UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PETROLOGIA DE ROCHAS ULTRAMÁFICAS
ASSOCIADAS AO GRUPO ANDRELÂNDIA E SEU
EMBASAMENTO, NA REGIÃO DE LIBERDADE,
ARANTINA, ANDRELÂNDIA, SÃO VICENTE DE
MINAS E CARRANCAS, MG**

SORAYA ALMEIDA

Orientador: Prof^a. Dr^a. Maria Angela Fornoni Candia

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

Presidente: Prof^a. Dr^a. Maria Angela Fornoni Candia

Examinadores: Prof. Dr. Asit Choudhuri

Prof. Dr. Gergely Andres Julio Szabó

Prof^a. Dr^a. Maria do Carmo Bustamante Junho

Prof. Dr. Vicente Antonio Vitório Girardi

SÃO PAULO
1998

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PETROLOGIA DE ROCHAS ULTRAMÁFICAS
ASSOCIADAS AO GRUPO ANDRELÂNDIA E SEU
EMBASAMENTO, NA REGIÃO DE LIBERDADE,
ARANTINA, ANDRELÂNDIA, SÃO VICENTE DE
MINAS E CARRANCAS, MG**

Soraya Almeida

Orientadora: Profa. Dra. Maria Angela Fornoni Candia

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-graduação em Mineralogia e Petrologia

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004460

SÃO PAULO
1998

Para Duda

AGRADECIMENTOS

Foram várias as pessoas que colaboraram na execução deste tese. Dentre elas, gostaria de agradecer especialmente:

A minha orientadora, Profª. Dra. Angela Candia, pela oportunidade de desenvolver este trabalho. Dela recebi, além de orientação, incentivo e amizade.

Ao geólogo Eduardo Abreu de Souza (Duda), que digitalizou meus mapas e me apoiou em todas as etapas de elaboração desta tese.

A geóloga Maria da Glória Motta Garcia que, além de me acompanhar em alguns trabalhos de campo, foi o braço amigo com quem sempre pude contar, em várias circunstâncias.

A geóloga Maria Geralda de Carvalho pela “força” dada, não apenas em relação a tese, mas em relação a minha vida profissional.

Ao Prof. Dr. Gergely Szabó, pela troca de idéias e pelo apoio dado nas questões relacionadas ao curso de pós-graduação.

A Marta Boechat, funcionária do DEGEOC da Universidade Rural do Rio de Janeiro, pois somente com sua dedicação ao trabalho, foi possível permanecer na Coordenação do Curso de Geologia, no período em que finalizava esta tese.

A todos os demais funcionários do DEGEOC: Betty, “seu” Nicodemo, Eli Bernadino, Antônio, José Antônio e Maria de Fátima Leira de Mello, que tantas vezes me incluiu em suas orações.

A geóloga Beatriz Pascoal Duarte, em breve “mamãe”, pelo intercâmbio de idéias, programas e trabalhos.

Ao Prof. Dr. Marcos Aguiar Gorini, pelo acesso aos equipamentos de sua empresa.

Ao pessoal da GGG Consultoria: Mauro Sérgio Gomes de Souza, Moacir José de Souza (Moa), Ricardo Writh Pieren e ao engenheiro Francisco Muri da Glória (Chico), que me apoiaram na “reta final”, na montagem dos mapas e ilustrações.

Aos ex-estudantes Jorge Mauro Miranda de Lyra (Lobão), Jorge Luís Sá da Cunha, Vânia Bürger Cavalcante e Sebastião José Machado, e aos estudantes Caio Gabrig Turbay Rangel e Roberto Pinto Correia, que me acompanharam em algumas etapas de campo.

A FAPESP, pelo auxílio financeiro concedido através do Projeto Temático 97/00640-5, coordenado pelo Prof. Dr. Vicente A.C. Girardi.

Enfim, a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram na elaboração deste trabalho.

Muito Obrigada!

ÍNDICE GERAL

RESUMO	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES	vi
ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS	viii
ÍNDICE DE TABELAS	ix

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Objetivos do Trabalho	1
Localização da Área	2
Metodologia Aplicada	2

CAPÍTULO II

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Características Gerais	6
Características do Embasamento	6
As Sequências Proterozóicas	10
Aspectos Estruturais e Metamórficos	13
As Rochas Máficas-Ultramáficas no Contexto Regional	17
Correlações Regionais	18

CAPÍTULO III

CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL DOS CORPOS ULTRAMÁFICOS ANALISADOS

Introdução	21
Associações Inseridas no Domínio III	
Região de Liberdade-Andrelândia	
Corpo Ultramáfico da Fazenda da Roseta	23
Corpo Ultramáfico do Morro do Corisco	24
Corpo Ultramáfico da Serra da Garça	25
Corpos Ultramáficos entre Arantina e Andrelândia	26

Associações Inseridas no Domínio II	
Região de São Vicente de Minas	27
Região de Carrancas	
Corpo Ultramáfico da Fazenda da Areia	29
Corpo Ultramáfico da Fazenda Serra do Moleque	29
Corpo Ultramáfico da Fazenda Rui Barbosa	30
Corpo Ultramáfico da Fazenda do Engenho	31
Demais Corpos Ultramáficos da Região de Carrancas	31

CAPÍTULO IV

ESTUDO PETROGRÁFICO

Unidades Inseridas no Domínio III	
Região de Liberdade-Andrelândia	
Fazenda da Roseta	
Rochas Websteríticas	34
Espinélio Harzburgitos	38
Serpentinitos	49
Morro do Corisco	
Serpentinitos	51
Espinélio Hornblenditos	53
Serra da Garça	
Ortopiroxenitos	57
Clorita Xistos	59
Talco-Antofilita Fels	60
Talco/Clorita Antofilita Fels	60
Região de Arantina-Andrelândia	61
Unidades Inseridas no Domínio II	
Região de São Vicente de Minas	
Espinélio-Olivina Ortopiroxenito	68
Clorita-Anfibólio Fels e Xistos	70
Clorita-Antofilita Fels	71
Região de Carrancas	
Fazenda da Areia	
Espinélio-Olivina Ortopiroxenito	71
Metapiroxenitos	74
Fazenda Serra do Moleque	75
Fazenda Rui Barbosa	78
Serpentinitos	78
Discussão	
Unidades Inseridas no Domínio III	81
Unidades Inseridas no Domínio II	85

CAPÍTULO V

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE ROCHAS

Características Gerais	87
Diagramas MPR	102
Diagrama de Hanson & Langmuir	105
Elementos Transicionais	112
Elementos Terras Raras	115
Rochas Ultramáficas e Anfibolitos	117
Discussão	

CAPÍTULO VI

ANÁLISE QUÍMICA DE MINERAIS

Introdução	119
Olivinas	120
Ortopiroxênios	125
Clinopiroxênios	129
Óxidos	131
Anfibólios	138
Cloritas	149

CAPÍTULO VII

METAMORFISMO

Introdução	151
Metamorfismo no Domínio III	
<i>Rochas Websteríticas</i>	154
<i>Espinélio Hornblenditos</i>	158
<i>Espinélio Harzburgito</i>	161
<i>Clorita/Anfibólio Olivina Fels</i>	161
<i>Rochas com Antofilita</i>	164
<i>Serpentinitos</i>	168
Metamorfismo no Domínio II	
<i>Espinélio-Olivina Ortopiroxenitos</i>	170
<i>Serpentinitos</i>	172
Discussão	175

CONCLUSÕES	180
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	182

RESUMO

Este trabalho compreende o estudo de rochas ultramáficas inseridas em seqüências metassedimentares proterozóicas do Grupo Andrelândia e em seu embasamento, nas regiões de Liberdade, Arantina, Andrelândia, São Vicente de Minas e Carrancas, Minas Gerais.

Dois conjuntos foram reconhecidos entre os litotipos estudados. O primeiro é constituído por rochas ultramáficas cujas características indicam uma origem por cristalização de magmas toleíticos, com alta razão MgO/FeO , sob condições elevadas de pressão, e, o segundo, por tipos mais diferenciados, com características de cristalização em níveis mais rasos, de origem vulcânica/ subvulcânica. Ambos os tipos estão representados nos Domínios II e III, definidos por Ribeiro et al., (1990).

Rochas do primeiro grupo são interpretadas como produtos de cristalização fracionada de fusões retidas na base da crosta (*underplated*). A ascensão dos líquidos residuais gerados por este processo, ao longo da evolução da bacia proterozóica, dariam origem às rochas que compõem o segundo grupo, com as quais demonstram afinidades químicas.

Ambos os grupos foram, posteriormente, submetidos a processos metamórficos polifásicos e justapostos, em algumas áreas, por falhas de empurrão relacionadas ao fechamento da bacia.

Os registros metamórficos indicam que condições semelhantes de pressão foram atingidas, por ambos os conjuntos, nos Domínios II e III. As assembléias ultramáficas de mais alto grau, apresentam, entretanto, diferentes condições de pico térmico nestas regiões, com temperaturas máximas em torno de 600 °C (facies anfíbolito), no Domínio II, e de 800 °C (facies granulito), no Domínio III.

ABSTRACT

Ultramafic rocks from the region of Liberdade, Arantina, Andrelândia, São Vicente de Minas and Carrancas, at Minas Gerais State, were the subject of this work.

Two different groups of rocks were recognized, both emplaced in proterozoic terrain of Andrelândia Group and in its embasement.

The first group is composed by ultramafic rocks originated from fractional crystallization of tholeiitic liquids, with high MgO/FeO, under high pressure conditions. The second group is made of more differentiated rocks, crystallised at high levels as volcanic/subvolcanic rocks. Both groups are found in Domains II and III (tectonics domains defined by Ribeiro et al., 1990).

Origin by fractional crystallization as underplated magmas, related to rifting episodes, is attributed to the first group. The uplift of differentiated magmas would build up the rocks of the second suite.

Multiple metamorphics processes acted over these rocks. They reached pressures between 7 and 11 KB in Domain II and III with maximum temperatures of 600 °C in Domain I (anfibolite facies) and 800 °C in Domain II (granulite facies).

Both suites were put together at the same level by overthrusting during the closure of the basin.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura I.1	Localização e vias de acesso a área estudada	3
Figura II.1	Localização da área de estudo tendo como referencial a compartimentação em províncias de Almeida et al. (1981)	7
Figura II.2	Mapa esquemático ilustrando características do embasamento na área estudada	9
Figura II.3	Mapa geológico simplificado destacando unidades dos Grupos São João del Rei e Andrelândia na área compreendida neste estudo. <i>Segundo dados de Trouw et al. (1986)</i>	12
Figura II.4	Domínios tectônicos brasileiros ao sul do Craton do São Francisco. <i>Segundo Ribeiro et al. (1990)</i>	15
Figura II.5	Mapa metamórfico regional. <i>Sobre ilustração de Trouw et al. (1986), incluindo dados de Heilbron et al. (1989)</i>	16
Figura II.6	Mapa de Localização dos principais corpos ultramáficos entre as regiões de Liberdade e Carrancas	19
Figura V.1	Símbolos utilizados na representação das amostras	90
Figura V.2	Diagramas Alk-Fm e ACM	92
Figura V.3	(A) Diagrama Zr x TiO ₂ ; (B) Diagrama CaO/Al ₂ O ₃ x Al ₂ O ₃ /TiO ₂	93
Figura V.4.	Diagramas binários de variação MgO e MgO/MgO+FeOt x SiO ₂ , TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , para rochas do Domínio III	95
Figura V.5.	Diagramas binários de variação MgO e MgO/MgO+FeOt x FeOt, MnO, CaO, para rochas do Domínio III	96
Figura V.6	Diagramas binários de variação MgO e MgO/MgO+FeOt x Na ₂ O+K ₂ O, Cr, Ni, para rochas do Domínio III	97
Figura V.7	Diagramas binários de variação MgO e MgO/MgO+FeOt x SiO ₂ , TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , para rochas do Domínio II	99
Figura V.8	Diagramas binários de variação MgO e MgO/MgO+FeOt x FeOt, MnO, CaO, para rochas do Domínio II	100
Figura V.9	Diagramas binários de variação MgO e MgO/MgO+FeOt x Na ₂ O+K ₂ O, Cr, Ni, para rochas do Domínio II	101
Figura V.10	Diagramas MPR (<i>molecular proportion ratio</i>): (FeOt+MgO)/TiO ₂ x SiO ₂ /TiO ₂ , (FeOt+MgO)/Na ₂ O x SiO ₂ /Na ₂ O, (FeOt+MgO)/CaO x SiO ₂ /CaO, (FeOt+MgO)/Al ₂ O ₃ x SiO ₂ /Al ₂ O ₃	104
Figura V.11	Diagrama MgO x FeOt (proporção catiônica) de Hanson & Langmuir (1978)	106
Figura V.12	Razão CaO/Al ₂ O ₃ x FeOt/MgO (proporção molecular) para o conjunto de rochas analisadas	109

Figura V.13	Padrões de distribuição de TiO_2 , Cr, Mn, FeOt e Ni, normalizados por composições do manto fértil	111
Figura V.14	Padrões de distribuição de elementos terras raras normalizados por valores condriticos	114
Figura VI.1	Símbolos representativos de minerais dos diferentes corpos ultramáficos analisados e suas respectivas litologias	121
Figura VI.2	Diagrama En-Wo-Fs (Poldervaart & Hess, 1951) para os ortopiroxênios analisados	126
Figura VI.3	Porcentagem de peso de Al_2O_3 versus porcentagem de En para o conjunto de ortopiroxênios analisados	128
Figura VI.4	Diagrama En-Wo-Fs (Poldervaart & Hess, 1951) para os clinopiroxênios analisados	130
Figura VI.5	Diagrama R_2O_3 para espinélios da Fazenda da Roseta, Liberdade.	134
Figura VI.6	Espinélios do Domínio III: (a) $\text{Al}\# \times \text{Mg}\#$, (b) $\text{Fe}^{3+}\# \times \text{Mg}\#$, (c) $\text{Cr}\# \times \text{Mg}\#$, (d) $100\text{Cr}/\text{Al}+\text{Cr} \times 100\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}$	136
Figura VI.7	Variações de $\text{Al} \times \text{Fe}^{\text{total}}$, $\text{Mg} \times \text{Ti}$ e $\text{Ti} \times \text{Fe}^{\text{total}}$ por unidade de fórmula, em hõgbomitas de espinélio hornblenditos	137
Figura VI.8	Diagrama R_2O_3 para espinélios do Domínio II.	139
Figura VI.9	Espinélios do Domínio II: (a) $\text{Al}\# \times \text{Mg}\#$, (b) $\text{Fe}^{3+}\# \times \text{Mg}\#$, (c) $\text{Cr}\# \times \text{Mg}\#$, (d) $100\text{Cr}/\text{Al}+\text{Cr} \times 100\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}$	140
Figura VI.10	Classificação dos anfibólios do Domínio III segundo critérios de Leake (1978)	141
Figura VI.11	Diagramas (a) $\text{Al}^{\text{IV}} \times \text{Al}^{\text{VI}}$, (b) $(\text{Na}+\text{K})_{\text{A}} \times \text{Al}^{\text{IV}}$ e (c) $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}^{2+} \times \text{Al}^{\text{total}}$ para anfibólios de rochas websteríticas e espinélio harzburgitos do Domínio III	144
Figura VI.12	Diagramas (a) $\text{Al}^{\text{IV}} \times \text{Al}^{\text{VI}}$, (b) $(\text{Na}+\text{K})_{\text{A}} \times \text{Al}^{\text{IV}}$ e (c) $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}^{2+} \times \text{Al}^{\text{total}}$ para anfibólios de espinélio hornblenditos do Domínio III.	145
Figura VI.13	Classificação dos anfibólios do Domínio II segundo critérios de Leake (1978)	147
Figura VI.14	Diagramas (a) $\text{Al}^{\text{IV}} \times \text{Al}^{\text{VI}}$, (b) $(\text{Na}+\text{K})_{\text{A}} \times \text{Al}^{\text{IV}}$ e (c) $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}^{2+} \times \text{Al}^{\text{total}}$ para anfibólios de espinélio-olivina ortopiroxenitos do Domínio II	148
Figura VI.15	Classificação das cloritas analisadas segundo critérios de Hey (1954)	150
Figura VII.1	Curvas de equilíbrio de reações metamórficas no sistema CMASH/ Rochas websteríticas do Domínio III	157
Figura VII.2	Proposta de trajetória percorrida por espinélio hornblenditos do Domínio III, no sistema CMASH.	160

Figura VII.3	Curvas de equilíbrio de reações metamórficas no sistema CMASH/ Clorita/anfibólio olivina fels de Arantina, Domínio III	162
Figura VII.4	Curvas de equilíbrio de reações metamórficas no sistema MASH sobreposto ao sistema CMASH/ Espinélio harzburgito do Domínio III	165
Figura VII.5	Curvas de equilíbrio de reações metamórficas no sistema MSH e MASH/ Ortopiroxenitos e rochas com antofilita da região da Serra da Garça	167
Figura VII.6	Curvas de equilíbrio de reações metamórficas no sistema CMASH/ Serpentinóis do Domínio III.	169
Figura VII.7	Condições inferiores e superiores de temperatura para rochas ultramáficas do Domínio II	173
Figura VII.8	Diagrama P-T ilustrando possíveis trajetórias ao longo da evolução das rochas ultramáficas do Domínio III	177

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Prancha 1	Espécimes da Fazenda da Roseta, Liberdade	36
Prancha 2	Websteritos/ Fazenda da Roseta, Liberdade	37
Prancha 3	Espécimes da Fazenda da Roseta, Liberdade	39
Prancha 4	Websteritos da Fazenda da Roseta, Liberdade	40
Prancha 5	Espinélio Harzburgito/Fazenda da Roseta, Liberdade	42
Prancha 6	Espinélio Harzburgitos/Fazenda da Roseta, Liberdade	43
Prancha 7	Espinélio Harzburgitos/ Fazenda da Roseta, Liberdade.	44
Prancha 8	Espinélio Harzburgito, Fazenda da Roseta, Liberdade	45
Prancha 9	Espinélio Harzburgitos/Fazenda da Roseta, Liberdade	47
Prancha 10	Diversidade de características texturais de espinélio em uma mesma seção de espinélio harzburgito, Fazenda da Roseta, Liberdade	48
Prancha 11	Serpentinóis da Fazenda da Roseta, Liberdade	50
Prancha 12	a: hornblendito Fazenda da Roseta, Liberdade. b, c, d: Serpentinóis e espinélio hornblenditos. Morro do Corisco, Liberdade	52
Prancha 13	Espinélio Hornblenditos, Morro do Corisco, Liberdade	55
Prancha 14	Espinélio Hornblendito/Morro do Corisco, Liberdade. Relações texturais entre hõgbomita-espinélio	56

Prancha 15	Ortopiroxenitos da Serra da Graça, Liberdade	58
Prancha 16	Espécimes da região Arantina-Andrelândia	63
Prancha 17	Espécimes da região Arantina-Andrelândia	65
Prancha 18	Espécimes da região Arantina-Andrelândia	67
Prancha 19	Espécimes da região de São Vicente de Minas e Carrancas	69
Prancha 20	Espécimes da Fazenda da Areia, Carrancas	73
Prancha 21	Espécimes da Fazenda da Areia e Fazenda Serra do Moleque, Carrancas	76
Prancha 22	Espécimes da Fazenda Serra do Moleque, Carrancas	79
Prancha 23	Espécimes da Fazenda Rui Barbosa, Carrancas	80

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela III.1	Principais corpos ultramáficos analisados e seus litotipos característicos	33
Tabela IV.1	Características da composição modal de websteritos da Fazenda da Roseta, Liberdade	35
Tabela IV.2	Características da composição modal de espinélio harzburgitos da Fazenda da Roseta, Liberdade	46
Tabela IV.3	Características da composição modal de Serpentinóis da Fazenda da Roseta, Liberdade	51
Tabela IV.4	Características da composição modal de Serpentinóis do Morro do Corisco, Liberdade	54
Tabela IV.5	Características da composição modal de Espinélio Hornblendito do Morro do Corisco, Liberdade	54
Tabela IV.6	Características da composição modal de Ortopiroxenitos da Serra da Garça, Liberdade	59
Tabela IV.7	Características da composição modal de Clorita Xistos da Serra da Garça, Liberdade	60
Tabela IV.8	Características da composição modal de Talco-Antofilita Fels da Serra da Garça, Liberdade	61
Tabela IV.9	Características da composição modal de Talco/Clorita Antofilita Fels da Serra da Garça, Liberdade	61
Tabela IV.10	Características da composição modal de rochas ultramáficas próximas a Arantina	62

Tabela IV.11	Características da composição modal de rochas ultramáficas ao longo da Estrada Arantina-Andrelândia	64
Tabela IV.12	Características da composição modal de Espinélio-Olivina Ortopiroxenito da Fazenda Boa Vista, São Vicente de Minas	70
Tabela IV.13	Composição Modal de Espinélio-Olivina Ortopiroxenitos da Fazenda da Areia, Carrancas	72
Tabela IV.14	Características ópticas de cloritas e anfibólios de rochas ultramáficas da Serra do Moleque, Carrancas	77
Tabela V.1	Análises Químicas de Rocha Total	88
Tabela V.2	Composição Normativa das Rochas Analisadas	89
Tabela V.3	Elementos Terras Raras	113
Tabela VII.1	Características das condições gerais de pressão e temperatura estimadas para rochas ultramáficas do Domínio III	175
Tabela VII.2	Características das condições gerais de pressão e temperatura estimadas para rochas ultramáficas do Domínio III	176

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

OBJETIVOS DO TRABALHO

Rochas ultramáficas com características modais e texturais diversas são observadas na Faixa Alto Rio Grande, encaixadas em terrenos pré-cambrianos proterozóicos e arqueanos ou nos limites entre estas unidades. Serpentinitos, dunitos, hornblenditos, harzburgitos, metawebsteritos, ortopiroxenitos, xistos e fels compostos por clorita, serpentina, talco, anfibólios cálcicos e magnesianos são os tipos mais comuns.

Na maior parte das vezes, a natureza destes corpos ultramáficos é indefinida. Suas características texturais originais foram obliteradas por processos metamórficos e deformacionais, e o reconhecimento da natureza de seus contatos com as encaixantes é dificultado pelo elevado grau de intemperismo destas últimas.

Trabalhos preliminares, envolvendo petrografia e geoquímica, de alguns destes corpos ultramáficos, na região de Liberdade e Carrancas, constituíram tema de dissertação de mestrado realizada pela autora (Almeida, 1992). Os dados levantados neste trabalho demonstraram a necessidade de um estudo mais aprofundado das características destes corpos e daqueles situados entre ambas as regiões. Com este propósito, foi selecionado um grupo de ocorrências situadas ao longo de um perfil que atravessa unidades arqueanas e proterozóicas, entre as regiões de Liberdade e Carrancas. Tal conjunto compõe um cinturão descontínuo de corpos ultramáficos, alguns dos quais posicionados ao longo de zonas de falhas/empurrões.

É objetivo deste trabalho, portanto, o esclarecimento da natureza dos protólitos destas rochas e de questões relacionadas à sua evolução metamórfica, definindo sua participação no contexto evolutivo da Faixa Alto Rio Grande.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

As áreas abrangidas neste estudo (figura I.1), encontram-se próximas as cidades mineiras de Liberdade, Arantina, Andrelândia, São Vicente de Minas e Carrancas, representadas, em mapas topográficos do IBGE, escala 1:50.000, pelas folhas Liberdade, Arantina, Andrelândia, Minduri e Itutinga.

O acesso a estas regiões é obtido a partir de estradas vicinais que partem da rodovia Rio-São Paulo. Ausência de pavimentação ocorre apenas nas estradas de acesso à região de Carrancas.

METODOLOGIA APLICADA

Trabalhos de Campo

A seleção dos corpos a serem estudados foi embasada em características levantadas através de mapeamentos geológicos, em escala 1: 50.000, realizados por diversos pesquisadores, devidamente referenciados nos capítulos que abordam aspectos da geologia local. Trabalhos de mapeamento, em escala 1:30.000, foram realizados pela autora na região de Carrancas, com a participação de diversos alunos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Análise Química de Rochas

Foram selecionadas para análises químicas os espécimes litológicos mais representativos de cada corpo ultramáfico, tendo sido observadas as características adequadas de preservação ao intemperismo. Após o processo de moagem, realizado no Departamento de Mineralogia e Petrologia (DMP) / USP, o material foi remetido a Universidade de Módena, Itália, onde foram realizadas as análises para elementos maiores e traços através de Espectometria de Fluorescência de Raios-X. Análises para elementos terras raras foram pelo Laboratório de Análises Química GEOSOL, Belo Horizonte.

Figura 1.1 - Localização e vias de acesso a área de estudo.

A expressão do conteúdo de Fe nestas análises, sob a forma de Fe_2O_3^t , tornou necessária a identificação das porcentagens relativas de Fe_2O_3 , FeO , H_2O^+ e H_2O^- , no Laboratório de Análises Químicas/ DMP (via úmida). Os valores assim obtidos foram utilizados no recálculo das porcentagens equivalentes de FeO e Fe_2O_3 .

O tratamento dos dados foram realizados com o apoio *software* Minpet 2.02 (Richard, 1995), através do qual foram elaborados os diagramas descritos neste trabalho.

Nos diagramas discutidos neste trabalho, óxido de ferro é expresso sob a forma de $\text{FeO}^t = \text{FeO} + 0.899981\text{Fe}_2\text{O}_3$.

Análise Química de Minerais

As análises químicas dos minerais, discutidas neste trabalho, foram realizadas no Departamento de Mineralogia e Petrologia/Instituto de Geologia da Universidade de São Paulo, através de um equipamento de microsonda eletrônica JEOL, modelo JXA 8600, contendo cinco espectrômetros acoplados a um sistema EDS (Energy Dispersive System) e WDS (Wavelength Dispersive System), responsáveis, respectivamente, por análises qualitativas e quantitativas. O sistema de análise automatizada (Tracor-Northern/Noran Instruments 1990), operou, ao longo deste trabalho, sob as seguintes condições de rotina: corrente do feixe igual a 20 nA, diâmetro do feixe igual a $5\mu\text{m}$ e voltagem de aceleração igual a 15kV. Correções quantitativas ZAF (Z = no atômico, A = absorção, F = fluorescência) para efeitos de matriz foram realizadas através do programa Flextran PLZ (Noran Instruments, 1990), com erro analítico máximo estimado em +/- 3%.

Os dados obtidos foram processados com o auxílio do *software* Minpet 2.02 (Richard, 1995). No caso dos espinélios, a distribuição Fe^{2+} e Fe^{3+} foi calculada, por estequiometria, através do *software* Minfile 5 (Afifi & Essene, 1988), segundo $\text{R}^{2+}\text{R}_2^{3+}\text{O}_4$, com base na porcentagem de Fe ($\text{Fe}_{\text{total}} = \text{Fe}^{2+}$), originalmente determinada via microsonda eletrônica.

Do total de análises, 542 amostras pontuais foram selecionadas para este trabalho, em função de apresentarem fechamento e fórmula estrutural indicativos de boa qualidade. Espinélio, ortopiroxênio, clinopiroxênio, olivina, anfíbólio, clorita, ilmenita e magnetita foram os minerais analisados.

Anfibólios foram classificados segundo critérios de Leake (1978) e suas fórmulas estruturais calculadas através do *software* Minpet 2.02, considerando o número total de cations equivalente a 15 (excluindo Na e K).

Nomenclatura Adotada

Na definição da granulometria, adotou-se o seguinte intervalo: fina (< 1 mm), media (entre 1 e 5 mm) e grossa (> 5 mm).

A nomenclatura aplicada na designação dos tipos litológicos obedece aos seguintes critérios:

- Nas rochas abundantes em fases hidratadas, onde e olivina e/ou piroxênios ocorrem em menor porcentagem, os termos que as designam são compostos pela combinação dos principais minerais que as compõem, dispostos em ordem de abundância crescente para a direita, com os termos *xisto* ou *fels* definindo o aspecto estrutural (i.e. talco-antofilita xistos, talco-antofilita fels), preservando, por outro lado, nomenclaturas clássicas de alguns espécimes (i.e. serpentinito).

- Rochas ultramáficas compostas, essencialmente, por piroxênios e olivinas são classificadas de acordo com propostas da *Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks* que recomenda, em comunicado dirigido aos seus membros (1989):

- *"For ultramafic metamorphic rocks consisting of pyroxene, hornblende, garnet e/or olivine we suggest that the same terms as far their igneous brother are used, following the same subdivision principles which were set up by the Subcomission on the Systematic of Igneous Rocks. That means that terms such garnet-piroxenite, peridotite, pyroxene-hornblendite could be used irrespective of possible metamorphic imprint which in many cases is difficult to be recognized anyway"... "Definitions of metamorphic rock names should as far as it is possible not be based on genetic arguments but on mesoscopic observations."... "Modal composition and structure are the main properties by which metamorphic rocks are described. ...In such cases (se mais de um termo pode ser utilizado) the term most specifically and shortest describing the rock should be used."*

Desta forma, será utilizada terminologia ígnea para espécimes com tais características, devendo ser a mesma entendida como equivalentes reequilibrados metamorficamente.

CAPÍTULO II

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

CARACTERÍSTICAS GERAIS

A região abrangida neste estudo situa-se nas proximidades da borda sul do Craton do São Francisco (figura II.1), nos limites da Faixa Alto Rio Grande, conforme definida por Hasui & Oliveira (1984). As seqüências metassedimentares expostas nestas áreas são representadas pelos *Grupos São João Del Rei* e *Andrelândia* (Ebert, 1967), de idade proterozóica, encaixadas em terrenos arqueanos correlacionáveis, em algumas áreas, ao *Grupo Barbacena* (Pires, 1977) e, em outras, ao *Grupo Mantiqueira* (Ebert, 1967).

Os primeiros estudos sistemáticos na região foram realizados durante a década de cinquenta, permitindo o reconhecimento das Séries Andrelândia e São João Del Rei como unidades proterozóicas, desvinculadas da Série Minas e correlatas às Series Paraíba e Juiz de Fora (Ebert, 1954, 1955, 1957)

Trabalhos de mapeamento geológico da região, em escala de detalhe, foram retomados na década de oitenta (Trouw et al , 1980) e prosseguem até os dias atuais, através de várias instituições de pesquisa.

Os principais resultados, obtidos ao longo destes quarenta anos de pesquisa na região, são sintetizados a seguir.

CARACTERÍSTICAS DO EMBASAMENTO

Existem várias controvérsias envolvendo a utilização do termo *Barbacena* para designar as rochas arqueanas que constituem o embasamento das seqüências proterozóicas expostas ao longo do perfil Liberdade-Carrancas. Este foi aplicado, originalmente, por Barbosa (1954) para designar uma série em que também estavam imiscuidas rochas de idade proterozoica. A impropriedade desta inclusão foi reconhecida por Ebert (1954, 1955, 1957) que manteve,

entretanto, o termo original, reconhecendo nesta série duas unidades principais: a *Formação Barbacena*, mais antiga, com caráter metabásico (anfíbolitos, serpentinitos, hornblenditos, talco xistos e clorita xistos) e metassedimentar (preponderância de mica xistos); e a *Formação Lafaiete*, constituída por itabiritos, mica xistos, quartzitos, ultrabásitos e gonditos, contendo produtos de sedimentação provenientes da *Formação Barbacena*. A *Série Mantiqueira*, descrita por Barbosa (1954), entre Santos Dumont e João Aires e interpretada como embasamento da *Série Barbacena*, é, então, reconhecida como uma provável facies tectônica e metamórfica da mesma unidade Barbacena.

Posteriormente, Ebert (1967) passa a utilizar o termo *Grupo Barbacena* em substituição aos termos "formação" e "série" e, mais recentemente, Seixas & Silva (1976) aplicam o termo "Associação Barbacena" para designar seqüências litológicas de caráter bastante heterogêneo, abrangendo unidades não enquadradas na definição original.

Uma nova definição do *Grupo Barbacena* é introduzida, a seguir, por Pires (1977, 1978), ao descrever unidades litológicas na região de Conselheiro Lafaiete, formadas por um conjunto de metabásitos, metaultrabásitos, metacherts, formações manganíferas e xistos grafitosos, com disposição característica de "greenstone belt". Com base nesta redefinição, o *Grupo Barbacena* poderia ser considerado uma extensão do *Supergrupo Rio das Velhas*.

Desta forma, dadas as complicações que envolvem as litologias associadas ao termo, Hasui & Oliveira (1984), preferem englobá-las sob a designação *Complexo Barbacena*.

Ao descrever o embasamento das seqüências proterozóicas da Folha Barbacena, Trouw et al. (1986) afirmam ser este constituído, em sua parte norte e oeste, por uma predominância de ortognaisses granodioríticos e graníticos, contendo faixas vulcano-sedimentares ricas em rochas máficas e ultramáficas, enquanto que, a sudeste, predominam gnaisses bandados, havendo entre estas seqüências, zonas de caráter transicional. De acordo com estas características, os autores consideram não ser possível enquadrar este embasamento em nenhuma das séries ou grupos anteriormente definidos, pois este pode ser atribuído ora ao *Grupo Barbacena*, ora ao *Grupo Mantiqueira*.

Na área especificamente abrangida neste trabalho, as unidades apresentam um caráter fortemente transicional (figura II.2). Em sua porção oriental, predominam biotita gnaisses bandados, localmente migmatíticos, com intercalações de níveis anfíbolíticos, que afloram como corpos isolados de pequenas dimensões (*Grupo Mantiqueira*). Na direção NW, estes biotita gnaisses gradam para granodiorito gnaisses, contendo estreitas faixas de seqüências vulcano-

Figura 11.2 - Mapa esquemático ilustrando características do embasamento na área estudada (com base em dados de Trouw et al., 1986).

- Granodiorito gnaisses
- Rochas ultramáficas intercaladas a gnaisses
- Faixas vulcano-sedimentares (Grupo Barbacena)
- Biotita gnaiss bandado, localmente migmatítico, com níveis anfibolíticos (Grupo Mantiqueira).
- Unidades Proterozóicas

sedimentares, melhor caracterizadas na porção sul da área onde ocorre uma sequência de rochas com predominância de ultramáficas, correlacionáveis ao *Grupo Barbacena* de Pires (1977) por Bittar (1989).

As relações entre os dois grupos é interpretada por Pires (1990). Segundo o autor, estes teriam formação simultânea, sendo gerados durante um processo de descalcificação da crosta arqueana, em consequência de uma provável colisão crustal. Assim, os gnaisses do *Grupo Mantiqueira* e as sequências do *Grupo Barbacena* representariam, respectivamente, uma fase mais evoluída e restitos de um processo de diferenciação crustal. Após cratonizadas, estas unidades sofreriam um segundo processo tectonotermal, responsável pela refusão parcial do *Grupo Mantiqueira*, gerando magmas granodioríticos que intrudem as sequências do *Grupo Barbacena*.

AS SEQUÊNCIAS PROTEROZOÍCAS

Na década de sessenta as Séries Paraíba, Andrelândia e São João Del Rei foram redefinidas por Ebert (1966, 1967, 1968) como "Grupos" considerados de mesma idade estratigráfica, mas apresentando diferentes graus de metamorfismo. O *Grupo Paraíba* apresentaria, em decorrência de uma tectônica de empurrão de sentido norte/nordeste, metamorfismo de caráter catazonal; o *Grupo Andrelândia*, mesozonal, e o *Grupo São João Del Rei*, no extremo norte, metamorfismo com características de epizona. A transição entre estes grupos seria observada na região de São Tomé das Letras (Ribeiro & Heibron, 1982), sendo o *Grupo São João Del Rei* considerado uma unidade sedimentar mais madura e o *Grupo Andrelândia*, por sua abundância de feldspatos e intercalações máficas, uma unidade imatura.

Duas fácies sedimentares principais caracterizam o *Grupo São João Del Rei*. A primeira, denominada *Facies São João Del Rei* contém, predominantemente, quartzitos maduros e metacalcários e, a segunda, dita *Facies Luminárias*, é representada, principalmente, por quartzitos e metagrauvacas.

O *Grupo Andrelândia*, por sua vez, é subdividido em cinco unidades informais, sendo as duas basais correlacionáveis à *Facies Luminárias* (Trouw et al., 1986).

Ao longo do perfil Liberdade-Carrancas, área objeto deste estudo, todas as cinco

unidades do Grupo Andrelândia são observadas (figura II.3).

Um modelo evolutivo para as bacias sedimentares proterozóicas hoje representadas pelos *Grupos São João Del Rei e Andrelândia*, é apresentado por Andreis et al. (1989 a,b) e Ribeiro et al. (1990). Segundo estes autores, correlações litofaciológicas permitem reconhecer quatro ciclos deposicionais nestas unidades. Estes seriam separados por discordâncias e denominados, da base para o topo: Tiradentes, Lenheiro, Carandaí e Andrelândia. Neste modelo, os sedimentos do Ciclo Tiradentes teriam sido depositados em uma bacia de orientação NE-SW, estabelecida na região após o Evento Termotectônico Transamazônico que afetou o embasamento. Estes seriam formados, principalmente, por arenitos quartzosos e pequena porcentagem de ruditos e pelitos, derivados do embasamento durante um processo de transgressão, com deposição em mar raso, sob condições plataformais ou de submaré transicionais. Após litificação de seus sedimentos, um soerguimento da bacia, resultante de um processo de "rifting" incipiente, seguido por um processo transgressivo progradacional, daria origem aos sedimentos do Ciclo Lenheiros, interpretado como desenvolvido em sistema lagunar, gerando ruditos, arenitos e, em menor quantidade, pelitos paraconcordantes às seqüências originadas no Ciclo Tiradentes. As seqüências de ambos os ciclos são, posteriormente, intrudidas por diques básicos, provavelmente relacionados a uma fase de extensão crustal, com geração e reativação de falhamentos normais. Após um processo erosivo, uma nova transgressão é responsável pela deposição dos Ciclos Carandaí, representado por ruditos, pelitos e grande quantidade de rochas carbonáticas, que ocorrem em discordância com as unidades precedentes. A seguir, numa fase transgressiva posterior, dá-se a sedimentação correspondente ao Ciclo Andrelândia, que, após litificado, seria intrudido por magmatismo básico, sob a forma de diques e "sills". As litofacies do Ciclo Andrelândia seriam, contudo, de difícil caracterização, por haverem sofrido metamorfismo de grau mais elevado. Suas unidades basais, formadas por arcósio e pelitos, poderiam ser indicativas de condições plataformais de sedimentação. A este ciclo estariam associadas partes do *Grupo São João Del Rei* e o *Grupo Andrelândia*.

Desta maneira, todos os ciclos, com exceção do Carandaí, teriam sofrido atuação de atividades ígneas. As características dos metassedimentos associados a estes ciclos de deposição e o fato destas unidades serem contornadas por um embasamento siálico, são indicativos de preenchimento de bacia intracratônica.

Ribeiro et al. (1995) reconhecem a existência de três bacias deposicionais associadas a estes ciclos, as quais denominam São João del Rei, Carandaí e Andrelândia, sendo as duas

Figura 11.3 - Mapa geológico simplificado destacando unidades litológicas predominantes dos Grupos São João Del Rey e Andrelândia na área compreendida neste estudo. Segundo dados de Trouw et al. (1986)

primeiras mesoproterozóicas, de caráter intracrustal e a última, neoproterozóica, com características de margem passiva (as rochas metassedimentares presentes nas áreas discutidas neste estudo seriam representantes desta última).

Dados apresentados por Heilbron et al. (1989), indicam um limite cronológico superior para a sedimentação dos *Grupos Andrelândia e São João Del Rei* entre 2200 e 1900 Ma, idade do último evento magmático que afetou o embasamento destes grupos. A idade Sm/Nd de anfibolitos (1180 a 1050 Ma), intercalados nestas seqüências, indicaria o limite cronológico inferior (no caso destes constituírem uma manifestação plutônica pós-deposicional) ou o período real de deposição, no caso destes representarem manifestações sindeposicionais.

Segundo Ribeiro et al. (1995), razões Sm/Nd de unidades máficas intercaladas aos metassedimentos indicam formação destas bacias no intervalo compreendido entre 1.800 (idade mais nova do embasamento) e 600 Ma (idade das primeiras manifestações brasileiras: São João del Rei (entre 1800 a 1300 Ma), Carandaí (entre 1300 e 1000Ma), Andrelândia (entre 1000 e 600 Ma.)

ASPECTOS ESTRUTURAIS E METAMÓRFICOS

Nos trabalhos realizados por Ebert (1955, 1956, 1957, 1971), o autor reconheceu duas grandes orogêneses na região. A mais antiga teria afetado as rochas do embasamento e, a segunda, teria lugar apenas no final do algonquiano. Esta orogênese teria seu foco central localizado na região costeira, de onde irradiaria para noroeste, sul e centro de Minas Gerais. Como consequência, o algonquiano mesozonal teria sido empurrado sobre o algonquiano epizonal, gerando uma série de estruturas imbricadas, sob a forma de escamas. Estas desenvolver-se-iam, inicialmente, às custas de um dobramento que, adquirindo um caráter isoclinal, degeneraria, por fim, num sistema de falhas de empurrão.

Nos trabalhos publicados por Trouw et al. (1980, 1982, 1983, 1986), as estruturas regionais são descritas com base em um modelo de três fases de deformação, associadas a dois eventos metamórficos do tipo Barroviano. O primeiro evento estaria relacionado às duas primeiras fases, desenvolvidas em um período quase coincidente ao Evento Tectothermal Uruaçuano, entre 1300 e 900 Ma (Heilbron et al., 1989; Ribeiro et al., 1990). Segundo esses autores, a primeira fase deformacional teria gerado falhas de empurrão extensas, dobradas por

fases posteriores, que causariam o imbricamento das rochas metassedimentares proterozóicas, separadas por lentes do embasamento. A esta fase também seria atribuída a formação de clivagens ardósianas e dobramentos locais, cujas atitudes apresentam grande variação devido ao fato de terem sido retrabalhadas pelas fases deformacionais posteriores. A penúltima fase seria caracterizada por dobras em todas as escalas e geração de clivagem e/ou xistosidade penetrativa. O auge do metamorfismo regional estaria associado a esta fase, em que também se desenvolveria um intenso cisalhamento de sentido W-E seguindo, provavelmente, as zonas de falhamento desenvolvidas durante a fase anterior e que, agora, adquiririam um caráter mais dúctil, conseqüente do aumento de temperatura. A última fase teria lugar durante o Evento Tectonotermal Brasileiro, entre 700 e 500 Ma e também daria origem a dobras em escala milimétrica a quilométrica, com superfícies axiais de mergulho forte, geralmente para sudeste e, localmente, para noroeste. A atuação desta fase seria bastante heterogênea, podendo ser bastante sutil em algumas áreas e intensa em outras. Uma grande falha de empurão, com direção SW-NW, observada a noroeste de Carrancas, é atribuída a esta fase (figura II.4 e II.5).

Dados obtidos por Trouw et al. (1994), entretanto, a partir de datações Rb/Sr e Sm/Nd, não confirmaram a atuação do Evento Tectonotermal Uruaçuano na *Faixa Alto Rio Grande*, sendo toda deformação e metamorfismo atribuídos ao Evento Tectonotermal Brasileiro.

Ribeiro et al. (1990) reconhecem três domínios tectônicos distintos na região: I (autóctone), II e III (alóctone), com diferentes características de direção de transporte tectônico entre II e III (figura II.4).

O mapa metamórfico regional é ilustrado na figura II.5, de acordo com dados de Trouw et al. (1986) e Heilbron et al. (1989). Neste, observa-se que, ao norte de Carrancas, as seqüências litológicas exibem paragêneses representativas de facies xisto-verde, havendo um aumento de grau metamórfico em direção sul/sudeste, com a entrada na facies anfibolito alto marcada pelo aparecimento da isógrada da cianita, seguida pela isógrada da sillimanita. Existe, entretanto, uma faixa do Grupo Andrelândia, a SW de Minduri onde a isógrada de sillimanita desaparece tornando-se novamente presente numa área mais a sul. O processo metamórfico culmina com início de anatexia na região de Andrelândia/Arantina, durante a segunda fase de deformação.

Análises de pares geotermométricos e geobarométricos em anfibolitos associados a metassedimentos pertencentes ao Ciclo Andrelândia, indicam, segundo Trouw et al. (1992), um auge de temperatura entre 700 e 900°C e pressões predominante entre 8 e 10 Kb. Estes passam, num processo de retrometamorfismo, para temperaturas entre 500 e 600°C e pressão em torno de

FIGURA II.4 - Domínios tectônicos brasileiros do sul do Craton do São Francisco. Segundo Ribeiro et al. (1990)

FIGURA 11.5 - Mapa metamórfico regional. Sobre ilustração de Trouw et al. (1986), incluindo dados de Hellbron et al. (1989).

Xisto verde Anfibolito Anfibolito superior

5 Kb. Alguns anfibolitos, entretanto, apresentam evidências de condições de pressão mínima entre 13 e 14 Kb, podendo, desta forma, ser considerados retroeclogitos. Segundo os autores, a evolução metamórfica das seqüências do Ciclo Andrelândia e de suas metabásicas, marcados por uma fase inicial de alta PT (cujos registros são preservados apenas nas rochas básicas), passando para uma fase de P inferior, segue um caminho típico de colisão continental ou de processos de subducção do tipo A.

Ribeiro et al. (1995) delineam um *nappe* na região de Liberdade, associado, em sua origem, a um conjunto de *nappes* e escamas tectônicas, nas quais incluem-se, também, as *nappes* de Luminárias e Passos. Em Liberdade, os autores reconhecem transição metamórfica, definida a partir de metassedimentos, da base (facies anfibolito) para o topo (facies granulito) do *nappe* (com características, portanto, de metamorfismo com pressão mais alta que o tipo barroviense), e a presença de tipo máficos com características de retro-eclogitos, cujas determinações geobarométricas indicam pressões de 12 a 15 kb e temperaturas entre 670 a 740 °C. Tais estruturas e condições metamórficas estariam associadas a processos também desenvolvidos na Faixa Brasília. Posteriormente (em torno de 570 Ma), estas unidades também seriam afetadas por um episódio relacionado à Faixa Móvel Ribeira, com características de encurtamento crustal, sob condições de pressão inferior e geração de corpos graníticos anatóicos.

AS ROCHAS MÁFICAS-ULTRAMÁFICAS NO CONTEXTO REGIONAL

Nos domínios da Faixa Alto Rio Grande é possível identificar corpos ultramáficos compreendidos em três diferentes contextos:

1. Corpos ultramáficos intercalados a unidades arqueanas interpretadas como uma associação do tipo "greenstone belt" (Bittar, 1989), correlacionável ao Grupo Barbacena;
2. Corpos ultramáficos, de caráter alóctone, encaixados em regiões de contato entre terrenos arqueanos e proterozóicos;
3. Corpos ultramáficos alóctones, encaixados em seqüências proterozóicas metassedimentares.

Corpos ultramáficos do primeiro tipo estão bem caracterizado na região entre Caxambú

e São Tomé das Letras, onde uma faixa do embasamento de sentido NE-SW, com largura variando entre 15 e 18 Km, apresenta abundância de rochas ultramáficas em uma associação composta por anfíbolitos, hornblenditos, xistos com talco, clorita e anfíbólio tremolítico, serpentinitos, peridotitos e piroxenitos; intercalados a gnaisses granodioríticos, quartzitos, gonditos e rochas calciossilicáticas; cujo padrão de distribuição é interpretado por Bittar (1989) como típico de uma sequência de "greenstone belt".

Exemplos típicos de rochas ultramáficas em regiões de contato Arqueano/Proterozóico são observados na região de Carrancas e São Vicente de Minas e suas características são descritas com maior detalhe no capítulo III.

Corpos ultramáficos do terceiro grupo, encaixados em terrenos proterozóicos, ocorrem em grande número no Grupo Andrelândia, destacando-se, entre estes, as ocorrências da região de Liberdade, algumas das quais de grande potencial níquelífero, como atestam as empresas mineradoras atuantes no local. Estas apresentam formas ovóides e parecem ter, em seu posicionamento, um importante controle estrutural, com fortes indícios de que representam unidades alóctones. De acordo com a subdivisão em domínios tectônicos, estabelecida por Ribeiro et al. (1990), tais ocorrências estariam inseridas no Domínio III e as demais, no Domínio II.

A figura II.6 ilustra a localização das principais ocorrências ultramáficas abordadas neste estudo.

CORRELAÇÕES REGIONAIS

De acordo com Almeida et al. (1976), o Craton do São Francisco teria atuado, ao final do Proterozóico Inferior e ao término do Ciclo Amazônico, como antepaís dos cinturões desenhados em suas bordas. Na margem oeste do craton, a *Faixa Uruaçu*, mais ocidental, e a *Faixa Brasília*, mais próxima, teriam, respectivamente, suas formações atribuídas ao Ciclos Uruaçuano (1000 a 1300 Ma) e Brasileiro (450 a 1000 Ma). Ao sul do craton, a *Faixa Brasília* seria interrompida e a *Faixa Uruaçu* encontraria a *Região de Dobramentos Sudeste*, constituída por sequências proterozóicas brasileiras e por remanescentes do embasamento retrabalhado. O Grupo Andrelândia representaria uma extensão da *Faixa Uruaçu*, correlacionável ao Grupo Araxá (Barbosa, 1954). O Grupo São João Del Rei corresponderia, por sua vez, a uma extensão da

Figura II.6 - Mapa de Localização dos principais corpos ultramáficos entre as regiões de Liberdade e Carrancas

Faixa Brasília e desapareceria na altura do meridiano 44°W.

Posteriormente, Cavalcante et al. (1979) afirmaram não ser possível observar continuidade entre a *Faixa Brasília* e os *Grupos São João Del Rei* e *Andrelândia*. Com base nesta informação Hasui (1992) e Hasui & Oliveira (1984) preferem reunir as unidades São João Del Rei e Andrelândia em uma faixa de dobramentos a que denominaram *Faixa Alto Rio Grande*, com características de faixas marginais de idade brasileira.

Nos trabalhos publicados por Trouw (1983) e Trouw et al. (1984), os autores constatarem a existência de uma passagem transicional, através de mudanças de facies sedimentares, associada à variação do grau metamórfico e estilo estrutural, da *Faixa Uruaçu* para a *Faixa Brasília*, na região de junção destas com a *Região de Dobramentos Sudeste*. Segundo os autores, a primeira fase de deformação registradas nos *Grupos Andrelândia* e *São João Del Rei* seria de pouca intensidade na *Faixa Brasília*, mas teria gerado grandes empurrões na *Faixa Uruaçu*. Dobras da segunda fase de deformação, por sua vez, seriam relativamente abertas na *Faixa Brasília* e recumbentes na *Faixa Uruaçu*, enquanto que a transição da *Faixa Sudeste* para a *Faixa Brasília* seria caracterizado por aumento do domínio nas estruturas da última fase.

Trouw et al. (1994) propõem uma reavaliação das relações entre as *Faixas Alto Rio Grande, Brasília e Ribeira* com base nas datações que indicam sua contemporaneidade e nas características estruturais da mesma. Segundo estes autores, o contraste entre a direção de transporte tectônico entre os Domínios II e III (figura II.4) das seqüências alóctones da *Faixa Alto Rio Grande* seriam reflexo da interferência de movimentos orogenéticos ocorridos nas *Faixas Brasília e Ribeira*, sendo o Domínio II interpretado como a extremidade meridional da *Faixa Brasília* e, o Domínio III, como área de interferência entre esta e a *Faixa Ribeira*. Desta maneira, a *Faixa Alto Rio Grande* deveria ser desconsiderada como uma unidade tectônica distinta.

Ocorrências isoladas de gnaisses granulíticos são descritas por Trouw & Castro (1996), nas proximidades de Caxambú e Três Corações (*Faixa Alto Rio Grande*) e Jacuí (*Faixa Brasília*), associados a rochas máficas com paragêneses indicando equilíbrio sob temperaturas superiores a 770 °C e pressões maiores que 10 Kb. Estas zonas granulíticas de alta pressão estariam associadas a *nappes* de empurrão, nas regiões de Passos e Liberdade, resultantes de uma colisão continental de sentido W-E, com subducção para oeste.

CAPÍTULO III

CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL DOS CORPOS ULTRAMÁFICOS ANALISADOS

INTRODUÇÃO

As relações litoestratigráficas entre as regiões compreendida neste estudo foram apresentadas no capítulo anterior. Neste capítulo, serão descritas, com maior detalhe, as características geológicas das áreas abordadas e dos corpos ultramáficos nelas inseridos, obedecendo a seguinte ordem:

Associações inseridas no Domínio III (Ribeiro et al. 1990):

- Região de Liberdade-Andrelândia

Associações inseridas no Domínio II (Ribeiro et al. 1990):

- Região de São Vicente de Minas

- Região de Carrancas

Os dados relativos à natureza e características das rochas encaixantes foram obtidos, em sua maioria, através de mapeamento em escala 1: 50.000, realizados por diversos pesquisadores. Nestes casos, o estudo da autora restringiu-se às rochas ultramáficas e suas encaixantes adjacentes. Na região de Carrancas, entretanto, procedeu-se a uma investigação mais detalhada da geologia local, na tentativa de melhor esclarecer a natureza das rochas definidas como embasamento por Magalhães (1985).

ASSOCIAÇÕES INSERIDAS NO DOMÍNIO III

REGIÃO DE LIBERDADE-ANDRELÂNDIA

Os corpos ultramáficos situados entre as regiões de Liberdade e Andrelândia (ver mapa

anexo) encontram-se encaixados em unidades do Grupo Andrelândia, representados, nesta área, por um conjunto de metassedimentos com características transicionais (quartzitos, granada-sillimanita/cianita quartzos, biotita e sillimanita/cianita-granada gnaisses), contendo lentes isoladas de anfíbolitos e corpos de rochas ultramáficas. Migmatização parcial é registrada nos biotita gnaisses. Corpos graníticos, de composição tonalítica a granodioríticas, de contornos alongados concordantes com a direção principal de deformação da área, são considerados produtos de fusão parcial destes gnaisses. Este conjunto litológico, descrito por Junho et al. (1989a, 1989b), é disposto de forma a compor um sinformal aberto, com direção de eixo SW/NE e mergulho para SW, correlato a terceira fase de deformação definida regionalmente por Trouw et al. (1986). Uma falha de empurrão (*nappe* de Liberdade) é delineada ao longo deste sinformal (Trouw & Castro, 1996).

Nesta região, os corpos ultramáficos exibem contornos ovalados, com eixos maiores paralelos à direção da xistosidade principal, correlacionável a segunda fase de deformação regional. Estes encontram-se, portanto, posicionados na direção do sinformal, em diferentes níveis estratigráficos.

Como ver-se-á a seguir, alguns autores indicam um posicionamento deste corpos ao longo de zonas de falhamento ou de limites entre litologias distintas. O grau de intemperismo das rochas encaixantes é, entretanto, bastante intenso nas adjacências destes corpos, impossibilitando estabelecer as relações de contato entre estas e os corpos ultramáficos. Contudo, verificou-se, neste trabalho, que todos os corpos ultramáficos desta região acham-se em contato com xistos ou gnaisses abundantes em granada e cianita, de granulação grossa.

A composição modal nestes corpos é bastante variável, assim como suas características texturais. Geralmente, existe predominância de um tipo litológico em cada um dos corpos. São observados serpentinitos, dunitos, espinélio hornblenditos, espinélio harzburgitos, hornblenditos, rochas websteríticas, ortopiroxenitos e fels compostos por clorita, serpentina, talco, anfíbólios cálcicos e magnesianos, associados em diversas proporções.

Com base em estudos petrográficos e geoquímicos realizados para quatro destas ocorrências (Fazenda da Roseta, Morro do Corisco, Serra da Garça e Arantina), as rochas ultramáficas de Liberdade foram consideradas por Almeida (1992) de caráter original intrusivo, geradas a partir de processos de diferenciação de magmas toleíticos. Estas, poderiam, portanto, representar porções desmembradas de um corpo maior (ou corpos?), hoje posicionadas tectonicamente no Grupo Andrelândia, e exibiriam paragêneses indicativas de metamorfismo na

facies anfibolito, com alguns espécimes tendo preservado paragêneses representativas de reequilíbrio na facies granulito.

Dadas suas características, as ocorrências ultramáficas aqui descritas são divididas em quatro diferentes contextos: corpo ultramáfico da Fazenda da Roseta, corpo ultramáfico do Morro do Corisco e conjunto de corpos da região da Serra da Garça e do alinhamento Arantina-Andrelândia.

Corpo Ultramáfico da Fazenda da Roseta

Mineralizado em níquel, o corpo ultramáfico da Fazenda da Roseta é o que possui, na área, as maiores dimensões (em torno de 4 Km²). Sua mineralização em níquel é de caráter supergênico, com características semelhantes às observadas nos minérios do corpo ultramáfico Morro do Corisco, estudados em detalhe por Santos (1972).

Rochas websteríticas predominam como litologia aflorante na Fazenda da Roseta. São rochas de granulação grossa, constituídas por uma matriz granoblástica de anfibólios, de cor verde escura, na qual destacam-se megacristais prismáticos de piroxênios castanhos e olivinas. Ocorrem na superfície como afloramentos de dimensões métricas, sendo também encontrados em túneis e poços prospectores de minério de níquel. Muitas vezes, exibem uma espécie de bandamento, milimétrico a centimétrico, dado pela intercalação de faixas predominantemente piroxeníticas e faixas ricas em anfibólio, gerando intercalações de tipos modal e texturalmente distintos.

Espinélio harzburgitos ocorrem como blocos centimétricos dispersos nas proximidades das rochas websteríticas aflorantes na porção nordeste do corpo ultramáfico. Suas relações estratigráficas com as rochas websteríticas são, desta maneira, de natureza incerta. Estas rochas constituem espécimes bastantes peculiares, tanto pela abundância de espinélio, quanto pela complexidade de suas relações texturais. Apresentam granulação grossa e coloração predominante cinza esverdeada, na qual destacam-se, macroscopicamente, cristais negros de espinélio.

Serpentinitos ocorrem como rochas maciças, de cor verde escura a verde acinzentada, de granulometria fina, em muito semelhante aos serpentinitos predominantes no corpo ultramáfico do Morro do Corisco, 4 Km ao norte. Diferenciam-se destes, entretanto, por exibir cristais de

anfíbio, facilmente identificados a olho nú, em porcentagem relevante. O grau elevado de intemperização do corpo ultramáfico, em suas proximidade, não permite estabelecer as relações de contato entre estes serpentinitos e os demais tipos litológicos da Fazenda da Roseta. Nota-se, entretanto, que estas ocorrem em pontos topograficamente mais elevados, sugerindo um posicionamento em nível distinto dos piroxenitos.

Na borda sudoeste do corpo ultramáfico da Fazenda da Roseta, na região de contato deste com suas encaixantes, ocorrem hornblenditos de granulação média e cor negra. Dada a forma de ocorrência destas rochas, em região de contato, e suas características químicas extremamente anômalas, esta foi considerada por Almeida (1992) como gerada sob fortes influências metassomáticas, envolvendo troca de elementos, em grande escala, entre o corpo ultramáfico e sua encaixante ácida (cianita-granada-quartzo xisto). O grau de intemperismo das rochas envolventes, tanto ultramáficas como encaixantes é, infelizmente, muito intenso, não permitindo um estudo de perfil ao longo desta região de contato.

Clorita xistos são observados na borda NE do corpo ultramáfico, entre o mesmo e as rochas encaixantes.

Corpo Ultramáfico do Morro do Corisco

O corpo ultramáfico do Morro do Corisco abriga a mais antiga mina de níquel garnierítico do país, tendo sua exploração iniciada em 1915, através da Companhia de Nickel do Brasil, quando o Município de Liberdade era ainda conhecido por Livramento (Moraes, 1935). A retirada do material portador de níquel, ao longo dos anos, deu lugar a uma área aplainada onde antes existia a elevação que deu origem ao topônimo.

Posicionado, segundo Magalhães (1985), entre cianita/sillimanita-granada xistos e biotita gnaisses, o corpo possui em torno de 0,4 Km², sendo serpentinito o tipo litológico predominante, sob a forma de núcleos de dimensões métricas preservados ao intemperismo e expostos graças às escavações feitas no local. Estes exibem aspecto maciço poroso, coloração verde azulada a cinza esverdeado.

Em alguns locais, a variação de cor destas rochas é de modo a constituir bandas decimétricas de diferentes tonalidades. Estas "bandas" acompanham um direção preferencial, não correlacionável às estruturas regionais, sugerindo, assim, a existência de um bandamento

composicional primário.

O corpo ultramáfico é cortado por fraturas com direções diversas, preenchidas por concentrados de sílica + minerais argilosos formados, a partir de precipitação coloidal, durante processos intempéricos. Estes concentrados constituem a principal fonte de níquel deste corpo e sua origem foi discutida por Santos (1972). Segundo o autor, durante os processos de formação do solo laterítico, sílica é lixiviada, precipitando-se sob a forma coloidal; Fe permanece como constituinte principal do solo, sob a forma de Fe^{+3} e Mg é removido para os níveis inferiores. Ni^{+2} é liberado durante o intemperismo da serpentina, ficando retido nos retículos cristalinos dos minerais neoformados (vermiculita, montmorilonita, clorita e serpentina).

Localmente, os concentrados, constituídos por uma mistura de serpentina e hidrossilicatos de Ni-Mg, são designados, de forma genérica, por *garnierita*. A extração deste material nas porções mais intemperizadas restringiu os concentrados aos maciços serpentiniticos, o que torna sua extração pouco viável do ponto de vista econômico. Este não é o caso, entretanto, do corpo ultramáfico da Fazenda da Roseta, descrito anteriormente, onde há reservas de concentrados de níquel em terrenos totalmente intemperizados, sendo, portanto, de fácil extração.

Espinélio hornblenditos ocorrem neste corpo de forma semelhante aos espinélio harzburgitos da Fazenda da Roseta, ou seja, ocorrem como blocos centimétricos, cujas relações com o corpo principal é de natureza incerta. Sua textura é granular, exibindo cor verde escura acinzentada, onde destacam-se cristais negros de espinélio. Algumas amostras apresentam, em sua superfície, concentrações, com poucos milímetros de diâmetro, de "garnierita".

Rochas compostas, essencialmente, por hornblenda + epidoto + quartzo são observadas cortando as rochas serpentiniticas, tendo sua origem associada a intrusão de veios pegmatíticos que atravessam as encaixantes e algumas porções dos corpos.

Corpos Ultramáficos da Serra da Garça

Na região da Serra da Garça, encontra-se um conjunto de rochas ultramáficas, também ovóides, de dimensões mais restritas (eixos maiores variando entre 200 e 500 metros), perfeitamente alinhado na direção da xistosidade principal.

Diferenciando-se das ocorrências do Morro do Corisco e Fazenda da Roseta, onde os limites dos corpos são facilmente reconhecidos, mesmo nas porções intemperizadas, pelo

contraste da cor de seu solo e daqueles produtos das rochas encaixantes, na região da Serra da Garça, os corpos ocorrem isolados, havendo, entre uma ocorrência e outra, afloramentos de rochas metassedimentares encaixantes.

Os tipos litológicos predominantes são formados por uma combinação de anfibólio antofilítico, clorita e talco em diversas proporções. Alguns pontos, todavia, conservam ortopiroxenitos como espécimes relictos.

A grande maioria das rochas constitui fels, com anfibólio antofilítico como principal componente. Tipos xistosos são extremamente raros, de ocorrência muito restrita, nas rochas onde clorita é o mineral mais abundante. Clorita xistos ocorrem dispersos, como blocos, ao redor de fels, aos quais parecem ter envolvido, preteritamente. Exibem cristais tabulares de clorita de cor verde escura, granulação média e forte xistosidade, muitas vezes crenulada.

Corpos Ultramáficos entre Arantina e Andrelândia

Estas, rochas assemelham-se, em muitos aspectos, às ocorrências da Serra da Garça. Aparecem como pequenos corpos ovóides, isolados entre si. Anfibólitos antofilíticos ou cálcicos, associados a clorita, são os principais constituintes destas rochas. Características peculiares são, contudo, exibidas pela ocorrência mais próxima a cidade de Arantina. Esta exhibe megacristais prismáticos de olivina que destacam-se, macroscopicamente, na matriz formada, principalmente, por anfibólio cálcico. Estas também exibem densidade maior que as demais.

De uma forma geral, este conjunto de rochas caracteriza-se por exibirem cor cinza claro a cinza chumbo, dado por prismas longos de anfibólio com hábito fibroso. Concentrações de clorita pura, de cor negra e granulação grossa são, também observadas, com diâmetro variando de poucos milímetros 5 centímetros.

ASSOCIAÇÕES INSERIDAS NO DOMÍNIO III

REGIÃO DE SÃO VICENTE DE MINAS

Na região de São Vicente de Minas, ocorrências de rochas máficas-ultramáficas são observadas ao longo de faixas do embasamento localizadas entre os Grupos Andrelândia (Serra da Covanca) e São João Del Rei (Serra Dois Irmãos), sendo seus contatos definidos por falhas de empurrão.

As litologias do embasamento encontram-se bastante intemperizadas nesta área, sendo o mesmo descrito por Simões (1982) como um conjunto de gnaisses compostos, essencialmente, por microclina, plagioclásio, epidoto e quartzo, com as fases máficas representadas por biotita (biotita gnaisses) ou por hornblenda (hornblenda gnaisses). Camadas centimétricas de anfibolitos ocorrem intercaladas aos hornblenda gnaisses, dando a estas rochas um aspecto bastante bandeado. Xistos máficos e ultramáficos, bastante alterados, são também observados nesta unidade.

Neste cenário, destacam-se corpos ultramáficos de maiores dimensões. A grande maioria destes corpos, já em elevado grau de alteração, é constituída por rochas xistosas e fels, ricos em anfibólios e clorita e por talco xistos, por vezes com anfibolitos associados. Nas proximidades da *Fazenda Bela Vista*, entretanto, encontra-se um corpo piroxenítico bastante preservado, facilmente identificado como elevação topográfica às margens da rodovia MG-388. São rochas granulares, onde olivinas e ortopiroxênios prismáticos, de cor verde acastanhada, aparecem envolvidos por cristais de anfibólio, também verdes, de granulometria inferior. Esta semelhança de cor entre os minerais dificulta, por vezes, sua individualização a olho nú. Variações granulométricas são observadas ao longo do corpo, com olivina e piroxênio de dimensões milimétricas passando a cristais de dimensões centimétricas. Em direção às bordas, o corpo piroxenítico grada para rochas ricas em anfibólios e clorita. Estes espécimes bordejantes encontram paralelo textural e modal em muitos dos corpos da região, como, por exemplo, a ocorrência próxima ao *Rio Algodão*, cujo estado de preservação permitiu, neste trabalho, a realização de estudos petrográficos.

REGIÃO DE CARRANCAS

Em Carrancas, as ocorrências de rochas ultramáficas estão contidas na zona interna do sinformal, de grande expressão geográfica, formado pelas Serras de Carrancas e das Bicas. Estas serras, constituídas por um conjunto de metassedimentos correlacionáveis ao Grupo São João Del Rei, são separadas das unidades adjacentes por falhas de empurrão geradas durante a segunda fase regional de deformação (Magalhães, 1985), afetadas, posteriormente, pela fase de deformação responsável pela formação do megasinclinal (ver mapa anexo).

Os corpos ultramáficos exibem, ora forma alongadas, que acompanham as direções das estruturas regionais, ora contornos ovóides com eixos maiores paralelos a direção principal de xistosidade. Estes são compostos por peridotitos, piroxenitos, hornblenditos, serpentinitos e xistos e fels, com porcentagens variáveis de talco, clorita e anfibólios cálcicos.

Em pelo menos dois casos, fica evidente o posicionamento dos corpos ultramáficos ao longo de zonas de falha de empurrão: na borda oeste da Serra das Bicas, entre as regiões da Fazenda Santa Inês e Serra do Moleque, e a leste da mesma, no contato entre quartzitos do Grupo São João Del Rei e o embasamento, na região da Fazenda da Areia. No primeiro caso, o corpo exhibe forma alongada e acompanha a serra ao longo de toda sua base. É composto, principalmente, por hornblenditos, serpentinitos e talco xistos/fels subordinados. O corpo ultramáfico da Fazenda da Areia é, por outro lado, essencialmente, piroxenítico, contendo serpentinitos, talco/clorita xistos e fels em pequenas proporções.

À exceção destas ocorrências, Magalhães (1985) considera os demais corpos como totalmente contidos no embasamento, representado por biotita gnaisses bandados e gnaisses granodioríticos, localmente migmatíticos, que, intercalados a rochas máficas e ultramáficas seriam correlatos aos Grupos Barbacena-Mantiqueira. Entretanto, unidades a NW de Carrancas, atribuídas ao embasamento, parecem constituir um prolongamento natural de unidades identificadas por Heilbron (1984), como pertencentes ao Grupo São João Del Rei, (Rangel & Almeida, 1996).

As principais ocorrências de rochas ultramáficas da região de Carrancas são descritas a seguir.

Corpo Ultramáfico da Fazenda da Areia

As rochas ultramáficas da Fazenda da Areia destacam-se, topograficamente, como núcleos preservados ao intemperismo. O solo na região exibe cor marrom avermelhada, contrastando com os solos ocres e quartzosos produzidos a partir das encaixantes que o envolvem.

O tipo litológico predominante é um espinélio-olivina ortopiroxenito de granulação grossa, cor cinza chumbo a verde, contendo anfibólio monoclinico, clorita, talco e minerais opacos. Este aflora ao longo de todo o corpo, sendo cada pequeno núcleo piroxenítico envolvido por rochas com predominância de talco e clorita (i.e. talco xistos e fels, clorita xistos, tremolititos). Desta maneira, o que observa-se não é um núcleo central, piroxenítico, rodeado por rochas metamórficas de grau inferior, mas uma disposição anastomosada destas últimas.

A grande maioria das rochas que bordejam os piroxenitos apresenta-se como fels, sendo os tipos xistosos restritos a alguns dos espécimes ricos em clorita. Sua cor característica é verde, de tons e intensidade variáveis. Muitas vezes, os tipos não xistosos exibem "manchas" de coloração diversa, dada pela concentração de diferentes minerais (talco, em particular, de tonalidade rósea, clorita esverdeada, carbonato branco...).

Corpo Ultramáfico da Fazenda Serra do Moleque

O corpo ultramáfico da Fazenda Serra do Moleque localiza-se na base oeste da Serra das Bicas, terminando, bruscamente, ao sul, ao encontrar rochas metassedimentares do Grupo Carrancas (Grupo São João Del Rei), nas proximidades da fazenda homônima. Este aflora ao longo de uma faixa de, aproximadamente, 2 Km de extensão e 500 metros de largura e encontra-se bastante intemperizado, exibindo rochas preservadas em suas porções mais centrais.

O solo, na região do corpo ultramáfico, apresenta cor marrom escura, contrastando, vivamente, com os solos de tons mais suaves, produtos da alteração de suas encaixantes.

Nesta descrição, também serão englobados os corpos satélites ovóides, localizados nas proximidades da Fazenda Santa Inês, e o corpo alongado paralelo, localizado no extremo sul do corpo.

Serpentinito é o tipo litológico predominante no corpo principal, ao qual associam-se rochas compostas por anfibólio, clorita, serpentina e talco que, de acordo com suas proporções,

constituem rochas formadas, essencialmente, por serpentina + anfibólio, clorita + anfibólio, serpentina + talco e rochas com predominância de talco. Com exceção deste último tipo, estas rochas exibem cor verde escura e granulação variando de fina a grossa. Na maior parte das vezes, constituem fels, embora alguns espécimes possam apresentar xistosidade, particularmente aqueles ricos em clorita e talco, situados na borda do corpo. Alguns serpentinitos, embora não xistosos, apresentam planos de quebra paralelos, levando os moradores da localidade a reconhecê-los como "ardósia".

Em algumas áreas, é possível observar uma espécie de zoneamento no corpo principal, com as áreas mais internas formadas por serpentinitos que gradam para rochas ricas em anfibólio em direção às encaixantes. Nos corpos satélites próximos a Fazenda Santa Inês, é comum, por outro lado, ocorrer uma auréola de talco ao redor dos serpentinitos. Outros, encontram-se totalmente talcificados. Nesta área, talco xistos também aparecem intercalados a gnaisses e quartzitos, não sendo possível identificar se estes constituem camadas interestratificadas ou lentes (fragmentos) dos corpos ultramáficos adjacentes.

Uma faixa de "anfibolitos" (epidoto-quartzo hornblenda fels, com aparência macroscópica de anfibolitos) margeia a borda leste do corpo da Fazenda Serra do Moleque, junto ao contato deste com quartzitos da Serra das Bicas.

Corpo Ultramáfico da Fazenda Rui Barbosa

Nas proximidades da Fazenda Rui Barbosa, observa-se um muro com, aproximadamente, 1 metro de altura e 150 metros de extensão, construído pela sobreposição de blocos de rochas ultramáficas provenientes do corpo ovalado situado no local. Este contém serpentinito como tipo litológico predominante e clorita xisto como espécime subordinado.

Serpentinitos apresentam-se como rochas maciças, de granulometria fina e uma grande variedade de tons (cinza claro azulado, cinza chumbo, verde acizentado, verde escuro, verde claro). Estes são isotrópicos ou exibem bandamento sutil, dado por uma variação granulométrica dos cristais de serpentina. Em alguns casos, esta variação granulométrica ocorrem em zonas, dando à rocha uma textura do tipo "pele-de-onça".

Amostras mais alteradas de serpentinitos exibem, em sua superfície e fraturas, concentrações milimétricas a decimétricas de minério de manganês, sob a forma de óxidos, tendo

o corpo sido pesquisado para fins de extração deste elemento no princípio da década de 80, segundo informações do proprietário, Sr. Geraldo.

A porcentagem de minerais opacos nestas rochas é muito variável. Estes podem ocorrer disseminados, em níveis bem definidos, com espessura máxima de 0,5 mm, ou aglomerados em concentrações milimétricas, muitas vezes com clorita (traços) associada às suas bordas.

Algumas amostras exibem uma direção planar de fratura paralela ao bandamento granulométrico.

Talco (traços), de granulometria fina, ocorre em serpentinitos localizados na borda do corpo ultramáfico, sob a forma de bolsões milimétricos.

Clorita-xistos, de granulometria fina a grossa, ocorrem nas bordas e internamente ao corpo ultramáfico. Amostragens nas porções internas demonstraram que a presença de clorita-xisto é restrita a faixas lineares, de sentido NW-SE, com alguns decímetros de espessura, paralelas, portanto, à direção do maior eixo do corpo.

Corpo Ultramáfico da Fazenda do Engenho

Este corpo, localizado nos arredores da Fazenda do Engenho, possui contorno ovóide e é composto, principalmente, por talco xisto, de granulometria grossa e, muitas vezes, fortemente crenulado.

Serpentinito e clorita xisto ocorrem como rochas subordinadas, sob a forma de blocos centimétricos.

Megacristais idiomórficos de magnetita são abundantes nestas rochas e ocorrem dispersos, de forma abundante, sobre os solos adjacentes ao corpo.

Demais Corpos Ultramáficos da Região de Carrancas

Os corpos ultramáficos descritos até o momento, na área de Carrancas, destacam-se por suas grandes dimensões. A região exhibe, contudo, um grande número de pequenos corpos, com características semelhantes àsquelas observadas para os corpos satélites da Fazenda Serra do Moleque. Estes pequenos corpos, de contornos ovóides em sua maioria, posicionam-se segundo

a direção da xistosidade principal das rochas encaixantes. Entre os corpos mais preservados ao intemperismo, pode-se citar, de acordo com o tipo litológico:

Serpentinitos: Os pequenos corpos serpentiniticos assemelham-se, texturalmente, às rochas do corpo Rui Barbosa. Dentre estes destacam-se, a ocorrência próxima ao Rio Capivari, a oeste de Carrancas (*Corpo Ultramáfico CR13*), e aqueles situados nos pontos *EC10*, *EC15*, *EC47*, *EC48* e *EC54*.

Xistos e Fels compostos por anfibólitos cálcicos: Muitas das ocorrências de rochas ultramáficas são compostas, essencialmente, por anfibólitos cálcicos. Estas ocorrem, por exemplo, em *CA16*, *CA28*, *CR13B*, *CR19* e *CR33*.

Epidoto-quartzo hornblenda fels ("Anfibolitos"): Rochas compostas, quase que exclusivamente, por anfibólio cálcico, quartzo e epidoto são freqüentes na região de Carrancas. Macroscopicamente, estas assemelham-se a anfibolitos típicos. A associação destes com as rochas ultramáficas fica evidente nos corpos *CR13B* e *Fazenda Serra do Moleque*. No primeiro caso, blocos de "anfibolito" envolvem rochas constituídas essencialmente por anfibólio cálcico e no, segundo, estes margeiam, como visto anteriormente, a borda leste do corpo alongado da Serra do Moleque. Este tipo de rocha é, também, observado com freqüência, sob a forma de blocos isolados em terrenos intemperizados (*CA1*, *B72*, *CR39*, etc.), sempre em contato com rochas quartzosas. Fica, portanto, evidente, que a sua origem está relacionada a processos de interação de rochas ultramáficas com encaixantes silicosas, constituindo, em muitos casos, uma espécime de transição entre os tipos litológicos quimicamente contrastantes. A paragênese destas rochas (anfibólio cálcico+quartzo+epidoto) equivale àquelas originadas pela intrusão de veios ácidos nos serpentinitos do Morro do Corisco.

Clorita Xistos, Talco Xistos e Fels: Estas rochas estão, como visto anteriormente, associadas aos demais litotipos dos corpos ultramáficos, ou constituem a totalidade de pequenas ocorrências.

* * *

Dada a extensão da área e o grande número de corpos ultramáficos abordados neste trabalho, o leitor encontrará, certamente, dificuldade em correlacionar os termos aplicados na designação destes corpos com suas principais características. Uma síntese destas relações é apresentada na tabela III.1, onde são listadas as ocorrências de maior importância, seja por suas dimensões e/ou por sua associação litológica.

TABELA III.1 - Principais corpos ultramáficos analisados e seus litotipos característicos

<i>Região</i>	<i>Corpos Descritos</i>	<i>Principais litologias</i>
DOMÍNIO III (Ribeiro et al. 1990)	Fazenda da Roseta	Rochas websteríticas e serpentinitos (tipos predominantes), espinélio harzburgitos (blocos isolados), hornblenditos (no contato com encaixantes metassedimentares)
	Liberdade (Grupo Andrelândia)	Serpentinitos (litologia predominante); espinélio hornblenditos (blocos isolados)
	Serra da Garça	ortopiroxenitos (núcleos relictos); talco/clorita-antofilita fels (litotipo predominante); clorita xistos e talco fels (subordinados)
Arantina-Andrelândia (Grupo Andrelândia)	AR-1	Olivina-clorita/anfibólio fels (com megacristais prismáticos longos de olivina)
	AR-2 e AR-3	Clorita-anfibólio fels (com olivina e ortopiroxênio relictos)
	AR-5	Olivina-talco-antofilita fels
	AR-6	Olivina-clorita-antofilita fels
DOMÍNIO II (Ribeiro et al. 1990)		
São Vicente de Minas (Região de contato Grupo Andrelândia-embasamento)	Rio Algodão	Clorita-tremolita/actinolita fels
	Fazenda Rui Barbosa	Espinélio-olivina ortopiroxenito (porção central); clorita-tremolita/actinolita fels e clorita-antofilita fels (bordas do corpo)
Carrancas (Região de contato Grupo Andrelândia-embasamento)	Fazenda Serra do Moleque	Serpentinitos (tipo litológico predominante); hornblenditos; clorita xistos
	Fazenda Rui Barbosa	Serpentinitos (tipo litológico predominante, com porções duniticas preservadas); clorita xistos (em zonas lineares estreitas e bem definidas)
	Fazenda do Engenho	Talco xistos (litologia predominante); clorita xistos e serpentinitos (blocos dispersos)

CAPÍTULO IV

ESTUDO PETROGRÁFICO

UNIDADES INSERIDAS NO DOMÍNIO III

REGIÃO DE LIBERDADE-ANDRELÂNDIA

Fazenda da Roseta

Rochas Websteríticas

O corpo ultramáfico da Fazenda da Roseta é constituído, predominantemente, por rochas de composição websterítica (predomínio de orto e clinopiroxênios) intercaladas com porções onde piroxênios, olivina e anfibólio cálcico ocorrem em diversas combinações (tabela IV.1). A existência de bandamentos descontínuos, definidos pela presença de anfibólios, ao longo de planos preferenciais, e a repetição deste padrão de distribuição, em escala milimétrica a centimétrica é observada ao longo de diversos afloramentos. Tais rochas, com diferentes associações modais apresentam semelhanças composicionais químicas e fornecem, em todos os casos, composições normativas websteríticas (Capítulo VI)

As variações texturais são melhor observadas microscopicamente. Nas amostras menos deformadas (prancha 1b,1c), os contatos entre os grãos de piroxênios são irregulares e podem apresentar bandas de deformação e alguma recristalização de borda. Nota-se também, nestas rochas menos deformadas, predominância de anfibólio e ortopiroxênio, com ausência de clinopiroxênio e espinélio, sendo a ocorrência de olivina também muito restrita. Ocasionalmente, piroxênios exibem hábito acicular (prancha 1a).

Amostras mais deformadas exibem relações texturais diversas. Nestas anfibólios ocorrem como cristais granoblásticos, poligonizados, compondo uma matriz que envolve piroxênios e olivina. A disposição deste mosaico pode ser aleatória ou paralela a direção de alongamento de piroxênios e olivina, como ilustrado nas pranchas 1d, 1e, 2a, 2c. Anfibólios também ocorrem

como inclusões em piroxênios e olivina. Exemplos deste tipo de ocorrência são observados nas pranchas 2e, 2f, 2g, 2h, 3a e 3b.

TABELA IV.1

Características da composição modal de rocha websteríticas da Fazenda da Roseta, Liberdade

Mineral	Granulometria	Porcentagem	Características Ópticas
Anfibólio	Média	20 a 60%	Pleocroísmo verde claro-verde amarelado, sinal óptico +, extinção entre 15 e 20°, comumente geminado
Ortopiroxênio	Grossa a muito grossa	≈ 40%	Incolor, com pleocroísmo roséio intenso, 2V entre 70 e 90°, sinal óptico +
Clinopiroxênio	Grossa a muito grossa	até 40%	Incolor, não pleocróico, sinal óptico +, extinção entre 40 e 50°, 2V ≈ a 60°
Olivina	Grossa a muito grossa	até 15%	Incolores, não pleocróicos. 2V entre 80 e 90°. Sinal óptico +
Espinélio	Fina	traços a 8%	Verde garrafa
Minerais Opacos	Fina	traços	
Serpentina	Fina	traços	
Clorita	Fina	traços	Incolor, não pleocróica, sinal óptico -, com cor de interferência azul esverdeada

Algumas considerações devem ser feitas à respeito destes anfibólios, a fim de melhor estabelecer as relações existentes entre estes e os demais minerais:

- Não existe diferenças nas características ópticas (e químicas, capítulo V) entre anfibólios inclusos e da matriz;
- Estes podem ser ou não idiomórficos. Na maior parte das vezes os prismas são bem definidos. Entretanto, também são observados cristais de contornos irregulares, inclusos em ortopiroxênios e associados a espinélios (prancha 3b).
- Existe uma relevante diferença de granulometria entre anfibólios inclusos e presentes na matriz, predominando, nos primeiros, cristais de granulometria fina;

Algumas características das relações entre clinopiroxênio e ortopiroxênio podem ser examinadas nas pranchas 3c, 3d e 3e.

Relações de inclusão semelhantes às observadas para orto e clinopiroxênio ocorrem entre olivina e ortopiroxênio, onde o primeiro apresenta-se incluso no segundo, em continuidade óptica

Prancha 1 - Espécimes da Fazenda da Roseta, Liberdade. *a*: Hábito acicular em ortopiroxênio de rocha websterítica (SO11C). *b* e *c*: Variação textural de rocha websterítica pouco deformada. Em *b*, ortopiroxênios com contatos irregulares em contato com anfibólio; em *c*, ortopiroxênio e olivina adquirem hábito alongado em consequência de processos de deformação (FR-1B e FR-1C). *d*: - Textura característica de rocha websterítica com componentes não orientados. Nesta amostra, uma matriz poligonizada de anfibólio circunda cristais de ortopiroxênio. Olivina e clinopiroxênio são fases ausentes nestas rochas (SO11C). *e*: Detalhe ilustrando disposição de cristais prismáticos de anfibólio com orientação paralela ao contorno de ortopiroxênio em rocha websterítica não deformado (SO11C)

Prancha 2 - Rochas websteríticas/ Fazenda da Roseta, Liberdade: *a* (nicóis // *s*) e *b* (nicóis *xs*): Rocha com grau elevado de recrystalização. Em meio a matriz poligonal, destacam-se faixas constituídas por anfíbólios prismáticos longos orientados (FR-11O2). *c* (nicóis // *s*) e *d* (nicóis *xs*): Agregado de anfíbólio com crescimento orientado em borda de opx. Cristais de espinélio destacam-se, sob nicóis // *s*. e *f*: Opx e anfíbólio em rocha não deformada. Em *e*, anfíbólios incluídos em opx, com contornos irregulares. Em *f* observa-se orientação de anfíbólios incluídos em discordância com matriz poligonizada (FR-11C). *g*: Cristal de opx com inclusão de anfíbólio com textura indicativa de substituição do piroxênio por anfíbólio (FR-11C3). *h*: Cristal zonado de opx em contato com anfíbólios. O processo de formação de anfíbólio é restrito às bordas e zonas de fratura nas porções de maior birrefringência do cristal de opx (FR-11P2).

com cristal externo (pranchas 3d e 3e). Comumente, observam-se lamelas delgadas de clinopiroxênio em ortopiroxênio.

A distribuição de espinélio nestas rochas é bastante heterogênea. Ausente ou como traços na maioria das vezes, pode chegar a constituir até 8% da moda em algumas seções delgadas. Quando presente, ocorre em concentrações, sob as seguintes formas:

- Associado a anfibólio da matriz, com hábito vermicular ou em gotas, atingindo a granulometria máxima de 1 milímetro. Exemplos típicos estão ilustrados nas pranchas 4a, 4b e 4e. É bastante comum a ocorrência de olivina associada a estes anfibólios, sugerindo uma relação íntima destes minerais com a gênese do espinélio. Nota-se, também, que nos cortes onde espinélio é observado, há ausência de clinopiroxênio. A importância da associação entre anfibólio e espinélio fica bem ilustrada na prancha 4a, onde este aparece ao redor de piroxênios, sobre a matriz de anfibólios, não ocorrendo como inclusões.
- Eventualmente, pode ocorrer incluso em ortopiroxênio e olivina, mas no primeiro caso, em associação com anfibólio (prancha 3b).
- Embora pouco freqüente, também observou-se espinélio simplectítico em borda de ortopiroxênio (prancha 4d)

Minerais opacos ocorrem como traços, de granulometria fina, em planos de clivagem de piroxênios e anfibólio, por vezes alinhados segundo as direções preferenciais de deformação da rocha.

Cloritas aparecem associadas a anfibólios ou ao redor de espinélio, como ilustrado na prancha 4c.

Espinélio Harzburgitos

Como visto no capítulo III, o modo de ocorrência de espinélio harzburgitos, sob a forma de blocos isolados, de pequenas dimensões, não permitem estabelecer as relações existentes entre tais rochas e o corpo ultramáfico da Fazenda da Roseta, constituído, predominantemente, por rochas websteríticas e serpentinitos de exposição maciça.

Espinélio harzburgitos são constituídos, essencialmente, por ortopiroxênio, olivina e espinélio, tendo clorita, serpentina, anfibólio¹, carbonato e minerais opacos como traços, cujas

Prancha 3 - Espécimes websteríticos da Fazenda da Roseta, Liberdade. *a*: Detalhe de inclusão de anfibólio em clinopiroxênio (FR-11P). *b*: Espinélio e anfibólios xenomórficos inclusos em ortopiroxênio (FR-11GB2). *c*: Detalhe de opx zonado em contato com cpx parcialmente substituído por anfibólio (FR-11B1). *d*: Na porção superior, à direita, cristal de olivina (amarelo) com fraturas orientadas, envolvido por opx (cinza) contendo fragmentos de olivina em continuidade óptica com cristal externo. Nota-se uma tendência de paralelização dos eixos maiores de anfibólio (FR-11G). *e*: Cristal de opx (negro) incluído em cpx (cinza), com continuidade óptica com cristal externo. Todo o conjunto exibe forte orientação de seus componentes (FR-11G2)

Prancha 4 - Rochas websteríticas da Fazenda da Roseta, Liberdade. *a e b*: Texturas características de espinélio. Em *a* estes ocorrem em contato com anfibólio e ortopiroxênio. Na porção esquerda da foto, nota-se um cristal deformado de opx. Em *b* espinélios de granulometria fina com a mesma paragénese observada em *a* contrastando com espinélio de maior granulometria, sobre olivina. *c*: Detalhe de opx com inclusões de espinélios bordejados por clorita em rocha websterítica (FR-5Aa). *d*: Detalhe de opx em contato com anfibólio polygonizado. Neste exemplo, espinélio exibe textura simplectítica, irradiando a partir do opx em direção ao anfibólio. Raramente observa-se esta textura bem definida nas rochas websteríticas. *e*: Cristal de olivina bordejado por espinélio e anfibólio. No topo, cristal de opx. Nota-se, novamente, maior granulometria do espinélio associado à olivina.

características são apresentadas na tabela IV.2.

Olivina e ortopiroxênio constituem cristais granulares, cujos contatos variam das seguintes formas:

- Contato direto entre ortopiroxênio e olivina, geralmente sinuosos (prancha 5a);
- Contato direto, mas com recristalização de borda em ambos os minerais (prancha 5b);
- Ocorrência de espinélio na zona de contato, sendo este o modo de ocorrência predominante deste mineral (prancha 5c).

Ortopiroxênios apresentam-se fortemente zoneados, com pleocroísmo aumentado em direção às bordas (prancha 5c). Tal zoneamento deixa de ser perceptível em cristais recristalizados e/ou deformados. Neste último caso, ortopiroxênios desenvolvem bandas de deformação, por vezes "kink bands" (pranchas 5d e 5e).

Contrastando com os tipos websteríticos, relações de inclusão entre olivina e ortopiroxênio são raras nestas rochas e limitam-se a presença de ortopiroxênio em olivina como ilustrado na prancha 5f.

Espinélio, exibe uma grande variação de relações texturais, como especificado a seguir:

- Espinélio com textura francamente simplectítica, de granulometria muito fina, ocorrendo na região de contato entre olivina e ortopiroxênio. Neste caso, nota-se, muitas vezes, irradiação deste mineral, a partir do ortopiroxênio, em direção à olivina, como ilustrado na prancha 6a.
- Espinélio de granulometria grossa, xenomórficos a hipidiomórficos, também localizado no contato entre olivina e ortopiroxênio (pranchas 5f, 6b, 7b);
- Cristais polygonizados juntamente com ortopiroxênio e olivina, na região de contato entre estes minerais (prancha 7a);
- Espinélio incluso em ortopiroxênio, sob a forma de cristais bem formados ou vermiculares (prancha 6b).
- Espinélio incluso em olivina (prancha 7b), sendo este modo de ocorrência mais freqüente que o anterior (espinélio em ortopiroxênio).

Estas diferentes relações texturais são, comumente, observados em uma mesma seção delgada, como exemplificado nas prancha 8.

Prancha 5 - Espinélio harzburgitos/Fazenda da Roseta, Liberdade. *a*: Relações de contato entre opx (cinza claro), olivina (alta δ) e espinélio (negro). Este último também é visto como inclusão em opx (à esquerda), sob a forma de cristal bem formado ou com textura simplectítica. Clorita é vista ao redor de espinélio e como cristais delgados na direção da clivagem de opx. Concentração de talco no contato entre olivinas (SO-11D). *b*: Recristalização de borda na região de contato entre opx e olivina em espinélio harzburgito. Notar crescimento orientado de clorita sobre opx (SO-11D). *c*: Cristais zonados de opx bordejados por espinélio de granulometria diversa (SO-11D). *d*: Bandas de deformação em opx. (SO-11E). *e*: Kink band em opx contendo cristais de clorita orientados na direção de seu maior eixo (SO-11F#). *f*: Detalhe de ortopiroxênio incluído em olivina (SO-11E).

A

0.7 mm

B

2mm

Prancha 6 - Espinélio Harzburgitos/Fazenda da Roseta, Liberdade. *a*: Textura simplectítica de espinélio na região de contato entre olivina e opx. A abertura do leque define uma irradiação a partir do opx em direção à olivina (SO-11D). *b*: Exemplo de cristal de espinélio em zona de contato entre olivina e opx, este último com lamelas delgadas de espinélio paralelas a direção dos planos de clivagem (SO-11D).

A

0.5 mm

B

2mm

Prancha 7: Espinélio Harzburgitos/ Fazenda da Roseta, Liberdade. *a*: Cristais de espinélio polygonizados em conjunto com borda de opx. *b*: Cristais de espinélio no contato entre olivina e opx e inclusos nestes minerais. Notar polygonização dos cristais de menor granulometria inclusos no opx (SO-11E)

Prancha 8 - Espinélio Harzburgito, Fazenda da Roseta, Liberdade. *a* (nicóis //s) e *bf*: (nicóis X)::Espinélio vermicular incluído em opx (cristal cinza, à direita) e em olivina (rosa-laranja, à esquerda), com polygonização mais acentuada neste último caso. O conjunto exibe orientação sutil de seus componentes, dada pelos polígonos de opx que envolvem olivina, à esquerda; pela própria olivina, estirada e fragmentada, preservando sua continuidade óptica e, também, pelos contornos do agregado polygonizado de espinélio na porção central superior da foto. Amostra SO11F#

TABELA IV.2

Características da composição modal de espinélio harzburgitos da Fazenda da Roseta, Liberdade

Mineral	Granulometria	Porcentagem	Características Ópticas
Ortopiroxênio	Grossa	30 a 55%	Cristais zoneados, com δ e pleocroísmo crescente em direção às bordas. Sinal óptico + nos núcleos e - nas bordas. 2V próximo a 90° . Nos cristais deformados e/ou recristalizados, não é mais possível observar tal zoneamento.
Olivina	Grossa a muito grossa	25 a 60%	Incolores, não pleocróicos. 2V entre 80° e 90° . Sinal óptico +
Espinélio	Fina a grossa	6 a 15%	Cristais verde garrafa, de tons claros a escuros
Clorita	Fina a grossa	Traços	Incolor, não pleocróica, sinal óptico -, com cor de interferência azul esverdeada. Sinal óptico (-)
Serpentina	Fina	Traços	Amarelada sob nicóis //s.
Minerais Opacos	Fina	Traços	
Anfibólio*	Fina a média	$\approx 1\%$	Incolor, pleocorismo verde claro, ângulo de extinção entre 15° e 20° e 2V em torno de 60° , sinal óptico +
Carbonato	Fina	Traços	

A ocorrência de anfibólio, restrita a uma das amostras, dá-se, principalmente, sob a forma de mosaicos poligonizados, em associação com olivina e ortopiroxênio (pranchas 9a e 9b) ou como inclusões nestes minerais, caso este menos freqüente.

Clorita é observada nos espinélio harzburgitos sobrecrecendo ortopiroxênio ou inclusa em olivina, sempre em contato com espinélio, bordejando-o na maioria das vezes. As pranchas 9c, 9d, 9e e 9f ilustram esta situação.

Carbonato ocorre sob a forma de "traços" em algumas seções, associado a anfibólio, enquanto serpentina é restrita às zonas de fratura de olivina.

Minerais opacos, de granulometria muito fina, ocorrem inclusos em ortopiroxênio; associados à espinélio, com o qual aparece recristalizado (prancha 10), ou como material de granulomeria finíssima associado à serpentina.

Prancha 9 - Espinélio Harzburgitos/Fazenda da Roseta, Liberdade *a:* Ocorrência de anfibólio em espinélio harzburgito, sob a forma de cristais poligonais, em contato com opx e olivina. Em negro, cristais de espinélio. Amostra SO-11F#. *b:* Agregado poligonizado de anfibólio com fabrica orientada em espinélio harzburgito. Notar que anfibólios inclusos restringem-se a borda de opx. Amostra SO-11F#. *c:* Espinélio simplectítico entre bandas de deformação de cristal de opx. Na porção central, nota-se a formação de cristais de clorita. Amostra SO-11E. *d:* Cristal de espinélio bordejado por clorita, em contato com opx e olivina. Amostra SO-11E. *e:* Crescimento homoaxial de clorita em opx. Em negro, cristal de espinélio. Amostra SO-11E. *f:* Detalhe ilustrando formação de clorita a partir de opx. Amostra SO-11D.

B

0,5mm

Prancha 10 *a* (nicóis //s) e *b* (nicóis X): Diversidade de características texturais de espinélio em uma mesma seção de espinélio harzburgito: cristais de granulometria grossa associados a opacos, com poligonização evidente e em contato com olivina; cristais de granulometria fina em borda de opx, ambos também poligonizados. Fazenda da Roseta, Liberdade. Amostra FR-11E.

Serpentinitos

As principais características da composição modal destes serpentinitos são apresentadas na tabela IV.3.

Serpentina ocorre com textura do tipo "mesh", constituindo uma matriz na qual destacam-se relictos de olivina e clinopiroxênio e anfibólio (prancha 11a). Estes últimos contornos embainhados e podem apresentar inclusões de olivina, serpentina e carbonato (pranchas 11b e 11d).

Relictos de clinopiroxênios são menos frequentes que olivinas e anfibólios, estando, normalmente, envolvidos por uma auréola de carbonato (pranchas 11c e 11d).

Minerais opacos variam de xenomórficos a idiomórficos de secção hexagonal. Sua distribuição é heterogênea, com sua porcentagem aumentando com a elevação do grau de alteração da rocha. Clorita pode ocorrer, ocasionalmente, associados a minerais opacos.

Hornblenditos

A ocorrência de rochas hornblendíticas, constituídas, essencialmente por anfibólios (mais de 95 % da moda) é pontual, restrita à borda sul do corpo ultramáfico na interface deste com os metassedimentos encaixantes. Anfibólios exibem contatos poligonizados, granulometria média (prancha 12) e são opticamente negativos, com ângulo de extinção em torno de 60, zoneados e exibindo forte pleocroísmo, verde oliva-verde claro, no núcleo, e verde-castanho nas bordas.

Apatita, titanita rômica e zircão de hábito ovóide, ocorrem como minerais acessórios, de granulometria fina. Quando em contato com anfibólio, apatita apresenta-se poligonizada. Este mineral também é observado como inclusão prismática em hornblenda, sendo esta, contudo, uma forma de ocorrência mais rara. Em alguns casos, apatita chega a compor 2% da moda. Titanita e zircão, por sua vez, ocorrem, exclusivamente, como inclusões.

Prancha 11 - Espécimes da Fazenda da Roseta, Liberdade. *a*: Detalhe de *cordas* de serpentina ao redor de olivinas relictas, compondo textura *mesh* característica em serpentinito. Amostra FR-3A. *b*: Cristais de anfibólio, contendo inclusões de olivina com diferentes graus de serpentinização. Amostra FR-3A. *c*: Cpx relictos com inclusão de olivina em serpentinito. Carbonato é observado como material de granulometria fina em seus planos de clivagem e com maior granulometria em suas bordas. Amostra FR-3A. *d*: Textura *mesh* característica. À direita, apresentando cor de interferência elevada, cristal de anfibólio com inclusão de serpentina. No centro, cristal relictos de cpx (cinza). Carbonato aparece em contato com anfibólio e cpx, em tons esbranquiçados. Amostra FR-3A.

TABELA IV.3

Características da composição modal de Serpentinitos da Fazenda da Roseta, Liberdade

Mineral	Granulometria	Porcentagem	Características Ópticas
Serpentina	Fina	75 %	
Anfibólio	Fina a média	20 %	Incolor; não pleocróico; sinal óptico +; extinção $\approx 12^\circ$.
Olivina	Fina	5%	Incolor; não pleocróica
Clinopiroxênio	Fina a média	Traços	Incolor; não pleocróico
Minerais Opacos	Fina	Traços	
Carbonato	Fina	Traços	
Clorita	Fina	Traços	Sinal óptico -, cor de interferência marrom anômalo

Minerais opacos, também poligonizados, ocorrem em contato com anfibólios. Muitas vezes, entretanto, constituem aglomerados de granulometria muito fina que bordejam anfibólios ou ocorrem como inclusões nos mesmos.

Em função do modo de ocorrência desta rocha e de suas características químicas, anômalas (Almeida, 1992) indicativas de contaminação relevante por parte das rochas encaixantes, esta não será detalhada neste trabalho.

Morro do Corisco

Serpentinitos

Serpentinitos predominam como tipo litológico no corpo ultramáfico do Morro do Corisco. As características macroscópicas destes serpentinitos (aspecto poroso e ausência de hábito fibroso), microscópicas (textura "mesh") e análises feitas através de difratogramas de raios-X, indicam ser lizardita a serpentina predominante (JCPDS, 1980; Whitaker & Zussman, 1956; Wicks & O'Haley, 1988).

Dada as dimensões reduzidas dos minerais relictos contidos nestes serpentinitos, suas características ópticas, ilustradas na tabela IV.4, são de difícil definição.

Uma segunda geração de serpentina é observada nestas rochas, preenchendo fraturas

Prancha 12: *a*: Textura polygonizada em hornblendito exibindo cristais de apatita e minerais opacos como inclusões e em contato triplice com anfibólio. Fazenda da roseta, Liberdade. Amostra SO9. *b*: Textura "mesh" em serpentinito. A diferença no padrão textural da serpentina na porção central da foto sugere processo de pseudomorfose de cristal prismático. Em tons mais claros, cristais prismáticos de clorita, em contato com minerais opacos. Morro do Corisco, Liberdade. Amostra MCN1BA. *c* (nicóis //s) e *d* (nicóis xs): Detalhe de espinélio hornblendito em seção onde högbomita e cpx são fases ausentes. Espinélio aparece incluso ou nos contatos entre anfibólios, por vezes associados à minerais opacos. A textura granoblástica da rocha fica bem caracterizada em *d*, sob nicós cruzados. Morro do Corisco, Liberdade. Amostra SO12N2B.

milimétricas e exibindo hábito fibroso (crisotila?).

A substituição pseudomórfica de piroxênios (bastites) torna possível reconhecer o hábito prismático e a granulometria de antigos piroxênios (prancha 11b).

A porcentagem de minerais opacos é, como visto na tabela IV.4, bastante variável, sendo, em grande parte, responsável pela variação de cor destas rochas. Estes formam aglomerados milimétricos, ora alinhados, ora recobrando pseudomorficamente cristais de piroxênio, ou concentrados ao redor de olivina. A ocorrência de espinélio está sempre associada a minerais opacos e clorita. Esta é de caráter local, não sendo homogênea em uma mesma amostra.

Carbonato com talco associado substituem piroxênios a partir de sua borda.

Espinélio Hornblendito

Da mesma forma que os espinélio harzburgitos da Fazenda da Roseta, estas rochas exibem características texturais e modais (tabela IV.5) peculiares, ocorrendo como blocos isolados de relação incerta com as rochas serpentínicas que compõem o corpo ultramáfico Morro do Corisco.

Anfibólio exhibe hábito alongado, com contornos sinuosos ou retilíneos (pranchas 12c,d). Em algumas das seções analisadas, parece existir uma orientação sutil de seus eixos maiores. Não raro, exibem inclusões de clinopiroxênio em continuidade óptica com clinopiroxênio externo.

Nota-se, nestas rochas, que o grau de alteração dos clinopiroxênios contrasta com a limpidez dos anfibólios. Alguns clinopiroxênio encontram-se deformados, por vezes exibindo "kink-bands".

Nesta rocha, foi observada a ocorrência de högbomita $[(\text{Mg,Fe})(\text{TiAl}_2)\text{O}_{3-4}]$ associada a espinélio. Este mineral é descrito na literatura como um óxido exibindo composições intermediárias entre espinélio, rutilo e corindon, tendo parâmetro *C* variável e parâmetro *A* constante (Petersen et al., 1989; MaccKie, 1963). No espécime aqui estudado, högbomita ocorre, na maior parte das vezes, associado a espinélio, tendo ambos contornos irregulares, presentes como inclusões em clinopiroxênio e anfibólio ou no contato entre estes minerais, comumente associados a fases opacas. A predominância de um sobre o outro varia em diferentes cortes de uma mesma amostra. Algumas características texturais distintas são, contudo, observadas para estes minerais:

TABELA IV.4

Características da composição modal de Serpentinóis do Morro do Corisco, Liberdade

Mineral	Granulometria	Porcentagem	Características Ópticas
Serpentina	Fina	90 a 95%	Textura do tipo "mesh"
Olivina	Fina a média	0 a 6%	Incolor, não pleocróica, sinal óptico +.
Piroxênio	Fina a grossa*	Traços	Incolor, pleocroísmo rosa muito sutil, sinal óptico +
Espinélio	Fina	Traços**	Verde acastanhado
Opacos	Fina	3 a 10%	
Clorita	Fina a média	Traços	Incolor, não pleocróica
Anfibólio	Média a grossa	0 a 3%	Incolor, suave pleocroísmo castanho, sinal óptico +, ângulo de extinção $\approx 15^\circ$
Talco	Fina	Traços**	
Carbonato	Fina	Traços**	

*Cristais reconstituídos e bastites

**Observado apenas em algumas seções

TABELA IV.5

Características da composição modal de Espinélio Hornblendito do Morro do Corisco, Liberdade

Mineral	Granulometria	Porcentagem	Características Ópticas
Anfibólio	Grossa	60 a 80 %	Incolor, pleocroísmo rosa-verde, sinal óptico +, ângulo de extinção entre 15° e 20°
Espinélio + Högbomita	Fina a média	20-25 %	Espinélio: Verde garrafa, por vezes intercrescido com högbomita. Högbomita: pleocroísmo castanho claro/escuro, extinção reta, clivagem perfeita em 1 direção, uniaxial (+)
Clinopiroxênio	Grossa	0 a 20 %	Incolor, sinal óptico -, ângulo de extinção entre 15° e 29°
Clorita	Fina	Traços	Incolor, não pleocróica.
Minerais Opacos	Fina	Traços	

- Högbomita comumente exibe hábito poiquiloblástico com piroxênios e anfibólios inclusos exibindo continuidade óptica entre si e com cristais externos. Espinélio poiquiloblástico não é observado.
- A ocorrência de högbomita associada a espinélio parece estar condicionada à presença de clinopiroxênio (pranchas 13a, b).
- Minerais opacos ocorrem associados a espinélio, mesmo quando inclusos em högbomita (prancha 14).

Prancha 13 - Espinheiro Hornblendites, Morro do Corisco, Liberdade. *a* (nicóis //s) e *b* (nicóis xs): Nesta seção, onde hõgbomita predomina sobre espinheiro, observa-se, em azul e amarelo pálido (*b*), cristais de clinopiroxênios, um dos quais (azul) parcialmente englobado, por anfibólio e com relação inversa, englobando anfibólio (amarelo pálido, à direita). Na porção inferior, destaca-se cristal de clorita desenvolvendo-se sobre anfibólio. Espinheiro é observado nas bordas de hõgbomita, em contato com clinopiroxênios. *c* e *d* Espinheiro e hõgbomita em contato com clinopiroxênios (azul e amarelo escuros, à esquerda, sob nicóis cruzados). Neste caso, a ocorrência de espinheiro parece ser controlada pela direção principal de clivagem da hõgbomita, em íntima associação com minerais opacos.

Prancha 14: Espinélio Hornblendito/Morro do Corisco, Liberdade. Relações texturais entre hõgbomita-espinélio. Em *b*, o detalhe mostra hõgbomitas com diferentes orientações óptica em contato. Na porção inferior desta foto, onde a clivagem é nítida, constata-se o desenvolvimento de espinélio nesta direção. O mesmo não ocorre no cristal superior, cujo corte não dá-se paralelamente à clivagem principal. Amostra SO12N2B2.

Serra da Garça

Como visto anteriormente, os corpos ultramáficos da região da Serra da Garça são descritos como um conjunto de rochas de pequenas dimensões alinhadas na direção da xistosidade principal de suas encaixantes.

Com base na predominância de um ou outro mineral e nas características texturais, é possível separar as rochas ultramáficas da Serra da Garça em quatro tipos litológicos distintos:

- Ortopiroxenitos
- Clorita Xistos
- Talco-Antofilita Fels
- Talco/Clorita-Antofilita Fels

Ortopiroxenitos

Nesta categoria estão englobadas rochas que contêm, como constituintes principais, ortopiroxênio e olivina. Estas exibem cor variando de cinza claro a cinza esverdeado, com o tom de verde dado pela presença de anfibólio antofilitico. Sua granulometria é grossa, com cristais de piroxênio e anfibólio com hábito acicular (prancha 15a, f).

A composição modal (tabela IV.6), estimada a partir de seções delgadas, é de difícil determinação, devido a granulometria elevada de seus cristais. Em algumas seções delgadas, a existência de anfibólio está restrita a faixas bem definidas.

As relações texturais são bastante singulares nestas rochas. Ortopiroxênios encontram-se intensamente deformados, compondo padrões, por vezes, bastante complexos. Esta complexidade textural é ilustrada na prancha 15b,d.

Recristalização de borda em piroxênio é bastante comum, por vezes ocorrendo entre bandas de deformação de um mesmo cristal.

Clorita ocorre em planos de clivagem ou entre bandas de deformação de ortopiroxênio (prancha 15e). Também observa-se clorita isoladamente, como cristais tabulares de granulometria grossa e em concentrações, associada à talco, ambos com granulometria fina, ao redor de piroxênios relictos.

Prancha 15 - Ortopiroxenitos da Serra da Graça, Liberdade. *a:* Detalhe de opx acicular com cristais de anfibólio, clorita, talco e minerais opacos dispostos nos limites entre bandas de deformação. Amostra SG-2B. *b:* Cristal de opx com clivagem nítida. Em amarelo, bandas de deformação orientadas, paralelas ao cristal incluído de anfibólio. A clivagem do cristal original é preservada em algumas destas bandas. *c:* Cristais relictos de opx e olivina envolvidos por cloritas tabulares. Clorita também ocorre incluída em opx, sob a forma de cristais com disposição paralela. Amostra SG-2B. *d:* Cristal deformado de opx, parcialmente convertido em clorita e talco. Observar desaparecimento gradual da clivagem em direção às bordas. Serra da Graça, Liberdade. Amostra SG-2B. *e:* Detalhe de cloritas entre bandas de deformação de opx. Amostra SG-2B. *f:* Anfibólios prismáticos com bordas asbestiformes e hábito acicular. SG-2C.

TABELA IV.6

Características da composição modal de Ortopiroxenitos da Serra da Garça, Liberdade

Mineral	Granulometria	Porcentagem	Características Ópticas
Ortopiroxênio	Muito grossa	40 a 82%	Incolor, não pleocróico, sinal óptico +
Anfibólio	Muito Grossa	Traços a 30%	Incolor, pleocroísmo sutil verde alfazema, extinção reta, sinal ótico +, índice de refração inferior ao do ortopiroxênio
Olivina	Fina a média	0 a 10%	Incolor, não pleocróica, sinal óptico -
Talco	Fina a média	3 a 15%	
Clorita	Fina a média	3 a 30%	Forte pleocroísmo verde claro
Opacos	Fina	Traços a 2%	

Olivinas constituem cristais xenomórficos, em contato com ortopiroxênio estando, normalmente, bordejados por talco e clorita.

Minerais opacos, de granulometria finíssima, abundam nas zonas de fratura de olivina, podendo, também, ser encontrados inclusos nos demais minerais, principalmente em clorita, parecendo haver uma relação direta entre a porcentagem de clorita e opacos nestas rochas.

Clorita Xistos

Clorita xistos ocorrem como litologia subordinada na região da Serra da Garça, bordejando os corpos ultramáficos. Uma média de sua composição modal é apresentada na tabela IV.7.

A presença de anfibólio pode ser, muitas vezes, constatada em amostras de mão, onde estes destacam-se como cristais esbranquiçados na matriz clorítica verde. Em seção delgada, estes são observados como cristais prismáticos com disposição oblíqua à xistosidade. Entretanto, clorita é também observada em planos de clivagem de anfibólio, sugerindo, neste caso, uma origem posterior para o primeiro mineral.

Carbonato ocorre associado a minerais opacos, ambos nas bordas de anfibólio.

TABELA IV.7

Características da composição modal de Clorita Xistos da Serra da Garça, Liberdade

Mineral	Granulometria	Porcentagem	Características Ópticas
Clorita	Média	95 a 100%	Pleocroísmo rosa-verde
Anfibólio	Média	0 a 1%	Incolor, não pleocróico, extinção reta
Minerais Opacos	Fina a grossa	Traços a 4%	
Carbonato	Fina	Traços	

Talco-Antofilita Fels

Nesta classificação estão incluídas rochas constituídas, essencialmente, por talco e antofilita prismática, de hábito asbestiforme e orientação aleatória, muitas vezes acicular. Estas exibem cores variando de cinza claro a cinza claro esverdeado. A cor verde torna-se mais acentuada quanto maior a porcentagem de anfibólio.

Microscopicamente, anfibólio aparece sob a forma de cristais prismáticos com terminações fibrosas. Minerais opacos e talco ocorrem disseminados nas porções fibrosas ou em pequenas concentrações.

A variação na composição modal destas rochas é estimada na tabela IV.8.

Talco/Clorita Antofilita Fels

Talco/clorita antofilita fels diferenciam-se modalmente (tabela IV.9) dos espécimes anteriores por apresentarem porcentagens relativamente altas de talco e clorita, sem predominância expressiva de um mineral sobre o outro, e, pelo fato destes não ocorrerem disseminados, mas concentrados em bolsões.

Em geral, estas rochas encontram-se bastante alteradas, exibindo uma matriz esbranquiçada na qual destacam-se cristais asbestiformes de anfibólio.

As relações entre anfibólios e cloritas tabulares indicam um processo de substituição do primeiro pelo último.

Em algumas seções, minerais opacos, de hábito octaédrico, ocorrem inclusos em clorita.

TABELA IV.8

Características da composição modal de Talco-Antofilita Fels da Serra da Garça, Liberdade

Mineral	Granulometria	Porcentagem	Característica ópticas
Anfibólio	Grossa a muito grossa	15 a 55%	Incolor, não pleocróica, extinção reta
Material fibroso (talco + anfibólio)*	Fina	45 a 80%	
Minerais Opacos	Fina	Traços a 4%	
Talco tabular	Média	Traços	

* Aparentemente, cristalitos de anfibólio predominam largamente sobre talco no material fibroso.

TABELA IV.9

Características da composição modal de Talco/Clorita Antofilita Fels da Serra da Garça, Liberdade

Mineral	Granulometria	Porcentagem	Características Ópticas
Anfibólio	Fina a grossa	30 a 35%	Incolor, não pleocróico, extinção reta
Talco	Fina a grossa	30 a 45%	
Clorita	Grossa	25 a 30%	Incolor com pleocroísmo verde alfazema, sinal óptico -, cor de interferência anômala marrom
Opacos	Fina	Traços	Granular ou idiomórfico, com hábito cúbico

REGIÃO ENTRE ARANTINA-ANDRELÂNDIA

Como visto anteriormente, o modo de ocorrência das rochas ultramáficas próximas a cidade de Arantina é bastante semelhante ao observado para as rochas da Serra da Garça: possuem contornos ovóides e pequenas dimensões, acompanham a direção da xistosidade principal da região e são descontínuas, havendo, entre uma ocorrência e outra, afloramentos de rochas encaixantes.

Neste item, serão discutidas não apenas as ocorrências situadas nas proximidades de Arantina, como, também, aquelas localizadas entre este município e o de Andrelândia, visto apresentarem características muito semelhantes, nas quais incluem-se, além das acima

mencionadas, a ausência de estruturas planares e composições modais dadas pela associação de ortopiroxênio + olivina + clorita + anfibólio antofilítico e/ou cálcico, combinados em diversas proporções.

A variação da composição modal do primeiro corpo ultramáfico (AR-1), a partir de Arantina, é dada na tabela IV.10.

Estas rochas, aqui designadas clorita/anfibólio-olivina fels, possuem cor predominante cinza esverdeada, com megacristais idiomórficos a xenomórficos de olivina, destacando-se em matriz predominantemente clorítica, de granulometria fina a média. Em amostras macroscópicas, esta pode apresentar aspecto equigranular, devido a descontinuidade física dos cristais de olivina e pela dificuldade existente de distingui-los da matriz a olho nú. Em alguns casos, contudo, é possível distinguir megacristais contínuos, prismáticos, facilmente identificados na matriz (prancha 16).

A porcentagem de olivina varia consideravelmente em diferentes cortes de uma mesma amostra. Seu grau de idiomorfismo diminui paralelamente ao aumento da porcentagem de anfibólio. Estas podem exibir extinção ondulante e bandas de deformação, com poligonização de borda nos limites entre bandas.

São também observadas olivinas com contornos irregulares inclusos nos megacristais, com índice de refração inferior ao da olivina circundante e pleocroísmo suave, rosa-verde, que pode ser característico, segundo Deer et al. (1966), da substituição de Fe por Mn. Análises químicas realizadas para estes minerais (Capítulo VI), comprovam maior teor de Mn em olivina inclusa.

TABELA IV.10

Características da composição modal de rochas próximas a Arantina

Mineral	Granulometria	Porcentagem	Características Ópticas
Olivina	Grossa a muito grossa	15 a 40%	Incolor, suavemente pleocróica em algumas seções, sinal óptico +
Clorita	Fina a grossa	45 a 60%	Forte pleocroísmo verde, sinal óptico +
Anfibólio	Fina a média	traços a 50%	Incolor, pleocroísmo castanho, sutil, sinal óptico +, ângulo de extinção 14 a 18 °, por vezes com seções basais exibindo cor de interferência anômala, azul claro., $\delta = 0,03$
Opacos	Fina	traços	
Carbonato	Fina	traços

Prancha 16- Espécimes da região Arantina-Andrelândia. *a*: Amostra de olivina-clorita/anfibólio fels nas proximidades de Arantina. Em tons mais escuros, destacam-se cristais prismáticos de olivina, envolvidos por matriz composta de clorita +/- anfibólio. *b*: Aspecto microscópico de olivina-clorita/anfibólio fels. Na porção inferior, cristal prismático de olivina é bordejado por cristal de clorita. No centro, concentração de cloritas com disposição aleatória, envolvidas por anfibólio de granulometria fina e relictos de olivina. Arantina. Amostra AR-1E.

Minerais opacos, de granulometria muito fina, podem ocorrer como inclusões em olivina e ao longo de suas fraturas, tendo, muitas vezes, clorita associada, das quais parecem constituir produto de exsolução.

Ausência de serpentina (ou presença apenas como traços), mesmo associada à olivina, é uma característica peculiar a estas rochas.

A granulometria das cloritas que constituem a matriz é, predominantemente, fina. Cristais tabulares, de granulometria média, ocorrem agrupados ou isoladamente, sem nenhum tipo de orientação privilegiada (prancha 16b). Comumente, observa-se megacristais de clorita bordejando olivina, como ilustrado nas pranchas 17 a, b. Anfibólio prismático associa-se a matriz clorítica, sendo suas relações de difícil definição. Entretanto, observou-se, em alguns casos, clorita em planos de clivagem de anfibólio.

Ficam, assim, caracterizados dois tipos (ou duas gerações) de clorita: uma fina, associada a anfibólio e outra, de granulometria grossa. A porcentagem de anfibólio, observada nas diferentes seções, obedece a uma relação inversa com a porcentagem presente de clorita de granulação grossa.

Carbonato, de granulometria finíssima, ocorre como concentrados, apenas detectados com lentes de grande aumento.

Nas ocorrências imediatas, a nordeste (AR2 e AR6), a porcentagem de olivina é bastante inferior, enquanto anfibólio ortorrômbico passa a ter maior destaque, sendo também observados relictos de ortopiroxênio. Algumas amostras, contudo, exibem anfibólio monoclinico. A variação da composição modal para amostras dos diferentes corpos é ilustrada na tabela IV.11.

TABELA IV.11

Características da composição modal de rochas ultramáficas ao longo da Estrada Arantina-Andrelândia

Mineral	AR-2A	AR-2B	AR-3A	Ar-5	AR-6	AR-7	Granulometria
Anfibólio	36%	30%	60%	44%	74%	15%	Fina a muito grossa
Olivina	5%	6%	1%	10%	7 a 10%	25%	Relictos de até 0,5 cm
Ortopiroxênio	---	5%	---	---	----	---	
Clorita	50%	50%	32%	----	18%	60%	Fina a média
Talco	---	---	5%	36%	traços	---	Fina a média
Carbonato	8%	7%	2%	traços	traços	traços	Fina a média
Minerais Opacos	1%	2%	traços	tracós	traços	traços	Fina

Prancha 17: *a* (nicóis //s) e *b* (nicóis xs): Espécimes da região Arantina-Andrelândia. Neste exemplo, olivina prismática aparece recristalizada em sua porção direita. Esta é envolvida por cristais alongados de clorita, de mesma granulometria, a modo de "sanduíche", compondo uma textura bastante frequente. Ao redor, ocorrem cloritas com disposição aleatória e relictos de olivina. Arantina. Amostra AR-1E.

As características microscópicas assemelham-se aos espécimes equivalentes da Serra da Garça, não exibindo, contudo deformação em piroxênios e olivinas, acentuada naquelas rochas. A textura geral deste tipo de rocha é dada por prismas de anfibólio com terminações fibrosas e disposição aleatória, tendo em média 3 mm de comprimento, mas podendo atingir até 1 cm, envolvidos por cloritas de granulometria muito fina, associadas às terminações fibrosas ou inclusa em anfibólio. Em amostras contendo relictos de ortopiroxênio, anfibólio é visto sobrecrecendo este mineral, como ilustrado na prancha 18a. Talco aparece substituindo olivina, enquanto carbonato ocorre como concentrados com as mesmas características descritas para o corpo anterior. Este é observado em contato com olivina + talco ou com a associação clorita + talco que substituem anfibólio. Minerais opacos xenomórficos ocorrem nos planos de clivagem de anfibólios, inclusos em olivina e clorita ou no contato entre estes minerais.

As características texturais dos corpos 6A e 7A são semelhantes às observadas para os corpos próximos a Arantina. Anfibólios ortorrômnicos e clorita constituem uma matriz predominante onde são observados relictos de olivina e ortopiroxênio. Cristais delgados de anfibólio, agrupados como "feixes", exibem clorita em suas regiões de contato e em seus planos de clivagem. Relação inversa, com clorita tabular contendo anfibólio em seus planos de clivagem, também é observada, sugerindo a existência de intercrescimento entre anfibólio e clorita.

Nestes, também observam-se cristais relictos de ortopiroxênio substituídos por anfibólio ortorrômnico (pranchas 18b).

A

0,5mm

B

0,5mm

Prancha 18 - Espécimes da região Arantina-Andrelândia. *a*: Crescimento de anfibólio ortorrômico sobre cristal de opx. Arantina. Amostra AR-2B. Em *b*, notam-se duas direções de crescimento, oblíquas às direções principais de clivagem. Arantina. Amostra AR-6Aa.

UNIDADES INSERIDAS NO DOMÍNIO II

REGIÃO DE SÃO VICENTE DE MINAS

Espinélio-Olivina Ortopiroxenito

Espinélio olivina ortopiroxenitos são encontrados no corpo ultramáfico aflorante próximo a Fazenda Bela Vista. Suas características modais são dadas na tabela IV.12.

As relações texturais nestas rochas são monótonas quando comparadas às existentes nos metapiroxenitos da Fazenda da Roseta, em Liberdade.

Ortopiroxênio e olivina ocorrem em contato, compondo uma textura granular. Ortopiroxênio exibe textura poiquiloblástica, com inclusões de anfibólio, espinélio, olivina e, também, de ortopiroxênio (prancha 19b). Cristais inclusos de olivina apresentam limpidez contrastante com cristais exclusivos, serpentinizados ao longo de suas fraturas e aos quais associam-se maior número de opacos.

Em algumas seções, olivina encontra-se totalmente recristalizada (prancha 19a), com neocristais menores que 1mm. Ortopiroxênios, entretanto, não exibem deformação, no que contrastam com os espécimes de Liberdade.

Espinélios, de cor “verde garrafa”, são xenomórficos e ocorrem como inclusões em ortopiroxênio (muitas vezes como lamelas delgadas nos planos de clivagem) e olivina, ou em contato com ambos. Alguns cristais de espinélio exibem núcleos castanhos (maior %Cr?), sendo também encontrados cristais completamente castanhos (prancha 19c).

Anfibólios são idiomórficos, delgados e ocorrem, principalmente, inclusos em piroxênio (prancha 19b), sendo também observados como aglomerados granulares adjacentes aos ortopiroxênios.

Minerais opacos ocorrem associados a serpentina contida nas fraturas de olivina, a anfibólio, ou, mais raramente, a espinélio.

Prancha 19 - *a*: Fragmentos inclusos no opx exibem continuidade óptica com cristal poligonizado de olivina. Fazenda Bela Vista, São Vicente de Minas. Amostra SV-2. *b*: Detalhe ilustrando cristal de opx com inclusões de anfibólio e em contato com anfibólios poligonizados. Os prismas inclusos mostram forte tendência a posicionar-se de acordo com as direções principais de clivagem do piroxênio. Fazenda Bela Vista, São Vicente de Minas. Amostra SV-2. *c*: Cristais de espinélio dispostos paralelamente a direção de clivagem principal do cristal de opx. Fazenda Bela Vista, São Vicente de Minas. Amostra SV-3A. *d*: Textura característica de clorita-tremolita/actinolita fels. Anfibólios, já bastante alterados, com contatos tripliques, intercalados a porções cloríticas. Fazenda Bela Vista, São Vicente de Minas. Amostra SV-6A. *e*: Clorita-antofilita fels. Uma observação cuidadosa desta ilustração permite identificar a existência de duas direções preferenciais de orientação dos prismas de anfibólio em algumas áreas. Cristais de clorita, de granulometria fina, preenchem os espaços entre anfibólio. Fazenda Bela Vista, São Vicente de Minas. Amostra SV-5. *f*: Textura característica de espinélio-olivina ortopiroxenito da Fazenda da Areia: opx de contatos irregulares com inclusões de anfibólio, espinélio e minerais opacos. No topo, à direita, observa-se uma área constituída por anfibólios de granulometria. Carrancas. Amostra C5A(A).

TABELA IV.12

Características da composição modal de Espinélio-Olivina Ortopiroxenito da Fazenda Bela Vista, São Vicente de Minas

Mineral	Granulometria	Porcentagem	Características Ópticas
Ortopiroxênio	Média a grossa*	50 a 70%	Pleocroísmo rosa intenso, sinal óptico +
Olivina	Fina a média**	10- 35%	Incolor, não pleocróica, sinal óptico -
Anfibólio	Fina a média	10 a 15%	Incolor, não pleocróico, extinção = 15 °, sinal óptico -
Espinélio + Högbomita	Fina a média	2 a 5%	Espinélio: verde garrafa
Minerais Opacos	Fina	traços	
Serpentina	Fina	traços	

*A variação ocorre entre diferentes amostras

**A grande maioria das olivinas encontra-se recristalizadas

Clorita-Anfibólio Fels e Xistos

Estas estão presentes na borda sul do corpo da Fazenda Bela Vista e no corpo às margens do Rio Algodual. Exibem mais de 90% de anfibólios monoclinicos e em torno de 10% de clorita, tendo minerais opacos e carbonato como acessórios. Possuem textura granular e cor verde escura, com granulometria média de 2mm.

Anfibólios são prismáticos longos e podem atingir até 2 cm de comprimento. São opticamente negativos, com ângulo de extinção próximo a 20°. Nos cristais de maiores dimensões, observa-se zoneamento, com núcleos incolores e bordas com pleocroísmo verde alfazema e maior índice de refração, o que sugere um núcleo de composição tremolítica gradando para anfibólio actinolítico nas bordas (não foram realizadas análises químicas destes minerais). Nos anfibólios de menor granulometria, as características ópticas são idênticas às observadas nas bordas dos cristais maiores. Estes anfibólios associam-se à clorita, também de granulometria fina.

A textura geral destas rochas no corpo da Fazenda Bela Vista é dada pela orientação local de grupos de anfibólio, sem nenhuma coerência com grupos adjacentes, o que pode ser explicada pela formação destes minerais em zonas privilegiadas de cristais de piroxênio pré-existente, como observado nos espinélio-olivina ortopiroxenitos. Nas margens do Rio Algodual, anfibólios apresentam contatos triplíces e os cristais de clorita exibem orientação acentuada, dando a rocha

um caráter xistoso, com domínios bem definidos de ocorrência de cada um destes minerais (prancha 19d).

Minerais opacos, de granulometria muito fina, ocorrem disseminados sobre clorita e anfibólio e ao longo de seus contatos.

Clorita-Antofilita Fels

Na borda norte do corpo da Fazenda Bela Vista, traços de anfibólio monoclinico coexistem com anfibólio ortorrômbico, em textura semelhante às descritas para os espécimes contendo anfibólio cálcico (prancha 19e). Estas rochas exibem, entretanto, cor verde clara e uma maior porcentagem de clorita (em torno de 40%).

As características ópticas do anfibólio monoclinico são as mesmas observadas para os anfibólios de granulometria fina na borda sul do corpo. Anfibólios ortorrômbico são incolores, opticamente positivos e muitas vezes, exibem geminação.

Minerais opacos ocorrem nestas rochas com as mesmas características observadas no litotipo anterior.

REGIÃO DE CARRANCAS

Fazenda da Areia

Espinélio-Olivina Ortopiroxenito

A composição modal dos piroxenitos do corpo ultramáfico Fazenda da Areia, estimada a partir da análise de diversas seções delgadas, é dada na tabela IV.13.

Nestas rochas, de textura geral granular (prancha 19f), ortopiroxênio e olivina, ambos de contornos irregulares, e anfibólios idiomórficos, de hábito prismático longo, são observados em contato. A grande maioria dos cristais não apresenta registros de deformação acentuada. Piroxênios, mais comumente, exibem extinção ondulante, sem desenvolvimento de bandas lineares. Poligonização é freqüente em olivina e anfibólio e mais rara em piroxênio. O processo de

recristalização, em particular, é acentuado segundo planos bem definidos. Processos de alteração e serpentinização destas rochas prevalecem, da mesma forma, ao longo destas direções.

Comumente, olivina, de granulometria fina, ocorre inclusa em piroxênio, muitas vezes em continuidade óptica com cristais externos (pranchas 20a e 20b).

A forma característica de ocorrência de anfibólio é como aglomerados poligonizados, não orientados (prancha 19c). Estes também ocorrem como inclusões em olivina e piroxênio (pranchas 20d,e). Quando em contato com anfibólio, olivina apresenta um grau maior de serpentinização.

A textura poligonal dos anfibólios desaparece nos cristais parcialmente convertidos para talco/clorita.

Espinélio exhibe contornos ameboidais e ocorre incluso ou nos contatos entre piroxênio, olivina e anfibólio. Também são observados como lamelas delgadas, alinhadas, sobre anfibólios (pranchas 20f e 21a) e talco, envolvidos por clorita. Aparentemente, existe uma relação entre a granulometria do espinélio e do anfibólio presente, com o aumento de uma sendo acompanhado pelo aumento da outra. Textura simplectítica, com espinélio de hábito vermiforme, é observada apenas associada a anfibólios e, mesmo assim, é muito rara.

TABELA IV.13

Composição Modal de Espinélio-Olivina Ortopiroxenitos da Fazenda da Areia, Carrancas

	Porcentagem média	Granulometria*	Características Ópticas
Ortopiroxênio	70%	Média a grossa	Incolor com intenso pleocroísmo verde claro-rosa, $2V \approx 80^\circ$, sinal ótico +
Olivina	5%	Fina a grossa	Incolor, não pleocróica, $2V$ entre 80 e 90°
Anfibólio	10 a 30 %	Fina a grossa	Pleocroísmo de intensidade variável verde-verde-rosado, nulo em algumas seções, sinal óptico +, ângulo de extinção = 15° , $2V$ variável. Geminados
Espinélio	4%	Fina a média	Verde garrafa
Talco	4 a 15%	Fina	
Clorita	Traços	Fina	Pleocroísmo verde, muito sutil, sinal óptico -
Miner. Opacos	Traços	Fina	
Serpentina	Traços	Fina	

* A variação granulométrica é, comumente, observada para diferentes amostras.

Prancha 20 - Espécimes da Fazenda da Areia, Carrancas. *a, b*: Exemplos de olivinas inclusas em opx, em continuidade óptica com cristal externo. *de*. Em *a*, nota-se serpentinização de alguns fragmentos de olivina inclusa. Amostras C10B e C5A(A). *c*: Aglomerados de anfibólio em contato com opx. Estes exibem contatos triplices e granulometria variada. Amostra C5A(A). *d, e*: Detalhes de inclusões de anfibólio em opx. Em ambos os casos a direção dos prismas de anfibólio é condicionada por direções privilegiadas de clivagem do opx. Amostras C10D e C5A(A). *f*: Modo de ocorrência característico de espinélio em espinélio-olivina ortopiroxenito. À esquerda, espinélio xenomórfico inclusos em opx e, à direita, com textura lamelar sobre anfibólios. Amostra C5A(A).

Clorita é encontrada em clivagem de ortopiroxênio, em contato com anfibólios ou envolvendo minerais opacos (pranchas 21b). Estes últimos são, também, observados como inclusões em todas as demais fase minerais presentes.

Serpentina, além de presente ao longo de fraturas em olivina, também aparece em bolsões milimétricos, nas rochas em que olivina encontra-se mais serpentinizada.

Metapiroxenitos (espécimes com predomínio de fases hidratadas)

Os tipos litológicos que envolvem os piroxenitos na Fazenda da Areia exibem uma grande variedade de combinações modais, compondo rochas constituídas, essencialmente, por:

- Anfibólio + talco + clorita
- Anfibólio + talco, com traços de clorita e minerais opacos
- Anfibólio + clorita
- Anfibólio + talco + espinélio
- Anfibólio + olivina + clorita + minerais opacos
- Anfibólio + serpentina + traços de clorita e minerais opacos

Em todos os casos, anfibólios constituem cristais granoblástico poligonizados, de granulometria fina a média, com características ópticas semelhantes às observadas para os anfibólios dos piroxenitos associados. Estes não exibem nenhum tipo de orientação, mesmo nas amostras xistosas, onde clorita é responsável pela estrutura da rochas. Em algumas seções anfibólios aparecem interceptando-se transversalmente.

Clorita, com granulometria fina a média, quando presente como mineral essencial ou sob a forma de traços, é observada nos planos de clivagem de anfibólio, substituindo suas bordas ou seccionando-os. Nas amostras xistosas, clorita ocorre de três maneiras: 1. em bandas de espessura em torno de 0,1 mm, fortemente orientadas; 2. com disposição aleatória, associada aos anfibólios contidos entre estas bandas e 3. ao redor de minerais opacos, envolvendo-os como uma corona. Nota-se que, em todas as amostras, clorita é vista nos planos de clivagem dos anfibólios.

Olivina, contudo, aparece como cristais relictos em rochas constituídas, essencialmente, por clorita, com anfibólio subordinado. A continuidade óptica observada para diversos grãos

permite reconstituir cristais de granulometria grossa, muitas vezes poligonizados. Estes não mostram serpentinização relevante em seus planos de fratura.

Em algumas rochas, carbonato ocorre como traços, em concentrados sobre clorita.

Talco, de granulometria muito fina, ocorre em concentrações milimétricas; como material fino associado à matriz clorítica ou como cristais idiomórficos, com até 1 mm, interceptando clorita. Nas rochas em que este passa a ser um dos constituintes principais, talco concentra-se em "bolsões" centimétricos e que parecem constituir produtos de substituição pseudomórfica de ortopiroxênios, pois preservam um padrão textural muito semelhante àqueles observados para os piroxenitos. Nestes casos, dado sua granulometria muito fina, não é possível individualizar os cristais de talco.

A ocorrência de espinélio, por sua vez, é restrita às amostras em que talco é o principal constituinte (80 a 90% da moda). Este aparece com granulometria fina, de hábito ameboidal ou como concentrados tendo em torno de 0,5 mm de diâmetro.

Nas rochas em que serpentina aparece como mineral essencial, esta concentra-se em "bolsões", parecendo substituir, pseudomórficamente, antigos cristais de olivina.

Minerais opacos aparecem como traços em todas as amostras, sob a forma de cristais xenomórficos ou de hábito cúbico, associados à clorita; incluso anfibólio ou olivina. Nas rochas xistosas podem exibir-se como aglomerados paralelamente à xistosidade ou obliquamente a esta. Nos espécimes ricos em talco, é possível observar minerais opacos alinhados segundo antigos planos de clivagem de ortopiroxênios.

Fazenda Serra do Moleque

Como dito anteriormente, o corpo ultramáfico da Fazenda Serra do Moleque e em seus satélites, são formados por rochas nas quais predominam as seguintes associações de minerais:

- serpentina + anfibólio
- clorita + anfibólio
- serpentina + talco
- rochas com predominância de talco

Minerais opacos e carbonato ocorrem como traços, em bordas de anfibólio ou associadas à clorita, principalmente nas amostras mais alteradas.

Prancha 21 - *a*: Detalhe ilustrando aspecto lamelar de espinélio sobre matriz poligonizada de anfibóio. Fazenda da Areia, Carrancas. Amostra C10D. *b*: Minerais opacos, bordejados por clorita, inclusos em opx. Cristais de espinélio podem ser observados na porção superior da foto, no centro e canto esquerdo, e em sua porção inferior. À esquerda, notam-se prismas de anfibólios orientados segundo a clivagem do opx. *c*: Cristais de espinélio inclusos em opx, sem clorita associada. *d, e, f*: Nesta sequência de fotos, obtidas a partir de uma mesma seção, observa-se, em *d*, anfibólios com contatos triplíces, compondo uma textura semelhante a observada em adcumulados. Serpentina é vista ao redor de alguns grãos, em proporções bastante restritas; em *e*, nota-se um aumento na porcentagem de serpentina, concentrada ao redor de anfibólios. A foto *f* ilustra o contraste entre zonas modalmente distintas, com uma área essencialmente serpentinítica. Amostra C33A. Serra do Moleque, Carrancas.

As características ópticas dos anfibólios e cloritas presentes nestas rochas estão resumidas na tabela IV.14.

TABELA IV.14

Características ópticas de clorita e anfibólio de rochas ultramáficas da Serra do Moleque, Carrancas

Mineral	Características Ópticas
Anfibólio	Incolor, pleocroísmo verde-verde escuro, extinção entre 15 e 20°, sinal óptico -
Clorita	Incolor, pleocroísmo verde muito sutil, sinal óptico -

Nos espécimes compostos por anfibólio + serpentina, estes minerais distribuem-se em áreas que parecem refletir domínios composicionais da rocha pretérita. A morfologia destes domínios pode ser irregular, como demonstrado nas pranchas 21d e 21f, ou em bandas de espessura milimétrica. Nos espécimes verdadeiramente serpentiniticos, que apresentam propriedades de quebra semelhante à ardósia, constata-se que tal propriedade ocorre dado a existência de faixas delgadíssimas, onde os prismas de serpentina aparecem orientados, definindo uma xistosidade discreta, crenulada, por sua vez (prancha 22c).

Como dito anteriormente, alguns serpentinitos contêm talco associado, em porcentagens que variam de 15 a 23% da moda. Apresentam granulação fina e cor variando de verde escuro a verde azulado, este último tom predominando nas amostras onde talco é mais relevante.

Fels compostos, essencialmente, por anfibólio + clorita exibem textura semelhante àquelas compostas por anfibólios + serpentina, como pode ser observado na prancha 22a. Nos tipos xistosos, clorita ocorre fortemente orientada, em níveis bem definidos (prancha 22b).

Rochas compostas, quase que exclusivamente, por talco (em geral mais de 95%), são encontradas, principalmente, nos corpos satélites na região norte do corpo, próximo a Fazenda Santa Inês. São untuosas ao tato, podendo exibir coloração verde claro, verde claro acizentado ou cinza grafite. Em sua grande maioria, constituem fels de granulometria fina e, mais raramente, tipos xistosos, de granulometria grossa a muito grossa. Algumas amostras exibem anfibólios relictos, por vezes sobrecrescidos por minerais opacos de granulometria fina. Minerais opacos também ocorrem como cristais idiomórficos ou alinhados. Clorita, de granulometria fina, ocorre disseminada nestas rochas.

Fazenda Rui Barbosa

Serpentinitos

Olivina é observadas em algumas amostras, compondo até 40% da moda. Esta apresenta-se incolor, não pleocróica e opticamente positiva

O crescimento de serpentina prismática sobre os cristais de olivina parece, em muitos casos, seguir duas direções principais, ortogonais entre si (prancha 23e,f). Este direcionamento é preservado em algumas rochas totalmente convertidas em serpentina (prancha 23e). As relações texturais destas serpentinas indicam crescimento controlado pelas faces de olivina, pois, segundo Evans (1977), junções perpendiculares de placas de antigorita ocorrem, por exemplo, quando um cristal de serpentina ocorrem em contato com grãos de olivina.

Prancha 22 - Espécimes da Fazenda Serra do Moleque, Carrancas *a*: Textura de clorita-anfibólio fels. Cloritas tabulares são observadas envolvendo cristais de anfibólio. Amostra C31. *b*: Nesta amostra, a formação de clorita dá-se ao longo de planos bem definidos, isolando concentrações, por vezes sigmoidais, de anfibólios. Clorita-anfibólio xistos. Amostra C30. *c*: Textura de serpentinito maciço com planos de quebra bem definidos, devido a uma orientação sutil de serpentina em faixas delgadas. Destacam-se, na matriz serpentinitica, alguns cristais de anfibólio relicto. Amostra CZ-01. *d*: Associação entre serpentina e carbonato. Nesta rocha, serpentina constitui prismas longos, orientados sob duas direções preferenciais. Amostra C33B.

Prancha 23 - Espécimes da Fazenda Rui Barbosa, Carrancas. *a, b*: Olivinas preservadas ao metamorfismo em serpentinitos. O detalhe, em *a*, mostra o crescimento de serpentina tabular segundo direções privilegiadas. Em *b*, cristais de serpentina, de maior granulometria, exibem disposição em roseta, contrastando com cristais adjacentes, de granulometria fina. Amostra CA-7A. *c*: Amostra de serpentinito onde não são mais observados cristais relictos. Nota-se aqui, uma forte tendência da serpentina de orientar-se segundo duas direções privilegiadas, de forma semelhante ao observado na prancha 17d. Amostra CA-8A.

DISCUSSÃO

UNIDADES CONTIDAS NO DOMÍNIO III

O conjunto de dados petrográficos das rochas ultramáficas inseridas no Domínio III revela uma história complexa de deformação e metamorfismo. As diferentes etapas desta história encontram-se melhor preservadas no conjunto de rochas aqui identificados como "*rochas websteríticas*".

Entre os demais litotipos, as texturas guardam registros de apenas algumas etapas desta evolução metamórfica, que será discutida com o apoio de dados químicos de minerais e rochas, no capítulo destinado ao metamorfismo.

Entre as rochas websteríticas, o mais antigo registro de sua história evolutiva estaria preservado nas rochas websteríticas que contêm ortopiroxênios fortemente zoneados, livres de inclusões e associados a anfibólios cálcicos (pranchas 2*h* e 3*c*).

Esta fase seria seguida por uma etapa de metamorfismo progressivo, responsável pelo crescimento de piroxênios que englobam anfibólios granoblásticos da matriz circundante (prancha 1*b*), sendo mantido o caráter indeformado da rocha. Ortopiroxênios reajustados nesta fase não exibem zoneamento, tendo, provavelmente sofrido processos de homogenização durante o crescimento metamórfico.

A terceira etapa seria caracterizada por processo de deformação de atuação heterogênea ao longo do corpo. A sequência de pranchas 1*b*, 1*c*, 3*d,e* e 2*a,b* seria representativa de etapas graduais de deformação destas rochas. Em 1*b*, a rocha exibe textura isotrópica, resultante do metamorfismo progradante que antecede a deformação. Na prancha 1*c*, ortopiroxênios apresentam extinção ondulante e adquirem hábito alongado. Nas pranchas 3*d,e*, observa-se um grau maior de deformação. As pranchas 2*a,b* registram um processo avançado de poligonização do conjunto.

Em estudos experimentais, Nicolas et al. (1973) quantificaram este processo gradual de deformação que inicia-se por deslizamentos intercristalinos de olivina e piroxênios, seguido, com o aumento de "strain" por processo de recristalização de bordas. Desta forma, rochas submetidas a "strain" inferior a 30% apresentariam pouca variação na forma original de seus grãos, havendo um número mínimo de deslizamentos, enquanto que, após 30% de "strain", o processo de

deslizamento desenvolver-se-ia mais efetivamente, sendo acompanhado de recristalização nas regiões de contato entre os grãos, onde há um acúmulo maior de energia, alongando os grãos, que muitas vezes são desmembrados. A partir de 45%, o processo de recristalização passa a ser dominante e, a 58%, o volume de recristalizados é igual ao de cristais deformados. Ambos, recristalizados e cristais preservados, exibem formas alongadas, definindo uma foliação bem caracterizada em afloramento. O hábito acicular observado em alguns ortopiroxênios (prancha 1a) seria conseqüente, segundo Bard (1985), da conjugação de deslizamentos ao longo de direções preferenciais, formando fissuras retílineas de hábito acicular. Nota-se que, de ocorrência local na Fazenda da Roseta, este hábito é freqüente nos ortopiroxenitos da Serra da Garça.

Em algumas rochas websteríticas deformadas, são observados fragmentos de ortopiroxênio inclusos em clinopiroxênio (ver prancha 3e). Não é possível afirmar, contudo, se estas relações decorrem do crescimento metamórfico dos cristais ou se as mesmas constituem texturas herdadas de relações ígneas anteriores.

A disposição dos anfibólios em mosaico poligonal indica processo de nucleação e de crescimento simultâneo destes cristais. Nas rochas deformadas a orientação destes prismas, paralelamente à direção de deformação do cristais de piroxênios e olivina (pranchas 3d,e), caracteriza um processo de reequilíbrio do conjunto às novas condições do sistema. Na prancha 2b, em particular, anfibólios com orientação bem definida destacam-se em matriz granoblástica isotrópica, definindo uma região de esforço concentrado.

A existência de anfibólios orientados, inclusos em bordas de piroxênio, e de inclusões não orientadas em porções mais internas do cristal hospedeiro, indicam que o processo de blastese dos piroxênios permaneceu ativo ao longo do processo de deformação.

Desta forma, o conjunto de características texturais das rochas websteríticas rochas permitem supor uma história evolutiva que envolve, de forma simplificada:

- 1) hidratação da paragênese reliquiar, em condições estáticas (formação de anfibólios);
- 2) reajuste sob condições metamórficas mais elevadas (crescimento de piroxênios e reajustes de bordas);
- 3) deformação/recristalização.

Esta seqüência evolutiva não é observada nos demais litotipos do Domínio III, que exibem apenas registros parciais destes processos.

Nos espinélio harzburgitos (Fazenda da Roseta), a ocorrência de minerais hidratados é restrita, sob a forma de traços de clorita. Em uma única amostra constata-se presença de anfibólio ($\approx 1\%$ da moda), intersticial a ortopiroxênios e olivinas, sendo difícil observar relações de inclusão entre estes minerais. Bandas de deformação e *kink bands* são freqüentes nos piroxênios destas rochas que não exibem, entretanto, fábrica orientada.

Nestas rochas a ausência de foliação poderia ser explicada pela disposição aleatória de seus eixos cristalográficos em relação às principais direções de esforços, pois este mineral deforma-se segundo deslizamentos preferenciais ao longo das superfícies paralelas a (100) e da direção paralela ao eixo *C* do cristal ($/001/$) (Mercier & Nicolas, 1975; Bard, 1985), gerando diferentes graus de deformação em cristais adjacentes. Este comportamento diverge das rochas deformadas da suíte websterítica, cujo desenvolvimento da fábrica orientada é favorecido pela presença de anfibólio e, talvez, por crescimento das fases anídricas paralelamente à deformação.

Espinélios associados a estes harzburgitos, exibem ampla variedade textural: simplectítico em bordas de ortopiroxênio; como cristais bem formados, nos contatos entre olivina e ortopiroxênio; ou recristalizados, com contatos poligonais, juntamente com os demais minerais. Em alguns casos, é possível reconhecer a textura simplectítica original em cristais poligonizados (prancha 10). Seu modo principal de ocorrência, no contato entre grãos de ortopiroxênio e olivina, indica origem a partir da reação entre estes minerais, envolvendo expulsão de alumina do piroxênio rico em componente tchermackítico, em fase anterior ao processo de poligonização parcial de seus componentes. A mesma origem seria atribuída aos espinélios inclusos, pouco freqüentes nestas rochas, como consequência de nucleação heterogênea em zonas defeituosas do cristal, quando a nucleação interna é favorecida pela existência de zonas de fraqueza no cristal, ao longo das interfaces de bandas de deformação. Na maior parte das vezes, a nucleação é deslocada para as bordas dos grãos em cristais estáveis, sem defeitos onde o mineral possa alojar-se (Hibbard, 1995; Embury & Nicholson, 1965). Sendo este um processo contínuo, resultante da queda de temperatura, os primeiros cristais formados adquiririam formas compactas enquanto os mais tardios exibiriam texturas simplectíticas ou lamelares, como nos exemplos apresentados.

Nas rochas websteríticas a ocorrência de espinélio é restrita. Estes são xenomórficos, vermiculares na maior parte das vezes, e em associação constante com anfibólio, dos quais parecem derivar.

Espinélio também ocorre como fase essencial em espinélio hornblendito do Morro do Corisco. As relações texturais, nestas rochas, indicam equilíbrio concomitante de espinélio,

anfibólio e clinopiroxênio, com desenvolvimento posterior de högbomita, poiquiloblástica sobre clinopiroxênio. A associação constante de högbomita e clinopiroxênio e a ausência deste último mineral em cortes onde högbomita é fase ausente, mostra uma relação de dependência existente entre estes dois minerais, com a geração de högbomita controlada pela presença de clinopiroxênio.

Os demais litotipos ultramáficos do Domínio III, descritos neste trabalho, são constituídos, essencialmente, por fases hidratadas (serpentina, talco, anfibólios e/ou cloritas). É o caso das rochas serpentiniticas, do Morro do Corisco e da Fazenda da Roseta, das rochas ricas em antofilita, na Serra da Garça e dos pequenos corpos entre a região de Arantina e Andrelândia. A atual associação mineral destas rochas é consequência, em maior ou menor grau, das características químicas de seus protólitos e dos fluidos envolvidos nos processos de hidratação responsáveis pela mineralogia dominante.

Na região da Serra da Garça, as características texturais complexas de ortopiroxênios relictos indicam a atuação de processos deformacionais anteriores ou concomitantes à hidratação do piroxênio.

Nos corpos situados nas proximidades de Andrelândia e Arantina, as características modais e texturais das rochas ultramáficas pouco diferem dos corpos da Serra da Garça, não havendo, contudo, registros de deformação dos cristais relictos de piroxênio. No corpo ultramáfico mais próximo a Arantina, constituído por clorita/anfibólio olivina fels são observadas olivinas prismáticas, de hábito alongado, em equilíbrio com clorita. Embora a literatura também registre exemplos de olivinas alongadas, em rochas básicas e ultrabásicas hipabissais e plutônicas (i.e. Ubekendt Ejland, Groelaândia; intrusão de Garbhernn, Skye; em cumulos não harrísticos, ricos em olivina, de Rhum; e em Fe-gabros de Skaergaard; Deer et al., 1992), olivinas prismáticas, com características semelhantes as apresentadas nas rochas aqui discutidas são descritas por Evans & Trommsdorff (1974) nas regiões dos Alpes, onde ocorrem em paragênese com talco. Collerson et al. (1976), interpreta texturas semelhantes, encontradas em corpos ultramáficos da Província de Nain, Labrador, como relictos cumuláticos mimetizados por recuperação de olivina durante o metamorfismo da rocha. A observação, em uma das seções aqui estudadas, de um fragmento de olivina inclusa, com características ópticas diferentes da olivina prismática hospedeira, leva a crer na formação destes prismas em uma fase posterior à primeira nucleação de olivina. O comportamento químico destas olivinas (capítulo V), confirma a hipótese de origem metamórfica para estas olivinas.

UNIDADES CONTIDAS NO DOMÍNIO II

No Domínio II predominam, como pôde ser observado, litotipos constituídos, essencialmente, por minerais hidratados, com predominância de serpentinitos e hornblenditos. A grande maioria dos corpos não apresenta orientação de seus componentes em suas porções centrais, mas exibem, em suas bordas, estruturas coincidentes com a xistosidade principal da região. Em alguns casos, são evidenciados processos de interação dos corpos ultramáficos com suas encaixantes. Alguns corpos serpentiniticos, por exemplo, (i.e. Serra do Moleque, CZ13) mostram gradação de serpentinitos para hornblenditos e (+/- epidoto)-quartzo hornblenditos, em direção às bordas. Em outros (i.e. Fazenda Bela Vista, Fazenda Santa Inês), estes são separados das encaixantes por aureólas de talco xistos ou fels.

Desta forma, o conjunto de rochas ultramáficas inseridas no Domínio II poderia ser descrito como litotipos formados, principalmente, por paragêneses hidratadas, cujos minerais essenciais (serpentina, anfibólio, clorita e talco), associam-se de modo a refletir composições dos protolitos, processos de interação com rochas encaixantes e percolação de fases fluidas, ao longo de diversos estágios. Neste quadro, três ocorrências destacam-se das demais, em função de apresentarem silicatos não hidratados: os corpos piroxeníticos da Fazenda da Areia (Carrancas) e Bela Vista (São Vicente de Minas) e porções duniticas da Fazenda Rui Barbosa (Carrancas). Entre os piroxenitos, olivinas e ortopiroxênios não exibem registros de deformação (em alguns casos, apenas discreta extinção ondulante), nem zoneamento composicional evidente ao microscópio óptico, no que contrastam com espécimes semelhantes presentes no Domínio III. Szabó (1996) interpreta ortopiroxênios e olivinas com texturas semelhantes, na região de Alpinópolis, MG, como resultantes de crescimento porfiroblástico de cristais, englobando porções de matriz pré-existente. Neste trabalho, o autor identifica relações matriz/pórfiros variáveis para diferentes amostras, reconhecidamente integrantes de uma suíte komatiítica, reconstituindo, assim, diferentes etapas do processo de crescimento dos porfiroblastos. Tal reconstituição não é possível, contudo, no Domínio II, onde não são observados litotipos transicionais entre rochas piroxeníticas e rochas essencialmente hidratadas. Contudo, as disparidades granulométricas existentes entre amostras de diversos pontos e as relações texturais indicam crescimento de ortopiroxênio ao longo de um processo metamórfico progradante.

A assembléia piroxenítica (ortopiroxênio, olivina, anfibólio e espinélio) é substituída, posteriormente, por assembléias essencialmente hidratadas (clorita/anfibólio/talco). No corpo

ultramáfico da Fazenda Bela Vista, tal substituição é restrita às bordas do corpo. Na Fazenda da Areia, rochas francamente hidratadas ocorrem de forma anastomosada, afetando bordas e faixas lineares ao longo do corpo piroxenítico. Da mesma forma, poligonização de piroxênios e olivinas ocorre, neste corpo, em faixas lineares restritas.

A presença de olivinas relictas, em serpentinitos da Fazenda Rui Barbosa, sugere a princípio, um protólito dunítico cumulático. Contudo, análises químicas destas olivinas (capítulo V), indicam composições compatíveis com origem metamórfica, indicando ser a serpentinização um processo de hidratação posterior, à semelhança do que ocorre entre as rochas piroxeníticas deste domínio.

Tal hipótese não poder ser, entretanto, estendida aos demais corpos serpentiniticos da região, nos quais são observadas apenas fases óxidos e/ou hidratadas. Estes contrastam texturalmente com serpentinitos do Domínio III. Macroscopicamente, os serpentinitos da região de Liberdade apresentam aspecto poroso e brilho silicoso, quebrando-se ao longo de superfícies irregulares, sob a forma de pequenos blocos. No Domínio II, tais rochas não apresentam tal característica de brilho, são untuosas ao tato e quebram-se sob a forma de lascas, com superfícies mais regulares e lisas. Tais diferenças encontram reflexos a nível microscópico: serpentinitos inseridos no Domínio III exibem textura "*mesh*", com olivina e piroxênios reliquiares indicando um protólito originalmente granular, enquanto, no Domínio II, as rochas serpentiniticas não apresentam tal textura reticulada. Nestas, serpentina ocorre em agregados tabulares de granulometria variável, arranjados segundo direções privilegiadas ou entrelaçada compondo texturas *em ampulheta* e tipo *placóide-entrelaçada* (Maltman, 1978) e que não fornecem indícios das texturas originais.

CAPÍTULO V

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE ROCHAS

CARACTERÍSTICAS GERAIS

Análises químicas para identificação de elementos maiores, Cr, Ni e Zr foram realizadas para trinta e cinco amostras selecionadas em ambos os domínios:

Domínio III

Corita/anfibólio olivina Fels	AR1Aa , AR1B , AR1D
Anfibólio-clorita Fels	AR2A , AR2B, AR2C
Rochas Websteríticas	FR1A, FR1B, FR1C, FR1D, FR4, FR5Aa , FR5B, SO11G
Serpentinitos	FR3A , FR3Aa, FR3Ac , MCN3
Ortopiroxenito	SG2B
Espinélio Harzburgito	SO11F

Domínio II

Serpentinitos	EC26B, EC26B2, CA7A, CA7B
Espinélio Olivina Ortopiroxenitos	FA1A, FA1B, FA1C, FA2, FA3, FA4, SV2, SV3, SV3C, SV5

A metodologia aplicada na obtenção e tratamento dos dados químicos é sintetizada no capítulo I.

Os resultados destas análises são apresentados na tabela V.1 e suas composições normativas ilustradas na tabela V.2. Observa-se, nesta última, que rochas contendo olivina e piroxênios modais, reproduzem, de forma adequada, as proporções relativas entre estes minerais, atestando boa qualidade das análises químicas.

Os símbolos utilizados na representação dos diversos tipos petrográficos estão ilustrados na figura V.1.

TABELA V. 1
Análises Químicas de Rochas

Amostra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O _p	H ₂ O _m	Total	Cr	Ni	Zr
AR1Aa	40.66	0.75	5.21	2.00	10.52	0.16	32.50	3.73	0.00	0.01	0.05	3.90	0.20	99.69	3168	1441	54
AR1B	39.75	0.76	5.76	2.14	10.10	0.17	33.04	2.95	0.00	0.01	0.04	3.93	0.20	98.85	2454	1015	0
AR1D	38.65	0.72	6.36	1.84	10.38	0.15	33.49	3.03	0.00	0.01	0.10	4.40	0.30	99.23	3508	1427	60
AR2A	40.09	0.65	5.13	3.17	8.96	0.15	31.85	2.42	0.00	0.00	0.06	6.61	0.17	99.26	3470	1291	56
AR2B	41.24	0.77	6.04	1.20	9.42	0.15	30.68	2.16	0.00	0.00	0.26	7.08	0.06	99.01	3863	1198	67
AR2C	39.01	0.99	4.62	1.56	10.19	0.15	30.42	3.53	0.00	0.00	0.05	8.40	0.04	98.96	3771	1280	109
CA7A	38.76	0.08	1.64	4.87	2.49	0.16	42.80	0.02	0.00	0.00	0.01	8.15	0.08	99.05	7234	2171	3
CA7B	38.85	0.07	1.76	5.75	2.37	0.17	42.57	0.02	0.00	0.00	0.01	8.92	0.20	100.69	6405	2061	4
EC268	42.16	0.00	1.10	5.05	3.54	0.09	36.00	0.18	0.02	0.02	0.00	11.21	0.00	99.06	2128	2302	0
EC2682	45.11	0.00	1.22	6.54	3.17	0.11	33.66	0.39	0.01	0.01	0.00	9.73	0.00	100.69	2128	2302	0
FA1A	49.80	0.18	5.84	1.75	10.33	0.17	26.43	4.00	0.21	0.05	0.00	0.08	0.11	98.96	2594	1009	4
FA1B	49.09	0.18	5.19	2.11	10.57	0.17	27.43	3.91	0.23	0.05	0.00	0.38	0.08	99.39	3710	1511	56
FA1C	49.57	0.18	5.05	3.94	8.69	0.16	26.90	3.81	0.16	0.05	0.00	0.52	0.07	99.10	2632	1010	1
FA2	45.16	0.16	6.87	1.96	9.77	0.17	28.38	3.27	0.10	0.03	0.00	3.19	0.114	99.20	2419	975	1
FA3	48.50	0.25	5.19	3.14	10.95	0.19	26.31	4.23	0.18	0.05	0.04	0.53	0.15	99.71	2314	844	3
FA4	45.78	0.18	6.38	2.56	10.70	0.18	28.22	3.85	0.16	0.04	0.00	1.69	0.14	99.88	2513	1008	1
FR1A	50.58	0.04	3.77	1.81	3.96	0.12	30.65	6.87	0.14	0.04	0.00	1.56	0.10	99	64	2797	0
FR1B	53.01	0.05	2.83	0.78	5.31	0.14	31.26	5.62	0.14	0.03	0.00	0.27	0.08	99.52	1902	1786	0
FR1C	51.89	0.03	2.99	1.62	5.37	0.14	33.30	4.59	0.07	0.03	0.00	0.32	0.06	100.41	2304	1852	0
FR1D	50.46	0.04	4.00	2.39	3.45	0.12	30.45	6.73	0.18	0.05	0.00	1.77	0.32	99.96	2872	4605	0
FR3A	36.54	0.00	0.66	4.29	1.43	0.10	40.30	2.12	0.00	0.00	0.00	14.40	0.91	100.75	2446	2010	0
FR3Aa	36.64	0.00	0.70	4.52	1.60	0.11	40.54	1.18	0.00	0.00	0.00	14.52	0.79	100.60	2485	2197	0
FR3Ac	37.34	0.00	0.68	4.46	1.52	0.11	40.49	1.08	0.00	0.00	0.00	14.16	1.15	100.97	2179	2196	0
FR4	52.67	0.06	3.48	1.69	3.88	0.12	28.53	8.89	0.09	0.03	0.00	0.14	0.32	99.90	2937	1829	0
FR5Aa	52.02	0.07	4.59	1.76	4.24	0.13	28.95	7.17	0.39	0.09	0.00	0.08	0.36	99.85	2219	1790	4
FR5B	53.65	0.08	3.00	1.92	4.66	0.14	29.41	6.30	0.17	0.05	0.00	0.00	0.00	99.38	1768	1734	3
MCN3	39.29	0.05	1.28	5.94	1.09	0.09	35.33	0.37	0.83	0.43	0.00	13.00	2.84	101.08	2600	3218	0
SG2B	51.77	0.03	3.01	1.20	5.77	0.12	35.62	0.06	0.00	0.00	0.00	2.31	0.16	100.05	3203	1791	0
SO11F	39.12	0.70	9.25	2.89	6.25	0.12	37.25	1.24	0.00	0.02	0.00	2.37	0.50	99.71	322	1153	10
SO11G	52.74	0.07	3.77	2.63	3.20	0.12	27.37	9.34	0.11	0.04	0.00	0.25	0.34	99.98	1136	1012	3
SV1A	45.29	0.14	7.01	1.97	6.59	0.15	28.21	3.95	0.30	0.03	0.01	5.62	0.06	99.33	4177	2101	5
SV2	48.29	0.18	6.07	2.39	5.83	0.14	29.79	4.52	0.13	0.04	0.01	1.96	0.06	99.41	3005	1458	14
SV3	46.40	0.14	7.61	2.15	6.74	0.15	31.08	3.19	0.06	0.03	0.01	1.69	0.07	99.32	4359	1337	7
SV3C	47.66	0.17	7.19	2.03	7.00	0.15	30.28	3.56	0.08	0.04	0.01	1.06	0.08	99.31	3963	1499	8
SV5	44.57	0.13	8.35	2.26	6.03	0.13	28.50	2.95	0.09	0.02	0.00	6.29	0.08	99.40	3991	1750	7

TABELA V.2
Composição Normativa das Rochas Analisadas

Amostra	Or	Ab	An	C	Di(wo)	Di(en)	Di(fs)	Cpx	Hy(en)	Hy(fs)	Opx	Ol(fo)	Ol(fa)	Oli	Mt	He	Il	Ap
AR1Aa	0.06	0	14.82		1.77	1.32	0.27	3.36	15.15	3.12	18.27	47.97	10.9	58.87	3.03	0	1.48	0.11
AR1B	0.06	0	15.21	0.49	0	0	0	0	15.75	3.01	18.76	50.03	10.61	60.64	3.28	0	1.52	0.09
AR1D	0.06	0	15.29	1.11	0	0	0	0	10.54	2.11	12.65	54.82	12.07	66.69	2.52	0	1.45	0.23
AR2A	0	0	12.61	0.92	0	0	0	0	26.33	4.3	30.63	41.84	7.55	49.39	4.97	0	1.34	0.14
AR2B	0	0	10	2.9	0	0	0	0	33.98	6.67	40.75	34.62	7.62	42.24	1.89	0	1.59	0.62
AR2C	0	0	13.91	0	2.14	1.59	0.34	4.07	17.82	3.76	21.58	45.22	10.53	55.75	2.5	0	2.08	0.12
CA7A	0	0	0.04	1.79	0	0	0	0	23.66	0.16	23.82	65.9	0.48	66.38	7.77	0	0.17	0.02
CA7B	0	0	0.04	1.91	0	0	0	0	25.14	0	25.14	63.77	0	63.77	8.69	0.29	0.15	0.02
EC26B	0.12	0.17	0.99	0.83	0	0	0	0	52.02	1.44	53.46	35.04	1.07	36.11	8.31	0	0	0
EC26B2	0.12	0.08	2.14	0.53	0	0	0	0	68.98	0.5	69.03	17.04	0.14	17.18	0	10.51	0	0
FA1A	0.3	1.8	15.01	0	2.13	1.53	0.4	4.06	46.54	12.34	58.88	13.19	3.86	17.05	2.57	0	0.35	0
FA1B	0.3	1.96	13.11	0	2.72	1.96	0.5	5.18	43.12	11.1	54.22	16.96	4.82	21.78	3.09	0	0.35	0
FA1C	0.3	1.37	13.09	0	2.55	1.92	0.36	4.83	52.9	9.99	62.89	9.41	1.96	11.37	5.8	0	0.35	0
FA2	0.19	0.88	16.93	0.75	0	0	0	0	36.88	8.5	45.38	25.99	6.61	32.6	2.96	0	0.32	0
FA3	0.3	1.54	13.32	0	3.19	2.29	0.61	6.09	43.24	11.46	54.7	14.62	4.28	18.9	4.6	0	0.48	0.09
FA4	0.24	1.38	16.88	0	1.09	0.79	0.2	2.08	33.1	8.23	41.33	26.64	7.31	33.95	3.79	0	0.35	0
FR1A	0.24	1.21	9.73	0	10.47	8.52	0.66	19.65	42.46	3.28	45.74	19.06	1.63	20.69	2.68	0	0.08	0
FR1B	0.18	1.19	7.06	0	8.79	6.96	0.83	16.58	51.64	6.12	57.76	14.15	1.85	16	1.14	0	0.1	0
FR1C	0.18	0.59	7.74	0	6.27	5.01	0.52	11.8	50.01	5.24	55.25	19.74	2.28	22.02	2.35	0	0.06	0
FR1D	0.3	1.55	10.16	0	10	8.25	0.49	18.74	43.91	2.6	46.51	17.93	1.17	19.1	3.54	0	0.08	0
FR3A	0	0	2.11	0	4.26	3.67	0	7.93	10.59	0	10.59	72.56	0	72.56	5.78	1.04	0	0
FR3Aa	0	0	2.24	0	1.93	1.67	0	3.6	16.15	0	16.15	70.71	0	70.71	6.47	0.84	0	0
FR3Ac	0	0	2.1	0	1.74	1.5	0	3.24	19.62	0	19.62	67.94	0	67.94	6.14	0.97	0	0
FR4	0.18	0.76	9.04	0	14.57	11.97	0.98	27.52	44.34	3.63	47.97	10.59	0.98	11.57	2.46	0	0.11	0
FR5Aa	0.54	3.32	10.56	0	10.54	8.51	0.76	19.81	42.65	3.8	46.45	15.15	1.49	16.84	2.57	0	0.13	0
FR5B	0.3	1.45	7.31	0	10.08	8.1	0.78	18.96	55.93	5.39	61.32	6.97	0.74	7.71	2.8	0	0.15	0
MCN3	3.02	7.30	0	0	0.91	0.79	0	1.7	28.84	0	28.84	52.25	0	52.25	4.34	1.49	0.11	0
SG2B	0	0	0.31	2.97	0	0	0	0	71.62	7.85	79.47	13.75	1.66	15.41	1.78	0	0.06	0
SO11F	0.12	0	6.36	7.2	0	0	0	0	21.30	1.86	23.16	52.4	5.06	57.46	4.33	0	1.37	0
SO11G	0.24	0.94	9.72	0	15.41	12.75	0.71	28.87	46.67	2.6	49.27	6.60	0.40	7	3.84	0	0.13	0
SV1A	0.19	2.71	18.87	0	0.84	0.65	0.10	1.59	37.27	5.55	42.82	26.17	4.30	30.47	3.05	0	0.28	0.02
SV2	0.24	1.3	16.27	0	2.8	2.22	0.26	5.28	44.38	5.17	49.55	20.91	2.69	23.6	3.56	0	0.27	0.02
SV3	0.18	0.52	16.17	1.73	0	0	0	0	41.48	5.68	47.16	26.71	4.03	30.74	3.2	0	0.27	0.02
SV3C	0.24	0.69	17.94	0.56	0	0	0	0	43.35	6.39	49.74	23.63	3.84	27.47	3	0	0.33	0.02
SV5	0.13	0.82	15.74	3.02	0	0	0	0	46.27	5.99	52.26	21.22	3.03	24.25	3.52	0	0.27	0

DOMÍNIO III	
▲	Espinélio Harzburgito - Fazenda da Roseta
×	Ortopiroxenito - Serra da Garça
○	Rochas websteríticas - Fazenda da Roseta
◆	Serpentinitos - Fazenda da Roseta
□	Serpentinitos - Morro do Corisco
●	Clorita-/anfíbólio -olivina fels - Arantina

DOMÍNIO II	
●	Espinélio-olivina ortopiroxenitos - Fazenda da Areia
◆	Serpentinitos - Fazenda Rui Barbosa
■	Serpentinitos - EC26
●	Espinélio-olivina ortopiroxenitos - Fazenda Bela Vista

Figura V.1 - Símbolos utilizados na representação das amostras.

Vermelho: Região de Liberdade;

Verde: Região de Arantina

Rosa: Região de Carrancas;

Azul: Região de São Vicente de Minas

A figura V.2 ilustra o comportamento do conjunto de rochas analisadas segundo os diagramas $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})\text{-FeOt-MgO}$ (Alk-FM) e $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-FeOt-MgO}$ (ACM). No primeiro, constata-se enriquecimento de FeOt para razões constantes de álcalis, com superposição dos termos mais magnesianos de ambos os domínios. No diagrama ACM é possível identificar dois conjuntos de rochas, definidos por *trends* distintos. O primeiro é caracterizado por exibir incremento acentuado de FeOt concomitante ao enriquecimento em alumina e, o segundo, por manter razões MgO/FeOt pouco modificadas em função do enriquecimento de Al_2O_3 .

Rochas dos diferentes domínios aparecem representadas em ambos os *trends*. Desta forma, corpos ultramáficos de Arantina (Domínio II) associam-se ao *trend* superior, em que predominam espécimes da região de Carrancas (Domínio II), enquanto rochas piroxeníticas da região de São Vicente de Minas (Domínio II) acompanham o *trend* definido pelas rochas da região de Liberdade (Domínio III).

Enriquecimento de TiO_2 acompanhado por Zr é observado para todo conjunto de rochas analisadas (figura V.3a), compondo um *trend* geral do qual a amostra de espinélio harzburgito encontra-se excluída. Embey-Istzin et al. (1989) considera o enriquecimento em Ti, por carreamento em fluidos, um processo comum. Entretanto, a homogeneidade relativa da razão entre estes óxidos, nas demais amostras, sugere preservação de valores originais. Ambos, Ti e Zr, são elementos incompatíveis e tendem a concentrar-se em líquidos residuais ou nos primeiros produtos de fusão, e desta forma, os conteúdos mais elevados nas rochas de Arantina indicam maior grau de diferenciação das mesmas (Cox et al., 1978).

A figura V.3b ilustra o comportamento das razões $\text{CaO/Al}_2\text{O}_3$ e $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ das rochas ultramáficas investigadas. Uma análise com base nestas razões justifica-se em função da localização de alguns corpos do Domínio II em áreas do embasamento supostamente relacionadas a seqüências komatiíticas (Magalhães, 1985). Como pode ser observado, as rochas em questão exibem razões $\text{CaO/Al}_2\text{O}_3$ e $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, inferiores e superiores, respectivamente, àqueles atribuídos a rochas komatiíticas. Uma associação destas rochas com seqüências komatiíticas somente seria possível se as mesmas fossem interpretadas como produtos cumuláticos, gerados em níveis inferiores, pois o conteúdo elevado de Ni (> 2000 ppm) e baixo de Cr (< 2500 ppm) em rochas $\text{MgO} > 32$ as descaracterizam como lavas komatiíticas (Beswick, 1982).

A razão MgO/MgO+FeOt ($\text{MgO\#}$) é, comumente, utilizada como índice de diferenciação em diagramas binários envolvendo rochas ultramáficas. Esta é justificada em função de $\text{MgO\#}$ não

Figura V.2 - Diagramas Alk-Fm e ACM. (A) Alk-Fm para rochas do Domínio II; (B) Alk-Fm para rochas do Domínio III; (C) ACM para rochas dos Domínios II e III

Figura V.3. - (A) Diagrama Zr x TiO_2 ; (B) Diagrama $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ x $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, com campos delimitados de ocorrência de komatiitos do tipo ADK (aluminium depleted komatiites) e AUK (aluminium undepleted komatiites), conforme definição de Nesbitt et al. (1979).

ser modificado pela proporção modal entre olivinas e piroxênios, visto o coeficiente de partição Fe/Mg ser semelhantes nestes minerais. O valor de MgO# também não é afetado, em sistemas cumuláticos, por cristalização simultânea de plagioclásio, que modifica, de forma considerável a porcentagem de MgO, tornando mais indicada a utilização do primeiro como índice de fracionamento (Cox et al., 1978). Entretanto, se, durante o processo de diferenciação houver envolvimento de fases nas quais ferro e magnésio exibem coeficientes de partição muito distintos (i.e. ilmenita), a utilização de MgO# como índice de fracionamento torna-se inadequada, pois provoca mudanças abruptas nesta razão. Em função destas características, optou-se, neste trabalho, pela análise de diagramas binários com base em ambos os índices.

No Domínio III, o comportamento distinto dos espécimes de Arantina, em relação ao conjunto de rochas da região de Liberdade, é também constatado nestes diagramas (figuras V.4, V.5, V.6). Este revela-se por sua maior riqueza em FeOt, MnO, TiO₂ e Al₂O₃, em relação às demais, caracterizando um maior grau de diferenciação para as rochas de Arantina.

As rochas de Liberdade, embora provenientes de corpos ultramáficos distintos (Morro do Corisco, Fazenda da Roseta, Serra da Garça) exibem variações químicas coerentes entre si e compatíveis com processos de diferenciação contínua: queda de CaO, SiO₂, TiO₂ e Al₂O₃, paralelo ao incremento de MgO e MgO#. Única exceção é dada pela amostra de espinélio harzburgito da Fazenda da Roseta, que destaca-se dos *trends* gerais nos diagramas envolvendo TiO₂, Al₂O₃ e SiO₂, aproximando-se dos termos de Arantina.

A observação do comportamento de MnO, nestes diagramas, é prejudicada pelos limites de detecção impostos pela metodologia aplicada na análise de manganês, ou seja, sob a forma de óxido. Mas, de uma forma geral, o conjunto define queda do conteúdo de manganês em função do aumento de MgO e MgO#, acompanhando os *trends* delineados nos demais diagramas.

Nota-se que, entre as rochas de Liberdade, a queda de CaO em função do aumento de MgO# é definida entre litotipos distintos (rochas websteríticas → ortopiroxenitos, serpentintos). Quando observadas isoladamente, as rochas websteríticas exibem *trend* subvertical. Este comportamento é provocado pela quase constância dos valores de FeOt em função da variação de MgO e CaO. Quando MgO é utilizado como índice, há melhor definição do *trend*, marcado por relações inversas entre cálcio e magnésio.

Entre as amostras de Liberdade o enriquecimento de Cr e Ni em função de MgO# é nítido entre amostras de rochas piroxeníticas, sugerindo cristalização simultânea de piroxênios e olivinas. No diagrama que utiliza MgO como índice de diferenciação, o *trend* de variação de

Figura V.4. - Diagramas binários de variação MgO e $\text{MgO}/\text{MgO}+\text{FeOt}$ x SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , para rochas do Domínio III

Figura V.5 - Diagramas binários de variação MgO e $\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{FeOt})$ x FeOt, MnO, CaO, para rochas do Domínio III

Figura V.6 - Diagramas binários de variação MgO e $\text{MgO}/\text{MgO}+\text{FeOt}$ x $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$, Cr, Ni, para rochas do Domínio III

cromo é melhor definido para estas rochas, indicando relação inversa entre o conteúdo de cromo e ferro o que, por sua vez, está diretamente associada ao conteúdo modal de clinopiroxênios ($Kd^{Cr} > Kd^{Fe}$)_{Cpx}.

O decréscimo de SiO₂ e Al₂O₃ em relação a MgO e MgO#, entre as rochas da região de Liberdade, também refletem o grau de diferenciação de seus litotipos, crescente em direção aos piroxenitos e decrescente em direção aos serpentinitos (metaperidotitos).

As rochas da região de Arantina exibem composição, relativamente, mais homogênea, com variações mais restritas da razão MgO/FeOt. Estas apresentam tendências de variação melhor definidas nos diagramas que utilizam MgO como índice de diferenciação. Estes são caracterizados por correlações positivas de CaO, Al₂O₃ e Ni, e negativas de SiO₂, com MgO, sugerindo processos controlados por cristalização simultânea de olivina e plagioclásio.

Entre as rochas do Domínio II, há maior dispersão de valores nos diagramas binários (figuras V.7, V.8, V.9). Esta dispersão é particularmente acentuada entre os serpentinitos, podendo refletir tanto características originais destas rochas, como resultar de mobilização de elementos ao longo de processos metamórficos e/ou intempéricos. Estudos realizados por Coleman & Keith (1971), com o objetivo de avaliar o grau de mobilização química durante processos de serpentinitização, demonstram imobilidade relativa de Mg, Si, Cr, Al, Ni e Fe. CaO, entretanto, decresceria, ao longo de processos progressivos de serpentinitização, em rochas onde cálcio é concentrado em ortopiroxênios, se a fase fluida não conter CO₂, necessário a formação de carbonato. Nestas rochas os produtos comumente associados à serpentina (clorita, brucita, magnetita) não são capazes de reter CaO em suas estruturas. Nas rochas aqui estudadas, a maior dificuldade em avaliar o grau de mobilização decorre do pequeno número de análises químicas realizadas para corpos individuais. Nota-se, entretanto, que nos diagramas apresentados nas figuras V.7, V.8, V.9, amostras dos corpos ultramáficos da Fazenda Rui Barbosa e do corpo EC26 apresentam semelhanças composicionais entre seus pares (exceção é dada por Cr na amostra EC26). É provável, portanto, que tais composições representem características herdadas do protolito, pois tal homogeneidade só seria possível, em casos de mobilização, através da atuação de processos uniformes ao longo destes corpos. Há, entretanto, diferenças composicionais relevantes em termos de MnO, TiO₂ entre o corpo serpentinitico da Fazenda Rui Barbosa e o corpo ultramáfico EC26. Em conjunto às rochas piroxeníticas da região de Carrancas, os serpentinitos do corpo EC26 definem um *trend* marcado por decréscimo de CaO, FeOt, MnO, TiO₂, Al₂O₂ e Na₂O+K₂O com o incremento de MgO e MgO#, enquanto o corpo

Figura V.7. - Diagramas binários de variação MgO e MgO/MgO+FeOt x SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, para rochas do Domínio II

Figura V.8. - Diagramas binários de variação MgO e $\text{MgO}/\text{MgO}+\text{FeO}$ x FeO , MnO , CaO , para rochas do Domínio II

Figura V.9- Diagramas binários de variação MgO e MgO/MgO+FeOt x Na₂O+K₂O, Cr, Ni, para rochas do Domínio II

ultramáfico da Fazenda Rui Barbosa posiciona-se distante dos *trends* definidos pelas demais rochas de Carrancas.

Assim como observado no diagrama ACM, rochas de São Vicente de Minas aparecem desvinculadas dos *trends* gerais definidos pelas rochas de Carrancas. Sua composição aproxima-se dos tipos websteríticos do Domínio III, em termos de razão $MgO/FeOt$, sendo, contudo, empobrecidas em CaO e SiO_2 e enriquecidas em MnO e Al_2O_3 em relação àquelas.

DIAGRAMAS MPR

Pearce (1968, 1987) sugere a aplicação de diagramas MPR (*molecular proportion ratio*) como método de determinação do grau de transformações químicas sofridas por grupos de rochas originalmente ígneas, em função de processos metamórficos e/ou intempéricos. Esta metodologia requer a observação, em diagramas binários, de proporções moleculares de óxidos, normalizados por elementos cujos volumes permaneceriam constantes, ao longo do processo de cristalização das rochas que compõem o grupo. Desta forma, tais diagramas ilustrariam *trends* verdadeiros, traduzidos por variações absolutas e não relativas, entre os óxidos normalizados, permitindo o reconhecimento de processos magmáticos, perceptíveis através de conjuntos com tendências retilíneas. As inclinações dos *trends* delineados nestes diagramas seriam indicativas da fase (ou fases) cristalizada(s), tendo como base a estequiometria fixa dos minerais. Modificações químicas posteriores seriam indicadas por dispersões, com abertura em forma de leque a partir da origem do diagrama.

Rollinson & Robinson (1986), com base em dados estatísticos, discordam da aplicação desta metodologia, afirmando que os *trends* resultantes refletem, em realidade, os minerais que dominam modalmente a rocha, e que falsos *trends* podem ser gerados pelo processo de correlação de razões. Estas afirmações são contestadas por Pearce (1987), que identifica erros de interpretação nos diagramas utilizados como exemplos pelos autores, afirmando que *trends* verdadeiramente ígneos podem ser reconhecidos por projetarem-se em direção à um dos eixos do sistema de coordenadas, enquanto falsos *trends* seriam projetados em direção a origem do mesmo.

A aplicação desta metodologia é dificultada, nas rochas aqui estudadas, em função de sua exigência principal, ou seja, a existência de elementos não fracionados pelas fases minerais

envolvidas nos processos de diferenciação das rochas originais. Potássio e sódio, elementos indicados em rochas com as características aqui descritas, não apresentaram teor detectável em grande número de amostras analisadas. Desta forma, optou-se pela análise conjunta de diagramas envolvendo normalização de $(\text{FeO} + \text{MgO})$ e SiO_2 por TiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O e CaO (figura V.10). A utilização de sílica e do somatório de ferro e magnésio permite confrontar as variações composicionais das rochas aqui estudadas, com razões estequiométricas de piroxênios e olivinas.

Observa-se, nestes diagramas, que rochas pertencentes a região de Carrancas e Arantina exibem *trend* indicativo de variações composicionais controladas, predominantemente, por cristalização de olivinas, enquanto rochas de São Vicente de Minas e da região de Liberdade definem *trends* paralelos a curva estequiométrica de ortopiroxênio, à exceção da amostra de espinélio harzburgito (Fazenda da Roseta), que posiciona-se segundo o *trend* definido pelas rochas de Arantina. Estas características acompanham tendências já constatadas em diagramas anteriores.

No diagrama envolvendo Al_2O_3 , o alinhamento delineado pelas rochas piroxeníticas de Liberdade e São Vicente de Minas não apresenta dispersão. Este corta um dos eixos do sistema de coordenadas, indicando que alumínio não foi elemento fracionado de forma relevante ao longo da evolução deste grupo e, por conseguinte, não houve cristalização de plagioclásio. Entre as demais rochas, os *trends* resultantes prolongam-se em direção à origem, indicando fracionamento de alumina.

No diagrama exibindo TiO_2 como fator normalizante, os grupos anteriormente definidos cortam, igualmente, os eixos das ordenadas, segundo *trends* paralelos às curvas estequiométricas de olivina ou ortopiroxênio. Apenas no caso do grupo constituído por rochas de Arantina o *trend* delineado corta o eixo Y em valor próximo a origem (≈ 2), sugerindo fracionamento de titânio nestas rochas (ilmenita, magnetita?).

Os gráficos que exibem CaO como fator normalizante são apresentado em diferentes escalas, permitindo observar que os *trends* resultantes são direcionados para a origem em todos os grupos de rochas, indicando que fracionamento de CaO foi efetivo em todos os conjuntos.

O deslocamento das amostras de serpentinitos do Domínio III, em relação aos *trends* compostos pelas rochas de Liberdade e São Vicente de Minas, nestes diagramas, seria indicativo de mobilização de um (ou mais) dos óxidos envolvidos. Mobilização química também poderia ser atribuída ao deslocamentos das rochas serpentiniticas da Fazenda Rui Barbosa em relação às

Figura V.10 - Diagramas MPR (*molecular proportion ratio*):
 $(\text{FeOt}+\text{MgO})/\text{TiO}_2 \times \text{SiO}_2/\text{TiO}_2$, $(\text{FeOt}+\text{MgO})/\text{Na}_2\text{O} \times \text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$,
 $(\text{FeOt}+\text{MgO})/\text{CaO} \times \text{SiO}_2/\text{CaO}$, $(\text{FeOt}+\text{MgO})/\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

demais rochas de Carrancas, mas também pode significar origem desvinculada para estas rochas, que como visto anteriormente, exibem características químicas singulares.

Na_2O não é detectado em grande parte das amostras analisadas. Sua utilização como fator normalizante indica grande mobilidade deste óxido para algumas amostras de rochas websteríticas de Liberdade; mobilidade discreta entre as rochas piroxeníticas de Carrancas; e mobilidade mais acentuada entre as rochas de São Vicente de Minas.

De uma forma geral, os dados resultantes dos diagramas MPR aqui discutidos indicam que as rochas da região de Liberdade e São Vicente de Minas exibem *trends* compatíveis com composições químicas controladas, essencialmente, por cristalização de ortopiroxênios. Al_2O_3 comporta-se como elemento não fracionado entre estas rochas, indicando ausência ou irrelevância de cristalização de fases aluminosas durante sua evolução. Nestas rochas, CaO exibem comportamento de elemento fracionado. Estas características sugerem retenção de cálcio por clinopiroxênios. Rochas da região de Carrancas e Arantinas constituem um grupo cujas variações composicionais seriam controladas, principalmente, por olivinas. Al_2O_3 aparece como fase fracionada nestas rochas, juntamente com CaO , sugerindo cristalização de plagioclásio durante sua evolução. Este comportamento distinto entre grupos de rochas seguem tendências definidas nos diagramas anteriormente discutidos.

O grau de mobilização dos elementos representados nestes diagramas seriam irrelevantes para a maioria das rochas. Serpentinítes de ambos os domínios exibem indício de maior grau de mobilização em relação aos demais litotipos. O posicionamento destas rochas acima dos *trends* definidos pelos demais litotipos indicam remoção de SiO_2 . Dentre os óxidos utilizados como normalizantes, Na_2O apresenta o maior grau de mobilização.

DIAGRAMA DE HANSON & LANGMUIR

Hanson & Langmuir (1978) propõem a utilização de proporções catiônicas de MgO e FeO no estudo de processos de diferenciação de magmas básicos.

O modelo apresentado por estes autores avalia as possibilidades de evolução de magmas gerados por fusão parcial de rocha de composição pirolítica (Ringwood, 1975) e sua evolução ao longo de processos de cristalização fracionada controlados por olivina. O gráfico resultante deste modelamento é apresentado na figura V.11. Este exibem um campo superior, representando

resíduos sólidos de processos de fusão, e um campo inferior representando a porção líquida destes processos. Ambos apresentam linhas de contorno para variações de temperatura e graus de fusão. A linha que fecha o campo dos líquidos, à direita, equivale a 0% de fusão, e a linha que define o campo, à esquerda, representa condições onde olivina é o único mineral que permanece no resíduo.

Quando uma suíte de rochas é plotada neste diagrama, ele fornece informações sobre o caminho do líquido que lhes deu origem. As linhas curvas, que indicam modificações na porcentagem catiônica de MgO e FeO durante o fracionamento de olivina, mostram o caminho percorrido pelo líquido a partir do qual olivina está sendo cristalizada, independente desta ser ou não removida do sistema. Seus traçados consideram alterações do coeficiente de partição Fe^{+2} e $Mg_{\text{mineral/líquido}}$ em função das variações composicionais e térmicas do sistema.

Segundo os autores, variações bárias provocariam deslocamento das isotermas, mas não afetariam o traçado geral do diagrama. Da mesma forma, modificações nas razões MgO/FeO dos produtos originais apenas deslocariam os campos para áreas de menor ou menor abundância de FeO. Estas características permitem a aplicação deste diagrama em sistemas de composição química diversa, sob condições variáveis de pressão e temperatura. Deve-se ter em mente, entretanto, que cristalização simultânea de outras fases que não olivina (i.e. plagioclásio, granada, piroxênio) promoveriam incremento em ferro maior do que a cristalização individual de olivina.

Comumente utilizado no estudo de suítes vulcânicas (i.e. Langmuir & Hanson, 1980, Rajamani et al. 1993), este diagrama pode ser aplicado, com as devidas restrições, a suítes de rochas de caráter plutônico, constituídas, essencialmente, por olivinas e piroxênios, minerais em que os coeficientes de partição Fe/Mg são controlados pela composição química do líquido dos quais derivam.

Neste diagrama, o grupo formado pelas rochas de Arantina, Carrancas e espinélio harzburgito de Liberdade, seguem um caminho de fracionamento de olivina a partir de um líquido de composição menos magnésiana que as rochas de Liberdade e São Vicente de Minas. As rochas serpentiniticas da Fazenda Rui Barbosa ocorrem na extensão do *trend* definido por este conjunto, já no campo de resíduos sólidos. O grupo formado pelas diversas ocorrências de Liberdade compõe um alinhamento bem definido, à esquerda do campo de líquidos fracionados, sugerindo cristalização sob condições elevadas de pressão ou a partir de líquidos extremamente magnesianos, fatores que deslocam os campos de evolução para a esquerda. A cristalização de ortopiroxênios, relevante na evolução destas rochas, como indicada pelos diagramas MPR,

deveria promover incremento da razão FeO/MgO , o que não é observado, pois o *trend* exibido por este conjunto de rochas é marcado por incremento da proporção catiônica de MgO. Este comportamento poderia ser justificado se as rochas em questão constituíssem produtos cumuláticos dos quais foi extraído o líquido fracionado. Tal raciocínio também explica a posição dos serpentinitos no campo de produtos residuais. Esta hipótese implica na possibilidade das rochas do segundo grupo serem derivadas de líquidos produzidos por fracionamento, com acúmulo de cristais gerando as rochas da suíte mais magnesiânica. Neste modelo, as rochas do primeiro grupo seriam cristalizadas sob condições elevadas de pressão, sem fracionamento de plagioclásio, como atestam os diagramas MPR, com acúmulo de olivinas e piroxênios com alta razão Mg/Fe , produzindo líquidos residuais enriquecidos em ferro, cálcio, alumina e elementos incompatíveis, características observadas nas rochas do segundo grupo. As rochas de São Vicente de Minas representariam tipos intermediários, cristalizados a partir de líquidos mais diferenciados, mas sob condições de pressão ainda elevada.

O diagrama $\text{CaO/Al}_2\text{O}_3$ versus FeO/MgO (em proporção molecular), ilustrado na figura 12, permite avaliar esta possibilidade, comparando os *trends* definidos por estas rochas com *trends* idealizados de cristalização de plagioclásio, ortopiroxênio, clinopiroxênio e olivina, a partir de basálticos toleíticos (Nesterenko & Anskin, 1993). Entre as rochas de Liberdade- São Vicente de Minas, o *trend* geral, subvertical, indica cristalização de clinopiroxênio, com queda abrupta da razão $\text{CaO/Al}_2\text{O}_3$ enriquecendo o líquido residual em alumina (Ca predomina sobre cpx em clinopiroxênio). O enriquecimento da razão FeO/MgO na sequência São Vicente de Minas-Arantina-Carrancas, ilustrado na porção inferior do diagrama, indica que as variações químicas entre os diversos corpos são controladas, principalmente, por cristalização de olivina e plagioclásio. A cristalização de olivina, apenas, não afetaria a razão $\text{CaO/Al}_2\text{O}_3$, definindo uma linha de evolução horizontal. A concentração de alumina em plagioclásio excede a concentração de cálcio, tornando os líquidos residuais enriquecidos em CaO. A inclinação dos vetores relacionados a cada grupo de rochas corresponderia a razão olivina/plagioclásio cristalizados nas divergentes etapas de fracionamento.

Figura V.12 - Razão $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ x FeOt/MgO (proporção molecular) para o conjunto de rochas analisadas

ELEMENTOS TRANSICIONAIS

A figura V.13 ilustra padrões de distribuição dos elementos transicionais analisados neste trabalho, normalizados por composições estimadas para o manto fértil (Jagoutz et al, 1979).

No Domínio III, dois padrão gerais são delineados. O primeiro (figura V.13a) é constituído pelos exemplares de Arantina e pela amostra de espinélio harzburgitos (Fazenda da Roseta), apresentando anomalias positivas de titânio e ferro e anomalias negativas em níquel e cromo, esta última bastante acentuada no caso do harzburgito. O segundo grupo compreende espécimes dos demais corpos ultramáficos deste domínio (Morro do Corisco, Fazenda da Roseta e Serra da Garça), a maioria dos quais exibindo conteúdos próximos aos estimados para composições mantélicas, em termos de Cr, Mn e FeO, porém depletados em TiO_2 e com comportamento oscilante de Ni.

No Domínio II, piroxenitos da Fazenda da Areia exibem padrões semelhantes aos observados para as rochas de Arantina e espinélio harzburgito, enquanto rochas de São Vicente de Minas exibem padrão subretilíneo, com anomalias discretas de Cr (positivas) e de Ni (negativas). Ao contrário do observado no Domínio III, o padrão de distribuição de rochas serpentiniticas não acompanham aqueles delineados para as rochas piroxeníticas da região, diferenciando-se, também, entre si. Os espécimes da Fazenda Rui Barbosa assemelham-se àqueles observados entre as rochas serpentiniticas e piroxeníticas do Domínio III, subretilíneo com anomalias negativas de Ni, enquanto os serpentinitos do corpo EC26 exibem anomalias positivas de Ni e Cr.

Enriquecimento em Ti e depleção em Cr e Ni, apresentados pelos espécimes piroxeníticos de Carrancas, no Domínio II, e por espinélio harzburgitos e rochas de Arantina, no Domínio III, são típicos de basaltos toléíticos, cujas anomalias são acentuadas nos produtos mais diferenciados, a medida que os elementos incompatíveis, Cr e Ni, são retidos nas fases sólidas. Os demais padrões, que definem conteúdos de elementos transicionais próximos aos atribuídos a mantos não depletados, são, também, característicos de produtos cumuláticos com predomínio de ortopiroxênios e olivinas.

Figura V.13 - Padrões de distribuição de TiO₂, Cr, MnO, FeOt e Ni, normalizados por composições do manto fértil

ELEMENTOS TERRAS RARAS

Os resultados obtidos em análises para determinação do conteúdo de elementos terras raras (ETR) de treze amostras são apresentados na tabela V.3. Seus padrões de distribuição, normalizados por valores condriticos de Haskin & Paster (1979), são ilustrados na figura V.14.

O padrão geral, côncavo, com enriquecimento em ETR_{leves} e anomalias negativas de Eu, é observado em amostras de ambos os domínios, à exceção das amostras de espinélio harzburgitos pertencente ao Domínio III, que não apresentam anomalias negativas de Eu.

Padrões enriquecidos em ETR_{leves} como os aqui apresentados são, muitas vezes, descritos na literatura como conseqüentes de processos de alteração metamórfica ou intempérica, ou resultantes de contaminação crustal. Entretanto, o grande número de variáveis determinantes destes processos torna difícil a tarefa de avaliar o grau de mobilização de ETR em rochas. Circulação de fluidos, condições de pressão e temperatura, características de fO_2 e a capacidade dos minerais neoformados de reterem ETR, são alguns dos fatores condicionantes da mobilidade destes elementos durante processos metamórficos/metassomáticos (Humphris, 1989).

Sun & Nesbitt (1978) avaliam o comportamento de ETR de rochas ultramáficas alteradas/não alteradas observando que, nestes litotipos, existe tendência à remoção de ETR_{leves} com a evolução do grau intempérico. Desta forma, o enriquecimento em ETR_{leves} , apresentado pelas rochas aqui estudadas não pode ser atribuído a processos intempéricos.

Ludka (1997) constata que tal padrão é característico de rochas básicas toleíticas, de idade pré-cambriana a mesozóica, do Cinturão Móvel Costeiro e áreas adjacentes, incluindo a área aqui estudada. Segundo a autora, este enriquecimento em ETR_{leves} reflete características do manto subcontinental, pois o comportamento químico geral destas rochas são incompatíveis com processos de contaminação crustal.

Com base nestas considerações e, dada a regularidade dos padrões gerais de distribuição entre os diversos litotipos analisados, estes são considerados representativos das características originais destas rochas.

O enriquecimento em ETR total do conjunto do Domínio II em relação ao conjunto do Domínio III, reflete o maior de diferenciação de suas rochas. Na região de Liberdade, os maiores conteúdos de ETR são observados nos litotipos que contêm clinopiroxênios.

TABELA V.3

Elementos Terras Raras

	<i>Amostra</i>	<i>La</i>	<i>Ce</i>	<i>Nd</i>	<i>Sm</i>	<i>Eu</i>	<i>Gd</i>	<i>Dy</i>	<i>Ho</i>	<i>Er</i>	<i>Yb</i>	<i>Lu</i>
Domínio III	AR1	2.79	8.91	5.13	1.11	0.24	0.77	0.9	0.2	0.5	0.46	0.07
	FR11P	1.34	5.63	2.50	0.58	0.14	0.58	0.66	0.15	0.45	0.41	0.08
	SO11G	2.02	6.26	2.0	0.65	0.12	0.65	0.42	0.10	0.30	0.31	0.08
	FR11D	2.11	3.12	1.3	0.18	0.04	0.13	0.11	0.02	0.05	0.06	0.01
	FR11E	2.61	4.29	1.64	0.21	0.05	0.12	0.08	0.02	0.04	0.06	0.02
	MCN3	1.18	2.71	1.02	0.14	0.02	0.13	0.08	0.01	0.04	0.04	0.01
	SG2B	0.81	1.73	0.70	0.14	0.04	0.20	0.16	0.03	0.08	0.12	0.03
Domínio II	EC26B	3.59	3.31	1.56	0.31	0.05	0.29	0.25	0.06	0.16	0.16	0.04
	EC26C2	22.01	6.53	12.13	2.54	0.33	1.19	0.83	0.16	0.43	0.36	0.06
	FA5	7.14	8.45	11.33	2.53	0.67	2.29	2.25	0.46	1.28	1.16	0.17
	FA6	1.73	3.5	2.01	0.67	0.12	0.63	0.50	0.11	0.34	0.56	0.11
	FA8	1.25	4.74	1.76	0.36	0.09	0.33	0.26	0.05	0.14	0.21	0.05
	FA10	1.44	6.6	2.71	0.62	0.13	0.45	0.30	0.06	0.17	0.23	0.06

Figura V.14 - Padrões de distribuição de elementos terras raras normalizados por valores condriticos

As anomalias negativas de Eu, em alguns casos, poderia estar associada a separação de plagioclásios durante processo de cristalização fracionada ou a cristalização de ortopiroxênios sob alta fO_2 (Hanson, 1980; MacKey, 1989).

No Domínio II, são observadas anomalias negativas e positivas de Ce, entre as rochas de Carrancas. Anomalias positivas ocorrem nos espécimes mais empobrecidos em ETRs, enquanto anomalias negativas são encontradas nos tipos mais enriquecidos.

Anomalias em Ce são descritas na literatura como conseqüentes de oxidação de Ce^{+3} para Ce^{+4} em processos de alteração intempérica ou por interação com águas marinhas. O primeiro caso seria característico de ambientes tropicais, onde Ce é oxidado por fluidos que circulam próximos à superfície, sendo depositado em fraturas, sob a forma de cerianita (CeO_2), próximo ao seu local de origem (Braun et al. 1990, Marsh, 1991). O segundo mecanismo está relacionado a oxidação de Ce por águas marinhas mantidas em contato com rochas vulcânicas. Este processo, entretanto, é acompanhado por uma depleção geral de ETR_{leves} em relação a $ETR_{pesados}$ (Humphris, 1989). Entre as rochas do Domínio II, ocorrência de litotipos provenientes de um mesmo corpo, apresentando, ora anomalias negativas, ora positivas de Ce, e a ausência de depleção geral em ETR_{leves} , indicam processos intempéricos como responsáveis pela mobilização deste elemento. Da mesma forma, o caráter cumulático, atribuído a estas rochas por seu elevado conteúdo de Ni, torna improvável um contato original das mesmas com águas marinhas.

ROCHAS ULTRAMÁFICAS E ANFIBOLITOS

Estudos visando a caracterização química de anfibolitos do Domínio III, foram realizados por Paciullo (1997). O autor reconhece duas suítes distintas no conjunto de rochas anfibolíticas analisadas, uma das quais caracterizada por maiores razões MgO/FeO , maior conteúdo de CaO e menor porcentagem de TiO_2 , em relação a segunda.

Ambas as suítes exibem assinatura toleítica e estão associadas, de forma indistinta, tanto a seqüências metassedimentares proterozóicas como a seu embasamento, havendo, entretanto maior tendência dos tipos enriquecidos em ferro de posicionarem-se nos níveis estratigráficos inferiores.

Segundo o modelo apresentado pelo autor, toleitos ricos em ferro, com características continentais, teriam penetrado na crosta no estágio inicial do processo de "riftingamento", justificando a maior ocorrência deste grupo nas seqüências inferiores, enquanto toleitos ricos em

magnésio, com características de basaltos de cordilheiras meso-oceânicas (MORB), marcariam mudança de um estágio *rift* para um estágio proto-oceânico. Entretanto, a relação *anfíbolitos de alto MgO = basaltos continentais* e *anfíbolitos ricos em FeO = MORB* não se confirma nos diagramas discriminativos de ambientes tectônicos e nos padrões de distribuição de elementos, discutidos pelo autor, pois tipos com assinatura continental e de MORB ocorrem em ambas as suítes.

Deve-se observar, por outro lado, que existe uma boa correspondência entre as características químicas dos grupos de rochas anfíbolíticas reconhecidos por Paciullo e os grupos de rochas ultramáficas aqui discutidos, em termos de razões MgO/FeO e riqueza em CaO e TiO₂, sendo provável que tais anfíbolitos representem os termos mais diferenciados de cada grupo ultramáfico. A tendência das rochas mais ricas em ferro de posicionarem-se nas seqüências inferiores também é observada entre as rochas ultramáficas aqui estudadas podendo, ambas, rochas ultramáficas e anfíbolíticas ricas em ferro, representarem termos intrusivos e extrusivos relacionados aos estágios iniciais de “riftingamento” da Bacia Andrelândia. É possível, entretanto, que alguns dos anfíbolitos da suíte rica em magnésio, representem correspondentes intrusivos das rochas ultramáficas com as quais exibem identidade química, posicionados tectonicamente, pois em seu trabalho, Paciullo não faz referências quanto ao modo de ocorrência das amostras quimicamente analisadas que, segundo o mesmo, podem ser sob a forma de corpos isolados, com dimensões decamétricas, sob a forma de camadas delgadas, que acompanham o bandamento dos metassedimentos ou, ainda, sob a forma de *boundins*, paralelos à xistosidade principal.

DISCUSSÃO

Os dados levantados neste capítulo permitem separar as rochas estudadas em dois grupos, para os quais os diagramas MPR, AFM, $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{FeO}/\text{MgO}$ e diagrama de Hanson & Langmuir (1978), indicam caminhos distintos de cristalização, com as seguintes características:

- O primeiro grupo é formado pelos corpos ultramáficos da região de Liberdade (Domínio III) e São Vicente de Minas (Domínio II), que apresentam menores porcentagens de FeO, TiO_2 e Al_2O_3 em relação ao segundo grupo, composto por rochas da região de Arantina, pela amostra de espinélio harzburgito da Fazenda da Roseta (Domínio III) e rochas ultramáficas de Carrancas (Domínio II). Não há, portanto, relações diretas entre estas suítes e o domínio tectônico no qual estas encontram-se inseridas.

- O comportamento químico das rochas do primeiro grupo indica variações composicionais controladas, essencialmente, por ortopiroxênio, sem registros de cristalização de plagioclásio, características de processos de fracionamento sob condições elevadas de pressão. Em líquidos toleíticos o campo de estabilidade de piroxênios é expandido em detrimento de olivina com o incremento de pressão, sendo enstatita o primeiro mineral a cristalar-se sob pressões acima de 14 Kb, em líquidos gerados por fusão de olivina toleitos (Cox et al., 1979). Estas características explicam a ausência de camadas piroxeníticas espessas em cumulos ofiolíticos, comuns em complexos estratiformes de origem subcontinental (Coleman, 1977). Os limites máximos de pressão admitidos para a cristalização de plagioclásio em líquidos basálticos, assim como as condições nas quais assembléias ricas em piroxênios são estáveis, dependem da composição química dos sistema. Estudos no sistema $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ indicam pressões máximas de formação de plagioclásio em torno de 10 Kb (Kushiro & Yoder, 1966; Green & Ringwood, 1970; Obata 1976; Presnall, 1976). Estas pressões seriam atingidas a profundidades superiores a 35 Km o que, em ambientes continentais equivale a porções inferiores da crosta continental e, em ambientes oceânicos, atingiria níveis mantélicos (Best, 1982)).

- Os corpos ultramáficos da Fazenda da Roseta e Morro do Corisco exibem intercalações de litotipos diversos que apresentam afinidades químicas entre si, sugestivas de formação por processos cumuláticos. Os corpos associados ao segundo grupo, por outro lado, são, relativamente, homogêneos. Suas variações químicas sugerem uma evolução dominada por cristalização de olivina e plagioclásio, portanto, em níveis superiores às rochas do primeiro grupo. Estas características e a forma alongada de alguns de seus corpos, sugere uma origem

vulcânica/subvulcânica, ou como *sills* internamente pouco diferenciados, para os litotipos deste grupo.

- As seqüências proterozóicas das regiões abordadas neste trabalho são correlatas e tem sua origem associada a bacias sedimentares cuja história evolutiva inclui etapas de “rifting” e pulsos magmáticos de caráter básico. Estas características e o padrão uniforme de ETR, para todo o conjunto de rochas ultramáficas, sugere consangüinidade das mesmas. Sua identidade com os anfibolitos discutidos por Paciullo (1997) indicam uma origem pós-arqueana para todo o conjunto.

* * *

O quadro geral é, portanto, sugestivo de diferenciação de magmas básicos, *underplated*, na fase de “rifting” da crosta, gerando associações de alta razão MgO/FeO, representadas pelos corpos de Liberdade e São Vicente de Minas. Rochas do segundo grupo representariam produtos cristalizados a partir do líquido diferenciado (enriquecido em CaO, Al₂O₃, FeO, TiO₂, Zr) intrudidos, como *sills* nas seqüências basais da bacia metassedimentar e em seu embasamento, sob a forma de magmas básicos toleíticos.

O comportamento químico divergente da amostra de espinélio harzburgitos em relação aos demais litotipos do corpo ultramáfico da Fazenda da Roseta, no qual esta aparece associada, confirma a ausência de vinculação direta entre esta rocha e o corpo ultramáfico. Como visto no capítulo II, espinélio harzburgitos ocorrem sob a forma de blocos centimétricos, exibindo relações incertas com o corpo principal. As mesmas características são observadas para os espinélios hornblenditos do Morro do Corisco, para o qual não foram obtidas análises químicas, mas cujo padrão de elementos transicionais acompanha, segundo dados de Almeida (1992), àquele aqui apresentado para espinélio harzburgito. Estes espécimes, aparentemente, foram incorporados ao corpo ultramáfico em alguma etapa de sua história evolutiva, provavelmente durante a ascensão tectônica dos maciços ao longo das falhas de empurrão.

CAPÍTULO VI

ANÁLISE QUÍMICA DE MINERAIS

INTRODUÇÃO

Quatorze amostras representativas de corpos ultramáficos de ambos os domínios foram selecionadas para análises quantitativas da composição química de seus minerais:

Domínio III

<i>Tipo Petrográfico</i>	<i>Amostra</i>	<i>Minerais analisados</i>
Rocha websterítica ¹	SO11GB	opx, olivina, espinélio, anfibólio, magnetita
Rocha websterítica ¹	SO11GB2	opx, olivina, cpx, espinélio, anfibólio
Rocha websterítica ¹	FR4	opx, olivina, cpx, espinélio, anfibólio
Espinélio Harzburgito ¹	SO11	opx, olivina, espinélio
Espinélio Harzburgito ¹	SO11E	opx, olivina, espinélio, ilmenita, clorita
Espinélio Harzburgito ¹	SO11D	opx, olivina, espinélio
Serpentinito ¹	FR3A	olivina, anfibólio
Espinélio Hornblendito ²	MCN2B	espinélio, anfibólio, cpx, magnetita, högbomita
Clorita/Anfibólio Olivina Fels ³	AR1	olivina, clorita, anfibólio, ilmenita, magnetita
Ortopiroxenito ⁴	SG2B	opx, olivina, anfibólio, clorita

¹ Fazenda da Roseta² Morro do Corisco³ Arantina⁴ Serra da Garça

Domínio II

<i>Tipo Petrográfico</i>	<i>Amostra</i>	<i>Minerais Analisados</i>
Espinélio-Olivina Ortopiroxenito ⁵	CA10B	opx, olivina, anfibólio
Espinélio-Olivina Ortopiroxenito ⁵	FA-IV	opx, olivina, anfibólio
Serpentinito ⁶	CA7B	olivina
Espinélio-Olivina Ortopiroxenito ⁷	SV3A	opx, olivina, anfibólio, clorita

Os resultados obtidos são apresentados, sob a forma de tabelas, no anexo 2 e serão discutidos, neste capítulo, para cada fase mineral analisada, em seu respectivo domínio estrutural.

A figura VI.1 fornece os símbolos representativos dos minerais específicos de cada corpo.

OLIVINAS

Domínio III

Olivinas analisadas em rochas ultramáficas do Domínio III exibem conteúdo de forsterita variando entre Fo₉₃ a Fo₇₈, da seguinte forma:

Serpentinito -Fazenda da Roseta	93 %
Ortopiroxenitos - Serra da Garça	89 -90 %
Rochas Websteríticas - Fazenda da Roseta	86 - 89 %
Espinélio Harzburgito - Fazenda da Roseta	86 - 88 %
Clorita/Anfibólio Olivina Fels - Arantina	77 - 78 %

⁵ Fazenda da Areia - Carrancas

⁶ Fazenda Rui Barbosa - Carrancas

⁷ Fazenda Bela Vista - São Vicente de Minas

Domínio III

- ▲ Fazenda da Roseta: *espinélios harzburgitos*
- Fazenda da Roseta: *rochas websteríticas*
- ◆ Fazenda da Roseta: *serpentinitos*
- X Serra da Garça: *ortopiroxenitos*
- Morro do Corisco: *espinélio hornblenditos*
- Arantina: *clorita/anfibólio olivina fels*

Domínio II

- São Vicente de Minas: *espinélio olivina ortopiroxenitos*
- Fazenda da Areia: *espinélio olivina ortopiroxenitos*
- ◆ Fazenda Rui Barbosa: *serpentinitos*

Figura VI.1: Símbolos representativos de minerais dos diferentes corpos ultramáficos analisados e suas respectivas litologias. **vermelho**: região de Liberdade; **verde**: região de Arantina-Andrelândia; **rosa**: região de Carrancas; **azul**: região de São Vicente de Minas

As variações da razão $Mg/Mg+Fe^{2+}$, são, portanto, bastante restritas entre olivinas de um mesmo litotipo.

Em rochas websteríticas (FR4 e 11GB), a distribuição de MgO é bastante irregular em olivinas associadas a espinélios. Nota-se, variação na razão MgO/FeO entre neoblastos de olivina, refletindo, aparentemente, composições originais do cristal recristalizado, pois a partição constante de Fe-Mg entre olivinas, durante processos metamórficos, permite que neoblastos conservem razões Mg/Mg+Fe₂ da área recristalizada (Matsui & Nishizawa, 1974; Deer et al., 1982b).

Nos espinélio harzburgitos, as maiores porcentagens de MgO em olivinas são observadas nas áreas em contato com espinélio e em neoblastos poligonais envoltos por espinélio simplectítico. Constatou-se, também, que bordas em contato com clorita apresentam menor razão MgO/FeO em relação às bordas em contato com ortopiroxênio. Desta forma, as maiores variações composicionais nestas olivinas parecem ser controladas pela formação de espinélio e clorita.

O tamanho diminuto dos cristais relictos de olivina nas amostras de serpentinitos da Fazenda da Roseta não permite estudos sobre zoneamentos composicionais. Análises realizadas para diferentes grãos apresentaram razões MgO/FeO próximas, com conteúdo de forsterita em torno de Fo₉₃.

Entre os cristais prismáticos de Arantina, as variações composicionais são bem definidas ao longo de perfis transversais, com decréscimo de MgO/FeO em direção às bordas. Análise de olivina inclusa em um destes prismas (olivina inclusa em olivina) demonstrou que a fase inclusa encontra composição equivalente ao longo do cristal hospedeiro, mas apresenta menor razão MgO/FeO em relação as áreas adjacentes à inclusão.

Domínio II

O conteúdo de forsterita das olivinas analisadas em rochas do Domínio II varia entre Fo₇₁ e Fo₉₆, sendo os menores valores observados entre os piroxenitos da Fazenda da Areia (71 a 75%), seguidos pelas amostras de piroxenitos de São Vicente de Minas (83 a 84%) e serpentinitos da Fazenda Rui Barbosa (95 a 96%), exibindo, portanto, intervalo composicional mais amplo que o observado em olivinas do Domínio III.

Entre as olivinas do grupo Fazenda da Areia, os cristais da amostra FA-IV apresentam-se mais homogêneos em relação àqueles contidos na amostra CA10B. Nesta última, cristais de olivina inclusos em ortopiroxênios, em continuidade óptica com cristal externo, apresentam menor razão MgO/FeO em relação ao segundo, em função das reações de equilíbrio envolvendo estes minerais.

Olivinas presentes em serpentinitos da Fazenda Rui Barbosa exibem conteúdos elevados de MnO ($>0,38$). Estes conteúdos de MnO , sob altas razões $MgO/MgO+FeO$, são aqui considerados anômalos, não só em função das demais olivinas analisadas, como por ser raro o registro, na literatura, de olivinas com porcentagens superiores a 0,3% de MnO em cristais mais magnesianas que For_{70} (Deer et al., 1982b).

Comportamento de NiO e MnO nas olivinas analisadas

A porcentagem de NiO das olivinas analisadas é superior a porcentagem de MnO para a maioria dos litotipos. Constituem exceção as amostras de Arantina e serpentinitos da Fazenda Rui Barbosa, cujas porcentagens de MnO ultrapassam a porcentagem de NiO (relembrando aqui, que o corpo ultramáfico da Fazenda Rui Barbosa encontra-se mineralizado supergenicamente em óxido de manganês). Sendo Kd_{Ni} superior ao Kd_{Mn} em olivinas, razões entre estes elementos podem ser utilizados como indicadores de cristalização a partir de fusões ígneas. Evans (1977) observa que olivinas metamórficas raramente exibem $NiO > MnO$ e, segundo Fleet et al. (1977) razões NiO/MgO de olivinas em rochas do manto superior são inferiores àquelas observadas em olivinas recristalizadas a partir de magmas básicos e ultrabásicos de diversos ambientes.

Observa-se, também, na tabela VI.1, que as variações na porcentagem de MnO e NiO , em relação a núcleo/borda de olivinas da Fazenda Rui Barbosa e Arantina diferem das demais olivinas, com NiO crescente em direção às bordas, nas olivinas da Fazenda Rui Barbosa, e de distribuição irregular entre os cristais de Arantina.

Desta forma, os cristais de olivina da Fazenda Rui Barbosa são os que apresentam, em seu conjunto, aspectos mais singulares: alta razão $Mg/Mg+Fe$ associada a baixo NiO e alto MnO com queda de NiO em direção ao núcleo. Vance & Dungan (1977), descrevem olivinas com características semelhantes, geradas por metamorfismo termal de serpentinitos, com olivinas exibindo alta razão MgO/FeO ($For \approx 98\%$), baixos teores de NiO e alto MnO (0,04 e 1,5 %,

respectivamente). O conteúdo elevado de manganês, nestes cristais, seria conseqüente da fixação deste elemento na estrutura da olivina, preferencialmente à estrutura da serpentina, durante os processos iniciais de cristalização.

Como visto anteriormente, olivinas de ambas as rochas estão associada a paragênese essencialmente hidratadas, não apresentando relações de inclusões com outras fases silicatadas anídricas. O conjunto de dados indicam, portanto, uma formação essencialmente metamórfica para estas olivinas, sem indicações de reequilíbrio e/ou crescimento metamórfico de cristais originalmente ígneos.

TABELA VI.1

Comportamento de MnO e NiO em cristais de olivinas dos diversos corpos analisados

<i>Corpo Ultramáfico</i>	<i>Conteúdo de MnO</i>	<i>Conteúdo de NiO</i>	<i>Observações</i>
<i>Fazenda da Roseta</i>			
Espinélio Harzburgito	cresce em direção às bordas	decrece em direção às bordas	O grau de deformação e/ou recristalização
Websteritos	distribuição irregular	decrece em direção às bordas	dificulta as avaliações
<i>Serra da Garça</i>			
Ortopiroxenito	cresce em direção às bordas	decrece em direção às bordas	Variações evidentes
<i>Arantina</i>			
Olivina-clorita/anfibólio fels	cresce em direção às bordas	distribuição irregular	Variação evidente para MnO
<i>Fazenda Boa Vista</i>			
Espinélio-olivina ortopiroxenito	cresce em direção às bordas	decrece em direção às bordas	Grãos polygonizados
<i>Fazenda Rui Barbosa</i>			
Serpentinito	cresce em direção às bordas	cresce em direção às bordas	Variações evidentes
<i>Fazenda da Areia</i>			
Espinélio-olivina ortopiroxenitos	distribuição irregular	decrece em direção às bordas	Variação evidente para NiO

ORTOPIROXÊNIOS

Domínio III

A variação do conteúdo de En, entre os ortopiroxênios analisados do Domínio III, acompanha o *trend* observado para as olivinas, com os termos mais magnesianos, situados em ortopiroxenitos, seguidos pelos ortopiroxênios de rochas websteríticas e de espinélio harzburgitos, compreendidos na interface enstatita-bronzita (figura VI. 2):

<i>Corpo Ultramáfico</i>	<i>%En em opx</i>
<i>Serra da Garça</i>	
Ortopiroxenitos	89 a 91.5
<i>Fazenda da Roseta</i>	
Espinélio Harzburgitos	85 a 88
Rochas websteríticas	85.5 a 89

As análises via microsonda confirmam o zoneamento composicional, perceptível no estudo petrográfico, em ortopiroxênios contidos em algumas rochas websteríticas menos deformados, caracterizados por núcleos mais enstatíticos gradando para bordas bronzíticas. O enriquecimento em FeO, em direção às bordas, é acompanhado por aumento Al_2O_3 . Da mesma forma, neoblastos poligonizados exibem enriquecimento em Al_2O_3 e FeO em direção as bordas. As variações de Al_2O_3 podem ser relevantes para ortopiroxênios de uma mesma amostra, contidos em diferentes cortes, sendo as maiores variações observadas naqueles onde espinélios abundam.

No diagrama En *versus* Al_2O_3 (figura VI.3) é possível observar a variação da porcentagem de Al_2O_3 no consumo de ortopiroxênios de ambos os domínios. Nota-se que, entre as rochas websteríticas, variações amplas no conteúdo de alumina da amostra 11GB2 (mais deformada), contrastam com variações mais restritas nas amostras FR4 e 11GB. As composições modais de ambas as rochas (SO11GB e FR4) não diferem significadamente em termos de piroxênios, olivina e anfibólio. Os aspectos texturais são, entretanto, distintos, pois FR4 representa um exemplar típico dos tipos mais poligonizados, enquanto a amostra SO11GB exhibe características dos espécimes deformados, de poligonização incipiente, contendo espinélio, abundante na seção 11GB2, e raros na seção 11GB. Tais características indicam atuação dos mecanismos de deformação na redistribuição da alumina, de forma semelhante a descrita por Obata (1980) em

Figura VI.2 - Diagrama En-Wo-Fs (Poldervaart & Hess, 1951) para os ortopiroxênios analisados. Domínio III: (a) ortopiroxenitos, (b) espinélio harzburgitos, (c) rochas websteríticas. Domínio II: (d) espinélio-olivina ortopiroxenitos.

peridotitos deformados de Ronda, onde os menores gradientes de Al_2O_3 situam-se paralelo à direção de alongamento do ortopiroxênio.

A grande influência das condições de temperatura na solubilidade de alumina em ortopiroxênios, e a pouca suscetibilidade desta em relação à variação de pressão, é discutida por diversos autores e será abordada com maiores detalhes no item dedicado às relações geotermobarométricas. É indiscutível a importância da composição global do sistema (abundância de alumínio), na solubilidade deste elemento em piroxênios, como verificado por Nicholls (1977), através de experimentos realizados sob pressões entre 10 e 40 Kbar e temperaturas entre 1200 e 1350 °C. Contudo, é provável que entre as rochas websteríticas analisadas, a composição global exerceu pouca influência na solubilidade de alumina, visto estas rochas exibirem composições químicas bastante semelhantes, em termos de Al_2O_3 e demais óxidos (capítulo VI). Desta forma, as características da composição global não justificariam a abundância de espinélio na seção 11GB, ficando clara a importância da mobilidade do alumínio entre as fases associadas a estes espinélios. A linha pontilhada no diagrama %En versus Al_2O_3 (figura VI.3) indica o *trend* geral de ortopiroxênios alpinos submetidos a condições de equilíbrio variando de baixa a alta temperatura (Dick, 1977). Entre as rochas websteríticas, ortopiroxênios da amostra FR4, mais intensamente poligonizadas, exibem composições restritas, indicando reequilíbrio da assembléia, enquanto a variação composicional mais ampla no espécime SO11GB, registra desequilíbrios ao longo do caminho deformacional.

Entre os espinélio harzburgitos observou-se a mesma tendência de zoneamento composicional, constatada entre os cristais menos deformados. Neoblastos poligonizados, nestas rochas, exibem menor razão MgO/FeO e menor conteúdo de Al_2O_3 , que cristais de granulação grossa adjacentes. Cristais de ortopiroxênio com espinélios simplectíticos em suas bordas exibem enriquecimento em Al_2O_3 nesta direção. Em cristais contendo espinélios inclusos, sejam estes lamelares ou bem formados, a variação da razão MgO/FeO e do conteúdo de Al_2O_3 do ortopiroxênio dá-se em função da distância do espinélio incluído, com incremento da mesma e de alumina em suas proximidades. Uma das seções estudadas constitui um bom exemplo desta situação. Nesta, um cristal de ortopiroxênio apresentou inclusões poligonizadas de espinélio, de granulomeria fina, concentrados em apenas uma área do cristal, próxima a suas bordas. Neste caso, observou-se uma mudança abrupta no conteúdo de Al_2O_3 a partir da zona em que espinélio faz-se presente, de 1 para 3% nesta última. Este conjunto de características indica mobilidade acentuada de MgO e Al_2O_3 em ortopiroxênios no processo de formação de espinélios.

Figura VI.3 - Porcentagem de peso de Al_2O_3 versus porcentagem de En para o conjunto de ortopiroxênios analisados, confrontados com o *trend* de ortopiroxênios alpinos de alta a baixa temperatura (Dick, 1977).

Domínio II

Ortopiroxênios são observados em espinélio-olivina ortopiroxenitos da em São Vicente de Minas (Fazenda Bela Vista) e em Carrancas (Fazenda da Areia), com conteúdo de enstatita acompanhando a composição das olivinas associadas (figura VI.2d):

<i>Corpo Ultramáfico</i>	<i>%En em opx</i>
<i>Fazenda Bela Vista</i>	
Espinélio-olivina ortopiroxenito	83.0 a 85
<i>Fazenda da Areia</i>	
Espinélio-olivina ortopiroxenito	76.4 a 82

Entre as amostras de São Vicente de Minas e da Fazenda da Areia, as variações composicionais em ortopiroxênio não parecem ser afetadas pelas inclusões de espinélio. Em São Vicente de Minas, ortopiroxênios mostram enriquecimento em MgO na direção do núcleo, mas as variações de SiO₂, Al₂O₃ e FeO não obedecem a uma geometria simples. Entre ortopiroxênios da Fazenda da Areia, os cristais da amostra FAIV mostram variações sutis, mas coerentes para diversos grãos, caracterizadas por incremento da razão MgO/FeO em direção ao núcleo, com conteúdos de Al₂O₃ pouco variando. Estas características indicam para os espinélio inclusos uma origem independente de processos de mobilização de alumina no ortopiroxênio porfiroblástico.

Não foi observada, nestas rochas, relações entre a variação no conteúdo de cromo de ortopiroxênios e suas características texturais/morfológicas.

CLINOPIROXÊNIOS

Domínio III

Em apenas dois tipos litológicos foi constatada a presença de clinopiroxênio: em rochas websteríticas da Fazenda da Roseta e em espinélio hornblenditos do Morro do Corisco. No diagrama ternário MgSiO₃-CaSiO₃-FeSiO₃, ilustrado na figura VI.4a, observa-se uma maior heterogeneidade composicional dos clinopiroxênios da Fazenda da Roseta em relação aos cristais

Figura VI.4 - Diagrama En-Wo-Fs (Poldervaart & Hess, 1951) para os clinopiroxênios analisados. Domínio III: (a) rochas websteríticas, (b) espinélio hornblenditos.

do Morro do Corisco, com todas suas composições acima do campo dos diopsídios. Clinopiroxênios com composições semelhantes ($Wo > 50\%$), são listados por Deer et al. (1982a), sendo a grande maioria proveniente de *skarns*.

Semelhantes, em termos de porcentagem em enstatita, wollastonita e ferrossilita, os clinopiroxênios destas rochas exibem comportamentos distintos para TiO_2 e Al_2O_3 :

% de peso do óxido	Espinélio Hornblendito (Morro do Corisco)	Websterito (Fazenda da Roseta)
Al_2O_3	4.0 a 7.0 (maior porcentagem e maior intervalo)	% Al_2O_3 0.9 a 2.0
TiO_2	0.37 a 0.85 (maior porcentagem e maior intervalo)	% TiO_2 < 0.2

Clinopiroxênios em espinélio hornblendito exibem CaO e MgO crescente em direção às bordas dos cristais, enquanto o conteúdo de FeO e Al_2O_3 é oscilante, tornando-se maiores nas regiões de contato com espinélio e högbomita. A porcentagem de TiO_2 aumenta em direção às bordas, mas é reduzida quando esta encontra-se em contato com högbomita.

Nas rochas websteríticas, neoblastos poligonizados de clinopiroxênio não exibem variação composicional relevante. Clinopiroxênios poiquiloblásticos, contendo ortopiroxênios e anfibólios inclusos exibem boa homogeneidade em termos de CaO, MgO, Al_2O_3 e FeO.

ÓXIDOS

Domínio III

No Domínio III, espinélios são observados como constituintes principais em espinélio harzburgitos e espinélio hornblenditos. Compõem, em média, dez por cento da rocha nos harzburgitos (por vezes associados a ilmenitas) e, entre 20 a 25 % nos hornblenditos, onde aparecem associados a magnetitas e högbomitas. Espinélios são também observados em algumas rochas websteríticas, em porcentagens máximas de 8% , nas quais também ocorrem cristais isolados de magnetitas, sob a forma de mineral traço.

Rochas Websteríticas e Espinélio Harzburgitos (Fazenda da Roseta)

Espinélios presentes em rochas websteríticas da Fazenda da Roseta constituem ceylonitas (50 a 75% MgAl_2O_4 , segundo classificação baseada na razão Mg/Fe^{2+} (Tröger, 1979, Deer et al., 1992);

Esta razão é variável entre as amostras analisadas, caracterizando dois diferentes grupos:

Amostra FR4: 50 a 65% MgAl_2O_4 (ceylonita)

Amostra	seção 11GB:	55 a 65% MgAl_2O_4 (ceylonita)
SO11GB	seção 11GB2:	70 a 75% MgAl_2O_4 (ceylonita)

Espinélios presentes em espinélio harzburgitos constituem espinélio *sensu strictus* (78 a 80% MgAl_2O_4), com conteúdo irrelevante de Cr_2O_3 .

A figura VI.5 apresenta as composições destes minerais segundo R_2O_3 , ilustrando o caráter predominantemente aluminoso dos espinélios. Cristais presentes nas rochas websteríticas, assim como as magnetitas, distribuem-se na área externa ao *solvus* de Sack & Ghiorso (1991).

A figura VI.6 a,b,c ilustra as variações das razões $\text{Al}/\text{Cr}+\text{Al}+\text{Fe}^3$ ($\text{Al}\#$), $\text{Fe}^3/\text{Cr}+\text{Al}+\text{Fe}^3$ ($\text{Fe}^3\#$) e $\text{Cr}/\text{Cr}+\text{Al}+\text{Fe}^3$ ($\text{Cr}\#$), em função de $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}^2$ ($\text{Mg}\#$), para estes e demais espinélios do Domínio III.

Variações composicionais sistemáticas para espinélios dos harzburgitos e hornblenditos contrastam com o comportamento irregular daqueles contidos em rochas websteríticas submetidas a diferentes graus de deformação. Nos espinélio harzburgitos são detectadas diferenças de composição da borda para o núcleo, entre os cristais bem desenvolvidos, caracterizadas por queda das razões MgO/FeO e Fe_2O_3 em direção às bordas, seguindo os *trends* delineado nos diagramas da figura VI.6a. Nestas rochas, a grande maioria dos espinélios inclusos em olivinas e ortopiroxênios, exibe composições coincidentes com núcleos de cristais externos. Em muitos casos, as variações químicas parecem ter como fator condicionante as características do mineral associado ao espinélio, pois regiões próximas a contatos com ortopiroxênios são mais aluminosos que aqueles em contato com olivina.

Sabe-se que a composição dos espinélios é sensível a variação das condições físico-químicas do sistema, particularmente no que diz respeito à distribuição de cromo que, ao

contrário dos demais elementos predominantes (Mg, Fe, Al), não é constituinte essencial dos silicatos associados. Desta forma, em processos de fusão, cristalização ou de reequilíbrio, em que hajam poucas modificações na composição geral da rocha, a composição do espinélio pode modificar-se significativamente, transformando este mineral em indicador genético potencial.

As razões elevadas de Cr/Al em espinélio ígneos, por exemplo, seria justificada pelo comportamento distinto destes elementos em face a processos de cristalização fracionada, em que cromo é preferencialmente retido no sólido e, Al, no líquido. Os primeiros estudos correlacionando razões Cr/Al e Mg/Fe^{2+} de espinélios com diferentes grupos genéticos foram realizados por Irvine (1967), observando que altas razões Cr/Cr+Al ($> 50\%$), seriam compatíveis com espinélios gerados a partir de fusões ígneas, enquanto espinélios de rochas alpinas exibiriam ampla variação na razão Cr/Al em intervalo restrito de Mg/Fe^{2+} havendo superposição composicional entre os termos metamórficos mais cromíferos e espinélios ígneos. Desde então, a observação destas razões passou a ser comum em estudos envolvendo espinélios. Haggerty (1991) apresenta uma revisão literária dos trabalhos que discutem razões Cr/Al e Mg/Fe^{2+} como indicadores genéticos em xenólitos mantélicos observando que, em todos os casos descritos, estas são condicionadas pelo grau de depleção da rocha hospedeira. Contudo, a influência das condições metamórficas na composição de espinélios é discutida através de estudos realizados em rochas peridotíticas submetidas a diferentes graus de metamorfismo (Evans & Frost, 1975; Dick & Bullen, 1984; Frost, 1987; Sack & Ghiorso, 1991). Desta forma, embora ineficaz como indicador petrogenético nos moldes definidos por Irvine (1967), as composições destes minerais seriam modificadas ao longo de processos metamórficos.

A figura VI.6d ilustra variações de Cr/Cr+Al *versus* $Mg/Mg+Fe^{2+}$ para espinélios destas rochas. Neste, estão definidos os campos aproximados de ocorrência de espinélios presentes em rochas ultramáficas alpinas e rochas submetidas a metamorfismo regional (Jaques, 1981; Dick & Bullen, 1984; Coleman, 1977; Irvine, 1967, entre outros). Espinélios de harzburgitos destacam-se, neste diagrama, pelo conteúdo extremamente baixo de cromo. Espinélios da amostras 11GB e 11GB2 exibem boa correlação linear, apesar do vazio composicional existente os dois grupos, enquanto espinélios da amostra FR4, de composição semelhante a 11GB, posicionam-se à esquerda dos mesmos.

Entre as rochas websteríticas aqui estudadas, razões Cr/Al distintas para espinélios de diferentes porções de uma mesma amostra websterítica minimizam a importância da composição

Figura VI.5 - Diagrama R_2O_3 para espinélios da Fazenda da Roseta, Liberdade. *Solvus lines* segundo Sack & Ghiorso (1991), para espinélios coexistindo com olivinas de composição Fo₈₀ (linha contínua) e Fo₉₅ (linha tracejada).

global na distribuição destes elementos. Esta razão é condicionada pela associação mineral resultante de reequilíbrio localizado (capítulo VII).

Espinélio Hornblenditos (Morro do Corisco)

Nestas rochas, espinélios associados a högbomitas são classificados, de acordo com suas razões Mg/Fe^{2+} como espinélios *sensu strictus* (0,86 a 0,90 $Mg_2Al_2O_4$). Estes apresentam características químicas gerais semelhantes às observadas nos espinélios contidos em harzburgitos, distinguindo-se destes últimos, entretanto, por exibirem maior razão Mg/Fe^{2+} (figura VI.6)

As fórmulas estruturais calculadas para högbomitas associadas a estes espinélios (anexo 2), seguem a fórmula geral $R^{2+}_{(2-2x)}Ti_xR^{3+}_4O_8$, adotada por Angus & Middleton (1985), onde $R^{2+} = (Mg, Fe^{2+}, Zn, Mn, Co)$, $R^{3+} = (Al, Fe^{3+}, Cr)$ e $X \approx 0.25$, não tendo sido realizados recálculos para Fe^{3+} . Petersen et al. (1989) citam 20 diferentes propostas de fórmulas gerais para högbomitas, determinadas por diversos autores ao longo de quarenta anos, sendo a fórmula aqui descrita freqüentemente adotada na literatura.

Os diagramas da figura VI.7 ilustram os *trends* de variação entre Ti, Fe^{total} , Mg e Al, na estrutura das högbomitas analisadas neste trabalho. Estes são condizentes com a formação deste mineral através de trocas iônicas $Mg \leftrightarrow Ti$ e $Al \leftrightarrow Fe$, processo descrito na literatura como conseqüente de um segundo episódio metamórfico em rochas ricas em alumínio e titânio anteriormente submetidas a metamorfismo de alto grau (fácies anfibolito alto a granulito), sob alta fO_2 (Angus & Middleton, 1985 e Guieré, 1986, Ackermann et al., 1983; Petersen et al. 1989).

A presença constante de clinopiroxênio rico em titânio nas seções com ocorrência de högbomita, sugere este mineral como fonte de Ti, pois nas porções onde clinopiroxênio é ausente, espinélio é a única fase óxido. Um processo posterior, de recuperação do espinélio por exsolução de Ti e Fe^{3+} , é indicado pela existência de cristais de högbomita parcialmente convertido em espinélio e magnetita titanífera (pranchas 13c e 14a,b).

Desta forma, as características texturais e composicionais dos minerais associados aos espinélio hornblenditos indicam formação concomitante de espinélio, anfibólio e clinopiroxênio; transformação de espinélio em högbomita a partir de trocas iônicas, com incorporação de Ti proveniente de clinopiroxênio (durante o pico metamórfico?) e, posterior desestabilização de högbomita, com geração de espinélio e magnetita titanífera.

Figura Vi.6 - Espinelios do Domínio III: (a) $Al\# \times Mg\#$, (b) $Fe^{3+}\# \times Mg\#$, (c) $Cr\# \times Mg\#$, (d) $100Cr/Al+Cr \times 100Mg/Mg+Fe^{2+}$. Símbolos vazados: cristais inclusos em olivinas e/ou ortopiroxênios, símbolos cheios: cristais exclusivos. Em (d) campos de ocorrência de espinelios em diferentes ambientes (referências no texto).

Figura VI.7 - Variações de $Al \times Fe^{total}$, $Mg \times Ti$ e $Ti \times Fe^{total}$ por unidade de fórmula, em högbomitas de espinélio hornblenditos.

Domínio II

No Domínio II, espinélios são observados em espinélio-olivina ortopiroxenitos do corpo ultramáfico da Fazenda da Bela Vista (São Vicente de Minas) e na Fazenda da Areia (Carrancas), predominando, em ambas localidades, como inclusões de contornos irregulares em ortopiroxênios. Estes são pleonastos com composição variando de 37 a 47% MgAl_2O_4 para espinélio de São Vicente de Minas e de 37 a 47% MgAl_2O_4 , para espinélios da Fazenda da Areia.

Na figura VI.8 estes são representados no diagrama R_2O_3 . Espinélios da Fazenda da Areia exibem composições mais homogêneas, situadas na porção aluminosa definida pelo *solvus* de Sack & Ghiorso (1991), enquanto espinélios de São Vicente de Minas exibem enriquecimento de na razão Cr/Al , em direção ao núcleo. Este enriquecimento é acompanhado pelo incremento de Mg/Fe^{2+} (figura 9d), indicando diferentes condições de equilíbrio ao longo de sua formação.

As composições dos espinélios de São Vicente de Minas são semelhantes às aquelas observadas para espinélios das rochas websteríticas do Domínio III. Espinélios da Fazenda da Areia (Carrancas) diferenciam-se, contudo, dos demais espinélios aqui estudados (figura 9 a,b,c,d). São, relativamente, mais homogêneos, com menores razões Cr/Al e Mg/Fe^{2+} .

ANFIBÓLIOS

Domínio III

Rochas websteríticas (Fazenda da Roseta)

A classificação dos anfibólios contidos em rochas websteríticas e demais litotipos do Domínio III, segundo critérios de Leake (1978) é apresentada na figura VI. 10, no plano de projeção $\text{A}(\text{Na}+\text{K}) < 0.5$ e $\text{TiO}_2 < 0.5$.

Anfibólios presentes nas rochas websteríticas da Fazenda da Roseta exibem composição variando de hornblenda tremolítica (próxima a interface com hornblenda actinolítica) a hornblenda magnesiânica, com predominância dos espécimes mais magnesianos, como ilustrado na figura VI.10. Anfibólios de ambos os tipos são observados como cristais inclusos em ortopiroxênios e

Figura VI.8 - Diagrama R_2O_3 para espinélios do Domínio II. *Solvus lines* segundo Sack & Ghiorso (1991), para espinélios coexistindo com olivinas de composição Fo_{80} (linha contínua) e Fo_{95} (linha tracejada).

Figura VI.9 - Espinélios do Domínio II: (a) $Al\# \times Mg\#$, (b) $Fe^{3+}\# \times Mg\#$, (c) $Cr\# \times Mg\#$, (d) $100Cr/Al+Cr \times 100Mg/Mg+Fe^{2+}$. Símbolos vazados: cristais incluídos em olivinas e/ou ortopiroxênios, símbolos cheios: cristais excluídos. Em (d) campos de ocorrência de espinélios em diferentes ambientes (referências no texto).

Figura Vi.10 - Classificação dos anfibólios do Domínio III segundo critérios de Leake (1978). Símbolos vazados: cristais incluídos em ortopiroxênios, símbolos cheios: cristais excluídos.

como cristais externos, dispostos em mosaico. Observou-se que, nas seções delgadas contendo traços de espinélio exsolvido associado a anfibólio, a composição deste último passa de hornblenda magnesian a tremolítica nas áreas próximas ao espinélio, indicando a transferência de Al para o espinélio neoformado. As diferenças composicionais destes anfibólios, observadas em relação ao anfibólio cálcico fundamental, *tremolita* ($\text{ACa}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$), é ilustrada na figura VI.11. Nesta figura também são projetadas composições idealizadas de *edenita* ($\text{NaCa}_2\text{Mg}_5\text{Si}_7\text{AlO}_{22}(\text{OH})_2$, passível de ser geradas por adição de Na na posição A, e troca $\text{Al}^{\text{IV}} \leftrightarrow \text{Si}$) ao anfibólio fundamental, *pargasita* ($\text{NaCa}_2\text{Mg}_4\text{AlSi}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$, por adição de Na na posição A, e troca $\text{Al}^{\text{IV}} \leftrightarrow \text{Si}$ e $\text{Al}^{\text{VI}} \leftrightarrow \text{Mg}$ e *tschermakita* ($\text{Ca}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$, por dupla troca de $\text{Al}^{\text{VI}} \leftrightarrow \text{Mg}$ e $\text{Al}^{\text{IV}} \leftrightarrow \text{Si}$). Tais substituições são controladas por fatores termodinâmicos, sendo consideradas indicadoras potenciais de condições de pressão e temperatura, sendo admitido enriquecimento de alumínio com o aumento de grau metamórfico, havendo expansão do campo de estabilidade de Al sob temperaturas mais elevadas (Jenkins, 1983, Evans, 1982).

Como pode ser observado nestes diagramas, há semelhanças composicionais entre anfibólios inclusos e excluídos em ortopiroxênios, indicando reequilíbrio metamórfico em condições semelhantes para ambos os tipos. As maiores variações composicionais ocorrem em função da presença ou não de espinélio associado, que como visto anteriormente, tem sua origem associada aos anfibólios. Anfibólios da seção 11GB2 exibem comportamento diferenciado das amostras 11GB e FR4. Nesta, espinélio é fase abundante e substituições tschermakíticas/pargasíticas são melhor definidas em relação às demais amostras que exibem, por outro lado, maior componente pargasítico. Tais características podem ser observadas no diagrama Al^{IV} versus Al^{VI} (figura VI.11a), onde a variação conjunta de alumínio em ambas as posições está bem delineada para a mostra 11GB2, havendo dispersão dos pontos pertencentes às demais amostras. Os *trends* definidos para a amostra 11GB2 nestes diagramas refletem a formação de espinélios a partir da liberação do excesso de alumina dos anfibólios.

O diagrama $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}$ versus Al^{total} (figura VI.11d), indica razões constantes de Mg/Fe para os diversos anfibólios, não sendo, portanto, esta razão modificada pelo processo de formação de espinélio.

Serpentinitos (Fazenda da Roseta)

Anfibólios presentes nos serpentinitos da Fazenda da Roseta correspondem a tremolita (figura VI.10). Composições semelhantes foram observadas em análises de bordas e núcleos, com estes últimos sutilmente enriquecidos em FeO , Al_2O_3 e MgO e empobrecidos em CaO .

Clorita/Anfibólio Olivina Fels (Arantina)

Anfibólios presentes nesta rocha também constituem tremolita, exibindo, contudo, composição mais próxima a hornblenda magnesiana.

Ortopiroxenitos

Apenas uma análise foi realizada para determinação da composição do anfibólio ortorrômbico associado aos ortopiroxenitos da Serra da Garça. Segundo classificação de Leake (1978), esta situa-se na interface antofilita magnesiana - gedrita magnesiana. O sinal óptico positivo observado para este mineral no estudo petrográfico torna, contudo, mais apropriado classificá-lo como antofilita magnesiana.

Espinélio Hornblendito (Morro do Corisco)

Os anfibólio que compõem os espinélios hornblenditos do Morro do Corisco contrastam com aqueles contidos nas rochas websteríticas por sua homogeneidade composicional, como pode ser observado nas figuras VI.10 e VI.12.

Figura VI.11 - Diagramas (a) $\text{Al}^{\text{IV}} \times \text{Al}^{\text{VI}}$, (b) $(\text{Na}+\text{K})_{\text{A}} \times \text{Al}^{\text{IV}}$ e (c) $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}^{2+} \times \text{Al}^{\text{total}}$ para anfibólios de rochas websteríticas e espinélio harzburgitos do Domínio III. Símbolos vazados: cristais inclusos em ortopiroxênios, símbolos cheios: cristais excluídos.

Figura VI.12 - Diagramas (a) $Al^{IV} \times Al^{VI}$, (b) $(Na+K)_A \times Al^{IV}$ e (c) $Mg/Mg+Fe^{2+} \times Al^{total}$ para anfíbios de espinélio hornblenditos do Domínio III.

Domínio II

Espinélio-Olivina Ortopiroxenito (Fazenda da Areia)

Anfibólios presentes nas rochas piroxeníticas da Fazenda da Areia exibem composições variando de hornblenda actinolítica a hornblenda magnesiânica, com uma única amostra no campo de hornblenda tremolítica, na interface desta com hornblenda actinolítica (figura VI.13), segundo classificação de Leake (1978). Anfibólios da amostra CA10b exibem alinhamento direccionado para hornblendas tschermakíticas, enquanto anfibólios da amostra FA-IV, apresentam composições mais homogêneas, de carácter mais tremolítico. Este comportamento divergente entre anfibólios destas amostras é, também, ilustrado nos diagramas da figura VI.14, onde observa-se que a composição aluminosa dos anfibólios da amostra CA10b decorre do maior conteúdo de alumínio na posição tetraédrica (Al^{IV}), não sendo caracterizadas substituições tschermakíticas simples, como demonstrado no diagrama Al^{IV} versus Al^{VI} . De uma forma geral a variação composicional dos anfibólios da seção CA10b indicariam diferentes condições de equilíbrio, sob maiores porcentagens de SiO_2 , em relação àqueles presentes na amostra FA-IV, composicionalmente mais homogêneos.

Espinélio-Olivina Ortopiroxenito (São Vicente de Minas)

Anfibólios cálcicos do corpo piroxenítico da Fazenda Bela Vista enquadram-se no campo das hornblendas tremolíticas e seu comportamento assemelha-se ao observado para anfibólios da amostra FA-IV, da Fazenda da Areia, como pode ser constado nas figuras VI.13 e VI.14.

Figura VI.13 - Classificação dos anfibólios do Domínio II segundo critérios de Leake (1978). Símbolos vazados: cristais incluídos em ortopiroxênios, símbolos cheios: cristais excluídos.

CLORITAS

Foram determinadas composições químicas de cloritas dos seguintes espécimes:

Domínio	Rocha	Corpo Ultramáfico	Minerais Associados
III	Espinélio Harzburgito	Fazenda da Roseta	ortopiroxênio, olivina, espinélio
	Clorita/anfibólio olivina fels	Arantina	olivina
	Ortopiroxenito	Serra da Garça	ortopiroxênio
II	Espinélio-olivina ortopiroxenito	Fazenda Bela Vista (S. V. de Minas)	anfibólio, espinélio

Segundo metodologia de Hey (1954), baseada no número de Si na unidade formular, cloritas de São Vicente de Minas, constituem sheridenitas e da Serra da Garça, clinocloro, enquanto cloritas presentes em espinélio harzburgitos e em clorita/anfibólio olivina fels, exibiriam composições variando entre estes dois termos (figura VI.15). De acordo com a nomenclatura simplificada, adotada por Deer et al. (1992), este conjunto de cloritas magnesianas, é classificado, indistintamente, como clinocloros.

Nos espinélio harzburgitos, as características texturais indicam a formação de clorita através de reações do tipo $\text{olivina} + \text{ortopiroxênio} + \text{espinélio} + \text{H}_2\text{O} = \text{Mg-clorita}$. Estudos de Jenkins & Chernosky (1986), demostram que a porcentagem de alumina na estrutura do mineral, segundo a fórmula $(\text{Mg}_{12-x}\text{Al}_x)(\text{Si}_{8-x}\text{Al}_x)\text{O}_{20}(\text{OH})_{16}$ aumenta com o incremento do grau metamórfico, de um valor mínimo igual a 2 a um máximo de 2,4, no ponto de ruptura do mineral. Embora a presença de Ti e Cr, compartilhando a posição octaédrica de alumínio e a pequena porcentagem de Fe^{2+} substituindo Mg, afastem as cloritas aqui analisadas da fórmula idealizada, a saturação de alumínio na posição tetraédrica nos espinélio harzburgitos e espinélio-olivina ortopiroxenitos (anexo 2) indicam condições próximas às requeridas a quebra do mineral.

Cloritas associadas aos ortopiroxenitos, por outro lado, exibem valores de Al^{IV} compatíveis com condições metamórficas mais brandas, enquanto, em Arantina, cloritas exibem Al^{IV} crescente em direção ao núcleo dos cristais, com ampla variação composicional marcando diferentes condições de equilíbrio.

Figura Vi.15 - Classificação das cloritas analisadas segundo critérios de Hey (1954)

CAPÍTULO VII

METAMORFISMO

INTRODUÇÃO

De uma forma geral, o conjunto de corpos ultramáficos apresenta a seguinte sequência evolutiva:

O estudo petrográfico demonstrou que estas etapas são registradas de forma distinta entre os diversos litotipos envolvidos. Por este motivo, optou-se pela análise individual das transformações perceptíveis em cada espécime, com integralização dos resultados ao final do capítulo.

Estimativas das condições reinantes de temperatura, nas diversas associações, foram obtidas com base em geotermômetro de Gasparik & Newton (1984), Wells (1977), Sack & Ghiorso (1991) e com a aplicação do programa TWQ, desenvolvido por Berman (1991), cujos princípios são descritos a seguir.

O geotermômetro apresentado por Gasparik & Newton (1984), aplicado aos espínélio harzburgitos, baseia-se no conteúdo de Al_2O_3 em ortopiroxênios coexistentes com olivina e espínélio. Este foi desenvolvido para o sistema $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, assumindo solução sólida ideal entre os componentes do ortopiroxênio, definindo a seguinte condição de equilíbrio:

$$T (^{\circ}\text{C}) = 3857\text{K} + 443 + P (\text{Kb}),$$

sendo o cálculo de K fornecido pela expressão de Fujii (1976):

$$K = \frac{(X_{\text{Al}}^{\text{M1}})_{\text{opx}} \cdot (X_{\text{Mg}}^{\text{M2}})_{\text{ol}}^2}{(X_{\text{Mg}}^{\text{M1}})_{\text{opx}} \cdot (X_{\text{Mg}}^{\text{A}})_{\text{sp}} \cdot (X_{\text{Al}}^{\text{B}})_{\text{sp}}^2},$$

com as seguintes sugestões para cálculo de $(X_{\text{Al}}^{\text{M1}})_{\text{opx}}$ e $(X_{\text{Mg}}^{\text{M1}})_{\text{opx}}$:

$$(X_{\text{Al}}^{\text{M1}})_{\text{opx}} = X_{\text{MgTs}} + \text{Na}, \text{ com } X_{\text{MgTs}} = (\Sigma \text{Al} - \text{Na} - 2\text{Ti} - \text{Cr}) / 2$$

$$(X_{\text{Mg}}^{\text{M1}})_{\text{opx}} = X_{\text{En}} + \text{Ca} + \text{Mn}, \text{ com } X_{\text{En}} = \text{Mg} - \text{Ca} - \text{Cr} - \text{Mn} - X_{\text{MgTs}}$$

O geotermômetro de Wells (1977) foi aplicado exclusivamente às rochas websteríticas, nas quais clino e ortopiroxênio aparecem associados e tem como base a equação:

$$T (^{\circ}\text{C}) = \frac{7341}{3,355 + 2,44 X_{\text{Fe}}^{\text{opx}} - \ln K} \quad \text{Sendo } K = \frac{(X_{\text{Mg}}^{\text{M1}} \cdot X_{\text{Mg}}^{\text{M2}})_{\text{cpx}}}{(X_{\text{Mg}}^{\text{M1}} \cdot X_{\text{Mg}}^{\text{M2}})_{\text{opx}}}$$

O termômetro de Sack & Ghiorso (1991) tem como base trocas iônicas de Mg e Fe entre olivinas e espinélios. Neste trabalho, os autores definem curvas de imiscibilidade para os espinélios que, confrontadas com as composições de olivinas coexistentes, indicam as condições de equilíbrio do par.

O programa TQW (Thermobarometry with Estimation of Equilibrium State), de Berman (1991), calcula curvas de equilíbrio com base na associação mineralógica, considerando as composições químicas e propriedades de soluções sólidas dos diferentes minerais associados na rocha. O cruzamento das curvas calculadas, em um diagrama P-T, indicariam as condições favoráveis ao equilíbrio da associação fornecida.

Infelizmente, as reações de equilíbrio envolvendo assembléias ultramáficas, como as aqui descritas, são dependentes, quase que exclusivamente, de variações das condições de temperatura, processando-se sob condições extremamente variadas de pressão. Desta forma, as

estimativas das condições de pressão serão feitas considerando o campo de estabilidade das associações minerais dos litotipos estudados.

As equações discutidas neste capítulo consideram os membros extremos, magnesianos, dos minerais envolvidos, devendo ficar subentendida a possibilidade de ocorrerem soluções sólidas, como as observadas nos espécimes naturais aqui estudados.

As seguintes abreviaturas serão utilizadas, neste capítulo:

Anor - Anortita
Ant - Antofilita
Al-anf - Anfibólio aluminoso
Bruc - Brucita
Cd - Cordierita
Cl - Clorita
En - Enstatita
Di - Diopsídio
Fo - Forsterita
Gr - Granada
Mgs - Magnesita
Tc - Talco
Tre - Tremolita
Tsh - Tschermackita
Serp - Serpentina
Sp - Espinélio

As curvas de equilíbrio no sistema $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (CMASH), $\text{MgO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (MSH) e $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (MASH) ilustradas nos diversos diagramas foram estabelecidas de acordo com trabalhos de Evans (1977), Chernosky et al. (1985), Obata & Thompson (1981), Jenkins (1983), e Schmädicke & Evans (1997), que apresentam boa concordância entre si e sintetizam informações desenvolvidas em estudos prévios destes sistemas.

METAMORFISMO NO DOMÍNIO III

Rochas Websteríticas (Fazenda da Roseta)

Como visto no capítulo IV, as rochas websteríticas da Fazenda da Roseta, com sua diversidade textural e modal, preservam registros de diferentes etapas da evolução metamórfica a que foram submetidas as rochas ultramáficas do Domínio III, e que abrangem, de forma generalizada:

- Formação de anfibólios cálcicos a partir de um protolito cujas características modais e texturais são desconhecidas;

- Desidratação marcada por blastese de piroxênios;

- Processos de reequilíbrio textural (deformação e poligonização);

As reações de equilíbrio no sistema $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (CMASH), que representa de forma adequada a composição destas rochas, são ilustradas na figura VII.1.

Como dito anteriormente, as características modais/texturais que antecedem a formação do anfibólio cálcico são desconhecidas e, portanto, as transformações metamórficas deste litotipo serão discutidas a partir dos exemplares que apresentam textura mais primária (no sentido evolutivo). Na suite websterítica, tais texturas são representadas por amostras que contêm ortopiroxênios fortemente zoneados, livres de inclusões, e anfibólios cálcicos. A amostra ilustrada na prancha 1d onde anfibólio e ortopiroxênio zoneado coexistem em equilíbrio representa esta situação. Nesta, anfibólio, como único representante da fase cálcica, indica que o equilíbrio processou-se sob condições de instabilidade de anortita ou clinopiroxênio, definindo limites para as condições inferiores de pressão e superiores de temperatura através das reações (figura VII.1):

A ausência de clorita, nestas rochas, também restringe o campo de ocorrência desta associação, de acordo com a reação:

A existência, em algumas amostras, de clinopiroxênios parcialmente substituídos por anfibólios, em contato com ortopiroxênios zoneados (prancha 3c) representaria condições anteriores a este equilíbrio, sob as quais clinopiroxênio persistia. Do ponto de vista metamórfico, entretanto, esta informação é pouco relevante, em vista de serem desconhecidas as fases anteriormente associadas a este mineral.

O crescimento de piroxênios, em etapa posterior, ocorreria quando fosse atingido o limite termal máximo do anfibólio, em presença de olivina. Para o componente puro tremolita, este estaria em torno de $810 \pm 30^\circ\text{C}$, sendo definido pela reação 2. A presença do componente alumina no sistema, entretanto, expande o campo termal do mineral até um extremo representado pela curva de equilíbrio da reação:

Deve-se observar que, enquanto a reação 2 determina a formação de clino e orto piroxênio através do consumo de olivina e anfibólio, por incremento de temperatura, este incremento determina queda do conteúdo de espinélio, através da incorporação de alumina, sob a forma de componente tchermackítico em piroxênios e anfibólios, em trocas do tipo:

A ausência de clinopiroxênios em seções onde espinélio é abundante confirmam estes processos ao longo do metamorfismo progressivo, ou seja, o avanço sobre o campo de estabilidade do clinopiroxênio paralelamente a queda do conteúdo de espinélio. Espinélios desassociados de olivina (i.e. inclusos em ortopiroxênio) ficariam preservados durante este incremento metamórfico.

A presença de anfibólios, em todas as rochas websteríticas analisadas indica o limite termal definido pela reação 4 não foi rompido. O caminho percorrido ao longo deste campo é entretanto, marcado pelas variações composicionais dos anfibólios, gradativamente mais aluminosos, e pelas trocas tchermackíticas em ortopiroxênios.

Blastos não deformados de ortopiroxênios, que evoluem para tipos deformados e recristalizados indicam que o processo de blastese iniciou-se em etapa anterior ao processo de

deformação. Inclusões de anfibólios orientados em piroxênios, em algumas amostras, indicam que o processo de blastese dos piroxênios prosseguiu sob condições dinâmicas. Relações complexas entre bordas de orto e clinopiroxênios, observadas em algumas amostras podem advir desta fase de crescimento simultâneo de ambos os minerais.

As características composicionais dos minerais presentes em amostras texturalmente mais equilibradas (maior homogeneidade química, menores gradientes tschermackíticos), indicam reequilíbrio sob temperaturas inferiores ao pico metamórfico.

É possível que alguns espinélios vermiculares tenham se desenvolvido durante a queda de temperatura, após o pico metamórfico, por exsolução do componente tschermackítico de anfibólios, em processo reverso à reação 5.

Clorita, presente em algumas amostras ao redor de opacos, ilustram uma fase de hidratação tardia.

Com base nestes dados, um caminho metamórfico hipotético é delineado na figura VII.1, tendo como ponto de partida a textura "primitiva" das rochas websteríticas.

É possível afirmar que, ao longo dos processos metamórficos aqui discutidos, as condições de pressão permaneceram acima do campo de estabilidade de anortita, pois a assembléia $\text{Cpx} + \text{Opx} + \text{Sp} + \text{Ol} + \text{Anf}$ é restrita ao intervalo de pressão entre 7 e 12 Kb, fora do qual seus minerais reagem formando associações com clorita, ou anortita:

O termômetro de Wells (1977) forneceu temperaturas em torno de 800 °C, quando consideradas composições de cristais desassociados em uma mesma amostra. Cristais adjacentes de clino-ortopiroxênios apresentaram composições em desequilíbrio, fora do campo de miscibilidade (800-1700 °C) para o qual a equação de Wells é calibrada.

Sachtblat & Seck (1981) observam que a fórmula de Wells não considera o controle exercido por Al e Cr na distribuição de $X_{\text{Mg}}^{\text{M1}}$ em ortopiroxênio, pois temperaturas mais elevadas

Figura VII.1 - Curvas de equilíbrio de reações metamórficas no sistema CMASH (H_2O não é representado), com proposta de caminho evolutivo para rochas websteríticas do Domínio III, a partir de sua textura mais primitiva

aumentam a solubilidade de alumina no mineral, provocando, também, o aumento de X_{Mg}^{M1} , contrariamente ao previsto pela fórmula de Wells, onde o incremento desta fração molar provoca queda na temperatura.

O geotermômetro de Sack & Ghiorso (1991) não apresentou resultados satisfatórios para estas rochas, indicando, da mesma forma, condições de desequilíbrio para o par olivina-espinélio.

Espinélio Hornblenditos (Morro do Corisco)

Espinélios hornblenditos associados ao Morro do Corisco também exibem composição química adequada a representação no sistema CMASH.

Como visto no capítulo V, suas relações texturais indicam equilíbrio concomitante de espinélio, anfibólio e clinopiroxênio, com desenvolvimento posterior de högbomita, poiquilblástica sobre clinopiroxênio.

A formação destes minerais, a partir de uma assembléia contendo plagioclásio, é possível através da reação:

compatível com a geração da associação atual, a partir de rocha composta essencialmente por anortita e olivina, o que teria lugar sob temperaturas superiores a 850 °C. A curva de equilíbrio desta reação é representada na figura VII.2, juntamente com a curva que define o limites de pressão da assembléia anortita + forsterita, sob condições anídricas, de acordo com a reação:

A formação da rocha a partir de um produto contendo anortita satisfaria, contudo, as condições descritas na literatura como necessárias a formação de högbomita, ou seja, superposição de dois episódios metamórficos de alto grau, sob condições anfíbolito alto/granulito (Angus & Middleton, 1985; Ackermanf et al., 1983; Petersen et al. 1989; Grew et al., 1987). Por outro lado, a reação $\text{An} + \text{Fo} = \text{Di} + \text{En} + \text{Sp}$ oferece uma solução bem equacionada para a

formação desta rocha, considerando as características de sua composição química, que além de admitir a formação de olivina e anortita como únicos minerais normativos (48% anortita e 32% forsterita, em Almeida, 1992), preserva padrões de distribuição de elementos transicionais tipicamente ígneos, o que seria improvável em uma rocha evoluída a partir de um litotipo formado, essencialmente, por clorita.

A presença de *kink bands* em clinopiroxênios registra processos de deformação posterior ao desenvolvimento da reação 6.

A associação constante de högbomita e clinopiroxênio e a ausência deste último mineral em cortes onde högbomita é fase ausente, mostra uma relação de dependência existente entre estes minerais, com a geração de högbomita controlada pela presença de clinopiroxênio. A formação de högbomita, por processos de trocas iônicas $Mg \Leftrightarrow Ti$ e $Al \Leftrightarrow Fe$ entre clinopiroxênios e espinélios, é, como discutido no capítulo V, atribuída a um segundo episódio de metamorfismo progressivo (Kd_{Ti}^{cpx} diminui com o incremento de temperatura), de rochas aluminosas anteriormente submetidas a metamorfismo de alto grau (Angus & Middleton, 1985 e Guieré, 1986; Ackermant et al., 1983; Petersen et al. 1989).

As texturas também indicam uma etapa posterior, de metamorfismo regressivo, onde högbomita seria desestabilizada, promovendo a recuperação de espinélio, que aparece associado a ti-magnetita.

O desenvolvimento de clorita registra o equilíbrio tardio desta rocha, sendo o mineral gerado através de reações do tipo (Berman, 1991):

10

O caminho metamórfico segundo esta reação é esboçado na figura VII. 2. a partir da associação clinopiroxênio + espinélio + anfibólio acompanha o *trend* traçado para as rochas websteríticas. As linhas pontilhadas definem a entrada no campo de estabilidade desta associação a partir de duas hipótese, a primeira envolvendo um protólito com clorita e, a segunda, com plagioclásio. Sendo admitida a primeira hipótese, ou seja, a formação da associação original através da quebra de clorita, o traçado geral do caminho metamórfico seria mantido.

É preciso recordar que esta rocha, assim como os espinélio harzburgitos presentes na Fazenda da Roseta e os clorita/anfibólio olivina fels de Arantina exibem em seu conjunto, características químicas e modo de ocorrência que descartam a possibilidade de derivação linear

Figura VII.2 - Proposta de trajetória percorrida por espinélio hornblenditos do Domínio III, no sistema CMASH.

relativamente às litologias contidas nos corpos ultramáficos da Fazenda da Roseta, Morro do Corisco e Serra da Garça (capítulos IV e VI).

Clorita/anfibólio Olivina Fels (Arantina)

No corpo ultramáfico mais próximo a Arantina, constituído por clorita/anfibólio olivina fels, são observadas olivinas prismáticas, de origem metamórfica, com a inclusão de olivinas de hábito irregular em olivinas prismáticas sugerindo textura granular para o espécime pretérito. Nestas rochas, a ausência de inclusões de anfibólios nos porfiroblastos de olivina, envoltos por matriz tremolítica, sugere formação concomitante destes minerais, possível através das reações:

A composição tremolítica do anfibólio indica formação sb temperaturas inferiores a 800 °C, segundo a reação 2 (figura VII.3)), já próximo ao campo de estabilidade de clorita, com a qual olivina aparece em equilíbrio.

Rochas com estas características preservam a associação de mais alto grau do conjunto Arantina-Andrelândia, cujos demais exemplares guardam registros de etapas posteriores de hidratação, muitas vezes com participação de componentes das encaixantes, como atestam as diversidades texturais/modais, observadas em pequena escala.

Espinélio Harzburgitos (Fazenda da Roseta)

A presença de espinélio associado a ortopiroxênio e olivina, nestas rochas, define limites de pressão entre 8 e 20 Kb (O'Hara, 1967, Green & Ringwood, 1970), fora dos quais a fase aluminosa seria representada, respectivamente, por plagioclásio e granada.

Figura VII.3 - Curvas de equilíbrio de reações metamórficas no sistema CMASH, com trajetória indicada para a formação de clorita/anfibólio olivina fels de Arantina, Domínio III.

Experimentos realizados por Obata (1976), demonstram que a solubilidade de Al_2O_3 em ortopiroxênio associado a espinélio aumenta com o incremento de temperatura, não sendo influenciado por variações das condições de pressão em temperaturas inferiores a 1000°C .

A expulsão da alumina da estrutura do ortopiroxênio, em função da queda de temperatura, e conseqüente formação de espinélio, é evidenciada texturalmente nos harburgitos aqui estudados, onde espinélio simplectítico é observado na região de contato entre ortopiroxênio e olivina. Esta relação é expressa pelo equilíbrio (MacGregor, 1974):

onde o valor de x reflete as condições físicas do sistema, permitindo a utilização desta assembléia como indicador geotermométrico, não sendo possível, contudo, determinar a temperatura de cristalização dos ortopiroxênios anterior ao processo de exsolução de alumina.

Para as rochas aqui estudadas, as curvas de equilíbrio de Berman (1991) para esta reação, indicam temperaturas variando entre 400 e 550°C , em associações com ortopiroxênio, olivina e espinélios simplectíticos e entre 550 e 750°C , em associações com espinélios granulares.

Geotermômetros de Gasparik e Newton (1984), aplicados às mesmas associações fornecem temperaturas em torno de 820°C para espinélios granulares e, em torno de 560°C , para espinélios simplectíticos.

As diferenças de temperaturas observadas por ambos os termômetros, entre associações com espinélios simplectíticos e granulares, confirmam a hipótese de resfriamento lento, com os primeiros cristais adquirindo formas compactas e, os mais tardios apresentado texturas simplectíticas, já discutida no capítulo III.

A presença de clorita poiquiloblástica nas regiões de contato entre ortopiroxênio, olivina e espinélio, sugere hidratação sob condições inferiores de temperatura, segundo a reação que define o limite máximo de ocorrência deste mineral no sistema MASH, segundo a reação (O'Hara, 1967; Evans, 1977):

Sendo o teor de alumina da clorita, determinado por x (entre 1 e 1,2), crescente com o aumento de temperatura (Jenkins & Chernosky, 1986), esta reação define um geotermômetro

que, quando aplicado à rochas aqui estudadas fornecem temperaturas próximas a 600 °C (*database* de Berman, 1991).

Assim como entre as rochas websteríticas, o geotermômetro de Sack & Ghiorso (1991) não apresentou resultados satisfatórios para os espinélio harzburgitos, indicando condições de desequilíbrio para o par olivina-espinélio.

O caminho metamórfico delineado na figura VII.4 para estas rochas considera um ponto hipotético, pouco acima das temperaturas máximas fornecidas pelos termômetros de Gasparik & Newton (1984) e Berman (1991). A queda de temperatura é determinada pelo processo contínuo de exsolução de alumina (gerando espinélio através da reação 11) e pela formação de clorita nas porções em que H₂O teve acesso. As temperaturas mais baixas, obtidas nas associações com espinélio simplectítico, registram as condições tardias de equilíbrio.

A presença de anfibólio cálcico em uma das amostras, embora inferior a 1%, demonstra que a rocha foi submetida as condições de equilíbrio deste mineral, em processo anterior a formação de clorita. Bordas de olivinas que englobam ortopiroxênios adjacentes, nesta rocha, devem ter se desenvolvido nesta fase, através da reação 4.

Rochas com Antofilita (Serra da Garça)

Na região da Serra da Garça, há predominância de rochas constituídas por antofilita. O registro de mais alto grau, neste conjunto, é dado por ortopiroxenitos que ocorrem como núcleos rochosos relictos. O baixo conteúdo de Al₂O₃ em ortopiroxênios e a ausência de espinélio, nestas rochas, indicam crescimento de ortopiroxênio no campo de estabilidade de clorita, de forma semelhante a sugerida por Smith & Riter (1997) para ortopiroxênios pobres em alumina, em xenólitos peridotíticos do Grande Canyon. Tal formação “precoce” de enstatita, no campo da clorita, desenvolve-se em função das características peculiares do sistema químico, pobre em cálcio, através das reações (Greenwood 1963, 1971):

Figura VII.4 - Curvas de equilíbrio de reações metamórficas no sistema MASH (traçado escuro) sobreposto ao sistema CMASH (traçado leve), com caminho hipotético percorrido por espinélio harzburgitos do Domínio III, em uma de suas etapas evolutivas.

Esta hipótese, de crescimento concomitante entre ortopiroxênio e clorita, seria justificada, não apenas pela pobreza em alumínio do piroxênio, mas pelas reações texturais complexas entre estes dois minerais que, sob este aspecto, podem ser interpretadas como resultantes de intercrescimento (i.e. prancha 15e).

No sistema $\text{MgO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$, a formação de antofilita decorre de processos intermediários da transformação talco-piroxênio. Estes desenvolvem-se sob intervalos restritos de temperatura, sob condições de pressão inferiores a 8 Kb, para a reação 13 e inferior a 11 Kb para a reação 14, como ilustrado na figura VII.5, de acordo com as reações (Greenwood 1963, 1971):

Nos ortopiroxenitos, antofilitas sobrecrescem ortopiroxênios, caracterizando uma fase de crescimento posterior, onde o limite termal da clorita não foi ultrapassado. As características texturais indicam que o anfibólio observado representa uma fase de metamorfismo retrogressivo. Desta forma, a formação da associação clorita + piroxênio teve lugar sob condições acima do campo de estabilidade da antofilita, pois o mineral não foi preservado durante o metamorfismo progressivo.

O caminho proposto para esta seqüência evolutiva, no sistema $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (MASH), é ilustrado na figura VII.5, cujas curvas são traçadas segundo dados de Chernosky et al. (1985). Cloritas presentes nas demais ocorrências, associadas a antofilita, com características texturais diversas, teriam seu desenvolvimento ao longo do caminho retrogressivo. Olivinas, de granulometria fina, associada a talco, em algumas amostras, também estaria associadas a esta fase, sendo geradas pela quebra de antofilita segundo a reação 15.

Desta forma, a presença de rochas maciças, constituídas por antofilita, na região da Serra da Garça, registraria intervalo restrito de temperatura, entre 650 e 800 °C. O limite máximo de pressão deste mineral, segundo Greenwood (1971), poderia estender-se acima de 20 Kb, sob temperaturas superiores a 600 °C, quando ocorre sua quebra segundo a reação:

Figura VII.5 - Curvas de equilíbrio de reações metamórficas no sistema MSH e MASH, com caminho proposto para a formação de ortopiroxenitos e rochas com antofilita da região da Serra da Garça, a partir do campo de estabilidade da associação Opx-Clorita

Serpentinitos (Fazenda da Roseta e Morro do Corisco)

Serpentinitos, como litologia predominante no corpo ultramáfico do Morro do Corisco e associado a piroxenitos na Fazenda da Roseta, registram os estágios tardios de hidratação destes corpos. A ausência de fabricas orientadas, nestas rochas, com preservação de textura *mesh*, indicam que estes processos desenvolveram-se sob condições estáticas.

A presença de olivinas, orto e clinopiroxênios relictos indicam um produto original sob condições de estabilidade desta associação, próximas as estimadas para as rochas websteríticas.

A serpentinização completa de rochas formadas por olivinas e ortopiroxênios ocorrem entre 350 e 700 °C (Johannes, 1969; Evans, 1977), segundo as reações, ilustradas na figura VII.6:

A presença de tremolita com inclusão de olivinas nas amostras da Fazenda da Roseta indica que a temperatura inferior de estabilidade de tremolita, em presença de olivina, não foi atingida (entre 450 e 500 °C), abaixo da qual estes minerais reagem com H₂O, de acordo com a reação (figura VII.6):

Figura VII.6 - Curvas de equilíbrio de reações metamórficas no sistema CMASH indicando condições mínimas de temperaturas em serpentinitos do Domínio III.

METAMORFISMO NO DOMÍNIO II

Espinélio-Olivina Ortopiroxenitos (Fazenda da Areia e Fazenda Bela Vista)

Nas rochas ortopiroxeníticas do Domínio II, as características modais e texturais que antecedem a formação de anfibólio cálcico e espinélio não podem ser determinadas. A presença, em algumas amostras, de ortopiroxênios inclusos em porfiroblastos de ortopiroxênios sugerem textura granular para o espécime pretérito.

O metamorfismo progradante que desenvolve-se em fase posterior a formação da associação anfibólio-espinélio, caracterizado por blastese de piroxênios, não atinge o campo de estabilidade de clinopiroxênio, mineral ausente nas rochas estudadas do Domínio II.

Ortopiroxênios, nestas rochas, exibem composição relativamente homogênea, sem evidências de trocas tschermackíticas com os espinélios englobados, o que indica equilíbrio sob condições de temperatura inferiores às de cristalização dos piroxênios descritos no Domínio II, nos quais tais substituições são observadas.

O crescimento de ortopiroxênio a partir de uma associação contendo anfibólio, sem formação de clinopiroxênio poderia ser obtida a partir da reação (Berman, 1991)

Esta reação implicaria em processo de blastese olivina paralelamente a ortopiroxênio, o que poderia ocorrer no estágio inicial de desidratação. Inclusões de olivinas em ortopiroxênios, comuns na Fazenda da Areia indicam, entretanto, blastese de ortopiroxênio sobre cristais de olivina.

Mancini et al. (1996), considera a reação entre anfibólio cálcico e olivina como responsável pelo crescimento de piroxênios com texturas semelhantes àquelas descritas para estas rochas:

Neste caso, torna-se necessário uma redistribuição do componente cálcico entre os anfibólios remanescentes. Esta reação aproxima-se da solução proposta por Laird (1980) para o crescimento de ortopiroxênio, em situação semelhante:

com o lado direito, representando maior grau metamórfico, com incremento gradual de $X^{\text{Al}}_{\text{Anf}}$, e maior porcentagem de ortopiroxênio paralelo a queda de olivina e espinélio.

Nestes casos, as maiores transformações composicionais seriam observadas em anfibólios, o que não é constatado entre as rochas piroxeníticas deste Domínio, em função da eficiência do reequilíbrio a que foram submetidas como pôde ser comprovado pela homogeneidade química de seus minerais (capítulo VI)

A reação abaixo constitui exemplo deste tipo de reequilíbrio:

Esta pode ser comprovada texturalmente em amostras de piroxenitos de São Vicente de Minas, onde espinélios inclusos em ortopiroxênios exibem disposição sugerindo formação ao redor de antigas olivinas (prancha 19c).

Condições de equilíbrio são também indicadas pelo geotermômetro de Sack e Ghiorso (1991), que fornecem temperaturas em torno de 500 °C para piroxenitos da Fazenda da Areia (Carrancas) e de 550 °C para piroxenitos de São Vicente de Minas.

Para as associações clorita + espinélio + olivina + ortopiroxênio, as curvas do equilíbrio $\text{En} + \text{Sp} + \text{Fo} + \text{H}_2\text{O} = \text{Cl}$ fornecem temperaturas variando entre 580 a 640 °C para piroxenitos da Fazenda da Areia e de São Vicente de Minas, respectivamente.

Diferenças composicionais e granulométricas entre amostras de borda e núcleo, no corpo ultramáfico da Fazenda da Areia, com amostras de maior granulometria exibindo bordas de ortopiroxênio envolvendo cristais adjacentes de olivina, sugerem que reações metassomáticas com as rochas encaixantes possam ter sido efetivas em algumas porções do corpo, contribuindo na formação dos ortopiroxênio por introdução de sílica:

Ainda de forma distinta dos corpos ultramáficos do Domínio III, os piroxenitos da Fazenda da Areia comportam-se como núcleos granulares, não deformados, de dimensões métricas, envolvidos por rochas hidratadas de distribuição anastomosada, que compõem fels e xistos compostos pelas seguintes associações:

anfibólio +/- talco +/- clorita,
 anfibólio + talco + espinélio,
 anfibólio + olivina + clorita,
 anfibólio + serpentina,

desenvolvidas, a partir da rocha piroxenítica original, por atuação diferenciada dos fluidos envolvidos, através de reações do tipo (figura VII.7) :

Serpentinitos (Região de Carrancas)

Como observado, serpentinitos do Domínio II exibem características texturais contrastantes com aqueles observados no Domínio III. A ausência de cristais relictos nos primeiros e a ausência de textura *mesh*, não permitem reconhecer características da textura original. Única exceção neste quadro é dada por porções duníticas com olivinas de composições metamórficas, encontradas na Fazenda Rui Barbosa, cuja origem deve estar associada ao mesmo evento metamórfico responsável pelo crescimento de ortopiroxênios na Fazenda da Areia e Fazenda Bela Vista (temperatura mínima de formação de olivina metamórfica = 400 °C; Evans, 1977). Deve-se observar que, em ambas as situações, os corpos ultramáficos com assembléias de grau estão posicionados no embasamento, não tendo sido observado no Domínio II, rochas de alto grau entre os corpos ultramáficos intercalados às unidades proterozóicas.

Os demais corpos serpentiniticos da região de Carrancas apresentam aspecto homogêneo, apenas quebrado pelo desenvolvimento de xistosidade concordante à D2 em algumas porções. As características modais e texturais destes corpos foram totalmente obliteradas pela associação atual. Muito frequentemente, estes ocorrem associados a rochas ricas em talco, que desenvolvem-

se como auréolas não xistosas entre os corpos e suas encaixantes e cuja origem está associada a interação entre estes dois sistemas, de acordo reações desenvolvidas sob regime de metamorfismo progressivo:

compatíveis com as relações de campo observadas em vários dos corpos estudados.

Processo de interação com as encaixantes também foram responsáveis, neste Domínio, pela formação de rochas constituídas, essencialmente, por anfibólio cálcicos, de coloração escura, que aparecem bordejando vários corpos ultramáficos. Esta relação é bem ilustrada na borda oeste do corpo ultramáfico da Serra do Moleque, onde serpentinitos gradam para rochas compostas por serpentina+anfibólio, anfibólio, anfibólio + quartzo + epidoto, com a porcentagem de quartzo aumentando em direção às encaixantes.

DISCUSSÃO

As tabelas VII.1 e VII.2 apresentam uma síntese das características de pressão e temperatura das diversas associações, com base nos dados discutidos neste capítulo.

Tabela VII.1

Características das condições gerais de pressão e temperatura estimadas para rochas ultramáficas do Domínio III

Rocha	Critério	T (°C)	P (Kb)
Espinélio	Campo de estabilidade da associação sp+en+fo	-	8-20
Harzburgito	Equilíbrio (Berman, 1991) da associação sp+fo+en (sp simlectítico, sp granular)	-	-
	% Al ₂ O ₃ em opx (Gasparik, 1984) - (sp simplectítico, sp granular)	(400,750)	-
		(560,820)	-
	Equilíbrio opx--ol-cl (Berman, 1991)	700	-
Espinélio	Equilíbrio da reação an+fo+H ₂ O=tre+di+fo (Berman, 1991)	>700	-
Hornblendito	Formação de clorita: di+sp+anf+H ₂ O=cl+tsh (Berman, 1991)	500-600	-
Rochas Websteríticas	Campo de estabilidade da associação cpx+opx+ol+anf+sp	-	7-12
	Termômetro de Wells (1977)	≈ 800	-
	Temp. mínima de quebra de Ca-anf + fo	800 -900	-
Serpentinitos	Campo de estabilidade da associação tremolita + fo	450-700	-
Rochas a antofilita	Condições propícias a coexistência de ant+opx+talco (Chernosky et al. 1985; Obata & Thompson, 1981)	650-800	≈10
Olivina clorita /anfibiólio fels	Condições de formação da assembléia fo+anf+sp (Obata & Thompson, 1981, Schmadicke & Evans, 1997)	<800	>7Kb

Tabela VII.2

Características das condições gerais de pressão e temperatura estimadas para rochas ultramáficas do Domínio II

Rocha	Critério	T (°C)	P (Kb)
Sp-olivina ortopiroxenitos	Equilíbrio oli-sp (Sack & Ghiorso, 1991)	500 -550	-
	Campo de estabilidade opx+sp+oli+anf	-	7-12
	Equilíbrio oli-opx-clorita-sp (Berman, 1981)	580-640	-
serpentinito	Formação de olivina metamórfica	mínima de 400	-

Os dados indicam o intervalo de pressão máxima entre 7 e 12 Kb como o mais propício às condições máximas de equilíbrio dos diversos litotipos, em ambos os domínios.

No Domínio III, as temperaturas máximas obtidas concentram-se entre de 700 e 900°C. Tal intervalo coincide com valores obtidos para granulitos máficos da região de Liberdade submetidos a metamorfismo brasileiro, com registros de pressão entre 12 e 13,5 Kb (Ribeiro et al. 1995; Paciullo, 1997). Temperaturas registradas abaixo deste intervalo refletem condições de reequilíbrio das diversas associações, em etapas posteriores ao pico metamórfico.

A figura VII.8 sintetiza as características relacionadas às condições de metamorfismo do conjunto de rochas do Domínio III, discutidas neste capítulo. Nela estão ilustrados caminhos hipotéticos percorridos por rochas de ambos os grupos identificados no capítulo V com base em comportamentos químicos distintos. Os caminhos traçados consideram os equilíbrios metamórficos propostos neste capítulo e a possibilidade de cristalização de segundo grupo (mais diferenciado) sob condições de pressão compatíveis com a formação de plagioclásios. Sendo verdadeira a hipótese de que os espécimes quimicamente relacionados da região de Liberdade constituam representantes de porções cumuláticas de magmas "underplated", relacionados ao processo de abertura das bacia proterozóica, estes situavam-se em nível mais profundo que as rochas posicionadas nas seqüências inferiores e no embasamento destas mesmas bacias, durante o processo de colisão continente-continente responsável pelo metamorfismo das seqüências (Trouw & Castro, 1996). Desta forma, o aumento de pressão inicial, resultante do espessamento crustal, é observado em ambos os conjuntos. O encontro destes grupos ocorreria sob condições de descompressão, ao longo da evolução do *Nappe* de Liberdade.

Direção horária e anti-horária de suítes justapostas por falhas de empurrão, como as aqui propostas, são descritas na literatura (i.e. Burton et al., 1989; Schumacher et al., 1989; Mason,

Figura VII.8 - Diagrama P-T ilustrando possíveis trajetórias ao longo da evolução das rochas ultramáficas do Domínio III. 1. Ortopiroxenitos; 2. Serpentinitos; 3. Espinélio harzburgitos; 4. Espinélio hornblenditos; 5. Clorita/anfibólio olivina fels; 6. Rochas websteríticas

1990) como consequência de relações estruturais complexas, que não serão discutidas neste trabalho.

Os dados obtidos para as rochas do Domínio II não permitem estimar caminhos metamórficos à semelhança da figura VII.8. Embora os dados sugiram condições de pressão máxima próximas entre ambos os domínios, a ausência de clinopiroxênios entre as rochas piroxeníticas indicam que temperaturas superiores a 800 °C não foram atingidas no Domínio II. Neste, os geotermômetro aplicados indicam temperaturas máximas de 640 °C, com as rochas piroxeníticas de São Vicente de Minas apresentando temperaturas em torno de 50 °C superiores aos piroxenitos de Carrancas. Esta diferença está de acordo com a distribuição das isógrads regionais, que caracterizam incremento de metamorfismo na direção sudeste (Trouw & Castro, 1996, Paciullo, 1997).

O caráter indeformado dos piroxenitos do Domínio II *versus* o caráter deformado de piroxenitos e peridotitos do Domínio III devem ser discutidos em função do deslocamento destes corpos alóctones em relação ao pico metamórfico, pois segundo Mercier & Nicolas (1975), deformação nestes tipos de rochas ultramáficas resulta de processos de deslocamento do que mais do que de processos compressivos.

No Domínio II, os falhamentos e conseqüente posicionamentos dos corpos ultramáficos de alto grau, desenvolveram-se durante D1, em fase que antecede o pico metamórfico regional. Durante M2, estas rochas, contidas nas zonas de cisalhamento, foram submetidas a condições metamórficas de pico, destruindo fábricas orientadas que, porventura, houvessem desenvolvido durante sua ascendência. Com o arrefecimento da temperatura, a circulação de fluidos permitiria o desenvolvimento das fases hidratadas ao redor destes piroxenitos, orientadas segundo a deformação principal D2.

No Domínio III, as falhas de empurrão às quais os corpos encontram-se associados tem idade atribuída a D2, coincidente, portanto, com o pico metamórfico. As texturas observadas nas rochas ultramáficas deste domínio, particularmente entre as rochas websteríticas resultam de transporte durante o pico metamórfico, com desenvolvimento das fases porfiroblásticas de fábrica orientada sobre as fases hidratadas anteriormente desenvolvidas. Segundo Brodie & Rutter (1995), a capacidade de deformação, nestas rochas, aumenta em função da desidratação. Observa-se, neste domínio, que as rochas que compõem o grupo quimicamente mais diferenciado e que, como visto, apresentam assembléias de caráter retrogressivo, não exibem texturas orientadas.

Ainda no Domínio III, a ocorrência de vários corpos ultramáficos em zonas de falhas, associados a granada-cianita xistos de diversos níveis estratigráficos, sugere contribuição destas mesmas rochas na formação destas zonas de cisalhamento. Este modelo, discutido por Murell (1985), considera a retenção dos fluidos gerados pela formação de granada e aluminossilicatos, nos casos em que a rocha fonte estiver em contato com rochas de baixa condutividade hidráulica (ultramáficas). Esta situação conduz a incremento localizado de pressão, a medida que a rocha ultramáfica não é capaz de absorver o fluido com a mesma velocidade em que este é gerado, ao mesmo tempo em que sofre incremento de volume em suas porções hidratadas. Tais circunstâncias tornam necessário o desenvolvimento de um mecanismo capaz de aliviar as condições de pressão, favorecendo os movimentos crustais.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, foram abordadas rochas ultramáficas com características diversas, presentes em associações proterozóicas da Sequência Depositional Andrelândia e em seu embasamento. O conjunto de dados petrográficos revela uma história complexa de deformação e metamorfismo, com diferentes registros em cada espécime, mas com preservação de paragéneses de alto grau, em ambos os domínios tectônicos (Domínio II e III, segundo Ribeiro et al., 1990).

Os dados geoquímicos permitem separar as rochas estudadas em dois grupos, com caminhos distintos de cristalização. O primeiro é formado pelos corpos ultramáficos da região de Liberdade (Domínio III) e São Vicente de Minas (Domínio II), cujo comportamento químico indica variações composicionais controladas, essencialmente, por ortopiroxênio, sem registros de cristalização de plagioclásio, características de processos de fracionamento sob condições elevadas de pressão.

O segundo grupo é representado por rochas da região de Arantina, pela amostra de espinelio harzburgito da Fazenda da Roseta (Domínio III) e por rochas ultramáficas de Carrancas (Domínio II), que apresentam variações químicas indicando evolução dominada por cristalização de olivina e plagioclásio. Em níveis superiores, portanto, às rochas do primeiro grupo. Os corpos ultramáficos deste grupo não registram mudanças bruscas de composição ao longo de uma mesma ocorrência, como ocorre entre as rochas da região de Liberdade, no Domínio III, onde intercalações de tipos litológicos distintos definem um caráter acamadado. Estas características e a forma alongada de alguns de seus corpos, sugerem uma origem vulcânica, ou como *sills*, internamente pouco diferenciados, para as rochas do segundo grupo.

Uma origem pós-arqueana é atribuída para todo o conjunto de rochas ultramáficas, com base nas relações identificadas entre estas rochas e anfibolitos proterozóicos discutidos por Paciullo (1997); na semelhança de padrões ETR dos diversos litotipos analisados, com evolução coerente para os tipos mais diferenciados; e na presença de rochas de ambos os grupos intercaladas, tanto em metassedimentos do Grupo Andrelândia, como em seu embasamento.

A hipótese das rochas ultramáficas de Carrancas constituírem exemplares associados a seqüências komatiíticas não se confirma, neste trabalho, pois as mesmas exibem afinidades químicas com espécimes intercalados às seqüências proterozóicas. Um estudo envolvendo análise

química de todas as ocorrências das rochas ultramáficas da região de Carrancas seria, contudo, necessário para verificar a possibilidade de existência de rochas com assinaturas químicas distintas.

O não envolvimento de plagioclásio, no processo de diferenciação das rochas do primeiro grupo, indica fracionamento a profundidades superiores a 30 Km o que, em ambientes continentais, corresponde a porções inferiores da crosta continental e, em ambientes oceânicos, atingiria níveis mantélicos. Estas características descartam a possibilidade destas rochas constituírem espécimes cristalizados em crosta oceânica. Suas características químicas, são, também incompatíveis com produtos mantélicos (excesso de Al_2O_3 , CaO, etc.).

O conjunto de dados são coerentes, portanto, com formação das rochas do primeiro grupo a partir de processos de diferenciação de magmas básicos, com alta razão MgO/FeO , na base da crosta (*underplated*), com fracionamento de clinopiroxênios, ortopiroxênios e olivina. Os líquidos gerados a partir destes processos, enriquecidos em alumina e ferro, ascenderiam dando origem às rochas ultramáficas e anfibolitos do segundo grupo, que aparecem intercalados às seqüências metassedimentares e em seu embasamento.

Este quadro compõe um cenário típico de evolução de bacias sedimentares, onde líquidos primários (tipicamente basaltos picríticos), resultantes de decompressão do manto, evoluem para basaltos toleíticos, por processos de fracionamento, que, ao ascenderem, deixam resíduos mais máficos na base da crosta (White & MacKenzie, 1989). Tal retenção de fusões nas porções inferiores da crosta continental, em ambientes atuais, é comprovada por métodos geofísicos (White, 1992).

O processo lento de fracionamento, na base da crosta, promove queda na densidade do líquido residual, até que o mesmo atinja condições de ascender, intrudindo as seqüências superiores e elevando novamente a densidade do líquido residual. Este processo, repetido por milhões de anos, gera pulsos magmáticos, separados no intervalo de tempo, mas com características químicas que assinalam sua consangüinidade (Stolper & Walker, 1980).

A justaposição destes conjuntos, na área estudada, seria conseqüente de processos tectônicos durante o período de fechamento da bacia. O caminho metamórfico, delineado com base nos dados geotermométricos e em curvas de equilíbrio, para as duas suites, no Domínio III, indica aumento de pressão inicial de ambos os conjuntos, que, originalmente posicionados em níveis distintos, foram reunidos em sua trajetória ao longo de falhas de empurrão.

Os dados indicam o intervalo de pressão máxima entre 7 e 12 Kb como o mais propício às condições máximas de equilíbrio dos diversos litotipos, em ambos os domínios. Entretanto, os registros indicam diferentes condições de pico térmico para as rochas ultramáficas de ambas as regiões. No Domínio III, as temperaturas máximas obtidas concentram-se entre de 700 e 900°C (facies granulito). Tal intervalo coincide com valores obtidos para granulitos máficos, submetidos a metamorfismo brasileiro, na região de Liberdade, que apresentam registros de pressão entre 12 e 13,5 Kb (Ribeiro et al. 1995; Paciullo, 1997). Temperaturas registradas abaixo deste intervalo, nas rochas ultramáficas, refletem condições de reequilíbrio das diversas associações, em etapas posteriores ao pico metamórfico, com desenvolvimento de associações essencialmente hidratadas, como os serpentinitos.

No Domínio II, as características das paragêneses de maior grau indicam temperaturas inferiores a 800 °C. Geotermômetros aplicados à estas rochas indicam temperaturas máximas de 640 °C (facies anfibolito), com as rochas piroxeníticas de São Vicente de Minas apresentando registros de temperaturas superiores aos piroxenitos de Carrancas (em torno de 50 °C). Esta variação acompanha a distribuição das isógrads regionais, que caracterizam incremento de metamorfismo na direção sudeste (Trouw & Castro, 1996, Paciullo, 1997).

Ausência de deformação e composições químicas mais homogêneas de seus minerais, caracterizam equilíbrio químico-textural melhor desenvolvido entre as rochas do Domínio II, quando comparadas às rochas de alto grau do Domínio III, que exibem cristais fortemente deformados, com gradientes químicos acentuados e abundância em texturas simplectíticas. Estas diferenças refletem características do posicionamento destes corpos em relação ao pico metamórfico. No Domínio II, as falhas nas quais os corpos com assembléias de mais alto grau aparecem associados, são atribuídas a fase deformacional D1, que antecede o pico metamórfico regional, durante o qual estas rochas foram reequilibradas. No Domínio III, as falhas de empurrão, às quais os corpos encontram-se associados, tem idade coincidente com o pico metamórfico. A ascensão destas rochas por falhas de empurrão gerou relações de disequilíbrio, preservadas nas amostras poupadas do último reajuste térmico, sob condições mais brandas, responsável pela hidratação, em grande escala, destas rochas.

REFERÊNCIAS

- ACKERMAN, D.; WINDLEY, B.F.; HERD, R.K. (1986) - Magnesian hgbomite in sapphirine-bearing rock from the Fiskensset region, W. Greenland. *Min. Mag.* 47: 55-561
- AFIFI, A.M.; ESSENE, E.J. (1988) - *Minfile User Manual. Version 5*. Dep. Geol. Sci. Univ. Michigan.
- ALMEIDA, F. F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. (1981) - Brazilian Structural Provinces: an introduction. *Earth Sci. Rev.* 17: 1-29
- ALMEIDA, S. (1992) - Petrografia e Geoqumica de Rochas Ultramficas na Regio de Liberdade e Carrancas, Minas Gerais. Dissertao de Mestrado . UFRJ. 166 pp
- ANDREIS, R. R. ; PACIULLO, F.V.P.; RIBEIRO, A. (1989b) Caracterizao preliminar dos ciclos deposicionais proterozicos no sudeste de Minas Gerais (Folhas Barbacena e Divinpolis). *I simp. Geol. Reg. Sudeste. Boletim de Resumos*.
- ANDREIS, R. R. ; RIBEIRO, A. PACIULLO, F.V.P. (1989a) - Ciclos deposicionais no proterozico das Folhas Barbacena e Divinpolis (setor sul), 1:250.000), Minas Gerais: bases para a interpretao da evoluo das bacias sedimentares. *I Simp. Geol. Reg. Sudeste. Boletim de Resumos*.
- ANGUS, N.S.; MIDDLETON, R. (1985) - Compositional variation in hgbomites from north Connemara, Ireland. *Min.Mag.* 49: 649-654
- AUGHUSTHITIS, S.S. (1979) - *Atlas of the textural patterns of basic and ultrabasic rocks and their genetic significance*. Walter de Gruyter Ed. Berlin. 393 pp.
- BARBOSA, O. (1954) - Evolution du gosynclinal Espinhao. *Congres. Gol. Internat.* 19. Fasc. 14: 17-36. In: EBERT, H. (1957) - Aspectos principais da geologia da regio de So Joo del Rei, Estado de Minas Gerais. PROSPEC - Relatrio no publicado.
- BARD, J.P. (1985) - *Microtextures de rocas magmticas y metamrficas*. Trad. Marceliano Lago San Jos. Masson Ed. 180 pp
- BERMAN, R.G. (1991) - Thermobarometry using multiequilibrium calculations: a new technique with petrologic applications. *Can. Min.* 75: 328-344
- BEST, M.G. (1982) - *Igneous and Metamorphic Petrology*. Freeman. Ed. 630 pp.

- BESWICK, A.E. (1982) - Some geochemical aspects of alteration and genetic relations in komatiitic suites. In: ARNDT, N.T. & NISBET, E.G. - *Komatiites*. Geosrge Allen & Unwin. 283-308
- BEUKES, C. J.; VAN ZYL, V.C.; SCHOCH, A.E.; DE BRUIYN, H.; VAN ASWEGEN, G.; STRYDON, D. (1986) - A högbomite-spinel-gedrite-paragenesis from northern Bushmanland, Namaqua mobile belt, South Africa. *Neus Jahr. Mier. Abhandlungen*. 155: 53-66. In : GREW, E.S.; HIROI, Y.; SHIRAIISHI, K. (1990) - Högbomite from the Prince Olav Coast, East Antarctica: an example of oxidation-exsolution of a complex magnetite solid solution? *Am. Miner.* 75: 589-600
- BHATTACHARYYA, C. (1971) - An evaluation of the chemical distinctions between igneous and metamorphic orthopyroxenes. *Am. Min.* 56: 499-506
- BINNS, R.A. (1962) - Metamorphic pyroxenes of the Boken Hill district, New South Wales. *Min. Mag.* 33: 320-338
- BITTAR, S.M.B. 1989. Mapeamento geológico estrutural da Folha Caxambú e da Parte Sul da Folha Luminárias. Dissertação de Mestrado. UFRJ. 255 p.
- BOWEN, N.L. & TUTTLE, O.F. (1949) - The system $MgO-SiO_2-H_2O$. *Geol. Soc. Am. Bull.* 60: 439-460
- BRAUN, J.J.; PAGEL, M.; MULLER, J.P.; BILONG, P.; MICHARD, A.; GUILLET, B. (1990) - Cerium anomalies in the lateritic profiles. *Geoch. Cosm. Acta.* 54: 781-795
- BRODIE, K. H. & HUTTER, E.H. (1985) - On the relationship between deformation, with reference to the behaviour of basic rocks. In: *Metamorphic Reactions, Kinetics, Textures and Deformation*. Thompson, A.B. & Rubie, D.C. Eds. Springer Verlag, New York. 139-179
- BURTON, K.W.; BOYLE, A.P.; KIRK, W.L.; MASON, R. (1989) - Pressure, temperature and structural evolution of the Sulitjelma fold-nappe, central Scandinavian Caledonides. In: DALY, J.S.; CLIFF, R.A.; YARDLEY, W.D. (Eds.) *Evolution of Metamorphic Belts*. *Geol. Soc. Sp. Publ.* 391-411
- CAMERON, E. N. (1978) - The lower zone of Eastern Bushveld Complex in the Olifants River Trough. *Jour. Petrol.* 5(2): 274-309
- CARSWELL, D.A.; CURTIS, C.D.; KANARIS-SOTIRIOU, R. (1974) - Vein metasomatism in peridotite at Kalskaret near Tafjord, south Norway. *Jour. Petrol.* 15 (2): 383-402
- CAVALCANTE, J.C. et al. (1979) - Projeto Sapucaí. Serv. Geol. Bras. Div. Geol DNPM. Brasília. In: : ALMEIDA, F. F. M. & HASUI, Y. (Eds.) - *O Pré-Cambriano do Brasil*. Edgar Blücher Editora. 308-344

- CHERNOSKY Jr. , J.V.; DAY, H.W.; CARUSO, L.J. (1985) - Equilibria in the system $MgO-SiO_2-H_2O$: experimental determinations of the stability of Mg-anthophyllite. *Am. Min.* 70: 223-236
- COLEMAN, R.G. (1977) - *Ophiolites. Ancient Oceanic Lithosphere?* Springer Verlag Ed. 229 pp
- COLEMAN, R.G. ; KEITH, T.E. (1971) - A chemical study of serpentinization - Burro Mountain, California. *Jour. Petrol.* 12: 311-328
- COLLERSON, K. D.; JESSEU, C.W.; BRIDGWATER, D. (1976) - Contrasting types of bladed olivines in ultramafic rocks from the Archean of Labrador. *Can. Jour. Earth Sci.* 13: 442-450
- COX, K.C., BELL, J.D., PANKHURST, R.J. (1979) - *The Interpretation of Igneous Rocks*. Chapman & Hall. Ed. 450 pp.
- DAVIS, B.T.C. 7 BOYD, F.R. (1966) - The join $Mg_2Si_2O_6-CaMgSi_2O_6-CaMgSi_2O_6$ at 30 kilobars and its application to pyroxenes from kimberlites. *Jour. Geophys. Res.* 71: 3567-3576
- DEER, W. A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1982a) - *Rock forming mineral. Volume 1A. Orthosilicates*. Longman Ed. 9?? pp.
- DEER, W. A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1982b) - *Rock forming mineral. Volume 2A. Single-Chain Silicates*. Longman Ed. 668 pp
- DEER, W. A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1992) - *An Introduction to Rock forming mineral. 2nd edition*. Longman Ed.
- DICK, H.J.B. & BULLEN, T. (1984) - Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas. *Contr. Min. Petrol.* 86: 54-76
- DICK, H.J.B. (1977) - Partial melting in the Josefine peridotite I, the effects on mineral composition and its consequence for the geobarometry and geothermometry. *Am. Jour. Sci.* 277:8801-832
- DONALDSON, C.H. (1976) - An experimental investigation on olivine morphology. *Mineral. Petrol.* 187-213
- EBERT, H. (1971) - Os Paraíbides entre São João del Rei (Minas Gerais) e Itapira (São Paulo) e a bifurcação entre Paraíbides e Araxaides. *Bol. Esp. XXI Cong. Bras. Geol. São Paulo.* 1: 177-178
- EBERT, H. (1954) - Pesquisas geológicas na parte sudeste do Estado de Minas Gerais. *Relatório Anual do Diretor da Divisão de Geol. Min. DNPM.* 78-85

- EBERT, H. (1955) - Pesquisas geológicas na parte sudeste e nordeste do Estado de Minas Gerais. *Relatório Anual do Diretor da Divisão de Geol. Min. DNPM*. 79-89
- EBERT, H. (1957) - Aspectos principais da geologia da região de São João del Rei, Estado de Minas Gerais. PROSPEC - Relatório não publicado.
- EBERT, H. (1967) - A estrutura pré-cambriana do sudoeste de Minas Gerais e áreas adjacentes. *Bol. Paran. Geol.* 26: 42-45
- EBERT, H. (1968) - Ocorrência da fácies granulítica no sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência da estrutura orogênica: hipóteses sobre sua origem. *An. Acad. Bras. Ciên.* 40:215-229
- EMBEY-ISZTIN, A.E.; SCHARBERT, H.G.; DIETRICH, H. R.; POULTIDIS, H. (1989) - Petrology and geochemistry of peridotites xenoliths in alkali basalts from the Transdanubian Volcanic Region, West Hungary. *Jour. Petrol.* 30: 79-105
- EMBURY, J.D. & NICHOLSON, R.B. (1965) - The System Al-Zn-Mg. *Acta Metall.* 13: 403
- EVANS, B.W. & FROST (1975) - Chrome-spinel in progressive metamorphism - a preliminary analysis. *Geoch. Cosm. Acta.* 39: 959-972
- EVANS, B.W. & TROMMSDORFF, N. (1974) - On elongated olivine of metamorphic origin. *Geology*. 2: 131-132.
- EVANS, B.W. (1977) - Metamorphism of Alpine peridotite and serpentinite. *Ann. Rev. Earth Plan. Sci.* 5: 397-447
- EVANS, B.W. (1982) - Amphiboles in metamorphosed ultramafic rocks. In: VEBLEN, D.R.; RIBBE, P.H. (Eds). - Petrology and Experimental Phase Relations. Min. Soc. Am. Rev. 9B: 98-113
- FLEET, M.E. (1974) - Partition of Mg e Fe²⁺ in coexisting pyroxenes. *Contr. Min. Petrol.* 44: 251-257
- FLEET, M.E.; MacRAE, N.D.; HERZBERG, C.T. (1977) - Partition of nickel between olivine and sulfide: a test for immiscible sulfide liquids. *Contr. Min. Petrol.* 65: 191-198
- FUJII, T. (1977) - Solubility of Al₂O₃ in enstatite coexisting with forsterite and spinel. *Carneg. Inst. Washington Yearb.* 75: 566-571
- GASPARIK, T. & NEWTON, R.C. (1984) - The reversed alumina contents of orthopyroxene in equilibrium with spinel and forsterite in the system MgO-Al₂O₃-SiO₂. *Contr. Min. Petrol.* 85:186-196

- GASPARIK, T. (1987) - Orthopyroxene thermobarometry in simple and complex systems. *Contr. Min. Petrol.* 96: 357-370
- GREEN, D.H. & HIBBERSON, W. (1970) - The instability of plagioclase in peridotites to high pressure. *Lithos.* 3: 209-221
- GREEN, D.H. & RINGWOOD, A.E. (1970) - Mineralogy of peridotitic composition under upper mantle conditions. *Phys. Earth Planet. Sci. Inter.* 3: 359-371
- GREENWOOD, H.J. (1963) - The synthesis and stability of anthophyllite. *Jour. Petrol.* 4: 317-351
- GREENWOOD, H.J. (1971) - Anthophyllite. Corrections and comments in its stability. *Am. Jour. Sci.* 270: 151-154
- GREW, E.S.; ABRAHAM, K. MEDENBACH, O. (1987) - Ti-poor hoegbomite in kornelupine-cordierite-sillimanite rocks from Ellammankovilpatti, Tamil Nadu, India. *Contrib. Min. Petrol.* 95: 21-31
- HANSON, G.N & LANGMUIR, C.H. (1978) - Modellin of major elements in mantle-melt system using trace elemtns aproaches. *Geoch. Cosm. Acta.* 42: 725-741
- HANSON, G.N (1980) - Rare earth elements in the petrogenic studies of igneous systems. *An. Rev. Earth Planet. Sci.* 8: 371-406
- HASKING, L.A; PASTER, T.P (1979) - Geochemistry and mineralogy of the rare earth. In: EYRIN, L.; GSCHNEIDER, K.A, (Eds). *Handbook and Chemistry of Rare Earths.* Amsterdam.
- HASUI, Y, & OLIVEIRA, M. A. F. (1984) - Província Mantiqueira. In : ALMEIDA, F. F. M. & HASUI, Y. (Eds.) - *O Pré-Cambriano do Brasil.* Edgar Blücher Editora. 308-344
- HEILBRON, M. 1984. Evolução Metamórfico-Estrutural da área entre Itutinga e Madre de Deus de Minas, MG. Dissertação de Mestrado - UFRJ. 151 p.
- HEILBRON, M ; GONÇALVES, M.L.; TEIXEIRA, W.; TROUW, R.A.J.; PADILHA, A.V.; KAWASHITA, K. (1989) - Geocronologia da região entre Lavras, São João del Rei, Lima Duarte e Caxambú (MG). *An. Acad. Bras. Ciên.* 61(2): 177-199
- HENRY, D.J. & MEDARIS, L.G., Jr. (1980) - Aplications of pyroxene and olivine-spinel geothermometers to spinel peridotites in southwestern Oregon. *Am. Jour. Sci.* 280A: 211-231

- HERZBERG, C. T. (1978) - Pyroxene geothermometry and geobarometry: experimental and thermodynamic evaluation of some subsolidus phase relations involving pyroxenes in the system $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$. *Geoch. Cosm. Acta.* 42: 945-957
- HEY, M.H. (1954) - A new review of the chlorites. *Min. Mag.* 30: 277-292
- HIBBARD, M.J. (1995) - *Petrography to Petrogenesis*. Prentice Hall Ed. 587 pp.
- HUMPHRIS, S.E. (1989) - The mobility of earth rare elements in the crust. In: HENDERSON, P. (Ed.) *Rare Earth Elements Geochemistry*. Elsevier. New York. 317-342
- IRVINE, T. N. (1967) - Chromium spinel as a petrogenetic indicator, Part 2. Petrologic Applications. *Can. Jour. Earth Sci.* 4: 71-103
- IRVING, A.J. (1978) - A review on experimental studies of crystal/liquid trace element partitioning. *Geoch. Cos. Acta.* 42:743-770
- JAGOUTZ, E.; PALME, H.; BADDENHAUSEN, H.; BLUM, K.; CENDALES, M.; DREIBUS, G.; SPETELL, B.; LORENZ, V.; WANKE, H. (1979) - The abundance of major, minor and trace elements in the earth's mantle as derived from primitive ultramafic nodules. *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf.* 10 th. 2031-2050
- JAQUES, L. (1981) - Petrology and petrogenesis of cumulate peridotites and gabbros from the Marum Ophiolite Complex, Northern Papua, Nova Guine. *Jour. Petrol.* 22(1): 1-40
- JCPDS (1980) - *Mineral Powder Diffraction File Data Book* - Joint Committee on Powder Diffraction Standards. International Centre of Diffraction Data.
- JENKINS, D.M. & CHERNOSKY Jr., J.V. (1986) - Phase equilibria and crystallochemical properties of Mg-chlorite. *Am. Min.* 71: 924-936
- JENKINS, D.M. (1983) - Stability and compositions relations of calcic amphiboles in ultramafic rocks. *Contrib. Min. Petrol.* 83: 375-384
- JOHANNES, W. (1969) - An experimental investigation of the system $\text{MgO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O-CO}_2$. *Am. Jour. Sci.* 272: 423-437
- JUNHO, M.C. B.; SILVA, R.R.; WIELDEMANN, C.M. (1989b) - Leucogranitos do Grupo Andrelândia, Sul de Minas Gerais de Liberdade - Sul de Minas Gerais. *V Simp. Geol. Minas Gerias. Anais:* 223-227
- JUNHO, M.C. B.; TOLEDO, C.L.B.; NOGUEIRA, J.R.; MONSORES, A.L.M. (1989a) - Geologia da região de Liberdade - Sul de Minas Gerais. *I Simp. Geol. Sudeste. Boletim de resumos:* 155-156

- KUSHIRO, I.; YODER, H.S.Jr. (1966) - Anorthite-forsterite and anorthite-enstatite reactions and their bearing on the basalt-eclogite transformation. *Jour. Petrol.* 7: 337-362
- LAIRD, J. & ALBEE, A.L. (1981) - Pressure, temperature and time indicator in mafic schist: their application to reconstructing the polymetamorphic history of Vermont. *Am. Jour. Sci.* 281: 127-175
- LAIRD, J. (1980) - Phase equilibria in mafic chist from Vermont. *Journ. Petrol.* 21: 1-37
- LANGMUIR, C.H. & HANSON, G.N. (1980) - An evaluation of major element heterogeneity in the mantle source of basalts. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 297: 383-407
- LEAKE, B.E. (1978) - Nomenclature of amphiboles. *Can. Min.* 16: 501-520
- LEONT'EVA, A.A. (1947) - Kristallizatsiyadvukh olivinovykh basal'ov (Crystallization of two olivine Basalts) - Zapiski Vserossiiskogo Mineralogicheskogo Obshchestva, part 6. 3: 202-210. In: GRIGOR'EV, D.P. (1965) - *Ontogeny of Minerals*. Israel Program for Scien. Transl. Ed. Jerusalem. 250 pp.
- LUDKA, I.P. (1997) - Geoquímica do magmatismo básico na porção central do Cinturão Móvel Costeiro e Regiões adjacentes aplicada ao estudo da composição do manto (SE-Brasil). Tese de Doutorado. UFRJ. 240 pp
- MACGREGOR, I.D. (1974) - The system $MgO-Al_2O_3-SiO_2$: solubility of Al_2O_3 in enstatite for spinel and garnet peridotite compositions. *Am. Min.* 59: 110-119
- MACKEY, G. A. (1989) - Partitioning of rare earth elements between major silicate minerals and basaltic melts. In: Liping, B.R. & MacKey, G.A. - *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements*. Rev. Min. 21. Min. Soc. Am. 45-97
- MACKIE, A.D. (1963) - The högbomite polytypes. *Min. Mag.* 33: 563-580
- MAGALHÃES, A. C. (1985) - Geologia dos corpos ultramáficos da região entre São João del Rey e Liberdade, com ênfase especial na área de Carrancas. MG. Dissertação de Mestrado. UFRJ. 177 pp.
- MALTMAN, A.J. (1978) - Serpentinite textures in Anglesey, North Wales, United Kingdom. *Geol. Soc. Am. Bull.* 89: 972-980
- MANCINI, F.; MARSHALL, B.; PAUNE, H. (1996) - Petrography and metamorphism of the Sääksjärvi ultramafic body, Southwest Finland. *Min. Petrol.* 56: 185-208
- MAO, H.K. & BELL, P.M. (1975) - Crystal-field effects in spinel oxidation states of iron chromium. *Geoch. Cosm. Acta.* 39: 868-874

- MARSH, J.S. (1991) - REE fractionation and Ce anomalies in weathered Karoo dolerite. *Chem. Geol.* 90: 189-194
- MASON, R. (1990) - *Petrology of the Metamorphic Rocks*. Unwin Hyman Ed. 230 pp.
- MATSUI, Y. & NISHIZAWA, O. (1974) - Iron (II) -magnesium exchange equilibrium between olivine and calcium-free pyroxene over a temperature range from 800°C to 1300°C. *Bull. Soc. Franc. Min. Cris.* 97: 122-130
- MAXEY, L.R. & VOGEL, T.A. (1974) - Compositional dependence of the coexisting pyroxenes in iron-magnesium distribution coefficient. *Contr. Min. Petrol.* 43:295-306
- MERCIER, J. C. C. & CARTER, N.L. (1975) - Pyroxene Geotherms. *Jour. Geophys. Res.* 80(23): 3349-3361
- MERCIER, J. C. C. & NICOLAS, A. (1975) - Textures and fabrics of upper mantle peridotites as illustrated by xenoliths from basalts. *Jour. Petrol.* 16 (2) :452-487
- MORAES, L. J. (1935) - Nickel no Brasil. *SFMP, Bol.* 9. Rio de Janeiro, 65 pp.
- MORGAN, B.A. (1978) - Metamorphic forsterite and diopside from the ultramafic complex at the Tuolumne River, California. *Jour. Res. U.S. Surv.* 6: 73-80
- MORI, T. (1977) - Geothermometry of spinel lherzolite. *Contrib. Min. Petrol.* 59: 261-279
- MURELL, S.A.F. (1985) - Aspects of relationships between deformation and prograde metamorphism that causes evolution of water. In: *Metamorphic Reactions, Kinetics, Textures and Deformation*. Thompson, A.B. & Rubie, D.C. Eds. Springer Verlag, New York. 211-243
- MYSEN, B.O. (1978) - Experimental determination of nickel partition coefficients between liquid, pargasite and garnet peridotite minerals and concentration limits of behaviour according to Henry's law at high pressure and temperature. *Am. Jour. Sci.* 278: 217-243
- NAGATA, J.; GOTO, A.; OBATA, M. (1983) - The parabolic pattern of chromium partitioning observed between pyroxenes and spinel from ultramafic rocks and its petrologic significance. *Contrib. Min. Petrol.* 82: 42-51
- NESBITT, R.W., SUN, S.S.; PURVIS, A.C. (1979) - Komatiites: geochemistry and genesis. *Can. Min.* 17:165-186
- NESTERENKO, G.V.; ARISKIN, A.A. (1993) - Depths of crystallization of basalt magmas. *Geoch. Intern.* 30(8): 77-87

- NICHOLLS, J. (1977) - The calculations of mineral compositions and modes of olivine-two pyroxene-spinel assemblages. Problems and possibilities. *Contrib. Min. Petrol.* 60:119-142
- NICKEL, K.G.; BREY, G.P.; KOGARKO, L. (1985) - Orthopyroxene-clinopyroxene equilibria in the system $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (CMSA): new experimental results and implications for two-pyroxene thermometry. *Contrib. Min. Petrol.* 91: 44-53
- NICOLAS, a.; BOUDIER, F.; BOULLIER, A.M. (1973) - Mechanisms of flow in naturally and experimentally deformed peridotites. *Am. Jour. Sci.* 273: 853-876
- NORAN INSTRUMENTS (1990) - Quantitative Analysis for Scanning Electron Microscopes - Operators Manual. Wiscosin, USA
- O'HARA, M.J. (1967) - Mineral facies in ultrabasic rocks. In: Wyllie, P.J. : *Ultrabasic and Related Rocks*. John Wiley Sond. Inc. 7-18
- OBATA, M. & THOMPSON, A.B. (1981) - Amphibole and chlorite in mafic and ultramafic rocks in the lower crust and upper mantle: : a theoretical approach. *Contrib. Min. Petrol.* 77: 74-81
- OBATA, M. (1976) - The solubility of Al_2O_3 in orthopyroxenes in spinel and plagioclase peridotites and spinel pyroxenite. *Am. Min.* 61: 804-816
- OBATA, M. (1980) - The Ronda Peridotite: garnet-, spinel- and plagioclase-lherzolite facies and the P-T trajectories of a high-temperature mantle intrusion. *Jour. Petrol.* 21(3): 533-572
- OSBORN, E.F. (1978) - Changes in phase relations in response to change in pressure from 1 atm to 10 kb for the system Mg_2SiO_4 - iron oxide - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ - SiO_2 . *Carneg. Inst. Wash. Yearbook.* 77: 784 -790
- PACIULLO, F.V.P. (1997) - A Sequência Depositional Andrelândia. Tese de Doutorado. UFRJ. 245 p.
- PEARCE, T.H. (1968) - A contribution to the theory of variations diagrams. *Contrib. Min. Petrol.* 19: 142-157
- PEARCE, T.H. (1987) - The identification and assessment of spurious trends in Pearce-type ratio variation diagrams: a discussion of some statistical arguments. *Contrib. Min. Petrol.* 97(4): 529-534
- PETERSEN, E.U.; ESSENE, E.J.; PEACOR, D.R.; MARCOTTY, L.A. (1989) - The occurrence of hōgbomite in high-grade metamorphic rocks. *Contrib. Min. Petrol.* 101: 350-360
- PIRES, F. R. M. (1977) - Geologia do Distrito mangansífero de Conselheiro Lafayete, MG. Tese de Mestrado. UFRJ. Rio de Janeiro. 344 pp.

- ➔ PIRES, F.R.M. & BARBOSA, M.L.M. (1990) - Distribuição do "Greenstone Belt Barbacena" na região de São João del Rei, Minas Gerais. *An. XXXVI Congr. Bras. Geol.* 7: 2941-2951
- PIRES, F.R.M. (1978) - The Archean Barbacena Greenstone Belt in its typical development and the Minas itabirite distribution at the Lafayette district, Minas Gerais, Brazil. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 50 (4): 599-600
- POLDERVAART, A. & HESS, H.H. (1951) - Pyroxenes in the crystallization of basaltic magma. *Jour. Geol.* 59: 472-489
- PRESNALL, D.C. (1976) - Alumina content of enstatite as geobarometer for plagioclase and spinel lherzolite. *Am. Min.* 61: 582-588
- RAJAMANI, V.; BALAKRISNAN, S.; HANSON, G.N. (1993) - Komatiite Genesis: insights provided by Fe-Mg exchange equilibria. *Jour. Geol.* 101: 809-819
- RAMMLMAIR, D.; MOGESSIE, A.; PURTSCHALLER, F.; TESSADRI, R. (1988) - Högbomite from the Vumbashist belt, Botswana. *Am. Min.* 73: 651-656
- RANGEL, C.V.T.G. & ALMEIDA, S. (1996) - Mapeamento Geológico da Região da Estação Carrancas, MG. *An. XXXIX Cong. Bras. Geol.* 1: 13-15
- RIBEIRO, A. & HEILBRON, M. (1982) - Estratigrafia dos Grupos Carrancas e Andrelândia, Sul de Minas Gerais. *Anais do XXXII Congr. Bras. Geol.* 1: 177-186
- RIBEIRO, A. ; PACIULLO, F.V.P.; ANDREIS, R. R. ; TROUW, R. A.J.; HEILBRON, M. (1990) - Evolução policíclica proterozóica no sul do Craton do São Francisco: análise da região de São João del Rei e Andrelândia. *Anais do XXXVI Congr. Bras. Geol.* 6: 2605-2613.
- RIBEIRO, A.; TROUW, R. A.J.; ANDREIS, R. R. ; PACIULLO, F.V.P.; VALENÇA, J.G. (1995) - Evolução das bacias proterozóicas e termo-tectonismo brasileiro na margem sul do cráton do São Francisco. *Rev. Bras. Geoc.* 25 (4): 235-248
- RICHARD, L.R. (1995) - Minpet for Windows. Version 2.02. Reference Manual Guide. Minept Geological Software, Québec, Canada.
- RIETMEIGER (1983)
- RINGWOOD, A.E. (1956) - Melting relationship of Ni-Mg olivines and some geochemical implications. *Geoch. Cosm. Acta.* 10: 297-303
- RINGWOOD, A.E. (1975) - *Composition and Petrology of the Earth's Mantle*. MacGraw-Hill. New York. 618 pp.

- ROEDER, P.L.; CAMPBELL, I.H.; JAMIESON, H.F. (1979) - A re-evaluation of the olivine-spinel geothermometer. *Contrib. Min. Petrol.* 68: 325-334
- ROLLINSON, H.R.; ROBERTS, C.R. (1986) - Ration correlation and major element mobility in altered basalts and komatiites. *Contrib. Min. Petrol.* 93(1): 89-97
- SACHTLEBEN, Th. & SECK, H. A. (1981) - Chemical control of Al-solubility in orthopyroxene and its implications on pyroxene geothermometry. *Contrib. Min. Petrol.* 78: 157-165
- SACK, R.O.; GHIORSO, M.S. (1991) - Chromian spinel as petrogenetic indicator: thermodynamics and petrological applications. *Am. Min.* 76: 827-847
- SANTOS, L. C. S. (1972) - Evolução geoquímica e mineralógica de um solo niquelífero. Tese de Mestrado. UFRJ. 105 pp.
- SAXENA, S.K. (1968) - Crystal-chemical aspects of distribution of elements among certain coexisting rock-forming minerals. *Neues. Jahrb., Abhdl.*, 108: 292-323. In: DEER, W. A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1982) - *Rock forming mineral. Volume 2A. Single-Chain Silicates.* Longman Ed. 668 pp.
- SCHMÄDICKE, E.; EVANS, B.W. (1997) - Garnet-bearing rocks from the Erzgebirge, and their relation to other settings in the Bohemian Massif. *Contrib. Min. Petrol.* 127: 57-74
- SCHUMACHER, J.C.; SCHUMACHER, R.; ROBINSON, P. (1989) - Acadian metamorphism in central Massachusetts and south-western New Hampshire: evidence for constraining P-T trajectories. In: DALY, J.S.; CLIFF, R.A.; YARDLEY, W.D. (Eds.) *Evolution of Metamorphic Belts. Geol. Soc. Sp. Publ.* 453-480
- SEIXAS, S. M. R. & SILVA, J. N. (1976) - Projeto Mantiquira-Furnas. Relatório Final. Conv. DNPM/CPRM. Rio de Janeiro. In : TROUW, R. A. J. (1985) - Metodologia e problemas no estudo do Pré-Cambriano do Sul de Minas Gerais. *An. III Simp. Geol. Minas Gerais.* Belo Horizonte.
- SIMÕES, (1982) - Mapeamento Geológico da Região de São Vicente de Minas. Relatório de trabalho curricular, não publicado. UFRJ, Rio de Janeiro
- SMITH, D.; RITER, A.J.C. (1997) - Genesis an evolution of low-Al orthopyroxene in spinel peridotites xenoliths, Grand Canyon fiel, Arizona, USA. *Contrib. Min. Petrol.* 127: 391-404
- SPRINGER, R.K. (1974) - Contact methamorphosed ultramafic rock in the western Sierra Nevada foothills, California. *Jour. Petrol.* 15: 160-195
- SPRY, A. (1983) - *Metamorphic Textures.* Pergamon Press Ed. 352 pp

- STROH, J.M. (1976) - Solubility of alumina in orthopyroxene plus spinel as a geobarometer in complex systems. Applications to spinel-bearing Alpine-type peridotites. *Contrib. Min. Petrol.* 54: 173-188
- SUN, S.S.; NESBITT, R.W. (1978) - Petrogenesis of Archean ultrabasic and basic volcanics: evidence from rare earth elements. *Contrib. Min. Petrol.* 65: 301-325
- SZABÓ, G. (1996) - Petrologia da suíte metamórfica da suíte metaultramáfica da sequência vulcano-sedimentar Morro do Ferro na região Sul a Oeste de Alpinópolis, MG (Domínio Norte do Complexo Campos Gerais). Tese de Doutorado. USP. 354 pp.
- TRÖGER, W.E. (1979) - *Optical Determination of Rock-Forming Minerals* (Part1- Determination Tables). English Edition of the Fourth German Edition. 188 pp
- TROMMSDORFF, V. (1974) - Alpine metamorphism of peridotitic rocks. *Schweiz. Petrol. Mitt.* 54: 333-352
- TROUW, R. A. J (1983) - Novos dados sobre os Grupos São João del Rei, Carrancas e Andrelândia. *An. II Simp. Geol Minas Gerais.* 3: 469-477
- TROUW, R. A. J (1992) - Evolução tectônica ao sul do craton de São Francisco, baseada em análise metamórfica. *An. 37º Congr. Bras. Geol.* 1: 327
- TROUW, R. A. J.; PACIULLO, F.V.P ; CHRISPIN, S.J. & DAYAN, H. (1982) - Análise de deformação de uma área a SE de Minas Gerais. *An. XXXII Congr. Bras. Geol.* 1: 187-198
- TROUW, R. A. J.; PACIULLO, F.V.P; RIBEIRO, A. (1994) - A Faixa Alto Rio Grande interpretada como zona de interferência entre a Faixa Brasília e a Faixa Ribeira. *38º Congr. Bras. Geol.* 1: 234 - 235
- TROUW, R. A. J.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.V.P. (1983) - Geologia estrutural dos Grupos São João del Rei, Carrancas e Andrelândia, Sul de Minas Gerais. *An. Acad. Bras. Ciên.* 55(1): 71-85
- TROUW, R. A. J.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.V.P. (1986) - Contribuição à geologia da folha Barbacena - 1:250.000. *An. XXXIII Congr. Bras. Geol.* 2: 974-986
- TROUW, R.A.J. & CASTRO, E.M.O (1996) - Significado tectônico de granulitos brasileiros de alta pressão no Sul de Minas Gerais. *An. XXXIX Congr. Bras. Geol.* 6: 145-148
- TROUW, R.A.J.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.V.P. (1980) - Evolução estrutural e metamórfica de uma área a SE de Lavras - Minas Gerais. *An. XXXI Congr. Bras. Geol.* 5: 2733-2789

- VANCE, J. A. & DUNGAN, M.A. (1977) - Formation of peridotites by deserpentinization in the Darrington and Sultan areas, Cascade Mountains, Washington. *Bull. Geol. Soc. Am.* 88: 1497-1508
- VASCONCELOS, A.C. (1988) - *O Grupo Andrelândia na Região a Norte de Ouro Fino, MG.* Dissertação de Mestrado. USP
- VEBLEN, D.R. (1980) - Anthophyllite asbestos: microstructures, intergrown sheet silicates and mechanisms of fiber formation. *Am. Miner.* 65: 1075-1086
- WAGER, L. R.; BROWN, G. M.; WADSWORTH, W.J. (1960) - Types of igneous cumulates. *Jour. Petrol.* 1: 73-85
- WELLS, P. (1977) - Pyroxene thermometry in simple and complex system. *Contrib. Min. Petrol.* 62: 129-139
- ➔ WHICKS, F.J. & O'HANLEY, D. S. (1988) - Serpentine minerals: structures and petrology. In: BAILEY, S.W. (Ed.) - Hydrous phyllosilicates (exclusive of micas). *Miner. Soc. Am. Rev. in Miner.* 19: 91-167
- WHITE, R.S. (1989) - Magmatism during and after continental brak-up. In: STOREY, B.C.; ALABASTER, T.; PANKHURST, J. (Eds.) *Magmatism and the Causes of Continental Break-Up.* Geol. Soc. Am. Sp. Publ. 1-16
- WHITE, R.S.; McKENZIE, D.P. (1989) - Magmatism at rift zones: the generation of volcanic continental margins and flood basalts. *Jour. Geph. Res.* 94: 7685-7729
- ➔ WHITTAKER, E. J. W. & ZUSSMAN, J. (1956) - The caracterization of serpentine mineral by X-ray diffraction. *Min. Mag.* 233:107-126
- WILSON, A. (1992) - The geology of the Great Dyke, Zimbabwe: cristallization, layering and cumulate formation in the P1 Pyroxenite of Cyclic Unit of Darwendale Subchambe. *Jour. Petrol.* 33(3): 611-663
- WINKLER, H.G.F. (1977) - *Petrogêneses das Rochas Metamórficas.* Ed. Edgarg Blücher/UFGS. Trad. Carlos Burger Jr. 258 pp.

ANEXOS

ANEXO 1 - Mapa Geológico da Região entre Liberdade e Carrancas

ANEXO 2 - Localização de pontos na região da Fazenda da Roseta, Liberdade

ANEXO 3 - Localização de pontos na região do Morro do Corisco, Liberdade

ANEXO 4 - Localização de pontos na região da Serra da Garça, Liberdade

ANEXO 5 - Localização de pontos na região de Arantina

ANEXO 6 - Localização de pontos na região de São Vicente de Minas

ANEXO 7 - Localização de pontos na região de Carrancas

ANEXO 8 - Análises Químicas de Minerais (em ordem alfabética)

Anfibólios

Clinopiroxênios

Espinélio

Högbomita

Ilmenita

Magnetita

Olivina

Ortopiroxênios

LOCALIZAÇÃO DOS AFLORAMENTOS NA REGIÃO DA FAZENDA DA ROSETA
LIBERDADE-MG

LEGENDA

Corpo Ultramáfico

Grupo Andreia (Cianita/Granada-Quartzo Xisto)

FR 7

Afloramento com amostra coletada

Lentes de Gonditos

Contatos observado e inferido

Xistosidade principal

Drenagem

Curva de nível

LOCALIZAÇÃO DOS AFLORAMENTOS NO CORPO ULTRAMÁFICO
MORRO DO CORISCO - LIBERDADE - MG

LEGENDA

- - Corpo Ultramáfico
- Grupo Andreilândia (Cianita / Granada-Quartzo Xisto com intercalações de lentes Anfibolíticas)
MCN1
 Afloramento com amostra coletada
Contato inferido
Drenagem
1140
 Curva de nível

LOCALIZAÇÃO DOS CORPOS ULTRAMÁFICOS NA REGIÃO DA SERRA DA GRAÇA-LIBERDADE-MG

Modificado de Sales (1987)
ESC. APROX. 1:20.000

LEGENDA

- -Corpo Ultramáfico
- -Grupo Andrelândia - Predominância de Muscovita Quartzo Xistos com intercalações de Quartzitos e Anfibolitos
- -Grupo Andrelândia - Quartzo -Plagioclásio-Biotita Gnaiss
- SG 3 - Afloramento com amostra coletada

- -Xistosidade principal
- -Drenagem
- -1140 - Curva de nível
- - Contatos observado e inferido

LOCALIZAÇÃO DE PONTOS NA REGIÃO DE ARANTINA

ESCALA 1:30.000

LOCALIZAÇÃO DE PONTOS NA REGIÃO DE SÃO VICENTE DE MINAS

GRUPO ANDRELANDIA

CORPO ULTRAMAFICO

AFLORAMENTO COM
AMOSTRA COLETADA

ESTRADA

DRENAGEM

TRILHA

1200
CURVA DE NIVEL

ESCALA 1:30.000

ANEXO 8

(Análises Químicas de Minerais)

Anfibólios

Dominio III

Fazenda da Roseta / Rochas websteríticas

Sample Analysis Location Mineral	FR4 37L2	FR4 46L2	FR4 49L2	FR4 60L2	FR4 67L2	SO11GB 13L3	SO11GB 19L3	SO11GB 1L3	SO11GB 22L3
	anf	anf	anf	anf	anf	anf	anf	anf	anf
SiO2	51.77	49.53	49.53	51.9	52.45	50.75	51.45	49.34	49.74
TiO2	.1	.18	.18	.13	0	.02	.07	.02	.1
Al2O3	6.69	6.84	6.84	5.83	6.18	7.38	6.09	7.04	7.81
Cr2O3	.43	.21	.21	.28	.31	0	0	.11	0
FeO	3.51	3.97	3.97	3.22	3.74	4.11	4.08	3.97	4.44
MnO	0	.05	.05	.05	0	0	.03	0	0
MgO	19.38	20.65	20.65	20.7	19.54	20.38	20.5	20.69	20.33
ZnO	.18	0	0	.16	.1	.42	0	0	0
CaO	14.06	13.8	13.8	13.85	14.02	13.59	13.48	13.75	13.5
Na2O	.23	.27	.05	.24	.28	.43	.43	.46	.53
K2O	.1	.05	.06	.09	.08	.12	.12	.15	.16
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	95.84	95.34	95.13	96.01	96.29	96.78	96.25	95.42	96.61
O_F_Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O_F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O_Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CTotal	95.00	95.00	95.00	96.00	96.00	96.78	96.00	95.00	96.00
TSi	7.324	6.996	6.996	7.280	7.393	7.073	7.217	6.980	6.950
TAl	0.676	1.004	1.004	0.720	0.607	0.927	0.783	1.020	1.050
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TTi	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
CAI	0.439	0.134	0.134	0.243	0.419	0.284	0.223	0.153	0.236
CCr	0.048	0.023	0.023	0.031	0.035	0.000	0.000	0.012	0.000
CFe3	0.000	0.469	0.469	0.174	0.000	0.442	0.354	0.470	0.519
CTi	.011	0.019	0.019	0.014	0.000	0.002	0.007	0.002	0.011
CMg	4.087	4.348	4.348	4.329	4.106	4.234	4.287	4.363	4.235
CFe2	0.415	0.000	0.000	0.204	0.441	0.037	0.125	0.000	0.000
CMn	0.000	0.006	0.006	0.006	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000
CCa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
BMg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BFe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BMn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BCa	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
BNa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
ACa	0.131	0.089	0.089	0.081	0.117	0.029	0.026	0.084	0.021
ANa	0.063	0.074	0.014	0.065	0.077	0.116	0.117	0.126	0.144
AK	0.018	0.009	0.011	0.016	0.014	0.021	0.021	0.027	0.029
Sum_A	0.212	0.171	0.113	0.163	0.208	0.167	0.164	0.237	0.193
Sum_cat	15.212	15.171	15.113	15.163	15.208	15.167	15.164	15.237	15.193
CCl	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
OH	-	-	-	-	-	0.000	-	-	-
Sum_oxv	23.088	22.961	22.931	23.000	23.086	23.000	23.000	22.970	22.970

Ortopiroxênios

Domínio III

Serra da Garça / Ortopiroxenitos

Sample Analysis Location Mineral	SG2B 1L4	SG2B 23L4	SG2B 25L4	SG2B 2L11	SG2B 2L4	SG2B 4L11
SiO2	57.79	59.08	58.69	58.96	56.99	57.78
TiO2	0	0	0	0	0	0
Al2O3	0	0.17	0.02	0.18	0	0.13
Cr2O3	0	0	0	0.01	0	0.08
FeO	6.54	6	6.13	6.58	7.23	6.36
Fe2O3	0	0	0	0	0	0
MnO	0	0.02	0	0.07	0.24	0.13
MgO	35.36	35.06	35.02	33.19	34.41	34.32
NiO	0	0	0	0.08	0	0.13
CaO	0	0	0	0.09	0	0
Na2O	0	0	0	0	0	0.03
K2O	0	0.01	0	0.01	0	0
BaO	0	0	0	0	0	0
Total	99.69	100.34	99.86	99.17	98.87	98.96
TSi	1.993	2.027	2.023	2.062	1.990	2.014
TAI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TFe3	0.007	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000
M1Al	0.000	0.007	0.001	0.007	0.000	0.005
M1Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Fe3	0.007	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
M1Mg	0.993	0.993	0.999	0.990	0.990	0.989
M1Ni	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.004
M2Mg	0.825	0.800	0.800	0.740	0.801	0.795
M2Fe2	0.175	0.172	0.177	0.192	0.192	0.185
M2Mn	0.000	0.001	0.000	0.002	0.007	0.004
M2Ca	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000
M2Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
M2K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_cat	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Ca	0.000	0.000	0.000	0.175	0.000	0.000
Mg	91.216	91.214	91.058	89.737	90.011	90.407
Fe2_Mn	8.784	8.786	8.942	10.088	9.989	9.593
JD1	0.000	0.022	0.000	0.023	0.000	0.103
AE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CFTS1	0.339	0.000	0.000	0.014	0.488	0.112
CTTS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CATS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
WO1	0.000	0.000	0.000	0.161	0.000	0.000
EN1	90.907	91.220	91.058	89.813	89.893	90.389
FS1	8.754	8.758	8.942	9.989	9.619	9.397
Q	1.993	1.965	1.976	1.926	1.983	1.969
J	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004
WO	0.000	0.000	0.000	0.175	0.000	0.000
EN	90.600	91.214	91.058	89.737	89.140	90.407
FS	9.400	8.786	8.942	10.088	10.860	9.593
WEF	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	99.795
JD	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.205
AE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Anfibólios

Dominio III

Fazenda da Roseta / Rochas websteríticas

Sample Analysis Location Mineral	SO11GB 9L3	SO11GB2 19L9	SO11GB2 20L9	SO11GB2 21L9	SO11GB2 25L9	SO11GB2 34L9	SO11GB2 35L9	SO11GB2 48L9	SO11GB2 65L9
	anf	anf	anf	anf	anf	anf	anf	anf	anf
SiO2	50.85	52.62	52.7	50.83	52.23	50.76	51.97	50.28	50.24
TiO2	.02	.12	.07	.2	.15	.02	.09	.12	.15
Al2O3	7.53	6.91	7.04	8.74	8.59	8.66	7.73	9.16	9.71
Cr2O3	0	.35	.35	.24	.13	.24	.38	.26	.13
FeO	4.58	3.71	3.92	4.26	4.35	4.41	4.03	4.37	4.42
MnO	0	.01	.07	.03	.09	.01	.1	.05	.07
MgO	20.26	20.23	19.95	19.26	19.64	19.29	19.82	19.17	19.12
ZnO	0	.12	.22	.18	.14	.17	.21	.09	.14
CaO	13.72	13.53	12.65	12.37	12.73	12.95	12.69	12.63	12.79
Na2O	.52	.45	.45	.6	.6	.59	.51	.75	.63
K2O	.14	.16	.09	.22	.21	.26	.19	.25	.26
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	97.62	97.74	96.94	96.51	98.59	96.95	97.13	96.78	97.39
O_F_Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O_F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O_Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CTotal	97.00	97.00	96.00	96.00	98.00	96.00	97.00	96.00	97.00
TSi	7.050	7.247	7.258	7.047	7.106	7.049	7.154	6.980	6.937
TAl	0.950	0.753	0.742	0.953	0.894	0.951	0.846	1.020	1.063
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TTi	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
CAI	0.279	0.368	0.399	0.475	0.482	0.465	0.407	0.478	0.516
CCr	0.000	0.038	0.038	0.026	0.014	0.026	0.041	0.029	0.014
CFe3	0.426	0.181	0.422	0.494	0.462	0.397	0.464	0.484	0.503
CTi	0.002	0.012	0.007	0.021	0.015	0.002	0.309	0.013	0.016
CMg	4.187	4.153	4.096	3.981	3.983	3.993	4.067	3.968	3.936
CFe2	0.105	0.246	0.030	0.000	0.033	0.115	0.000	0.023	0.007
CMn	0.000	0.001	0.008	0.004	0.010	0.001	0.012	0.006	0.008
CCa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
BMg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BFe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BMn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BCa	2.000	1.996	1.867	1.838	1.856	1.927	1.872	1.879	1.892
BNa	0.000	0.004	0.120	0.161	0.144	0.073	0.128	0.121	0.108
Sum_B	2.000	2.000	1.987	1.999	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
ACa	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ANa	0.140	0.117	0.000	0.000	0.014	0.086	0.008	0.081	0.061
AK	0.025	0.028	0.016	0.039	0.036	0.046	0.033	0.044	0.046
Sum_A	0.203	0.145	0.016	0.039	0.050	0.132	0.041	0.125	0.107
Sum_cat	15.203	15.145	15.002	15.038	15.050	15.132	15.041	15.125	15.107
CCl	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
OH	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum_oxv	23.000	23.000	23.000	22.980	23.000	23.000	22.998	23.000	23.000

Anfibólios

Dominio III

Fazenda da Roseta / Rochas websteríticas

Sample Analysis Location Mineral	SO11GB 30L3	SO11GB 45L3	SO11GB 46L3	SO11GB 48L3	SO11GB 55L3	SO11GB 62L3	SO11GB 75L3	SO11GB 76L3	SO11GB 84L3
	anf	anf	anf	anf	anf	anf	anf	anf	anf
SiO2	51.4	48.86	47.76	51.42	51.86	51.03	47.52	48.7	52.98
TiO2	.17	.05	.1	0	.02	0	.05	.03	0
Al2O3	6.98	7.02	7.2	3.99	5	4.03	7.47	7.12	6.34
Cr2O3	.09	0	0	.02	.35	0	.26	.33	0
FeO	4.08	3.83	3.95	3.11	3.67	3.63	4.14	3.85	4.04
MnO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MgO	20.54	20.64	20.89	22.26	21.31	22	20.47	20.83	21.19
ZnO	0	0	0	0	0	.01	0	0	0
CaO	13.57	13.62	13.62	13.18	13.21	13.33	13.48	13.86	13.67
Na2O	.43	.42	.43	.26	.26	.25	.52	.45	.37
K2O	.17	.2	.22	.03	.08	.03	.19	.15	.08
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	97.34	94.64	94.17	94.25	95.41	94.30	93.84	94.99	98.67
O_F_Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O_F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O_Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CTotal	97.00	94.00	94.00	94.00	95.00	94.00	93.00	94.00	98.00
TSi	7.120	6.969	6.841	7.272	7.259	7.242	6.823	6.909	7.218
TAl	0.880	1.031	1.159	0.665	0.741	0.673	1.177	1.091	0.782
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.063	0.000	0.085	0.000	0.000	0.000
TTi	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
CAI	0.258	0.149	0.055	0.000	0.083	0.000	0.086	0.098	0.236
CCr	0.010	0.000	0.000	0.002	0.039	0.000	0.029	0.037	0.000
CFe3	0.403	0.457	0.473	0.305	0.430	0.346	0.497	0.457	0.443
CTi	0.018	0.005	0.011	0.000	0.002	0.000	0.005	0.003	0.000
CMg	4.241	4.389	4.461	4.693	4.447	4.654	4.382	4.405	4.304
CFe2	0.069	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017
CMn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CCa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
BMg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BFe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BMn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BCa	2.000	2.000	2.000	1.997	1.981	2.000	2.000	2.000	1.996
BNa	0.000	0.000	0.000	0.003	0.019	0.000	0.000	0.000	0.004
Sum_B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
ACa	0.014	0.082	0.090	0.000	0.000	0.027	0.074	0.107	0.000
ANa	0.115	0.116	0.119	0.068	0.052	0.069	0.145	0.124	0.093
AK	0.030	0.036	0.040	0.005	0.014	0.005	0.035	0.027	0.014
Sum_A	0.159	0.234	0.250	0.074	0.066	0.101	0.253	0.258	0.107
Sum_cat	15.159	15.234	15.250	15.074	15.066	15.101	15.253	15.258	15.107
CCl	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
OH	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum_oxv	23.000	22.951	22.866	22.825	22.931	22.858	22.887	22.935	23.000

Anfibólios

Dominio III

Arantina / Clorita/Anfibólio Olivina Fels

Fazenda da Roseta /Serpentinitos

Serra da Garça /Ortopiroxenitos

Sample Analysis Location Mineral	AR1 121L3 Arantina anf	FR-3A 7L10 Roseta anf	FR-3A 8L10 Roseta anf	SG2B 7L4 S.Garca anf	SG2B 7L4 S.Garca anf
SiO2	53.9	57.81	58.3	59.9	59.9
TiO2	0	0	.03	0	0
Al2O3	.42	1.33	1.6	0	0
Cr2O3	0	.14	.12	0	0
FeO	3.47	1.58	1.78	7.34	7.34
MnO	.03	.12	.02	.06	.06
MgO	23.74	21.81	21.69	30.54	30.54
ZnO	0	.12	.13	0	0
CaO	13.23	13.58	13.2	.21	.21
Na2O	.16	.02	.04	0	0
K2O	0	.01	0	0	0
F	0	0	0	0	0
Cl	0	0	0	0	0
Total	94.95	96.26	96.66	98.05	98.05
O_F_Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O_F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O_Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O	0	0	0	0	0
CTotal	94.00	96.26	96.66	98.00	98.00
TSi	7.558	8.044	8.051	6.977	6.977
TAI	0.069	0.000	0.000	0.000	0.000
TFe3	0.373	0.000	0.000	0.715	0.715
TTi	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_T	8.000	8.044	8.051	7.691	7.691
CAI	0.000	0.218	0.260	0.000	0.000
CCr	0.000	0.015	0.013	0.000	0.000
CFe3	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000
CTi	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CMg	4.962	4.524	4.465	5.000	5.000
CFe2	0.000	0.184	0.206	0.000	0.000
CMn	0.004	0.014	0.002	0.000	0.000
CCa	0.000	0.044	0.051	0.000	0.000
Sum_C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
BMg	0.000	0.000	0.000	0.303	0.303
BFe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BMn	0.000	0.000	0.000	0.006	0.006
BCa	1.988	1.980	1.902	0.026	0.026
BNa	0.012	0.005	0.011	0.000	0.000
Sum_B	2.000	1.986	1.913	0.335	0.335
ACa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ANa	0.031	0.000	0.000	0.000	0.000
AK	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
Sum_A	0.031	0.002	0.000	0.000	0.000
Sum_cat	15.031	15.032	14.964	13.026	13.026
CCl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
OH	-	-	-	-	-
Sum_oxv	22.805	23.189	23.149	20.360	20.360

Anfibólios

Dominio III

Morro do Corisco / Espinélio hornblenditos

[illegible]

Anfibólitos

Dominio III

Morro do Corisco / Espinélio hornblenditos

[illegible]

Anfibólios

Domínio II

Fazenda da Areia - Carrancas / Espinélíio-Olivina Ortopiroxenito

Sample Analysis Location Mineral	FA-IV 25L10	FA-IV 32L10	FA-IV 35L10	FA-IV 42L10	FA-IV 54L10	FA-IV 55L10	FA-IV 56L10	FA-IV 66L10	FA-IV 69L10
anf	anf	anf	anf	anf	anf	anf	anf	anf	anf
SiO2	51.41	51.14	51.02	51.04	51.9	52.47	53.06	49.88	51.26
TiO2	.4	.42	.47	.47	.36	.3	.47	.52	.45
Al2O3	7.81	7.49	7.71	7.9	7.67	6.7	6.53	7.49	7.97
Cr2O3	.09	.19	.14	.25	.16	.18	.29	.18	.26
FeO	6.47	6.32	5.87	6.03	6.08	5.82	5.55	6.18	6.42
MnO	.15	.07	.12	.1	.12	.11	.07	.13	.07
MgO	17.76	17.85	18.03	17.93	19.68	18.58	18.72	18.32	17.28
ZnO	.12	.12	.14	.01	.06	.02	.14	.01	.15
CaO	12.29	12.37	13.73	12.67	12.43	12.37	12.53	12.58	12.36
Na2O	1.01	.84	.99	.91	.95	.7	.77	.91	.88
K2O	.12	.11	.15	.08	.13	.09	.08	.13	.11
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	97.42	96.61	98.09	97.13	99.32	97.14	97.78	96.14	96.80
O_F_Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O_F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O_Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CTotal	97.00	96.00	98.00	97.00	99.00	97.00	97.00	96.00	96.00
TSi	7.187	7.196	7.174	7.154	7.039	7.304	7.343	7.062	7.214
TAl	0.813	0.804	0.826	0.846	0.961	0.696	0.657	0.938	0.786
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TTi	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
CAI	0.473	0.438	0.451	0.458	0.264	0.402	0.407	0.311	0.534
CCr	0.010	0.021	0.016	0.028	0.017	0.020	0.032	0.020	0.029
CFe3	0.270	0.277	0.000	0.195	0.690	0.316	0.184	0.407	0.000
CTi	0.042	0.044	0.050	0.050	0.037	0.031	0.049	0.055	0.048
CMg	3.701	3.745	3.779	3.746	3.979	3.856	3.862	3.867	3.625
CFe2	0.487	0.467	0.690	0.512	0.000	0.362	0.458	0.325	0.756
CMn	0.018	0.008	0.014	0.012	0.014	0.013	0.008	0.016	0.008
CCa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
BMg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BFe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BMn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BCa	1.841	1.865	2.000	1.903	1.806	1.845	1.858	1.908	1.864
BNa	0.159	0.135	0.000	0.097	0.194	0.155	0.142	0.092	0.136
Sum_B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
ACa	0.000	0.000	0.068	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ANa	0.115	0.094	0.270	0.150	0.056	0.034	0.064	0.158	0.104
AK	0.021	0.020	0.027	0.014	0.022	0.016	0.014	0.023	0.167
Sum_A	0.136	0.114	0.365	0.164	0.079	0.050	0.079	0.182	0.271
Sum_cat	15.136	15.114	15.365	15.164	15.079	15.050	15.079	15.182	15.271
CCl	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
OH	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum_oxv	23.000	23.000	23.087	23.000	22.984	23.000	23.000	23.000	23.003

Anfibólios

Domínio II

Fazenda da Areia - Carrancas / Espinélito-Olivina Ortopiroxenito

Sample Analysis Location Mineral	CA10B 1L1	CA10B 33L2	CA10B 34L2	CA10B 8L1	CA10B 9L1	FA-IV 12L10	FA-IV 13L10	FA-IV 14L10	FA-IV 23L10
	anf	anf	anf	anf	anf	anf	anf	anf	anf
SiO2	47.35	48.99	46.82	46.42	48.51	50.58	52.15	51.09	52.48
TiO2	.4	.42	.45	.48	.5	.39	.28	.41	.35
Al2O3	10.08	10.26	10.45	10.86	10.33	7.51	6.83	7.44	6.32
Cr2O3	.24	.11	.21	.2	.1	.19	.19	.06	.27
FeO	6.15	6.94	7.59	7.48	7.24	5.85	5.74	5.69	6.08
MnO	.01	.04	.08	.16	.05	0	.12	.07	.08
MgO	19.49	16.58	17.21	18.65	17.14	18.03	18.02	17.61	18.37
ZnO	.03	.09	.17	.03	.08	.04	.07	.06	.06
CaO	13.5	13.63	12.74	12.61	12.71	12.14	12.45	12.65	12.43
Na2O	.82	.93	.93	.87	.93	.95	.76	.91	.69
K2O	0	.18	.2	.2	.18	.12	.11	.15	.1
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	97.80	97.97	96.47	97.73	97.59	95.57	96.46	96.02	96.90
O_F-Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O_F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O-Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O	-	-	0	-	-	0	0	0	0
CTotal	-	-	96.00	-	-	95.00	96.00	96.00	96.00
TSi	6.554	6.920	6.637	6.425	6.797	7.175	7.343	7.276	7.341
TAI	1.446	1.080	1.363	1.575	1.203	0.825	0.657	0.724	0.659
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TTi	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
CAI	0.197	0.627	0.382	0.195	0.502	0.430	0.476	0.524	0.382
CCr	0.026	0.012	0.024	0.022	0.011	0.021	0.021	0.007	0.030
CFe3	0.712	0.000	0.699	0.866	0.484	0.317	0.116	0.000	0.243
C Ti	0.042	0.045	0.048	0.050	0.053	0.042	0.030	0.044	0.037
CMg	4.022	3.491	3.637	3.848	3.580	3.813	3.783	3.739	3.831
CFe2	0.000	0.820	0.201	0.000	0.365	0.377	0.560	0.678	0.468
CMn	0.001	0.005	0.010	0.019	0.006	0.000	0.014	0.008	0.009
CCa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
BMg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BFe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BMn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BCa	2.000	2.000	1.935	1.870	1.908	1.845	1.878	1.930	1.863
BNa	0.000	0.000	0.065	0.130	0.092	0.155	0.122	0.070	0.137
Sum_B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
ACa	0.002	0.063	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ANa	0.220	0.255	0.191	0.104	0.161	0.107	0.086	0.182	0.050
AK	0.000	0.032	0.036	0.035	0.032	0.022	0.020	0.027	0.018
Sum_A	0.222	0.350	0.227	0.139	0.193	0.128	0.106	0.209	0.068
Sum_cat	15.222	15.350	15.227	15.139	15.193	15.128	15.106	15.209	15.068
CCl	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
OH	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum_oxv	22.899	23.031	23.000	22.808	23.000	23.000	23.000	23.017	23.000

Anfibólios

Domínio II

São Vicente de Minas - Espinélio-Olivina Ortopiroxenito

Sample Analysis Location Mineral	SV3A 102L11	SV3A 106L11	SV3A 85L11	SV3A 90L11	SV3A 91L11	SV3A 92L11
	anf	anf	anf	anf	anf	anf
SiO2	53.22	53.07	52.5	52.36	51.77	52.64
TiO2	.38	.22	.42	.4	.53	.2
Al2O3	6.94	6.85	6.46	7.21	7.02	6.64
Cr2O3	.25	.15	.27	.19	.24	.09
FeO	3.43	3.49	3.38	3.34	3.66	3.45
MnO	.03	.02	.02	.13	.12	.1
MgO	19.43	18.68	19.47	19.01	19.75	19.99
ZnO	.08	.03	.12	.12	.04	.17
CaO	12.85	12.71	12.56	12.1	12.31	12.51
Na2O	.57	.52	.53	.62	.64	.55
K2O	.17	.14	.14	.2	.15	.14
F	0	0	0	0	0	0
Cl	0	0	0	0	0	0
Total	97.02	95.70	95.48	95.37	95.95	96.22
O_F_Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O_F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O_Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O	0	0	0	0	0	0
CTotal	97.00	95.00	95.00	95.00	95.00	96.00
TSi	7.381	7.482	7.378	7.355	7.219	7.323
TAI	0.619	0.518	0.622	0.645	0.781	0.677
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TTi	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
CAI	0.514	0.620	0.447	0.548	0.372	0.411
CCr	0.027	0.017	0.030	0.021	0.026	0.010
CFe3	0.000	0.000	0.104	0.144	0.394	0.313
CTi	0.040	0.023	0.044	0.042	0.056	0.021
CMg	4.017	3.926	4.079	3.981	4.105	4.146
CFe2	0.398	0.412	0.293	0.248	0.033	0.089
CMn	0.004	0.002	0.002	0.015	0.014	0.012
CCa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
BMg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BFe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BMn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BCa	1.909	1.920	1.891	1.821	1.839	1.865
BNa	0.091	0.080	0.109	0.169	0.161	0.135
Sum_B	2.000	2.000	2.000	1.990	2.000	2.000
ACa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ANa	0.063	0.062	0.036	0.000	0.012	0.013
AK	0.030	0.025	0.025	0.036	0.027	0.025
Sum_A	0.093	0.087	0.061	0.036	0.039	0.038
Sum_cat	15.093	15.087	15.061	15.026	15.039	15.038
CCl	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
OH	-	-	-	-	-	-
Sum_oxy	23.002	23.086	23.000	23.000	23.000	23.000

Cloritas

Domínio III

Arantina / Clorita/anfibólio olivina fels

Sample Analysis Location Mineral	AR 108L3	AR 116L3	AR 33LB	AR 34LB	AR 35LB	AR 37LB	AR 38LB
SiO2	27.02	28.02	30.42	29.89	29.87	29.29	30.32
TiO2	.07	0	.1	.06	.09	.11	.05
Al2O3	17.78	18.85	19.57	19.3	19.6	19.37	19.29
Cr2O3	.39	.33	.47	.47	.43	.53	.43
ZnO	0	0	.08	.05	.01	0	0
FeO	6	6.44	6.56	6.77	6.48	6.51	6.49
MnO	0	0	.03	.04	.02	.03	.04
MgO	31.4	30.97	31.28	31.24	31.99	31.16	31.49
NiO	0	0	.16	.17	.17	.18	.14
CaO	0	0	0	.02	0	.01	.02
Na2O	0	0	.02	0	0	.06	.03
K2O	0	0	.03	.02	.01	.03	.01
BaO	0	0	0	0	0	0	0
Total	82.66	84.61	88.72	88.03	88.67	87.28	88.31
Si	5.487	5.492	5.724	5.662	5.601	5.592	5.723
AlIV	2.513	2.508	2.276	2.338	2.399	2.408	2.277
Sum_T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
AlVI	1.739	1.843	2.061	1.967	1.929	1.947	2.011
Ti	0.011	0.000	0.014	0.009	0.013	0.016	0.007
Fe2	1.019	1.056	1.032	1.072	1.016	1.039	1.024
Cr	0.063	0.051	0.070	0.070	0.064	0.080	0.064
Zn	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Mn	0.000	0.000	0.005	0.006	0.003	0.005	0.006
Mg	9.506	9.050	8.774	8.822	8.942	8.868	8.861
Ni	0.00	0.00	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02
Ca	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.002	0.004
Na	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.022	0.011
K	0.000	0.000	0.007	0.005	0.002	0.007	0.002
Sum_Cat	12.338	12.000	12.000	11.995	11.999	12.016	12.010
CatTOT	20.34	20.00	20.00	20.00	20.00	20.02	20.01
OH	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
O	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000
Mg_Fe2	9.33	8.57	8.50	8.23	8.80	8.54	8.65
Mg_Fe2Mg	0.90	0.90	0.89	0.89	0.90	0.90	0.90

Cloritas

Dominio III

Serra da Garça / Ortopyroxenitos

Fazenda da Roseta / Espinélio Harzburgitos

Dominio II

São Vicente de Minas / Espinélio-olivina ortopyroxenitos

Sample Analysis Location Mineral	SG 151A	SO11E 27LB	SO11E 28LB	SO11E 31LB	SO11E 851.7	SV 25LB	SV 26LB
SiO2	30.6	29.16	29.11	29.68	29.8	28.89	29.19
TiO2	0	.09	.1	.12	0	.02	.06
Al2O3	17.64	20.73	21.52	21.69	20.69	21.7	22.33
Cr2O3	1.51	0	0	0	0	.27	.36
ZnO	0	0	.02	0	0	.14	0
FeO	4.21	3.58	3.82	3.86	4.04	4.29	4.61
MnO	0	0	0	0	.04	.04	.01
MgO	32.56	32.45	32.43	33.36	32.6	31.71	31.86
NiO	0	.03	.04	0	.04	.25	.23
CaO	0	0	0	.01	0	.02	.01
Na2O	0	.04	0	0	0	0	.05
K2O	0	0	.04	.02	.02	.01	0
BaO	0	0	0	0	.11	0	0
Total	86.52	89.05	87.08	88.74	87.34	87.34	88.71
Si	5.850	5.430	5.481	5.479	5.608	5.455	5.438
AlIV	2.150	2.570	2.519	2.521	2.392	2.545	2.562
Sum T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
AlVI	1.821	1.976	2.253	2.195	2.193	2.280	2.337
Ti	0.000	0.013	0.014	0.017	0.000	0.003	0.008
Fe2	0.673	0.557	0.601	0.596	0.636	0.677	0.718
Cr	0.228	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040	0.053
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.006	0.002
Mg	9.279	9.008	9.102	9.181	9.145	8.926	8.849
Ni	0.00	0.45	0.01	0.00	0.01	0.04	0.03
Ca	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.004	0.002
Na	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018
K	0.000	0.000	0.010	0.005	0.005	0.002	0.000
Sum Cat	12.001	12.018	11.990	11.996	11.995	11.998	12.017
CatTOT	20.00	20.02	19.99	20.00	20.00	20.00	20.02
OH	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
O	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000
Mg_Fe2	13.79	16.17	15.14	15.40	14.38	13.18	12.32
Mg_Fe2Mg	0.93	0.94	0.94	0.94	0.93	0.93	0.92

Espinélios

Dominio III

Fazenda da Roseta /Rochas Websteríticas

[illegible]

Espinélios

Dominio III

Fazenda da Roseta /Rochas Websteríticas

[illegible]

Espinélios

Dominio III

Fazenda da Roseta / Espinélio Harzburgito

[illegible]

Espinélios

Domínio III

Fazenda da Roseta / Espinélio Harzburgito

[illegible]

Espinélios

Dominio III

Fazenda da Roseta / Espinélio Harzburgito

[illegible]

Espinélios

Dominio III

Fazenda da Roseta / Espinério Harzburgito

[illegible]

Espinélios

Dominio III

Fazenda da Roseta / Espinélio Harzburgito

[illegible]

Espineros

Domínio III

Morro do Corisco / Espinélio Hornblendito

[illegible]

Espinélios

Domínio II

São Vicente de Minas / Espinélio-olivina ortopiroxenito

[illegible]

Espinélios

Dominio II

São Vicente de Minas / Espinélio-olivina ortopiroxenito

[illegible]

Espinélios

Dominio II

Fazenda da Areia - Carrancas / Espinélio-olivina ortopiroxenito

[illegible]

Espinélios

Dominio II

Fazenda da Areia - Carrancas / Espinélio-olivina ortopiroxenitos

Sample Analysis Location Mineral	FAIV 17L10	FAIV 18L10	FAIV 18L10
SiO ₂	.72	.1	.1
TiO ₂	.03	0	0
Al ₂ O ₃	56.58	56.49	56.49
Cr ₂ O ₃	4.33	4.14	4.14
Fe ₂ O ₃	.1	1.43	1.43
FeO	22.74	22.39	22.39
MnO	.08	.06	.06
MgO	11.34	11.09	11.09
CaO	.2	0	0
NiO	.46	.44	.44
ZnO	0	0	0
Total	96.58	96.14	96.14
Si	-	-	-
Al	-	-	-
Ti	-	-	-
Fe ₂	-	-	-
Fe ₃	-	-	-
Cr	-	-	-
Mn	-	-	-
Mg	-	-	-
Ca	-	-	-
Ni	-	-	-
Cations	-	-	-
O	4.00	4.00	4.00

Clinopiroxênios

Domínio III

Fazenda da Roseta / Rochas websteríticas

Sample Analysis Location Mineral	11GB5 90I3	11GB6 34I3	11GB7 35I3	FR4A 64L2	FR4A 65L2	FR4A 66L2	FR4A 68L2	FR4A 71L2	FR4A 71L2
SiO2	52.58	52.23	52.55	51.2	52.43	53.33	52.53	52.71	52.71
TiO2	0	0	0	0.02	0.07	0.21	0	0.05	0.05
Al2O3	1.24	1.59	1.58	1.73	1.73	1.76	1.81	1.86	1.86
Cr2O3	0	0	0	0.01	0.17	0.12	0.2	0.11	0.11
ZnO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	2.6	2.78	2.92	2.58	2.68	2.62	2.83	2.81	2.81
MnO	0.14	0	0.02	0.1	0.07	0	0	0	0
MgO	17.65	17.45	17.96	17.67	16.83	15.61	16.59	15.89	15.89
NiO	0	0	0	0.1	0.07	0	0	0.05	0.05
CaO	25.47	25.7	25.57	26.31	26.47	26.26	26.15	26.82	26.82
Na2O	0	0	0.03	0.05	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04
K2O	0	0	0	0	0.01	0.01	0.04	0.02	0.02
Total	99.68	99.75	100.63	99.77	100.58	99.96	100.18	100.36	100.36
TSi	1.913	1.900	1.892	1.858	1.897	1.951	1.909	1.918	1.918
TAl	0.053	0.068	0.067	0.074	0.074	0.049	0.077	0.080	0.080
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.003
M1Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.027	0.000	0.000	0.000
M1Ti	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.006	0.000	0.001	0.001
M1Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.080	0.080
M1Fe2	0.043	0.054	0.036	0.040	0.081	0.070	0.086	0.003	0.003
M1Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.003	0.006	0.003	0.003
M1Mg	0.957	0.946	0.964	0.956	0.908	0.851	0.899	0.862	0.862
M1Ni	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.000	0.000	0.001	0.001
M2Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Fe2	0.036	0.031	0.052	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Mn	0.004	0.000	0.001	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Ca	0.993	1.002	0.986	1.023	1.026	1.029	1.018	1.045	1.045
M2Na	0.000	0.000	0.002	0.004	0.004	0.003	0.002	0.003	0.003
M2K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001
Sum_cat	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	3.998	3.999	3.999
Ca	48.823	49.281	48.378	49.652	50.870	52.774	50.834	54.726	54.726
Mg	47.075	46.558	47.280	46.398	45.003	43.649	44.872	45.114	45.114
Fe2_Mn	4.102	4.161	4.342	3.950	4.127	3.577	4.294	0.160	0.160
JD1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.169	0.000	0.000	0.000
AE1	0.000	0.000	0.103	0.171	0.197	0.000	0.198	0.196	0.196
CFTS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.044	0.709	0.088	4.142	4.142
CTTS1	0.000	0.000	0.000	0.026	0.094	0.296	0.000	0.071	0.071
CATS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.200	0.000	0.000	0.000
WO1	48.927	49.281	48.343	49.615	50.686	50.480	50.645	50.406	50.406
EN1	47.175	46.558	47.245	46.388	44.963	43.575	44.783	45.025	45.025
FS1	3.898	4.161	4.309	3.800	4.017	3.571	4.286	0.160	0.160
Q'	2.029	2.032	2.038	2.057	2.015	1.950	2.003	1.910	1.910
J	0.000	0.000	0.004	0.007	0.007	0.006	0.004	0.006	0.006
WO	48.823	49.281	48.378	49.652	50.870	52.494	50.834	52.462	52.462
EN	47.075	46.558	47.280	46.398	45.003	43.418	44.872	43.247	43.247
FS	4.102	4.161	4.342	3.950	4.127	4.088	4.294	4.290	4.290
WEF	100.000	100.000	99.795	99.660	99.653	99.710	99.789	99.705	99.705
JD	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.209	0.000	0.000	0.000
AE	0.000	0.000	0.002	0.004	0.004	0.081	0.004	0.295	0.295

Clinopiroxênios

Domínio III

Fazenda da Roseta / Rochas websteríticas

Sample Analysis Location Mineral	11GB2 1013	11GB2 1113	11GB2 1413	11GB2 1513	11GB2 5213	11GB2 5L3	11GB2 7913	11GB3 8313	11GB4 8613
SiO2	52.4	53.39	51.16	51.13	52.82	52.43	52.61	52.58	53.22
TiO2	0	0	0	0	0.02	0	0	0.02	0
Al2O3	1.5	1.42	1.64	1.35	0.91	1.66	1.34	1.34	1.3
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	2.77	2.61	2.5	2.84	2.78	2.51	2.66	2.41	2.66
MnO	0	0	0	0	0	0	0.03	0.01	0.02
MgO	17.75	17.84	17.86	17.76	18.24	17.45	17.46	17.78	17.77
NiO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CaO	25.71	25.62	25.75	25.85	25.62	25.71	25.3	26	26.05
Na2O	0.09	0.03	0	0.07	0.05	0	0.01	0	0.07
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	100.22	100.91	98.91	99.00	100.44	99.76	99.41	100.14	101.09
TSi	1.894	1.918	1.871	1.869	1.904	1.906	1.920	1.902	1.909
TAI	0.064	0.060	0.071	0.058	0.039	0.071	0.058	0.057	0.055
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000
M1Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Fe2	0.044	0.045	0.026	0.032	0.019	0.054	0.050	0.040	0.050
M1Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Mg	0.956	0.955	0.974	0.968	0.980	0.946	0.950	0.959	0.950
M1Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Fe2	0.040	0.034	0.050	0.055	0.064	0.022	0.031	0.032	0.030
M2Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001
M2Ca	0.996	0.986	1.009	1.013	0.989	1.001	0.989	1.008	1.001
M2Na	0.006	0.002	0.000	0.005	0.003	0.000	0.001	0.000	0.005
M2K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_cn*	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Ca	48.907	48.819	48.999	48.979	48.186	49.491	48.942	49.403	49.275
Mg	46.980	47.299	47.287	46.821	47.733	46.738	46.995	47.007	46.768
Fe2_Mn	4.113	3.882	3.713	4.200	4.081	3.771	4.062	3.589	3.957
JD1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AE1	0.309	0.103	0.000	0.239	0.170	0.000	0.035	0.000	0.239
CFTS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CTTS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026	0.000	0.000	0.027	0.000
CATS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
WO1	48.756	48.768	48.999	48.862	48.078	49.491	48.947	49.384	49.171
EN1	46.835	47.250	47.287	46.709	47.652	46.738	47.001	47.014	46.670
FS1	4.100	3.878	3.713	4.190	4.074	3.771	4.017	3.575	3.919
Q	2.036	2.020	2.059	2.067	2.053	2.023	2.021	2.040	2.031
J	0.013	0.004	0.000	0.010	0.007	0.000	0.001	0.000	0.010
WO	48.907	48.819	48.999	48.979	48.186	49.491	48.942	49.403	49.275
EN	46.980	47.299	47.287	46.821	47.733	46.738	46.995	47.007	46.768
FS	4.113	3.882	3.713	4.200	4.081	3.771	4.062	3.589	3.957
WEF	99.384	99.794	100.000	99.522	99.661	100.000	99.930	100.000	99.523
JD	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AE	0.006	0.002	0.000	0.005	0.003	0.000	0.001	0.000	0.005

Clinopiroxênios

Domínio III

Morro do Corisco / Espinélio Hornblendito

Sample Analysis Location Mineral	12N2B 117L11	12N2B 119L11	12N2B 120L11	12N2B 121L11	12N2B 122L11	12N2B 126L11	12N2B 139L11	MC 23LA	MC 34LA
SiO2	49.73	49.18	50.61	50.22	51.6	49.67	49.04	49.03	47.68
TiO2	0.6	0.77	0.48	0.94	0.65	0.75	0.85	.69	.94
Al2O3	5.45	6.26	5.03	5.7	3.93	5.48	5.61	5.61	6.85
Cr2O3	0.01	0	0	0	0.02	0.03	0.12	0	.07
ZnO	0	0	0	0	0	0	0	.02	.1
FeO	3.22	3.97	3.26	3.23	2.79	3.41	3.56	3.47	3.68
MnO	0.17	0.13	0.17	0.14	0.1	0.14	0.14	.14	.1
MgO	14.39	13.96	14.67	14.14	15.04	14.76	14.71	15.36	14.59
NiO	0	0.04	0.13	0	0	0.04	0	.02	0
CaO	25.11	24.74	24.54	24.88	25.19	24.53	24.87	25.01	25.35
Na2O	0.12	0.01	0.02	0.07	0	0.1	0.05	0	.04
K2O	0.02	0	0.01	0.02	0.02	0	0.02	.01	0
Total	98.82	99.06	98.92	99.34	99.34	98.91	98.97	99.36	99.40
TSi	1.841	1.823	1.873	1.854	1.901	1.836	1.813	1.801	1.755
TAI	0.159	0.177	0.127	0.146	0.099	0.164	0.187	0.199	0.245
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.078	0.096	0.092	0.102	0.071	0.075	0.058	0.044	0.052
M1Ti	0.017	0.021	0.013	0.026	0.018	0.021	0.024	0.019	0.026
M1Fe3	0.056	0.038	0.009	0.000	0.000	0.053	0.082	0.000	0.000
M1Fe2	0.044	0.072	0.072	0.094	0.084	0.036	0.022	0.096	0.113
M1Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.004	0.000	0.002
M1Mg	0.794	0.771	0.809	0.778	0.826	0.813	0.811	0.841	0.801
M1Ni	0.000	0.001	0.004	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000
M2Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Fe2	0.000	0.013	0.020	0.006	0.002	0.017	0.006	0.011	0.000
M2Mn	0.005	0.004	0.005	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004	0.003
M2Ca	0.996	0.982	0.973	0.984	0.994	0.972	0.985	0.984	1.000
M2Na	0.009	0.001	0.001	0.005	0.000	0.007	0.004	0.000	0.003
M2K	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000
S:im_cat	3.999	4.000	4.000	3.999	3.999	4.000	3.999	4.000	4.000
Ca	54.149	53.323	51.777	52.727	52.074	52.740	53.880	50.832	52.158
Mg	43.177	41.865	43.066	41.695	43.260	44.154	44.342	43.438	41.769
Fe2_Mn	2.674	4.812	5.157	5.578	4.665	3.106	1.777	5.730	6.073
JD1	0.518	0.039	0.102	0.319	0.049	0.389	0.248	0.024	0.149
AE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CFTS1	3.045	2.092	0.496	0.000	0.031	2.898	4.674	0.000	0.106
CTTS1	0.906	1.167	0.712	1.397	0.944	1.130	1.293	0.987	1.358
CATS1	3.737	5.174	4.814	5.124	3.688	3.672	2.905	2.232	2.572
WO1	46.337	44.988	45.848	46.161	47.471	44.959	45.004	47.716	48.129
EN1	43.078	41.941	43.145	41.660	43.310	44.088	44.339	43.525	41.774
FS1	2.379	4.599	4.882	5.339	4.507	2.864	1.537	5.516	5.911
Q.	1.834	1.838	1.874	1.862	1.906	1.838	1.824	1.932	1.914
J	0.017	0.001	0.003	0.010	0.000	0.014	0.007	0.000	0.006
WO	52.554	52.232	51.521	52.727	52.074	51.276	51.569	50.832	52.158
EN	41.905	41.008	42.854	41.695	43.260	42.929	42.440	43.438	41.769
FS	5.542	6.759	5.624	5.578	4.665	5.795	5.991	5.730	6.073
WEF	99.072	99.922	99.847	99.466	100.000	99.228	99.609	100.000	99.703
JD	0.542	0.056	0.139	0.534	0.000	0.454	0.161	0.000	0.297
AE	0.386	0.022	0.014	0.000	0.000	0.318	0.229	0.000	0.000

Cloritas

Dominio III

Arantina / Clorira/Anfibólio Olivina Fels

Serra da Garça / Ortopyroxenitos

Sample Analysis Location Mineral	AR 108L3	AR 116L3	AR 33LB	AR 34LB	AR 35LB	AR 37LB	AR 38LB	SG 15L4
SiO2	27.02	28.02	30.42	29.89	29.87	29.29	30.32	30.6
TiO2	.07	0	.1	.06	.09	.11	.05	0
Al2O3	17.78	18.85	19.57	19.3	19.6	19.37	19.29	17.64
Cr2O3	.39	.33	.47	.47	.43	.53	.43	1.51
ZnO	0	0	.08	.05	.01	0	0	0
FeO	6	6.44	6.56	6.77	6.48	6.51	6.49	4.21
MnO	0	0	.03	.04	.02	.03	.04	0
MgO	31.4	30.97	31.28	31.24	31.99	31.16	31.49	32.56
NiO	0	0	.16	.17	.17	.18	.14	0
CaO	0	0	0	.02	0	.01	.02	0
Na2O	0	0	.02	0	0	.06	.03	0
K2O	0	0	.03	.02	.01	.03	.01	0
BaO	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	82.66	84.61	88.72	88.03	88.67	87.28	88.31	86.52
Si	6.810	5.492	5.724	5.662	5.601	5.592	5.723	5.850
AlIV	1.190	2.508	2.276	2.338	2.399	2.408	2.277	2.150
Sum_T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
AlVI	4.088	1.843	2.061	1.967	1.929	1.947	2.011	1.821
Ti	0.013	0.000	0.014	0.009	0.013	0.016	0.007	0.000
Fe2	0.000	1.056	1.032	1.072	1.016	1.039	1.024	0.673
Cr	0.078	0.051	0.070	0.070	0.064	0.080	0.064	0.228
Zn	1.12	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	6.703	0.000	0.005	0.006	0.003	0.005	0.006	0.000
Mg	0.000	9.050	8.774	8.822	8.942	8.868	8.861	9.279
Ni	0.00	0.00	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00
Ca	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.002	0.004	0.000
Na	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.022	0.011	0.000
K	0.000	0.000	0.007	0.005	0.002	0.007	0.002	0.000
Sum_Cat	12.002	12.000	12.000	11.995	11.999	12.016	12.010	12.001
CatTOT	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.02	20.01	20.00
OH	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
O	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000
Mg_Fe2	0.00	8.57	8.50	8.23	8.80	8.54	8.65	13.79
Mg_Fe2Mg	0.00	0.90	0.89	0.89	0.90	0.90	0.90	0.93

Cloritas

Domínio III

Fazenda da Roseta / Espinélio Harzburgito

Domínio II

São Vicente de Minas / Espinélio-olivina ortopiroxenito

Sample Analysis Location Mineral	SO11E 27LB	SO11E 28LB	SO11E 31LB	SO11E 85L7	SV 25LB	SV 26LB
SiO2	29.16	29.11	29.68	29.8	28.89	29.19
TiO2	.09	.1	.12	0	.02	.06
Al2O3	20.73	21.52	21.69	20.69	21.7	22.33
Cr2O3	0	0	0	0	.27	.36
ZnO	0	.02	0	0	.14	0
FeO	3.58	3.82	3.86	4.04	4.29	4.61
MnO	0	0	0	.04	.04	.01
MgO	32.45	32.43	33.36	32.6	31.71	31.86
NiO	03	.04	0	.04	.25	.23
CaO	0	0	.01	0	.02	.01
Na2O	.04	0	0	0	0	.05
K2O	0	.04	.02	.02	.01	0
BaO	0	0	0	.11	0	0
Total	89.05	87.08	88.74	87.34	87.34	88.71
Si	5.430	5.481	5.479	5.608	5.455	5.438
AlIV	2.570	2.519	2.521	2.392	2.545	2.562
Sum_T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
AlVI	1.976	2.253	2.195	2.193	2.280	2.337
Ti	0.013	0.014	0.017	0.000	0.003	0.008
Fe2	0.557	0.601	0.596	0.636	0.677	0.718
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040	0.053
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
Mn	0.000	0.000	0.000	0.006	0.006	0.002
Mg	9.008	9.102	9.181	9.145	8.926	8.849
Ni	0.45	0.01	0.00	0.01	0.04	0.03
Ca	0.000	0.000	0.002	0.000	0.004	0.002
Na	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018
K	0.000	0.010	0.005	0.005	0.002	0.000
Sum_Cat	12.018	11.990	11.996	11.995	11.998	12.017
CatTOT	20.02	19.99	20.00	20.00	20.00	20.02
OH	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
O	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000
Mg_Fe2	16.17	15.14	15.40	14.38	13.18	12.32
Mg_Fe2Mg	0.94	0.94	0.94	0.93	0.93	0.92

Högbomitas

Dominio III

Morro do Corisco / Espinélio Hornblendito

[illegible]

Högbomitas

Dominio III

Morro do Corisco / Espinélio Hornblendito

[illegible]

Högbomitas

Dominio III

Morro do Corisco / Espinério Hornblendito

[illegible]

Ilmenitas

Dominio III

Fazenda da Roseta /Espinélio Harzburgito

Sample Analysis Location Mineral	SO11 95B	SO11 96B	SO11D 13L11	SO11E 24L7	SO11E 9L6	SO11E E-59L7
SiO2	.06	.01	0.18	0.19	1.2	0.19
TiO2	51.48	51.37	50.52	44.98	31.89	47.72
Al2O3	.01	0	0.09	0.03	0.11	0.09
Cr2O3	0	.03	0.08	0	0	0.1
ZnO	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0
FeO	43.93	42.75	42.69	45.32	59.01	38.83
MnO	.76	.68	0.16	0.37	0.29	0.37
MgO	3.1	2.96	5.79	4.4	3.28	6.78
NiO	0	0	0.01	0	0.17	0
CaO	0	0	0.12	0.06	0.02	0.16
Na2O	0	0	0	0	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0
Total	99.34	97.80	99.64	95.35	95.97	94.24
Ti	.96	.97	.92	.86	.6	.91
Fe2	.83	.84	.71	.69	.5	.65
Fe3	.08	.05	.15	.24	.74	.17
Mn	.02	.01	0	.01	.01	.01
Mg	.11	.11	.21	.17	.13	.26
Cations	2.000	1.980	1.990	1.970	1.980	2.000
O	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

Magnetitas

Domínio III

Morro do Corisco / Espinélio Hornblenditos

[illegible]

Magnetitas

Dominio II

Fazenda da Roseta / Rochas Websteríticas

Arantina / Clorita/Anfibólio Olivina Fels

Sample Analysis Location Mineral	11GB 54L3	11GB 91L3	AR-1 97L3
SiO ₂	0.11	0.1	0.1
TiO ₂	0.7	0.64	0.64
Al ₂ O ₃	2.98	3.04	3.04
Cr ₂ O ₃	14.8	13.48	13.48
ZnO	0	0	0
Fe ₂ O ₃	51.31	52.04	52.22
FeO	27.32	28.42	28.26
MnO	0.36	0.18	0.18
MgO	2.3	2.23	2.23
NiO	0.78	0.76	0.76
CaO	0.03	0.01	0.01
Na ₂ O	0	0	0
K ₂ O	0	0	0
Total	100.69	100.90	100.92
Si	0.004	0.004	0.004
Al	0.129	0.131	0.131
Ti	0.019	0.018	0.018
Fe ₂	0.839	0.871	0.866
Fe ₃	1.417	1.434	1.439
Cr	0.429	0.390	0.390
Zn	0.00	0.00	0.00
Ni	0.02	0.02	0.02
Mn	0.011	0.006	0.006
Mg	0.126	0.122	0.122
Ca	0.001	0.000	0.000
Na	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000
Cations	2.995	2.996	2.996
O	4.00	4.00	4.00

Magnetitas

Domínio II

Fazenda da Areia / Espinélio-olivina Ortopiroxenitos

Sample Analysis Location Mineral	CA7B 3L9	CA7B 4L9	CA7B 5L9	FA-IV 39L10	FA-IV 52L10
SiO2	0.34	0.22	0.25	0.07	0.05
TiO2	0.66	1.56	1.44	2.23	1.18
Al2O3	0.14	0.19	0.2	0.6	0.53
Cr2O3	8.44	17.12	18.06	8.3	9.02
ZnO	0	0	0	0	0
Fe2O3	57.89	47	45.9	55.76	56.8
FeO	27.09	25.5	25.34	32.7	31.41
MnO	0.88	1.63	1.75	0.09	0.15
MgO	1.66	2.51	2.63	0.28	0.29
NiO	0.93	0.84	0.73	0.37	0.32
CaO	0	0	0.01	0.01	0.04
Na2O	0.11	0	0	0.1	0.04
K2O	0.02	0	0.04	0	0
Total	98.16	96.57	96.35	100.51	99.83
Si	0.013	0.009	0.010	0.003	0.002
Al	0.006	0.009	0.009	0.027	0.024
Ti	0.019	0.045	0.042	0.063	0.034
Fe2	0.871	0.824	0.820	1.035	1.003
Fe3	1.673	1.365	1.335	1.586	1.631
Cr	0.256	0.522	0.552	0.248	0.272
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01
Mn	0.029	0.053	0.057	0.003	0.005
Mg	0.095	0.145	0.152	0.016	0.017
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
Na	0.008	0.000	0.000	0.007	0.003
K	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000
Cations	3.001	3.002	2.999	2.998	2.993
O	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00

Olivinas

Dominio III

Fazenda da Roseta / Rochas websteríticas

Sample Analysis Location Mineral	11GB2 30L9	11GB2 39L9	11GB2 41L9	11GB2 42L9	11GB2 43L9	11GB2 49L9	11GB2 66L9	11GB3 67L9	11GB4 68L9
SiO ₂	40.68	40.83	40.46	40.75	40.51	40.38	39.27	41.45	40.77
TiO ₂	0	0.03	0	0	0	0	0.02	0.03	0
Al ₂ O ₃	0.08	0.06	0	0.06	0.07	0.04	0.04	0.05	0.06
Cr ₂ O ₃	0.02	0.05	0	0.03	0.05	0	0	0	0.01
FeO	11.25	11.14	11.44	11.63	11.45	11.3	10.95	11.17	10.87
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.09	0.15	0.1	0.11	0.18	0.09	0.09	0.13	0.09
MgO	47.11	46.8	47.04	47.45	47.14	47.76	47.83	48.25	47.88
NiO	0.61	0.62	0.59	0.57	0.61	0.6	0.51	0.54	0.52
CaO	0	0.05	0.01	0.03	0	0.04	0.03	0.05	0.01
Na ₂ O	0.04	0	0.05	0	0.04	0.07	0.03	0	0.01
K ₂ O	0.02	0.02	0	0	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01
BaO	0	0	0	0.04	0	0.04	0.11	0.08	0
Total	99.88	99.70	99.69	100.60	100.01	100.29	98.80	101.69	100.22
Si	1.006	1.010	1.004	1.002	1.002	0.996	0.984	1.005	1.003
Al	0.002	0.002	0.000	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002
Ti	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Fe ₂	0.233	0.231	0.237	0.239	0.237	0.233	0.229	0.227	0.224
Mn	0.002	0.003	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002	0.003	0.002
Mg	1.736	1.726	1.740	1.739	1.738	1.756	1.786	1.744	1.755
Ca	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000
Na	0.002	0.000	0.002	0.000	0.002	0.003	0.001	0.000	0.000
K	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000
Ni	0.012	0.012	0.012	0.011	0.012	0.012	0.010	0.011	0.010
Cations	2.994	2.987	2.997	2.996	2.997	3.004	3.015	2.994	2.996
Fe_FeMg	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.12	0.11
Mg_FeMg	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.89	0.88	0.89

Olivinas

Dominio III

Fazenda da Roseta / Rochas websteriticas

Sample	11GB5	FR4	FR4	FR4	FR4	FR4	FR4	FR4	FR4
Analysis	71L9	38L2	39L2	40L2	44L2	47L2	51L2	58L2	69L2
Location		0	0						0
Mineral		0	0						0
SiO2	40.81	40.19	40.39	40.36	40.41	40.9	39.69	40.9	40.58
TiO2	0	0	0.03	0.06	0	0.04	0	0	0.05
Al2O3	0.04	0.08	0.06	0.04	0.02	0.09	0.03	0.03	0.09
Cr2O3	0.07	0.04	0.02	0.02	0.03	0.04	0	0.01	0
FeO	10.87	11.58	12.18	12.49	11.77	12.64	12.27	12.92	12.29
Fe2O3	0	0	-	-	0	0	0	0	0
MnO	0.08	0.12	0.04	0.09	0.1	0.1	0.1	0.1	0.17
MgO	48.18	47.17	44.73	45.87	47.36	45.46	47.77	46.04	47.18
NiO	0.58	0.63	0.56	0.58	0.73	0.65	0.73	0.66	0.56
CaO	0	0.02	0.03	0.05	0.03	0	0.01	0.02	0.08
Na2O	0.09	0.08	0.02	0.08	0.03	0.07	0.06	0.14	0.07
K2O	0.01	0	0.03	0.01	0	0	0.02	0.01	0
BaO	0	0	0.14	0.04	0	0.18	0.14	0.18	0
Total	100.66	99.87	98.07	99.63	100.45	99.95	100.68	100.82	101.07
Si	1.000	0.996	1.020	1.006	0.997	1.015	0.982	1.009	0.997
Al	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.003	0.001	0.001	0.003
Ti	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001
Fe2	0.223	0.240	0.257	0.260	0.243	0.262	0.254	0.267	0.253
Mn	0.002	0.003	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.004
Mg	1.759	1.743	1.684	1.705	1.743	1.682	1.761	1.693	1.729
Ca	0.000	0.017	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002
Na	0.004	0.001	0.001	0.004	0.001	0.003	0.003	0.007	0.003
K	0.000	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Ni	0.011	0.000	0.011	0.012	0.015	0.013	0.015	0.013	0.011
Cations	3.000	3.005	2.979	2.992	3.003	2.981	3.019	2.993	3.003
Fe_FeMg	0.11	0.12	0.13	0.13	0.12	0.13	0.13	0.14	0.13
Mg_FeMg	0.89	0.88	0.87	0.87	0.88	0.87	0.87	0.86	0.87

Olivinas

Dominio III

Fazenda da Roseta / Rochas websteríticas

Sample Analysis Location Mineral	11GB 33L3	11GB 38L3	11GB 39L3	11GB 40L3	11GB 67L3	11GB 70L3	11GB 72L3	11GB2 14L9	11GB2 22L9
SiO2	39.1	39.61	38.81	40.04	39.75	38.6	40.04	41.1	41.3
TiO2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03
Al2O3	0	0	0	0	0	0	0	0.07	0.02
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0.04
FeO	13.35	13.5	12.78	12.45	13.22	12.51	13.14	11.1	11.07
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.05	0.01	0.04	0	0	0.05	0.02	0.08	0.08
MgO	47.4	47.73	47.66	47.69	47.43	47.55	47.13	47.57	48.14
NiO	0.2	0.31	0.23	0.19	0.31	0.27	0.16	0.6	0.52
CaO	0	0.01	0	0	0	0	0	0.02	0
Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0.04
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
BaO	0	0	0	0	0	0	0	0	0.21
Total	100.10	101.17	99.52	100.37	100.71	98.98	100.49	100.59	101.21
Si	0.976	0.978	0.973	0.990	0.984	0.972	0.992	1.007	1.005
Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Fe2	0.279	0.279	0.268	0.257	0.274	0.264	0.272	0.228	0.225
Mn	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002	0.002
Mg	1.764	1.758	1.781	1.758	1.751	1.785	1.740	1.738	1.746
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.004	0.006	0.005	0.004	0.006	0.005	0.003	0.012	0.010
Cations	3.024	3.021	3.028	3.009	3.015	3.027	3.007	2.992	2.992
Fe_FeMg	0.14	0.14	0.13	0.13	0.14	0.13	0.14	0.12	0.11
Mg_FeMg	0.86	0.86	0.87	0.87	0.86	0.87	0.86	0.88	0.89

Olivinas

Domínio III

Fazenda da Roseta / Espinélio Harzburgitos

Sample Analysis Location Mineral	SO11 59L11	SO11 60L11	SO11 67L11	SO11 73L11	SO11D 11L8	SO11D 15L8	SO11D 18L8	SO11D 19L8	SO11D 30L11
SiO2	42.2	41	40.93	40.75	41.18	40.06	40.9	40.99	41.52
TiO2	0	0.05	0	0.04	0.08	0.08	0.08	0.17	0.05
Al2O3	0.01	0.08	0.03	0.11	0	0	0.03	0	0.13
Cr2O3	0.02	0	0.05	0.02	0	0.03	0	0	0
FeO	12.04	12.35	11.9	12.11	12.17	12.37	12.03	12.05	12.69
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.12	0.04	0.03	0.08	0.1	0.16	0.08	0.08	0.15
MgO	44.05	44.76	45.69	45.62	47.67	47.88	48.44	47.81	44.53
NiO	0.07	0.07	0.08	0	0	0.04	0	0.01	0.05
CaO	0.01	0	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0	0
Na2O	0.09	0	0	0.05	0.11	0	0	0	0.02
K2O	0	0	0	0	0	0	0.03	0	0.03
BaO	0.08	0	0.08	0.04	0	0	0.07	0.22	0
Total	98.59	98.35	98.66	98.77	101.32	100.61	101.61	101.11	99.17
Si	1.052	1.029	1.022	1.018	1.005	0.988	0.995	1.001	1.034
Al	0.000	0.002	0.001	0.003	0.000	0.000	0.001	0.000	0.004
Ti	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001
Fe2	0.251	0.259	0.249	0.253	0.248	0.255	0.245	0.246	0.264
Mn	0.003	0.001	0.001	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003
Mg	1.637	1.675	1.701	1.700	1.734	1.760	1.757	1.741	1.654
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000
Na	0.004	0.000	0.000	0.002	0.005	0.000	0.000	0.000	0.001
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001
Ni	0.001	0.001	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001
Cations	2.948	2.968	2.976	2.979	2.995	3.009	3.003	2.993	2.963
Fe_FeMg	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.14
Mg_FeMg	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.88	0.88	0.86

Olivinas

Domínio III

Fazenda da Roseta / Espinélito Harzburgitos

Sample Analysis Location Mineral	SO11D 33L11	SO11D 37L11	SO11E 11L7	SO11E 11L8	SO11E 12L7	SO11E 12L8	SO11E 13L7	SO11E 13L8	SO11E 15L5
SiO2	42.06	41.78	40.71	39.61	40.75	39.19	40.74	40.49	41.73
TiO2	0	0.05	0.03	0	0.06	0	0	0.02	0
Al2O3	0.05	0.03	0.07	0	0.07	0	0.04	0	0
Cr2O3	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	12.33	12.58	12.23	13.06	12.66	13.19	11.94	13.66	13.06
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.06	0.07	0.11	0	0	0	0.07	0	0
MgO	44.62	44.61	47.66	46.85	47.56	47.51	47.4	47.02	44.45
NiO	0.15	0	0	0.25	0	0.18	0.03	0.28	0
CaO	0	0.07	0	0	0.05	0	0.01	0	0
Na2O	0.02	0	0.09	0	0.06	0	0.04	0.02	0
K2O	0	0	0.06	0	0.02	0	0	0	0
BaO	0	0.19	0	0	0.07	0	0	0	0
Total	99.29	99.19	100.96	99.77	101.23	100.07	100.27	101.49	99.24
Si	1.043	1.039	0.998	0.989	0.998	0.977	1.004	0.995	1.039
Al	0.001	0.001	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000
Ti	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	0.256	0.262	0.251	0.273	0.259	0.275	0.246	0.281	0.272
Mn	0.001	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Mg	1.650	1.653	1.743	1.744	1.736	1.766	1.741	1.723	1.650
Ca	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.001	0.000	0.004	0.000	0.003	0.000	0.002	0.001	0.000
K	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.003	0.000	0.000	0.005	0.000	0.004	0.001	0.006	0.000
Cations	2.955	2.959	3.003	3.011	3.001	3.022	2.996	3.006	2.961
Fe_FeMg	0.13	0.14	0.13	0.14	0.13	0.13	0.12	0.14	0.14
Mg_FeMg	0.87	0.86	0.87	0.86	0.87	0.87	0.88	0.86	0.86

Olivinas

Dominio III

Fazenda da Roseta / Espinlio Harzburgitos

Sample Analysis Location Mineral	SO11E 15L6	SO11E 15L7	SO11E 16L7	SO11E 17L6	SO11E 17L7	SO11E 65L7	SO11E 66L7	SO11E 68L7	SO11E 69L7
SiO2	39.77	40.73	39.88	41.01	39.38	40.81	40.77	41.11	40.53
TiO2	0	0	0.08	0.05	0	0.05	0	0	0.03
Al2O3	0.05	0.04	0	0.1	0	0	0.02	0.04	0.04
Cr2O3	0.03	0.03	0	0	0	0.03	0	0	0
FeO	12.3	12.21	12.29	12.01	12.99	11.84	12.41	12.44	12.06
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.13	0.08	0.09	0.12	0	0.01	0.05	0	0
MgO	48.41	48.17	48.5	47.81	47.44	47.11	47.57	47.17	47.99
NiO	0.14	0	0.09	0.15	0.32	0	0.09	0	.14
CaO	0.02	0	0.03	0.03	0	0.02	0.05	0.03	0.06
Na2O	0.04	0.04	0	0.05	0	0.12	0.02	0.09	0.06
K2O	0.01	0.02	0.01	0	0	0	0	0.03	0
BaO	0.18	0	0	0.14	0	0.11	0	0.04	0.04
Total	100.87	101.29	100.97	101.33	100.13	99.96	100.98	100.91	100.91
Si	0.979	0.995	0.981	1.001	0.981	1.007	1.000	1.008	0.994
Al	0.001	0.001	0.000	0.003	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001
Ti	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001
Fe2	0.253	0.249	0.253	0.245	0.271	0.244	0.255	0.255	0.247
Mn	0.003	0.002	0.002	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Mg	1.777	1.755	1.778	1.739	1.761	1.734	1.740	1.724	1.755
Ca	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002
Na	0.002	0.002	0.000	0.002	0.000	0.006	0.001	0.004	0.003
K	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Ni	0.003	0.000	0.002	0.003	0.006	0.000	0.002	0.000	0.003
Cations	3.019	3.005	3.018	2.997	3.019	2.993	3.001	2.994	3.006
Fe_FeMg	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13	0.12	0.13	0.13	0.12
Mg_FeMg	0.88	0.88	0.88	0.88	0.87	0.88	0.87	0.87	0.88

Olivinas

Dominio III

Fazenda da Roseta / Espinlio Harzburgitos

Sample Analysis Location Mineral	SO11E 70L7	SO11E 73L7	SO11E 73L7
SiO2	40.5	40.69	40.69
TiO2	0.05	0.03	0.03
Al2O3	0.02	0.06	0.06
Cr2O3	0	0	0
FeO	12.11	12.53	12.53
Fe2O3	0	0	0
MnO	0.07	0.08	0.08
MgO	47.59	47.35	47.35
NiO	0.15	0	0
CaO	0	0.01	0.01
Na2O	0.09	0	0
K2O	0.01	0.02	0.02
BaO	0.22	0	0
Total	100.59	100.77	100.77
Si	0.997	1.000	1.000
Al	0.001	0.002	0.002
Ti	0.001	0.001	0.001
Fe2	0.249	0.258	0.258
Mn	0.001	0.002	0.002
Mg	1.746	1.736	1.736
Ca	0.000	0.000	0.000
Na	0.004	0.000	0.000
K	0.000	0.001	0.001
Ni	0.003	0.000	0.000
Cations	3.002	3.000	3.000
Fe_FeMg	0.12	0.13	0.13
Mg_FeMg	0.88	0.87	0.87

Olivinas

Dominio III

Arantina / Clorita/Anfibólio Olivina Fels

Sample Analysis Location Mineral	AR 100L3	AR 101L3	AR 102L3	AR 103L3	AR 104L3	AR 98L3	AR1 106L3	AR1 107L3	AR1 109L3
SiO2	37.01	37.92	38.3	37.09	38.33	38.82	39.41	37.3	38.51
TiO2	0	0	0	0	0.06	0	0	0	0
Al2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	21.1	21.61	21.43	20.99	21.71	21.94	21.23	21.45	21.24
Fe2O3	00	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.17	0.16	0.24	0.27	0.27	0.19	0.18	0.12	0.2
MgO	41.07	40.81	41.09	41.16	40.72	40.42	40.57	41.45	40.35
NiO	0.15	0.1	0.1	0.19	0.03	0.18	0.12	.22	0.06
CaO	0	0	0	0	0.03	0	0	0	0
Na2O	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	99.50	100.61	101.16	99.70	101.15	101.55	101.51	100.54	100.36
Si	0.967	0.979	0.982	0.967	0.983	0.992	1.002	0.964	0.993
Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	0.461	0.466	0.459	0.458	0.466	0.469	0.451	0.463	0.458
Mn	0.004	0.003	0.005	0.006	0.006	0.004	0.004	0.003	0.004
Mg	1.599	1.570	1.570	1.599	1.558	1.540	1.538	1.596	1.551
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.006	0.000
Na	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.003	0.002	0.002	0.004	0.001	0.004	0.002	0.005	0.001
Cations	3.034	3.021	3.018	3.034	3.016	3.009	2.997	3.037	3.007
Fe_FeMg	0.22	0.23	0.23	0.22	0.23	0.23	0.23	0.22	0.23
Mg_FeMg	0.78	0.77	0.77	0.78	0.77	0.77	0.77	0.78	0.77

Olivinas

Dominio III

Arantina / Clorita/Anfibólio Olivina Fels

Sample Analysis Location Mineral	AR1 110L3	AR1 111L3	AR1 112L3	AR1 113L3	AR1 114L3	AR1 115L3	AR1 118L3	AR1 119L3	AR1 120L3
SiO2	37.7	37.92	37.46	37.69	37.84	38.64	38.85	38.04	37.6
TiO2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Al2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	21.27	21.27	21.61	21.31	20.63	21.68	21.31	21.7	21.52
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.28	0.22	0.21	0.22	0.24	0.24	0.15	0.22	0.07
MgO	40.76	40.66	40.91	40.8	40.84	39.71	40.38	40.67	40.75
NiO	0	0	0	0.04	0	0.03	0.07	0.16	0.13
CaO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na2O	0.03	0	0	0	0	0	0.01	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0
Total	100.04	100.07	100.19	100.06	99.56	100.30	100.77	100.79	100.07
Si	0.978	0.982	0.972	0.977	0.983	0.998	0.997	0.981	0.976
Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	0.461	0.461	0.469	0.462	0.448	0.468	0.457	0.468	0.467
Mn	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.003	0.005	0.002
Mg	1.576	1.570	1.582	1.577	1.581	1.529	1.544	1.563	1.577
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.003	0.003
Cations	3.023	3.018	3.028	3.022	3.017	3.001	3.002	3.020	3.025
Fe_FeMg	0.23	0.23	0.23	0.23	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23
Mg_FeMg	0.77	0.77	0.77	0.77	0.78	0.77	0.77	0.77	0.77

Olivinas

Dominio III

Fazenda da Roseta / Serpentinicos

Serra da Garça / Ortopyroxenitos

Sample Analysis Location Mineral	FR3A 1L10	FR3A 4L10	FR3A 5L10	SG2B 18L4	SG2B 29L4	SG2B 6L6
SiO2	42.17	42.23	41.87	42.48	41.58	42.31
TiO2	0	0.05	0	0.01	0	0
Al2O3	0.03	0	0.05	0	0	0.05
Cr2O3	0.03	0	0.05	0	0	0
FeO	6.2	6.36	6.25	9.94	9.82	10.06
Fe2O3	0	0	0	0	0	0
MnO	0.11	0.07	0.15	0.05	0	0.1
MgO	49.87	49.91	49.83	48.69	49.26	48.77
NiO	0.29	0.38	0.39	0.19	0.3	0.23
CaO	0.04	0.01	0	0	0	0.03
Na2O	0	0.03	0	0	0	0.08
K2O	0.03	0.02	0	0	0	0.03
BaO	0	0.04	0	0	0	0
Total	98.74	99.06	98.54	101.42	100.96	101.66
Si	1.026	1.026	1.022	1.023	1.008	1.018
Al	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001
Ti	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000
Fe2	0.126	0.129	0.128	0.200	0.199	0.202
Mn	0.002	0.001	0.003	0.001	0.000	0.002
Mg	1.809	1.807	1.814	1.747	1.780	1.750
Ca	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Na	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.004
K	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001
Ni	0.006	0.007	0.008	0.004	0.006	0.004
Cations	2.972	2.973	2.976	2.976	2.993	2.983
Fe_FeMg	0.07	0.07	0.07	0.10	0.10	0.10
Mg_FeMg	0.93	0.93	0.93	0.90	0.90	0.90

Olivinas

Dominio II

Fazenda da Areia - Carrancas / Espinlio-olivina ortopiroxenitos

Sample Analysis Location Mineral	CA10B 17L2	CA10B 19L2	CA10B 24L2	FA-IV 27L10	FA-IV 29L10	FA-IV 33L10	FA-IV 76L9	FA-IV 77L9	FA-IV 81L9
SiO2	37.64	37.86	38.4	39.26	39.09	39.05	39.16	39.7	39.03
TiO2	0.02	0.08	0	0.03	0.02	0.03	0	0.06	0
Al2O3	0.04	0.07	0	0.01	0.04	0.03	0.03	0.01	0.01
Cr2O3	0	0.06	0.05	0	0.04	0	0	0	0
FeO	23.06	23.5	25.75	23.82	24.26	23.97	23.78	23.52	24.42
Fe2O3	0	0	00	0	0	0	0	0	0
MnO	0.22	0.07	0.19	0.44	0.36	0.34	0.29	0.35	0.3
MgO	38.2	36.82	35.23	36.05	35.32	36.49	36.1	35.96	35.56
NiO	0.37	0.27	0.27	0.24	0.25	0.36	0.24	0.26	0.36
CaO	0.01	0.02	0	0	0.03	0	0.05	0.03	0.01
Na2O	0.01	0.03	0.05	0	0.03	0.03	0.03	0.02	0
K2O	0.02	0	0	0	0	0.02	0.03	0	0
BaO	0.11	0	0	0	0	0	0.04	0	0
Total	99.59	98.72	99.89	99.85	99.40	100.32	99.71	99.91	99.69
Si	0.989	1.004	1.015	1.028	1.030	1.019	1.026	1.036	1.027
Al	0.001	0.002	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
Ti	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000
Fe2	0.507	0.521	0.569	0.521	0.534	0.523	0.521	0.513	0.537
Mn	0.005	0.002	0.004	0.010	0.008	0.008	0.006	0.008	0.007
Mg	1.497	1.455	1.388	1.407	1.387	1.420	1.410	1.398	1.394
Ca	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000
Na	0.001	0.002	0.003	0.000	0.002	0.002	0.002	0.001	0.000
K	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000
Ni	0.008	0.006	0.006	0.005	0.005	0.008	0.005	0.005	0.008
Cations	3.009	2.995	2.985	2.972	2.968	2.983	2.973	2.963	2.973
Fe_FeMg	0.25	0.26	0.29	0.27	0.28	0.27	0.27	0.27	0.28
Mg_FeMg	0.75	0.74	0.71	0.73	0.72	0.73	0.73	0.73	0.72

Olivinas

Domínio II

Fazenda Rui Barbosa - Carrancas / Serpentinized

São Vicente de Minas / Espinélito-olivina ortopiroxênitos

Sample Analysis Location Mineral	CA7B 06L9	CA7B 07L9	CA7B 10L9	CA7B 11L9	CA7B 12L9	CA7B 1L9	CA7B 7L9	SV3A 104L11	SV3A 105L11
SiO ₂	42.87	42.38	42.65	42.78	42.78	42.46	42.08	40.95	40.91
TiO ₂	0.02	0.08	0	0	0.02	0.09	0	0	0
Al ₂ O ₃	0.01	0.05	0.07	0.04	0	0.07	0.05	0.09	0.03
Cr ₂ O ₃	0.03	0	0.08	0.05	0	0	0.07	0	0.04
FeO	4.42	4.51	4.22	4.28	4.49	4.41	4.17	15.75	15.75
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.35	0.45	0.41	0.4	0.39	0.38	0.39	0.24	0.24
MgO	52.8	53.28	52.62	52.72	52.42	52.67	52.79	42.28	42.49
NiO	0.27	0.28	0.33	0.27	0.32	0.28	0.27	0.44	0.39
CaO	0.07	0.05	0.01	0.04	0.02	0.02	0.03	0	0.03
Na ₂ O	0	0.01	0	0.06	0.06	0	0.08	0	0.05
K ₂ O	0	0.02	0.02	0	0	0	0	0.03	0
BaO	0	0	0.12	0	0	0	0	0	0
Total	100.81	101.11	100.33	100.59	100.50	100.38	99.86	99.78	99.89
Si	1.016	1.004	1.014	1.015	1.018	1.011	1.007	1.031	1.029
Al	0.000	0.001	0.002	0.001	0.000	0.002	0.001	0.003	0.001
Ti	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
Fe ₂	0.088	0.089	0.084	0.085	0.089	0.088	0.083	0.332	0.331
Mn	0.007	0.009	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.005	0.005
Mg	1.865	1.882	1.866	1.865	1.859	1.870	1.883	1.587	1.593
Ca	0.002	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001
Na	0.000	0.000	0.000	0.003	0.003	0.000	0.004	0.000	0.002
K	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Ni	0.005	0.005	0.006	0.005	0.006	0.005	0.005	0.009	0.008
Cations	2.983	2.993	2.981	2.983	2.984	2.987	2.992	2.968	2.970
Fe_FeMg	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.17	0.17
Mg_FeMg	0.95	0.95	0.96	0.96	0.95	0.96	0.96	0.83	0.83

Olivinas

Dominio II

São Vicente de Minas / Espinélio-olivina ortopiroxenitos

Sample Analysis Location Mineral	SV3A 107L11	SV3A 110L11	SV3A 112L11	SV3A 94L11	SV3A 95L11	SV3A 96L11	SV3A 97L11	SV3A 98L11	SV3A 99L11
SiO2	40.85	40.69	40.47	40.05	40.2	40.69	40.98	41.3	41.23
TiO2	0	0	0.02	0.05	0	0	0	0.02	0.08
Al2O3	0.08	0.05	0.08	0.06	0.09	0.13	0.09	0.03	0.13
Cr2O3	0	0.05	0.07	0.04	0	0	0	0.07	0.07
FeO	16.23	15.97	15.36	15.53	14.78	16.09	15.79	15.64	16.06
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.2	0.16	0.15	0.21	0.17	0.19	0.21	0.2	0.24
MgO	43.43	43.19	42.56	43.64	42.9	43.34	42.75	43.12	43.23
NiO	0.37	0.32	0.42	0.38	0.36	0.33	0.33	0.37	0.35
CaO	0.02	0.02	0	0.04	0	0	0	0	0
Na2O	0.05	0	0.03	0.05	0.08	0.08	0	0.03	0.02
K2O	0.01	0	0.02	0	0	0.05	0	0	0.04
BaO	0	0.19	0	0.04	0.02	0.11	0	0	0.11
Total	101.24	100.40	99.11	100.01	98.58	100.90	100.15	100.71	101.38
Si	1.017	1.019	1.025	1.008	1.022	1.016	1.028	1.028	1.022
Al	0.002	0.001	0.002	0.002	0.003	0.004	0.003	0.001	0.004
Ti	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Fe2	0.338	0.334	0.325	0.327	0.314	0.336	0.331	0.326	0.333
Mn	0.004	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005
Mg	1.612	1.612	1.606	1.637	1.625	1.613	1.598	1.601	1.598
Ca	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.002	0.000	0.001	0.002	0.004	0.004	0.000	0.001	0.001
K	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001
Ni	0.007	0.006	0.009	0.008	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
Cations	2.983	2.976	2.972	2.990	2.979	2.986	2.971	2.968	2.972
Fe_FeMg	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17
Mg_FeMg	0.83	0.83	0.83	0.83	0.84	0.83	0.83	0.83	0.83

Ortopiroxênios

Dominio III

Fazenda da Roseta / Rochas Websteríticas

Sample Analysis Location Mineral	FR4 50L2	FR4 54L2	FR4 55L2	FR4 56L2	FR4 57L2	FR4 70L2	FR4 72L2	FR4 72L2
SiO2	55.22	54.99	55.56	55.28	56.6	54.18	54.71	54.71
TiO2	0.03	0.02	0	0.05	0	0.02	0	0
Al2O3	2.61	2.72	2.69	2.78	2.78	2.63	1.87	1.87
Cr2O3	0.15	0.15	0.13	0.29	0.19	0.13	0.5	0.5
FeO	8.95	8.84	9.19	8.26	9.04	7.88	9.22	9.22
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.13	0.07	0.17	0.04	0	0.11	0.13	0.13
MgO	32.26	32.73	31.65	31.86	30.71	34.84	32.99	32.99
NiO	0.08	0.17	0.14	0.18	0	0.11	0.13	0.13
CaO	0.27	0.33	0.3	0.34	0.41	0.31	0.23	0.23
Na2O	0	0.06	0.08	0.05	0	0.06	0.05	0.05
K2O	0.03	0.01	0	0.01	0.01	0.03	0.04	0.04
BaO	0	0	0.18	0	0.04	0	0	0
Total	99.73	100.09	99.91	99.14	99.74	100.30	99.87	99.87
TSi	1.929	1.910	1.942	1.942	1.989	1.859	1.906	1.906
TAI	0.071	0.090	0.058	0.058	0.011	0.106	0.077	0.077
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.017	0.017
M1Al	0.036	0.021	0.053	0.057	0.104	0.000	0.000	0.000
M1Ti	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000
M1Fe3	0.030	0.069	0.007	0.000	0.000	0.142	0.085	0.085
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.004	0.004	0.004	0.008	0.005	0.004	0.014	0.014
M1Mg	0.926	0.901	0.933	0.929	0.891	0.851	0.898	0.898
M1Ni	0.002	0.005	0.004	0.005	0.000	0.003	0.004	0.004
M2Mg	0.753	0.793	0.716	0.740	0.718	0.931	0.816	0.816
M2Fe2	0.231	0.188	0.262	0.243	0.266	0.050	0.167	0.167
M2Mn	0.004	0.002	0.005	0.001	0.000	0.003	0.004	0.004
M2Ca	0.010	0.012	0.011	0.013	0.015	0.011	0.009	0.009
M2Na	0.000	0.004	0.005	0.003	0.000	0.004	0.003	0.003
M2K	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.002
Sum_cat	3.999	4.000	4.000	4.000	4.000	3.999	3.998	3.998
Ca	0.525	0.647	0.583	0.665	0.817	0.617	0.454	0.454
Mg	87.264	89.331	85.558	86.668	85.126	96.527	90.543	90.543
Fe2_Mn	12.211	10.021	13.859	12.667	14.057	2.855	9.003	9.003
JD1	0.067	0.227	0.275	0.195	0.024	0.000	0.000	0.000
AE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.268	0.261	0.261
CFTS1	1.733	3.684	0.513	0.407	0.279	7.073	4.729	4.729
CTTS1	0.040	0.026	0.000	0.067	0.000	0.026	0.000	0.000
CATS1	1.759	0.823	2.402	2.675	0.574	0.000	0.000	0.000
WO1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
EN1	84.737	85.727	83.535	84.384	85.075	90.128	86.594	86.594
FS1	11.664	9.513	13.276	12.273	14.049	2.504	8.417	8.417
Q	1.921	1.895	1.923	1.924	1.890	1.843	1.889	1.889
J	0.000	0.008	0.011	0.007	0.000	0.008	0.007	0.007
WO	0.517	0.625	0.581	0.665	0.817	0.563	0.430	0.430
EN	85.915	86.209	85.269	86.668	85.126	88.100	85.908	85.908
FS	13.568	13.167	14.150	12.667	14.057	11.336	13.661	13.661
WEF	100.000	99.576	99.441	99.647	100.000	99.569	99.644	99.644
JD	0.000	0.098	0.498	0.353	0.000	0.000	0.000	0.000
AE	0.000	0.326	0.062	0.000	0.000	0.431	0.356	0.356

Ortopiroxênios

Dominio III

Fazenda da Roseta / Rochas Websteríticas

Sample Analysis Location Mineral	11GB2 55L9	11GB2 57L9	11GB2 61L9	11GB2 69L9	11GB2 70L9	FR4 41L2	FR4 42L2	FR4 43L2	FR4 45L2
SiO2	57.23	56.48	55.32	56.41	55.81	55.91	56.52	56.27	54
TiO2	0.01	0.05	0.02	0.08	0.02	0.06	0.08	0	0
Al2O3	2.08	2.42	2.53	2.95	3.07	2.69	2.58	2.3	2.7
Cr2O3	0.05	0.01	0.04	0.09	0.07	0.14	0.14	0.19	0.17
FeO	7.46	7.55	7.5	7.92	8.16	8.82	8.9	8.8	8
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.13	0.1	0.19	0.2	0.18	0.07	0.08	0.13	0.16
MgO	33.41	33.24	33.3	32.8	32.61	31.66	31.23	31.61	33.48
NiO	0.09	0.11	0.11	0.09	0.08	0	0.05	0.13	0.02
CaO	0.13	0.19	0.24	0.24	0.28	0.32	0.31	0.32	0.24
Na2O	0.07	0.03	0.02	0.01	0.09	0	0	0	0.04
K2O	0.06	0.03	0	0	0.01	0	0.03	0.02	0.01
BaO	0	0.08	0	0	0.15	0.07	0.02	0.04	0.07
Total	100.72	100.21	99.27	100.79	100.38	99.67	99.92	99.77	98.82
TSi	1.968	1.952	1.927	1.944	1.931	1.958	1.980	1.971	1.888
TAl	0.032	0.048	0.073	0.056	0.069	0.042	0.020	0.029	0.111
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
M1Al	0.053	0.051	0.031	0.064	0.056	0.069	0.086	0.066	0.000
M1Ti	0.000	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.000	0.000
M1Fe3	0.000	0.000	0.040	0.000	0.017	0.000	0.000	0.000	0.110
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.001	0.000	0.001	0.002	0.002	0.004	0.004	0.005	0.005
M1Mg	0.943	0.944	0.924	0.929	0.923	0.925	0.907	0.925	0.885
M1Ni	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.000	0.001	0.004	0.001
M2Mg	0.770	0.768	0.806	0.756	0.759	0.728	0.724	0.725	0.860
M2Fe2	0.215	0.218	0.178	0.228	0.219	0.258	0.261	0.258	0.123
M2Mn	0.004	0.003	0.006	0.006	0.005	0.002	0.002	0.004	0.005
M2Ca	0.005	0.007	0.009	0.009	0.010	0.012	0.012	0.012	0.009
M2Na	0.005	0.002	0.001	0.001	0.006	0.000	0.000	0.000	0.003
M2K	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000
Sum_cat	3.997	3.999	4.000	4.000	4.000	4.000	3.999	3.999	4.000
Ca	0.247	0.363	0.466	0.460	0.542	0.624	0.611	0.624	0.478
Mg	88.475	88.243	89.968	87.399	87.755	85.851	85.583	85.779	92.749
Fe2_Mn	11.278	11.395	9.566	12.142	11.703	13.525	13.807	13.597	6.774
JDI	0.371	0.168	0.068	0.034	0.328	0.000	0.070	0.046	0.000
AEI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.159
CFTS1	0.069	0.014	2.087	0.124	0.961	0.198	0.202	0.270	5.638
CTTS1	0.013	0.066	0.026	0.105	0.026	0.081	0.110	0.000	0.000
CATS1	1.600	2.337	1.508	2.721	2.485	2.057	0.956	1.491	0.000
WO1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ENI	87.044	86.406	87.310	85.442	85.116	84.464	85.063	84.929	88.014
FSI	10.903	11.010	9.000	11.574	11.084	13.200	13.599	13.264	6.189
Q	1.932	1.938	1.917	1.922	1.911	1.923	1.903	1.920	1.877
J	0.009	0.004	0.003	0.001	0.012	0.000	0.000	0.000	0.005
WO	0.247	0.363	0.456	0.460	0.537	0.624	0.611	0.624	0.451
EN	88.475	88.243	88.124	87.399	86.981	85.851	85.583	85.779	87.572
FS	11.278	11.395	11.420	12.142	12.483	13.525	13.807	13.597	11.977
WEF	99.520	99.793	99.860	99.931	99.374	100.000	100.000	100.000	99.713
JD	0.480	0.207	0.061	0.069	0.479	0.000	0.000	0.000	0.000
AE	0.000	0.000	0.079	0.000	0.147	0.000	0.000	0.000	0.287

Ortopiroxênios

Domínio III

Fazenda da Roseta / Rochas Websteríticas

Sample Analysis Location Mineral	11GB 18L3	11GB 20L3	11GB 23L3	11GB 24L3	11GB 25L3	11GB 26L3	11GB 2L3	11GB 37L3
SiO2	55.0	55.1	55.77	54.88	55.09	55.79	54.96	53.7
TiO2	0	0	0	0	0	0	0	0
Al2O3	2.16	2.5	1.64	2.08	1.95	2.25	2.16	2.41
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	8.99	9.16	8.6	9.24	9.22	9.5	9.25	9.47
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0	0	0.02	0.12	0.07	0.02	0.04	0
MgO	33.33	33.02	33.6	33.63	33.6	32.85	33.11	33.38
NiO	0	0	0	0	0	0	0	0
CaO	0.17	0.18	0.13	0.18	0.14	.11	0.19	0.09
Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	99.65	99.96	99.76	100.13	100.07	100.52	99.71	99.05
TSi	1.914	1.914	1.937	1.901	1.910	1.932	1.914	1.879
TAl	0.086	0.086	0.063	0.085	0.080	0.068	0.086	0.099
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.014	0.011	0.000	0.000	0.022
M1Al	0.003	0.017	0.005	0.000	0.000	0.024	0.003	0.000
M1Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Fe3	0.083	0.068	0.058	0.099	0.090	0.043	0.082	0.121
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Mg	0.914	0.915	0.938	0.901	0.910	0.933	0.915	0.879
M1Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Mg	0.815	0.796	0.802	0.835	0.826	0.764	0.805	0.862
M2Fe2	0.179	0.198	0.192	0.154	0.166	0.232	0.187	0.135
M2Mn	0.000	0.000	0.001	0.004	0.002	0.001	0.001	0.000
M2Ca	0.006	0.007	0.005	0.007	0.005	0.004	0.007	0.003
M2Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_cat	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Ca	0.331	0.350	0.250	0.351	0.272	0.211	0.370	0.180
Mg	90.328	89.324	89.806	91.341	90.912	87.766	89.797	92.652
Fe2_Mn	9.341	10.326	9.945	8.308	8.815	12.022	9.832	7.169
JD1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CFTS1	4.155	3.433	2.896	4.971	4.525	2.176	4.136	6.045
CTTS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CATS1	0.136	0.842	0.229	0.000	0.000	1.205	0.150	0.000
WO1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
EN1	86.739	85.805	87.244	87.269	87.130	85.005	86.322	87.207
FS1	8.970	9.920	9.631	7.760	8.345	11.615	9.393	6.747
Q	1.914	1.915	1.937	1.898	1.908	1.932	1.913	1.879
J	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
WO	0.317	0.338	0.242	0.332	0.259	0.207	0.355	0.167
EN	86.582	86.241	87.206	86.206	86.347	85.838	86.093	86.126
FS	13.101	13.421	12.551	13.462	13.394	13.955	13.552	13.707
WEF	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
JD	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Ortopiroxênios

Domínio III

Fazenda da Roseta / Rochas Websteríticas

Sample Analysis Location Mineral	11GB 41L3	11GB 44L3	11GB 50L3	11GB 56L3	11GB 57L3	11GB 60L3	11GB 66L3	11GB 69L3
SiO2	55.03	55.07	55.59	55.36	54.47	55.32	54.93	54.59
TiO2	0	0	0	0	0	0	0.03	0
Al2O3	2.49	2.32	1.16	1.41	1.41	1.52	1.84	1.73
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	9.33	9.07	9.08	9.03	9.2	8.83	9	8.77
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.01	0.07	0.1	0.11	0.08	0	0	0.1
MgO	32.71	33.11	33.84	33.69	33.76	33.51	33.62	33.85
NiO	0	0	0	0	0	0	0	0
CaO	0.2	0.21	0.14	0.26	0.14	0.12	0.09	0.1
Na2O	0	0	0	0	0	0.02	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	99.77	99.85	99.91	99.86	99.06	99.32	99.51	99.14
TSi	1.918	1.915	1.930	1.923	1.905	1.931	1.913	1.905
TAl	0.082	0.085	0.047	0.058	0.058	0.062	0.075	0.071
TFe3	0.000	0.000	0.023	0.020	0.037	0.007	0.012	0.024
M1Al	0.020	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
M1Fe3	0.061	0.075	0.070	0.077	0.095	0.071	0.085	0.095
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Mg	0.919	0.915	0.930	0.923	0.905	0.929	0.914	0.905
M1Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Mg	0.781	0.801	0.821	0.821	0.855	0.814	0.831	0.856
M2Fe2	0.211	0.189	0.170	0.166	0.137	0.180	0.165	0.138
M2Mn	0.000	0.002	0.003	0.003	0.002	0.000	0.000	0.003
M2Ca	0.000	0.008	0.005	0.010	0.005	0.004	0.003	0.004
M2Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
M2K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_cat	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Ca	0.389	0.409	0.270	0.503	0.275	0.233	0.175	0.196
Mg	88.598	89.617	90.743	90.714	92.388	90.421	91.195	92.429
Fe2_Mn	11.013	9.975	8.987	8.782	7.337	9.346	8.630	7.375
JDI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.068	0.000	0.000
CFTS1	3.061	3.758	3.524	3.879	4.758	3.471	4.272	4.748
CTTS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.039	0.000
CATS1	1.027	0.501	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
WO1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
EN1	85.321	86.246	87.917	87.785	88.346	87.425	87.416	88.351
FS1	10.591	9.496	8.560	8.336	6.897	9.036	8.272	6.901
Q	1.918	1.913	1.927	1.920	1.903	1.928	1.914	1.902
J	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000
WO	0.377	0.393	0.257	0.479	0.258	0.224	0.167	0.185
EN	85.868	86.249	86.567	86.373	86.415	86.927	86.798	87.021
FS	13.755	13.358	13.176	13.147	13.327	12.850	13.035	12.794
WEF	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	99.860	100.000	100.000
JD	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.140	0.000	0.000

Ortopiroxênios

Domínio III

Fazenda da Roseta / Rochas Websteríticas

Sample Analysis Location Mineral	11GB 6L3	11GB 71L3	11GB 82L3	11GB 89L3	11GB 8L3	11GB 93L3	11GB2 13L9	11GB2 15L9
SiO2	55.35	55.23	55.87	54.45	54.03	54	56.19	56.61
TiO2	0	0	0.07	0	0	0	0	0
Al2O3	1.99	1.84	1.81	1.77	1.71	2.05	2.81	3.06
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0.16	0.08
FeO	9.11	9.07	8.75	8.87	9.14	8.79	8.2	8.21
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.01	0.07	0.08	0.13	0.01	0.02	0.17	0.17
MgO	33.15	33.59	33.68	34	33.96	33.71	32.26	32.47
NiO	0	0	0	0	0	0	0.05	0
CaO	0.16	0.09	0.24	0.22	0.2	0.2	0.22	0.26
Na2O	0.02	0	0	0	0	0	0.01	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0.01	0
BaO	0	0	0	0	0	0	0.04	0
Total	99.79	99.89	100.50	99.44	99.05	98.77	100.08	100.86
TSi	1.926	1.917	1.928	1.894	1.887	1.891	1.954	1.953
TAl	0.074	0.075	0.072	0.073	0.070	0.085	0.046	0.047
TFe3	0.000	0.007	0.000	0.033	0.043	0.025	0.000	0.000
M1Al	0.008	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.069	0.077
M1Ti	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Fe3	0.067	0.082	0.066	0.106	0.113	0.109	0.000	0.000
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.002
M1Mg	0.925	0.918	0.930	0.894	0.887	0.891	0.925	0.921
M1Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
M2Mg	0.795	0.821	0.803	0.869	0.881	0.869	0.747	0.749
M2Fe2	0.198	0.174	0.186	0.119	0.111	0.123	0.238	0.237
M2Mn	0.000	0.002	0.002	0.004	0.000	0.001	0.005	0.005
M2Ca	0.006	0.003	0.009	0.008	0.007	0.008	0.008	0.010
M2Na	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
M2K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_cat	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Ca	0.310	0.175	0.460	0.433	0.397	0.397	0.426	0.500
Mg	89.399	90.656	89.773	93.077	93.690	93.050	86.920	86.913
Fe2_Mn	10.291	9.170	9.767	6.490	5.913	6.553	12.654	12.587
JD1	0.068	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.057	0.000
AE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CFTS1	3.385	4.125	3.336	5.313	5.666	5.480	0.224	0.111
CTTS1	0.000	0.000	0.091	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CATS1	0.314	0.000	0.084	0.000	0.000	0.000	2.346	2.425
WO1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
EN1	86.312	87.162	87.126	88.695	88.747	88.329	85.221	85.356
FS1	9.921	8.713	9.362	5.992	5.586	6.191	12.152	12.107
Q	1.923	1.916	1.928	1.891	1.887	1.890	1.919	1.916
J	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
WO	0.300	0.167	0.444	0.403	0.366	0.371	0.426	0.500
EN	86.370	86.611	86.789	86.717	86.551	86.890	86.920	86.913
FS	13.330	13.222	12.766	12.880	13.082	12.739	12.654	12.587
WEF	99.860	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	99.930	100.000
JD	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.070	0.000
AE	0.126	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Ortopiroxênios

Domínio III

Fazenda da Roseta / Rochas Websteríticas

Sample Analysis Location Mineral	11GB2 16L9	11GB2 26L9	11GB2 29L9	11GB2 37L9	11GB2 38L9	11GB2 46L9	11GB2 47L9	11GB2 51L9
SiO2	57.39	55.39	55.91	56.49	55.42	56.31	56.01	57.53
TiO2	0.08	0.03	0.05	0	0	0.05	0.09	0
Al2O3	2.62	3.03	3.02	2.81	3	2.98	2.96	1.07
Cr2O3	0.06	0.08	0.08	0.07	0.13	0.11	0.11	0.03
FeO	7.76	7.99	8.81	7.95	8.55	8.09	8.04	7.46
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.14	0.1	0.19	0.25	0.24	0.18	0.08	0.05
MgO	32.56	32.51	32.53	32.43	32.44	32.77	32.46	33.77
NiO	0.09	0.13	0.06	0.06	0.09	0.15	0.08	0.07
CaO	0.26	0.24	0.27	0.31	0.28	0.25	0.24	0.25
Na2O	0	0.05	0.06	0.02	0.05	0.07	0	0
K2O	0	0.02	0	0	0	0.03	0.02	0.02
BaO	0	0	0.08	0	0	0.04	0	0
Total	100.96	99.57	100.98	100.39	100.20	100.99	100.09	100.25
TSi	1.978	1.931	1.927	1.957	1.924	1.937	1.945	1.987
TAl	0.022	0.069	0.073	0.043	0.076	0.063	0.055	0.013
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.084	0.055	0.050	0.071	0.046	0.058	0.066	0.031
M1Ti	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000
M1Fe3	0.000	0.014	0.022	0.000	0.029	0.005	0.000	0.000
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.002	0.002	0.002	0.002	0.004	0.003	0.003	0.001
M1Mg	0.910	0.924	0.923	0.925	0.918	0.929	0.926	0.966
M1Ni	0.002	0.004	0.002	0.002	0.003	0.004	0.002	0.002
M2Mg	0.763	0.765	0.748	0.750	0.760	0.752	0.754	0.773
M2Fe2	0.224	0.218	0.232	0.230	0.219	0.228	0.234	0.216
M2Mn	0.004	0.003	0.006	0.007	0.007	0.005	0.002	0.001
M2Ca	0.010	0.009	0.010	0.012	0.010	0.009	0.009	0.009
M2Na	0.000	0.003	0.004	0.001	0.003	0.005	0.000	0.000
M2K	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001
Sum_cat	4.000	3.999	4.000	4.000	4.000	3.999	3.999	3.999
Ca	0.503	0.467	0.520	0.598	0.544	0.479	0.464	0.471
Mg	87.575	88.000	87.099	87.050	87.666	87.409	87.286	88.489
Fe2_Mn	11.923	11.533	12.381	12.352	11.790	12.112	12.251	11.040
JD1	0.000	0.216	0.203	0.069	0.170	0.303	0.045	0.045
AE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CFTS1	0.085	0.841	1.217	0.098	1.672	0.410	0.153	0.042
CTTS1	0.108	0.040	0.066	0.000	0.000	0.065	0.119	0.000
CATS1	1.060	2.563	2.313	2.218	2.171	2.624	2.662	0.639
WO1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
EN1	87.102	85.309	84.475	85.813	84.922	85.074	85.185	88.329
FS1	11.645	11.032	11.728	11.801	11.064	11.523	11.836	10.946
Q	1.906	1.917	1.914	1.916	1.908	1.917	1.923	1.964
J	0.000	0.007	0.008	0.003	0.007	0.009	0.000	0.000
WO	0.503	0.463	0.514	0.598	0.536	0.478	0.464	0.471
EN	87.575	87.342	86.117	87.050	86.336	87.177	87.286	88.489
FS	11.923	12.195	13.369	12.352	13.128	12.345	12.251	11.040
WEF	100.000	99.649	99.584	99.861	99.650	99.517	100.000	100.000
JD	0.000	0.278	0.289	0.139	0.214	0.444	0.000	0.000
AE	0.000	0.073	0.127	0.000	0.136	0.039	0.000	0.000

Ortopiroxênios

Domínio III

Fazenda da Roseta / Espinélio Harzburgitos

Sample Analysis Location Mineral	SO11 12L5	SO11 56L11	SO11 61L11	SO11 68L11	SO11 70L11	SO11D 15L11	SO11D 16L11	SO11D 17L11	SO11D 18L11
						0			
						0			
SiO2	55.49	55.69	55.87	55.81	56.74	57.53	55.82	57.94	56.82
TiO2	0	0.17	0	0.05	0.08	0	0.02	0.08	0.12
Al2O3	2.63	3.33	3.28	2.72	2.79	2.48	2.88	0.95	2.48
Cr2O3	0	0	0.04	0	0.04	0	0.05	0	0
FeO	9.1	9.25	8.86	8.86	8.49	9.13	9.29	8.96	9.28
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0	0.1	0.17	0.08	0.12	0.04	0.15	0.23	0.07
MgO	32.28	30.69	30.39	31.61	30.8	30.95	31.62	31.33	30.35
NiO	0	0.09	0	0.03	0.02	0.12	0.02	0.13	0.04
CaO	0	0.16	0.19	0.25	0.03	0.11	0.11	0.28	0.05
Na2O	0	0.12	0.07	0.02	0	0.05	0.01	0	0.05
K2O	0	0	0.04	0	0.01	0	0	0.02	0
BaO	0	0.04	0.08	0.04	0.04	0	0.23	0	0
Total	99.50	99.60	98.91	99.43	99.12	100.41	99.97	99.92	99.26
TSi	1.942	1.958	1.977	1.959	2.003	2.009	1.951	2.034	2.010
TAl	0.058	0.042	0.023	0.041	0.000	0.000	0.049	0.000	0.000
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.050	0.096	0.114	0.071	0.116	0.102	0.069	0.039	0.103
M1Ti	0.000	0.004	0.000	0.001	0.002	0.000	0.001	0.002	0.003
M1Fe3	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000
M1Mg	0.942	0.897	0.885	0.927	0.880	0.895	0.928	0.955	0.892
M1Ni	0.000	0.003	0.000	0.001	0.001	0.003	0.001	0.004	0.001
M2Mg	0.742	0.711	0.719	0.727	0.741	0.716	0.719	0.685	0.708
M2Fe2	0.258	0.272	0.262	0.260	0.251	0.267	0.272	0.263	0.275
M2Mn	0.000	0.003	0.005	0.002	0.004	0.001	0.004	0.007	0.002
M2Ca	0.000	0.006	0.007	0.009	0.001	0.004	0.004	0.011	0.002
M2Na	0.000	0.008	0.005	0.001	0.000	0.003	0.001	0.000	0.003
M2K	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Sum_cat	4.000	4.000	3.998	4.000	4.000	4.000	4.000	3.999	4.000
Ca	0.000	0.319	0.384	0.488	0.060	0.219	0.214	0.549	0.101
Mg	86.708	85.130	85.381	85.884	86.389	85.560	85.469	85.395	85.177
Fe2_Mn	13.292	14.551	14.235	13.628	13.550	14.222	14.317	14.056	14.722
JD1	0.000	0.424	0.349	0.070	0.024	0.180	0.034	0.047	0.182
AE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CFTS1	0.408	0.000	0.059	0.000	0.060	0.000	0.070	0.000	0.000
CTTS1	0.000	0.233	0.000	0.067	0.000	0.000	0.027	0.000	0.000
CATS1	2.497	1.959	1.188	2.051	0.000	0.000	2.469	0.000	0.000
WO1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.218	0.000	0.550	0.101
EN1	84.189	83.300	84.573	84.522	86.534	85.460	83.618	85.660	85.117
FS1	12.906	14.084	13.832	13.290	13.381	14.142	13.782	13.743	14.600
Q	1.942	1.886	1.873	1.923	1.873	1.882	1.923	1.913	1.877
J	0.000	0.016	0.010	0.003	0.000	0.007	0.001	0.000	0.007
WO	0.000	0.319	0.384	0.488	0.060	0.219	0.214	0.549	0.101
EN	86.345	85.130	85.381	85.884	86.389	85.560	85.469	85.395	85.177
FS	13.655	14.551	14.235	13.628	13.550	14.222	14.317	14.056	14.722
WEF	100.000	99.142	99.491	99.859	100.000	99.642	99.930	100.000	99.636
JD	0.000	0.858	0.509	0.141	0.000	0.358	0.070	0.000	0.364
AE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Ortopiroxênios

Domínio III

Fazenda da Roseta / Espinélio Harzburgitos

Sample Analysis Location Mineral	SO11D 20L11	SO11D 21L11	SO11D 22L11	SO11D 23L11	SO11D 24L11	SO11D 31L11	SO11D 35L11	SO11D 6L8	SO11D 73L9
SiO2	57.4	57.33	58.38	56.77	57.08	57.43	56.27	54.36	56.62
TiO2	0.01	0	0.03	0	0	0	0.07	0.06	0.05
Al2O3	1.23	1.56	0.63	3.11	3.16	2.44	3.22	3.19	1.82
Cr2O3	0.01	0	0	0	0	0.06	0	0.01	0.06
FeO	9	8.63	8.52	8.59	9.06	8.78	9.04	8.69	7.88
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.22	0.01	0.05	0.1	0.16	0.07	0.04	0.09	0.03
MgO	31.49	32.51	32.31	31.47	30.27	30.92	31.32	33.6	33.03
NiO	0	0.06	0.09	0.03	0.06	0	0	0.02	0
CaO	0.11	0.09	0.26	0.2	0.1	0.09	0.17	0.25	0.25
Na2O	0.09	0.04	0.02	0.01	0.04	0.04	0	0	0.02
K2O	0	0	0	0	0.03	0	0	0	0
BaO	0	0.08	0.06	0.08	0.08	0	0	0.04	0
Total	99.56	100.23	100.29	100.28	99.96	99.83	100.13	100.27	99.76
TSi	2.017	1.993	2.033	1.977	2.004	2.015	1.964	1.876	1.969
TAI	0.000	0.007	0.000	0.023	0.000	0.000	0.036	0.124	0.031
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.051	0.057	0.026	0.104	0.131	0.101	0.097	0.006	0.044
M1Ti	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.001
M1Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.114	0.000
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.002
M1Mg	0.949	0.942	0.971	0.895	0.868	0.898	0.901	0.878	0.953
M1Ni	0.000	0.002	0.003	0.001	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000
M2Mg	0.701	0.743	0.706	0.739	0.717	0.720	0.729	0.851	0.759
M2Fe2	0.265	0.251	0.248	0.250	0.266	0.258	0.264	0.137	0.229
M2Mn	0.007	0.000	0.001	0.003	0.005	0.002	0.001	0.003	0.001
M2Ca	0.004	0.003	0.010	0.007	0.004	0.003	0.006	0.009	0.009
M2Na	0.006	0.003	0.001	0.001	0.003	0.003	0.000	0.000	0.001
M2K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_cat	4.000	4.000	4.000	4.000	3.999	4.000	4.000	4.000	4.000
Ca	0.215	0.173	0.501	0.394	0.202	0.180	0.334	0.492	0.477
Mg	85.704	86.875	86.611	86.244	85.231	86.009	85.723	92.076	87.735
Fe2_Mn	14.081	12.952	12.888	13.362	14.567	13.811	13.942	7.431	11.787
JD1	0.319	0.139	0.070	0.035	0.219	0.145	0.000	0.000	0.068
AE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CFTS1	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.088	0.000	5.746	0.083
CTTS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.095	0.078	0.066
CATS1	0.000	0.375	0.000	1.217	0.000	0.000	1.752	0.301	1.492
WO1	0.201	0.000	0.501	0.000	0.202	0.091	0.000	0.000	0.000
EN1	85.722	86.591	86.616	85.635	85.263	85.979	84.475	86.987	86.688
FS1	13.744	12.895	12.813	13.113	14.316	13.696	13.678	6.888	11.602
Q	1.919	1.939	1.935	1.891	1.854	1.878	1.900	1.875	1.951
J	0.012	0.005	0.003	0.001	0.005	0.005	0.000	0.000	0.003
WO	0.215	0.173	0.501	0.394	0.202	0.180	0.334	0.464	0.477
EN	85.704	86.875	86.611	86.244	85.231	86.009	85.723	86.809	87.735
FS	14.081	12.952	12.888	13.362	14.567	13.811	13.942	12.727	11.787
WEF	99.367	99.723	99.861	99.929	99.708	99.711	100.000	100.000	99.862
JD	0.633	0.277	0.139	0.071	0.292	0.289	0.000	0.000	0.138
AE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Ortopiroxênios

Dominio III

Fazenda da Roseta / Espinério Harzburgitos

Sample Analysis Location Mineral	SO11D 74L9	SO11D 75L9	SO11D 7L11	SO11D 82L9	SO11D 8L11	SO11E 11L5	SO11E 13L6	SO11E 14L5	SO11E 18L7
SiO2	56.62	56.12	56.38	55.95	56.39	55.42	54.41	56	55.55
TiO2	0	0	0.08	0.13	0	0.07	0.06	0.01	0.05
Al2O3	1.93	2.82	2.8	3.22	2.4	2.86	3.25	2.56	3.03
Cr2O3	0	0.08	0	0	0.07	0	0.04	0	0.05
FeO	7.94	8.39	9.07	8.71	8.95	9.41	8.35	8	9.23
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.02	0.12	0.1	0.13	0.08	0	0.07	0.06	0
MgO	32.98	32.02	30.52	32.32	30.8	32.52	33.07	33.05	32.9
NiO	0.11	0	0	0.1	0	0	0	0	0.05
CaO	0.27	0.22	0.02	0.06	0.08	0	0.26	0	0.09
Na2O	0.03	0.04	0.05	0	0.05	0	0.04	0.13	0.02
K2O	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0.01	0.01	0
BaO	0.04	0	0	0	0	0	0	0.01	0
Total	99.91	99.82	99.03	100.62	98.82	100.28	99.56	99.82	100.97
TSi	1.967	1.957	1.995	1.937	1.997	1.924	1.892	1.943	1.913
TAI	0.033	0.043	0.005	0.063	0.003	0.076	0.108	0.057	0.087
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.046	0.073	0.112	0.068	0.098	0.041	0.025	0.047	0.036
M1Ti	0.000	0.000	0.002	0.003	0.000	0.002	0.002	0.000	0.001
M1Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.081	0.018	0.048
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.000	0.002	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.001
M1Mg	0.951	0.925	0.886	0.926	0.900	0.927	0.891	0.934	0.912
M1Ni	0.003	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
M2Mg	0.756	0.740	0.724	0.742	0.726	0.757	0.823	0.775	0.777
M2Fe2	0.231	0.245	0.268	0.252	0.265	0.243	0.162	0.214	0.218
M2Mn	0.001	0.004	0.003	0.004	0.002	0.000	0.002	0.002	0.000
M2Ca	0.010	0.006	0.001	0.002	0.003	0.000	0.010	0.000	0.003
M2Na	0.002	0.003	0.003	0.000	0.003	0.000	0.003	0.009	0.001
M2K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_cat	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Ca	0.516	0.428	0.040	0.116	0.160	0.000	0.513	0.000	0.174
Mg	87.620	86.651	85.540	86.595	85.737	87.378	90.815	88.796	88.403
Fe2_Mn	11.864	12.921	14.420	13.289	14.103	12.622	8.672	11.204	11.424
JD1	0.125	0.161	0.206	0.000	0.181	0.000	0.158	0.462	0.067
AE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CFTS1	0.000	0.113	0.000	0.000	0.103	1.505	4.145	0.914	2.454
CTTS1	0.000	0.000	0.113	0.171	0.000	0.091	0.079	0.013	0.065
CATS1	1.693	2.176	0.147	3.024	0.133	2.071	1.112	1.920	1.747
WO1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
EN1	86.500	85.049	85.312	84.092	85.625	84.174	86.363	85.936	84.719
FS1	11.683	12.501	14.223	12.713	13.958	12.159	8.143	10.755	10.948
Q	1.948	1.918	1.879	1.922	1.895	1.927	1.886	1.923	1.911
J	0.004	0.005	0.007	0.000	0.007	0.000	0.005	0.017	0.003
WO	0.516	0.428	0.040	0.116	0.160	0.000	0.492	0.000	0.170
EN	87.620	86.651	85.540	86.595	85.737	86.034	87.070	87.965	86.255
FS	11.864	12.921	14.420	13.289	14.103	13.966	12.438	12.035	13.575
WEF	99.793	99.719	99.637	100.000	99.639	100.000	99.715	99.100	99.860
JD	0.207	0.281	0.363	0.000	0.361	0.000	0.068	0.651	0.060
AE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.217	0.250	0.079

Ortopiroxênios

Domínio III

Fazenda da Roseta / Espinélio Harzburgitos

Sample Analysis Location Mineral	SO11E 19L7	SO11E 1LS	SO11E 20L7	SO11E 22L5	SO11E 22L7	SO11E 27L7	SO11E 28L9	SO11E 32L9	SO11E 33L9
SiO2	57.84	55.34	57.89	57	54.41	55.69	55.73	56.67	56.2
TiO2	0.02	0	0.03	0	0.19	0.05	0.05	0.07	0.08
Al2O3	0.19	3.11	0.61	0.03	3.29	3.28	3.05	1.68	2.43
Cr2O3	0	0	0	0	0.08	0	0.07	0	0
FeO	7.98	8.91	7.92	9.48	8.75	9.15	9.07	8.32	9.22
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.35	0.02	0.08	0.16	0.13	0.08	0.08	0.14	0.13
MgO	34.45	32.44	33.74	33.6	32.97	32.18	32.32	33.61	32.55
NiO	0	0	0.05	0	0.08	0	0.12	0.11	0
CaO	0.17	0	0.22	0.18	0.09	0.21	0.06	0.14	0.07
Na2O	0.01	0	0	0	0.04	0.04	0	0.01	0.06
K2O	0	0	0.02	0	0	0	0.01	0.05	0
BaO	0	0	0	0	0.18	0	0	0	0
Total	101.01	99.82	100.56	100.45	100.03	100.68	100.56	100.80	100.74
TSi	1.984	1.928	1.998	1.976	1.887	1.927	1.931	1.951	1.944
TAI	0.008	0.072	0.002	0.001	0.113	0.073	0.069	0.049	0.056
TFe3	0.008	0.000	0.000	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.000	0.055	0.022	0.000	0.022	0.061	0.056	0.019	0.043
M1Ti	0.001	0.000	0.001	0.000	0.005	0.001	0.001	0.002	0.002
M1Fe3	0.016	0.017	0.000	0.024	0.081	0.012	0.008	0.030	0.013
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000	0.000
M1Mg	0.984	0.928	0.975	0.976	0.888	0.926	0.929	0.947	0.942
M1Ni	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.003	0.003	0.000
M2Mg	0.778	0.756	0.760	0.760	0.817	0.734	0.741	0.778	0.736
M2Fe2	0.205	0.243	0.229	0.228	0.173	0.253	0.254	0.210	0.253
M2Mn	0.010	0.001	0.002	0.005	0.004	0.002	0.002	0.004	0.004
M2Ca	0.006	0.000	0.008	0.007	0.003	0.008	0.002	0.005	0.003
M2Na	0.001	0.000	0.000	0.000	0.003	0.003	0.000	0.001	0.004
M2K	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000
Sum_cat	4.00	4.000	3.999	4.000	4.000	4.000	4.000	3.998	4.000
Ca	0.315	0.000	0.412	0.338	0.177	0.405	0.116	0.266	0.134
Mg	88.827	87.371	87.895	87.877	90.442	86.307	86.570	88.722	86.595
Fe2_Mn	10.858	12.629	11.693	11.785	9.381	13.288	13.315	11.012	13.271
JD1	0.000	0.000	0.045	0.000	0.135	0.135	0.022	0.144	0.202
AE1	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CFTS1	0.749	0.833	0.000	1.204	4.175	0.581	0.518	1.487	0.668
CTTS1	0.026	0.000	0.039	0.000	0.249	0.065	0.065	0.091	0.105
CATS1	0.000	2.765	0.085	0.000	0.965	2.930	2.780	0.803	1.940
WO1	0.000	0.000	0.288	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
EN1	88.844	84.254	87.960	87.322	85.770	83.544	83.838	86.894	84.350
FS1	10.347	12.149	11.583	11.474	8.704	12.745	12.777	10.580	12.735
Q	1.973	1.927	1.972	1.971	1.881	1.921	1.926	1.940	1.934
J	0.001	0.000	0.000	0.000	0.005	0.005	0.000	0.001	0.008
WO	0.311	0.000	0.412	0.331	0.170	0.402	0.115	0.262	0.133
EN	87.776	86.623	87.895	85.849	86.724	85.792	86.194	87.395	86.005
FS	11.913	13.377	11.693	13.820	13.106	13.806	13.691	12.343	13.862
WEF	99.933	100.000	100.000	100.000	99.715	99.722	100.000	99.931	99.586
JD	0.000	0.000	0.000	0.000	0.061	0.234	0.000	0.027	0.315
AE	0.067	0.000	0.000	0.000	0.224	0.044	0.000	0.042	0.098

Ortopiroxênios

Dominio III

Fazenda da Roseta / Espinério Harzburgitos

Sample Analysis Location Mineral	SO11E 34L7	SO11E 35L9	SO11E 36L9	SO11E 38L9	SO11E 39L7	SO11E 41L9	SO11E 51L7	SO11E 54L7	SO11E 55L7
SiO2	55.52	55.51	55.96	55.43	55.89	55.27	55.15	55.98	55.82
TiO2	0.03	0.15	0	0	0.15	0.1	0.07	0.07	0.08
Al2O3	3.14	3.12	3.25	3.25	3.33	3.22	3.32	2.64	2.9
Cr2O3	0.01	0.05	0.02	0	0	0.08	0	0	0
FeO	8.94	8.73	9.09	8.79	8.62	9.09	8.62	8.68	8.71
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0	0.13	0.04	0.03	0.13	0.06	0.15	0.14	0.05
MgO	32.38	32.64	32.51	32.72	32.6	32.24	32.74	33.11	32.55
NiO	0	0.04	0.13	0	0	0	0.08	0	0.07
CaO	0.13	0.2	0.17	0.19	0.27	0.23	0.29	0.15	0.05
Na2O	0.04	0	0.01	0.03	0.02	0	0.08	0.08	0.08
K2O	0.01	0.04	0.01	0.1	0.04	0.05	0.03	0.02	0
BaO	0	0	0.04	0	0	0	0.15	0	0
Total	100.20	100.61	101.19	100.54	101.05	100.34	100.53	100.87	100.31
TSi	1.927	1.919	1.926	1.915	1.924	1.919	1.905	1.927	1.935
TAl	0.073	0.081	0.074	0.085	0.076	0.081	0.095	0.073	0.065
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.056	0.046	0.058	0.047	0.059	0.050	0.040	0.034	0.053
M1Ti	0.001	0.004	0.000	0.000	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002
M1Fe3	0.018	0.027	0.017	0.044	0.013	0.025	0.058	0.042	0.013
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
M1Mg	0.925	0.920	0.922	0.909	0.925	0.919	0.898	0.923	0.930
M1Ni	0.000	0.001	0.004	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002
M2Mg	0.750	0.762	0.746	0.776	0.748	0.749	0.788	0.776	0.752
M2Fe2	0.242	0.225	0.245	0.209	0.235	0.238	0.191	0.208	0.239
M2Mn	0.000	0.004	0.001	0.001	0.004	0.002	0.004	0.004	0.001
M2Ca	0.005	0.007	0.006	0.007	0.010	0.009	0.011	0.006	0.002
M2Na	0.003	0.000	0.001	0.002	0.001	0.000	0.005	0.005	0.005
M2K	0.000	0.002	0.000	0.004	0.002	0.002	0.001	0.001	0.000
Sum_cat	4.000	3.998	4.000	3.996	3.998	3.998	3.999	3.999	4.000
Ca	0.252	0.386	0.326	0.370	0.518	0.446	0.567	0.289	0.096
Mg	87.174	87.674	86.851	88.575	87.041	87.024	89.125	88.647	87.394
Fe2_Mn	12.574	11.940	12.823	11.056	12.441	12.530	10.308	11.064	12.509
JDI	0.157	0.089	0.056	0.323	0.156	0.111	0.338	0.313	0.270
AEI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CFTS1	0.909	1.434	0.859	2.241	0.646	1.390	2.956	2.111	0.663
CTTS1	0.039	0.196	0.000	0.000	0.196	0.131	0.092	0.091	0.105
CATS1	2.640	2.231	2.846	2.037	2.796	2.420	1.667	1.385	2.394
WO1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ENI	84.121	84.706	83.909	84.852	84.342	83.949	85.303	85.619	84.540
FSI	12.134	11.344	12.330	10.547	11.864	11.999	9.643	10.480	12.027
Q	1.922	1.915	1.919	1.901	1.918	1.915	1.887	1.912	1.923
J	0.005	0.000	0.001	0.004	0.003	0.000	0.011	0.011	0.011
WO	0.249	0.381	0.324	0.361	0.515	0.440	0.550	0.282	0.096
EN	86.373	86.452	86.110	86.550	86.464	85.885	86.455	86.751	86.799
FS	13.378	13.167	13.567	13.089	13.021	13.675	12.994	12.966	13.105
WEF	99.721	100.000	99.931	99.789	99.861	100.000	99.437	99.446	99.444
JD	0.212	0.000	0.054	0.108	0.114	0.000	0.228	0.247	0.445
AE	0.068	0.000	0.015	0.103	0.025	0.000	0.336	0.307	0.111

Ortopiroxênios

Domínio III

Fazenda da Roseta / Espinério Harzburgitos

Sample Analysis Location Mineral	SO11E 56L7	SO11E 57L7	SO11E 58L7	SO11E 63L7	SO11E 64L7	SO11E 75L7	SO11E 7L5	SO11E 7L6	SO11E 83L7
SiO2	57.22	57.42	56.97	55.18	55.57	55.58	55.29	56.03	55.71
TiO2	0.07	0	0	0.27	0.11	0	0	0.09	0
Al2O3	0.84	1.11	1.05	3.33	2.75	3.08	3.15	0.15	3.4
Cr2O3	0	0.02	0	0.06	0.06	0	0	0.03	0.02
FeO	7.96	8.64	9.04	9.06	8.76	8.65	9.09	8.73	8.89
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.19	0.16	0.25	0.11	0.08	0.19	0	0.34	0.06
MgO	33.17	33.49	33.32	32.54	33.45	31.95	32.28	33.38	32.11
NiO	0.18	0	0	0.05	0.07	0	0	0.19	0
CaO	0.23	0.24	0.29	0.12	0.08	0.19	0.19	0	0.2
Na2O	0	0	0.07	0.1	0.06	0.01	0	0.02	0
K2O	0	0	0	0.05	0	0.03	0	0	0.02
BaO	0.28	0.11	0.15	0	0.11	0.11	0	0	0.07
Total	99.86	101.08	100.99	100.87	100.99	99.68	100.00	98.96	100.41
TSi	1.992	1.975	1.963	1.903	1.909	1.942	1.924	1.969	1.932
TAl	0.008	0.025	0.037	0.097	0.091	0.058	0.076	0.006	0.068
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	0.000
M1Al	0.026	0.020	0.005	0.039	0.020	0.068	0.053	0.000	0.071
M1Ti	0.002	0.000	0.000	0.007	0.003	0.000	0.000	0.002	0.000
M1Fe3	0.000	0.004	0.036	0.051	0.068	0.000	0.022	0.027	0.000
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.000	0.001	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.001	0.001
M1Mg	0.967	0.975	0.958	0.901	0.906	0.932	0.925	0.964	0.928
M1Ni	0.005	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.005	0.000
M2Mg	0.754	0.742	0.753	0.773	0.807	0.733	0.750	0.784	0.732
M2Fe2	0.232	0.244	0.224	0.211	0.184	0.253	0.243	0.204	0.258
M2Mn	0.006	0.005	0.007	0.003	0.002	0.006	0.000	0.010	0.002
M2Ca	0.009	0.009	0.011	0.004	0.003	0.007	0.007	0.000	0.007
M2Na	0.000	0.000	0.005	0.007	0.004	0.001	0.000	0.001	0.000
M2K	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001
Sum_cat	4.000	4.000	4.000	3.998	4.000	3.999	4.000	4.000	3.999
Ca	0.436	0.448	0.548	0.234	0.155	0.369	0.368	0.000	0.386
Mg	87.500	86.943	87.602	88.458	90.054	86.242	87.018	89.071	86.144
Fe2_Mn	12.064	12.610	11.850	11.308	9.791	13.390	12.614	10.929	13.471
JD1	0.000	0.000	0.237	0.448	0.201	0.102	0.000	0.000	0.045
AE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.069	0.000
CFTS1	0.000	0.235	1.834	2.639	3.488	0.000	1.094	1.336	0.028
CTTS1	0.093	0.000	0.000	0.353	0.143	0.000	0.000	0.120	0.000
CATS1	0.332	1.011	0.039	1.505	0.801	2.945	2.683	0.000	3.407
WO1	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
EN1	87.750	86.450	86.552	84.424	86.121	84.169	84.041	88.167	83.545
FS1	11.813	12.304	11.339	10.630	9.246	12.783	12.182	10.308	12.976
Q	1.961	1.971	1.946	1.888	1.900	1.924	1.925	1.953	1.926
J	0.000	0.000	0.009	0.013	0.008	0.001	0.000	0.003	0.000
WO	0.436	0.447	0.538	0.228	0.149	0.369	0.364	0.000	0.386
EN	87.500	86.761	86.005	86.150	86.957	86.242	86.044	86.768	86.144
FS	12.064	12.792	13.457	13.622	12.893	13.390	13.592	13.232	13.471
WEF	100.000	100.000	99.524	99.298	99.582	99.930	100.000	99.861	100.000
JD	0.000	0.000	0.062	0.304	0.095	0.070	0.000	0.000	0.000
AE	0.000	0.000	0.414	0.398	0.323	0.000	0.000	0.139	0.000

Ortopiroxênios

Dominio III

Fazenda da Roseta / Espinélito Harzburgitos

Sample Analysis Location Mineral	SO11E 87L7	SO11E 89L7	SO11E 8L6	SO11E 8L7
SiO2	55.23	54.32	55.88	55.23
TiO2	0	0.08	0.08	0.06
Al2O3	3.1	3.87	0.53	3.22
Cr2O3	0	0.02	0.04	0
FeO	8.26	8.76	9.33	8.86
Fe2O3	0	0	0	0
MnO	0.13	0	0.29	0.04
MgO	32.67	32.95	32.78	32.76
NiO	0.17	0.11	0	0.05
CaO	0.11	0.11	0.18	0.21
Na2O	0	0	0.01	0.03
K2O	0.01	0	0.03	0
BaO	0.18	0	0	0
Total	99.68	100.22	99.15	100.46
TSi	1.923	1.879	1.965	1.910
TAI	0.077	0.121	0.022	0.090
TFe3	0.000	0.000	0.013	0.000
M1Al	0.050	0.037	0.000	0.041
M1Ti	0.000	0.002	0.002	0.002
M1Fe3	0.026	0.078	0.032	0.048
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.000	0.001	0.001	0.000
M1Mg	0.918	0.879	0.965	0.908
M1Ni	0.005	0.003	0.000	0.001
M2Mg	0.778	0.821	0.753	0.780
M2Fe2	0.214	0.175	0.229	0.209
M2Mn	0.004	0.000	0.009	0.001
M2Ca	0.004	0.004	0.007	0.008
M2Na	0.000	0.000	0.001	0.002
M2K	0.000	0.000	0.001	0.000
Sum_cat	4.000	4.000	3.999	4.000
Ca	0.214	0.217	0.345	0.408
Mg	88.425	90.453	87.534	88.586
Fe2_Mn	11.361	9.330	12.121	11.005
JD1	0.022	0.000	0.000	0.101
AE1	0.000	0.000	0.102	0.000
CFTS1	1.333	3.950	1.559	2.394
CTTS1	0.000	0.104	0.107	0.079
CATS1	2.512	1.865	0.000	1.963
WO1	0.000	0.000	0.000	0.000
EN1	85.359	85.284	86.668	84.967
FS1	10.774	8.797	11.565	10.497
Q	1.914	1.879	1.954	1.905
J	0.000	0.000	0.001	0.004
WO	0.211	0.208	0.338	0.398
EN	87.221	86.840	85.569	86.429
FS	12.568	12.951	14.093	13.173
WEF	100.000	100.000	99.931	99.789
JD	0.000	0.000	0.000	0.097
AE	0.000	0.000	0.069	0.113

Ortopiroxênios

Dominio III

Serra da Garça / Ortopiroxenitos

Sample Analysis Location Mineral	SG2B 10L4	SG2B 11L4	SG2B 12L4	SG2B 13L4	SG2B 14L4	SG2B 1L11
SiO2	58.51	58.96	59.01	58.99	57.42	59.19
TiO2	0	0	0.02	0	0.05	0.04
Al2O3	0.04	0	0	0	0	0.12
Cr2O3	0	0	0	0	0	0
FeO	6.25	5.99	6.1	6.65	5.94	6.75
Fe2O3	0	0	0	0	0	0
MnO	0	0.01	0	0	0	0.04
MgO	35.21	35.5	35.55	35.21	35.55	33.21
NiO	0	0	0	0	0.00	0
CaO	0	0	0	0	0	0.09
Na2O	0	0	0	0	0	0.07
K2O	0	0	0	0	0	0.02
BaO	0	0	0	0.00	0	0.12
Total	100.01	100.46	100.68	100.85	98.96	99.53
TSi	2.013	2.017	2.015	2.016	1.990	2.062
TAl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000
M1Al	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005
M1Ti	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001
M1Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Mg	0.998	1.000	0.999	1.000	0.991	0.994
M1Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Mg	0.807	0.811	0.810	0.794	0.845	0.731
M2Fe2	0.180	0.171	0.174	0.190	0.155	0.197
M2Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
M2Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005
M2K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Sum_cat	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	3.999
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.174
Mg	90.944	91.340	91.219	90.420	92.236	89.553
Fe2_Mn	9.056	8.660	8.781	9.580	7.764	10.272
JD1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.255
AE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.036
CFTS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.374	0.000
CTTS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CATS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
WO1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.174
EN1	90.944	91.353	91.219	90.420	91.891	89.347
FS1	9.056	8.647	8.781	9.580	7.734	10.187
Q	1.986	1.982	1.984	1.984	1.991	1.925
J	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009
WO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.174
EN	90.944	91.340	91.219	90.420	91.430	89.553
FS	9.056	8.660	8.781	9.580	8.570	10.272
WEF	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	99.511
JD	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.489
AE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Ortopiroxênios

Dominio II

São Vicente de Minas / Espinélio-olivina ortopiroxenitos

Sample Analysis Location Mineral	SV3A 116L11	SV3A 75L11	SV3A 76L11	SV3A 77L11	SV3A 78L11	SV3A 79L11	SV3A 80L11	SV3A 81L11
SiO2	56.73	56.05	56.21	56.55	57.41	57.48	57.18	56.61
TiO2	0.03	0.02	0.07	0	0.12	0.1	0	0
Al2O3	2.23	2.32	1.83	1.96	1.88	1.97	2.29	2.29
Cr2O3	0.09	0.07	0.04	0.1	0.08	0.14	0.08	0.07
FeO	9.49	9.83	10.07	10.18	10.57	10.29	10.43	10.14
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.16	0.12	0.26	0.23	0.01	0.16	0.25	0.14
MgO	30.74	30.41	30.49	30.48	30.73	30.24	29.98	30.33
NiO	0.02	0.1	0	0.1	0.04	0.04	0.15	0
CaO	0.14	0.2	0.18	0.2	0.23	0.21	0.19	0.21
Na2O	0	0.05	0	0.08	0	0	0	0.02
K2O	0.03	0.04	0	0.03	0.01	0	0	0.01
BaO	0.04	0.04	0	0	0.19	0.19	0.15	0
Total	99.66	99.21	99.15	99.91	101.08	100.63	100.55	99.82
TSi	1.998	1.985	1.994	1.992	2.002	2.016	2.008	1.996
TAl	0.002	0.015	0.006	0.008	0.000	0.000	0.000	0.004
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.091	0.082	0.071	0.073	0.077	0.081	0.095	0.091
M1Ti	0.001	0.001	0.002	0.000	0.003	0.003	0.000	0.000
M1Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.003	0.002	0.001	0.003	0.002	0.004	0.002	0.002
M1Mg	0.905	0.913	0.926	0.921	0.916	0.911	0.899	0.907
M1Ni	0.001	0.003	0.000	0.003	0.001	0.001	0.004	0.000
M2Mg	0.709	0.692	0.687	0.679	0.681	0.670	0.671	0.687
M2Fe2	0.280	0.291	0.299	0.300	0.308	0.302	0.306	0.299
M2Mn	0.005	0.004	0.008	0.007	0.000	0.005	0.007	0.004
M2Ca	0.005	0.008	0.007	0.008	0.009	0.008	0.007	0.008
M2Na	0.000	0.003	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.001
M2K	0.001	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_cr	3.999	3.998	4.000	3.999	4.000	4.000	4.000	4.000
Ca	0.278	0.398	0.355	0.394	0.449	0.416	0.378	0.416
Mg	84.788	84.153	83.726	83.586	83.436	83.411	83.025	83.672
Fe2_Mn	14.935	15.449	15.918	16.019	16.115	16.173	16.597	15.912
JD1	0.071	0.273	0.000	0.355	0.023	0.000	0.000	0.095
AE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CFTS1	0.132	0.102	0.058	0.145	0.115	0.205	0.118	0.102
CTTS1	0.042	0.028	0.097	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CATS1	0.044	0.758	0.196	0.434	0.000	0.000	0.000	0.215
WO1	0.061	0.000	0.005	0.000	0.334	0.212	0.262	0.099
EN1	84.941	83.667	84.068	83.434	83.430	83.620	83.353	83.776
FS1	14.711	15.172	15.576	15.632	16.098	15.962	16.268	15.712
Q	1.899	1.904	1.918	1.908	1.914	1.891	1.883	1.901
J	0.000	0.007	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.003
WO	0.278	0.398	0.355	0.394	0.449	0.416	0.378	0.416
EN	84.788	84.153	83.726	83.586	83.436	83.411	83.025	83.672
FS	14.935	15.449	15.918	16.019	16.115	16.173	16.597	15.912
WEF	100.000	99.641	100.000	99.433	100.000	100.000	100.000	99.857
JD	0.000	0.359	0.000	0.567	0.000	0.000	0.000	0.143
AE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Ortopiroxênios

Domínio II

São Vicente de Minas / Espinélíio-olivina ortopiroxenitos

Sample Analysis Location Mineral	SV3A 100L11	SV3A 101L11	SV3A 103L11	SV3A 109L11	SV3A 111L11	SV3A 113L11	SV3A 114L11	SV3A 115L11
SiO2	56.47	57.69	57.68	57.13	57.23	55.88	57.27	56.8
TiO2	0	0.08	0	0.07	0.05	0.08	0.08	0
Al2O3	2.06	2.14	1.95	2.36	1.84	1.48	1.45	1.94
Cr2O3	0.06	0.09	0.15	0	0.11	0.15	0.06	0.12
FeO	9.94	9.83	10.04	9.92	9.68	9.96	9.71	9.85
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.27	0.2	0.24	0.21	0.15	0.25	0.24	0.19
MgO	31.25	30.22	30.52	30.21	30.62	31.72	31.12	31.06
NiO	0.09	0.1	0.1	0	0.11	0.08	0.06	0.08
CaO	0.18	0.22	0.17	0.19	0.15	0.12	0.11	0.13
Na2O	0.01	0.04	0.06	0.01	0.05	0.05	0	0.07
K2O	0.01	0.02	0	0.01	0.04	0	0	0
BaO	0	0	0.04	0	0	0.21	0.04	0.11
Total	100.34	100.63	100.91	100.11	100.03	99.77	100.10	100.24
TSi	1.975	2.021	2.014	2.010	2.012	1.962	2.010	1.989
TAl	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000	0.038	0.000	0.011
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.060	0.088	0.080	0.098	0.076	0.023	0.060	0.069
M1Ti	0.000	0.002	0.000	0.002	0.001	0.002	0.002	0.000
M1Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.002	0.002	0.004	0.000	0.003	0.004	0.002	0.003
M1Mg	0.936	0.904	0.913	0.900	0.916	0.959	0.935	0.925
M1Ni	0.003	0.003	0.003	0.000	0.003	0.002	0.002	0.002
M2Mg	0.693	0.674	0.676	0.684	0.688	0.702	0.694	0.696
M2Fe2	0.291	0.288	0.293	0.292	0.285	0.283	0.285	0.288
M2Mn	0.008	0.006	0.007	0.006	0.004	0.007	0.007	0.006
M2Ca	0.007	0.008	0.006	0.007	0.006	0.005	0.004	0.005
M2Na	0.001	0.003	0.004	0.001	0.003	0.003	0.000	0.005
M2K	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
Sum_cat	4.000	3.999	4.000	4.000	3.998	4.000	4.000	4.000
Ca	0.349	0.439	0.336	0.379	0.297	0.231	0.215	0.254
Mg	84.211	83.930	83.821	83.845	84.484	84.915	84.605	84.432
Fe2_Mn	15.440	15.631	15.843	15.776	15.218	14.854	15.180	15.314
JD1	0.058	0.192	0.215	0.060	0.274	0.172	0.000	0.246
AE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CFTS1	0.085	0.133	0.219	0.000	0.161	0.687	0.087	0.172
CTTS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.107	0.000	0.000
CATS1	1.283	0.000	0.000	0.000	0.000	1.003	0.000	0.563
WO1	0.000	0.307	0.118	0.380	0.137	0.000	0.129	0.000
EN1	83.648	84.034	83.956	84.073	84.452	83.756	84.920	84.063
FS1	14.926	15.334	15.494	15.487	14.977	14.276	14.864	14.955
Q	1.927	1.874	1.888	1.883	1.895	1.948	1.917	1.915
J	0.001	0.005	0.008	0.001	0.007	0.007	0.000	0.010
WO	0.349	0.439	0.336	0.379	0.297	0.230	0.215	0.254
EN	84.211	83.930	83.821	83.845	84.484	84.506	84.605	84.432
FS	15.440	15.631	15.843	15.776	15.218	15.264	15.180	15.314
WEF	99.930	99.712	99.573	99.928	99.642	99.653	100.000	99.507
JD	0.070	0.288	0.427	0.072	0.358	0.247	0.000	0.493
AE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.000	0.000

Ortopiroxênios

Domínio II

Fazenda da Areia - Carrancas / Espinélio-olivina ortopiroxenitos

Sample Analysis Location Mineral	CA10B 1L2	CA10B 20L2	CA10B 21L2	CA10B 25L2	CA10B 28L2	CA10B 29L2	CA10B 30L2	CA10B 3L2	FA-IV 10L10
SiO2	54.37	53.99	55.14	53.97	52.05	53.54	54.73	54.51	55.77
TiO2	0	0	0.02	0.06	0.02	0	0.05	0.02	0.07
Al2O3	2.24	2.38	2.29	2.22	2.26	2.37	2.4	2.16	1.98
Cr2O3	0.11	0.09	0.12	0.03	0.04	0.08	0.06	0.01	0.01
FeO	14.73	14.75	15.22	14.71	15.84	14.58	14.08	15.1	13
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.15	0.13	0.25	0.2	0.27	0.2	0.23	0.19	0.27
MgO	29.12	27.36	26.56	28.78	28.78	27.97	27.9	28.02	28.27
NiO	0.11	0.04	0.01	0.11	0.03	0	0.1	0.12	0.07
CaO	0.16	0.17	0.17	0.13	0.24	0.18	0.19	0.17	0.2
Na2O	0.06	0.07	0.06	0.04	0.08	0	0	0.06	0.01
K2O	0	0	0.05	0	0.04	0.01	0	0.01	0
BaO	0	0.11	0	0	0	0	0	0	0.04
Total	101.05	98.98	99.89	100.25	99.65	98.93	99.74	100.37	99.65
TSi	1.919	1.955	1.990	1.922	1.865	1.935	1.964	1.946	1.997
TAl	0.081	0.045	0.010	0.078	0.095	0.065	0.036	0.054	0.003
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.039	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.012	0.057	0.087	0.015	0.000	0.036	0.065	0.037	0.081
M1Ti	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	0.000	0.001	0.001	0.002
M1Fe3	0.070	0.000	0.000	0.062	0.140	0.026	0.000	0.020	0.000
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.003	0.003	0.003	0.001	0.001	0.002	0.002	0.000	0.000
M1Mg	0.912	0.939	0.909	0.918	0.858	0.935	0.929	0.939	0.915
M1Ni	0.003	0.001	0.000	0.003	0.001	0.000	0.003	0.003	0.002
M2Mg	0.620	0.538	0.520	0.610	0.680	0.572	0.563	0.552	0.594
M2Fe2	0.365	0.447	0.459	0.376	0.296	0.414	0.422	0.431	0.389
M2Mn	0.004	0.004	0.008	0.006	0.008	0.006	0.007	0.006	0.008
M2Ca	0.006	0.007	0.007	0.005	0.009	0.007	0.007	0.007	0.008
M2Na	0.004	0.005	0.004	0.003	0.006	0.000	0.000	0.004	0.001
M2K	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_cat	4.000	4.000	3.998	4.000	3.998	4.000	4.000	4.000	4.000
Ca	0.317	0.341	0.346	0.259	0.498	0.360	0.379	0.336	0.401
Mg	80.306	76.359	75.108	79.778	83.089	77.904	77.358	77.100	78.834
Fe2_Mn	19.377	23.300	24.546	19.963	16.413	21.735	22.263	22.564	20.765
JD1	0.207	0.249	0.341	0.139	0.000	0.023	0.000	0.233	0.036
AE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.374	0.000	0.000	0.000	0.000
CFTS1	3.665	0.130	0.179	3.159	6.760	1.442	0.087	1.032	0.015
CTTS1	0.000	0.000	0.028	0.081	0.027	0.000	0.069	0.027	0.099
CATS1	0.405	2.261	0.512	0.610	0.000	1.799	1.794	1.627	0.048
WO1	0.000	0.000	0.000	0.300	0.000	0.000	0.000	0.000	0.240
EN1	77.298	74.753	74.871	77.038	77.871	75.875	76.416	75.327	79.144
FS1	18.424	22.608	24.069	18.973	14.967	20.861	21.634	21.754	20.417
Q	1.903	1.931	1.895	1.909	1.842	1.929	1.922	1.928	1.906
J	0.008	0.010	0.008	0.006	0.011	0.000	0.000	0.008	0.001
WO	0.306	0.341	0.346	0.251	0.454	0.355	0.379	0.333	0.401
EN	77.481	76.359	75.108	77.284	75.753	76.857	77.358	76.305	78.834
FS	22.213	23.300	24.546	22.465	23.793	22.787	22.263	23.362	20.765
WEF	99.571	99.494	99.561	99.712	99.403	100.000	100.000	99.572	99.928
JD	0.064	0.506	0.439	0.056	0.000	0.000	0.000	0.276	0.072
AE	0.365	0.000	0.000	0.232	0.597	0.000	0.000	0.151	0.000

Ortopiroxênios

Dominio II

Fazenda da Areia - Carrancas / Espinlio-olivina ortopiroxenitos

Sample Analysis Location Mineral	FA-IV 11L10	FA-IV 15L10	FA-IV 16L10	FA-IV 19L10	FA-IV 20L10	FA-IV 21L10	FA-IV 26L10	FA-IV 31L10	FA-IV 34L10
SiO2	55.49	55.78	55.37	56.07	56.07	55.54	55.59	55.74	56.1
TiO2	0.05	0.02	0.05	0.07	0.07	0.02	0.06	0	0
Al2O3	2.12	2.2	2.18	2.26	2.6	2.14	2.4	2.43	2.03
Cr2O3	0.02	0.06	0.05	0.06	0	0.07	0	0.02	0.05
FeO	14.3	13.33	13.29	13	13	13.45	14.38	13	13.76
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.39	0.28	0.13	0.25	0.25	0.25	0.23	0.27	0.28
MgO	27.36	27.14	28.38	27.65	27.65	28.28	27.54	27.53	27.66
NiO	0.07	0.01	0.2	0.08	0.13	0.06	0.06	.07	0.11
CaO	0.21	0.15	0	0.13	0.01	0.2	0.02	0.14	0.12
Na2O	0.02	0.02	0	0.01	0	0	0.03	0.01	0
K2O	0	0.02	0	0	0	0	0	0	0
BaO	0	0.04	0	0	0	0	0	0.04	0
Total	100.03	99.01	99.65	99.58	99.78	100.01	100.31	99.21	100.11
TSi	1.992	2.019	1.983	2.014	2.010	1.983	1.988	2.000	2.008
TAl	0.008	0.000	0.017	0.000	0.000	0.017	0.012	0.000	0.000
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.081	0.094	0.075	0.096	0.110	0.073	0.089	0.102	0.086
M1Ti	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.000	0.000
M1Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.001	0.002	0.001	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001
M1Mg	0.915	0.904	0.917	0.898	0.885	0.922	0.908	0.877	0.910
M1Ni	0.002	0.000	0.006	0.002	0.004	0.002	0.002	0.020	0.003
M2Mg	0.549	0.561	0.598	0.582	0.593	0.583	0.560	0.596	0.566
M2Fe2	0.429	0.404	0.398	0.391	0.390	0.402	0.430	0.390	0.412
M2Mn	0.012	0.009	0.004	0.008	0.008	0.008	0.007	0.008	0.008
M2Ca	0.008	0.006	0.000	0.005	0.000	0.008	0.001	0.005	0.005
M2Na	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000
M2K	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_cat	4.000	3.999	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Ca	0.422	0.309	0.000	0.266	0.020	0.398	0.040	0.287	0.242
Mg	76.522	77.799	79.032	78.600	78.793	78.314	77.031	78.485	77.643
Fe2_Mn	23.056	21.892	20.968	21.135	21.187	21.288	22.929	21.228	22.115
JD1	0.073	0.124	0.000	0.037	0.000	0.000	0.109	0.037	0.000
AE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CFTS1	0.030	0.091	0.073	0.091	0.000	0.103	0.000	0.030	0.075
CTTS1	0.071	0.000	0.070	0.000	0.000	0.028	0.084	0.000	0.000
CATS1	0.360	0.000	0.827	0.000	0.000	0.836	0.557	0.011	0.000
WO1	0.000	0.219	0.000	0.176	0.021	0.000	0.000	0.247	0.168
EN1	76.915	78.058	78.427	78.889	79.113	78.176	76.764	78.800	77.992
FS1	22.552	21.508	20.603	20.807	20.866	20.858	22.486	20.874	21.765
Q	1.901	1.874	1.913	1.876	1.867	1.915	1.899	1.868	1.893
J	0.003	0.003	0.000	0.001	0.000	0.000	0.004	0.001	0.000
WO	0.422	0.309	0.000	0.266	0.020	0.398	0.040	0.287	0.242
EN	76.522	77.799	79.032	78.600	78.793	78.314	77.031	78.485	77.643
FS	23.056	21.892	20.968	21.135	21.187	21.288	22.929	21.228	22.115
WEF	99.855	99.851	100.000	99.926	100.000	100.000	99.782	99.926	100.000
JD	0.145	0.149	0.000	0.074	0.000	0.000	0.218	0.074	0.000
AE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Ortopiroxênios

Dominio II

Fazenda da Areia - Carrancas / Espinlio-olivina ortopiroxenitos

Sample Analysis Location Mineral	FA-IV 37L10	FA-IV 38L10	FA-IV 40L10	FA-IV 43L10	FA-IV 44L10	FA-IV 45L101	FA-IV 46L10	FA-IV 47L10	FA-IV 48L10
SiO2	56.87	55.56	56	56.48	55.98	56.18	55.84	55.19	55.01
TiO2	0	0	00	0	0.05	0	0.1	0.03	0
Al2O3	2.02	1.91	2.05	1.88	1.99	2.08	2.08	2.4	2.22
Cr2O3	0.1	0.08	0.04	0.08	0	0.14	0.03	0.06	0.07
FeO	13.23	13.31	12.67	12.73	12.69	13.28	12.87	13.21	14.75
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.27	0.28	0.3	0.28	0.01	0.32	0.33	0.32	0.27
MgO	27.94	28.08	28.02	28.08	28.25	28.45	28.14	28.27	27.72
NiO	0.12	0.06	0.09	0.09	0.12	0.1	0	0	0.02
CaO	0.15	0.19	0.17	0.24	0.18	0.18	0.15	0.17	0.18
Na2O	0.07	0	0.03	0.04	0.03	0	0	0.02	0.02
K2O	0.02	0	0.01	0	0.01	0.02	0.01	0	0.02
BaO	0	0	0	0	0	0	0	0	0.11
Total	100.79	99.47	99.38	99.90	99.31	100.75	99.55	99.67	100.28
TSi	2.019	1.996	2.011	2.019	2.009	1.992	2.002	1.975	1.967
TAl	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.025	0.033
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.084	0.077	0.087	0.079	0.084	0.079	0.088	0.076	0.061
M1Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.003	0.001	0.000
M1Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.003	0.002	0.001	0.002	0.000	0.004	0.001	0.002	0.002
M1Mg	0.909	0.919	0.910	0.916	0.911	0.915	0.909	0.921	0.937
M1Ni	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.000	0.000	0.001
M2Mg	0.569	0.584	0.590	0.580	0.600	0.589	0.596	0.587	0.541
M2Fe2	0.393	0.400	0.380	0.381	0.381	0.394	0.386	0.395	0.441
M2Mn	0.008	0.009	0.009	0.008	0.000	0.010	0.010	0.010	0.008
M2Ca	0.006	0.007	0.007	0.009	0.007	0.007	0.006	0.007	0.007
M2Na	0.005	0.000	0.002	0.003	0.002	0.000	0.000	0.001	0.001
M2K	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001
Sum_cat	3.999	4.000	4.000	4.000	4.000	3.999	4.000	4.000	3.999
Ca	0.303	0.381	0.345	0.485	0.364	0.357	0.302	0.340	0.357
Mg	78.432	78.343	79.107	78.981	79.569	78.567	78.923	78.561	76.411
Fe2_Mn	21.265	21.276	20.548	20.534	20.067	21.076	20.775	21.099	23.232
JD1	0.304	0.000	0.135	0.147	0.134	0.047	0.024	0.072	0.118
AE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CFTS1	0.149	0.119	0.060	0.120	0.000	0.205	0.045	0.088	0.101
CTTS1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.042	0.000
CATS1	0.000	0.219	0.000	0.000	0.000	0.435	0.000	1.246	1.665
WO1	0.154	0.044	0.286	0.367	0.364	0.000	0.259	0.000	0.000

Ortopiroxênîus

Domínio II

Fazenda da Areia - Carrancas / Espinélio-olivina ortopiroxenitos

Sample Analysis Location Mineral	FA-IV 50L10	FA-IV 51L10	FA-IV 53L10	FA-IV 57L10	FA-IV 58L10	FA-IV 59L10	FA-IV 61L10	FA-IV 62L10	FA-IV 64L10
SiO2	55.26	54.95	56.2	55.01	56.09	56.12	56.07	56.16	55.89
TiO2	0	0.02	0	0.06	0.11	0.05	0.07	0.04	0
Al2O3	2.16	2.16	2.32	2.34	2.33	2.24	2.38	2.23	2.1
Cr2O3	0.01	0.05	0.03	0.07	0.05	0.06	0.04	0.05	0.02
FeO	13.98	13.54	13.21	13.37	13.17	13.37	12.6	12.85	13.13
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0.27	0.33	0.25	0.31	0.31	0.24	0.3	0.31	0.27
MgO	27.79	28.42	28.13	28.64	27.43	27.81	28.39	28.38	28.54
NiO	0.09	0	0.08	0	0	0.03	0.11	0.15	0.04
CaO	0.18	0.16	0.22	0.15	0.17	0.19	0.2	0.2	0.2
Na2O	0	0.04	0	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0
K2O	0.03	0	0	0	0	0.02	0	0	0.01
BaO	0.08	0	0.17	0.08	0.04	0	0.11	0.1	0
Total	99.77	99.67	100.44	99.98	99.69	100.14	100.17	100.38	100.20
TSi	1.983	1.967	1.999	1.961	2.015	2.005	1.995	1.996	1.989
TAl	0.017	0.033	0.001	0.039	0.000	0.000	0.005	0.004	0.011
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.074	0.058	0.096	0.059	0.099	0.094	0.095	0.090	0.077
M1Ti	0.000	0.001	0.000	0.002	0.003	0.001	0.002	0.001	0.000
M1Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.000	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
M1Mg	0.923	0.940	0.901	0.937	0.897	0.902	0.899	0.904	0.921
M1Ni	0.003	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.003	0.004	0.001
M2Mg	0.564	0.576	0.591	0.584	0.572	0.579	0.608	0.600	0.593
M2Fe2	0.420	0.405	0.393	0.399	0.396	0.399	0.375	0.382	0.391
M2Mn	0.008	0.010	0.008	0.009	0.009	0.007	0.009	0.009	0.008
M2Ca	0.007	0.006	0.008	0.006	0.007	0.007	0.008	0.008	0.008
M2Na	0.000	0.003	0.000	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000
M2K	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Sum_cat	3.999	4.000	4.000	4.000	4.000	3.999	4.000	4.000	4.000
Ca	0.360	0.317	0.441	0.296	0.348	0.384	0.402	0.400	0.397
Mg	77.376	78.253	78.486	78.629	78.111	78.155	79.362	79.034	78.834
Fe2_Mn	22.263	21.431	21.073	21.075	21.541	21.462	20.236	20.566	20.769
JD1	0.071	0.142	0.000	0.106	0.112	0.085	0.037	0.036	0.024
AE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CFTS1	0.015	0.072	0.045	0.100	0.076	0.090	0.059	0.074	0.029
CTTS1	0.000	0.027	0.000	0.082	0.000	0.000	0.099	0.056	0.000
CATS1	0.880	1.679	0.047	1.919	0.000	0.000	0.140	0.138	0.570
WO1	0.000	0.000	0.351	0.000	0.274	0.295	0.105	0.134	0.000
EN1	77.237	77.395	78.798	77.498	78.418	78.389	79.713	79.395	78.991
FS1	21.797	20.685	20.759	20.295	21.121	21.141	19.847	20.167	20.386
Q	1.913	1.928	1.893	1.926	1.871	1.888	1.889	1.894	1.913
J	0.000	0.006	0.000	0.004	0.004	0.001	0.001	0.001	0.000
WO	0.360	0.317	0.441	0.296	0.348	0.384	0.402	0.400	0.397
EN	77.376	78.253	78.486	78.629	78.111	78.155	79.362	79.034	78.834
FS	22.263	21.431	21.073	21.075	21.541	21.462	20.236	20.566	20.769
WEF	100.000	99.714	100.000	99.786	99.778	99.927	99.927	99.928	100.000
JD	0.000	0.286	0.000	0.214	0.222	0.073	0.073	0.072	0.000
AE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Ortopiroxênios

Dominio II

Fazenda da Areia - Carrancas / Espinélio-olivina ortopiroxenitos

Sample Analysis Location Mineral	FA-IV 68L10	FA-IV 79L9	FA-IV 80L9	FA-IV 9L10	FA-IV 9L10
SiO2	54.79	56.42	56.02	56.42	56.42
TiO2	0	0	0.03	0.07	0.07
Al2O3	2.25	2.15	2.29	2.24	2.24
Cr2O3	0	0.04	0.07	0.02	0.02
FeO	13.73	12.74	14.14	13.92	13.92
Fe2O3	0	0	0	0	0
MnO	0.28	0.26	0.23	0.3	0.3
MgO	28.23	28.02	27.52	26.99	26.99
NiO	0.09	0.07	0.2	0.07	0.07
CaO	0.2	0.19	0.2	0.16	0.16
Na2O	0	0.02	0	0.04	0.04
K2O	0	0.03	0	0	0
BaO	0.08	0	0	0.04	0.04
Total	99.57	99.94	100.70	100.23	100.23
TSi	1.965	2.016	1.997	2.023	2.023
TAI	0.035	0.000	0.003	0.000	0.000
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.060	0.090	0.093	0.095	0.095
M1Ti	0.000	0.000	0.001	0.002	0.002
M1Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.000	0.001	0.002	0.001	0.001
M1Mg	0.937	0.906	0.898	0.901	0.901
M1Ni	0.003	0.002	0.006	0.002	0.002
M2Mg	0.572	0.586	0.564	0.542	0.542
M2Fe2	0.412	0.381	0.422	0.417	0.417
M2Mn	0.009	0.008	0.007	0.009	0.009
M2Ca	0.008	0.007	0.008	0.006	0.006
M2Na	0.000	0.001	0.000	0.003	0.003
M2K	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Sum_cat	4.000	3.999	4.000	4.000	4.000
Ca	0.397	0.385	0.402	0.328	0.328
Mg	77.908	79.038	77.029	76.929	76.929
Fe2_Mn	21.696	20.577	22.569	22.743	22.743
JD1	0.000	0.146	0.000	0.149	0.149
AE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CFTS1	0.000	0.060	0.104	0.030	0.030
CTTS1	0.000	0.000	0.043	0.000	0.000
CATS1	1.788	0.000	0.123	0.000	0.000
WO1	0.000	0.326	0.134	0.299	0.299
EN1	77.160	79.253	77.312	77.189	77.189
FS1	21.052	20.215	22.284	22.333	22.333
Q	1.929	1.880	1.892	1.866	1.866
J	0.000	0.003	0.000	0.006	0.006
WO	0.397	0.385	0.402	0.328	0.328
EN	77.908	79.038	77.029	76.929	76.929
FS	21.696	20.577	22.569	22.743	22.743
WEF	100.000	99.853	100.000	99.704	99.704
JD	0.000	0.147	0.000	0.296	0.296
AE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Ortopiroxênios

Dominio II

São Vicente de Minas / Espinélio-olivina ortopiroxenitos

Sample Analysis Location Mineral	SV3A 84L11	SV3A 86L11	SV3A 87L11
SiO2	56.72	55.52	56.79
TiO2	0	0.03	0.07
Al2O3	1.84	1.83	2.06
Cr2O3	0.09	0.2	0.04
FeO	9.45	9.57	9.9
Fe2O3	0	0	0
MnO	0.2	0.29	0.23
MgO	30.7	31.32	30.51
NiO	0.07	0.04	0.06
CaO	0.21	0.2	0.17
Na2O	0.05	0	0.04
K2O	0.01	0.02	0
BaO	0.08	0.12	0
Total	99.34	99.02	99.87
TSi	2.004	1.946	2.000
TAl	0.000	0.054	0.000
TFe3	0.000	0.000	0.000
M1Al	0.077	0.022	0.085
M1Ti	0.000	0.001	0.002
M1Fe3	0.000	0.061	0.000
M1Fe2	0.000	0.000	0.000
M1Cr	0.003	0.006	0.001
M1Mg	0.919	0.909	0.910
M1Ni	0.002	0.001	0.002
M2Mg	0.698	0.727	0.692
M2Fe2	0.279	0.219	0.292
M2Mn	0.006	0.009	0.007
M2Ca	0.008	0.008	0.006
M2Na	0.003	0.036	0.003
M2K	0.000	0.001	0.000
Sum_cat	4.000	3.999	4.000
Ca	0.416	0.401	0.336
Mg	84.653	87.418	84.011
Fe2_Mn	14.931	12.181	15.652
JD1	0.203	1.131	0.144
AE1	0.000	0.767	0.000
CFTS1	0.132	2.658	0.058
CTTS1	0.000	0.041	0.000
CATS1	0.000	0.000	0.000
WO1	0.285	0.000	0.279
EN1	84.746	84.124	84.194
FS1	14.634	11.279	15.326
Q	1.905	1.864	1.900
J	0.007	0.072	0.005
WO	0.416	0.389	0.336
EN	84.653	84.655	84.011
FS	14.931	14.956	15.652
WEF	99.643	96.294	99.714
JD	0.357	0.981	0.286
AE	0.000	2.725	0.000

NOTA

1 - CONTATOS GEOLÓGICOS SEGUNDO PACCIULO - 1997 (VERE MAPA EM ANEXO)

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP	
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS	
DEPARTAMENTO DE MINERALOGIA E PETROLOGIA - DMP	
Empreendimento ou Programa:	
TESE DE DOUTORAMENTO	
Área ou Unidade:	SUL DO ESTADO DE MINAS GERAIS
Título:	
MAPA DE PONTOS DA REGIÃO DE CARRANCAS	
DATA:	
29/06/98	SORAYA ALMEIDA

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS TOPOGRAFICAS 1:50.000 DO IBGE

NOTAS

- 1- MAPA GEOLOGICO COM BASE EM DADOS DE PACCIULO - 1997
- 2 - COORDENADAS REFERIDAS AO DATUM CORREGO ALEGRE E MC 045° W

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE MINERALOGIA E PETROLOGIA - DMP

Empreendimento ou Programa:
TESE DE DOUTORAMENTO

Area ou Unidade:
SUL DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Título:
MAPA GEOLOGICO DA REGIÃO
ENTRE LIBERDADE E CARRANCAS

DATA:
29/06/98

SORAYA ALMEIDA