902	1,978	1,882	1,861	1,925	1,933	1,934	1,908	1,925	1,925	1,838
Cátions	15,566	15,653	15,659	15,76	15,669	15,529	15,62	15,62	15,608	15,546	15,598	15,599	15,631
mg	33	32	41	39	39	26	26	36	35	37	22	22	23

c - centro do cristal; b - borda; i - intermediário. Quando estão numerados, os números referem-se a um mesmo cristal

BIOTITAS

Unidade	EMB			MLP		
Amostra	FAM80B	FAM80B	FAM80B	MLP2	MLP2	MLP2
Posição	c	c	c	c	c	c
SiO ₂	16,07	15,93	16,85	13,32	10,47	11,05
TiO ₂	3,43	3,40	3,03	4,74	2,03	1,92
Al ₂ O ₃	16,0723	15,9263	16,8478	13,3203	10,4739	11,0465
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0
FeO	22,9841	23,2861	22,7337	27,5382	25,2502	25,2851
MnO	0,5931	0,5733	0,6201	0,1902	0,5281	0,6293
MgO	7,9132	7,9651	7,5821	6,2005	5,1354	4,9606
CaO	0,0016	0,0298	0,0465	0,0031	10,7014	10,7128
Na ₂ O	0,0848	0,0616	0,146	0,0648	1,609	1,6501
K ₂ O	9,6041	9,7079	9,5071	9,3754	1,5528	1,4753
Total	76,7588	76,8795	77,3651	74,7492	67,7574	68,7241
Cátions (a.f.u.) calculados pela base de 24 oxigênios e 4 OH						
Si	3,573	3,548	3,685	3,059	2,687	2,774
Al ^{IV}	4,208	4,178	4,315	3,602	3,164	3,267
Al ^{VI}	0	0	0,025	0	0	0
Ti	0,574	0,57	0,499	0,818	0,392	0,362
Fe ²	4,273	4,338	4,159	5,289	5,417	5,31
Cr	na	na	na	na	na	na
Mn	0,112	0,108	0,115	0,037	0,115	0,134
Mg	2,623	2,645	2,472	2,123	1,964	1,857
Ca	0	0,007	0,011	0,001	2,941	2,882
Na	0,037	0,027	0,062	0,029	0,8	0,804
K	2,724	2,759	2,653	2,747	0,508	0,473
Cátions	18,124	18,18	17,996	17,705	17,988	17,863
mg	38	38	37	29	27	26

c - centro do cristal; b - borda; i - intermediário. Quando estão numerados, os números referem-se a um mesmo cristal

CLINOPIROXÊNIOS

Unidade	SMGp										Sch		
Amostra	FAM28	FAM28	FAM28	FAM28	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM10	FAM10	FAM10
Posição	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
Oxidos (%)													
SiO ₂	48,52	49,11	49,19	49,21	50,75	51,05	51,37	52,04	50,39	51,25	49,54	50,02	48,97
TiO ₂	0,16	0,20	0,12	0,10	0,03	0,21	0,13	0,21	0,15	0,14	0,10	0,03	0,12
Al ₂ O ₃	1,30	1,21	1,27	1,24	1,15	1,05	1,30	1,17	1,35	1,33	1,07	0,95	1,14
FeO	21,81	19,41	19,64	22,64	16,22	14,83	17,39	16,56	17,13	15,96	20,55	20,31	21,98
Cr ₂ O ₃	na.	na.	na.	na.	na.	na.	na.	na.	na.	na.	na.	na.	na.
MnO	0,52	0,45	0,48	0,56	0,41	0,29	0,42	0,28	0,43	0,24	0,48	0,59	0,58
MgO	9,14	9,04	9,07	8,78	9,78	9,93	9,91	10,16	9,99	9,58	7,81	8,15	8,28
CaO	18,85	20,69	20,53	17,73	19,49	21,50	20,96	21,52	20,98	20,93	21,12	20,94	18,73
Na ₂ O	0,15	0,00	0,19	0,00	0,33	0,33	0,42	0,34	0,33	0,41	0,00	0,46	0,43
K ₂ O	0,02	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,07	0,00	0,00	0,02	0,11
Total	100,48	100,12	100,56	100,26	98,16	99,19	101,91	102,30	100,82	99,84	100,69	101,46	100,33
Cátions (a.f.u.) calculados pela base de 6 Oxigênios													
TSi	1,884	1,908	1,900	1,925	1,987	1,972	1,939	1,954	1,922	1,972	1,928	1,921	1,908
TAI	0,060	0,056	0,058	0,057	0,013	0,028	0,058	0,046	0,060	0,028	0,049	0,043	0,052
TFe ³⁺	0,056	0,037	0,042	0,018	0,000	0,000	0,003	0,000	0,018	0,000	0,022	0,036	0,040
M1Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,040	0,020	0,000	0,005	0,000	0,032	0,000	0,000	0,000
M1Ti	0,005	0,006	0,003	0,003	0,001	0,006	0,004	0,006	0,004	0,004	0,003	0,001	0,004
M1Fe ³⁺	0,119	0,081	0,110	0,069	0,000	0,021	0,084	0,054	0,097	0,018	0,066	0,112	0,122
M1Fe ²⁺	0,347	0,390	0,364	0,416	0,388	0,382	0,355	0,366	0,330	0,396	0,478	0,420	0,393
M1Cr	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
M1Mg	0,529	0,524	0,522	0,512	0,571	0,571	0,558	0,569	0,568	0,550	0,453	0,467	0,481
M2Mg	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
M2Fe ²⁺	0,186	0,124	0,118	0,238	0,143	0,076	0,108	0,100	0,101	0,099	0,103	0,084	0,161
M2Mn	0,017	0,015	0,016	0,019	0,014	0,009	0,014	0,009	0,014	0,008	0,016	0,019	0,019
M2Ca	0,784	0,861	0,850	0,743	0,818	0,890	0,848	0,866	0,857	0,863	0,881	0,862	0,782
M2Na	0,011	0,000	0,014	0,000	0,025	0,025	0,031	0,025	0,024	0,030	0,000	0,034	0,032
M2K	0,001	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000	0,000	0,001	0,006
Total	3,999	4,000	3,997	4,000	4,000	4,000	4,000	3,999	3,997	4,000	4,000	3,999	3,994
WO	38,459	42,418	42,020	36,883	42,297	45,640	43,080	44,092	43,169	44,622	43,636	43,087	39,130
EN	25,958	25,793	25,834	25,424	29,521	29,309	28,330	28,963	28,614	28,418	22,442	23,341	24,074
FS	35,583	31,788	32,146	37,694	28,183	25,051	28,590	26,944	28,218	26,959	33,922	33,572	36,796
Mg/(Mg+Fe ²⁺)	0,500	0,500	0,520	0,440	0,520	0,550	0,550	0,550	0,570	0,530	0,440	0,480	0,460
Fe ²⁺ /(Mn+Fe ²⁺)	0,970	0,970	0,970	0,970	0,970	0,980	0,970	0,980	0,970	0,980	0,970	0,960	0,970

ORTOPIROXÊNIOS

Unidade	SMGp											
Amostra	FAM28	FAM28	FAM28	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM 21	FAM 21	FAM85	FAM85
Posição	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
Óxidos (%)												
SiO ₂	46,33	48,25	47,63	49,61	48,77	50,34	48,66	49,66	47,14	46,98	49,42	49,62
TiO ₂	0,00	0,08	0,07	0,19	0,13	0,03	0,05	0,00	0,08	0,04	0,08	0,12
Al ₂ O ₃	0,75	0,50	0,61	0,60	0,72	0,59	0,55	0,73	0,96	0,92	0,79	0,65
FeO	40,44	40,04	40,50	34,84	35,30	36,43	37,56	36,86	38,31	37,79	34,78	35,39
Cr ₂ O ₃	na.	na.	na.	na.	na.	na.	na.	na.	na.	na.	0,02	0,04
MnO	1,15	1,11	1,21	0,73	0,79	0,87	0,44	0,84	1,19	1,10	0,82	0,92
MgO	11,07	11,13	10,89	12,34	12,38	13,03	12,78	12,20	12,71	12,71	12,42	12,76
CaO	0,76	0,98	0,60	0,74	0,76	0,71	0,73	0,69	0,44	0,47	1,94	0,73
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,08	0,00	0,10	0,00	0,01	0,02	0,01
K ₂ O	0,02	0,04	0,01	0,01	0,03	0,15	0,00	0,03	0,01	0,00	0,02	0,00
Total	100,52	102,13	101,53	99,07	98,95	102,24	100,80	101,10	100,85	100,02	100,29	100,23
Cátions (a.f.u.) calculados pela base de 6 Oxigênios												
TSi	1,865	1,910	1,902	1,996	1,964	1,959	1,927	1,963	1,870	1,877	1,960	1,971
TAI	0,036	0,023	0,028	0,004	0,034	0,027	0,026	0,034	0,045	0,043	0,037	0,029
TFe3+	0,099	0,066	0,070	0,000	0,002	0,014	0,047	0,003	0,085	0,079	0,000	0,002
M1Al	0,000	0,000	0,000	0,024	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M1Ti	0,000	0,002	0,002	0,006	0,004	0,001	0,002	0,000	0,002	0,001	0,002	0,004
M1Fe3+	0,136	0,087	0,095	0,000	0,036	0,053	0,070	0,046	0,126	0,121	0,226	0,219
M1Fe2+	0,200	0,254	0,255	0,230	0,217	0,191	0,174	0,235	0,120	0,121	0,001	0,001
M1Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
M1Mg	0,664	0,657	0,648	0,740	0,743	0,756	0,755	0,719	0,752	0,757	0,734	0,755
M2Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M2Fe2+	0,927	0,919	0,933	0,943	0,933	0,928	0,953	0,934	0,940	0,942	0,888	0,937
M2Mn	0,039	0,037	0,041	0,025	0,027	0,029	0,015	0,028	0,040	0,037	0,027	0,031
M2Ca	0,033	0,042	0,026	0,032	0,033	0,030	0,031	0,029	0,019	0,020	0,082	0,031
M2Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,006	0,000	0,007	0,000	0,001	0,001	0,000
M2K	0,001	0,002	0,000	0,001	0,001	0,008	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000
Total	3,999	3,998	4,000	3,999	3,999	3,992	4,000	3,998	4,000	4,000	3,999	4,000
WO	1,556	2,020	1,240	1,618	1,636	1,487	1,522	1,463	0,904	0,963	4,128	1,563
EN	31,664	31,866	31,359	37,588	37,316	37,790	36,906	36,035	36,108	36,445	36,753	37,902
FS	66,780	66,114	67,401	60,795	61,049	60,723	61,572	62,502	62,988	62,592	59,118	60,535
Mg/(Mg+Fe+2)	0,370	0,360	0,350	0,390	0,390	0,400	0,400	0,380	0,420	0,420	0,400	0,400
Fe2+/(Mn+Fe+2)	0,970	0,970	0,970	0,980	0,980	0,970	0,990	0,980	0,960	0,970	0,980	0,970

ORTOPIROXÊNIOS

Unidade Amostra Posição Óxidos (%)	FAM10	FAM10	FAM10	FAM4G	FAM4G	SCh FAM4G	FAM4G	FAM4G	FAM4G	FAM4G	FAM4G	FAM4G
	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
SiO ₂	47,68	48,08	48,29	47,71	47,68	47,67	48,25	47,79	47,63	47,11	47,62	
TiO ₂	0,09	0,04	0,00	0,14	0,10	0,12	0,06	0,11	0,07	0,12	0,09	
Al ₂ O ₃	0,55	0,45	0,42	0,41	0,44	0,46	0,40	0,36	0,38	0,47	0,31	
FeO	42,24	42,27	42,49	41,77	42,26	42,05	40,83	41,20	41,29	41,98	41,83	
Cr ₂ O ₃	na.	na.	na.	0,05	0,00	0,07	0,02	0,05	0,00	0,00	0,00	
MnO	1,49	1,40	1,39	1,46	1,63	1,63	1,39	1,33	1,36	1,55	1,59	
MgO	9,36	9,56	9,69	8,10	7,63	7,89	8,71	8,67	7,96	7,54	7,85	
CaO	0,94	0,79	0,65	0,80	0,80	0,87	0,92	0,83	0,87	0,87	0,92	
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,02	0,05	0,09	0,04	0,02	
K ₂ O	0,00	0,02	0,05	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	
Total	102,35	102,61	102,98	100,43	100,57	100,76	100,60	100,38	99,67	99,67	100,25	
Cátions (a.f.u.) calculados pela base de 6 Oxigênios												
TSi	1,908	1,917	1,918	1,959	1,960	1,954	1,967	1,954	1,968	1,955	1,961	
TAI	0,026	0,021	0,020	0,020	0,021	0,022	0,019	0,017	0,018	0,023	0,015	
TFe ³⁺	0,066	0,062	0,062									
M1Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
M1Ti	0,003	0,001	0,000	0,004	0,003	0,004	0,002	0,003	0,002	0,004	0,003	
M1Fe ³⁺	0,087	0,082	0,085									
M1Fe ²⁺	0,352	0,349	0,342	0,467	0,493	0,475	0,439	0,425	0,472	0,489	0,480	
M1Cr	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	
M1Mg	0,558	0,568	0,574	0,496	0,468	0,482	0,529	0,529	0,490	0,466	0,482	
M2Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
M2Fe ²⁺	0,909	0,917	0,923	0,914	0,905	0,905	0,911	0,914	0,906	0,904	0,902	
M2Mn	0,050	0,047	0,047	0,051	0,057	0,057	0,048	0,046	0,048	0,054	0,056	
M2Ca	0,040	0,034	0,028	0,035	0,035	0,038	0,040	0,036	0,039	0,039	0,041	
M2Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,004	0,007	0,003	0,002	
M2K	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	
Total	4,000	3,999	3,998	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,999	4,000	4,000	
WO	1,955	1,630	1,338	1,737	1,740	1,891	1,996	1,792	1,923	1,912	2,008	
EN	27,066	27,597	27,854	24,598	23,238	23,896	26,338	26,172	24,472	23,130	23,880	
FS	70,979	70,773	70,808	73,665	75,021	74,214	71,666	72,037	73,605	74,957	74,111	
Mg/(Mg+Fe+2)	0,310	0,310	0,310	0,260	0,250	0,260	0,280	0,280	0,260	0,250	0,260	
Fe ²⁺ /(Mn+Fe+2)	0,960	0,960	0,960	0,960	0,960	0,960	0,970	0,970	0,970	0,960	0,960	

ORTOPIROXÊNIOS

Unidade	ENC					
Amostra	FAM84B	FAM84B	FAM84B	FAM84B	FAM84B	FAM84B
Posição	c	c	c	c	c	c
Óxidos (%)						
SiO ₂	48,38	48,19	48,34	48,17	48,15	48,22
TiO ₂	0,05	0,09	0,08	0,09	0,10	0,10
Al ₂ O ₃	0,37	0,42	0,37	0,43	0,28	0,36
FeO	41,56	41,14	41,00	41,61	41,26	41,64
Cr ₂ O ₃	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04
MnO	1,64	1,63	1,79	1,91	1,86	1,87
MgO	8,32	8,04	7,78	7,82	7,78	7,81
CaO	0,90	0,97	0,85	0,87	0,71	0,70
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
Total	101,24	100,48	100,21	100,91	100,18	100,73
Cátions (a.f.u.) calculados pela base de 6 Oxigênios						
TSi	1,967	1,976	1,990	1,971	1,985	1,978
TAI	0,018	0,020	0,010	0,021	0,014	0,017
TFe ³⁺						
M1Al	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000
M1Ti	0,001	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
M1Fe ³⁺						
M1Fe ²⁺	0,463	0,487	0,512	0,497	0,508	0,504
M1Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
M1Mg	0,504	0,491	0,477	0,477	0,478	0,477
M2Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M2Fe ²⁺	0,903	0,901	0,900	0,896	0,902	0,904
M2Mn	0,056	0,057	0,063	0,066	0,065	0,065
M2Ca	0,039	0,043	0,037	0,038	0,031	0,031
M2Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M2K	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Total	3,999	4,000	4,000	4,000	3,999	4,000
WO	1,944	2,133	1,878	1,911	1,559	1,533
EN	25,041	24,554	23,995	23,783	23,945	23,850
FS	73,015	73,313	74,126	74,306	74,495	74,617
Mg/(Mg+Fe ²⁺)	0,270	0,260	0,250	0,260	0,250	0,250
Fe ²⁺ /(Mn+Fe ²⁺)	0,960	0,960	0,960	0,950	0,960	0,960

FELDSPATOS ALCALINOS

Unidade	SCp		AGG		ENC			
Amostra	FAM24A	FAM5	FAM1	FAM1	FAM84A	FAM27G	FAM27G	FAM27G
Posição	c	c	c	c	c	c	c	c
Óxidos (%)								
SiO ₂	64,25	64,58	63,80	64,43	64,88	64,15	64,92	64,38
TiO ₂	0,01	0,00	0,03	0,06	0,05	0,02	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	18,81	18,25	18,87	18,61	19,07	18,22	19,10	18,46
FeO	0,00	0,04	0,02	0,00	0,04	0,12	0,00	0,01
MnO	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
MgO	0,01	0,05	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00
CaO	0,03	0,22	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,93	1,87	0,99	0,98	2,67	0,87	3,55	0,97
Cr ₂ O ₃	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
K ₂ O	15,62	14,00	15,86	15,65	13,54	15,94	12,44	15,29
Total	99,70	99,02	99,60	99,74	100,34	99,34	100,04	99,11
Cátions (a.f.u.) calculados pela base de 32 Oxigênios								
Si	11,902	11,978	11,861	11,932	11,870	11,957	11,869	11,970
Al	4,104	3,987	4,131	4,058	4,109	3,998	4,112	4,042
Ti	0,002	0,000	0,003	0,008	0,006	0,003	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,000	0,007	0,003	0,000	0,005	0,019	0,001	0,001
Mn	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002
Mg	0,003	0,013	0,000	0,002	0,000	0,003	0,005	0,000
Ca	0,006	0,044	0,000	0,000	0,018	0,000	0,001	0,000
Na	0,334	0,673	0,357	0,352	0,948	0,314	1,259	0,348
Cr	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	3,691	3,313	3,761	3,698	3,159	3,790	2,901	3,626
Total	20,052	20,015	20,121	20,050	20,115	20,084	20,149	19,989
Membros Finais								
AB	8,300	16,700	8,700	8,700	23,000	7,700	30,300	8,800
AN	0,100	1,100	0,000	0,000	0,400	0,000	0,000	0,000
OR	91,600	82,200	91,300	91,300	76,600	92,300	69,700	91,200

GRANADAS

Unidade	AGG									
Amostra	FAM36	FAM36	FAM36	FAM36	FAM36	FAM36	FAM36	FAM1	FAM1	FAM1
Posição	c	c	b	c	b	c	c	c	b	c
Óxidos (%)										
SiO ₂	35,20	35,35	35,68	35,60	35,47	35,71	35,41	37,63	37,57	38,16
TiO ₂	0,00	0,04	0,05	0,04	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	20,63	20,36	20,47	20,55	20,25	20,52	20,58	21,40	21,21	21,59
FeO	37,84	38,15	38,86	38,65	38,29	38,27	37,62	35,49	36,21	34,45
MnO	2,76	2,70	2,91	2,69	2,69	2,81	2,72	0,55	0,63	0,50
MgO	2,57	2,13	1,89	2,50	2,26	2,54	2,55	4,80	4,15	5,83
CaO	1,72	1,78	1,46	1,60	1,37	1,55	1,75	0,75	0,96	0,85
Na ₂ O	0,02	0,05	0,01	0,03	0,00	0,06	0,00	0,02	0,07	0,07
Total	100,74	100,56	101,34	101,66	100,35	101,47	100,64	100,64	100,79	101,44
Cátions (a.f.u.) calculados pela base de 8 Oxigênios										
Si	2,839	2,864	2,877	2,85	2,882	2,862	2,858	2,982	2,985	2,976
Al ^{IV}	0,161	0,136	0,123	0,15	0,118	0,138	0,142	0,018	0,015	0,024
Al ^{VI}	1,799	1,807	1,821	1,787	1,819	1,799	1,815	1,978	1,969	1,959
Ti	0	0,002	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0	0,000	0,000
Fe ²⁺	2,552	2,585	2,621	2,587	2,601	2,565	2,54	2,352	2,406	2,247
Mg	0,309	0,257	0,227	0,298	0,274	0,303	0,306	0,567	0,492	0,678
Mn	0,188	0,185	0,199	0,183	0,185	0,191	0,186	0,037	0,042	0,033
Ca	0,149	0,155	0,126	0,137	0,119	0,133	0,152	0,064	0,081	0,071
Na	0,004	0,007	0,002	0,005	0,001	0,009	0,001	0,002	0,010	0,010
Total	8	8	8	8	8	8	8	8	8,000	8,000
Membros Finais										
ALM	79,72	na.	82,538	80,58	81,797	na.	79,761	77,822	na.	na.
ANA.	0	na.	0	0	0	na.	0	0	na.	na.
GROSS	4,642	na.	3,982	4,276	3,737	na.	4,761	2,104	na.	na.
PYROPE	9,641	na.	7,164	9,294	8,624	na.	9,625	18,771	na.	na.
SPESS	5,886	na.	6,267	5,686	5,818	na.	5,83	1,222	na.	na.
mg	8,259	10,058	11,546	8,681	9,493	8,465	8,301	4,148	4,890	3,314

c - centro do cristal; b - borda; i - intermediário. Quando estão numerados, os números referem-se a um mesmo cristal

GRUPO DO EPIDOTO

Unidade	SCp		ENC			EMB
Amostra	FAM5	FAM5	FAM62B	FAM27G	FAM27G	FAM80B
Mineral	allanita	allanita	epidoto	allanita	epidoto	epidoto
Posição	c	c	c	c	c	c
Óxidos (%)						
SiO ₂	28,13	28,81	31,26	30,15	29,49	36,47
TiO ₂	0,00	0,18	0,92	0,00	2,66	0,47
ThO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	11,29	12,25	21,83	14,24	25,25	20,87
FeO	17,41	15,72	0,86	14,40	20,85	5,88
MnO	0,57	0,74	0,07	0,60	0,03	0,04
MgO	0,48	0,53	0,15	0,43	0,02	2,15
CaO	11,62	11,36	1,28	11,24	0,87	2,13
Na ₂ O	0,00	0,00	0,09	0,03	0,14	0,05
K ₂ O	0,06	0,00	0,50	0,02	0,18	0,46
P ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	69,57	69,60	56,96	71,11	79,48	68,52
Cátions (a.f.u.) calculados pela base de 12,5 Oxigênios						
Si	3,366	3,387	3,712	3,403	2,918	3,757
Al ^{IV}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,082	0,000
Al ^{VI}	1,591	1,696	3,052	1,893	2,861	2,532
Ti	0,000	0,016	0,083	0,000	0,198	0,037
Mg	0,086	0,094	0,026	0,072	0,003	0,331
Fe ²	1,742	1,546	0,086	1,359	1,726	0,507
Mn	0,058	0,074	0,007	0,057	0,003	0,004
Ca	1,489	1,431	0,163	1,359	0,092	0,235
Na	0,001	0,001	0,020	0,007	0,027	0,010
K	0,010	0,000	0,076	0,002	0,022	0,060
Total	8,343	8,245	7,225	8,152	7,932	7,473

ILMENITAS

Unidade	SMGp			SMGt	SCh		SCp			AGG	ENC			MLP	
Amostra	FAM85	FAM52	FAM52	FAM47	FAM4G	FAM10	FAM5	FAM5	FAM24A	FAM1	FAM84B	FAM62B	FAM64	MLP2	MLP2
Posição	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
Óxidos															
(%)															
SiO ₂	0,04	0,14	0,10	0,07	0,05	0,06	0,07	0,10	0,04	0,01	0,02	0,04	0,06	0,13	0,29
TiO ₂	52,08	49,28	52,23	45,50	48,82	49,51	50,05	59,92	50,38	52,94	49,54	48,54	47,99	49,63	48,48
Al ₂ O ₃	0,04	0,01	0,03	0,04	0,02	0,07	0,06	0,03	0,00	0,01	0,05	0,02	0,05	0,06	0,02
FeO	45,15	50,44	48,10	50,52	48,60	51,85	45,92	34,22	45,00	46,30	48,05	48,20	47,43	48,62	49,22
MnO	1,45	0,57	0,51	1,67	1,00	0,64	5,75	0,83	2,46	0,18	1,12	1,03	2,11	1,56	1,21
MgO	0,41	0,17	0,08	0,24	0,16	0,20	0,10	0,05	0,15	0,43	0,37	0,02	0,57	0,19	0,11
CaO	0,05	0,02	0,21	0,04	0,05	0,02	0,04	0,04	0,08	0,00	0,00	0,11	0,07	0,05	0,04
Na ₂ O	0,02	0,02	0,05	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,09	0,03	0,01	0,01
K ₂ O	0,00	0,03	0,08	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
TOTAL	99,21	100,66	101,39	98,07	98,69	102,37	102,10	95,20	98,12	99,88	99,14	98,05	98,30	100,23	99,39
Cátions (a.f.u.) calculados pela base de 6															
Oxigênios															
Si	0,002	0,007	0,005	0,004	0,003	0,003	0,003	0,005	0,002	0,000	0,001	0,002	0,003	0,007	0,015
Al	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,004	0,004	0,002	0,000	0,000	0,003	0,001	0,003	0,004	0,001
Ti	1,989	1,895	1,965	1,822	1,910	1,878	1,897	2,257	1,962	2,005	1,922	1,912	1,886	1,909	1,887
Fe ²⁺	1,918	2,156	2,012	2,249	2,114	2,187	1,935	1,433	1,948	1,949	2,073	2,111	2,073	2,079	2,130
Mn	0,062	0,025	0,022	0,075	0,044	0,027	0,245	0,035	0,108	0,008	0,049	0,046	0,093	0,067	0,053
Mg	0,031	0,013	0,006	0,019	0,013	0,015	0,008	0,004	0,012	0,032	0,028	0,002	0,044	0,014	0,008
Ca	0,002	0,001	0,011	0,002	0,003	0,001	0,002	0,002	0,004	0,000	0,000	0,006	0,004	0,003	0,002
Na	0,002	0,002	0,005	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,009	0,003	0,001	0,001
K	0,000	0,002	0,005	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Total	4,008	4,102	4,033	4,173	4,088	4,116	4,101	3,739	4,036	3,995	4,076	4,089	4,109	4,084	4,098

ILMENITAS

Unidade	SMGp			SMGt	SCh		SCp			AGG	ENC			MLP	
Amostra	FAM85	FAM52	FAM52	FAM47	FAM4G	FAM10	FAM5	FAM5	FAM24A	FAM1	FAM84B	FAM62B	FAM64	MLP2	MLP2
Posição	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
Óxidos															
(%)															
SiO ₂	0,04	0,14	0,10	0,07	0,05	0,06	0,07	0,10	0,04	0,01	0,02	0,04	0,06	0,13	0,29
TiO ₂	52,08	49,28	52,23	45,50	48,82	49,51	50,05	59,92	50,38	52,94	49,54	48,54	47,99	49,63	48,48
Al ₂ O ₃	0,04	0,01	0,03	0,04	0,02	0,07	0,06	0,03	0,00	0,01	0,05	0,02	0,05	0,06	0,02
FeO	45,15	50,44	48,10	50,52	48,60	51,85	45,92	34,22	45,00	46,30	48,05	48,20	47,43	48,62	49,22
MnO	1,45	0,57	0,51	1,67	1,00	0,64	5,75	0,83	2,46	0,18	1,12	1,03	2,11	1,56	1,21
MgO	0,41	0,17	0,08	0,24	0,16	0,20	0,10	0,05	0,15	0,43	0,37	0,02	0,57	0,19	0,11
CaO	0,05	0,02	0,21	0,04	0,05	0,02	0,04	0,04	0,08	0,00	0,00	0,11	0,07	0,05	0,04
Na ₂ O	0,02	0,02	0,05	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,09	0,03	0,01	0,01
K ₂ O	0,00	0,03	0,08	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
TOTAL	99,21	100,66	101,39	98,07	98,69	102,37	102,10	95,20	98,12	99,88	99,14	98,05	98,30	100,23	99,39
Cátions (a.f.u.) calculados pela base de 6															
Oxigênios															
Si	0,002	0,007	0,005	0,004	0,003	0,003	0,003	0,005	0,002	0,000	0,001	0,002	0,003	0,007	0,015
Al	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,004	0,004	0,002	0,000	0,000	0,003	0,001	0,003	0,004	0,001
Ti	1,989	1,895	1,965	1,822	1,910	1,878	1,897	2,257	1,962	2,005	1,922	1,912	1,886	1,909	1,887
Fe ²⁺	1,918	2,156	2,012	2,249	2,114	2,187	1,935	1,433	1,948	1,949	2,073	2,111	2,073	2,079	2,130
Mn	0,062	0,025	0,022	0,075	0,044	0,027	0,245	0,035	0,108	0,008	0,049	0,046	0,093	0,067	0,053
Mg	0,031	0,013	0,006	0,019	0,013	0,015	0,008	0,004	0,012	0,032	0,028	0,002	0,044	0,014	0,008
Ca	0,002	0,001	0,011	0,002	0,003	0,001	0,002	0,002	0,004	0,000	0,000	0,006	0,004	0,003	0,002
Na	0,002	0,002	0,005	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,009	0,003	0,001	0,001
K	0,000	0,002	0,005	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Total	4,008	4,102	4,033	4,173	4,088	4,116	4,101	3,739	4,036	3,995	4,076	4,089	4,109	4,084	4,098

MONAZITAS

Unidade	SGG												
Amostra	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1
Posição	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
Óxidos (%)													
ThO ₂	5,572	6,724	6,524	6,777	8,628	7,343	7,694	7,184	7,078	5,754	6,717	6,772	7,580
P ₂ O ₅	26,087	29,125	29,609	29,554	29,890	29,153	29,702	29,526	29,347	29,810	29,311	30,420	29,803
Y ₂ O ₃	0,394	0,805	0,804	0,763	0,805	0,366	0,204	0,362	0,340	0,998	0,964	0,448	0,874
CaO	1,333	1,546	1,617	1,661	1,613	1,721	1,742	1,612	1,606	1,391	1,370	1,483	1,536
UO ₂	0,635	0,802	1,061	1,020	1,173	0,707	0,678	0,900	0,681	0,906	0,847	0,620	0,767
Gd ₂ O ₃	1,792	1,700	2,075	1,855	1,870	1,531	1,337	1,654	1,852	1,640	1,530	1,908	1,649
Sm ₂ O ₃	2,504	2,436	2,633	2,620	2,683	2,647	2,591	2,664	2,701	2,576	2,395	2,702	2,404
Na ₂ O ₃	11,055	10,376	11,156	11,200	11,498	10,897	11,104	11,054	11,577	11,009	10,585	11,420	10,890
Pr ₂ O ₃	2,723	2,596	2,933	2,699	2,755	2,805	2,861	2,724	2,726	2,746	2,740	2,935	2,641
Ce ₂ O ₃	27,374	27,752	27,555	27,409	27,804	27,818	28,196	28,156	27,778	27,695	26,963	27,316	28,438
La ₂ O ₃	11,315	12,274	11,806	11,297	11,642	11,860	12,287	11,722	11,628	11,806	11,529	11,502	12,169
PbO	0,137	0,164	0,190	0,183	0,170	0,175	0,164	0,175	0,172	0,159	0,158	0,154	0,155
SiO ₂	0,173	0,135	0,128	0,083	0,118	0,278	0,342	0,165	0,178	0,101	0,190	0,321	0,096
Total	91,090	96,440	98,090	97,120	100,650	97,300	98,900	97,900	97,660	96,590	95,300	98,000	99,000
Cátions (a.f.u.) calculados pela base P+Si =1													
Si	0,008	0,005	0,005	0,003	0,005	0,011	0,013	0,007	0,007	0,004	0,008	0,012	0,004
P	0,992	0,995	0,995	0,997	0,995	0,989	0,986	0,993	0,993	0,996	0,992	0,987	0,996
La	0,187	0,183	0,173	0,166	0,169	0,175	0,177	0,172	0,171	0,172	0,170	0,162	0,177
Ce	0,450	0,410	0,400	0,400	0,400	0,408	0,404	0,409	0,406	0,400	0,394	0,383	0,411
Pr	0,045	0,038	0,042	0,039	0,039	0,041	0,041	0,039	0,040	0,039	0,040	0,041	0,038
Na.	0,177	0,149	0,158	0,159	0,161	0,156	0,155	0,157	0,165	0,155	0,151	0,156	0,153
Sm	0,039	0,034	0,036	0,036	0,036	0,037	0,035	0,036	0,037	0,035	0,033	0,036	0,033
Gd	0,027	0,023	0,027	0,024	0,024	0,020	0,017	0,022	0,024	0,021	0,020	0,024	0,022
Y	0,009	0,017	0,017	0,016	0,017	0,008	0,004	0,008	0,007	0,021	0,020	0,009	0,018
U	0,006	0,007	0,009	0,009	0,010	0,006	0,006	0,008	0,006	0,008	0,008	0,005	0,007
Th	0,057	0,062	0,059	0,061	0,077	0,067	0,069	0,065	0,064	0,052	0,061	0,059	0,068
Pb	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Ca	0,064	0,067	0,069	0,071	0,068	0,074	0,073	0,069	0,069	0,059	0,059	0,061	0,065
Total	2,063	1,992	1,992	1,983	2,003	1,994	1,982	1,987	1,991	1,964	1,958	1,937	1,994

MONAZITAS

Unidade	SGG													
Amostra	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1
Posição	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
Óxidos (%)														
ThO ₂	6,504	6,827	6,811	9,093	7,651	6,973	6,922	5,927	6,569	8,402	6,142	6,018	8,284	
P ₂ O ₅	29,961	29,331	29,469	29,668	29,586	27,535	29,120	27,496	30,106	29,283	29,714	30,298	29,551	
Y ₂ O ₃	0,940	1,030	0,851	0,738	0,527	0,578	0,603	0,571	0,477	0,302	0,480	0,470	0,302	
CaO	1,522	1,510	1,504	1,624	1,739	1,514	1,574	1,497	1,542	1,743	1,552	1,557	1,792	
UO ₂	0,612	0,688	0,648	0,536	0,515	0,528	0,570	0,648	0,797	0,586	0,713	0,774	0,515	
Gd ₂ O ₃	1,785	2,040	1,763	1,700	1,832	1,821	1,676	1,717	2,098	1,783	1,805	1,845	1,587	
Sm ₂ O ₃	2,461	2,645	2,519	2,490	2,614	2,347	2,593	2,476	2,628	2,657	2,586	2,535	2,610	
Na ₂ O ₃	11,040	11,654	10,948	11,406	11,298	11,685	11,239	11,418	11,985	10,906	11,333	11,020	11,088	
Pr ₂ O ₃	2,822	2,632	2,988	2,833	2,716	2,732	2,840	2,746	2,940	2,837	2,992	2,561	2,818	
Ce ₂ O ₃	27,821	27,466	27,969	27,918	27,581	27,708	27,646	27,418	27,442	27,853	27,822	27,894	27,745	
La ₂ O ₃	12,176	12,244	12,086	12,208	11,501	11,784	11,466	11,551	11,497	11,269	11,597	12,262	11,497	
PbO	0,152	0,167	0,156	0,159	0,178	0,156	0,170	0,161	0,165	0,189	0,169	0,156	0,173	
SiO ₂	0,045	0,216	0,276	0,220	0,242	0,120	0,171	0,109	0,163	0,218	0,201	0,199	0,225	
Total	97,840	98,450	97,990	100,590	97,980	95,480	96,590	93,740	98,410	98,030	97,110	97,590	98,190	
Cátions (a.f.u.) calculados pela base P+Si =1														
Si	0,002	0,009	0,011	0,009	0,010	0,005	0,007	0,005	0,006	0,009	0,008	0,008	0,009	
P	0,998	0,991	0,989	0,991	0,990	0,995	0,993	0,995	0,994	0,991	0,992	0,992	0,991	
La	0,176	0,180	0,177	0,178	0,168	0,185	0,170	0,182	0,165	0,166	0,169	0,175	0,168	
Ce	0,400	0,401	0,406	0,403	0,399	0,432	0,407	0,429	0,391	0,407	0,401	0,394	0,402	
Pr	0,040	0,038	0,043	0,041	0,039	0,042	0,042	0,043	0,042	0,041	0,043	0,036	0,041	
Na	0,155	0,166	0,155	0,161	0,159	0,178	0,162	0,174	0,167	0,156	0,159	0,152	0,157	
Sm	0,033	0,036	0,034	0,034	0,036	0,034	0,036	0,036	0,035	0,037	0,035	0,034	0,036	
Gd	0,023	0,027	0,023	0,022	0,024	0,026	0,022	0,024	0,027	0,024	0,024	0,024	0,021	
Y	0,020	0,022	0,018	0,015	0,011	0,013	0,013	0,013	0,010	0,006	0,010	0,010	0,006	
U	0,005	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,007	0,005	0,006	0,007	0,005	
Th	0,058	0,062	0,061	0,082	0,069	0,068	0,063	0,058	0,058	0,076	0,055	0,053	0,075	
Pb	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	
Ca	0,064	0,065	0,064	0,069	0,074	0,069	0,068	0,069	0,064	0,075	0,066	0,064	0,076	
Total	1,976	2,005	1,989	2,012	1,986	2,054	1,990	2,036	1,968	1,995	1,970	1,951	1,989	

MONAZITAS

Unidade	SGG													
Amostra	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9	FAM9B	
Posição	B													
Óxidos (%)	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
ThO ₂	5,753	9,017	6,742	6,877	6,882	4,669	4,264	5,185	4,546	5,485	6,098	5,192	4,912	
P ₂ O ₅	29,267	29,464	29,446	28,988	29,070	27,015	30,777	31,881	28,692	28,878	28,740	30,465	29,258	
Y ₂ O ₃	0,678	0,471	0,697	0,641	0,824	1,198	2,629	1,954	1,145	1,425	1,128	0,941	1,299	
CaO	1,598	1,605	1,524	1,536	1,575	0,649	1,171	1,098	1,020	1,062	1,146	1,154	0,617	
UO ₂	1,016	0,962	0,654	0,806	0,680	0,263	0,392	0,386	0,421	0,518	0,539	0,339	0,145	
Gd ₂ O ₃	1,928	2,037	1,891	1,974	1,471	1,660	1,778	1,730	1,428	1,551	1,326	1,285	1,604	
Sm ₂ O ₃	2,664	2,712	2,810	2,860	2,536	2,477	2,319	2,313	2,222	2,152	1,721	1,800	2,143	
Na ₂ O ₃	11,511	11,602	11,376	11,673	10,707	12,213	10,469	11,864	11,866	10,972	10,478	10,081	11,992	
Pr ₂ O ₃	2,724	3,007	3,025	2,783	2,677	2,929	2,784	2,856	2,632	2,775	2,662	2,631	3,138	
Ce ₂ O ₃	26,897	27,545	27,682	27,294	28,086	29,282	27,459	28,251	29,546	28,739	29,227	28,927	29,618	
La ₂ O ₃	11,017	11,172	11,968	11,385	12,497	12,219	12,230	11,867	13,214	12,571	13,792	14,724	12,601	
PbO	0,204	0,187	0,177	0,186	0,172	0,100	0,107	0,095	0,120	0,111	0,124	0,103	0,098	
SiO ₂	0,193	0,180	0,148	0,186	0,120	0,541	0,494	0,214	0,285	0,308	0,323	0,235	0,687	
Total	95,450	99,960	98,140	97,190	97,300	95,210	96,870	99,690	97,140	96,550	97,300	97,880	98,110	
Cátions (a.f.u.) calculados pela base P+Si =1														
Si	0,008	0,007	0,006	0,008	0,005	0,023	0,019	0,008	0,012	0,012	0,013	0,009	0,027	
P	0,992	0,993	0,994	0,992	0,995	0,977	0,982	0,992	0,988	0,988	0,987	0,991	0,973	
La	0,162	0,164	0,176	0,170	0,186	0,192	0,170	0,161	0,198	0,187	0,206	0,209	0,182	
Ce	0,394	0,401	0,404	0,404	0,415	0,457	0,378	0,380	0,439	0,425	0,433	0,407	0,426	
Pr	0,040	0,044	0,044	0,041	0,039	0,046	0,038	0,038	0,039	0,041	0,039	0,037	0,045	
Na	0,164	0,165	0,162	0,168	0,154	0,186	0,141	0,156	0,172	0,158	0,152	0,138	0,168	
Sm	0,037	0,037	0,039	0,040	0,035	0,036	0,030	0,029	0,031	0,030	0,024	0,024	0,029	
Gd	0,026	0,027	0,025	0,026	0,020	0,023	0,022	0,021	0,019	0,021	0,018	0,016	0,021	
Y	0,014	0,010	0,015	0,014	0,018	0,027	0,053	0,038	0,025	0,031	0,024	0,019	0,027	
U	0,009	0,009	0,006	0,007	0,006	0,002	0,003	0,003	0,004	0,005	0,005	0,003	0,001	
Th	0,052	0,082	0,061	0,063	0,063	0,045	0,037	0,043	0,042	0,050	0,056	0,045	0,044	
Pb	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	
Ca	0,069	0,068	0,065	0,067	0,068	0,030	0,047	0,043	0,044	0,046	0,050	0,048	0,026	
Total	1,969	2,009	1,999	2,002	2,006	2,045	1,921	1,913	2,014	1,995	2,008	1,947	1,970	

MONAZITAS

Unidade	SGG													
Amostra	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B
Posição	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
Óxidos (%)														
ThO ₂	4,548	5,386	4,681	4,812	4,738	4,984	5,248	8,663	7,462	3,449	4,364	4,869	4,565	4,736
P ₂ O ₅	31,043	31,804	31,151	28,706	29,256	29,304	31,075	28,953	29,127	28,981	28,939	29,324	28,396	29,159
Y ₂ O ₃	1,758	2,558	2,542	1,942	1,831	1,965	2,286	2,559	2,480	2,332	2,371	2,466	2,506	1,901
CaO	0,788	0,998	0,985	0,960	1,059	1,139	1,089	1,507	1,524	0,999	1,033	1,090	0,977	1,033
UO ₂	0,310	0,280	0,287	0,498	0,382	0,429	0,414	0,888	0,724	0,458	0,476	0,435	0,602	0,357
Gd ₂ O ₃	1,755	1,918	2,007	1,939	1,685	1,914	1,697	2,441	2,454	1,565	1,557	1,829	1,697	1,649
Sm ₂ O ₃	2,469	2,370	2,419	2,201	2,148	2,400	2,293	3,296	3,453	1,892	1,969	2,143	2,057	2,057
Na ₂ O ₃	11,572	11,250	11,366	10,984	11,216	11,426	10,941	10,906	11,369	9,935	10,161	10,741	10,696	10,978
Pr ₂ O ₃	2,997	2,619	2,623	2,684	2,438	2,808	2,898	2,892	2,913	2,268	2,674	2,660	2,722	2,826
Ce ₂ O ₃	28,468	27,958	27,772	29,370	28,728	28,381	27,978	24,543	24,761	26,666	27,482	27,847	28,111	28,320
La ₂ O ₃	12,062	11,052	11,205	12,413	12,538	12,564	12,211	9,979	10,266	12,359	12,644	11,969	12,224	12,319
PbO	0,101	0,106	0,124	0,115	0,104	0,118	0,117	0,191	0,203	0,114	0,106	0,125	0,132	0,109
SiO ₂	0,364	0,374	0,317	0,220	0,135	0,120	0,289	0,312	0,379	0,413	0,334	0,137	0,201	0,220
Total	98,240	98,670	97,480	96,840	96,260	97,550	98,540	97,130	97,120	91,430	94,110	95,630	94,890	95,660
Cátions (a.f.u.) calculados pela base P+Si = 1														
Si	0,014	0,014	0,012	0,009	0,005	0,005	0,011	0,013	0,015	0,017	0,013	0,005	0,008	0,009
P	0,986	0,986	0,988	0,991	0,995	0,995	0,990	0,987	0,985	0,983	0,986	0,995	0,992	0,992
La	0,167	0,149	0,155	0,187	0,186	0,186	0,169	0,148	0,151	0,183	0,187	0,177	0,186	0,182
Ce	0,391	0,375	0,380	0,438	0,422	0,416	0,385	0,362	0,362	0,391	0,404	0,408	0,424	0,416
Pr	0,041	0,035	0,036	0,040	0,036	0,041	0,040	0,042	0,042	0,033	0,039	0,039	0,041	0,041
Na	0,155	0,147	0,152	0,160	0,161	0,164	0,147	0,157	0,162	0,142	0,146	0,154	0,157	0,157
Sm	0,032	0,030	0,031	0,031	0,030	0,033	0,030	0,046	0,047	0,026	0,027	0,030	0,029	0,028
Gd	0,022	0,023	0,025	0,026	0,022	0,025	0,021	0,033	0,032	0,021	0,021	0,024	0,023	0,022
Y	0,035	0,050	0,051	0,042	0,039	0,042	0,046	0,055	0,053	0,050	0,051	0,053	0,055	0,041
U	0,003	0,002	0,002	0,005	0,003	0,004	0,003	0,008	0,006	0,004	0,004	0,004	0,006	0,003
Th	0,039	0,045	0,040	0,045	0,043	0,045	0,045	0,079	0,068	0,031	0,040	0,044	0,043	0,043
Pb	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ca	0,032	0,039	0,040	0,042	0,046	0,049	0,044	0,065	0,065	0,043	0,045	0,047	0,043	0,044
Total	1,918	1,896	1,913	2,017	1,989	2,006	1,932	1,997	1,990	1,925	1,964	1,981	2,008	1,979

MONAZITAS

Unidade	SGG														
Amostra	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B	FAM9B
Posição	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
Óxidos (%)															
ThO ₂	5,169	4,792	4,885	4,729	4,294	4,818	6,681	4,456	3,912	5,009	4,811	3,921	6,591	7,854	
P ₂ O ₅	28,923	28,900	25,383	29,751	29,031	28,176	26,121	28,532	29,052	28,903	29,029	28,857	29,194	29,329	
Y ₂ O ₃	1,928	1,935	1,504	2,432	1,882	1,208	1,565	2,200	2,522	1,382	1,694	0,827	2,539	2,395	
CaO	1,023	0,961	1,373	1,052	0,939	0,609	0,916	0,886	1,005	1,157	1,034	0,793	1,475	1,769	
UO ₂	0,506	0,382	0,309	0,341	0,320	0,227	0,248	0,368	0,312	0,395	0,435	0,314	0,667	0,585	
Gd ₂ O ₃	1,836	1,502	1,244	1,551	1,638	1,486	1,294	1,749	1,747	1,715	1,494	1,305	2,401	2,198	
Sm ₂ O ₃	2,187	2,080	1,618	2,271	2,174	2,026	1,700	2,244	2,500	2,291	2,061	1,957	3,250	3,308	
Na ₂ O ₃	11,149	10,391	9,391	10,944	11,317	12,263	9,396	10,852	11,376	11,654	10,703	11,313	11,089	11,163	
Pr ₂ O ₃	2,695	2,667	2,315	2,485	2,825	2,949	2,508	2,712	2,968	2,981	2,596	2,751	2,966	2,708	
Ce ₂ O ₃	28,654	28,615	23,733	28,033	28,289	29,435	26,698	26,974	28,105	28,619	29,146	30,481	24,832	24,235	
La ₂ O ₃	12,660	13,145	10,522	12,785	12,072	12,076	12,218	11,380	11,419	12,383	13,610	13,934	9,945	10,312	
PbO	0,120	0,100	0,062	0,110	0,093	0,101	0,090	0,092	0,116	0,123	0,102	0,073	0,179	0,208	
SiO ₂	0,237	0,188	0,734	0,216	0,150	0,573	0,368	0,400	0,300	0,349	0,116	0,214	0,248	0,325	
Total	97,090	95,660	83,070	96,700	95,020	95,950	89,800	92,850	95,330	96,960	96,830	96,740	95,380	96,390	
Cátions (a.f.u.) calculados pela base P+Si =1															
Si	0,010	0,008	0,033	0,009	0,006	0,023	0,016	0,016	0,012	0,014	0,005	0,009	0,010	0,013	
P	0,990	0,992	0,967	0,991	0,994	0,977	0,984	0,983	0,988	0,986	0,995	0,991	0,990	0,987	
La	0,189	0,196	0,174	0,185	0,180	0,182	0,200	0,171	0,169	0,184	0,203	0,208	0,147	0,151	
Ce	0,424	0,424	0,390	0,403	0,418	0,441	0,435	0,401	0,413	0,422	0,431	0,452	0,364	0,352	
Pr	0,040	0,039	0,038	0,036	0,042	0,044	0,041	0,040	0,043	0,044	0,038	0,041	0,043	0,039	
Na	0,161	0,150	0,151	0,154	0,163	0,179	0,149	0,158	0,163	0,168	0,155	0,164	0,158	0,158	
Sm	0,030	0,029	0,025	0,031	0,030	0,029	0,026	0,031	0,035	0,032	0,029	0,027	0,045	0,045	
Gd	0,025	0,020	0,019	0,020	0,022	0,020	0,019	0,024	0,023	0,023	0,020	0,018	0,032	0,029	
Y	0,041	0,042	0,036	0,051	0,040	0,026	0,037	0,048	0,054	0,030	0,036	0,018	0,054	0,051	
U	0,005	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,003	0,006	0,005	
Th	0,048	0,044	0,050	0,042	0,040	0,045	0,068	0,041	0,036	0,046	0,044	0,036	0,060	0,071	
Pb	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	
Ca	0,044	0,042	0,066	0,044	0,041	0,027	0,044	0,039	0,043	0,050	0,045	0,034	0,063	0,075	
Total	2,008	1,990	1,953	1,970	1,980	1,996	2,022	1,956	1,983	2,004	2,006	2,002	1,974	1,978	

PLAGIOCLÁSIOS

Unidade	SMGp										
Amostra	FAM85	FAM85	FAM85	FAM85	FAM85	FAM85	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52
Posição	mg1-c	mg1-i	mg1-b	mt-c	mt-c	mt-c	mt-c	mt-c	mt-c	mg-c	mg-c
Óxidos (%)											
SiO ₂	59,26	59,05	58,63	59,46	58,51	58,55	57,43	57,67	56,53	52,11	52,20
TiO ₂	0,02	0,00	0,05	0,01	0,00	0,03	0,02	0,09	0,01	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	26,17	25,79	25,66	25,71	26,34	26,16	25,82	25,64	25,70	28,21	28,55
FeO	0,13	0,11	0,23	0,07	0,11	0,16	0,13	0,00	0,06	0,02	0,14
MnO	0,03	0,00	0,02	0,01	0,08	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04
MgO	0,03	0,00	0,05	0,00	0,01	0,01	0,06	0,00	0,00	0,03	0,07
CaO	8,12	7,72	7,87	7,73	8,15	8,17	7,61	7,72	7,63	11,14	10,82
Na ₂ O	6,79	7,06	6,97	7,31	6,72	7,04	6,65	5,97	6,84	7,80	5,03
Cr ₂ O ₃	0,00	0,03	0,00	0,07	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,40	0,34	0,38	0,30	0,32	0,21	0,21	0,37	0,25	0,32	0,31
TOTAL	100,94	100,11	99,84	100,67	100,22	100,42	97,93	97,46	97,02	99,64	97,17
Cátions a.f.u. - calculados pela base de 32 Oxigênios											
Si	10,504	10,545	10,517	10,564	10,448	10,445	10,472	10,539	10,424	9,590	9,722
Al	5,462	5,425	5,419	5,380	5,539	5,496	5,546	5,517	5,581	6,114	6,262
Ti	0,002	0,000	0,006	0,001	0,000	0,004	0,003	0,013	0,001	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,019	0,017	0,034	0,011	0,017	0,023	0,020	0,000	0,010	0,003	0,022
Mn	0,004	0,000	0,003	0,002	0,011	0,005	0,000	0,000	0,000	0,002	0,006
Mg	0,007	0,001	0,013	0,000	0,002	0,003	0,016	0,001	0,001	0,007	0,020
Ca	1,543	1,477	1,512	1,472	1,559	1,561	1,486	1,511	1,508	2,197	2,158
Na	2,335	2,446	2,423	2,518	2,325	2,436	2,351	2,114	2,444	2,783	1,817
Cr	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,090	0,077	0,086	0,068	0,072	0,047	0,049	0,087	0,059	0,075	0,074
Total	19,966	19,988	20,013	20,026	19,973	20,030	19,943	19,782	20,028	20,771	20,081
Membros finais											
Ab	58,800	61,200	60,300	62,100	58,800	60,200	60,500	57,000	60,900	55,100	44,900
An	38,900	36,900	37,600	36,300	39,400	38,600	38,200	40,700	37,600	43,500	53,300
Or	2,300	1,900	2,100	1,700	1,800	1,200	1,300	2,300	1,500	1,500	1,800

c - centro do cristal; b - borda; i - intermediário ; mg - megacristal ; mt - matriz; . Quando estão numerados, os números referem-se a um mesmo cristal

PLAGIOCLÁSIOS

Unidade	SMGt				Sch						
Amostra	FAM47	FAM47	FAM47	FAM47	FAM4G	FAM4G	FAM4G	FAM4G	FAM4G	FAM4G	FAM4G
Posição	mt-c	mt-c	mt-c	mt-c	mt -c	mt -c	mgI-c	mgI-i	mgI-i	mgI-b	mt
Óxidos (%)											
SiO ₂	57,75	60,33	59,48	59,37	60,56	61,50	59,94	59,74	60,06	60,26	60,66
TiO ₂	0,01	0,01	0,11	0,00	0,04	0,00	0,07	0,00	0,00	0,03	0,03
Al ₂ O ₃	26,85	25,42	25,74	25,48	24,60	24,31	25,13	25,28	25,27	24,65	24,69
FeO	0,05	0,00	0,23	0,02	0,06	0,09	0,04	0,05	0,06	0,10	0,08
MnO	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01
CaO	8,48	6,94	7,17	7,04	6,28	5,80	6,87	6,98	7,09	6,42	6,38
Na ₂ O	6,96	7,90	7,58	7,59	7,97	8,44	7,55	7,68	7,57	7,97	8,04
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,06	0,00
K ₂ O	0,03	0,09	0,11	0,07	0,32	0,32	0,45	0,41	0,38	0,29	0,49
TOTAL	100,15	100,68	100,44	99,59	99,87	100,51	100,09	100,16	100,45	99,83	100,39
Cátions a.f.u. - calculados pela base de 32 Oxigênios											
Si	10,330	10,680	10,577	10,626	10,799	10,889	10,687	10,654	10,674	10,764	10,781
Al	5,656	5,299	5,391	5,371	5,166	5,069	5,277	5,310	5,288	5,185	5,168
Ti	0,001	0,001	0,014	0,000	0,005	0,000	0,009	0,000	0,000	0,004	0,004
Fe ²⁺	0,007	0,000	0,034	0,003	0,009	0,014	0,006	0,007	0,008	0,015	0,012
Mn	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,000	0,004	0,000
Mg	0,001	0,001	0,000	0,000	0,011	0,009	0,005	0,001	0,003	0,003	0,003
Ca	1,625	1,316	1,366	1,350	1,199	1,100	1,313	1,333	1,349	1,229	1,215
Na	2,412	2,711	2,612	2,635	2,757	2,898	2,611	2,657	2,607	2,760	2,772
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000
K	0,006	0,019	0,025	0,016	0,073	0,071	0,102	0,094	0,087	0,067	0,111
Total	20,041	20,027	20,022	20,001	20,019	20,053	20,010	20,057	20,016	20,041	20,066
Membros finais											
Ab	59,700	67,000	65,300	65,900	68,400	71,200	64,900	65,100	64,500	68,000	67,600
An	40,200	32,500	34,100	33,700	29,800	27,000	32,600	32,600	33,400	30,300	29,600
Or	0,100	0,500	0,600	0,400	1,800	1,700	2,500	2,300	2,200	1,700	2,700

c - centro do cristal; b - borda; i - intermediário ; mg - megacristal ; mt - matriz; . Quando estão numerados, estes referem-se a um mesmo cristal

PLAGIOCLÁSIOS

Unidade	SCh						SCp				
Amostra	FAM4G	FAM4G	FAM4G	FAM10	FAM10	FAM10	FAM77	FAM77	FAM77	FAM77	FAM25
Posição	mg1-c	mg1-b	mt	mt	mt	mt	mg2-c	mg2-i	mt2-b	mt	mt
Óxidos (%)											
SiO ₂	59,92	61,23	60,25	58,91	59,28	60,40	60,17	60,09	61,78	61,62	61,10
TiO ₂	0,01	0,03	0,06	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	24,70	24,05	24,89	24,99	24,04	24,59	24,38	24,53	23,50	23,75	23,56
FeO	0,07	0,09	0,13	0,15	0,20	0,08	0,09	0,14	0,09	0,05	0,08
MnO	0,00	0,00	0,04	0,04	0,02	0,00	0,02	0,05	0,00	0,00	0,00
MgO	0,01	0,02	0,02	0,13	0,03	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,07
CaO	7,22	5,91	6,79	7,03	6,30	6,38	6,43	6,42	5,28	5,28	5,27
Na ₂ O	8,02	8,26	7,63	7,57	7,75	7,61	8,08	7,79	8,67	8,91	8,58
Cr ₂ O ₃	0,02	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00
K ₂ O	0,47	0,53	0,42	0,49	0,48	0,42	0,47	0,48	0,35	0,19	0,18
TOTAL	100,42	100,17	100,23	99,30	98,11	99,50	99,67	99,53	99,67	99,80	98,84
Cátions a.f.u. - calculados pela base de 32 Oxigênios											
Si	10,687	10,894	10,728	10,618	10,786	10,806	10,779	10,772	11,015	10,973	10,977
Al	5,187	5,038	5,218	5,305	5,151	5,180	5,144	5,180	4,934	4,981	4,985
Ti	0,001	0,004	0,008	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,010	0,014	0,020	0,022	0,031	0,012	0,013	0,020	0,013	0,007	0,012
Mn	0,000	0,000	0,007	0,006	0,004	0,000	0,003	0,008	0,000	0,000	0,000
Mg	0,001	0,005	0,005	0,035	0,008	0,007	0,000	0,002	0,001	0,000	0,017
Ca	1,379	1,126	1,296	1,358	1,229	1,222	1,234	1,233	1,008	1,006	1,014
Na	2,775	2,850	2,634	2,644	2,734	2,640	2,807	2,708	2,999	3,075	2,989
Cr	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,106	0,121	0,095	0,112	0,111	0,096	0,108	0,110	0,081	0,042	0,042
Total	20,146	20,062	20,011	20,100	20,054	19,963	20,093	20,033	20,051	20,084	20,036
Membros finais											
Ab	65,100	69,600	65,400	64,300	67,100	66,700	67,700	66,800	73,400	74,600	73,900
An	32,400	27,500	32,200	33,000	30,200	30,900	29,700	30,400	24,700	24,400	25,100
Or	2,500	3,000	2,400	2,700	2,700	2,400	2,600	2,700	2,000	1,000	1,000

c - centro do cristal; b - borda; i - intermediário; mg - megacristal; mt - matriz; . Quando estão numerados, estes referem-se a um mesmo cristal

PLAGIOCLÁSIOS

Unidade	SCp								AGG				
Amostra	FAM25	FAM25	FAM25	FAM5	FAM5	FAM5	FAM5	FAM5	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM36
Posição	mg1-c	mg1-i	mt1-b	mg2-c	mg2-i	mg2-b	mt-c	mt-c	mg3-c	mg3-i	mg3-b	mt-c	mt-c
Óxidos (%)													
SiO ₂	59,33	59,87	60,07	61,38	62,43	61,88	60,82	60,77	62,42	61,85	62,37	61,83	61,25
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Al ₂ O ₃	23,55	24,12	23,97	24,25	23,86	23,85	24,31	23,54	23,82	23,96	23,89	23,86	23,17
FeO	0,07	0,01	0,07	0,13	0,06	0,08	0,38	0,11	0,00	0,01	0,04	0,06	0,07
MnO	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,04	0,00
MgO	0,00	0,02	0,07	0,07	0,09	0,05	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00
CaO	5,56	6,03	5,79	6,18	5,79	5,99	6,35	5,61	5,04	5,19	5,08	5,28	4,73
Na ₂ O	8,33	8,12	7,82	8,16	6,96	7,47	7,87	7,71	8,86	8,67	8,79	8,87	8,81
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,18	0,27	0,21	0,38	0,42	0,40	0,31	0,30	0,20	0,32	0,22	0,28	0,35
TOTAL	97,01	98,44	98,02	100,63	99,61	99,71	100,15	98,06	100,36	100,08	100,41	100,25	98,37
Cátions a.f.u. - calculados pela base de 32 Oxigênios													
Si	10,879	10,828	10,884	10,870	11,071	11,002	10,828	10,989	11,029	10,976	11,019	10,967	11,051
Al	5,085	5,137	5,114	5,057	4,982	4,994	5,097	5,013	4,957	5,007	4,969	4,984	4,922
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
Fe ²⁺	0,011	0,002	0,011	0,019	0,009	0,011	0,056	0,017	0,000	0,002	0,006	0,009	0,010
Mn	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,003	0,001	0,005	0,000
Mg	0,001	0,005	0,020	0,019	0,025	0,012	0,001	0,001	0,002	0,002	0,004	0,000	0,001
Ca	1,092	1,168	1,124	1,173	1,099	1,140	1,210	1,088	0,955	0,987	0,962	1,004	0,914
Na	2,961	2,846	2,747	2,802	2,393	2,575	2,718	2,705	3,036	2,983	3,009	3,050	3,080
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000
K	0,042	0,061	0,049	0,086	0,095	0,092	0,070	0,070	0,046	0,073	0,049	0,064	0,080
Total	20,071	20,047	19,949	20,036	19,674	19,826	19,996	19,883	20,026	20,043	20,019	20,086	20,058
Membros finais													
Ab	72,300	69,800	70,100	69,000	66,700	67,600	68,000	70,000	75,200	73,800	74,900	74,100	75,600
An	26,700	28,700	28,700	28,900	30,600	29,900	30,300	28,200	23,700	24,400	23,900	24,400	22,400
Or	1,000	1,500	1,300	2,100	2,600	2,400	1,800	1,800	1,100	1,800	1,200	1,600	2,000

c - centro do cristal; b - borda; i - intermediário ; mg - megacristal ; mt - matriz; . Quando estão numerados, estes referem-se a um mesmo cristal

PLAGIOCLÁSIOS

Unidade	ENC														
Amostra	FAM62B	FAM62B	FAM62B	FAM84A	FAM84A	FAM84A	FAM64	FAM64	FAM64	FAM64	FAM64	FAM27G	FAM27G	FAM27G	
Posição	mt-c	mt-c	mt-c	mt-c	mt-c	mt-c	mt-c	mt-c	mgl-c	mgl-i	mtl-b	mt-c	mt-c	mt-c	
SiO ₂	60,07	60,87	61,25	63,60	63,64	62,52	58,54	59,58	59,07	58,24	58,58	62,30	62,34	62,54	
TiO ₂	0,00	0,08	0,00	0,03	0,05	0,01	0,00	0,00	0,04	0,02	0,00	0,00	0,04	0,01	
Al ₂ O ₃	25,25	24,99	24,90	23,10	23,24	24,33	26,01	25,88	25,57	26,72	26,43	23,67	23,39	23,35	
FeO	0,07	0,09	0,09	0,16	0,12	0,05	0,09	0,07	0,18	0,16	0,15	0,06	0,04	0,29	
MnO	0,05	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	
MgO	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,02	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	
CaO	6,79	6,51	6,43	4,01	4,48	4,20	7,76	7,75	7,80	8,73	8,50	5,09	4,87	5,00	
Na ₂ O	7,71	8,15	8,24	9,40	9,23	9,04	7,04	7,09	7,06	6,72	6,96	8,69	9,34	9,13	
Cr ₂ O ₃	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
K ₂ O	0,38	0,35	0,26	0,24	0,18	0,23	0,30	0,33	0,38	0,38	0,24	0,00	0,22	0,21	
TOTAL	100,32	101,09	101,18	100,55	100,98	100,40	99,75	100,76	100,13	100,97	100,85	99,82	100,23	100,56	
Cátions a.f.u. - calculados pela base de 32 Oxigênios															
Si	10,687	10,744	10,789	11,195	11,162	11,020	10,494	10,566	10,557	10,353	10,413	11,051	11,049	11,057	
Al	5,289	5,194	5,164	4,788	4,800	5,050	5,492	5,404	5,382	5,595	5,533	4,944	4,883	4,861	
Ti	0,000	0,011	0,000	0,004	0,006	0,001	0,000	0,000	0,005	0,003	0,000	0,000	0,005	0,001	
Fe ²⁺	0,011	0,013	0,013	0,023	0,017	0,007	0,014	0,010	0,027	0,024	0,022	0,009	0,005	0,043	
Mn	0,007	0,000	0,000	0,002	0,007	0,000	0,001	0,004	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,004	
Mg	0,000	0,000	0,004	0,000	0,002	0,006	0,001	0,004	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	
Ca	1,295	1,231	1,214	0,756	0,842	0,792	1,491	1,473	1,493	1,662	1,619	0,968	0,924	0,947	
Na	2,658	2,788	2,815	3,209	3,140	3,090	2,447	2,440	2,445	2,317	2,398	2,990	3,210	3,130	
Cr	0,000	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	
K	0,087	0,078	0,058	0,054	0,040	0,052	0,068	0,074	0,086	0,086	0,054	0,000	0,049	0,047	
Total	20,034	20,069	20,057	20,031	20,016	20,018	20,008	19,975	19,996	20,040	20,039	19,964	20,125	20,092	
Membros finais															
Ab	65,800	68,000	68,900	79,800	78,100	78,500	61,100	61,200	60,800	57,000	58,900	75,500	76,700	75,900	
An	32,100	30,000	29,700	18,800	20,900	20,100	37,200	36,900	37,100	40,900	39,800	24,500	22,100	23,000	
Or	2,200	1,900	1,400	1,300	1,000	1,300	1,700	1,900	2,100	2,100	1,300	0,000	1,200	1,100	

PLAGIOCLÁSIOS

Unidade	EMB			MLP							
Amostra	FAM80B	FAM80B	FAM80B	MLP2	MLP2	MLP2	MLP2	MLP2	MLP2	MLP2	MLP2
Posição	mt	mt	mg-c	mt	mt	mg1-c	mg1-i	mg1-i	mg1-b	mt	mt
Óxidos (%)											
SiO ₂	59,96	59,81	59,00	59,91	59,05	58,88	57,72	58,80	59,20	57,94	57,88
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	24,88	25,14	24,86	24,45	24,77	24,36	24,50	24,58	24,71	24,66	24,59
FeO	0,05	0,06	0,02	0,12	0,07	0,08	0,07	0,12	0,08	0,12	0,34
MnO	0,00	0,00	0,01	0,04	0,02	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,04
MgO	0,02	0,00	0,00	0,04	0,14	0,09	0,00	0,03	0,00	0,12	0,00
CaO	7,35	7,47	7,25	6,85	7,05	6,62	6,89	5,33	6,92	6,89	9,21
Na ₂ O	7,53	7,38	7,57	7,69	7,71	7,77	7,65	7,48	7,56	7,11	7,83
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,36	0,17	0,32	0,39	0,30	0,32	0,48	0,38	0,35	0,35	0,26
TOTAL	100,15	100,03	99,04	99,48	99,11	98,13	97,34	96,73	98,81	97,19	100,15
Cátions a.f.u. - calculados pela base de 32 Oxigênios											
Si	10,695	10,669	10,649	10,754	10,651	10,713	10,618	10,787	10,695	10,639	10,453
Al	5,227	5,281	5,283	5,168	5,261	5,220	5,308	5,312	5,257	5,333	5,230
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,008	0,009	0,004	0,017	0,011	0,012	0,011	0,018	0,011	0,019	0,052
Mn	0,000	0,000	0,001	0,006	0,003	0,000	0,005	0,003	0,000	0,000	0,006
Mg	0,006	0,001	0,001	0,009	0,038	0,024	0,001	0,007	0,001	0,034	0,001
Ca	1,404	1,428	1,401	1,317	1,362	1,290	1,358	1,048	1,339	1,355	1,782
Na	2,603	2,554	2,651	2,677	2,696	2,742	2,727	2,661	2,648	2,531	2,741
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,082	0,038	0,074	0,088	0,069	0,074	0,112	0,089	0,080	0,081	0,061
Total	20,025	19,980	20,064	20,036	20,091	20,075	20,140	19,925	20,031	19,992	20,326
Membros finais											
Ab	63,700	63,500	64,300	65,600	65,300	66,800	65,000	70,100	65,100	63,800	59,800
An	34,300	35,500	34,000	32,300	33,000	31,400	32,400	27,600	32,900	34,200	38,900
Or	2,000	0,900	1,800	2,200	1,700	1,800	2,700	2,300	2,000	2,000	1,300

c - centro do cristal; b - borda; i - intermediário ; mg - megacristal ; mt - matriz; . Quando estão numerados, estes referem-se a um mesmo cristal

TITANITAS

SAMPLE	diot1	diot2
Unidade	SMGt	
Amostra	FAM47	FAM47
Posição	c	c
Óxidos (%)		
SiO ₂	30,24	30,23
TiO ₂	36,77	36,16
Al ₂ O ₃	1,71	2,16
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00
FeO	1,04	1,09
MnO	0,03	0,08
MgO	0,00	0,00
CaO	28,32	28,38
Na ₂ O	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,00
Total	98,11	98,09
Cátions (a.f.u.) calculados pela base de 20		
Oxigênios		
Si	4,031	4,029
Al	0,269	0,338
Ti	3,686	3,625
Cr	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000
Fe ₂	0,115	0,121
Mn	0,003	0,009
Na	0,000	0,000
Ca	4,044	4,052
K	0,000	0,000
Total	12,148	12,174

ZIRCÕES

Unidade	SMGp																
Amostra	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52	FAM52
Óxidos (%)																	
SiO ₂	31,88	30,70	29,70	31,13	31,29	29,80	29,80	32,80	32,97	33,51	33,07	32,23	32,96	32,84	33,42	27,34	32,17
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,66	0,05	0,20	0,08	0,05	3,00	0,07	0,05	0,07	0,06	0,08
CaO	0,04	1,00	0,01	1,00	0,04	0,03	0,04	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04	0,01	0,03	0,03
ZrO ₂	64,31	65,30	65,03	64,84	64,89	62,65	61,94	65,44	65,07	63,46	65,05	65,44	65,12	64,55	63,83	57,23	65,47
Y ₂ O ₃	0,000	0,000	0,000	0,415	0,000	0,033	0,035	0,060	0,112	0,011	0,127	0,064	0,043	0,035	0,051	0,066	0,068
P ₂ O ₅	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,036	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
La ₂ O ₃	0,028	0,143	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
Ce ₂ O ₃	0,012	0,035	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
Yb ₂ O ₃	0,072	0,000	3,000	0,237	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
Cl	0,035	0,050	0,031	0,000	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
ThO ₂	0,044	0,000	0,022	0,114	0,040	1,000	0,043	0,010	0,023	0,039	0,022	0,036	0,022	0,025	0,043	0,015	0,000
HfO ₂	na	na	na	na	na	1,304	1,320	1,383	1,449	1,472	1,396	1,396	1,435	1,391	1,471	1,122	1,310
UO ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	3,000	0,010	0,000	0,013	0,034	0,017	0,000	0,000	0,000	0,034	0,000
Total	96,42	97,22	97,79	97,73	96,27	94,87	96,83	99,79	99,84	98,60	99,75	102,19	99,68	98,92	98,89	85,90	99,12
Cátions (a.f.u.) calculados pela base de 16 Oxigênios																	
Zr	3,963	4,07	4,13	4,015	4,021	4,022	3,981	3,916	3,89	3,813	3,887	3,952	3,897	3,888	3,829	4,012	3,959
Hf	0	0	0	0	0	0,049	0,0497	0,0484	0,0507	0,0518	0,0488	0,0494	0,0503	0,049	0,0517	0,046	0,0464
Si	4,029	3,924	3,868	3,954	3,976	3,923	3,927	4,025	4,041	4,129	4,053	3,993	4,045	4,056	4,111	3,93	3,989
Fe ²⁺	0	0	0	0	0	0,004	0,073	0,005	0,02	0,008	0,005	0	0,008	0,005	0,007	0,007	0,001
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca	0,005	0	0,002	0	0,005	0,004	0,005	0	0,003	0,001	0,001	0,002	0,003	0,005	0,002	0,005	0,003
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y	0	0	0	0,028	0	0,0023	0,0025	0,0039	0,0073	0,0007	0,0083	0,0042	0,0028	0,0023	0,0033	0,005	0,0045
P	0	0	0	0	0	0	0	0,0037	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La	0,001	0,007	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
Ce	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Yb	0,003	0,000	0,000	0,009	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
Sm	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
Th	0,001	0,000	0,001	0,003	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000
U	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	0,000	0,001	0,000
Total	8,003	8,002	8,001	8,009	8,003	8,005	8,040	8,003	8,013	8,005	8,005	8,002	8,007	8,006	8,005	8,007	8,003
Zr/Hf	na	na	na	na	na	40,46	39,52	39,85	37,82	36,31	39,24	39,48	38,22	39,08	36,54	42,96	42,09

ZIRCÕES

Unidade	SMGt							Sch									
Amostra	FAM47	FAM47	FAM47	FAM47	FAM47	FAM47	FAM47	FAM10	FAM10	FAM10	FAM10	FAM10	FAM10	FAM10	FAM10	FAM10	FAM10
Óxidos (%)																	
SiO ₂	31,02	27,20	31,59	32,91	33,10	32,59	32,63	30,66	31,27	31,11	31,62	30,83	30,72	32,55	32,55	32,65	32,17
FeO	0,00	0,00	0,03	0,21	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,57	0,28	0,04	0,02	0,01	0,08
CaO	0,00	3,00	0,03	0,01	0,01	0,00	0,02	1,00	4,00	0,00	0,02	0,04	0,04	0,04	1,00	0,00	0,00
ZrO ₂	63,22	67,76	62,39	64,19	64,96	65,80	65,47	63,70	65,01	65,37	64,50	60,69	61,38	66,00	66,24	65,69	66,52
Y ₂ O ₃	0,220	0,000	0,283	0,041	0,086	0,010	0,083	0,037	0,089	0,326	0,240	0,114	0,129	0,074	0,067	0,166	0,054
P ₂ O ₅	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,066	0,000	0,000	0,000	0,000
La ₂ O ₃	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,073	0,066	0,000	0,168	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ce ₂ O ₃	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,115	0,000	0,000	0,073	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Yb ₂ O ₃	0,060	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,066	0,000	0,232	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,035	0,026	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ThO ₂	0,127	0,100	0,112	0,015	0,012	0,010	0,016	0,000	0,091	0,023	0,000	0,000	0,017	0,000	0,012	0,012	0,000
HfO ₂	na	na	1,203	1,453	1,459	1,455	1,658	na	na	na	na	1,312	1,274	1,399	1,411	1,267	1,311
UO ₂	0,000	0,000	0,034	0,018	0,020	0,047	0,048	0,000	0,000	0,000	0,000	0,097	0,015	0,028	0,016	0,000	0,055
Total	94,68	98,10	95,67	98,84	99,66	99,92	99,95	95,65	100,53	97,06	99,62	93,65	93,92	100,14	101,31	99,79	100,19
Cátions (a.f.u.) calculados pela base de 16 Oxigênios																	
Zr	3,979	4,386	3,892	3,868	3,884	3,942	3,923	3,986	4,022	4,037	3,979	3,873	3,907	3,948	3,958	3,935	3,989
Hf	0	0	0,0439	0,0513	0,0511	0,051	0,0582	0	0	0	0	0,049	0,0475	0,049	0,0494	0,0444	0,046
Si	4,004	3,61	4,041	4,066	4,058	4,005	4,01	3,935	3,968	3,939	4	4,035	4,011	3,994	3,988	4,011	3,957
Fe ²⁺	0	0	0,003	0,021	0,002	0	0,002	0	0	0	0	0,062	0,03	0,004	0,002	0,001	0,008
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca	0	0	0,004	0,002	0,001	0	0,002	0,137	0,001	0	0,002	0,006	0,005	0,006	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y	0,0151	0	0,0192	0,0027	0,0056	0,0007	0,0054	0,0025	0,006	0,0219	0,0161	0,0079	0,009	0,0048	0,0044	0,0108	0,0035
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0073	0	0	0	0
La	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,003	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ce	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Yb	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sm	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
Th	0,004	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
U	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002
Total	8,004	7,999	8,007	8,012	8,003	8,000	8,002	8,072	8,003	8,008	8,008	8,036	8,018	8,007	8,003	8,003	8,005
Zr/Hf	na	na	43,68	37,21	37,50	38,09	33,26	na	na	na	na	38,96	40,58	39,73	39,54	43,66	42,73

ZIRCÕES

Unidade	SCp															
Amostra	FAM5	FAM5	FAM5	FAM5	FAM5	FAM5	FAM24A	FAM24A	FAM24A	FAM24A	FAM24A	FAM25	FAM25	FAM25	FAM25	FAM25
Óxidos (%)																
SiO ₂	33,57	32,24	30,36	33,03	31,62	29,53	29,17	28,53	33,85	28,40	32,46	31,06	31,48	32,67	32,62	33,29
FeO	0,00	0,00	0,10	4,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,01	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
CaO	5,00	0,00	4,00	8,00	0,03	0,00	0,00	0,20	5,00	0,01	0,02	0,02	0,06	0,04	0,04	0,00
ZrO ₂	62,69	65,19	66,31	64,25	65,56	61,53	61,13	60,86	62,22	57,36	65,78	66,05	65,06	65,73	65,56	59,56
Y ₂ O ₃	0,119	0,123	0,333	0,094	0,208	0,000	0,000	0,309	0,000	0,064	0,092	4,000	0,107	0,089	0,030	0,084
P ₂ O ₅	0,000	0,032	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
La ₂ O ₃	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,072	0,043	0,000	0,000	0,000	0,000	0,095	0,000	0,000	0,000
Ce ₂ O ₃	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,111	0,205	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Yb ₂ O ₃	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,080	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025	0,032	0,036	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ThO ₂	0,023	0,022	0,033	0,018	0,022	0,178	0,066	0,077	0,000	0,000	0,020	0,057	0,051	1,000	0,020	0,000
HfO ₂	1,304	1,521	1,336	1,579	1,468	na	na	na	1,592	1,516	1,665	na	na	1,475	1,619	1,468
UO ₂	0,024	0,058	0,010	0,049	0,028	0,000	0,000	0,000	0,084	0,107	0,083	0,000	0,000	0,048	0,069	0,034
Total	102,72	99,18	102,48	111,02	99,01	91,34	90,58	90,26	102,76	87,61	100,12	101,19	96,89	101,05	99,95	94,46
Cátions (a.f.u.) calculados pela base de 16 Oxigênios																
Zr	3,787	3,939	4,089	3,864	3,987	4,028	4,039	4,057	3,753	3,931	3,943	4,071	4,008	3,932	3,929	3,7
Hf	0,0461	0,0538	0,0482	0,0556	0,0523	0	0	0	0,0562	0,0608	0,0584	0	0	0,0517	0,0568	0,0534
Si	4,159	3,994	3,839	4,073	3,943	3,964	3,952	3,9	4,188	3,992	3,99	3,926	3,977	4,008	4,008	4,24
Fe ²⁺	0	0,001	0,01	0	0,008	0	0	0	0,001	0,018	0	0	0	0	0	0,003
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca	0,001	0	0,001	0,001	0,004	0	0	0,029	0,001	0,002	0,003	0,002	0,008	0,006	0,005	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y	0,0078	0,0081	0,0224	0,0062	0,0138	0	0	0,0225	0	0,0048	0,006	0,0003	0,0072	0,0058	0,002	0,0057
P	0	0,0034	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000
Ce	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Yb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
Sm	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
Th	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,005	0,002	0,002	0,000	0,000	0,001	0,002	0,002	0,000	0,001	0,000
U	0,001	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,002	0,000	0,000	0,001	0,002	0,001
Total	8,002	8,002	8,011	8,002	8,009	8,001	8,002	8,023	8,002	8,012	8,003	8,001	8,008	8,005	8,003	8,003
Zr/Hf	40,49	36,10	41,80	34,27	37,61	na	na	na	32,92	31,87	33,27	na	na	37,53	34,10	34,17

ZIRCÕES

Unidade	AGG							
Amostra	FAM9b	FAM9b	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1	FAM1
Óxidos (%)								
SiO ₂	30,77	29,35	31,76	32,12	32,68	31,39	32,36	31,63
FeO	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	1,39	0,03	0,06
CaO	0,00	0,14	0,01	0,00	0,02	0,16	0,07	0,28
ZrO ₂	66,17	62,10	64,19	63,37	65,22	63,82	64,29	64,07
Y ₂ O ₃	0,000	0,423	0,000	0,125	0,029	0,030	0,034	0,176
P ₂ O ₅	0,000	0,000	0,000	0,241	0,000	0,170	0,064	0,316
La ₂ O ₃	0,065	0,000	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ce ₂ O ₃	0,101	0,000	0,082	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Yb ₂ O ₃	0,107	0,207	0,068	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,062	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ThO ₂	0,213	0,044	0,006	0,017	0,000	0,019	0,000	0,024
HfO ₂	na	na	na	1,813	1,839	1,729	1,861	1,673
UO ₂	0,000	0,000	0,000	0,061	0,067	0,050	0,033	0,085
Total	97,42	92,33	96,16	97,92	99,85	98,76	98,74	98,31
Cátions (a.f.u.) calculados pela base de 16 Oxigénios								
Zr	4,087	4,042	3,968	3,867	3,911	3,897	3,895	3,908
Hf	0	0	0	0,0648	0,0646	0,0618	0,066	0,0597
Si	3,898	3,918	4,026	4,019	4,02	3,931	4,021	3,957
Fe ²⁺	0	0	0	0,019	0	0,146	0,003	0,006
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0
Na	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca	0	0,02	0,001	0	0,003	0,022	0,01	0,037
K	0	0	0	0	0	0	0	0
Y	0	0,03	0	0,0083	0,0019	0,002	0,0022	0,0117
P	0	0	0	0,0255	0	0,018	0,0067	0,0335
La	0,003	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ce	0,005	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Yb	0,004	0,008	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sm	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Th	0,006	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001
U	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002
Total	8,003	8,020	8,003	8,006	8,002	8,080	8,005	8,016
Zr/Hf	na	na	na	29,44	29,87	31,09	29,09	32,26

Mapa Geológico Simplificado do Maciço Intrusivo Aimorés - MG

LEGENDA

1 - Encaixantes granito-gnáissicas: Complexos Pocrane e Paraíba do Sul; Suítes Medina e Galiléia.

Maciço Aimorés

Suíte Monzodiorítica-Granodiorítica (SMG)

2 - Unidade Monzodiorítica-Granodiorítica com Piroxênio (SMGp)

3 - Unidade Monzodiorítica-Granodiorítica com Titanita (SMGt)

Suíte Charnockítica (SC)

4 - Unidade Quartzo-Monzonitos/Granitos com Hiperstênio (SCh)

5 - Unidade Granitos Porfíricos (SCp)

Suíte Granada-Granítica (SGG)

6 - Unidade Granada-Granítica (SGG)

7 - Pegmatitos

△ Foliação Magmática

↑ Lineação Magmática

↔ Zonas de Cisalhamento (Dúcteis)

Convenções

— Falha, traço contínuo; lineamento estrutural, tracejado.

□ Orientação dos Megacristais

— Contato entre as unidades, tracejado quando inferido

— Juntas com mergulho indicado

T2874

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
BIBLIOTECA

ANEXO IV

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
BIBLIOTECA

Mapa de Pontos

LEGENDA

1 - Encaixantes granito-gnáissicas: Complexos Pocrane e Paraíba do Sul; Suítes Medina e Galiléia.

Maciço Aimorés

Suíte Monzodiorítica-Granodiorítica (SMG)

2 - Unidade Monzodiorítica-Granodiorítica com Piroxênio (SMGp)

3 - Unidade Monzodiorítica-Granodiorítica com Titanita (SMGt)

Suíte Charnockítica (SC)

4 - Unidade Quartzo-Monzonitos/Granitos com Hiperstênio (SCh)

5 - Unidade Granitos Porfíricos (SCp)

Suíte Granada-Granítica (SGG)

6 - Unidade Granada-Granítica (SGG)

7 - Pegmatitos

○ Pontos Visitados

● Pontos com Análises Químicas