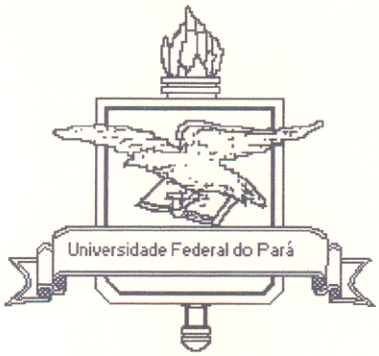


Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

"ESTUDO DAS RELAÇÕES DE CONTATO DO GRANODIORITO RIO MARIA COM OS GRANITOS MUSA E JAMON E COM DIQUES DO PROTEROZÓICO"

TESE APRESENTADA POR

CLAUDOMIRO DE MELO SOARES

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de Aprovação 19 / 08 / 96

Comitê de Tese:

ROBERTO DALL'AGNOL (Orientador)

LÉO AFRANEO HARTMANN

CARLOS JOSÉ ARCHANJO

BELÉM

Este trabalho é dedicado à memória de meu pai Claudomiro de Oliveira Soares, que me ensinou os primeiros passos, que sempre me incentivou e não poupou esforços para que eu pudesse estudar.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos nesse pequeno espaço de expressar nossos profundos agradecimentos à todas as pessoas e entidades que prestaram sua colaboração e assim enalteceram o desenvolvimento deste trabalho.

Ao sábio e arquiteto do universo ***DEUS***, mentor e criador da vida, de tudo e de todos;

A Universidade Federal do Pará (Curso de Pós Graduação em Geociências), por fornecer infra-estrutura de apoio necessária à realização desta pesquisa;.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de pesquisa;

Ao Grupo de pesquisa Petrologia de Rochas Granitóides do Centro de Geociências da UFPa, pelo suporte tecnico-científico indispensável ao desenvolvimento deste trabalho;

Ao Laboratório de Microssonda do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelo apoio quando da realização das análises químicas em minerais;

Ao professor Dr. Roberto Dall'Agnol, pela orientação deste trabalho, com inúmeras contribuições indispensáveis ao seu desenvolvimento;

Ao professor Léo A. Hatmann, geóloga Lucy Farid , físico Marcos Vascocélos, pelo apoio quando das realizações das análises na UFRGS;

Aos componentes do Laboratório de Petrologia Magnética, em especial aos geólogos Albano A. Leite, Marcos Aurélio Figueiredo, Marcos Giovanni e Hilton Túlio Costi, Marco Horbe, Claudio Lamarão e José Erimar por importantes sugestões e contribuições a este trabalho;

Ao colega Albano Leite, pelo apoio, pela imensa ajuda sobretudo na parte de editoração desta pesquisa, o meu mais sincero e profundo agradecimento;

Ao colegas geólogos Renato Oliveira Jr. e Regis Munhoz, por imensa ajuda na etapa de campo, bem como durante o desenvolvimento deste trabalho;

As amigas Adélia e Patrícia, pelo carinho e importantes contribuição a parte bibliográfica não apenas a esta pesquisa mais ao Grupo como um todo;

Aos companheiros de sala, geólogos Ofir Moraes Junior, Osmar Guedes da Silva Junior, Vicente Pereira e Otávio Sergio Rosendo, pela amizada, pela força e pelo apoio durante todo o desenvolvimento deste trabalho;

À minha esposa Fransuene de Fábia Silva Sousa, irmã Darlene de Jesus de Melo Soares, mãe Dulce Ely Fontoura de Melo Soares e avó Ana Fontoura Melo, pessoa sem as quais eu jamais teria encontrado forças e apoio nos momentos mais difícies e que mesmo nas horas de desânimo sempre acreditaram e estimularam a realização deste trabalho.

Muitos outros contribuiram para que esta pesquisa se tornasse realidade, entretanto, como é quase impossível lembrar de todos que ao longo desses anos emprestaram um pouco de sua colaboração e boa vontate à realização deste trabalho, fica aqui o meu mais profundo e sincero agradecimento.

O RIO

Uma gota de chuva
A mais, e o ventre grávido
Estremeceu, da terra.
Através de antigos
Sedimentos, rochas
Ignoradas, ouro
Carvão, Ferro e mármore
Um Fio cristalino
Distante milênios
Partiu Fragilmente
Sequioso de espaço
Em busca de luz.

Um rio nasceu.

(Vinícius de Moraes)

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA i

AGRADECIMENTOS ii

EPÍGRAFE iv

LISTA DE ILUSTRAÇÕES ix

RESUMO 1

ABSTRACT 3

1 - INTRODUÇÃO 5

1.1 - APRESENTAÇÃO 5

1.2 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL 5

1.2.1-Introdução 5

1.2.2 - Estratigrafia e Geocronologia 6

1.2.3 - Granitóides Arqueanos: Aspectos Petrográficos e Efeitos de Contato 10

1.2.4 - *Greestone belts* e Efeitos de Contato 14

1.2.5 - Granitos Musa e Jamon : Síntese Petrográfica e Relações Com as Unidades Arqueanas 16

1.3 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA 18

1.4 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO 19

1.5 - OBJETIVOS DO TRABALHO 21

1.6 - METODOLOGIA EMPREGADA 21

2- GEOLOGIA DA ÁREA 24

2.1 - INTRODUÇÃO 24

2.2 - DESCRIÇÃO DAS UNIDADES 25

2.2.1 - *Greenstone Belts* (Supergrupo Andorinhas) 24

2.2.2 - Tonalito Arco Verde 31

2.2.3 - Granito Guarantã 35

2.2.4 - Granodiorito Rio Maria 37

2.2.4.1 - Introdução 37

2.2.4.2 - Domínio do Granodiorito Rio Maria sem efeitos de Contato claramente Visíveis 38
2.2.4.3 - Domínio do Granodiorito Rio Maria com Efeitos de Contato causados pelas Intrusões dos Granitos Jamon e Musa ... 43
2.2.4.4- Domínio do GDrm com efeitos de contato causados por diques intermediários ou básicos ... 50
2.2.5 - Granitos Anorogênicos ... 54
2.2.5.1 -Introdução ... 54
2.2.5.2 - Granito Jamon ... 54
2.2.5.3 - Granito Musa ... 61

3 - PETROGRAFIA ... 65
3.1 - INTRODUÇÃO ... 65
3.2 - ANÁLISES MODAIS ... 65
3.3 - DOMÍNIO DO GRANODIORITO RIO MARIA SEM EFEITOS DE CONTATO ... 69
3.4 - DOMÍNIO DO GRANODIORITO RIO MARIA COM EFEITOS DE CONTATO DOS GRANITOS MUSA E JAMON ... 75
3.5 - GRANODIORITO RIO MARIA NO DOMÍNIO DE CONTATO COM OS DIQUES 93

4 - SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA ... 98
4.1 - ASPECTOS GERAIS ... 98
4.2 -TRABALHOS ANTERIORES ... 99
4.3 - APRESENTAÇÃO DOS DADOS DE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA ... 102
4.3.1 -Granodiorito Rio Maria do Domínio de contato com os diques ... 103
4.3.2 - Granodiorito Rio Maria do Domínio de contato com os granitos Jamon e Musa e Domínios afastados das itrusões ... 106
4.3.3 - **Suscetibilidade Magnética *versus* Metamorfismo de Contato** ... 111
4.4 - MINERAIS OPACOS ... 115
4.5 - DICUSSÕES ... 127

5 - QUÍMICA MINERAL ... 128
5.1 - INTRODUÇÃO ... 129

5.2 - ANÁLISES QUÍMICAS DE ANFIBÓLIOS 129
5.2.1 - Introdução 129
5.2.2 - Classificação dos anfibólios 130
5.2.3 - Anfibólios de amostras do domínio do Granodiorito Rio Maria não afetado pelas intrusões graníticas 132
5.2.4 - Anfibólios de amostras do domínio do Granodiorito Rio Maria não afetado pelas intrusões graníticas situados a mais de 500 metros do contato 135
5.2.5 - Anfibólios de amostras da zona interna do domínio do Granodiorito Rio Maria afetado pelas intrusões graníticas 137
5.2.6 - Discussão 143
5.3 - ANÁLISES QUÍMICAS DE BIOTITAS 147
5.4 - ANÁLISES QUÍMICAS DE PLAGIOCLÁSIOS 156
5.4.1 - Introdução 156
5.4.2 - Plagioclásios das amostras do Granodiorito Rio Maria do domínio não afetado pelo contato 156
5.4.3 - Plagioclásios das amostras do Granodiorito Rio Maria afetados pelas intrusões graníticas situados a mais de 500 m do contato 157
5.4.4 - Plagioclásios de amostras da zona interna do Granodiorito Rio Maria do domínio afetado pelas intrusões graníticas 159
5.4.5 - Discussões e Conclusões 161
5.5 - ANÁLISES QUÍMICAS DE MINERAIS OPACOS 161
5.6 - ANÁLISES QUÍMICAS DE TITANITAS 163
5.7 - CONCLUSÕES 163
6- CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES 164
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 168

ANEXOS **180**

ANEXO A- Tabelas de composições químicas de anfibólios do GDrm 181

ANEXO B- Tabelas de composições químicas das biotitas do GDrm 191

ANEXO C - Tabelas de composições químicas dos plagioclásios do GDrm 197

ANEXO D -Tabelas de composições químicas dos minerais opacos do Gdrm 207

ANEXO E- Mapa de Amostragem da área estudada

ANEXO F- Mapa de variação de suscetibilidade magnética do GDrm

LISTRA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1- Mapa geológico da região de Rio Maria..... 8
Figura 2- Quadro de dados petrográficos dos granitóides arqueanos de Rio Maria..... 12
Figura 3- Mapa de localização da área..... 20
Figura 4- Mapa geológico da área estudada..... 26
Figura 5- Aspecto de bloco de rocha meta-ultramáfica do Supergrupo Andorinhas..... 28
Figura 6-Aspectos micro texturais de rocha metaultramáfica do Supergrupo Andorinhas afetada por metamorfismo de contato..... 29
Figura 7- Aspecto microtextural de rocha metaultramáfica do Supergrupo Andorinhas..... 30
Figura 8-Afloramento do Tonalito Arco Verde exibindo um veio quartzo-feldspático métrico..... 33
Figura 9-Detalhe de um afloramento do Tonalito Arco Verde, que mostra foliação bastante pronunciada..... 33
Figura 10-Fotomicrografia do Tonalito Arco Verde mostrando as suas porções mais deformadas..... 34
Figura 11-Fotomicrografia do Tonalito Arco Verde mostrando a textura ígnea parcialmente preservada..... 34
Figura 12-Afloramento do Granito Guarantã, sob a forma de grandes blocos..... 36
Figura 13-Detalhe de afloramento do Granito Guarantã, mostrando uma foliação bem pronunciada..... 36
Figura 14-Afloramento do Granodiorito Rio Maria em grandes blocos (CMR-101)..... 40
Figura 15-Afloramento em blocos do granodiorito Rio Maria mostrando aspecto isotrópico.. 41
Figura 16-Afloramento do fácies monzogranítico do Granodiorito Rio Maria (CMRR-79, Pedreira da BRILASA)..... 41
Figura 17-Detalhe do granodioito Rio Maria, mostrando a ocorrência de um enclave máfico arredondado (CMRR 42-A)..... 42
Figura 18-Granodiorito Rio Maria mostrando aspecto isotrópico (CMRR-79 - Pedreira BRILASA)..... 42
Figura 19a- Perfil esquemático do contato do Granito Musa com o GDrm (NW)..... 45

Figura 19b- Perfil esquemático do contato do Granito Musa com o GDrm (NW)..... 46
Figura 20-Afloramento do Granodiorito Rio Maria na zona de contato com o Granito Musa. 47
Figura 21-Aspecto de um enclave granodiorítico englobado pelo granito Musa..... 47
Figura 22-Afloramento da zona de contato do Granodiorito Rio Maria com o Granito Musa. 48
Figura 23-Afloramento da zona de contato do Granodiorito Rio Maria com o Granito Musa 48
Figura 24A,B- Fácies de borda do Granito Musa engoblando enclave de dimensões métricas do GDrm, (CMR-33)..... 49
Figura 25-Bloco mostrando contato abrupto entre um dique intermediário e a fácies monzo-granítica do Granodiorito Rio Maria..... 52
Figura 26- Síntese esquemática dasd relações de contato dos diques com o GDrm..... 53
Figura 27-Aspecto de uma fácies grosseira do granito Jamon, englobando um enclave de rocha máfica (Fazenda Bela Vista). (CMRR-17)..... 56
Figura 28-Detalhe de uma fácies grosseira equigranular do Granito Jamon (Fazenda Bela Vista) (CMRR-17)..... 56
Figura 29-Detalhe do Granito Jamon mostrando uma fácies grosseira (CMRR-17)..... 57
Figura 30-Aspecto do Granito Jamon, destacando-se a sua cor cinza rosado (CMR - 77)..... 57
Figura 31-Veio aplítico cortando a fácies heterogranular médio a fino do Granito Jamon..... 58
Figura 32A-Afloramento em zona de borda do Granito Jamon (CMRE-143) 59
Figra 32B-Afloramento do microgranito do maciço Jamon (CMRE-142)..... 60
Figura 33-Afloramento mostrando e enclave do Granodiorito Rio Maria englobado pelo Granito Musa..... 63
Figura 34-Fácies equigranular médio do granito Musa (CMR - 88)..... 64
Figura 35-Veio microgranítico encaixado no Granodiorito Rio Maria nas proximidades do seu contato com o Granito Musa (CMR-90)..... 64
Figura 36- Diagrama Q-A-P para amostras selecionadas do GDrm..... 68
Figura 37-Cristal de plagioclásio idiomórfico, inteiramente saussuritizado (CMR-42a)..... 70
Figura 38-Cristal de microclina, bastante fraturado (CMR42A)..... 70
Figura 39-Cristal de quartzo subautomórfico com borda parcialmente recristalisada..... 73
Figura 40-Pseudomorfo de anfibólio, quase que totalmente subistituído por biotita + epídoto+ titanita (CMR-42a)..... 74

Figura 41-Agregado de cristais idiomórficos de anfibólio, parcialmente substituídos por biotita+epídoto+titanita (CMR42A)..... 74
Figura 42-Aspecto textural do GDrm no domínio de contato com as intrusões graníticas..... 77
Figura 43- Cristal de plagiocásio do domínio de contato das intrusões graníticas..... 77
Figura 44-Cristal de plagioclásio, totalmente recristalizado, e em contato com microclina pertítica e anfibólio (CMR92)..... 78
Figura 45-Cristal de plagioclásio maclado *carlsbad* (CMR-90A)..... 79
Figura 46-Neoformação de finos e abundantes grãos de opacos em zona recristalizada do plagioclásio (CMR-90A)..... 80
Figura 47-Cristal de feldspato potássico, desprovido de maclamento xadrez, associado com quartzo, plagioclásio e máficos.(HRM-79)..... 82
Figura 48-Aspecto de um cristal de feldspato potássico recristalizado (HRM-79)..... 82
Figura 49-Cristal de quartzo com a formação de subgrãos (CMR-93)..... 85
Figura 50-Agregados máficos, onde predominam cristais submilimétricos de biotita, anfibólio e opacos associados (CMR-90A)..... 85
Figura 51-Cristal de biotita recristalizada com borda esfarrapada (CMR-92)..... 86
Figura 52-Cristal de biotita englobando cristais de pagioclásio neoformado (HRM-79)..... 86
Figura 53-Cristais de anfibólio, parcialmente transformados para biotita e clorita, com cristais aciculares de actnolita associados (CMR-22)..... 87
Figura 54-Núcleo de cristal de anfibólio parcialmente cloritizado, com biotita e opacos euedrais associados (CMR-91A)..... 87
Figura 55-Pseudomorfo de anfibólio, euedral, parcialmente substituido por biotita..... 88
Figura 56A- Quadro das principais características petrográficas de amostras do contato GDrm / Musa (Norte)..... 89
Figura 56B- Quadro das principais características petrográficas de amostras do contato GDrm / Musa (Noroeste)..... 91
Figura 57-Detalhe de cristal de plagioclásio sericitizado com intercrescimento granofírico associado (RJ-26 H2)..... 96
Figura 58-Cristal de microclina com maclamento xadrez (RJ 26H2)..... 96
Figura 59-Fácies monzogranítica do Granodiorito Rio Maria, em contato direto com dique diorítico (RJ 26H2)..... 97

Figura 60-Mapa de variação de Suscetibilidade Magnética e de distribuição de amostras e respectivas fácies do Granodiorito Rio Maria..... 101
Figura 61- Histograma de frequência e gráfico de probabilidade de SM do GDrm no contato com os diques..... 105
Figura 62- Histograma de frequência e gráfico de probabilidade de SM do GDrm no contato com os granitos Musa e Jamon..... 110
Figura 63a - Histograma de frequência, SM (Gdrm) com distribuição de acordo com a distância do contato..... 113
Figura 63b- Diagrama de SM X SI do Granodiorito Rio Maria..... 114
Figura 64- Desenho esquemático de um cristal de titanita..... 116
Figura 65-Ocorrência rara de magnetita no GDrm, do domínio não afetado pelo metamorfismo de contato (CMR-96)..... 118
Figura 66-Cristais de magnetita subédricos, associados a hornblenda e biotita (CMR-37)..... 118
Figura 67-Cristal euédrico de magnetita, apresentando manchas irregulares de titanita..... 119
Figura 68a-Cristais xenomórficos, submilimétricos de magnetita, associados com plagioclásio recristalizado (CMR-91A)..... 120
Figura 68b-Detalhe dos grãos de magnetita (CMR-91A)..... 120
Figura 69-Grãos submilimétricos e xenomórficos de magnetita (HRM-79)..... 121
Figura 70a-Cristal de magnetita euédrico com martitização escassa e restrita as suas bordas. 122
Figura 70b-Mesmo cristal da foto anterior (CMR-91A)..... 122
Figura 71-Cristal euédrico de magnetita, mostrando uma associação íntima com titanita..... 124
Figura 72-Cristal de magnetita euedral com ausência de martitização (HRM-220)..... 124
Figura 73a-Cristais anedrais de magnetita associados com biotita e anfibólio..... 125
Figura 73b-Detalhe da foto anterior, mostrando o aspecto anedral da magnetita..... 125
Figura- 74a,b- Grandes cristais de magnetita com recristalização poiquiloblástica de biotita. 126
Figura 75-Classificação dos anfibólios do Granodiorito Rio Maria, nos diagramas de LEAKE, 1978..... 131
Figura 76-Gráficos selecionados para os anfibólios do domínio do GDrm não afetado pelo metamorfismo de contato (CMR42A)..... 133
Figura 77-Gráficos selecionados para os anfibólios do domínio do GDrm no domínio de contato situados a mais de 500 metros (CMR-37)..... 136

Figura 78-Gráficos selecionados para os anfibólios do domínio do GDrm do domínio afetado pelas intrusões graníticas, a menos de 500 metros (CMR-93)..... 139
Figura 79-Gráficos selecionados para os anfibólios do domínio do GDrm do domínio afetado pelas intrusões graníticas a menos de 500 metros do contato (CMR90A)..... 140
Figura 80-Gráficos selecionados para os anfibólios do GDrm do domínio afetado pelas intrusões graníticas (HRM220)..... 141
Figura 81-Gráficos selecionados para os anfibólios do Gdrm do domínio afetado pelas intrusões graníticas(HRM-79)..... 142
Figura 82-Diagrama de correlação entre alumínio tetraédrico e ocupância de Na+K no sítio A, para os anfibólios do Granodiorito Rio Maria..... 144
Figura 83-Diagrama de correlação entre alumínio tetraédrico e titânio no sítio C, para os anfibólios do Granodiorito Rio Maria..... 145
Figura 84-Diagrama de correlação entre alumínio tetraédrico e (CFe3+CAl+CTi) + (Na+K) A, para os anfibólios do Granodiorito Rio Maria..... 146
Figura 85-Diagrama de classificação das biotitas do Granodiorito Rio Maria, segundo DEER et al. (1992)..... 150
Figura 86-Diagrama triangular de NACHIT (1994), mostrando as biotitas do Granodiorito Rio Maria..... 151
Figura 87-Diagramas de correlações entre elementos maiores do Granodiorito Rio Maria, onde observa-se uma boa separação dos três domínios..... 152
Figura 88-Diagramas de correlação entre cations da fórmula estrutural das biotitas do Granodiorito Rio Maria..... 153
Figura 89-Diagramas de correlação para as biotitas do Granodiorito Rio Maria..... 154
Figura 90-Gráficos de classificação, Ab-An-Ort e Ab-An, dos plagioclásios do Granodiorito Rio Maria..... 158
Figura 91-Gráficos de classificação, Ab-An-Ort e Ab-An, dos plagioclásios do Granodiorito Rio Maria, do domínio afetado pelo metamorfismo de contato a menos de 500 m. 160

TABELAS

Tabela 1-Síntese dos dados geocronológicos da região de Rio Maria..... 9
Tabela 2-Composições modais de amostras representativas dos domínios do Granodiorito Rio Maria..... 67
Tabela 3A-Dados de suscetibilidade magnética do Granodiorito Rio Maria no domínio de contato com os diques..... 104
Tabela 3B-Sumário estatístico dos referente a Tabela 3A..... 104
Tabela 4A-Dados de suscetibilidade magnética do Granodiorito Rio Maria no domínio afastado do contato e afetado pelas inrusões graníticas..... 108
Tabela 4B-Sumário estatístico dos referente a Tabela 4A..... 109

RESUMO

Esta pesquisa apresenta o resultado de um estudo integrado de petrografia, petrologia magnética e química mineral, onde buscou-se identificar os efeitos de metamorfismo de contato causado por intrusões dos granitos paleoproterozóicos Musa e Jamon e por alguns diques Proterozóico, no Granodiorito Rio Maria (GDrm), de idade Arqueana.

O estudo foi realizado na região de Rio Maria, sudeste do estado do Pará, no contexto do Terreno Granito *greenstonede* Rio Maria, formado por tonalitos, trodhjemitos, *grenstone belts*, granitos e granodioritos além de coberturassedimentares, todos arqueanos e seccionados por granitos anorogênicos.

Baseando-se em aspectos texturais e mineralógicos, relacionados com a maior ou menor proximidades das intrusões, o GDrm foi dividido em três domínios distintos. O domínio I representa as porções em que o GDrm não apresenta indícios de efeitos térmicos oriundos das intrusões. O domínio II representa o GDrm afetado por metamorfismo de contato em virtude das intrusões graníticas Musa e Jamon. O domínio III, bem mais discreto que os anteriores, representa as porções do GDrm afetadas pelas intrusões de diques intermediários a básicos.

No domínio I, o GDrm apresenta como fácies dominante um biotita-hornblenda granodiorito fanerítico equigranular, de cor cinza fortemente esverdeada, devido principalmente a saussuritização do plagioclásio. O GDrm no domínio II apresenta uma cor cinza rosada. A auéola de metamorfismo de contato é regular, medindo em torno de um quilômetro de largura em planta. O domínio III é pouco expressivo, restringindo-se ao contato do GDrm com alguns diques espessos que ocorrem na região.

Petrograficamente, o GDrm, do domínio II se diferência daquele do domínio I por apresentar uma forte recristalização, sobretudo do plagioclásio, que transforma-se em agregados de finos grãos com textura em mosaico, processo esse acompanhado pelo desaparecimento total da saussuritização, muito pronunciada e penetrativa no domínio I. Já no domínio III o plagioclásio não é recristalizado. Localmente há o aparecimento de intercrescimentos grnofíricos nas juntas dos grãos, que pode representar o início de fusão ou a recristalização no estado sólido das encaixantes.

O domínio II é marcado ainda pelo aumento da suscetibilidade magnética, interpretado como causado pela neoformação de magnetita, tendo em vista que o GDrm do domínio I é praticamente desprovido de opacos. A neoformação de magnetita se dá tanto

associada à recristalização do plagioclásio, quanto com a recristalização e/ou desestabilização das fases máficas. No domínio III o aumento da suscetibilidade magnética é mais discreto, sendo mais expressivo em apenas uma amostra, da zona adjacente ao contato.

O estudo da química mineral revelou que os anfibólios dos diferentes domínios do GDrm não apresentam diferenças marcantes. As diferenças registradas parecem refletir transformações posteriores ao metamorfismo de contato, que talvez tenham ocorrido durante o resfriamento regional. Conclui-se que os anfibólios permaneceram estáveis durante o evento de metamorfismo de contato.

As biotitas do domínio II são mais enriquecidas em Ti e empobrecidas em AlVI do que as do domínio I. O enriquecimento em titânio é gradual e claramente dependente da distância da amostra em relação aocontato. Os plagioclásios no domínio II apresentam composições que variam entre oligoclásio cálcico e andesina, em quanto os do domínio I apresentam-se descalcificados, com composições albíticas em virtude do acentuado processo de saussuritização. Os minerais opacos do domínio II são magnetitas puras.

O GDrm, onde afetado pelos granitos Musa e Jamon (domínio II), desenvolveu uma paragênese mineral a base de hornblenda magnesiana- hornblenda actnolítica + oligoclásio cálcico andesina + biotita rica em Ti + magnetita + quartzo + feldspato potássico, o que indica que foram atingidas condiçoes metamórficas de fácies anfibolito. Possivelmente a fácies anfibolito superior foi atingida na zona interna da auréola, em virtude do alto teor de Ti na biotita. Estas condições contrastam com as do domínio I, que apresenta paragênese de fácies xistos verdes, provavelmente relacionada ao evento de metamorfismo regional.

ABSTRACT

This work shows the results of an integrated study of magnetic petrology, petrografhy, and mineral quemistry, based on the effects of contact metamorphism that have been recorded as the result of the intrusion of the Paleoproterozoic Musa and Jamon granites, and some mafic dikes, in the Archean Rio Maria Granodiorite (GDrm).

The work was developed in the Rio Maria region, southeast of Pará State, in the Rio Maria Granite-Greenstone terrane. This terrane is formed by Archean-aged tonalites-trondhjemites, grenstone belts, granites and granodiorites, as wel as sedimentary covers. All the units have been intruded by anorogenic Paleoproterozoic granites.

Based on textural and mineralogical apects, related to the distances from the granitic intrusions, the GDrm was divided in three distinct ranges. In the range I, the GDrm do not shows effects of thermal metamorphism; in the range II, it is modified by thermal metamorphism due to the granitic intrusions; and the range III, narrow and discrete, the GDrm is thermally affected by the intrusions of mafic dikes.

In the range I the GDrm is charcterized by a greenish gray phaneritic and equigranular biotite-hornblende-granodiorite, with a strongly saussuritized plagioclase. In the range II the GDrm displays a rose gray color and the plagiocase is not saussuritized. The thermal metamorphic aureole has approximately uniform width of about 1 Km in plant. The range III is restricted to the contact area between the GDrm and some mafic dikes.

In this sections, the GDrm of the range II is distinct from that of range I by the strong recristallization of the plagioclase that changes to avery fine grained polygonal aggregate of cristals without saussuritization. In the range III the plagioclase is not recristallized. Locally it occurs the crystallization of granophyric intergrowths at the grain edges, interpreted as the beginning of melting or solid state recrystallization of the country rocks.

In the range II the GDrm shows a remakable increase in the magnetic suscebility (MS), related to the neocrystallization of magnetite, with is absent or very rare in the Gdrm of the range I. The neocrystallization of magnetite ocurs either associated to the recrystallization of plagioclase (in this case using the iron liberated by the decomposition of the epidote the associated to previous plagioclase saussuritization), or by the crystallization and/or stabilization of mafic

phases. In the range III the MS increase is discrete, except locally in one sample, direct contact with a dike.

The mineral chemistry indicates that the anfiboles of the three ranges are similar. Some differences between them are probably related to late processes of regional cooling. It is concluded that the anphiboles were stable phases during the thermal metamorphism.

The biotites of the range II are Ti-richer and AlVI poorer than those of the range I. Ti contents of biotite increase gradually from the range I samples to the inner contact zone. The plagioclase of the range II is calcic oligoclase to andesine. The plagioclase of the range I are albitic due to strong the anorthization of the primary crystals. The opaque minerals are magnetite, showing a near pure end-member composition.

In the thermal aureole of the anorogenic granites, the GDrm displays a paragenesis composed of magnesian hornblende-actinolitic hornblend + clacic oligoclase-andesine + Ti rich biotite + magnetite + K- feldspar, wich indicates that metamorphic conditions related at least the to anphibolite facies were reached. Probably, in the inner contact aureole, the upper anphibolite facies was attained, as suggested by the high Ti contents in biotite. These metamorphic conditions contrast with those that prevailed in range I, here greenschist facies paragenesis, probably related to regional metamorphism, dominate.

1 - INTRODUÇÃO

1.1- APRESENTAÇÃO

O Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitos (GPPG) da Universidade Federal do Pará vem desenvolvendo nos últimos anos uma série de trabalhos na região sudeste do Estado do Pará, mais especificamente no Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria. Esses trabalhos, de cunho regional e de detalhe, somados `aqueles realizados pela CPRM, DNPM e DOCEGEO tem contribuído para o melhor entendimento da geologia desta importante região.

A partir da otimização do Laboratório de Petrologia Magnética do Centro de Geociências da UFPA por MAGALHÃES (1991), o GPPG tem contribuído com estudos na linha de suscetibilidade magnética e de minerais opacos (MAGALHÃES & DALL'AGNOL, 1992; MAGALHÃES et al., 1994; FIGUEIREDO et al., 1996).

Dentro deste novo enfoque, a presente dissertação de mestrado procura integrar a ultilização conjunta de Petrologia Magnética e Química Mineral no estudo dos efeitos do metamorfismo de contato das intrusões graníticas anorogênicas paleoproterozóicas (granitos Jamon e Musa) e, subordinadamente, de diques no Granodiorito Rio Maria de idade arqueana.

1.2- CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

1.2.1- Introdução

A região de Rio Maria está situada no sudeste do estado do Pará na porção Sul da Província Mineral de Carajás (PMC), dispondo-se na borda leste do craton amazônico, que por sua vez limita-se com Cinturão Araguaia. É caracterizada como um terreno Granito *Greenstone* típico de idade arqueana, com coberturas de sequências sedimentares do Arqueano ou Paleoproterozóico. Todo esse conjunto é secionano indistintamente por granitos anorogênicos do Mesoproterozóico (GASTAL et al., 1987; ALTHOFF et al.,1991; DALL'AGNOL et al., 1996) e diques intermediários à máficos do Proterozóico SILVA Jr. (1996). Neste terreno afloram sequências vulcano sedimentares tipo *grenstone belts*, pertencentes ao Supergrupo Andorinhas, batólitos granodioríticos (Granodiorito Rio Maria), trondhjemitos (Trondhjemito Mogno) e tonalitos (Tonalito Arco Verde, que anteriormente fazia parte do então denominado Complexo Xingu) e ainda granitos *sensu stricto* (Xinguara, Matasurrão e Guarantã). (SOUZA et al., 1990; DUARTE, 1992; MACAMBIRA, 1992; ALTHOFF et al., 1994; LEITE, 1995).

O estágio atual do conhecimento geológico da região deve-se principalmente aos trabalhos executados por empresas de mineração, DOCEGEO , CPRM e Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará. Sínteses sobre a sua geologia podem ser encontradas nos trabalhos de DALL´AGNOL et al. (1986), MEDEIROS et al. (1987), DOCEGEO (1988), HUHN et al. (1988) , SOUZA et al. (1990), ARAUJO et al.(1994), DALL'AGNOL et al. (1996).

1.2.2- Estratigrafia e Geocronologia

Na década de 80 foram divulgadas duas propostas principais para a estratigrafia do Terreno Granito *greenstone* da região de Rio Maria (TGGRM). Na primeira, os gnaisses, englobados sob a denominação de Complexo Xingu (SILVA et al., 1974), foram considerados o embasamento das seqüências *greenstones belts*, sendo todo o conjunto cortado por granitóides mais recentes (MEDEIROS et al.,1987; SOUZA et al.,1990). Na segunda, os gnaisses foram considerados como produto de retrabalhamento metamórfico dos granitóides, associados a geração de faixas móveis, possívelmente durante o ciclo Transamazônico (DOCEGEO,1988 ; HUHN et al.,1988). Neste caso o embasamento seria constituído pelas seqüências do tipo *greenstone* (Supergrupo Andorinhas).

Segundo a proposta de SOUZA et al. (1990), a coluna estratigráfica da região é composta por diversas unidades arqueanas, tendo como embasamento gnaisses e migmatitos, não necessariamente cogenéticos enquadrados no Complexo Xingu. Este seria seguido por seqüências vulcano-sedimentares tipo *greenstone belt*, representadas pelo Supergrupo Andorinhas (CORDEIRO & SAUERESSIG.,1980) e batólitos de composição granodiorítica (Granodiorito Rio Maria), trondhjemítica a tonalítica (Trondhjemito Mogno e Tonalito Parazônia)(DOCEGEO,1988), e granítica (granitos Xinguara e Mata Surrão; SOUZA et al.,1990; DUARTE et al.,1991). Todo esse conjunto arqueano é recoberto discordantemente pelos sedimentos do Grupo Rio Fresco e cortado por granitos anorogênicos do Paleoproterozóico (CORDEIRO&SAURESSIG,1980; DALL´AGNOL,1982a; GASTAL,1987).

Com o avanço do conhecimento, os conjuntos litológicos anteriormente englobados sob a denominação de Complexo Xingu, começam a ser individualizados e a estratigrafia da região adquire novas unidades, como o Metatonalito Gnáissico Arco Verde e o Granito Guarantã (ALTHOFF et al., 1991). Nos arredores da vila de Marajoara esses autores constataram o

prolongamemto do terreno granito-*grenstone* de Rio Maria para Sul e descartaram a hipótese de que os "gnaisses", anteriormente atribuídos ao Complexo Xingu, fossem produtos de retrabalhamento dos granitóides arqueanos.

O Granodiorito Rio Maria, o Trondhjemito Mogno e o Tonalito Parazônia, apesar do primeiro e os dois útimos não serem cogenéticos, foram considerados por diversos autores como fazendo parte de uma típica associação TTG. Entretanto, ALTHOFF et al. (1994), baseados em dados geoquímicos das principais unidades ocorrentes na região de Marajoara, concluíram pela inexistência de uma associação TTG arqueana típica na mesma. Os autores supracitados propuseram ainda a substituição do termo Metonalito Gnáissico Arco Verde por Tonalito Arco Verde por observarem que o bandamento ocorrente no mesmo é de origem magmática.

DALL'AGNOL et al.(1996), sumariza os dados obtidos pelo Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitos e colaboradores, e apresentam a mais nova concepção do mapa geológico adotado para o Terreno Granito- *Grentone* de Rio Maria (Figura 1).

O conhecimento geocronológico da região vem evoluindo rapidamente durante os últimos anos, desde as datações Rb/Sr em rocha total e K/Ar em minerais (MONTALVÃO et al., 1984; GASTAL et al., 1987; MACAMBIRA et al., 1988`; MONTALVÃO et al., 1988), até os trabalhos mais recentes, que usam metodologias mais apuradas como U/Pb e Pb/Pb em Zircões (MACAMBIRA & LANCELOT,1991a,b; MACHADO et al., 1991 MACAMBIRA,1992; PIMENTEL & MACHADO, 1994). Os dados geocronológicos disponíveis emcontram-se sumarizados na Tabela 1.

Até bem pouco tempo, admitia-se que a unidade mais antiga ocorrente na região, fosse o Tonalito Arco Verde, devido este ser a unidade mais antiga datada (2957 ± 16/-19 Ma, U/Pb em zircão; MACAMBIRA & LANCELOT, 1991a; MACAMBIRA, 1992). Idade esta, interpretada como idade de cristalização dos zircões, de colocação desta unidade, bem como, a idade provável para o início de formação de crosta continental na região. Entretanto, zircões detríticos do Grupo Rio Fresco, forneceram idades de 3,157 Ga (MACAMBIRA & LANCELOT, 1991b; MACAMBIRA, 1992) e núcleo de zircões herdado do Granito Musa, apresentaram idades de 3.2 Ga (MACHADO et al., 1991), assim como, zircões herdados de metavulacânicas do Grupo Lagoa Seca, que forneceram idades de 3.038 Ma (PIMENTEL & MACHADO, 1994), comprovando desta forma, que embora ainda não tenham sido identificadas em extensões aflorantes, existam rochas mais antigas na região.

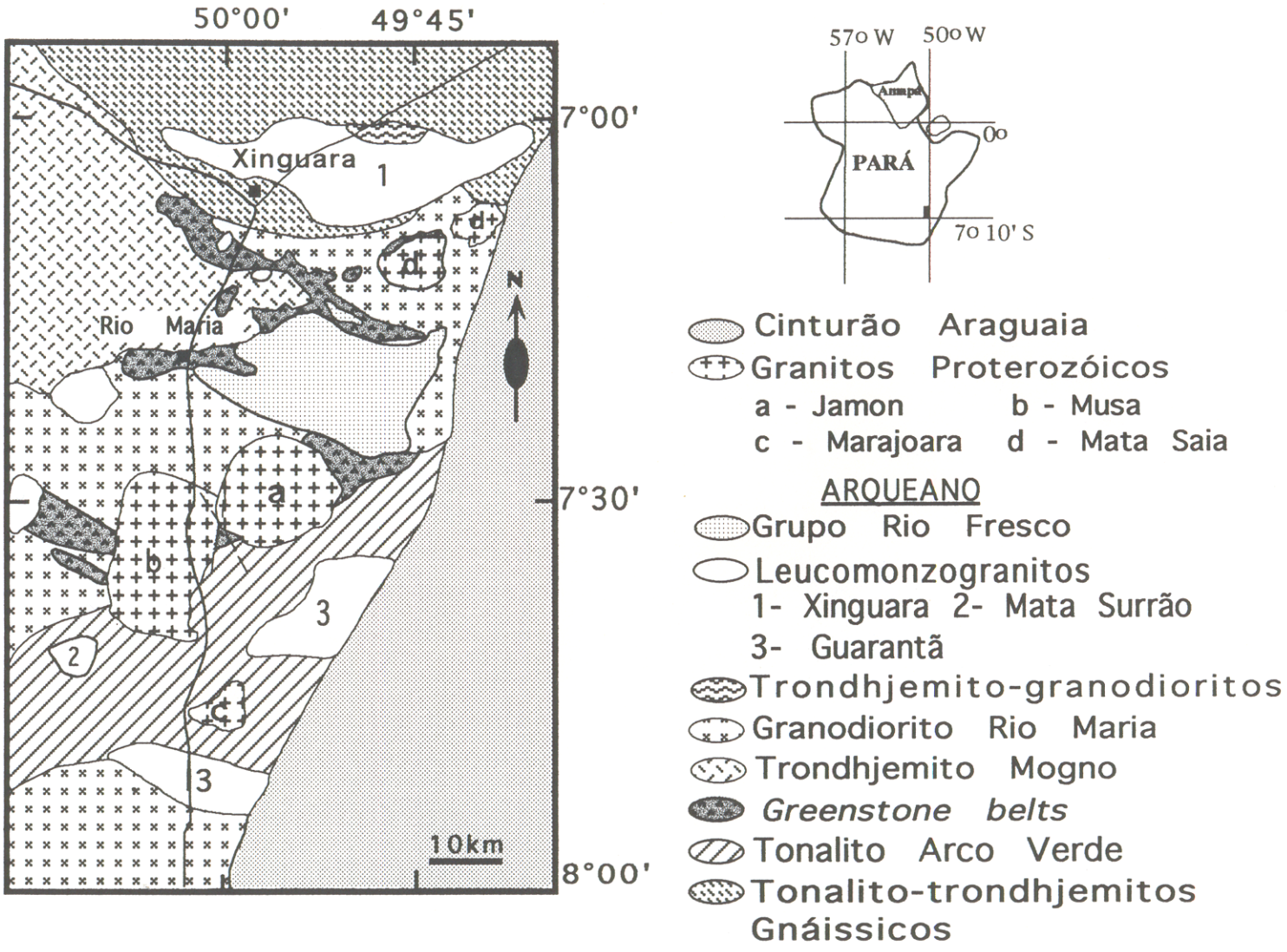


Figura 1 - Mapa geológico do terreno granito-greenstone de Rio Maria (DALL'AGNOL et al., 1996)

Tabela 1- Síntese dos dados geocronológicos da região de Rio Maria.

Granitos Anorogênicos	Jamon	Rb/Sr	1.601 ± 21	Ma	(1)
	Musa	Rb/Sr	1.706 ± 14	Ma	(2)
		U/Pb	1.883 +5/-2	Ma	(3)(Z)
			3.200	Ma	(3)(ZH)
	Marajoara	Rb/Sr	1.724 ±59	Ma	(4)(5)
	Redenção	Pb/Pb	1.892 ± 89	Ma	(16)(RT)
		Rb/Sr	1.801 ± 126	Ma	(16)
Coberturas Plataformais	Grupo Rio Fresco	U/Pb	2.763 ± 20	Ma	(5)(6)(ZD)
			2.903 +22/-26	Ma	(5)(7)(ZD)
			3.154	Ma	(5)(6)(ZD)
Metagranitóides	Granito Xinguara	Rb/Sr	2.528 ± 35	Ma	(4)(5)(8)
		U/Pb	2.800-2.890	Ma	(5)(Z)
	Granito Mata Surrão	Rb/Sr	2.541 ± 74	Ma	(9)
		Pb/Pb	2.872 ± 10	Ma	(10)(RT)
	Tonalito Parazônia	Rb/Sr	2.400	Ma	(11)
		Pb/Pb	2.858	Ma	(12)(Tit)
	Trondhjemito Mogno	Rb/Sr	2.680 ± 65	Ma	(11)
			2.614 ± 120	Ma	(5)(13)
		U/Pb	2.871	Ma	(12)(Tit)
	Granodiorito Rio Maria	Rb/Sr	2.604 ± 150	Ma	(5)
			2.564 ± 68	Ma	(14)
			2.675 ± 65	Ma	(11)
			1.798 ± 8	Ma	(minerais)(13)
		K/Ar	2.638 ± 91	Ma	(hornblenda)(13)
			1.950 ± 54	Ma	(biotita)(13)
		U/Pb	2.874 +9/-10	Ma	(5)(15)(Z)
			2.872 +/-5	Ma	(12)(Z e Tit)
	Tonalito Arco Verde	U/Pb	2.957 +16/-19	Ma	(5)(Z)
		Rb/Sr	2.605 ± 32	Ma	(4)(5)
Greenstone Belts (Grupo Lagoa Seca)	Metagrauvacas Metavulcânicas	U/Pb	2.971 +19/-18	Ma	(5)(6)(ZD)
			2.904 +29/-22	Ma	(5)(7)(Z)
			2.979 +/-5	Ma	(12)(Z)
			3.038	Ma	(12)(ZH)
Complexo Xingu		U/Pb	2.798	Ma	(12)(Tit)

Modificada de ALTHOFF et al. (1991). **Fontes originais dos dados**: DALL'AGNOL et al. (1984) (1), GASTAL et al. (1987) (2), MACHADO et al. (1991) (3), MACAMBIRA et al. (1990) (4), MACAMBIRA (1992) (5), MACAMBIRA & LANCELOT (1991b) (6), MACAMBIRA & LANCELOT (1992) (7), MACAMBIRA et al. (1991) (8), DUARTE et al. (1991) (9), RODRIGUES et al. (1992) (10), MONTALVÃO et al. (1988) (11), PIMENTEL & MACHADO (1994) (12), MACAMBIRA et al. (1988) (13), MEDEIROS (1987) (14), MACAMBIRA & LANCELOT (1991a) (15), BARBOSA et al. (1994) (16); (RT) Rocha Total, (ZH) Zircões Herdados, (ZD) Zircões Detríticos, (Z) Zircões, (Tit) Titanita.

O Granodiorito Rio Maria forneceu uma idade de 2874+9/-10 Ma, que é a idade mínima dos *greentones*. A idade do Granito Xinguara situa-se, por sua vez, entre 2.80 e 2.89 Ga(U/Pb em Zircões; MACAMBIRA, 1992). O Granito Mata Surrão foi datado em 2.872 ± 10 Ma, Pb/Pb (RODRIGUES, 1992). O quadro crono-estratigráfico completa-se com um importante evento magmático datado em cerca de 1,88 Ga, responsável pela colocação dos granitos anorogênicos Musa, Jamon, Marajoara, Redenção e Velho Guilherme (MACHADO et al., 1991; RODRIGUES et al. 1992; BARBOSA et al., 1994). Tem-se também diques félsicos a máficos ,muitos ainda de idade incerta. Apenas foram datados os diques associados aos granitos Musa e Jamon, com idade Rb/Sr de 1707+-17 Ma (GASTAL et al.,1987) e diques riodacíticos que cortam o *greenstone* de Identidade (idade Rb/Sr de 1579 +- 73Ma; SOUZA et al.,1992). Os diques que cortam o Granodiorito Rio Maria, foram datados por SILVA Jr.et al. (1996), que obteveram idades de 1802±22 Ma, através do método K/Ar em concentrados máficos, muito próximo a idade obtida por GASTAL, op. cit, situando-os no Proterozóico, e que pelo menos parte desses diques são contemporâneos ao magmatismo anorogênico da região.

1.2.3- **Granitóides arqueanos: Aspectos petrográficos e efeitos de contato**

Na região de Rio Maria, os granitóides arqueanos são representados pelo Granodiorito Rio Maria (DALL´ AGNOL et al., 1986; MEDEIROS et al., 1987; HUHN et al.,1988; MEDEIROS & DALL´ AGNOL, 1988), Trondhjemito Mogno e Tonalito Parazônia (DOCEGEO, 1988; HUHN et al.,1988; SOUZA et al., 1990), Tonalito Arco Verde e Granito Guarantã (ALTHOFF et al., 1991,1994), Granitos Mata Surrão e Xinguara (SOUZA et al., 1990; MACAMBIRA et al.,1990; DUARTE et al., 1991; DUARTE, 1992; RODRIGUES, 1992; MACAMBIRA et al., 1991; MACAMBIRA,1992; LEITE & DALL'AGNOL 1994; LEITE, 1995). As principais características petrográficas desses granitóides acham-se sintetizadas na Figura 2.

Na área específica do trabalho, ou nas circunvizinhanças, destacam-se o Tonalito Arco Verde e o Granodiorito Rio Maria.O Tonalito Arco Verde (TAV) foi definido por ALTHOFF et al. (1991) na região de Marajoara. É cortado por diques de microdacitos e microgranitos; encraves máficos são comuns; é de cor cinza, equigranular médio e composicionalmente muito homogêneo (raras variações para quartzo-diorito e diorito). É formado

essencialmente por oligoclásio/andesina, quartzo, epidoto e biotita. Os minerais acessórios são esfeno, apatita, opacos, zircão, allanita e microclina. Ocorrem ainda clorita, carbonatos, óxidos de ferro e muscovita como minerais de alteração. A deformação é heterogênea havendo desde rochas pouco deformadas até ultramilonitos (ALTHOFF et al., 1991).

GRANITÓIDES	Granodiorito Rio Maria	Trondhjemito Mogno	Tonalito Arco Verde	Granito Mata Surrão	Granito Xinguara	Granito Guarantã
COMPOSIÇÃO	Granodiorito a monzogranito.	Trodhjemito com variações para tonalito.	Tonalito com variação para quartzo - diorito e diorito.	Monzogranito,com variações para granodiorito e tonalito.	Mozogranito a sienogranito.	Monzogranito
TEXTURA	Equigranular média a heterogranular porfirítica.	Equigranular / hipdiomórfica.	Equigranular média (hipdiomórfica / alotromórfica). Localmente porfirítica.	Equigranular / hipdiomórfica.	Granular hipdiomórfica, localmente porfirítica..	Equigranular média. Localmente porfirítica.
MINERALOGIA PRINCIPAL	Plagioclásio, quartzo, microclina, hornblenda e biotia.	Plagioclásio, quartzo e biotita.	Plagioclásio, quartzo e biotita.	Quartzo, microclina e plagioclásio.	Quartzo, microclina e plagioclásio	Microclina, quartzo e plagioclásio.
MINERALOGIA ACESSÓRIA	Titanita, epidoto, apatita, zircão e opacos.	Alanita, epidoto, titanita, zircão, muscovita e opacos.	Apatita, zircão, epídoto, titanita e microclina.	Epídoto, zircão, alanita, titanita, biotita e muscovita.	Titanita, epidoto, zircão, apatita, opacos, biotita e muscovita.	Alanita, zircão, apatita e opacos.
FEIÇÕES DE DEFORMAÇÃO	*Kinks* na biotita, fraturas na microclina e quartzo recristalizado.	Foliação milonítica, plagioclásio amendoado, quartzo recristalizado e cominuido.	Fraturas e *kinks* no plagioclásio, quartzo recristalizado e biotita deformada.	Quartzo ligeiramente recristalizado e microclina fraturada.	*Kinks* no plagio-clásio e quartzo *ribbon*.	Quartzo *ribbon* e formação de contatos sututados entre os grãos de quartzo.
GRAU DE DEFORMAÇÃO	Fraco a moderado.	Moderado.	Moderado a forte.	Fraco ou ausente.	Moderado a forte.	Forte
OUTRAS CARACTERÍSTICAS	Substituição pseudomórfica de anfibólio por Bt+Ep+Tt. Saussuritização do plagioclásio.	Formação local de um pseudo bandamento.	Formação de milonitos a ultramilonitos.	Mirmequita e microclina poiquilítica.	Mirmequita de borda planar, bulbosa e poiquilítica.	Aspecto milonítico e ultramilonítico.

Figura 2 - Quadro mostrando os dados petrográficos dos principais granitóides arqueanos da região de Rio Maria. Os dados foram obtidos durante a realização da disciplina Granitogênese da Amazônia e complementados com referências bibliográficas, citadas no texto.

São nítidos os efeitos de contato no TAV, causados pelas intrusões dos granitos Musa e Marajoara. Nas zonas de contato do Granito Marajoara com o TAV, ocorrem encraves de gnaisses no granito com nítidas feições de recristalização. O contato do Tonalito Arco Verde com o Granito Musa é controlado por falhamentos onde ocorrem enclaves apenas de modo esporádico (GASTAL, 1987). Esta intrusão do Granito Musa gerou auréolas com espessuras decamétricas em fácies piroxênio-*hornfels* e hornblenda-*hornfels*, onde são comuns texturas de recristalização estática (ALTHOFF et al., 1991). A auréola de metamorfismo de contato no TAV foi comprovada ainda com os estudos de suscetibilidade magnética, que revelaram neoformação de magnetita e por conseguinte aumento nos valores de SM na região do contato, atribuidos aos efeitos térmicos causados pelas intrusões (MAGALHÃES et al.,1994).

O Granodiorito Rio Maria (GDrm) é intrusivo no Supergrupo Andorinhas, está metamorfisado no fácies xisto-verde e apresenta foliação WNW-ESE com mergulhos subverticais. Um aspecto relevante é o fato de englobar uma quantidade significativa de enclaves máficos, que concentram-se mais expressivamente nas bordas do corpo e orientam-se paralelamente à foliação regional (MEDEIROS,1987; SOUZA et al.,1990). Forma um corpo composicionalmente bastante homogêneo, constituído essencialmente por rochas faneríticas de cor cinza esverdeado devido à constante e intensa transformação do plagioclásio. O estudo de sua porção leste (MEDEIROS, 1987) permitiu a separação de quatro fácies petrográficas, com base principalmente na variação das suas fases máficas: biotita-hornblenda-granodiorito (BHGd), hornblenda-biotita-granodiorito (HBGd), biotita-granodiorito (BGd) e hornblenda-biotita-monzogranito (HBMzG).

Os HBGd e BHGd são as fácies predominantes, não apresentando diferenças texturais e mineralógicas significativas. As proporções dos máficos são superiores no BHGd, principalmente devido à horblenda. Apresentam uma textura fanerítica equigranular média. São compostos por plagioclásio, quartzo, microclina, hornblenda, biotita e clorita, e têm como acessórios epidoto, opacos, esfeno, apatita, zircão e allanita. O BGd ocorre de forma localizada, tem textura fanerítica, heterogranular fina a média, com presença de muscovita e ausência de hornblenda. Finalmente, os HBMzG, são bastante restritos e muito semelhantes textural e mineralogicamente ao HBGd, apenas com um maior teor de microclina (MEDEIROS, 1987).

No GDrm também ocorrem auréolas de metamorfismo termal em decorrência das intrusões graníticas Musa e Jamon, observando modificações texturais até uma distância de aproximadamente 1 km do contato (MEDEIROS, 1987). Estas modificações são traduzidas pela

recristalização de minerais (quartzo e feldspato), mas com a preservação da mineralogia primária. Outro forte indício da recristalização é a ausência ou escassez de transformações intensas no plagioclásio na região do contato, contrastando com o plagioclásio altamente transformado que é observado em áreas distantes do contato (MEDEIROS, 1987).

MEDEIROS (1987) sugere que, durante o processo de metamorfismo, em decorrência das intrusões graníticas no Granodiorito Rio Maria, tenham sido alcançadas temperaturas da fácies anfibolito, a exemplo do que foi definido por DALL´AGNOL et al.(1985) na auréola de contato do Maciço Jamon na Seqüência Lagoa Seca.

1.2.4- *Greenstone belt* e efeitos de contato

A identificação de seqüências vulcano-sedimentares do tipo *greenstone belt* no sul do Pará foi seguida de um grande número de trabalhos a cerca das mesmas. O estudo pioneiro deve-se a CORDEIRO & SAUERESSIG (1980), que levantaram os primeiros indícios de mineralizações auríferas e dividiram os *greenstones* em duas seqüências: Lagoa Seca e Babaçu. Essa interpretação adquiriu maior consistência a partir da descrição nessas seqüências de texturas *spinifex* (CORDEIRO, 1982; HIRATA et al., 1982) e de *pillow* lavas (CORDEIRO & MARTINS, 1984), bem como através de datações geocronológicas que revelaram idades arqueanas em granitóides intrusivos nas mesmas (MONTALVÃO et al.,1984; GASTAL et al., 1987; MACAMBIRA et al., 1988).

DOCEGEO (1988), em revisão da litoestratigrafia para a Província Mineral de Carajás, propõe formalmente a denominação de Supergrupo Andorinhas para enquadrar as diversas seqüências vulcano-sedimentares ocorrentes no Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, designando de Grupo Babaçu a porção basal e de Grupo Lagoa Seca a superior.

O Grupo Babaçu foi dividido em duas unidades, a Formação Igarapé Encantado, na base, formado por derrames ultramáficos komatiíticos (peridotítiticos, piroxeníticos, duníticos) com intercalações de formação ferrífera bandada magnética, e a Formação Mamão, no topo, constituída por metabasaltos com *pillow* lavas bem preservadas intercalados com sedimentos químicos.

O Grupo Lagoa Seca constitui a porção superior do Supergrupo Andorinhas englobando duas formações: Formação Fazenda Quincas, constituida por metassedimentos

clástico-químicos intercalados com metavulcânicas máfico-ultramáficas com níveis de metavulcânicas e subvulcânicas ácidas a intermediárias; Formação Recanto Azul, formada por rochas metavulcânicas a subvulcânicas (andesitos, dacitos e riodacitos), intercaladas com sedimentos clásticos (grauvacas e siltitos) e níveis restritos de metavulcânicas (máfico-ultramáficas).

As relações de contato entre o Supergrupo Andorinhas (SGAnd) e as outras unidades arqueanas ocorrentes na região são de vital importância para a definição do embasamento. Infelizmente as relações de contato do SGAnd com os gnáisses tonalíticos do Complexo Xingu, na região de Xinguara, a norte, e com o TAV nos arredores de Marajoara , não foram observadas ou não são conclusivas. Os dados geocronológicos discutidos anteriormente, também não são conclusivos, devido a superposição das idades do SGand com a do TAV.

SOUZA (1994) mostra que o contato do *greesntone* de Identidade, com os metagranitóides da região de Rio Maria, são, em geral, delineados por zonas de cisalhamentos ductil, embora localmente as relações de contato mostrem o posicionamento intrusivo dos metagranitóides. Cita como exemplo a facies máfica do Granodiorito Rio Maria, que produz estreita auréola de metamorfismo de contato em metabasaltos na porção nordeste do *greenstone*, constatando aí a presença de megaxenólitos de metabasaltos (até 2m) dispostos paralelamente à foliação do GDrm.

Quanto as relações do *greenstone* com os ortognaises, o autor supracitado afirma haver uma discordância estrutural e metamórfica entre os metagranitóides e os *greenstones*, pois estes possuem um bandamento mais antigo Sn-1, não encontrado nas outras unidades arqueanas. Por essa razão considera os ortognaisses como o embasamento. Conclue, baseado em contraste de viscosidade e temperatura de xenólitos, que o GDrm intrudiu nos *greesntones* em um nível crustal mais profundo, quando os mesmos estavam ainda quentes, em quanto que os trondhjemitos teriam se colocado em níveis comparativamente mais rasos, quando o *greenstone* já estava frio.

DOCEGEO (1988) identificou na porção leste do Granito Gradaús, corpos máfico-ultramáficos (piroxenitos, peridotitos, gabros), além de anortositos, denominando-os de Complexo Serra Azul. Eles são intrusivos em seqüências do tipo *greenstone*, havendo o desenvolvimento de estreita auréola de contato.

MEDEIROS (1987) verificou transformações intensas no Granodiorito Rio Maria associadas às zonas de cisalhamento, principalmente ao longo do contato com as seqüências vulcano-sedimentares.

CORDEIRO (1982) descreve um metassomatismo hidrotermal, evidenciado pela presença de epidoto, carbonato, turmalina e matrizes recristalizadas em conseqüência da intrusão granítica Jamon na Sequência Babaçu. Cita ainda que o efeito torna-se mais pronunciado nas proximidades da intrusão, onde desenvolveu-se um *hornfels* pelítico com cordierita.

DALL´AGNOL et al. (1985) fizeram um estudo dos efeitos da intrusão granítica Jamon no Grupo Lagoa Seca (porção superior do Supergrupo Andorinhas) , onde denotam evidências petrográficas da atuação de metamorfismo de contato, tais como textura *decussate* típica de *hornfels* e a presença de cordierita. Estas evidências, aliadas a estudo de xenólitos e presença de antofilita em rochas máficas, permitiram aos autores estimar as condições do metamorfismo como sendo de grau médio (WINKLER, 1977), na fácies hornblenda *hornfels* (TURNER, 1981), até a pelo menos um km do contato (em planta), com temperaturas estimadas entre 530±20 e 580±20°C. Esses autores mencionam, ainda, paragêneses de alto grau metamórfico (T > 600° C) em xenólitos englobados pelo Granito Jamon, o que pode indicar que tais condições tenham sido atingidas em algumas porções da auréola. Seriam necessários estudos mais detalhados para demonstrar isso, visto que o metamorfismo de contato de alto grau raramente se desenvolve em torno de intrusões graníticas (Winkler; Reverdato et al. apud DALL´AGNOL et al.1985).

1.2.5- Granitos Musa e Jamon: Síntese Petrográfica e Relações de Contato com as Unidades Arqueanas

SILVA et al. (1974), propuseram a existência de duas suítes graníticas anorogênicas na Amazônia Oriental. Uma mais antiga, denominada tipo Serra dos Carajás (1.700 Ma), e outra mais nova, tipo Velho Guilherme (1.400 Ma). DALL´AGNOL et al.(1986) mostraram que não havia dados consistentes que justificassem a criação das diversas suites propostas até então, para esse magmatismo. Mais recentemente, diversas datações U/Pb e Pb-Pb demonstraram a presença de um evento granítico anorogênico importante ocorrido a aproximadamente 1,88 Ga (MACHADO et al., 1991; RODRIGUES, 1992; BARBOSA et al., 1994), não havendo dados conclusivos sobre possíveis granitos mais jovens. Os granitos Musa e

Jamon são posicionados como pertencentes a este evento, e juntamente com os granitos Cigano, Antônio Vicente, Pojuca, Velho Guilherme e Redenção, entre outros, são considerados como os granitos anorogênicos mais antigos do Craton Amazônico.

O **Maciço Jamon** é intrusivo no Granodiorito Rio Maria (MEDEIROS, 1987), no Grupo Lagoa Seca (CORDEIRO et al., 1982, DALL´AGNOL et al., 1985), em outras seqüências tipo *greenstone* e no TAV (GASTAL, 1987; ALTHOFF et al.,1991). O único estudo detalhado sobre os efeitos de contato nestas unidades refere-se apenas ao Grupo Lagoa Seca (DALL´AGNOL et al.,1985, vide item anterior).

DALL´AGNOL (1980, 1982a) caracterizou o Granito Jamon como um corpo monzogranítico bastante homogêneo, que em função de critérios texturais foi desmembrado em quatro fácies: GE (Granito equigranular médio), GH (granito heterogranular médio a fino), MG (microgranito) e GAL (granito alasquítico). MAGALHÃES & DALL'AGNOL (1992) e DALL'AGNOL et al.(1995), reavaliaram essa classificação de fácies, estabelecendo que o mesmo é formado por monzogranitos e sienogranitos, com diques de dacitos pórfiros e granitos pórfiro associados. Com as fácies, desta feita sendo, hornblenda-biotita-monzogranito (HBMzG), biotita monzogranito seiado fino a médio (BMzG) e biotita microgranito (BMcG). Quartzo, alcali feldspato, plagioclásio e biotita são as fases mais expressivas nessas rochas, em quanto que hornblenda, localmente envolvendo clinopiroxênio, restringe-se as fases menos evoluidas e diques. Em adição aos óxidos de Fe e Ti, as fases acessórias incuem ainda apatita, zircão, titanita, allanita e ocasionalmente pirita. As fases secundárias, são representadas por epídoto, fluorita, clorita, sericita e as vezes muscovita.

O **maciço granítico Musa** é intrusivo no Granodiorito Rio Maria, no TAV e nas seqüências *greenstones* de Pedra Preta. Os contatos, de um modo geral, são bruscos sendo marcados por fraturas, pela penetração de diques de microsienogranítos ou por enclaves, como no caso da Seqüência Pedra Preta. Nesta sequência foi constatada a presença de cordierita (DOCEGEO, 1982), indicando metamorfismo de contato da fácies anfibolito (GASTAL, 1987). As relações de contato com o Granodiorito Rio Maria foram referidos no item 1.2.3.

O estudo petrográfico (GASTAL, 1987) permitiu a divisão do Granito Musa em duas fácies petrográficas principais (monzo e sienogranitos), subdivididas em subfácies com base em variações texturais e mineralógicas. Os monzogranitos dividem-se em: biotita- anfibólio-monzogranito, anfibólio-biotita-monzogranito e leuco-monzogranito. Os sienogranitos por sua

monzogranito, anfibólio-biotita-monzogranito e leuco-monzogranito. Os sienogranitos por sua vez, em anfibólio-biotita-sienogranito, leuco-sienogranito e micro-sienogranito. As paragêneses das diferentes fácies magmáticas do maciço são representadas por quartzo, microclína e plagioclásio (em porções variadas), biotita±anfibólio, e como acessórios, zircão, titanita, opacos, apatita e allanita. Os minerais secundários são idênticos aos do Granito Jamon.

1.3- APRESENTAÇAO DO PROBLEMA

Estudos de metamorfismo de contato causados por intrusões graníticas foram realizados por diversos autores (WINKLER,1977; LABOTKA et al., 1981; TURNER, 1981; KERRIK, 1993). Entretanto, na maioria dos casos, tratam de auréolas formadas em rochas de alta reatividade química, que permitem modificações significativas nas paragêneses minerais, a exemplo de intrusões em rochas sedimentares pelíticas e cálcio-silicáticas. Por outro lado, quando se trata de intrusões em rochas pouco reativas, como é o caso de corpos graníticos encaixados em granitóides e/ou ortognaisses, as transformações mineralógicas não são, via de regra, muito evidentes. Isso faz com que praticamente inexistam estudos sobre tais casos, havendo assim uma lacuna no conhecimento geológico a esse respeito.

Na Amazônia Oriental, apesar do grau de conhecimento geológico relativamente avançado, notam-se ainda muitas lacunas. Muito embora os efeitos térmicos causados por intrusões graníticas proterozóicas nas unidades arqueanas tenham sido reconhecidos por diversos autores, inclusive através de estudos de suscetibilidade magnética (MAGALHÃES & DALL´AGNOL, 1991; MAGALHÃES et al., 1994), trabalhos sistemáticos sobre os efeitos de contato são raros. Uma exceção deve-se a DALL´AGNOL et al. (1985) que estudaram o metamorfismo causado pela intrusão do Granito Jamon, no Grupo Lagoa Seca.

Conforme mensionado, a principal dificuldade existente para estudos sistemáticos relaciona-se com a ocorrência de paragêneses pouco reativas, em particular no caso de intrusões de granitos proterozóicos em granitóides ou gnaisses arqueanos. Isso torna complexa a definição das paragêneses relacionadas ao contato e do grau metamórfico atingido. Outro aspecto a dificultar o estudo, refere-se a necessidade de separar os possíveis efeitos do metamorfismo regional sobre as sequências arqueanas daqueles devidos ao contato.

Na região de Rio Maria, conforme citado anteriormente, tem-se um quadro propício para o estudo deste tipo de problema, em função do excepcional grau de preservação das unidades arqueanas e proterozóicas. A carência de dados a respeito deste tipo de metamorfismo motivou a elaboração da presente pesquisa, que teve como ponto de partida os dados bibliográficos que comprovam a existência de uma auréola de contato expressiva no Granodiorito Rio Maria, em virtude de intrusões graníticas proterozóicas. Não se tem, porém, uma definição rigorosa das paragêneses minerais, da amplitude da auréola em diferentes locais, nem tampouco um estudo minucioso das transformações texturais e mineralógicas causadas pelo efeito térmico. Sabe-se apenas que houve a neoformação de magnetita, conforme revelado pelo aumento dos valores de suscetibilidade magnética nas rochas próximas ao contato (MAGALHÃES & DALL´AGNOL, 1991). Não há também informações sobre as composições dos minerais do Granodiorito Rio Maria, sendo importante avaliar eventuais modificações composicionais nas fases minerais presentes.

1.4- LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O presente trabalho teve seu desenvolvimento na região onde foi definido o Granodiorito Rio Maria, imediatamente a sul da cidade de Rio Maria, e foi concentrado nas nas bordas SW e NW do Granito Jamon e NE, N e NW do Granito Musa, mais precisamente na região do contato dos mesmos com o Granodiorito Rio Maria. O acesso é feito quase que exclusivamente através da Rodovia PA-150, que corta boa parte da área, bem como por estradas vicinais, ramais, trilhas de fazendas etc.(Figura3).

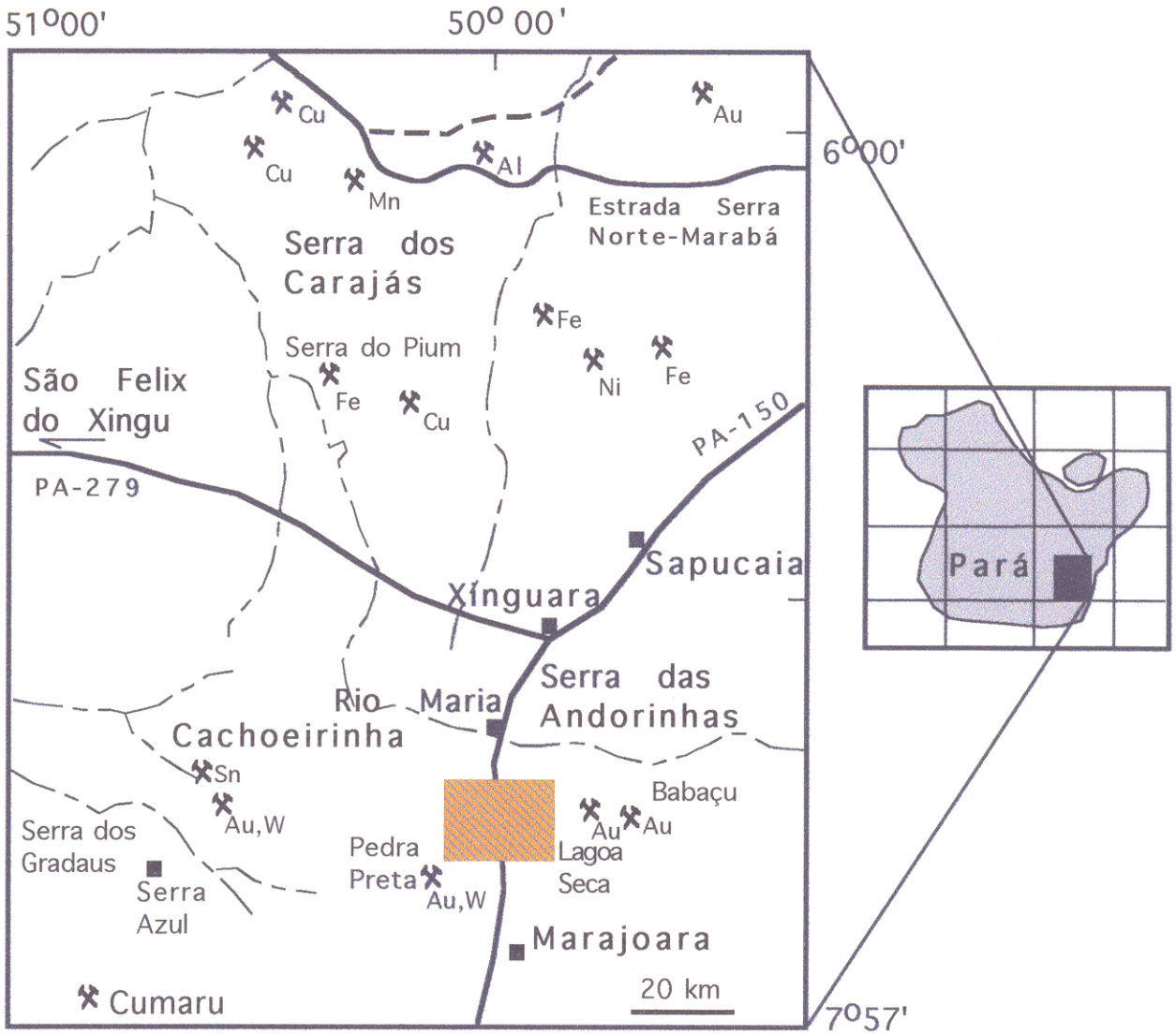


Figura 3 - Mapa de localização da área estudada.

1.5- OBJETIVOS DO TRABALHO

Esta pesquisa teve como objetivo fazer um estudo do metamorfismo de contato provocado pelas intrusões graníticas proterozóicas Musa e Jamon e, subordinadamente, diques intermediários a máficos no Granodiorito Rio Maria, arqueano. Destacam-se como principais metas a serem alcançadas:

- Delimitar com precisão as auréolas de metamorfismo de contato e tentar definir isógradas e paragêneses geradas pelo mesmo;

- definir as variações mineralógicas e texturais, ocorrentes no Granodiorito Rio Maria, nas proximidades do contato e buscar interpretá-las, estabelecendo comparações com os dados obtidos nas porções do granodiorito não afetadas pelas intrusões;

-definir o comportamento da suscetibilidade magnética e as variações na natureza e no conteúdo dos minerais opacos, através de um estudo integrado de suscetibilidade magnética, petrografia e mineralogia;

- definir os possíveis efeitos de contato causados por alguns diques espessos que seccionam o Granodiorito Rio Maria;

- definir o quimismo dos principais minerais presentes no Granodiorito Rio Maria fora da influência do contato e a distâncias variáveis do contato no interior da auréola, para conhecer as variações químicas dos minerais e as possíveis reações metamórficas na auréola;

- comparar os dados obtidos com os de trabalhos similares existentes na bibliografia e fazer uma avaliação do alcance e adequabilidade da metodologia adotada, no sentido de sua possível aplicação em exemplos análogos.

1.6- METODOLOGIA EMPREGADA

Para alcançar os objetivos propostos por esta pesquisa, foram adotados os seguintes procedimentos metodológicos:

a) Pesquisa Bibliográfica: foi feito o levantamento bibliográfico sobre o a geologia da região, bem como o aprofundamento de temas específicos e/ou genéricos a respeito do trabalho a ser desenvolvido;

b) Trabalhos de Campo: constaram de duas campanhas em um total de 30 dias. Cabe aquí ressaltar que o mapeamento geológico *sensu stricto* não era o objetivo principal, tendo em vista se tratar de uma região bastante conhecida geologicamente, mas sim a busca de solução para as questões pendentes sobre o metamorfismo de contato. Com esse objetivo, fez-se uma amostragem sistemática do Granodiorito Rio Maria ao longo das zonas de contato melhor expostas, com a elaboracão de seções ortogonais ao contato nas porções onde os efeitos termais eram mais pronunciados. Também foram amostradas zonas mais afastadas do contato onde não havia nenhuma evidência de efeitos metamórficos causados pelas intrusões graníticas para posteriores comparações. Isto se aplicou também nos contatos dos diques com o Granodiorito Rio Maria. Os trabalhos de campo foram apoiados em imagem de radar LANDSAT, e sobretudo nos mapas geológicos disponíveis na bibliografia (GASTAL, 1987; MEDEIROS, 1987; HUHN et al., 1988; SOUZA et al.,1990).

c) Petrografia: Esta etapa constou inicialmente de descrição macroscópica das amostras coletadas, visando a avaliação de parâmetros como mudança na coloração, alterações dos minerais, etc., bem como selecionar amostras para estudos microscópicos. Foram elaboradas e descritas aproximadamente 100 seções delgadas simples e 18 seções delgadas polidas, utilizando-se microscópio ótico de luz polarizada, tanto em luz transmitida quanto refletida. Os estudos microscópicos enfatizaram as transformações texturais e mineralógicas relacionadas aos efeitos do metamorfismo térmico. No que tange ao estudo dos minerais opacos (lâminas polidas), procurou-se definir a natureza dos mesmos e as suas relações com as demais fases, bem como verificar a hipótese de neoformação de magnetita (MAGALHÃES & DALL´AGNOL, 1991). Estes estudos foram complementados e aprimorados na microssonda eletrônica.

d) Suscetibilidade Magnética: O estudo de suscetibilidade magnética concentrou-se em amostras de perfis préviamente selecionados, realizados nas zonas de contato e em amostras dispersas proveniente de zonas distantes do mesmo. Esses dados foram complementados, com aqueles obtidos por MAGALHÃES & DALL'AGNOL(1991).

As medidas de suscetibilidade magnética foram feitas no Laboratório de Petrologia Magnética do Centro de Geociências da UFPA, foram usadas 66 amostras de mão de rochas frescas, com superfícies previamente serradas. Foram realizadas 280 determinações, tomando-se sempre as médias de no mínimo 2 e no máximo 6 medidas, utilizando-se um suscetibilímetro modelo SI-1, fabricado pela *Saphire Intruments*. O sensor utilizado foi uma bobina plana, que tem

uma área de 15 cm^2, permitindo medidas em superfícies planas de amostras de mão. A metodologia encontra-se discutida de forma detalhada em MAGALHÃES (1991). Os dados de SM foram tratados no programa STRATIGRAPHIC, versão 2.1

e) Química Mineral: nesta etapa, foram feitas análises das principais fases mineralógicas identificadas no Granodiorito Rio Maria, tanto nas zonas afetadas pelo metamorfismo quanto nas preservadas. Estas análises foram obtidas no Laboratório de Microssonda Eletrônica do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica do Institudo de Geociências da UFRGS, em uma microssonda automática do tipo CAMECA modelo SX-50, em lâminas delgadas polidas e metalizadas com carbono em vaporizador automático. O procedimento adotado foi o de rotina do laboratório. Ao todo foram realizadas 250 determinações em minerais com análises para elementos maiores, menores e traços usuais. As fases analisadas e as condições analíticas de operação do aparelho foram as seguintes: tensão de aceleração de15Kv e tempo de análise de 6s para todas as fases; corrente de 25nA (para opacos, anfibólios e titanitas) e de 10nA (para plagioclásios e micas); e o tamanho do feixe de 55μ para anfibólios, de 5μ para plagioclásios e de 1μ para opacos e biotitas. Foi feita, ainda, a identificação da natureza de algumas fases minerais através do uso do Sistema de detecção (EDS).

2- GEOLOGIA DA ÁREA

2.1 - INTRODUÇÃO

Tendo em vista os objetivos definidos no item 1.5, a área-tipo do Granodiorito Rio Maria foi escolhida para o desenvolvimento do presente trabalho. Essa área foi mapeada na escala 1:50.000 por MEDEIROS (1987) e a sua geologia foi sintetizada em MEDEIROS et al. (1987). A petrografia e geoquímica do Granodiorito Rio Maria, foram abordadas por MEDEIROS & DALL'AGNOL (1988). O Granito Jamon foi estudado por DALL'AGNOL (1982a, 1987) e o Granito Musa por GASTAL (1987, 1988). Diversas pesquisas sobre a suscetibilidade magnética e a natureza dos minerais opacos presentes nos diferentes granitóides mensionados, foram efetuados por MAGALHÃES (1991) e MAGALHÃES & DALL'AGNOL (1991, 1992). Os *greenstone belts* que ocorrem na região foram estudados por CORDEIRO (1982), CORDEIRO et al. (1984), HUHN et al. (1988), HUHN (1991) e SOUZA (1994) e, em termos de metamorfismo de contato causado pelo Granito Jamon, por DALL'AGNOL et al. (1985). Os granitóides da região de Marajoara foram estudados por ALTHOFF et al. (1991, 1994). Portanto, antes do início do presente trabalho, já se conhecia a estratigrafia da região e se dispunha de um mapa geológico da mesma. Para tanto muito contribuiram os dados geocronológicos (MACAMBIRA, 1992, PIMENTEL & MACHADO, 1994).

Em razão disso, os trabalhos de campo foram direcionados para buscar informações que permitissem solucionar um problema previamente determinado, ou seja, os efeitos de contato causados pelos granitos anorogênicos do Paleoproterozóico no Granodiorito Rio Maria de idade arqueana. A existência do metamorfismo de contato fora reportada por diversos autores supracitados, porém não havia informações sobre a natureza das transformações ocorridas, exceto no que tangia ao aumento de suscetibilidade magnética no granodiorito afetado pelo contato. Optou-se assim, por concentrar os trabalhos na área mapeada por MEDEIROS (1987), fazendo um reconhecimento regional e amostragem seletiva na mesma. Além disso foram realizados vários perfis, perpendiculares ao contato, tanto do granodiorito com os granitos quanto desses com os diques, para verificar a extensão e as variações apresentadas pelos efeitos termais. Na descrição que segue, procurou-se, apenas, dar uma visão geral das principais características das unidades ocorrentes na área estudada, tomando por base a literatura existente, complementado por algumas observações adcionais, feitos a partir de novos dados obtidos.

2.2 -DESCRIÇÃO DAS UNIDADES

O mapa geológico da área em enfoque é apresentado na Figura 4. Ele mostra um contexto geológico relativamente simples, com diversas unidades arqueanas *Greenstone Belts*, Tonalito Arco Verde, Granodiorito Rio Maria e Granito Guarantã, sendo cortados pelos granitos Musa e Jamon, bem como por diques intermediários à máficos. Em função dos objetivos traçados, se enfocará principalmente o Granodiorito Rio Maria e as transformações ocorridas no mesmo devido aos efeitos térmicos causados pela colocação dos Granitos Musa e Jamon e dos diques. As outras unidades serão abordadas de maneira sucinta. A coluna estratigráfica adotada segue as propostas de SOUZA et al. (1990), com modificações sugeridas por ALTHOFF et al.(1991) e, levando em conta as datações recentes do Supergrupo Andorinhas (PIMENTEL & MACHADO, 1994), não se define a relação estratigráfica entre o Supergrupo Andorinhas e o Tonalito arco Verde.

2.2.1 - *Greenstone Belts* (Supergrupo Andorinhas)

Os *greentone belts* ocorrem de modo geral, como estruturas sinformais, circundados por rochas gnáissicas tonalíticas e são cortados por corpos granitóides arqueanos e por granítos anorogênicos. São constituidos predominantemente de rochas metavulcânicas máficas a félsicas, englobando tipos hipabissais, com meta-ultramáficas e formações ferríferas bandadas subordinadas. Fazem parte do Supergrupo Andorinhas.(DOCEGEO, 1988; HUHN et al. 1988; SOUZA, 1994; HUHN, 1991).

Esta unidade é de ocorrência bastante restrita e suas exposições não são boas. Na área estudada, foi examinado no campo apenas uma pequena faixa que localiza-se entre os Granitos Musa e Jamon e a sudoeste do ultimo. A faixa de Pedra preta, situa-se a Oeste do Granito Musa, assim como as ocorrências dos grupos Babaçu e Lagoa Seca, a nordeste do granito Jamon, não foram estudadas no presente trabalho. Na faixa a sudeste do granito Jamon, os afloramentos são restritos, ocorrem em pequenos trechos geralmente em baixos topográficos, estando melhor expostos em pequenas grotas e muitas vezes alterados. Entretanto, o seu mapeamento é possível principalmente pela ocorrência de solo avermelhado que contrasta fortemente com o solo arenoso dos granitóides aflorantes nessa área. Além disso, há evidências no campo de que a maior parte da faixa de *greenstone* esteja recoberta por lateritas, o que impede sua visualização direta, mas auxilia na delimitação de sua área de ocorrência. É importante ressaltar ainda que, junto com o solo avermelhado ocorrem blocos de sílica evidenciando provável presença de zonas de falha nessa área.

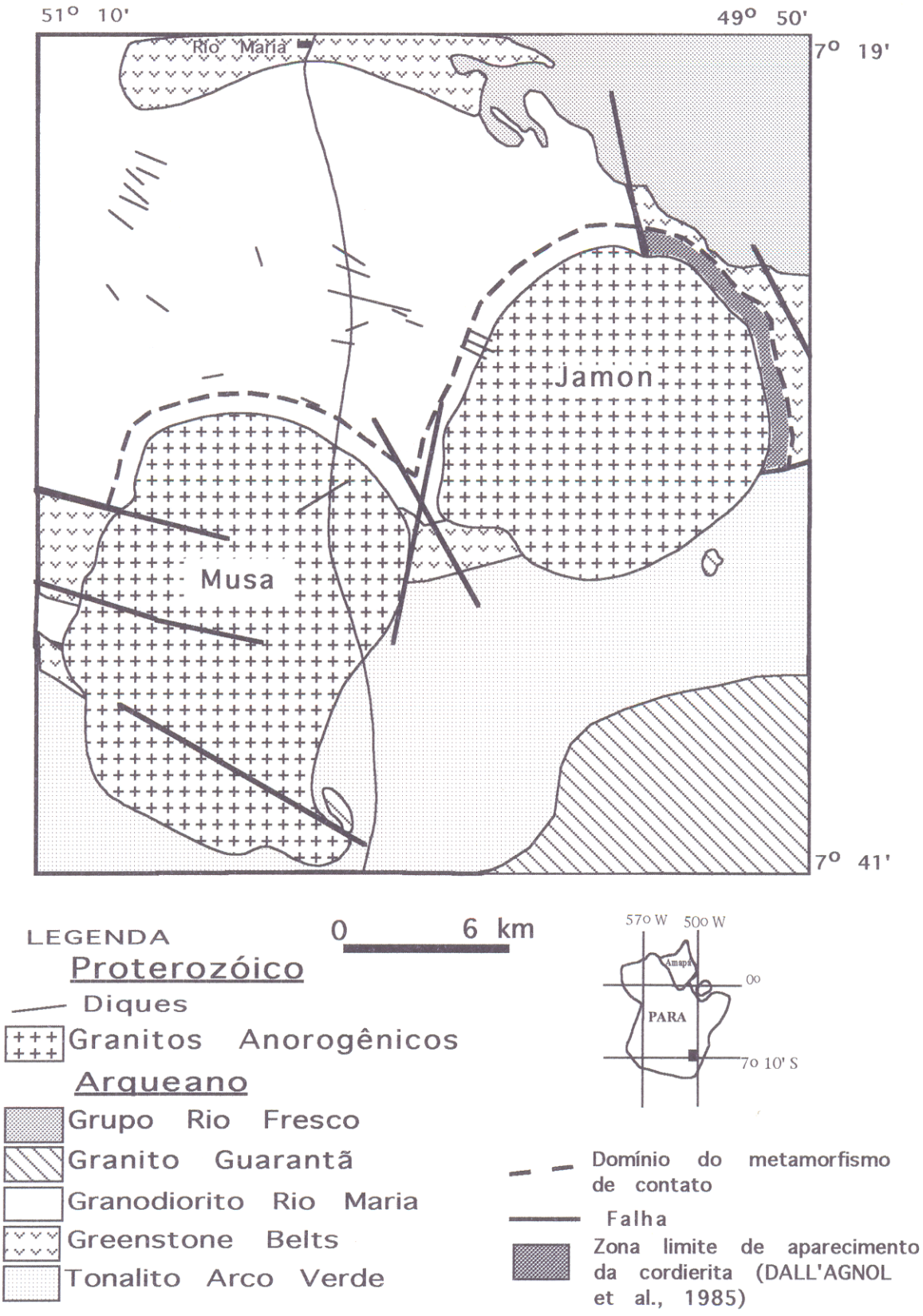


Figura 4 - Mapa geológico da região de Rio Maria (baseado em DALL'AGNOL et al., 1985; MEDEIROS, 1987; DOCEGEO, 1988; ALTHOFF et al., 1991; 1994).

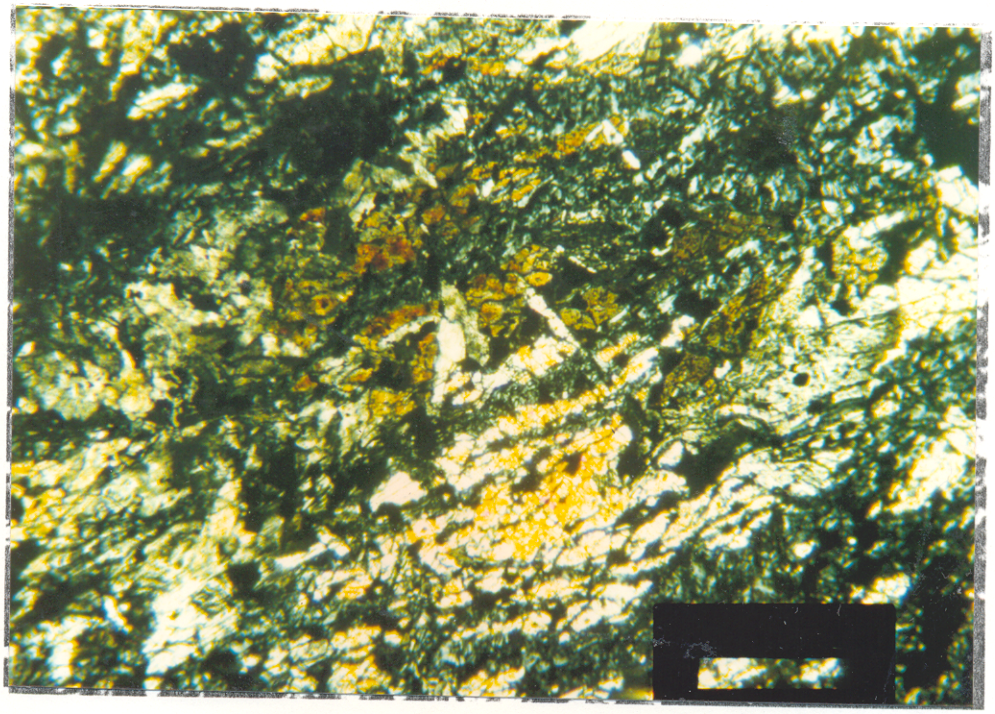
Os principais afloramentos dessa unidade são os de números CMRR-8, CMRR-66 e CMR-100 (Anexo F). As amostras coletadas correspondem a uma rocha ultramáfica, muito densa e compacta, que ora exibe uma foliação bastante expressiva, ora apresenta-se com aspecto maciço (Figura 5). A textura e a mineralogia dessa rocha, indicam que se trata de um *hornfels*, o que é coerente com a proximidade desse ponto com das intrusões graníticas anorogênicas. Em alguns pontos (CMRE-140), rochas que assemelham-se muito a *BIFS* e são moderadamente magnéticos foram amostradas, devendo tratar-se de intercalações nas metaultramáficas (SOUZA et al., 1990).

Ao microscópio, a rocha metaultramáfica apresenta localmente texturas reliquiares que lembram texturas sub-ofíticas, ofíticas e traquíticas. Ela é constituída de restos de olivina mais ou menos serpentinizada, anfibólios (cummingtonita/antofilita?), espinélio verde, epídoto e minerais opacos relativamente abundantes (Figura 6 A e B), bem como clorita secundária. Os anfibólios são subédricos, por vezes formando agregados de grãos finos ou ocorrendo isolados e fracamente pleocróicos. Em algumas amostras, os anfibólios dispõem-se subparalelamente amoldando-se as olivinas, porém por vezes tem-se a impressão da olivina ser poiquiloblástica. Ocorrem, localmente, pequenas zonas ricas em flogopita, com clorita associada, que pode ser indicativos de entrada de potássio devido aos efeitos de contato. Há fraturas localizadas, onde a flogopita substitui o anfibólio, que também está levemente cloritizado. Se a olivina for de orígem metamórfica, a sua associação com espinélio verde em algumas amostras, sugere uma sequência komatiítica submetida a um grau metamórfico médio a alto.

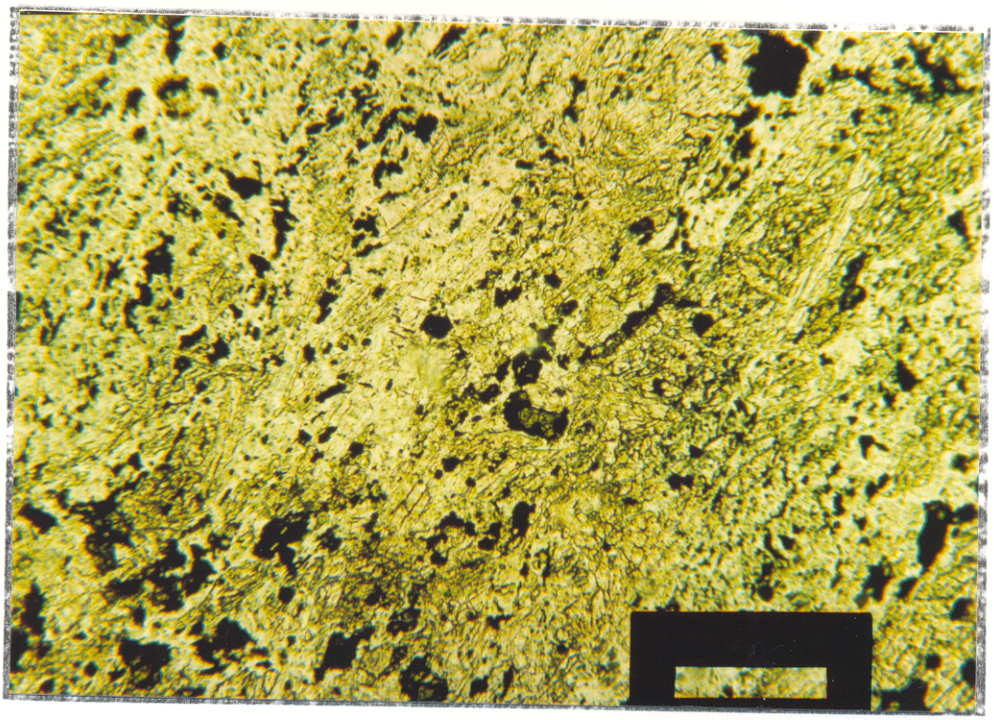
Constatou-se ainda, em uma amostra a presença de grãos de plagioclásio formando um arranjo granoblástico e poligonal com biotita e anfibólio verde (Figura 7). A biotita desta amostra está substituindo um mineral máfico pretérito. Ocorrem ainda titanitas, opacos e flogopita esporadicamente. Tais evidências sugerem a possibilidade de tratar-se de uma rocha porfirítica básica, que foi submetida à ação do metamorfismo de contato. Entretanto, como essas rochas foram certamente afetadas por um primeiro episódio de metamorfismo regional no Arqueano e um segundo de metamorfismo térmico no Paleoproterozóico, as texturas mostram-se complexas e de dificil interpretação. Predominam na rocha atual texturas *decussate* relacionadas ao metamorfismo térmico.



Figura 5 - Aspecto de bloco de rocha meta-ultramáfica do Supergrupo Andorinhas. A caneta mostra o sentido da foliação, que, dependendo do corte pode não ser marcante. Atentar para o solo avermelhado, característico das áreas de ocorrência dos *Greenstone Belts* (CMRR-66A).



(A)



(B)

Figura 6 - Aspectos micro texturais de rocha metaultramáfica do Supergrupo Andorinhas afetada por metamorfismo de contato. Em (A): a olivina bastante fraturada que sobressai em uma matriz cinza constituída essencialmente de anfibólio (cinza a neutro, com fraco pleocroísmo) e olivina (incolor), nicóis cruzados; em (B): Detalhe em luz natural da ocorrência de espinélio verde e minerais opacos. (CMRR- 8a).

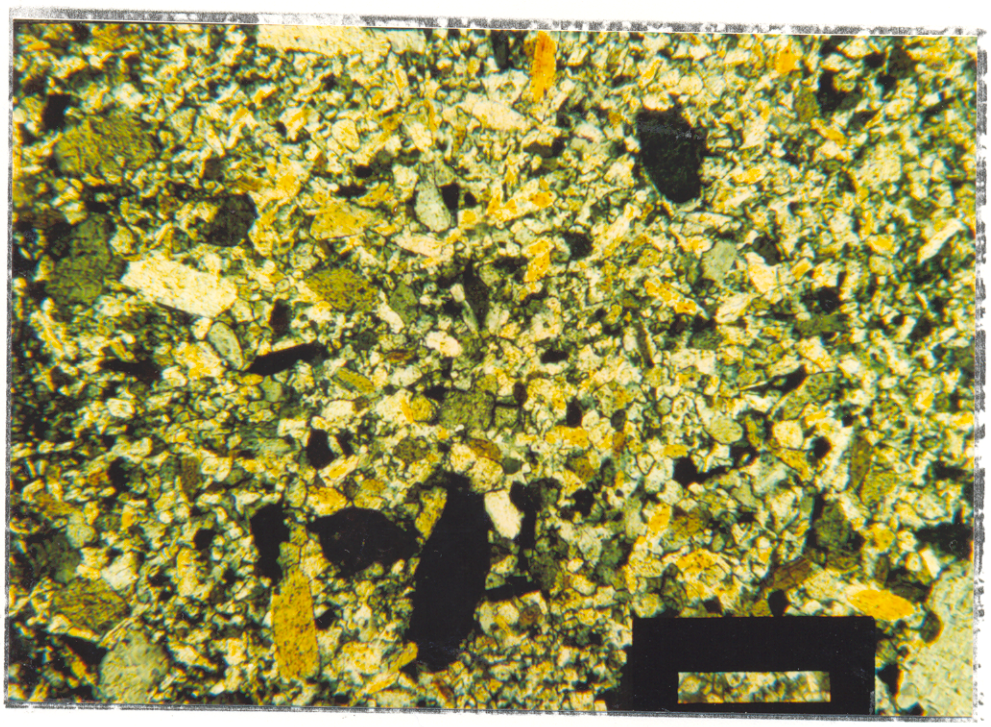


Figura 7 - Aspecto microtextural de rocha metaultramáfica do Supergrupo Andorinhas, mostrando a formação de um arranjo granoblástico poligonal entre os grãos minerais, onde predominam anfibólios cinza a incolor, olivina sub-euedral, com ocorrências localizadas de plagioclásio e flogopita. Nicóis cruzados (CMRR- 66b).

2.2.2 - Tonalito Arco Verde (TAV)

Esta unidade, foi anteriormente considerada como pertencente ao Complexo Xingu (SILVA et al., 1974; HUHN et al., 1988; SOUZA et al., 1990). Posteriormente foi desmembrada do mesmo e denominado como Metatonalito Gnáissico Arco Verde, nos arredores da vila de Marajoara (ALTHOFF et al., 1991). Em trabalhos posteriores, ALTHOFF et al. (1994) mostraram que o bandamento ocorrente no mesmo, é de orígem magmática e propuseram a denominação atual.

Nos domínios da área de trabalho, o Gnaisse Arco Verde tem ocorrência bastante limitada. Os únicos locais em que foi amostrado, restringem-se aos pontos CMRR-04 e CMRR-139 localizados a nordeste do Granito Musa e a sudoeste do Granito Jamon, mais precisamente a 5,5 km da PA-150, partindo da entrada para a Fazenda Célio em direção à Fazenda Bela Vista, margem esquerda (Anexo F). Essa ocorrência é importante, porque corresponde ao primeiro registro dessa unidade a norte da faixa do Supergrupo Andorinhas descrito no item precedente. A sul dessa mesma faixa tem-se a principal área de ocorrência do Tonalito Arco Verde, estudada em detalhe por ALTHOFF et al. (1991, 1994) e ALTHOFF (1996).

Sua melhor exposição ocorre em um afloramento em forma de lajeiro com dimensões de 2,5 m de altura por 6 m de comprimento (Figura 8). É constituido por uma rocha fina de cor cinza escuro com leves tons esbranquiçados. Uma foliação bem pronunciada e um fraco bandamento gnáissico se sobressaem. São comuns neste afloramento veios quartzo-feldspáticos centimétricos a métricos, dispondo-se paralelos a foliação do Tonalito Arco Verde ou cortando-a. Estes veios podem apresentar-se dobrados e normalmente exibem um fraturamento que geralmente parece não afetar a rocha hospedeira (Figuras 8 e 9). É importante ressaltar que a expressiva foliação do TAV localmente desenha dobras fechadas isoclinais (Figura 8).

Petrograficamente, o TAV apresenta uma acentuada homogeneidade composicional, predominando os termos tonalíticos, com raras variações para quartzo-diorito e diorito (ALTHOFF et al.,1991). São compostos essencialmente por plagioclásio (oligoclásio/andesina), quartzo, epídoto e biotita. Como acessórios ocorrem esfeno, zircão, apatitas, opacos, alanita e microclina. Clorita, carbonatos, óxidos de ferro e muscovitas, ocorrem como minerais secundários.

Apresenta textura equigranular média, variando de hipidiomórfica a alotriomórfica. O plagiocásio apresenta-se intensamente sericitizado, havendo em alguns casos obliteração das maclas originais. É comum apresentarem fraturas preenchidas por epídoto, biotita e titanita, e o encurvamento de suas maclas, na forma de *kinks*. O quartzo apresenta-se bastante recristalizado. A biotita registra bem a deformação que varia desde fraca deformada até muito intensa nos termos miloníticos. Quando a deformação é mais pronunciada, há uma alternância entre bandas máficas de

biotia+clorita+epídoto e félsicas com dominância de plagioclásio e quartzo (Figura 10). Em rochas menos deformadas o plagioclásio preserva o seu aspecto subidiomórfico e a textura ígnea ainda é nítida. O quartzo alterna grãos médios pouco recristalizados com outros recristalizados, formando um agregado de grãos finos (Figura 11).



Figura 8 - Afloramento do Tonalito Arco Verde exibindo um veio quartzo-feldspático métrico que forma uma dobra fechada (dobra em bainha). Localmente a foliação da rocha desenha dobras assimétricas e isoclinais.(CMRE - 139).



Figura 9 - Detalhe de um afloramento do Tonalito Arco Verde, que mostra foliação bastante pronunciada, e é cortado por veios quartzo-feldspáticos dobrados, ora concordantes com a foliação, ora cortando-a. Atentar para o detalhe das fraturas nos veios que aparentemente não penetram no Tonalito. (CMRE-139A).

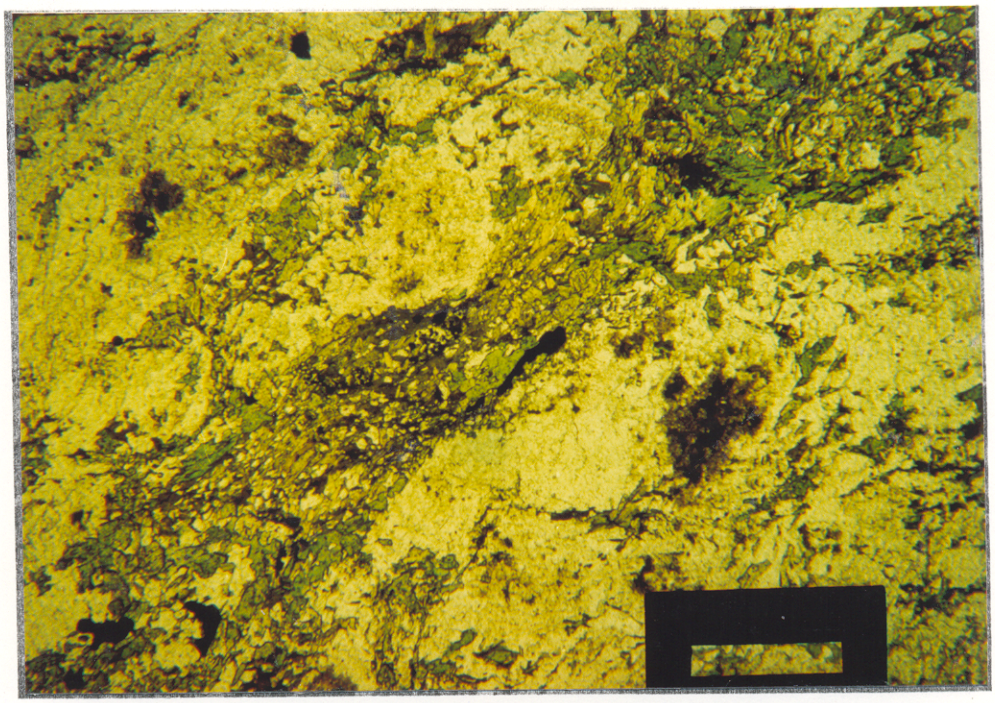


Figura 10- Fotomicrografia do Tonalito Arco Verde mostrando as suas porções mais deformadas, onde há uma alternância de bandas máficas (biotita+clorita+epídoto) com com porções mais félsicas, onde predomina o plagioclásio. Luz Natural (CMRR-4).

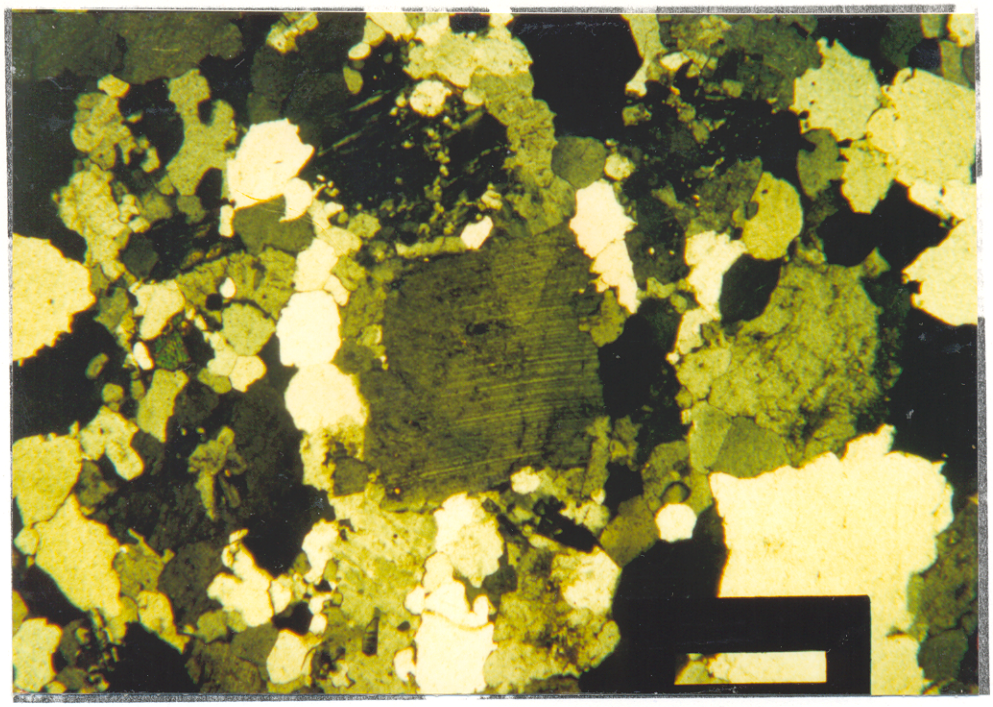


Figura 11- Fotomicrografia do Tonalito Arco Verde mostrando a textura ígnea parcialmente preservada com o plagioclásio subdiomórfico e o quartzo com graus variáveis de recristalização. Nicóis cruzados (CMRR-4).

2.2.3 - Granito Guarantã

Esta unidade foi caracterizada por ALTHOFF et al. (1991) na região de Marajoara, onde é cortada por veios decimétricos de microgranitos, granitos grossos e por anfibolitos. Ocorrem ainda de modo localizado associados a ela metabasaltos e blocos métricos de dioritos, não sendo observadas suas relações com o granito.

ALTHOFF et al. (1991) definiram esta unidade como um monzogranito grosseiro, equigranular ou porfirítico, constituido essencialmente de microclina (chegando a medir 7 cm), quartzo, oligoclásio e biotita, tendo como acessórios muscovita, apatita, zircão, allanita e opacos, e como minerais secundários clorita e carbonatos. A biotita ocorre amoldando-se aos fenocristais de microclina e mais raramente de plagioclásio. Os feldspatos mostram formas ocelares amendoadas, com ferindo um aspecto milonítico a rocha. A deformação é marcante sendo registrada ainda por grãos de quartzos *ribbon* envolvendo os fenocristais e pela ocorrência de termos ultramiloníticos.

O Granito Guarantã foi identificado na área mapeada a sudeste do granito Jamon, foi estudado apenas em afloramento situado a 2,3 km a nordeste da Fazenda Bela Vista, representado pelas amostras CMRE-146, CMRE-147, CMR-97, CMR-98 e CMR-99 (Anexo F).

Neste local o Granito Guarantã aflora em grandes blocos que chegam a alcançar 2 metros de altura (Figura 12), podendo ocorrer ainda em pequenos lajeiros em baixos topográficos e como blocos erráticos menores. É formado dominantemente por uma rocha grossa, leucocrática, fanerítica, porfirítica, de cor cinza esbranquiçado com uma tonalidade rosa que se destaca principalmente nas porções mais alteradas.

Nesta rocha sobressai o aspecto porfirítico revelado pela presença de fenocristais de feldspato potássicos que chegam a alcançar 1,5 cm de comprimento envoltos em uma matriz fina. Estes fenocristais, mostram formas ocelares que podem apresentar distribuição errática e uma fraca orientação, concentrando-se mais em algumas porções da rochas e conferindo à mesma um aspecto textural híbrido, com porções mais grosseiras contrastando com porções mais finas. Em outros locais estes mesmos fenocristais apresentam-se amendoados e bem mais estirados com uma foliação bem pronunciada e com uma orientação prefencial definindo uma lineação mineral e (Figura 13). Localmente ocelos de álcali-feldspato são bordejados por minerais máficos essencialmente a biotita chegando a esboçar uma foliação *SC*.



Figura 12 - Afloramento do Granito Guarantã, sob a forma de grandes blocos (CMRE-146).



Figura 13 - Detalhe de afloramento do Granito Guarantã, mostrando uma foliação bem pronunciada com os fenocristais de feldspato potássico ocelares, paralelos, e definindo uma lineação mineral expressiva indicada pela caneta. A ausência de grandes cristais de feldespato potássico evidência um estágio mais avançado de deformação.(CMR-98).

2.2.4 - Granodiorito Rio Maria

2.2.4.1-Introdução

Esta unidade, reconhecida e mapeada originalmente pela equipe da DOCEGEO, já foi estudada e caracterizada por diversos autores. Foi discutida preliminarmente por DALL'AGNOL *et al.* (1986), e definida como unidade litoestratigráfica por MEDEIROS *et al.* (1987), que deteram-se principalmente ao estudo de sua porção leste, no que tange a aspectos geológicos e petrográficos. HUNN *et al.* (1988); MEDEIROS & DALL'AGNOL (1988); MAGALHÃES & DALL'AGNOL (1992), entre outros, ampliaram e aprimoraram os estudos a respeito do mesmo.

Tendo em vista os objetivos deste trabalho, achou-se conveniente dividir o Granodiorito Rio Maria em três domínios distintos, com base principalmente em aspectos texturais e/ou mineralógicos relacionados com a proximidade ou afastamento do GDrm das zonas de contato com diques ou com os granitos anorogênicos. Os domínios foram assim denominados: a- **Granodiorito Rio Maria sem efeitos claramente identificados** - incluem-se neste domínio todas as ocorrências das diversas fácies descritas por Medeiros que localizam-se fora da zona de contato com os granitos e/ou diques; b- **Granodiorito Rio Maria com efeitos de contato relacionados as intrusões dos granitos Musa e Jamon** - Neste domínio, serão abordados os efeitos apresentados pelo granodiorito nas zona de contato com os granitos mensionados; c- **Granodiorito Rio Maria com efeito de contato causado por diques intermediários ou básicos** - neste domínio serão discutidas as feições observadas nas proximidades ou nas zonas de contato com os diques mais espessos ocorrentes na área em questão. Os três domínios do Granodiorito Rio Maria, podem ser visualizados na Figura 4. O domínio c, só foi definido e estudado com mais rigor nas zonas de contato de um dique diorítico, aflorante na estrada que liga a PA- 150 ao Babaçu. Entretanto, também em torno de outros diques constatou-se a ocorrência de efeitos de contato. O domínio b, corresponde a auréola de metamorfismo de contato circundando os granitos Jamon a NW , W e SW e o Granito Musa a NE, N e NW. Finalmente, o domínio a abrange o restante da área aflorante do Granodiorito Rio Maria.

2.2.4.2 - Domínio do Granodiorito Rio Maria Sem Efeitos de Contatos Claramente Identificados

Este domínio do Granodiorito Rio Maria (GDrm) cobre as suas áreas de ocorrência mais distantes dos contatos com os granitos e diques. O perfil mais representativo do mesmo encontra-se ao longo da rodovia PA-150, no trecho a Sul de Rio Maria compreendido entre o contato do granodiorito com o Supergrupo Andorinhas e a entrada da Fazenda Cristina (pedreira abandonada da BRILASA). Tem-se ainda boas exposições do granodiorito sem efeitos de contato no perfil da estrada vicimal que liga a rodovia PA-150 com a localidade BANACH, mais precisamente no trecho compreendido entre a Fazenda Carioca e a Pedreira Marajoara (possivelmente sua melhor exposição na área) (Anexo F).

É expressivo na área a densidade de afloramentos. Eles ocorrem na forma de blocos e matacões, chegando a alcançar mais de 5 m de altura (Figura 14). No entanto, os mesmos não se distribuem de forma regular, havendo áreas com alta densidade de afloramentos, que contrastam fortemente com porções geralmente mais arrasadas, formando baixões, onde os afloramentos são de menor expressão e escassos.

O granodiorito apresenta uma foliação orientada na direção WNW-ESE, com mergulhos subverticais, evidenciada pelos minerais ferromagnesianos, principalmente a biotita (MEDEIROS, 1987). A foliação é pouco penetrativa e nos afloramentos estudados predomina o caráter isotrópico, embora não sejam raras amostras com foliação insipiente. Apenas localmente a foliação torna-se bastante expressiva. Posteriormente ao evento deformacional que originou a foliação, o granodiorito foi afetado por fraturamentos nas direções NW-SE, N-S e NE-SW, que atingiram também os granitos Musa e Jamon.

A fácies dominante do granodiorito é uma rocha fanerítica de granulação média a grossa, equigranular ou localmente porfirítica (fenocristais de plagioclásio e fedspato potássico com até 3cm) (Figura 15), apresentando de modo localizado mas não muito esporádico, concentrações de minerais máficos. O aspecto macroscópico mais marcante é a sua cor cinza esverdeada devido á *saussuritização* do plagioclásio, também é expressiva ocorrência de veios de epidoto preenchendo pequenas fraturas não penetrativas ao longo da rocha. A coloração do granodiorito é bastante importante, pois a delimitação da auréola de contato pode ser feita em grande parte com base no fato de que, na zona do contato, o ton esverdeado desaparece ou diminui nitidamente de intensidade.

Nos contatos com os granitos Musa e Jamon, constata-se o truncamento da foliação e há enclaves do granodiorito nos granitos, que denotam irrefutavelmente o caráter intrusivo dos últimos. As intrusões dos granitos anorogênicos, geraram auréolas de metamorfismo termal, com modificações significativas nas texturas originais, mas via de regra, sem afetar as paragêneses minerais. MEDEIROS (1987) sugere que em alguns locais, pode ter havido um

enrriquecimento de feldspato potássico no granodiorito, traduzindo um processo de feldspatização no estado sólido, que poderia ser explicado por ações de soluções em equilíbrio com os magmas dos granos Jamon e Musa no final da cristalização (Luth & Tuttle apud MEDEIROS, 1987).

Ao longo dos perfis realizados não foram observadas variações laterais muito marcantes no granodiorito. Entretanto, nota-se que em alguns pontos e mais particularmente no centro da área mapeada, que o granodiorito torna-se mais leucocrático e mostra ligeira diminuição na granulação assumindo uma composição monzogranítica. (Figura 16). Nessas áreas, o caráter isotrópico é marcante.

Petrograficamente, o granodiorito é bastante homogêneo, havendo uma predominância de biotita-hornblenda-granodioritos variando localmente para biotita-granodioritos ou para termos de composição monzogranítica (MEDEIROS, 1987).

Um aspecto marcante é a expressiva ocorrência de enclaves máficos os quais apresentam ampla distribuição espacial no granodiorito, porém com uma maior concentração nas bordas do corpo. Estes enclaves, apresentam diferentes formas e tamanhos, predominando enclaves irregulares, emboram ocorram também arredondos e alongados (Figura 17). Via de regra, estes enclaves dispõem-se paralelamente à foliação do granodiorito, entretanto podem ocorrer truncado-a. A assimilação dos enclaves por parte do granodiorito é variável, ocorrendo desde enclaves angulosos e parcialmente assimilados, até outros amplamente assimilados e de contatos difusos. Ocorrem ainda com muito menos freqüência, enclaves leucograníticos bastante assimilados. (Figuras 16 e 18).



Figura 14- Afloramento do Granodiorito Rio Maria em grandes blocos que alcançam alturas consideráveis (CMR-101)



Figura 15 - Afloramento em blocos do granodiorito Rio Maria mostrando aspecto isotrópico e textura equigranular média, bem como o desenvolvimento local de fenocristais de feldspato potássico e pequenas concentrações de minerais máficos.(CMR- 39).



Figura 16 - Afloramento do fácies monzogranítico do Granodiorito Rio Maria, mostrando caráter isotrópico e textura equigranular média, com uma coloração mais clara. Notar a presença de enclave anguloso leucogranítico. (CMRR-79, Pedreira da Brilasa).



Figura 17 - Detalhe do granodioito Rio Maria, mostrando a ocorrência de um enclave máfico arredondado, com contatos bem nítidos com o granodiorito. Neste enclave há a ocorrência de fenocristais feldspato potássico semelhantes aos do granodiorito (CMRR 42-A)



Figura 18- Granodiorito mostrando aspecto isotrópico, englobando um enclave de lecomicrogranito, com contorno irregular e parcialmente digerido (CMRR-79 - Pedreira BRILASA)

2.2.4.3- Domínio do GDrm com efeitos de Contato causados pelas intrusões dos granitos Jamon e Musa

Conforme assinalado na metodologia, para estudar os efeitos de metamorfismo de contato, optou-se por coletar amostras ao longo de perfis perpendiculares ao contato das intrusões graníticas. Enfrentou-se, porém, limitações devidas às dificuldades de acessos em muitas áreas, bem como pelo fato dos perfis de amostragem não poderem apresentar um espaçamento regular em razão das descontinuidades dos afloramentos. Em razão disso, os dois perfis mais importantes para o presente trabalho foram realizados nos contatos do granito Musa situados ao longo da PA-150, a norte do mesmo, e na estrada que liga a PA-150 com a localidade de Banach, a NW (Anexo F). Um detalhamento da amostragem desses dois perfis é fornecido na (Figura 19 a e b). A distância entre os pontos de amostragem foram controladas com trena e odômetro, mas admite-se erros de 10 a 20 % nas distâncias do contato definidas em cada ponto. Um outro perfil importante foi realizado próximo a borda W do granito Jamon (Anexo F). As amostras aí coletadas atestam claramente os efeitos de contato, porém, como o perfil é aproximadamente paralelo ao mesmo, não se prestam a um estudo das variações ocorridas com o aumento da distância do contato.

Informações complementares sobre esse domínio, foram obtidas na amostragem efetuada por MEDEIROS (1987), nos dados de suscetibilidade magnética correspondentes (MAGALHÃES & DALL'AGNOL 1991) e em amostras esparsas coletadas em outros pontos (Anexo F).

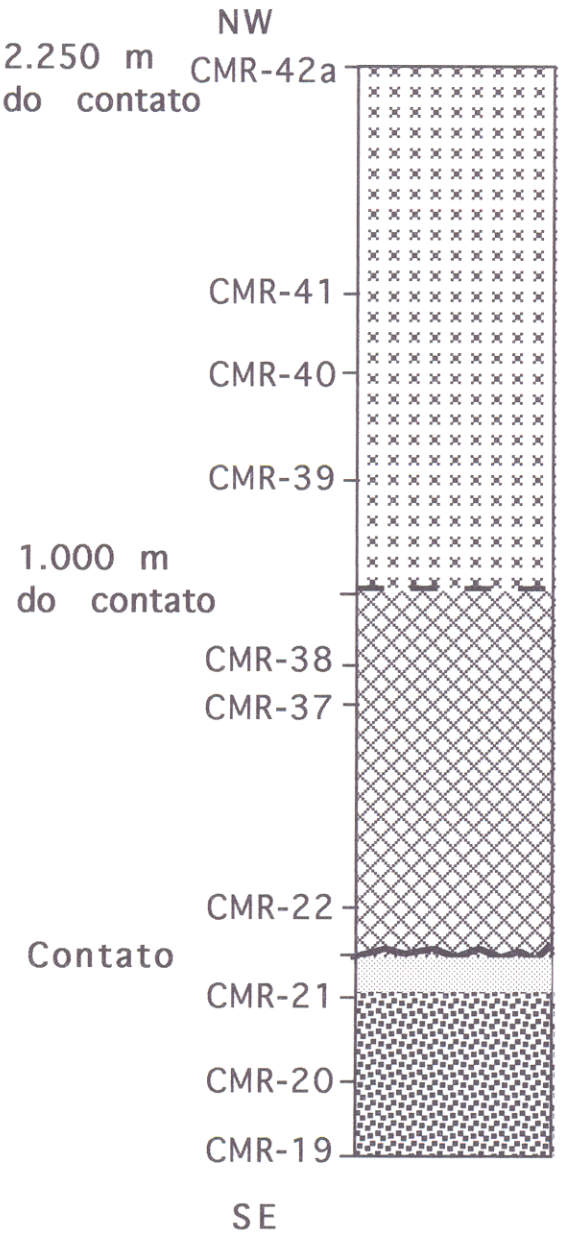
Nesse domínio o granodiorito adquire uma coloração rosada que contrasta fortemente com seu aspecto esverdeado característico. Acredita-se como será demonstrado adiante, que esta modificação seja função principalmente da recristalização do plagioclásio, embora um ligeiro aumento do conteúdo de feldspato potássico, de carater localizado, possa ser importante, conforme já sugerido por MEDEIROS (1987). Nesta região observa-se uma foliação mais pronunciada no GDrm, além de um ligeiro aumento da granulação, bem como paralelização de enclaves que acompanham a foliação da rocha. (Figura 20).

Na região de contato com o Granito Musa, as transformações são mais evidentes e marcada pela ocorrência freqüênte de enclaves do granodiorito no granito. Estes enclaves são angulosos e mostram uma foliação proeminente que é truncada pelo granito. Pela sua forma podem ser enquadrados na definição de enclaves epixenolíticos de WERNICK (1983), pois, além da angulosidade, dificilmente apresentam sinais de corrosão (Figuras 21, 22, 23, 24 A e B). Segundo o mesmo autor isso evidência que a colocação do magma se deu em um nível crustal em que o estado da encaixante era fragil, isso é coerente com o contraste de idade entre os dois corpos e reforça que quando o granito foi colocado o granodiorito já estava totalmente frio. Isso também é evidenciado pela ocorrência de uma pequena borda de resfriamento no granito em

contato com o enclave (MARRE 1982). Também foram observados injeções do granito no enclave granodiorítico, mais ou menos paralelas à foliação do mesmo.

Os enclaves de granodiorito, também apresentam por sua vez enclaves de rochas básicas, pouco ou intensamente assimilados, de formas arredondadas ou elípiticas, por vêzes alongados paralemente a direção do fluxo magmático durante a colocação do granodiorito. Isto indica que o magma granodiorítico em sua ascensão atravessou níveis crustais em que o estado do material era mais dúctil (WERNICK, 1983). Para MARRE (1982), os enclaves de rochas ígneas alongados em um "magmatito", devem ser considerados como rochas deformadas que ilustram a deformação de sua encaixante.

As transformações observadas na zona de contato do Granodiorito Rio Maria com o Granito Jamon, são mais discretas. Os enclaves, que delineavam tão bem a zona anterior, desta feita tornam-se ausentes, possivelmente porque apenas em poucos locais foi examinado o contato entre as duas unidades. Foram registradas, porém, injeções de material granítico no granodiorito em forma de vênulas de plagioclásio e feldspato potássico que dispõem-se de modo sub-paralelo, contrastam com a cor do granodiorito e formam um pseudo bandamento, semelhantes a estruturas de fluxo magmático.



CMR-42a: Bt-hb granodiorito cinza esverdeado, fanerítico, equigranular, médio, pouco foliado.

CMR-41: Bt-hb granodiorito cinza esverdeado, similar ao CMR-42a.

CMR-40: Bt-hb granodiorito rico em epídoto, de granulação um pouco mais grossa e mais rico em máficos que CMR-41 e 42.

CMR-39: Bt-hb granodiorito cinza esverdeado, fanerítico, equigranular, similar ao CMR-40.

CMR-38: Granodiorito cinza com tonalidade esverdeada menos marcante; cristais de feldspatos são localmente mais desenvolvidos; inúmeras vênulas de epídoto cortam a rocha, que sofreu um hidrotermalismo intenso.

CMR-37: Hb-Bt granodiorito cinza levemente rosado, com granulação média a fina.

CMR-22: Bt-hb granodiorito cinza levemente rosado, equigranular médio, com maior conteúdo de máficos que a CMR-37.

CMR-21: Hb-Bt sienogranito (Gr. Musa), heterogranular médio a grosso associado a microgranito, que localmente chega a ser dominante.

CMR-20: Sienogranito heterogranular (Gr. Musa) com microgranito associado.

CMR-19: Bt - sienogranito róseo, heterogranular médio a grosso (Gr. Musa).

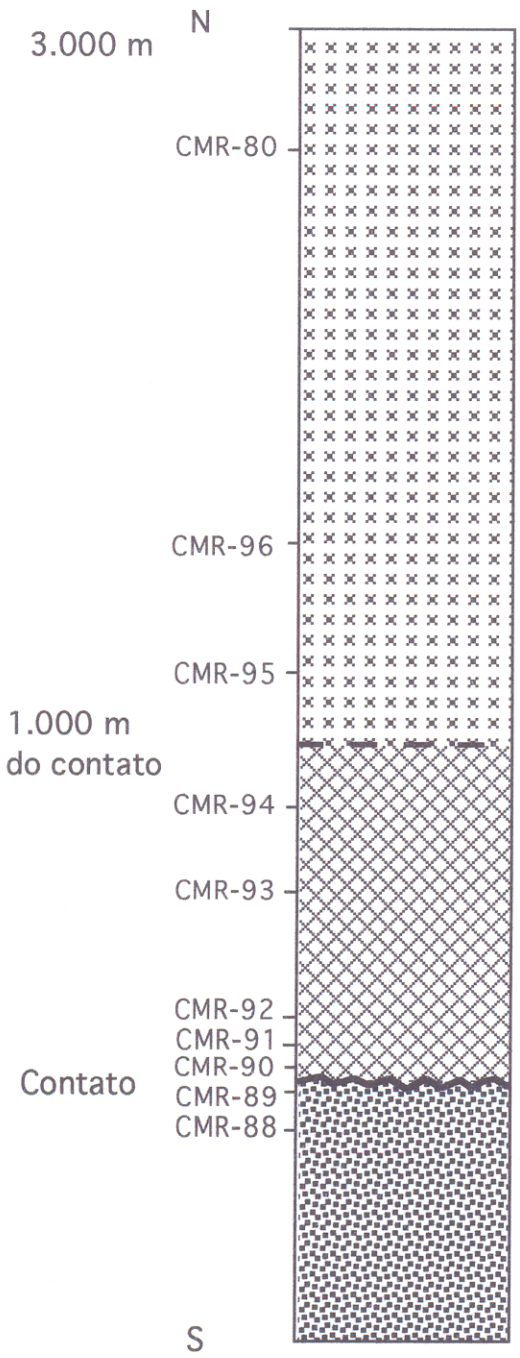
Granodiorito Rio Maria

Granodiorito Rio Maria afetado pelo metamorfismo de contato

Hb - Bt sienogranito com microgranito associado (Gr. Musa)

Bt sienogranito (Gr. Musa)

Figura 19a - Perfil esquemático do contato do Granito Musa com o Granodiorito Rio Maria, na estrada que liga a rodovia PA-150 com a localidade Banach.



CMR-80: Hb-Bt granodiorito, cinza, fortemente esverdeado, fanerítico e equigranular.

CMR-96: Hb-Bt granodiorito, cinza esverdeado, fanerítico, equigranular, semelhante a CMR-80.

CMR-95: Hb-Bt granodiorito, cinza esverdeado, porém, começando a apresentar tons rosados.

CMR-94: Granodiorito cinza a levemente rosado.

CMR-93: Hb-Bt granodiorito, cinza rosado, fanerítico e equigranular.

CMR-92: - Bt-Hb-granodiorito, cinza, fortemente rosado, equigranular, m'edio.

CMR-91: Hb-Bt granodiorito cinza, com tonalidade rosada mais acentuada, equigranular, com desenvolvimento de cristais maiores de feldspatos.

CMR-90: Hb-Bt granodiorito, cinza rosado, heterogranular, médio a fino, similar a CMR-91.

CMR-89: Sienogranito (Gr. Musa), pobre em máficos, heterogranular, médio a grosso.

CMR-88: - Sienogranito similar ao CMR-89, com enclaves de microgranitos.

Granodiorito Rio Maria

Granodiorito Rio Maria afetado pelo metamorfismo de contato

Bt sienogranito (Gr. Musa)

Figura 19b - Perfil esquemático do contato do Granito Musa com o Granodiorito Rio Maria, na rodovia PA-150.



Figura 20 - Afloramento do Granodiorito Rio Maria na zona de contato com o granito Musa. Os enclaves são alongados e paralelos e o granodiorito exibe uma incipiente foliação paralela ao alongamento dos enclaves. Atentar para a coloração avermelhada do Gdrm que contrasta fortemente com a tonalidade verde característica do mesmo. (CMRR-22).



Figura 21 - Aspecto de um enclave granodiorítico englobado pelo granito Musa, denotando-se o contato abrupto entre ambos e a presença de enclaves básicos, parcialmentes assimilados pelo enclave granodiorítico (CMRR-33).



Figura 22 - Afloramento da zona de contato do granodiorito Rio Maria com o Granito Musa. O granodiorito ocorre na forma de enclave anguloso, pouco assimilado e nota-se uma fina borda de resfriamento no granito Musa (CMRR-33).



Figura 23 - Afloramento da zona de contato do granodiorito Rio Maria com o Granito Musa. Nota-se um enclave de forma angulosa do GDrm englobado pelo granito Musa, não havendo evidências de assimilação, mas apenas uma fina borda de resfriamento(CMRR-33a).



(A)



(B)

Figura 24- A- fácies de borda do Granito Musa engoblando enclave de dimensões métricas do Gdrm, anguloso e com foliação pronunciada. Dentro deste enclave ocorrem finas injeções do granito e pequenos enclaves máficos arredondados e bastante assimilados. B- detalhe da foto anterior mostrando o contato retilíneo entre o enclave e o granito e, ainda, um pequeno enclave dissociado do granodiorito, bastante assimilado, de forma achatada disposto paralelo ao contato. Este é marcado também por uma mudança de granulação no granito(CMR-33).

2.2.4.4 - Domínio do Granodiorito Rio Maria Com Efeitos de Contato Causados por Diques Intermediários ou Básicos

Na região de Rio Maria, ocorrem diversos diques félsicos à máficos, que cortam o Granodiorito Rio Maria, as sequências metavulcânicas sedimentares e alguns inclusive os granitos anorogênicos, como é o caso do Granito Musa. (MEDEIROS, 1987; GASTAL, 1987).

Os diques intrusivos no Granodiorito Rio Maria ocorrem praticamente em toda a porção leste do batólito (Figura 4), (MEDEIROS, 1987). Os mesmos chegam a alcançar três quilômetros em sua maior extensão e uma espessura máxima de 20 metros. Apresentam contatos bruscos com as encaixantes e, segundo o autor supracitado, são desprovidos de estruturas planares.

MEDEIROS (1987) reconheceu, em um estudo preliminar, quatro variedades de rochas que compunham esses diques: microdioritos pórfiros, tipo predominante, microdioritos, quartzo-microdioritos e granitos pórfiros. GASTAL(1987, 1988), descreveu na porção leste do maciço Musa dacitos e granitos pórfiros, mostrou que os mesmos possuiam afinidades com as rochas do maciço devendo serem relacionadas a evolução do mesmo. Em trabalho recente, SILVA JR. et al. (1996) baseados em estudos petrográficos e geoquímica, identificaram cinco grupos de rochas nesses diques: diabásios, dioritos, quartzo- dioritos, dacitos e riolitos. Eles indicaram ainda que, além da direção NW-SE dominante, os mesmos se alinham segundo NE-SW, E-W e N-NE.

A colocação destes diques no Granodiorito Rio Maria, ocasionou a formação de pequenas auréolas onde o granodiorito perde a sua coloração cinza esverdeada característica e adquire uma tonalidade mais avermelhada, ou torna-se esbranquiçado. Em vários diques foi feita a constatação deste efeito, entretanto eles são mais perceptíveis em um dique de aproximadamente três quilômetros de comprimento com largura de 20m, dispostos na direção 310AZ, que aflora a Sul da cidade de Rio Maria, no corte da a rodovia PA-150 e se prolonga para SE subparalelamente a estrada do Babaçu (Anexo F).

Vários perfis perpendiculares à direção do dique foram executados, na tentativa de se delimitar as auréolas de metamorfismo de contato, entretanto, isto foi dificultado pela inexistência de afloramentos contínuos que explicitassem os contatos. Apesar de não ter sido delimitado continuamente a auréola, em vários pontos constatou-se as transformações ocorridas pelo granodiorito em virtude da colocação dos mesmos, inclusive pode-se verificar o contato direto em blocos soltos (Figura 25).

Constatou-se ainda que este dique diorítico, está encaixado em um fácies monzogranítico do Granodiorito Rio Maria de cor cinza esverdeado com textura fanerítica, equigranular média, e um pouco mais leucocrática que o granodiorito típico. O contato entre o

dique e o granodiorito é brusco, e é impresso no granodiorito modificações que são traduzidas em uma gritante mudança de coloração, que faz com que o mesmo passe de um cinza esverdeado a um cinza avermalhado, com ligeira diminuição na granulação, embora sobressaiam-se alguns fenocristais de feldspato potássico. Estas modificações texturais, são traduzidas microscópicamente em um intercrescimento de quartzo e feldspato potássico, dando um aspecto granofírico nas juntas dos grãos, interpretados como um início de fusão das encaixantes, ou recristalização no estado sólido (detalhado melhor no ítem referente à petrografia).

SILVA JÚNIOR (1996), mostra que este dique de riolito, apresenta uma diminuição na granulação em direção as bordas, culminando geralmente com a ocorrência de rochas afaníticas, formando borda de resfriamento. Constatou ainda, que próximo as bordas do mesmo ocorrem encraves do granodiorito e amígdalas preenchidas por material quartzo feldspático. A forma angulosa dos enclaves evidenciam o contraste térmico e de viscoside com a encaixante. Estima ainda em figura esquemática, em face as dificuldades já mensionadas, uma auréola de metamorfismo de contato causada pela colocação do mesmo no Granodiorito Rio Maria, Cuja a espessura varia entre 2 e 5 metros aproximadamente (Figura 26), valor esse bastante coerente com as observações do presente trabalho.



Figura 25 - Bloco mostrando contato abrupto entre um dique intermediário e a fácies monzogranítica do Granodiorito Rio Maria.Os efeitos térmicos são evidenciados pela coloração avermelhada do GDrm ,estrada do Babaçu, vicinal da PA-150 (CMRE-150).

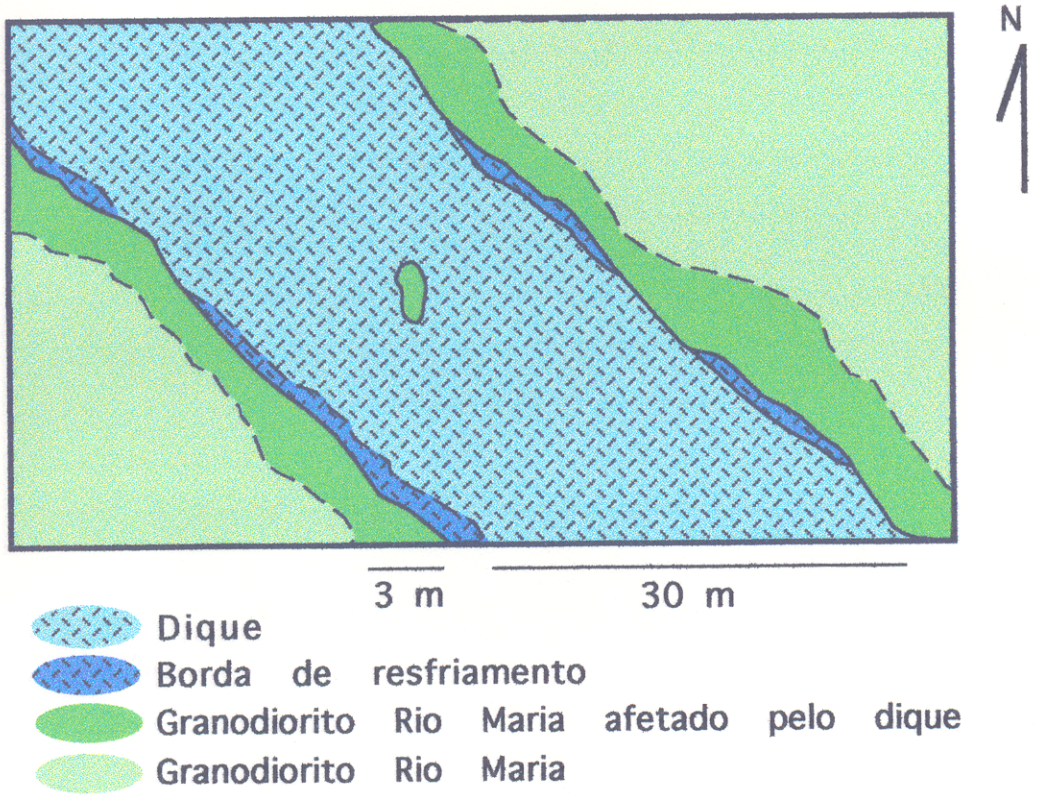


Figura 26 - Síntese esquemática das relações de contato do dique com o Granodiorito Rio Maria (Fonte: SILVA Jr., 1996).

2.2.5 - Granitos Anorogênicos

2.2.5.1 - Introdução

Dois corpos graníticos, os maciços Jamon e Musa, de características bastantes similares ocorrem na área e são de fundamental importância para o desenvolvimento deste trabalho, visto que os mesmos funcionaram como principais agentes térmicos geraram os fluxos de calor e ocasionaram importantes modificações nas encaixantes, entre elas o Granodiorito Rio Maria.

2.2.5.2 - Granito Jamon

O maciço Jamon (Figura 4) é intrusivo no Granodiorito Rio Maria (MEDEIROS, 1987), no Grupo Lagoa Seca (CORDEIRO *et al,* 1982; DALL'AGNOL *et al,* 1985), em outras sequências do Supergrupo Andorinhas e no TAV (MEDEIROS, *et al,* 1987; ALTHOFT *et al,* 1991). Foi caracterizado como um corpo bastante homogêneo no aspecto composicional, sempre mozogranítico, porém com quatro fácies texturais: GE (granito equigranular médio), GH (granito heterogranular médio à fino), MG (microgranito) e GAL (granito alasquítico) (DALL'AGNOL, 1980, 1982b).

As fácies distribuem-se no corpo, da borda para o centro, no sentido GE-GH-MG, com passagens graduais entre si. São constituídas por quartzo, plagioclásio e K-feldspatos (cada um perfazendo em torno de 30% do total da rocha), biotita ± anfibólio; os acessórios são opacos, titanita, apatita, zircão e allanita e os secundários epidoto, fluorita, clorita, sericita (às vezes muscovita), argilominerais e hidróxido de ferro (DALL´AGNOL 1980, 1982b).

Dentre as amostras estudadas no presente trabalho há um predomínio da fácies heterogranular e equigranular média , sendo comum, de modo localizado, o desenvolvimento de fenocristais de feldspato potássico e plagioclásio que podem dar à rocha um aspecto porfirítico. A rocha predominante tem uma cor cinza-rosado e granulação média. Concentrações de minerais máficos são comuns. É igualmente expressiva a ocorrência de enclaves, de tamanhos e formas variáveis, predominando aqueles com formas angulosas, geralmente de um material básico e com diferentes graus de assimilação. Estes enclaves podem exibir um aspecto maciço (Figura 27) ou uma expressiva foliação (Figura 28) assemelhando-se os ultimos macroscópicamente a formação ferríferas, se bem que não exibam propriedades magnéticas.

Enclaves maiores, podem as vezes, exibir planos de clivagem onde é notada a injeção de material granítico, ocorrendo uma fraca assimilação dos mesmos. Observou-se, ainda, de modo bastante localizado a presença no granito de porções grosseiras, pegmatóides formadas

por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico e placas de biotita. Ocorrendo sob a forma de bolsões irregulares que são preenchidos ainda por um mineral escuro, de hábito botrroidal possivelmente óxido de manganês (Figura 29).

Além das rochas descritas, são muito freqüentes nos afloramentos estudados do Granito Jamon uma fácies microgranítica que ocorre tanto em veios aplíticos cortando as outras fácies (Figuras 30 e 31), como formando enclaves angulosos. É uma rocha de cor rosa com pórfiros esparsos de quartzo azulado e feldspato potássico, pobre em minerais máficos. A melhor exposição dos microgranitos situa-se em uma zona de borda do corpo (CMRE - 143), na qual os mesmos apresentam um padrão de fraturamento escalonado muito proeminente evidenciando assim um comportamento rúptil (Figuras 32A e 32B).



Figura 27 - Aspecto de uma fácies grosseira do granito Jamon, englobando um enclave de rocha máfica de forma alongada e com bordas parcialmente digeridas pela rocha hospedeira (Fazenda Bela Vista). CMRR-17.



Figura 28 - Detalhe de uma fácies grosseira equigranular do Granito Jamon, englobando um enclave máfico com uma expressiva foliação perpendicular à direção da caneta (Fazenda Bela Vista). CMRR-17.



Figura 29 - Detalhe do Granito Jamon mostrando uma fácies grosseira, apresentando bolsões pegmatóides formado por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico e placas de biotita.(CMRR-17).



Figura 30 - Aspecto do Granito Jamon, destacando-se a sua cor cinza rosado característica, onde tem-se níveis mais finos de microgranitos cortando a fácies equigranular média (CMR - 77).



Figura 31- Veio aplítico cortando a fácies heterogranular médio a fino do Granito Jamon exibindo um comportamento rúptil, CMRR-18.



Figura 32 A- Afloramento em zona de borda do Granito Jamon, observando-se um microgranito, com fraturas escalonadas em contato através de uma zona mais deformada com granito grosseiro. (CMRE-143).



Figra 32 B- Afloramento do microgranito do maciço Jamon, mostrando fraturamento escalonado. (CMRE-142).

2.2.5.3.Granito Musa

O maciço granítico Musa é intrusivo no Granodiorito Rio Maria, no TAV e nas sequências *greenstones* (Pedra Preta e aquela aflorante a NE do corpo). No caso da sequência Pedra Preta (GASTAL,1987), os contatos são bruscos e marcados por fraturas, pela penetração de diques microsienograníticos ou por enclaves. O contato com o Granodiorito Rio Maria é marcado por enclaves angulosos de dimensões centimétricas até métricas (2m no maior comprimento), enclaves esses que evidenciam o contato brusco desta intrusão, inclusive com o truncamento da foliação do granodiorito (Figura 33) .

GASTAL, (1987) dividiu o Granito Musa em duas fácies petrográficas principais (monzo e sienogranitos), subdivididas em subfácies com base em variações texturais e mineralógicas. Os monzogranitos dividem-se em: BAM, ABM e LM (biotita-anfibólio, anfibólio-biotita e leuco-monzogranitos, respectivamente); os sienogranitos dividem-se, por sua vez em: ABS, LS, MCS (anfibólio-biotita, leuco e micro-sienogranitos respectivamente). As paragêneses das diferentes fácies são representadas por quartzo, microclína e plagioclásio (em proporções variadas), biotita e anfibólio, e, como acessórios, zircão, titanita, opacos, apatita e allanita. Os minerais secundários são idênticos aos do Granito Jamon anteriormente citados (descrição detalhada em GASTAL, 1987).

Nas porções estudadas do granítio Musa tem-se a dominância de duas fácies principais, que foram subdividas com base em variações mineralógicas e feições texturais. A primeira é um monzogranito equigranular médio, com abundantes enclaves de composição granodiorítica a diorítica que assemelha-se com o granito equigranular do maciço Jamon. A segunda fácies é um biotita-granito grosseiro, equigranular, localmente porfirítica, amplamente distribuído no corpo e normalmente ocupando as porções de relevo positivo. Ocorrem ainda aplitos e microgranitos com distribuição irregular no corpo (GASTAL, 1987).

Nas amostras estudadas, foi verificada a predominância de biotita granito grosso de cor cinza rosado, as vezes avermelhado , predominantemente equigranular, embora localmente cristais de feldspato destaquem-se da matriz, atingindo até 2,0 cm e conferindo à rocha um aspecto porfirítico. Neste caso ocorrem ainda, localmente, o desenvolvimento de feições *rapakivíticas* ou orientação dos fenocristais segundo uma direção preferencial denotando assim uma estrutura de fluxo. Nesta fácies foi verificada a ocorrência de enclaves, geralmente básicos, de forma arredondadas, e, via de regra parcialmente assimilados. Também ocorrem, no entanto, enclaves angulosos, pouco assimilados, com foliação proeminente, fortemente magnéticos, semelhantes a formação ferríferas.

Verificou-se, ainda, a ocorrência da fácies monzogranito equigranular médio de cor rosa, bastante homogênea texturalmente, ocorrendo de modo localizado associados ao mesmo

porções mais finas, que não tem um padrão regular de distribuição. Estas porções podem se apresentar como pequenos enclaves, parcialmente digeridos assimilados pelo granito (Figura 34). É possível, que estas porções microgranítica sejam pertencentes a uma fácies de borda similar a que se verificou no Granito Jamon. No perfil detalhado (Figura 19a) a NW do granito Musa, exatamente no limite do corpo granítico, tem-se aocorrência de rochas com granulação grossa e porções microgranítica associadas e bem na borda do corpo tem-se apenas microgranitos (CMRR-20 e CMRR-21). Estes microgranitos formam, ainda veios de dimensões métricas que penetram no Granodiorito Rio Maria, nas proximidades do contato (Figura 35).



Figura 33- Afloramento mostrando e enclave do Granodiorito Rio Maria englobado pelo Granito Musa, mostrando forma angulosa e truncamento da foliação. (CMR- 33).



Figura 34 - Fácies equigranular médio do granito Musa englobando presença de um enclave anguloso microgranítico, parcialmente assimilado (CMR - 88).



Figura 35 - Veio microgranítico de 6 m de comprimento por 15,cm de largura encaixado no Granodiorito Rio Maria nas proximidades do seu contato com o Granito Musa (CMR-90).

3- PETROGRAFIA

3.1- INTRODUÇÃO

O estudo petrográfico foi iniciado pelo exame macroscópico sistemático das 250 amostras coletadas, procurando confirmar e detalhar as modificações observadas no campo e discutidas no capítulo anterior. Procurou-se nesse estágio definir com mais precisão os três domínios de ocorrência do Granodiorito Rio Maria e selecionar com base neles e no interesse das amostras para o estudo das transformações, relacionadas ao metamorfismo de contato, aquelas que seriam laminadas. Foram a seguir, realizados estudos com microscópio ótico de luz polarizada em 100 lâminas delgadas. Neste estudo, enfatizou-se a análise textural visando caracterizar não só a natureza, mas também o modo de ocorrência, a forma dos minerais e a relação entre os mesmos. Buscou-se assim identificar posssíveis minerais e texturas relacionados aos efeitos de contato. Como seria lógico esperar, constatou-se variações significativas nas amostras do Granodiorito Rio Maria coletadas a diferentes distâncias dos granitos Musa e Jamon. Nesse sentido, o estudo das amostras proveniente dos perfis perpendiculares ao contato, foram fundamentais por permitirem uma avaliação mais clara desses efeitos.

3.2 - ANÁLISES MODAIS

MEDEIROS (1987) apresenta um estudo expressivo de composições modais do GDrm na região estudada e as composições modais médias das suas principais fácies foram fornecidas por MEDEIROS & DALL'AGNOL (1988). Porém, como nesses trabalhos não foram consideradas possíveis variações composicionais relacionadas ao metamorfismo de contato, procurou-se avaliar isso analisando modalmente amostras representativas dos três domínios do GDrm descritos anteriormente. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2, e foram plotados no diagrama Q-A-P, juntamente com o campo definido pelas amostras estudadas por MEDEIROS (1987) (Figura 36). Constatou-se que o conjunto de amostras analisadas dos três domínios situa-se nesse campo, indicando que não houve variações composicionais marcantes em termos dos constituintes félsicos. As amostras proveniente dos contatos com os diques são aparentemente mais ricas em feldspato alcalino, mas isso deve-se a ocorrência nessa área da fácies monzogranítica do GDrm e não reflete efeitos de contato. As modas das amostras provenientes do domínio de contato com os granitos Jamon e Musa sugerem um ligeiro enriquecimento em feldspato alcalino, mas uma das amostras foge desse padrão (Tabela 2, Figura 36). Em relação aos constituintes máficos, há, no entanto, algumas diferenças significativas entre as rochas afetadas

pelos granitos e as demais (Tabela 2). Os conteúdos médios de anfibólio e biotita são mais elevados e os de opacos muitísssimo mais que nas rochas do primeiro domínio. Isso se dá paralelamente ao decréscimo marcante nas suas proporções de epídoto e clorita, sugerindo que essas duas fases estariam envolvidas em reações que geraram anfibólios, biotita e opacos, permitindo aumento nas proporções desses minerais, que exceto localmente no caso dos opacos, já existiam no GDrm. Nas amostras do contato com os diques, clorita e epídoto permanecem aparentemente estáveis, sugerindo que as temperaturas atingidas não permitiram a sua desestabilização, sendo bem inferiores às alcançadas nas zonas de contato mais próximas dos granitos. Entretanto, em virtude do tamanho reduzido das auréolas, e da inexistência de afloramentos contínuos que explicitassem melhor os contatos, como já foi discutido em capítulo precedente, é possível que os registros térmicos sejam apenas locais, nas zonas de contato mais direto, como será demonstrado adiante.

Tabela 2 - Composições modais de amostras representativas dos três domínios do Granodiorito Rio Maria.

	GDrm sem efeitos de contato						GDrm afetado pelas Intrusões Graníticas					Fácies MzG. do GDrm afetada pelos Diques		
	CMR 42a	CMR 96	CMR 95	CMR 87	CMR 86	Md_1	CMR 90a	HRM 79	HRM 220	CMR 91a	Md_2	RJ 26J	RJ 26A	Md_3
Plagioclásio	47.6	41.6	42.6	49.0	46.2	45.4	45.3	42.3	44.5	37.8	42.5	38.8	37.3	38.0
Quartzo	18.0	31.6	21.1	20.0	18.9	21.9	18.8	21.6	19.9	26.0	21.6	26.9	27.1	27.0
Microclina	14.1	9.0	19.6	13.0	15.1	14.2	22.0	20.4	8.9	15.3	16.7	27.4	28.7	28.0
Anfibólio	7.8	2.8	5.3	10.3	8.2	6.9	2.8	9.4	10.8	9.2	8.1	-	-	-
Biotita	5.0	4.0	0.2	4.9	9.0	4.6	10.0	3.9	7.0	5.1	6.5	2.8	3.0	2.9
Epídoto	5.5	6.1	2.8	2.5	1.6	3.7	0.2	-	0.2	0.1	0.1	2.9	1.8	2.3
Opacos	-	0.1	-	0.1	-	< 0.1	0.6	0.7	1.8	3.8	1.7	0.1	0.5	0.3
Titanita	-	-	0.6	-	-	0.1	-	0.2	0.5	0.7	0.4	-	0.1	< 0.1
Clorita	1.0	1.3	5.0	-	0.5	1.6	-	-	-	-	-	0.5	0.7	0.6
Alanita	0.3		0.3	0.1	0.3	0.2	-	-	-	0.3	0.1		-	-
Acessórios	0.5	2.3	2.1	0.1	0.2	1.0	0.3	1.2	0.4	1.3	0.8	0.3	0.5	0.4
Bt + Anf	12.8	8.8	5.5	15.2	17.2	11.5	12.8	13.3	17.8	14.3	14.6	4.5	3.0	3.75
A + P	61.7	50.6	6.2.2	62.0	61.3	59.6	67.3	62.7	53.4	53.1	59.2	65.6	66.0	65.8

Md_1, Md_2, Md_3 = Composições médias das rochas dos diferentes domínios

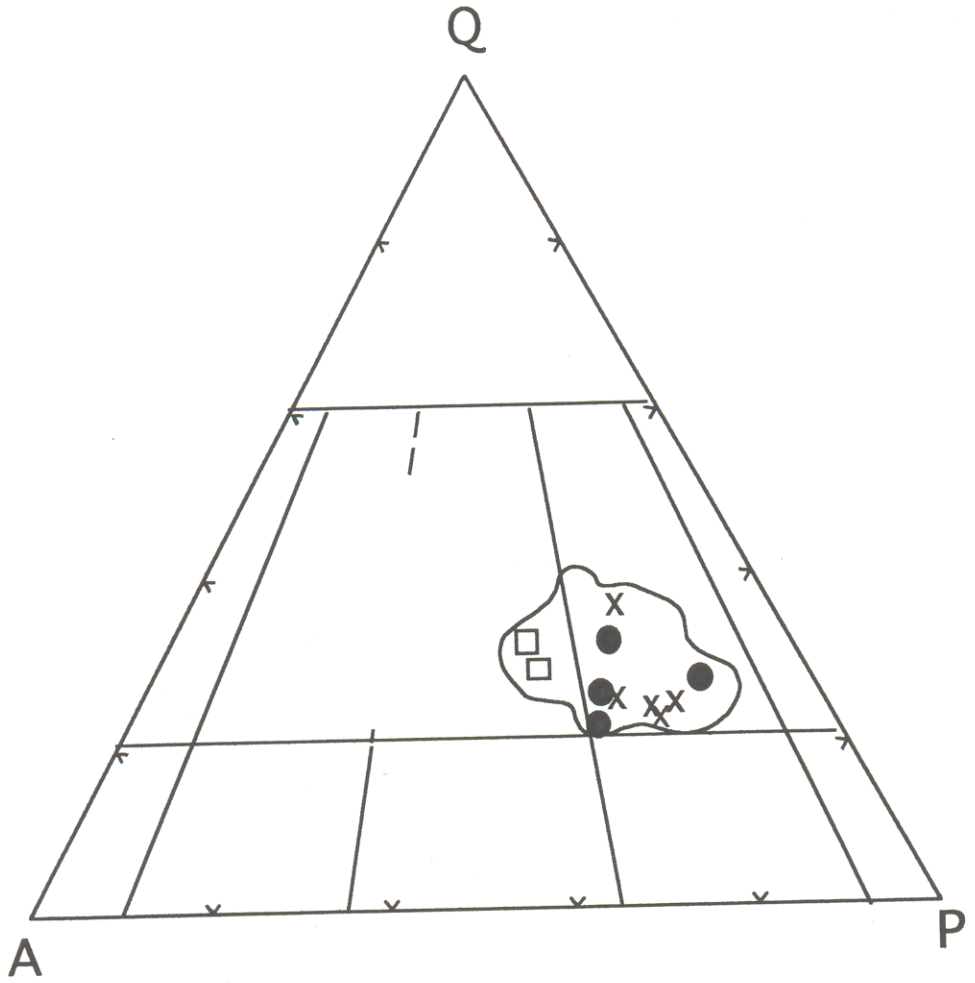


Figura 36 - Diagrama modal Q-A-P de amostras representativas dos três domínios do GDrm (campos conforme STRECKEISEN,1976).

X GDrm sem efeitos de contato
● GDrm afetado pelas intrusões graníticas
□ Fácies monzogranítica do GDrm afetada pelos diques
/ Campo das amostras estudadas por MEDEIROS (1987)

3.3 - DOMÍNIO DO GRANODIORITO RIO MARIA SEM EFEITOS DE CONTATO

Macroscópicamente apresenta-se como uma rocha fanerítica de cor cinza esverdeada devido à intensa e constante saussuritização do plagioclásio. É uma rocha predominantemente equigranular, embora possa desenvolver localmente feições porfiríticas, com grãos de feldspato potássicos e/ou plagioclásio chegando a alcançar 2 cm na sua maior dimensão. Engloba uma elevada quantidade de enclaves máficos subcirculares a circulares, ou ainda alongados acompanhando via de regra o sentido da foliação do mesmo (vide capítulo anterior). Concentrações de minerais máficos também são comuns. Apesar disso, é bastante homogênea em termos mineralógicos. Uma feição marcante é o alto grau de transformação do plagioclásio (saussuritização). Também é comum a ocorrência de fraturas preenchidas por epidoto e/ou outros minerais secundários, ocorrendo ainda de modo menos expressivo veios pegmatóides quartzo-feldspáticos.

Ao microscópio, a principal fácies do GDrm é representada por um granodiorito com teores modais médios de quartzo = 21,9 %, plagioclásio = 45,4 % e microclina = 14,2 % (Tabela 2), exibindo de modo amplamente dominante uma textura granular hipidiomórfica média. Os minerais varietais são anfibólio e biotita e os acessórios "primários", associados aos máficos, são apatita, allanita, epidoto, zircão e titanita. Como fases secundárias tem-se epídoto proveniente do plagioclásio, sericita, carbonatos, muscovita, opacos e clorita.

O **plagioclásio** é o mineral mais abundante; forma cristais subdiomórficos a idiomórficos, intensamente transformados, com predomínio da saussuritização (Figura 37) e com menos freqüência sericitização. A alteração pode se distribuir regularmente nos cristais ou concentrar-se nas porções mais centrais. Por vezes a alteração diferenciada no cristal deixa transparecer um zoneamento oscilatório "fantasma" que outrora existiu no mesmo. O maclamento é raro, pois assim como o zoneamento, também é mascarado pela alteração, que conduz a descalcificação do plagioclásio. São comuns pequenas fraturas no interior do plagioclásio, preenchidas por minerais secundários como sericita/muscovita e/ou epidoto. Em alguns casos, os mesmos deslocam os planos de maclas formando feições de "kink".

A **microclina** ocorre em cristais xenomórficos a subidiomórficos com maclamento xadrez bem desenvolvido e do tipo *carlsbad* pouco freqüente. Podem apresentar fraturas internas que, via de regra, são preenchidas por minerais secundários (óxido de ferro, carbonatos e epídoto) e quartzo (Figura 38). Por vezes contém inclusões de plagioclásio, quartzo e anfibólio, denotando uma feição poiquilítica. É fracamente pertítica, mas apresenta algumas lamelas albíticas do tipo *vein* e *string* e de modo ainda mais localizado *patch* (SMITH, 1974). No contato entre dois grãos de microclina pode haver a formação de coroas trocadas.

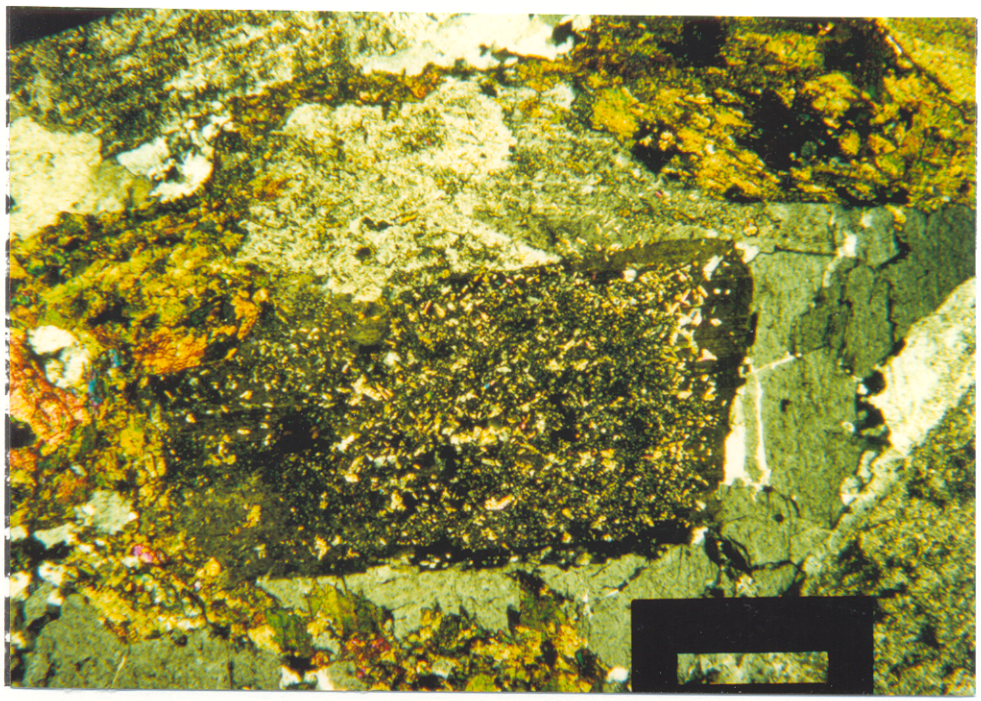


Figura 37 - Cristal de plagioclásio idiomórfico, inteiramente saussuritizado, associado a anfibólio de contorno idiomórfico, agregados de máficos, quartzo e feldspato potássico. Amostra do domínio não afetado pelas intrusões. (CMR42A, fotomicrografia, NC).

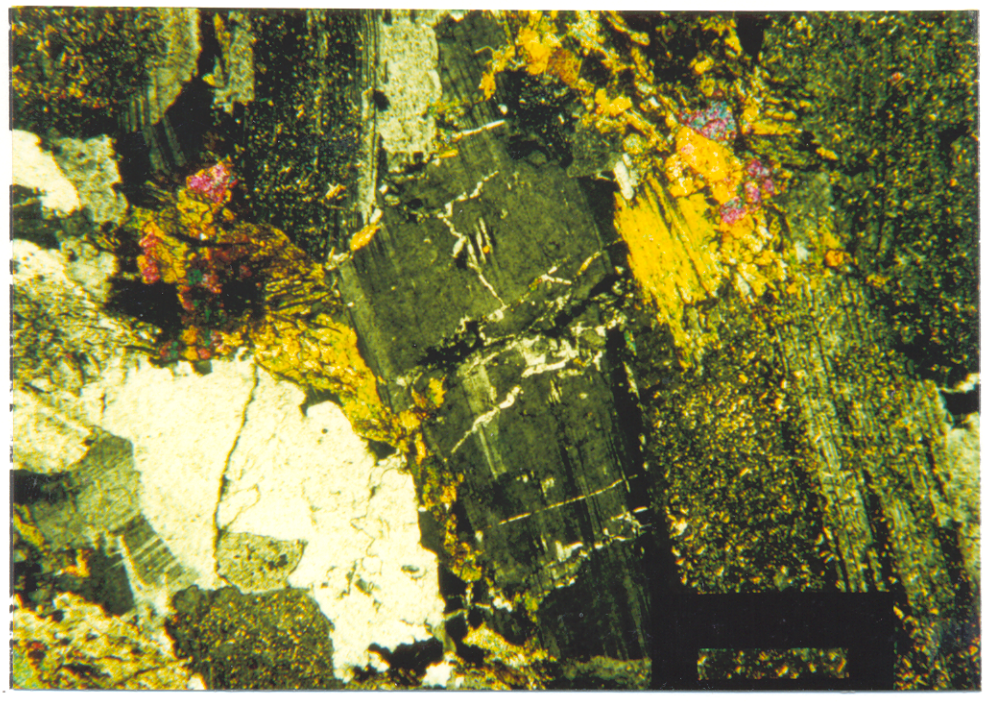


Figura 38 - Cristal de microclina, bastante fraturado,em contato com plagioclásio intensamente saussuritizado. (CMR42A, fotomicrografia, NC).

Os cristais de **quartzo** são xenomórficos com extinção fortemente ondulante, com reentrâncias e baías que assemelham-se a corrosões. Formam cristais bem desenvolvidos, compondo o arcabouço da rocha, ou, localmente, formam pequenos grãos geralmente devido à recristalização. Nestes casos a extinção torna-se moderada a fraca. É comum cristais de quartzo maiores envolverem pequenos grãos de plagioclásio e/ou microclina fazendo uma espécie de blindagem que faz com que os primeiros preservem seus maclamentos. Alguns cristais maiores, apresentam recristalização apenas nas bordas do grão onde começa a se desenvolver uma textura em mosaico (Figura 39). Em fraturas internas ou em contatos entre grãos de quartzo a recristalização é mais intensa, sendo freqüente a ocorrência de grãos poligonais com textura em mosaico.

O **anfibólio** ocorre em cristais subédricos a euédricos com pleocroísmo variando entre verde ou verde oliva na direção Z, verde amarelado na Y e amarelo claro na direção X. Acha-se freqüentemente como inclusões na microclina. Quando em contato com grãos de quartzo observa-se, localmente, o desenvolvimento de acículas minúsculas possivelmente de tremolita-actinolita, que se projetam para o interior do quartzo. É comum os cristais de anfibólio formarem agregados com biotita, epidoto e titanita. As vezes os contatos entre eles tornam-se difusos, em função de uma feição muito comum que é a pseudomorfose do anfibólio, substituído por agregados de biotita, clorita, epidoto e titanita que preservam o contorno do anfibólio original (Figuras 40 e 41). Em diversas amostras observa-se evidências de desestabilização do anfibólio para biotita e epídoto.

A **biotita** forma lamelas milimétricas subidiomórficas isoladas, ou submilimétricas xenomórficas a subidiomórficas, em agregados máficos. Associa-se com o anfibólio, ao qual por vezes substitui, e ao epídoto. Os cristais maiores muitas vezes mostram um comportamento plástico e desenvolvem feições de "kink". O seu pleocroísmo varia de um marrom esverdeado na direção X=Y até um amarelo amarronado na direção Z. A biotita exibe diferentes níveis de cloritização, mas acha-se de modo geral bem preservada.

Dentre os minerais acessórios merecem destaque o epidoto e os opacos pelo seu interesse particular para este trabalho.

O **epidoto** está em grande parte associado ao processo de saussuritização do plagioclásio, que é extremamente marcante nesta rocha. Geralmente são cristais xenomórficos que, juntamente com a sericita e, eventualmente, carbonatos e clorita, formam a principal alteração do plagioclásio. Entretanto, de modo menos freqüente, ele pode ocorrer em cristais xenomórficos a subdiomórficos associados com biotita, clorita e titanita substituindo ou pseudomorfoseando cristais de anfibólio. Outro mineral do grupo do epidoto, a allanita, também está presente na rocha, porém, tudo leva a crer que seja um acessório magmático primário. Sua ocorrência é subordinada, porém não desprezível; ela é freqüentemente idiomórfica, prismática, marrom ou

amarelada em luz natural. As vezes exibe maclamento simples e, via de regra, mostra uma borda de epidoto que a envolve parcialmente.

Os minerais **opacos** são extremamentes raros nesse domínio do GDrm, seus conteúdos modais não ultrapassam 0,1% (Tabela 2). Ocorrem geralmente relacionados a fraturamento de outros minerais como microclina e as fases máficas biotita e anfibólio. Raramente ocorrem em cristais isolados o que sugere que sejam fases secundárias.

A **titanita** apresenta-se como cristais idiomórficos, por vezes com seção losangular típica. Geralmente apresenta fraturas e inclusões de apatita e/ou epidoto. Ocorre, ainda, em grãos secundários xenomórficos, associados ou ao longo das clivagens da biotita, e, menos expressivamente, ao anfibólio.

Os demais acessórios, apatita e zircão, são de ocorrência mais restrita. A apatita ocorre geralmente inclusa na biotita, titanita e plagioclásio, enquanto que o zircão forma minúsculos cristais subeuédricos a euédricos.

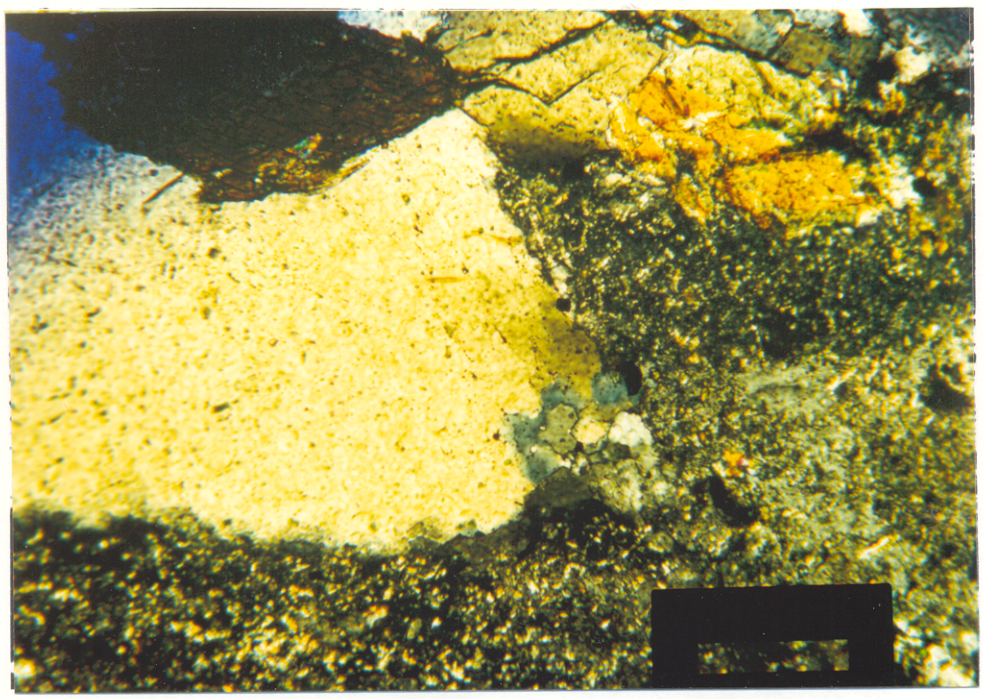


Figura 39- Cristal de quartzo subautomórfico com borda parcialmente recristalizada onde formam-se subgrãos tendendo a exibir textura em mosaico, em contato irregular com plagioclásio intensamente saussuritizado. (CMR-95, fotomicrografia, NC).

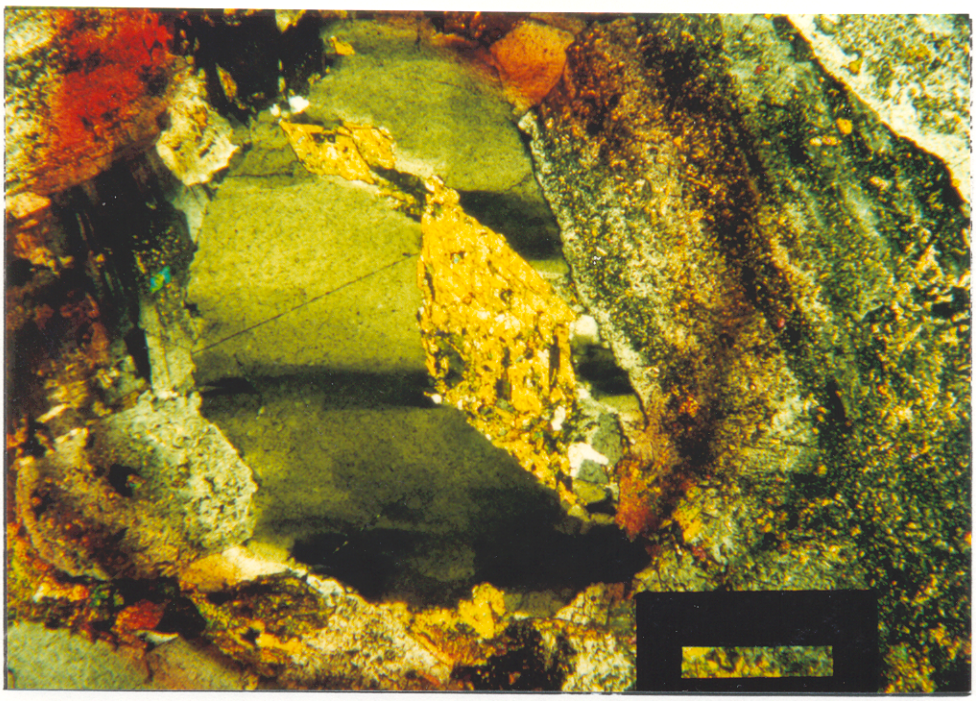


Figura 40 - Pseudomorfo de anfibólio, quase que totalmente subistituído por biotita +epídoto +titanita, incluso em cristal de quartzo com extinção fortemente ondulante, em contato com plagioclásio saussuritizado. (CMR42A, fotomicrografia, NC).

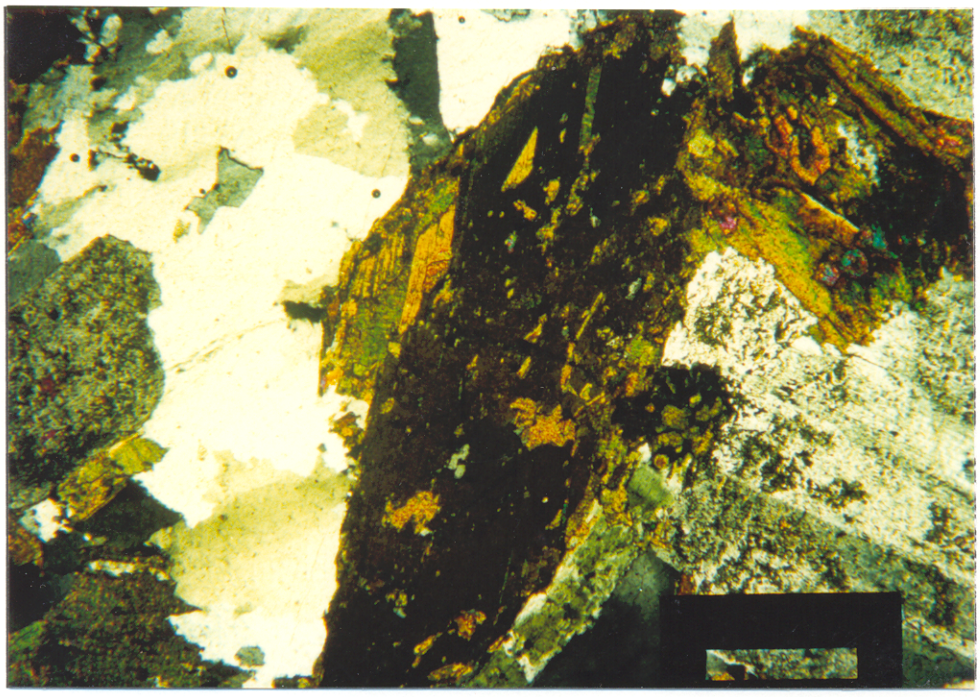


Figura 41- Agregado de cristais idiomórficos de anfibólio, parcialmente substituídos por biotita+epídoto+titanita. Localmente, na porção superior direita da foto, o anfibólio mostra-se totalmente epidotizado. (CMR42A, fotomicrografia, NC).

3.4 - DOMÍNIO DO GRANODIORITO RIO MARIA COM EFEITOS DE CONTATO DOS GRANITOS MUSA E JAMON

Conforme já discutido no capítulo precedente, perfis que mostram com maior clareza os efeitos do metamorfismo de contato são situados ao longo da PA-150, saindo do Granito Musa e rumando-se em direção à Rio Maria (Figura 19a) e aquele feito na estrada ligando a PA-150 a localidade de Banach, no trecho que vai da borda do granito Musa até a pedreira Marajoara (Figura 19b, Anexo F).

A zona afetada pelo metamorfismo de contato, apresenta transformações identificáveis mesoscopicamente até uma distância que não ultrapassa 1 km, assim como visualizada por MEDEIROS (1987). Nesta zona a rocha sofre uma mudança significativa na coloração. Partindo do domínio não afetado pelo contato em direção ao corpo granítico, a rocha a princípio tem coloração cinza esverdeada característica. A aproximadamente 1 km do contato, há uma mudança sensível na coloração da rocha, que adquire uma tonalidade parcialmente rosada mas ainda com resquício da anterior. Em zonas ainda mais próximas do contato, a tonalidade verde desaparece e a rocha adquire uma coloração cinza rosada, devido aos feldspatos tornarem-se rosados e brancos. Localmente nas proximidades do contato podem formar-se cristais de feldspato potássico mais desenvolvidos, dando um aspecto porfiróide a rocha.

No domínio do granodiorito afetado pelo metamorfismo de contato, o mesmo mostra mudanças sobretudo texturais no granodiorito, que, segundo MEDEIROS (1987), seriam principalmente a recristalização de quartzo e feldspatos, preservando sua mineralogia primária. A neoformação de magnetita na zona de contato foi sugerida posteriormente por MAGALHÃES (1991) e MAGALHÃES & DALL'AGNOL (1991).

A composição modal média do GDrm presente nesse domínio é plagioclásio = 42,5%, microclina = 16,7% e quartzo = 21,6% (Tabela 2), como minerais essenciais, anfibólio (hornblenda±actinolita) e biotita como varietais, e, como minerais acessórios, apatita, zircão, titanita e opacos.

A textura granular hipidiomórfica, ainda é dominante, mas em amostras próximas do contato em que a recristalização é intensa, sobretudo do plagioclásio, desenvolvem-se agregados de cristais com granulação mais fina e textura em mosaico (Figuras 42, 43 e 44), o que constitui uma feição muito particular nunca observada no domínio afastado do contato.

O **plagioclásio** contrasta vivamente com aquele descrito no domínio anterior. Forma cristais subdiomórficos poucos transformados, sugerindo que o registro do processo de saussuritização foi apagado pelos efeitos térmicos de contato. Os cristais estão maclados preferencialmente segundo a lei da albita, e, mais raramente, *carlsbad* e albita-*carlsbad*. É comum os planos de maclas ocorrerem encurvados formando feições de "kink", assim como a ocorrência

de fraturas no mesmo. Através do método Albita-*carlsbad* determinou-se uma composição de oligoclásio (An-26, CMR-93).

Ainda mais marcante que a ausência de saussuritização é a recristalização sofrida pelo plagioclásio. O processo de recristalização afetou o plagioclásio em graus variados, pois mesmo nas zonas adjacentes ao contato, existem cristais sem recristalização aparente, outros com recristalização distribuída irregularmente (Figuras 42, 43 e 45) e cristais com recristalização total (Figura 44). A recristalização conduz a formação de grãos finos com textura em mosaico, exibindo contatos em ponto tríplice. Estes grãos foram analisados à microssonda e apresentam composições que variam de oligoclásio a andesina. É muito característica a ocorrência de nuvens de diminutos grãos de opacos (magnetita) associados às zonas de recristalização do plagioclásio (Figura 46). Também se observam zonas do plagioclásio transformadas por sericitização com ou sem opacos associados. Cabe, no entanto, destacar que a distribuição dos opacos não é regular, nem nos cristais, nem nas zonas recristalizadas, indicando certas complexidades nos processos de geração dos mesmos.

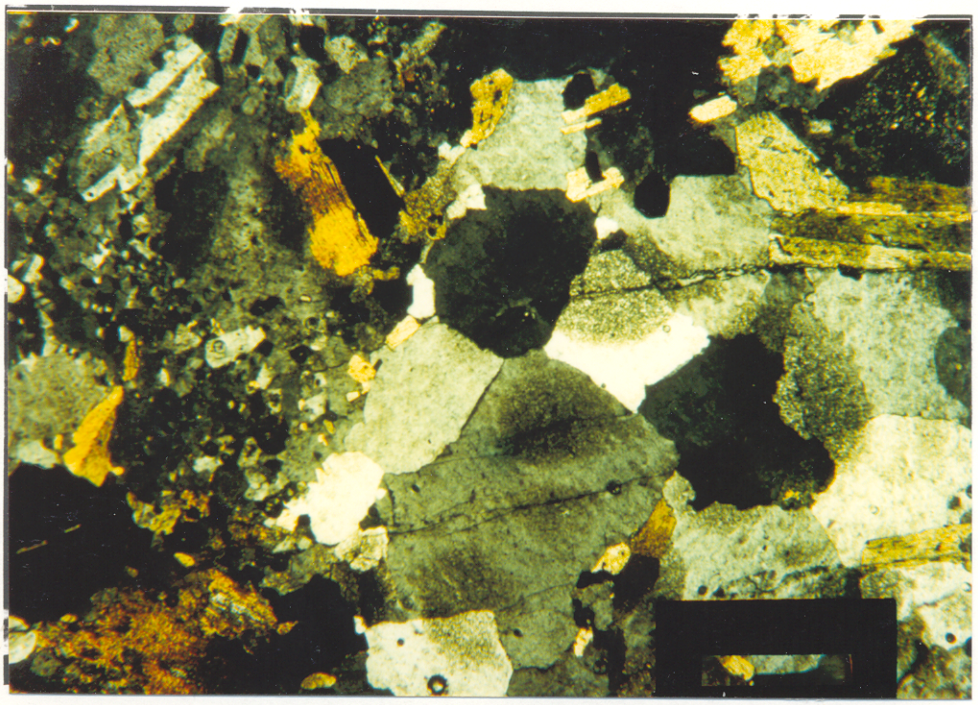


Figura 42 - Aspecto textural do GDrm no domínio de contato com as intrusões graníticas, mostrando o forte contraste entre uma zona recristalizada de granulação mais fina e cristais de quartzo e microclina de dimensões normais em uma zona menos recristalizada. (HRM-79, fotomicrografia, NC).

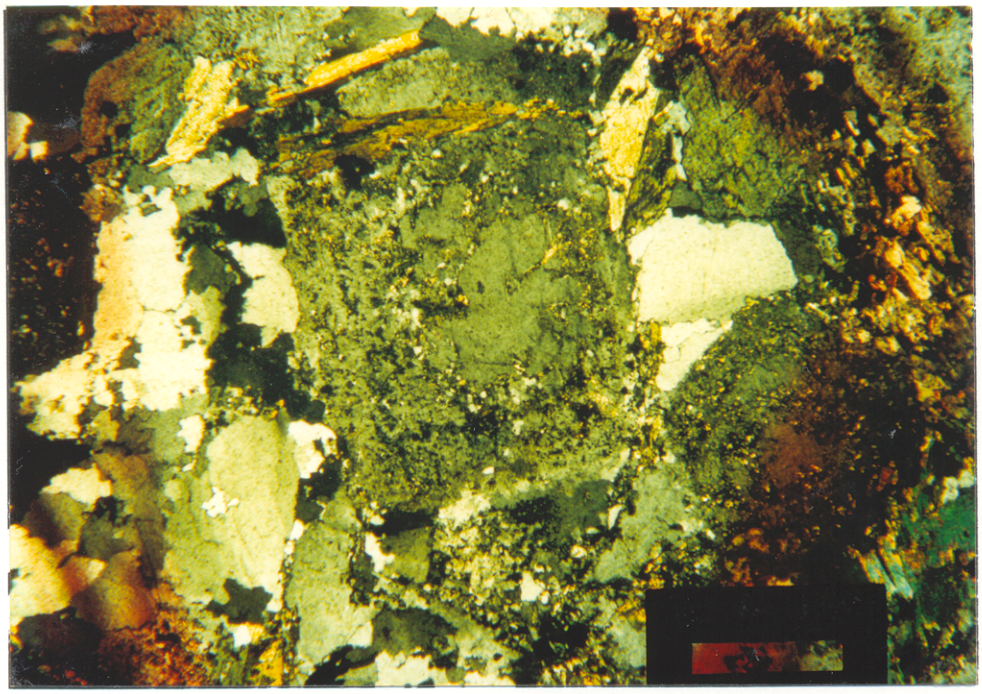


Figura 43- Cristal de plagiocásio do domínio de contato das intrusões graníticas, com recristalização intensa nas bordas, e núcleo sem recristalização aparente, porém desprovido de alteração, o que indica que foi igualmente neoformado. (CMR 90A, fotomicrografia,NC).

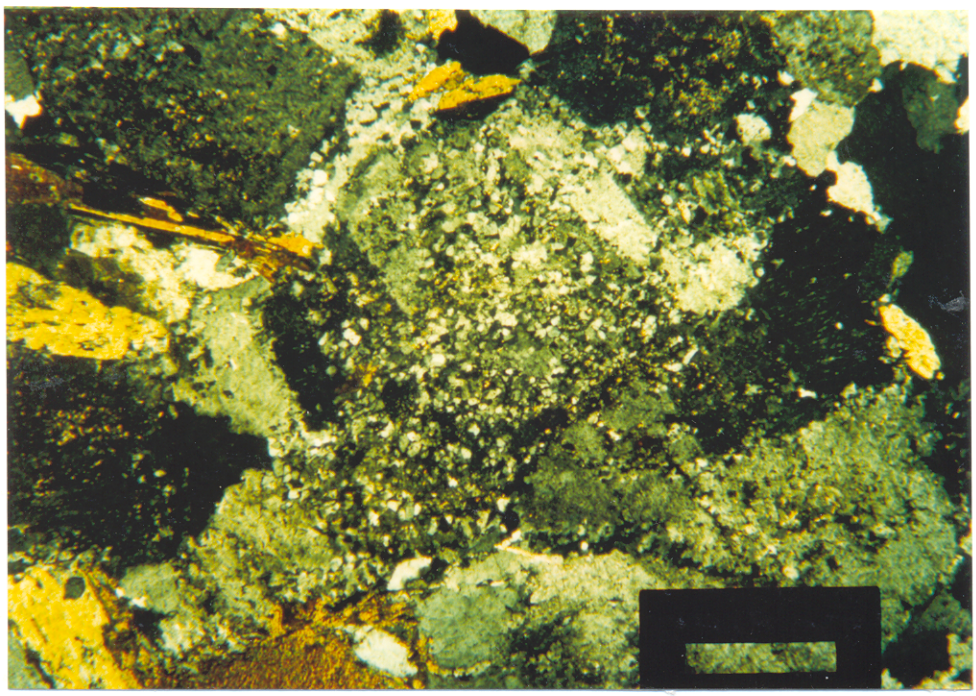


Figura 44- Cristal de plagioclásio, totalmente recristalizado, e em contato com microclina pertítica e anfibólio. (CMR92, fotomicrografia,NC).

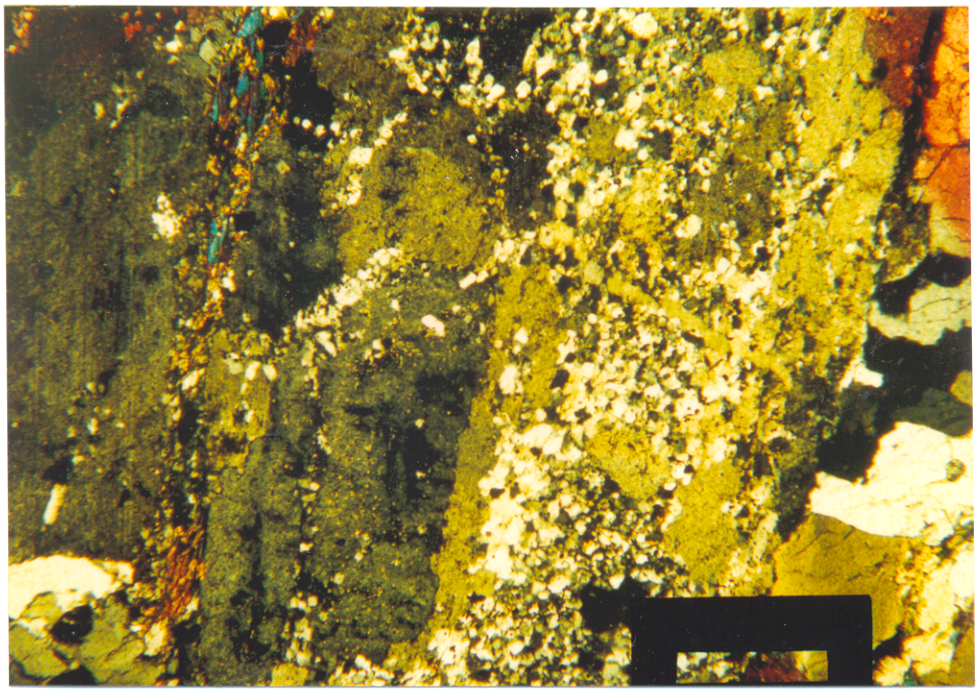


Figura 45- Cristal de plagioclásio maclado *carlsbad* com um indivíduo apenas parcialmente recristalizado e outro intensamente recristalizado. (CMR-90A, fotomicrografia, NC).

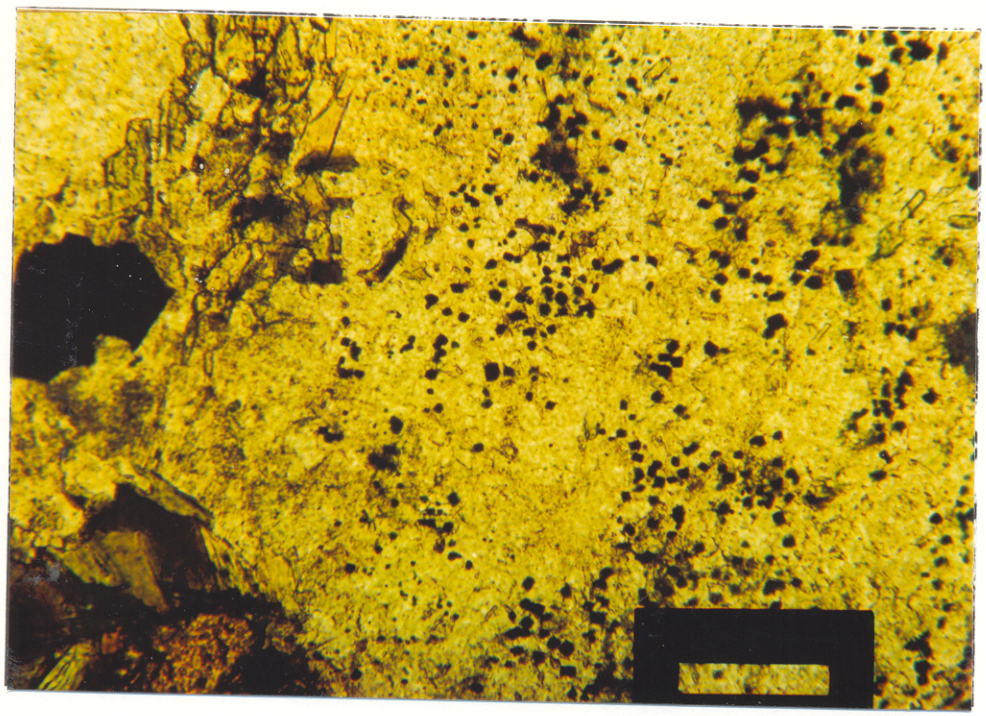


Figura 46 - Neoformação de finos e abundantes grãos de opacos em zona recristalizada do plagioclásio. Notar a presença de opacos mais desenvolvidos. (CMR-90A, fotomicrografia, NP).

Em alguns casos, a ocorrência de sericitização e das inclusões de opacos deixam transparecer um "zoneamento", distinguindo-se núcleos relativamente preservados tanto da sericitização como de recristalização, circundados por zonas com abundantes inclusões de opacos, alteradas e/ou recristalizadas em graus variáveis. É comum a ocorrência de cristais de anfibólio verde azulado nestas zonas recristalizadas. Essas variações texturais poderiam, talvez, relacionar-se indiretamente com variações no teor de cálcio do centro para a borda dos cristais primitivos de plagioclásio.

É comum os cristais de opacos marcarem os limites entre as zonas recristalizadas de granulação fina e as zonas homogêneas, sem recristalização aparente. Nesse limite os minerais opacos são um pouco mais desenvolvidos e geralmente facetados e euédricos.

As zonas sericitizadas que ocorrem eventualmente nos cristais de plagioclásio, mesmo recristalizados, devem ser posteriores à recristalização, como evidenciam a presença de opacos neoformados nas mesmas e o seu contraste com a saussuritização presente no domínio não afetado pelo contato.

O plagioclásio pode ocorrer, ainda, em pequenos cristais no interior do feldspato potássico, apresentamdo-se ora isento de transformações, ora com o núcleo alterado (sericítico), contrastando com uma borda isenta de alteração, sugerindo um zoneamento normal.

Em alguns cristais de plagioclásio, ocorrem pequenos núcleos isentos de alterações (Figura 43), com contornos muito irregulares, envoltos por zonas do cristal intensamente recristalizadas, sendo o limite entre estas e o núcleo marcado pela neoformação de opacos. A presença desses núcleos homogêneos não é fácil de explicar, mas tudo leva a crer que os mesmos encontram-se em equilíbrio com o plagioclásio gerado pelo metamorfismo de contato.

O **feldspato potássico** ocorre em cristais anédricos ou menos freqüentemente subédricos, exibindo um pronunciado fraturamento que, em alguns casos forma um padrão losangular. As fraturas podem ou não ser preenchidas por quartzo microcristalino ou, ainda, por minerais secundários, como epidoto e óxido de ferro. O maclamento xadrez não é tão pronunciado quanto nas porções do domínio do granodiorito não afetado pelo contato, sugerindo que foi transformado de algum modo pelos efeitos térmicos (Figura 47). O feldspato potássico é pobre em pertitas apresentando lamelas do tipo tipo *stringlet*, *string* e *veins* (ALLING, 1932). Muito raramente, mesmo em amostras adjacentes ao contato, os cristais de feldspato potássico apresentam porções recristalizadas, com o desenvolvimento de textura em mosaico (Figura 48), de modo análogo ao que se observa generalizadamente no plagioclásio.

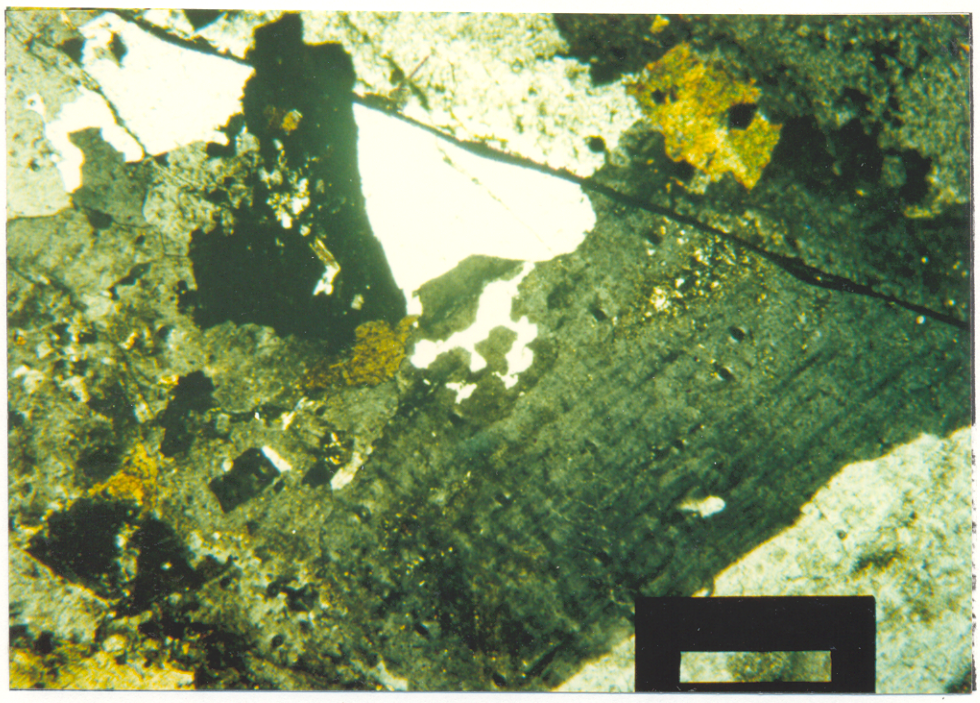


Figura 47 - Cristal de feldspato potássico, desprovido de maclamento xadrez, associado com quartzo, plagioclásio e máficos.(HRM-79, fotomicrografia,NC).

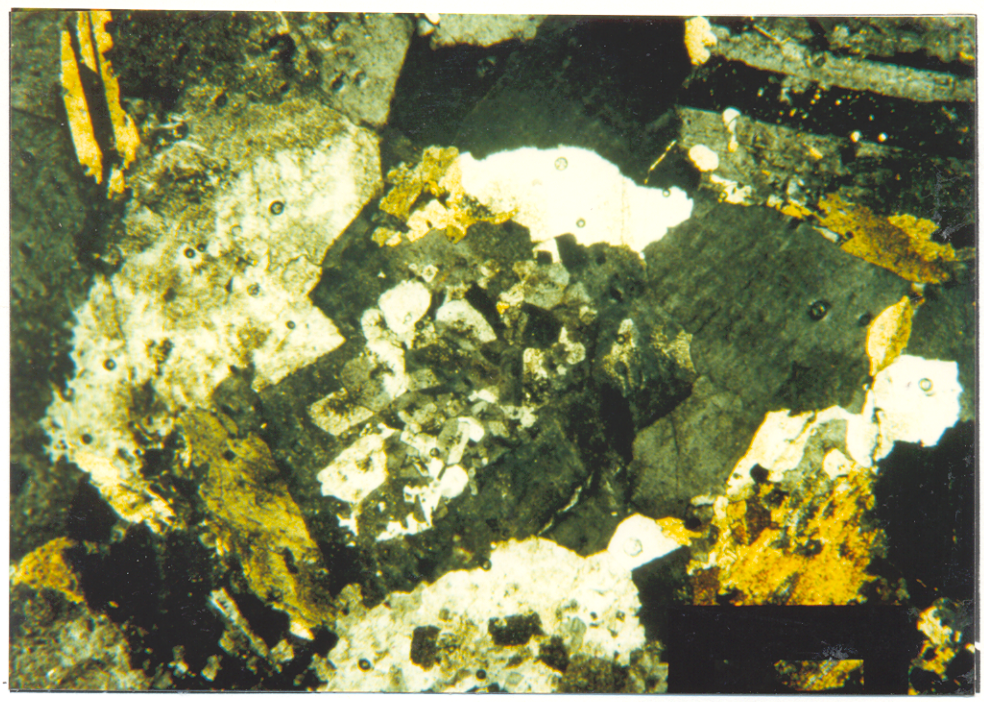


Figura 48 - Aspecto de um cristal de feldspato potássico, recristalizado internamente e formando grãos com textura em mosaico (HRM-79, fotomicrografia, NC).

Quartzo: em função do seu amplo domínio de estabilidade, torna-se difícil avaliar as transformações sofridas por esse mineral devido aos efeitos de contato. As mudanças deveriam se dar a nível textural, podendo-se esperar teoricamente, uma rehomogeneização dos grãos de quartzo, anteriormente afetados por deformação que gerou subgrãos. Entretanto, como nem a deformação que afetou o GDrm , nem a recristalização da rocha em função do contato são processos penetrativos e igualmente distribuídos, fica ainda mais complexo avaliar as transformações sofridas pelo quartzo. Aparentemente, embora MEDEIROS (1987) tenha assinalado a recristalização do quartzo, a mesma não está claramente perceptível e necessita ser melhor investigada. Em algumas amostras da zona de contato, constatou-se que não houve reomogeneização do quartzo (Figura 42), ou ela não foi total (Figura 49). Em linhas gerais, o quartzo parece conservar o aspecto mostrado no domínio afastado do contato.

A **biotita** deste domínio difere da biotita do domínio anterior, por não apresentar freqüentes cristais de titanita associados, por apresentar indícios fortes de recristalização e por englobar localmente cristais de plagioclásios neoformados. De modo geral, predominam cristais submilimétricos, formando agregados com anfibólio e com minerais opacos associados. (Figura 50). Ocorre ainda, em cristais milimétricos, subédricos, com pleocroismo variando de Z= amarelo pálido até X=Y= marron acastanhado. Neste caso, são comuns ocorrências de bordas esfarrapadas e ela assume por vezes, aspecto poiquiloblástico, englobando diminutos e abundantes cristais de plagioclásio neoformado (Figuras 51 e 52). Cristais de opacos mais desenvolvidos também ocorrrem associados a mesma. A biotita pode ocorrer, ainda , de modo localizado como produto de alteração do anfibólio. Neste caso, podem ocorrer associados cristais euédricos de opacos bem desenvolvidos. Na maioria dos casos, a cloritização, embora, ainda ocorra não é uma feição marcante.

Óticamente, três tipos de **anfibólios** foram identificados neste domínio do GDrm. O tipo predominante corresponde a cristais submilimétricos a milimétricos, subédricos a anédricos, que ocorrem isolados, com pleocroísmo moderado, variando entre Z= verde, Y=verde azulado e X=amarelo pálido. Localmente exibem maclamento simples e alteração parcial para biotita (Figura 53). O segundo tipo se apresenta como cristais milimétricos, com pleocroísmo mais fraco que o primeiro, Z=verde amarelado, Y=verde e X=amarelo esverdeado. Este tipo ocorre freqüentemente associado com cristais de opacos bem desenvolvidos. (Figura 54), ou em agregados com biotita+-opacos. O terceiro tipo é formado por diminutos cristais, recristalizados, que ocorrem apenas localmente. De modo ainda mais localizado, observou-se, associada à recristalização do plagioclásio, a ocorrência de minúsculos cristais anedrais de anfibólio verde azulado.

Basicamente, os anfibólios deste domínio, se diferenciam daqueles do anterior, pela quase ausência de pseudomorfose, especialmente com transformações para epídoto, muito freqüentes no domínio anterior. Embora, em amostra localizada (CMR-22), o anfibólio, mostre-se

substituido quase que totalmente por biotita e circundado por cristais aciculares de actnolita (Figura 55).

Os minerais acessórios são representados por apatita, zircão, titanita e opacos. A apatita forma cristais euédricos, geralmente inclusos em outras fases minerais, predominando na biotita. Os cristais de zircão são raros e euédricos. Já a titanita ocorre com mais expressividade, que os anteriores, predominando via de regra, cristais euédricos, com seção losangular típica e, muito raramente, ocorrendo cristais anedrais associados a biotita.

Os minerais opacos são notavelmente mais abundantes que os demais acessórios e também que os opacos ocorrentes no domínio anterior. Ocorrem, predominantemente em cristais submilimétricos, nitidamente associados às zonas de recristalização expressiva do plagioclásio, apresentando-se como uma infinidade de grãos diminutos dispersos nas mesmas. A distribuicão destes opacos nos cristais recristalizados de plagioclásio se dá de forma aleatória. Cristais maiores, em geral ocorrem associados às fases máficas, sobretudo com a biotita (Figura 52), embora possam ocorrer isolados e, aparentemente, sem relação com as mesmas. Localmente, nas zonas ricas em opacos finos o plagioclásio mostra-se totalmente sericitizado, interpretando-se que a sericitização seja posterior a formação dos mesmos. Os minerais opacos foram analisados em microssonda e apresentam composições de magnetitas puras.(Ver capítulo referente à química mineral).

A seguir, consta uma descrição sintetizada das principais transformações observadas no Gdrm (Figuras 56 A e B), ao longo dos perfis de detalhe apresentados no capítulo referente à geologia da área. Além das amostras referentes aos perfis de detalhe, incluiu-se as amostras HRM-220 e HRM-79, por serem ambas representativas do domínio de contato e terem sido estudas na microssonda.

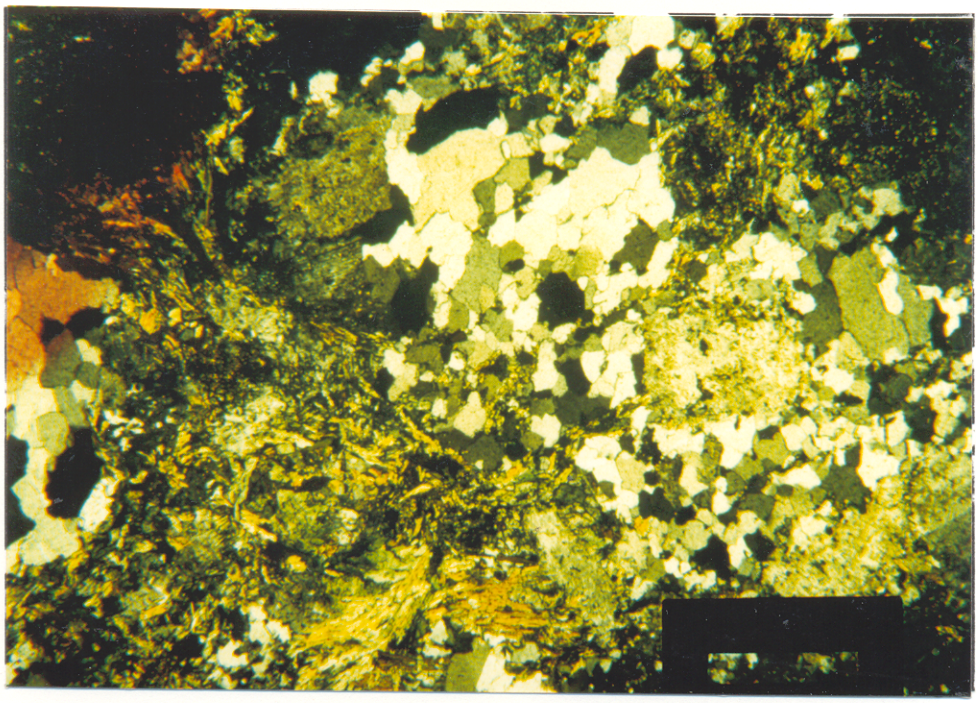


Figura 49 - Cristal de quartzo com a formação de subgrãos, com textura em mosaico, associados com actinolita acicular.(CMR-93, fotomicrografia, NC)

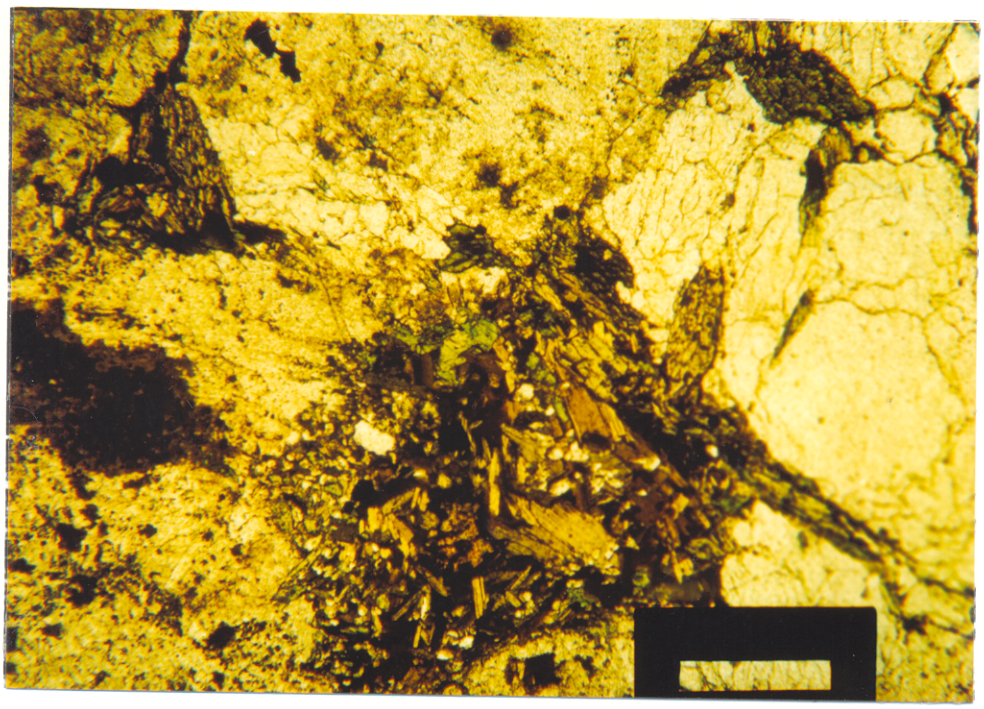


Figura 50 - Agregados máficos, onde predominam cristais submilimétricos de biotita, anfibólio e opacos associados. (CMR-90A, fotomicrografia, NP).

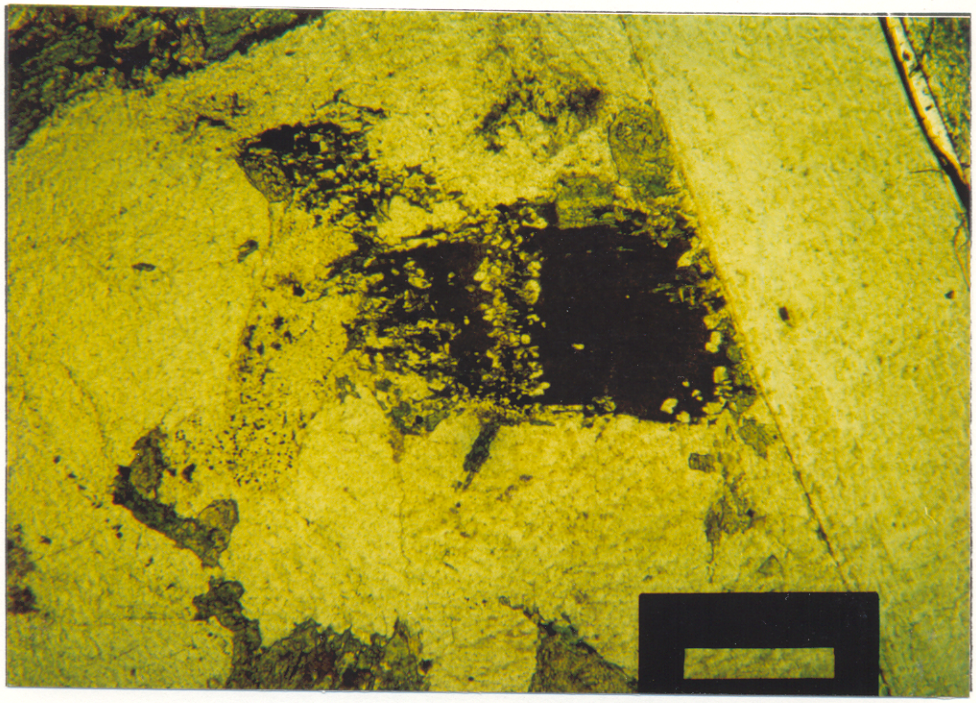


Figura 51 - Cristal de biotita recristalizada com borda esfarrapada, e opacos finos associados com o plagiocásio (CMR-92, fotomicrografia, NP).

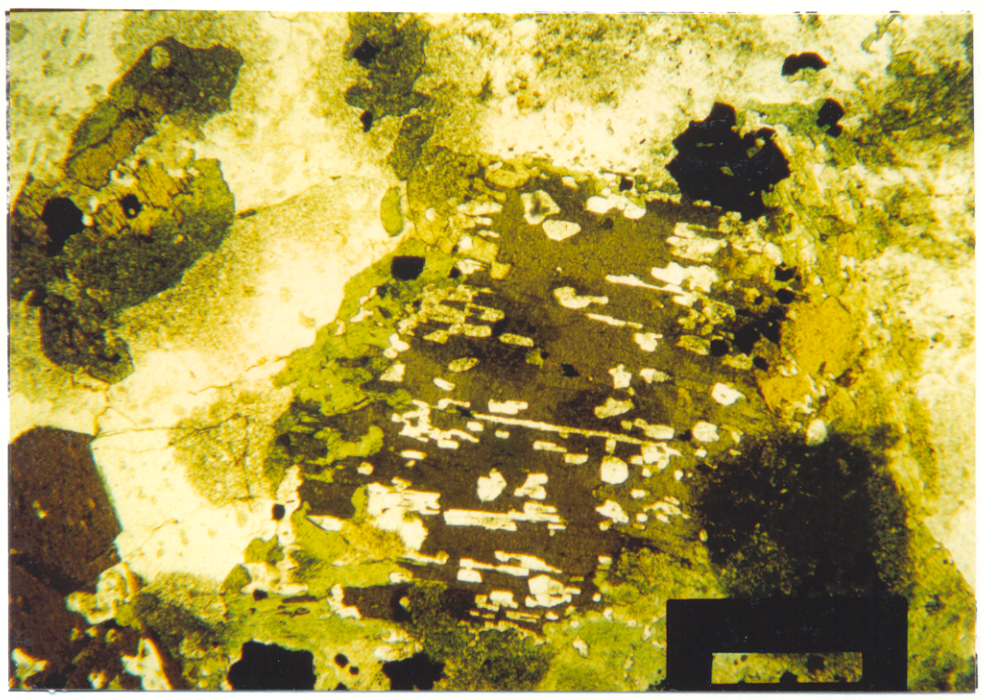


Figura 52 - Cristal de biotita englobando cristais de pagioclásio neoformado, com opacos euédricos associados. (HRM-79, fotomicrografia, NP).

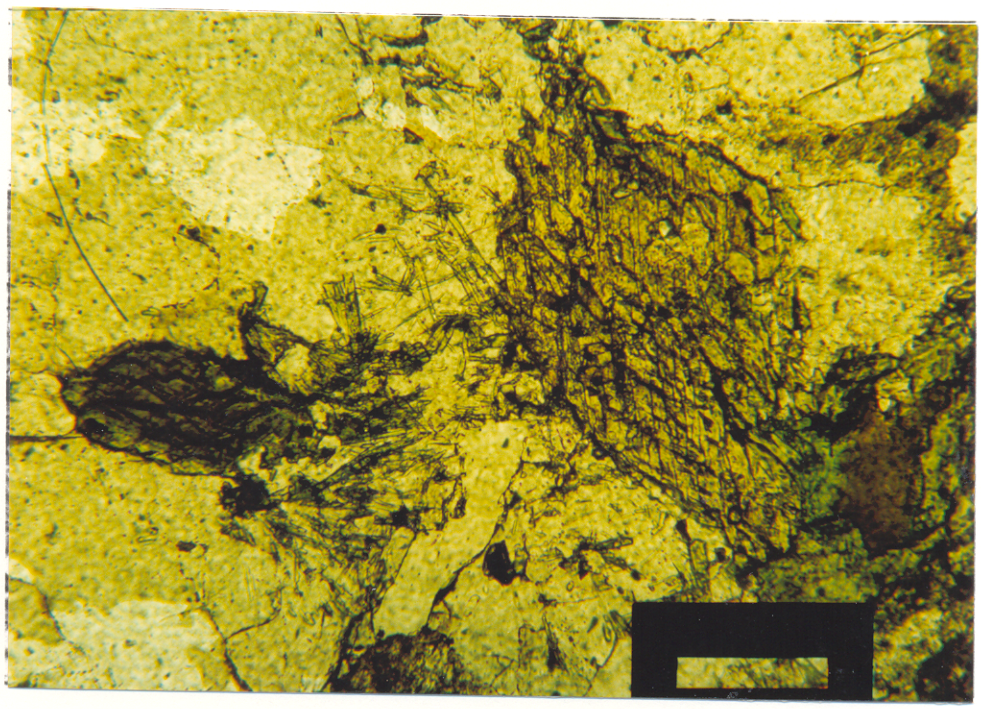


Figura 53 - Cristais de anfibólio euédricos, parcialmente transformados para biotita e clorita, com cristais aciculares de actnolita associados. (CMR-22, fotomicrografia, NP).

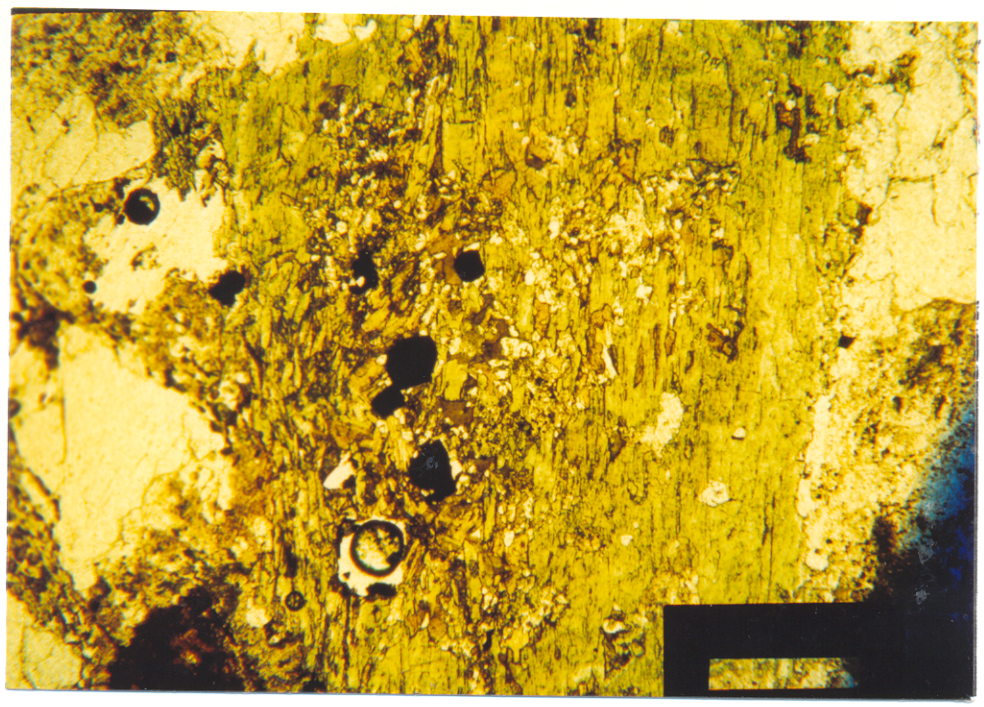


Figura 54 - Núcleo de cristal de anfibólio parcialmente cloritizado, com biotita e opacos euedrais associados. (CMR-91A, fotomicrografia, NP).

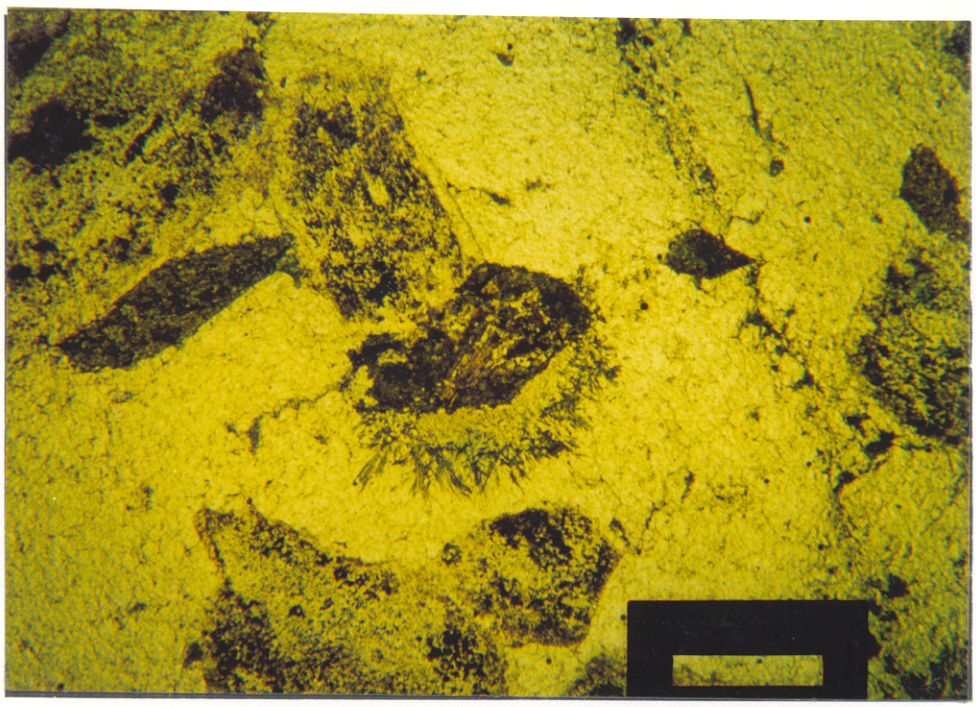


Figura 55 - Pseudomorfo de anfibólio, euedral,parcialmente substituido por biotita, em contato com plagioclásio pouco transformado. Acículas de actinolitas dispõem-se radialmente em terno do pseudomorfo. (CMR-22, fotomicrografia, NP).

Mineral / Amostra	CMR-80	CMR-96	CMR-95	CMR-93
PLAGIOCLÁSIO	Subdiomórfico a idiomórfico, intensamente saussuritizado	Subdiomórfico a idiomórfico, com forte saussuritização, menos intensa que na CMR-80	Subdiomórfico, com saussuritização menos expressiva que nas anteriores, maclamento perceptível.	Pouco saussuritizado e com recristalização bastante discreta. Localmenteformando-se agregados de finos grãos com textura em mosaico
MINERAIS OPACOS	Ausentes	Muito raros, ocorrem em pequenos cristais associados à biotita	Ainda escassos embora mais frequentes que nas anteriores. Cristais diminutos isolados ou formando pequenos agregados com as fases máficas	Ocorrem em finos grãos assoc. à recrist. do Plag. Em cristais associados ao anfibólio,pref. ao longo de fraturas, e em cristais bem desenvolvidos associados à biotita(raro) e isolados
EPÍDOTO	Freqüente em agregados máficos e em cristais isolados	Ocorre em cristais isolados subautom. e em agregados máficos com Bt+Anf	Formam cristais desenvolvidos em meio a saussuritização do plagioclásio. Em agregados máficos e como alteração de Anf.	Ocorre de modo raro nos agregados máficos Bt+Anf.+-Ep+Cl+Op.
BIOTITA	Bastante transformada para clorita e epídoto, com titanita associada aos planos de clivagem.	Bastante transformada para clorita: com epídoto e Tit. neoformada associados, bem como Tit. euédrica.	Quase que exclusivamente em agregados máficos com Anf.+Ep+Cl+Tit e raros opacos.	Subautomórf. geralmente compouca ou nenhuma clorit. Embora em cristais local., se altere int. p/ clorita.
CLORITA	Expressiva, chegando localmente a substituir mais de 50% do cristal de biotita. Em agregados Bt+Anf+Cl+Ep.	Ocorrência expressiva, localm. com substituição total da biotita e em agregados máficos Bt+Anf+Ep+Cl.	É ainda marcante, sendo mais freqüente junto aos anfibólios e nos agregados máficos	Não é uma fase marcante e aparece apenas como uma feição localizada, tanto na Bt, como nos agreg. máficos.
ANFIBÓLIO	Pouco freqüente; apresenta-se substituido por Bt+Ep+Cl.	Geralmente alterado para Bt+Ep, tanto em cristais isolados como em agregados máficos.	Bastante cloritizado e com menos freqüente epidotizado, ou ambos. Formação local de anfibólio acicular.	Verde azulado, prismático com fraco pleocroismo. Localmente ocorre actnolita de habito acicular.
PARTICULARIDADES	É frequente a pseudomorfose do anfibólio. A microclina exibe o maclamento xadres típico.	Ocorrência de agregados máficos Bt+anfibólio+clorita+Ep, com opacos raros.	Ocorrem fraturas no quartzo e na microclina e plag. preenchidas por anfibólio acicular radiado, opacos + Ep+Clorita	Amostra bastante deformada. A recrist. é mais proem. ao longo de fraturas, inclusive no feld. alcalino

Figura 56A - Quadro apresentando as principais características petrográficas das amostras coletadas no perfil ao longo da PA-150, no contato do GDrm com o Granito Musa.

Mineral / Amostra	CMR-92	CMR-91	CMR-90B	CMR-90A
PLAGIOCLÁSIO	Forte recristalização, que se processa de maneira homogênea em todo cristal, formando agregados de finos grãos com textura em mosaico. Desaparecimento total da saussuritização	Recristalização espetacular, mais intensa que a CMR-92. Formação de grãos finos com o desenvolvimento de textura em mosaico. Ausência de saussuritização; localmente leve sericitização.	Forte recristalização com a formação de grãos finos com textura em mosaico. Ausência de saussuritização e sericitização localizada, similar a CMR-91. Localmente ocorrem grãos de plagioclásio recr. mais desenvolvidos.	Notável recristalização, com formação de finos grãos com o desenvolvimento de textura em mosaico similar a CMR-90B
MINERAIS OPACOS	Finos grãos formando uma nuvem, associada à recristalização do plagioclásio. Em grãos submilimétricos arredondados e menos freqüente euédricos. (cristais mais desenvolvidos associados com Bt e Anfibólio.	Ocorre como nuvem de grãos muito finos, no plagioclásio; localmente agregam-se originando cristais maiores. Cristais mais expressivos associados á biotita e ao anfibólio.	Infinidade de minúsculos grãos formando uma nuvem associados à recristalização do plagioclásio. Localmente ocorrem cristais mais desenvolvidos associados a agregados de Bt+Anf (ligeiramente cloritizados).	Cristais diminutos associados à recristalizaçào do plagioclásio, variando de finos a muito finos. Grãos maiores ocorrem associados a Anf+Biot+Tit
EPÍDOTO	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
BIOTITA	Cristais homogêneos pouco deformados ou transformados. Apenas localmente ocorre parcialmente cloritizado	Forma cristais contínuos com indícios de recristalização e engloba cristais pequenos de plagioclásio neoformado.	Raramente ocorre em cristais facetados, mas quando ocorre exibe um pleocroismo forte; não altera para clorita. Ocorre em agregados com o anfibólio, fracamente cloritizada.	Muito similar a CMR-90B; localmente apresenta-se fracamente cloritizada.
CLORITA	Ocorre localmente, mas é rara.	Ocorre localizadamente, mas é muito discreta	É rara, e acompanha localmente os agregados de Bt+Anf.	Rara
ANFIBÓLIO	Conteúdo expressivo, em geral subeuédrico parcialmente alterado para biotita. Associados ao mesmo ocorrem opacos e titanita neoformada	Cristais prismáticos, maclados (loc.), alterando parcialmente para biotita. Forma cristais anedrais em agregados com biotita e com opacos associados (localizado).	Cristais predominantemente anedrais formando agregados com Bt + Op. Raros cristais subeudrais isolados ou com opacos associados	Forma cristais isolados prismáticos onde são freqüentes inclusões de apatita; ou associados a Bt e opacos bem desenvolvidos
PARTICULARIDADES	O feldspato apresenta fraturas e ausência de maclamento Xadrez. Pseudomorfos de anfibólio estão ausentes, assim como anfibólio acicular	Nota-se a ausência do maclamento xadrez no feldspato alcalino. Cristais de opacos desenvolvem-se paralelam. à recristalização da biotita	O Feldspato alcalino não exibe maclamento xadrez; acha-se parcialmente recristalizado. Ao longo de fraturas no seu interior a recristalização torna-se mais expressiva	Recristalização do feldspato alcalino, mais proeminente do que na CMR-90B e bem expressiva ao longo de fraturas. Não exibe maclamento xadrez.

Figura 56A - Continuação

Mineral / Amostra	CMR-42A	CMR-40	CMR-39	CMR-38
PLAGIOCLÁSIO	Subdiomórfico a idiomórfico, intensamente saussuritizado.	Subdiomórfico a idiomórfico, com saussuritização ainda marcante, localmente menos intensa que na CMR-42A	Totalmente saussuritizado, chegando a desenvolver cristais maiores de epídoto no seu interior.	Deformação expressiva, com saussuritização proeminente.
MINERAIS OPACOS	Extremamente raros, associados às fases máficas (Bt+Anf+Ep).	Muito raros, em cristais submilimétricos geralmente anédricos, associados a Bt+Anf+Ep.	Em grãos esparsos associado aos agregados máficos (Bt+Cl+Anf+Tit).	Raros, geralmente ao longo de fraturas em outros minerais
EPÍDOTO	Associado à saussurit. do plagioclásio, e com pseudomorfos de anfibólio; em agregados com Bt e Anf. e em cristais isolados	Ocorre associado à biotita, em cristais isolados subautom. e em agregados máficos com Bt+Anf, onde predomina; também na saussuritização.	Ocorre na saussuritização do plagioclásio, em agregados máficos (onde predomina a Bt), em cristais isolados, ou incluso na Bt.	É freqüente; além da aussuritização, ocorre nos agregados máficos (Ep+Bt+Cl) e em vênulas.
BIOTITA	Ligeiramente deformada, transformada para clorita, com epídoto e titanita associados. Cristais de Tit. euédricos ocorrem associados com a mesma.	Cristais milimétricos, subdiomórficos, total ou parcialmente cloritizados e/ou epidotizados, com titanita associada.	Cristais milimétricos, subdiomórficos, moderadamente cloritizada e epidotizada, com titanita nos planos de clivagem.	Bastante deformada, parcialmente cloritizada e epidotizada.
CLORITA	A cloritização é moderada a forte.	Ocorrência expressiva, localm. com substituição total da biotita. Associa-se com a epidotização que também é muito marcante.	Moderada, como alteração da biotita (predomin.) e do anfibólio.	É marcante; predomina nos agregados máficos.
ANFIBÓLIO	Transformado em pseudomorfos, a base de Ep+Bt+Cl.	Pouco expressivo, forma cristais prismáticos, alterando para biotita. Ou em agregados Ep+Bt+Cl+Anf.	Cristais prismáticos subeuédricos, parcialmente cloritizados, e, menos freqüente epidotizado. Altera ainda parc. para Bt.	Raro; ocorre apenas com o habito cicular radiado (actinolita).
PARTICULARIDADES	Freqüentes agregados máficos de Ep+Bt+Cl+Anf. A microclina exibe o maclamento xadres típico.	A microclina é fracamente pertítica, exibe maclamento xadrez e engloba loc. cristais menores de plagioclásio.	Nos agregados máficos, que são expressivos, predomina a Bt, contrastando com as anteriores onde predom. o Ep.	Amostra muito hidrotermalizada, com acentuado conteúdo de epídoto, que, além de substituir outros minerais forma vênulas maiças.

Figura 56B - Quadro apresentando as principais características petrográficas das amostras coletadas no perfil, ao longo da estrada do Banach no contato do GDrm com a borda NW do Granito Musa.

Mineral /Amostra	CMR-37	CMR-22	*HRM-220	**HRM-79
PLAGIOCLÁSIO	Subdiomórfic/ idiomórf. Ausência da saussuritização, recristalização moderada, formação local de grãos finos com textura em mosaico.	Recristalização espressiva apenas localmente. Ocorre a saussuritização embora não seja marcante.	Recristalização marcante, com formação de finos grãos com textura em mosaico. Ausência total de saussuritização.	Recristalização total do plagioclásio em grãos finos com textura em mosaico. Localmente esta rec. forma grãos mais desenvolvido.
MINERAIS OPACOS	Ocorrência expressiva, em cristais diminutos associados á recristalização do plagioclásio. Cristais milimétricos ocorrem associados com as fases máficas (Bt+Anf+Op), e em agregados associados com Biotita.	Grãos finos ocorrem associados à rec. do plagioclásio. Em cristais isolados e associado aos máficos (em todo os casos em quantidades bem inferiores, que normalmente em porções mais afetadas pelo met. de contato).	Expressivos, em grãos finos associados à recristalização do plagioclásio, formando loc. pequenos agregados. Em cristais maiores associados a Bt. recrist. e aos agregados de Bt+Anf.	Abundantes, em finos cristais associados à rec. do plagioclásio. Em cristais maiores euédricos isolados, as vezes em agregados expressivos.
EPÍDOTO	Raros cristais ocorrem associados ao plagioclásio.	É raro, além da saussuritização local, ocorre em cristais isolados (pouco freqüente).	Ausente.	Ausente.
BIOTITA	Expressivos, no geral mais desenvolvidos que as amostras anteriores, apresenta feições de recrist. (loc.), engloba plagioclásio neoform. Associado ocorrem Op bem desenvolvidos e Tit. neoform.	Cristais milimétricos, pouco deformada, localmente recristaliz. Ocorrem cristais de Tit. associado a ela.	Cristais milimétricos bem formados, com feições de recristalização e englobando cristais de plagioclásio neoformados.	Pouco deformada, recristalizada, englobando cristais de plagioclásios neoformados e cristais expressivos de minerais opacos.
CLORITA	É rara, apenas localmente ocorre como alteração da biotita.	É rara, apenas localmente assume maior expressão.	Ocorre de modo muito localizado como alter. da Bt.	Ausente
ANFIBÓLIO	Ocorre dois tipos, uma Hb normal e um verde-azulado; localmente ocorrem feições de recristalização (formação de novos cristais minúsculos, associados à Hb normal.	Pseudomorfos quase que inteiramente substituido por biotita. Localmente acículas de actinolita envolve os cristais, ou ocorrem isoladas.	Ocorre pelo menos dois tipos; um com forte pleocroismo e outro com pleocroismo moderado; o primeiro recristaliza localmente e o segundo altera parcialmente para biotita.	Cristais subdiom. compleocroísmo forte, pouco alterado para biotita, englobando minerais opacos expressivos. Localmente ocorrem cristais com pleoc. fraco.
PARTICULARIDADES	A recristalização do plagioclásio, gera grãos muito finos, que contudo não tem uma distribuição regular em todo cristal. O feld. alcalino, não exibe maclamento xadrez.	Os pseudomorfos de anfibólio diferem dos das amostras longe do contato, pela ausência do epídoto. Cristais aciculares de actinolita ocorrem como uma feição particular.	Apesar da rec. do plagioclásio, localm. ocorrem zonas sericíticas, possivelmenmte post. a recrist. Nos agregados, predomina Anf+Bt+Op+Tit.	O feldspato alcalino apresenta-se localmente recristalizado e não exibe maclamento xadrez.

Figura 56B - Continuação. Amostras não vinculadas ao perfil: * entre os granitos Musa e Jamon; ** A 50 metros do contato com o Granito Jamon

3.5 - GRANODIORITO RIO MARIA DO DOMÍNIO DE CONTATO COM OS DIQUES

As amostras cuja as características petrográficas serão discutidas aqui, são provenientes do domínio do granodiorito, nas proximidades e no contato com os diques intermediários a máficos que o seccionam. As amostras que melhor representam este domínio são: RJ 26j; RJ26A e RJ 26 H_2.

Na região em que ocorrem os diques mais espessos, cortando a PA-150 e se prolongando quase que paralela a estrada do babaçu, o Gdrm é representado por sua fácies monzogranítica, constituida essencialmente por microclina = 28,0% , plagioclásio =38,0% e quartzo = 27%, (composição modal média Tabela 2). Como mineral varietal ocorre a biotita e, como acessórios, titanita, opacos, epídoto e apatitas. Sericita- muscovita e clorita ocorrem como minerais de alteração.

A rocha apresenta uma textura granular média, onde localmente cristais mais desenvolvidos de microclina e plagioclásio podem sobressair-se.

A **microclina** é o mineral predominante; forma cristais milimétricos, subédricos, fracamente pertíticos e com maclamento xadres típico Os contatos da microclina com os cristais de plagiocásio são retilíneos, e com os grãos de quartzos são ora retiíneos, ora sinuosos. De modo geral, mostra-se pouco deformada; freqüentemente engloba cristais minúsculos de plagioclásio subédricos, maclados e por vezes sericitizados (Figura 57 e 58).

O **plagiocásio,** ocorre em cristais milimétricos euédricos a subédricos e em cristais diminutos, anédricos a subédricos no interior da microclina (Figura 58). No primeiro caso, os cristaisexibem maclamento polissintético pouco expressivo e zoneamento que varia de pouco perceptível a proeminente. A sericitização é a alteração dominante, com os processos de saussuritização sendo puco marcantes ou ausentes. Evidências claras de recristalizaçãonão foram observadas. Localmente contém inclusões de opacos euédricos ou anédricos, assim como cristais diminutos de muscovita e epidoto secundários.

Os cristais de plagioclásio por vezespossuem zonas mais límpidas, aparentemente isentas de alterações, devendo ser porções descalcificadas ou de recristalização discreta, que contrastam com zonas bastante transformadas para sericita. A recristalização discreta é mais provável devido, em algus casos, ocorrerem alguns minerais opacos associados. Porém de modo geral, a recristalização no plagioclásio neste domínio é ausente. Ocorre, ainda, de modo localizado nos cristais de plagioclásio um manto de epídoto, que não chega a circundá-lo todo.

O **quartzo** ocorre como cristais milimétricos a submilimétricos, anedrais, exibindo contatos irregulares com as demais fases. Pode exibir extinção fortemente ondulante, mas de modo geral, predominam cristais homogêneos e com pouca deformação. Não apresentam

variações significativas que possam ser atribuidas aos efeitos de contato, similarmente ao que foi verificado no contato com os granitos.

A **biotita** forma cristais submilimétricos isolados ou agregados com outros minerais. No primeiro caso dominam cristais subidiomóficos, parcialmente cloritizados e com inclusões localizadas de minerais opacos bem como de epídoto, apatita e titanita. O pleocroísmo da biotita, varia de X=Y=marron a Z= amarelo pálido. Pode ocorrer ainda, em cristais límpidos e sem inclusões de opacos, ou formando agregados com epídoto, quartzo e clorita. Neste caso predomina epídoto e a biotita é amorfa, e os opacos são raros.

Dentre os acessórios destacam-se o **epidoto**, a **titanita**, a **apatita** e os **opacos**. O **epídoto** forma cristais anédricos a subédricos, em agregados junto com biotita, titanita, clorita e opacos, ou etá presente no interior de plagioclásio associado à sericitização.

A **titanita** forma cristais anédricos que podem ocorrer isolados ou no interior de outros minerais como biotita e plagioclásio. Ocorre formando seção losangular típica, com fraturamentos freqüêntes, e com minerais opacos que associados principalmente ao longo de suas bordas.

A **apatita** forma cristais diminutos freqüentemente euédricos e associados quase que exclusivamente com plagiocásio e biotita.

Os minerais **opacos** são muito pouco freqüentes; ocorrem em cristais isolados esparsos, associados à biotita, oulocalmente nas bordas de cristais euédricos de titanita.

Os efeitos de contato dos diques não são marcantes. E em amostra imediatamente adjacente ao contato, constatou-se a presença constante de intercrescimentos granofiricos a base de quartzo e feldspatos nas juntas dos grãos (Figura 59), que poderiam indicar um início de fusão da encaixante ou sua recristalização no estado sólido. Os opacos, são nesta amostra, que naquelas mais distantes do contato, mas sua quantidade é muito inferior a que se observa no contato com os granitos. São comuns, ainda, vênulas de epídoto em microclina e, mais raramente em plagioclásio.

Os intercrescimentos granofíricos mencionados são de difícil interpretação. Eles foram observados também num xenólito monzogranítico, englobado pelo mesmo dique (SILVA JR,1996). Eles poderiam, a primeira vista, significar tão somente o produto de cristalização magmática de líquidos residuais do monzogranito. Porém eles estão ausentes longe do contato e tais intercrescimentos não são comuns em nenhuma das fácies do Granodiorito Rio Maria. A hipótese de eles traduzirem um início de fusão do monzogranito, seria adequada para explicar a textura, mas não é coerente com a paragênese e o grau de recristalização discreto dos minerais presentes no monzogranito, que não correspondem ao que se devia esperar em elevadas temperaturas (em torno de 700 $^{\circ}$ C para a fusão). Finalmente, tem-se a hipótese de recristalização no estado sólido que apresenta como limitação o fato de os intercrescimentos granofíricos serem associados geralmente a cristalização de líquidos graníticos com composições cotéticas (BARKER, 1970; SMITH, 1974). Apesar disso, caso os intercrescimentos granofíricos sejam, como parecem, relacionados aos efeitos térmicos dos diques, essa seria uma hipótese mais viável.

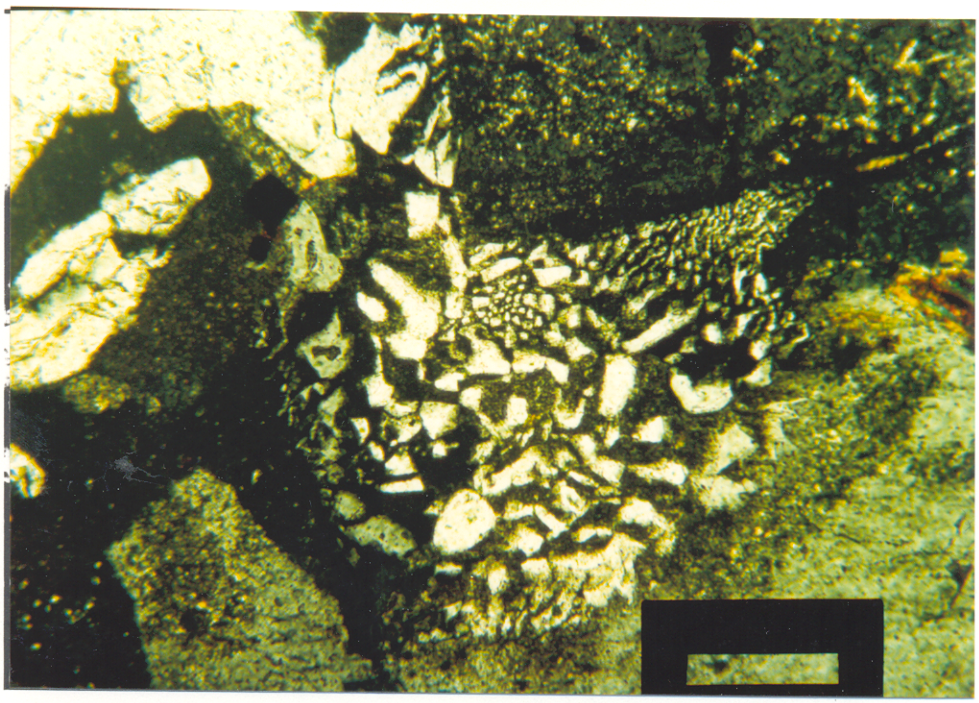


Figura 57- Detalhe de cristal subdiiomórfico de plagioclásio sericitizado, com intercrescimento granofírico associado.(RJ-26 H2, fotomicrografia, NC).

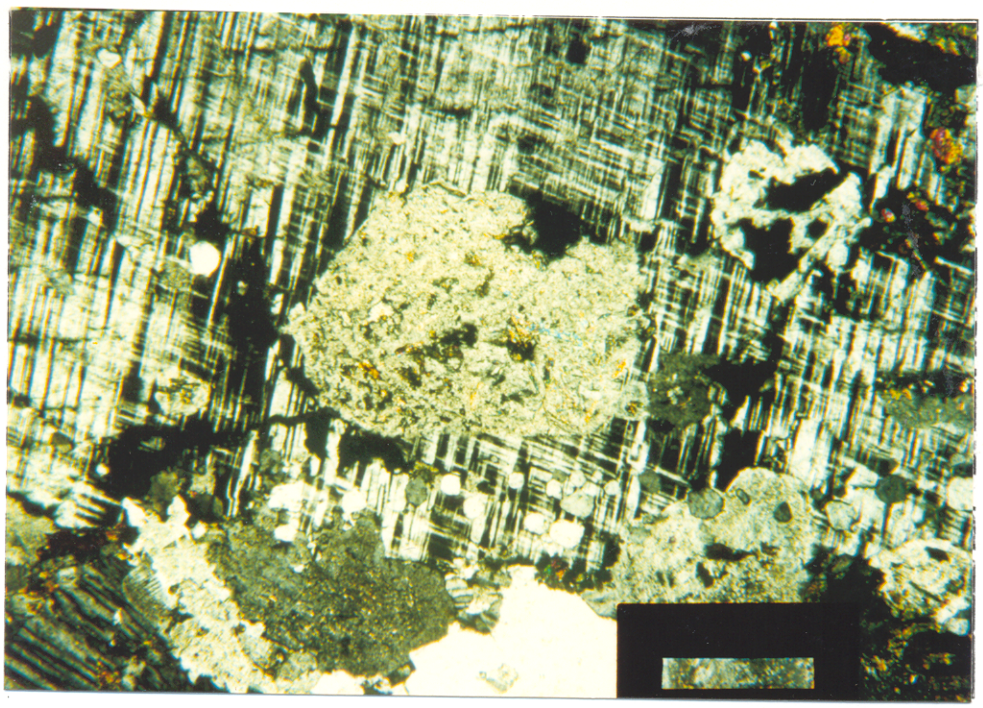


Figura 58 - Cristal de microclina, com maclamento xadrez proeminente, englobando cristais menores de plagioclásio sericitizado e quartzo (RJ 26H2, fotomicrografia, NC).

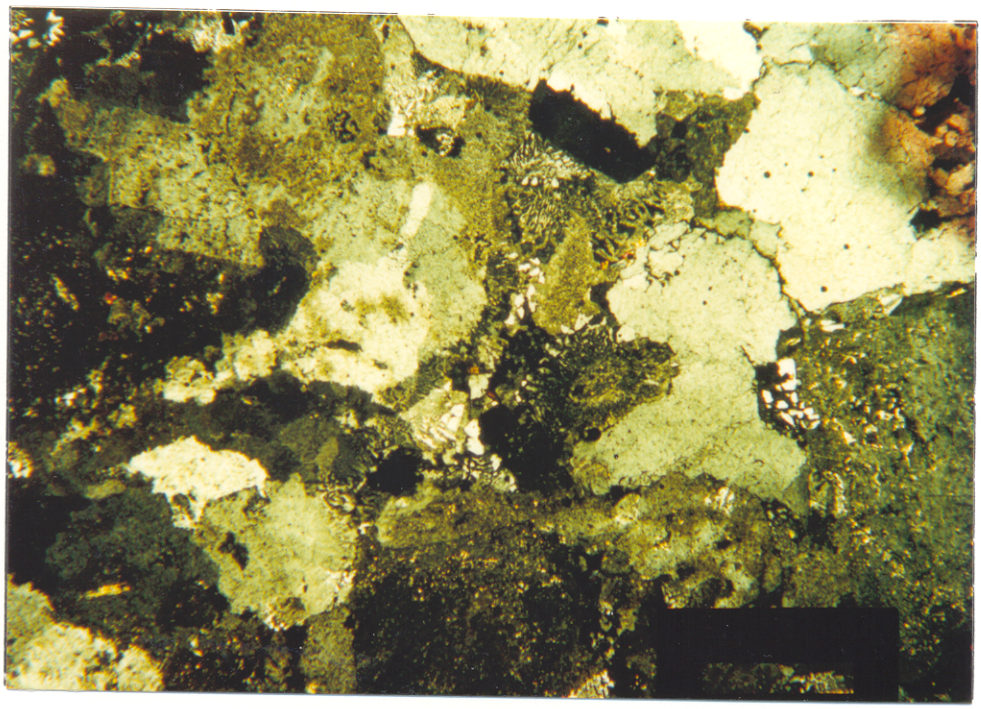


Figura 59 - Fácies monzogranítica do Granodiorito Rio Maria, em contato direto com dique diorítico, notando-se textura granular hipidiomórfica e a presença de intercrescimentos granofíricos nas juntas dos grãos. (RJ 26H2, fotomicrografia, NC).

4- SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E MINERAIS OPACOS

4.1- ASPECTOS GERAIS

Suscetibililidade Magnética (K) de rochas é função da suscetibilidade de seus constituintes, das texturas (dimensão e forma dos grãos) e da sua história evolutiva (BALSLEY & BUDDINGTON, 1958). A suscetibilidade magnética (SM) é desprovida de unidade e seu valor numérico depende do sistema de medidas utilizado. Na literatura geológica-geofísica, a unidade tradicional é a unidade eletromagnética por centímetro/ grama/segundo (C.G.S. emu). O mineral ferrimagnético mais importantes nas rochas ígneas e metamórficas é a **magnetita** (com K em torno de 0,5 a 0,4 emu). Os demais minerais constituintes das rochas são paramagnéticos como a **ilmenita** (com K aproximado de 0,1 a 0,3 emu) e a biotita (K em torno de 0,1 a $0,4x10^{-3}$ emu) ou diamagnéticos, como o quartzo (K aproximado de $-1,25x10^{-6}$ emu) e pouco influênciam nos resultados finais das medidas de suscetibilidade magnética. Desta forma a suscetibilidade magnética da maioria das rochas, tanto ígneas como metamórficas, reflete em primeira aproximação, o seu conteúdo de **magnetita** (CARMICHAEL, 1986). Trabalhos mais recentes, costumam apresentar os dados de suscetibilidade magnética, em unidades do Sistema Internacional. Os valores numéricos de SM no Sistema Internacional (SI), são 4^1 (12,56637) maiores que no Sistema C.G.S. (HOOD et al., 1979; CARMICHAEL, 1986).

Conforme realçado por MAGALHÃES (1991), MAGALHÃES & DALL'AGNOL (1992) e MAGALHÃES et al. (no prelo), os estudos de **suscetibilidade magnética** vem se intensificando nos ultimos anos, sendo a SM utilizada nas mais diversas áreas do conhecimento geológico. Dentre elas, destacam-se a avaliação do potencial metalogenético de granitóides e a caracterização de áreas propícias à mineralização (ISHIHARA,1981; HATTORI, 1987; MAGALHÃES 1991). Os estudos de SM podem ser usado, ainda como ferramenta auxiliar na separação de fácies em rochas graníticas, e na compreensão da diferenciação magmática em conseqüência do fato de ocorrer geralmente um decréscimo de conteúdo dos minerais opacos com a mesma (MCGRATH, 1970; DALL'AGNOL et al, 1988; MAGALHÃES, 1991; MAGALHÃES & DALL'AGNOL, 1992).

Os estudos de SM tem se mostrado, ainda, na Amazônia Oriental como uma importante ferramenta, na identificação e delimitação de auréolas de metamorfismo termal, provocada por intrusões graníticas em metagranitóides, haja visto ocorrer um aumento significativo no conteúdo de minerais opacos na zona de contato (neoformação de magnetita), e conseqüentemente também de suscetibilidade magnética (MAGALHÃES & DALL'AGNOL, 1991).

4.2 - TRABALHOS ANTERIORES

As pesquisas sobre suscetibilidade magnética em granitóides vem se intensificando nos últimos anos, em especial na região amazônica, em função principalmente da linha de pesquisa estabelecida pelo Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG) do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará. Os trabalhos pioneiros nessa área foram feitos por DALL'AGOL et al. (1988), mas a ampliação desses trabalhos e a colocação em rotina da metodologia dos resultados de SM no GPPG, deveu-se a MAGALHÃES (1991). Entre os trabalhos mais recentes, que usam a plicação de suscetibilidade magnética como ferramente auxiliar e/ou principal podem-se citar:

DALL'AGNOL et al. (1988), em estudo preliminar de SM em granitóides do Cráton Amazônico, identificaram a presença de pelo menos três grupos de granitóides com base em seus valores de SM. Os dois grupos principais englobavam, de um lado, os granitos estaníferos, com baixos valores de SM, e de outro, os granitóides relativamente ricos em magnetita, com valores elevados de SM (Granito Jamon, Adamelito Agua Branca e biotita-granitóides a titanita do alto Rio Negro). Um terceiro grupo, apresentou valores de SM intermediários entre os dos dois grupos supracitados, tendo como principais representantes o Granito Cigano e o Granodiorito Rio Maria (objeto principal deste estudo).

MAGALHÃES (1991) realizou um estudo sistemático de SM e minerais opacos nos granitros anorogênicos do Paleoproterozóico Musa, Antonio Vicente e Cigano, bem como no Granodiorito Rio Maria, de idade arqueana. Essa pesquisa teve seus dados apresentados em vários artigos, discutidos a seguir. MAGALHÃES & DALL'AGNOL (1991) apresentaram um estudo de minerais opacos e suscetibilidade magnética em amostras do Granodiorito Rio Maria provenientes da sua área tipo. Os principais minerais opacos identificados foram magnetita e hematita, sendo a magnetita escassa na maior parte do corpo e bastante abundante nas zonas de contato com os corpos graníticos Jamon e Musa. Ela foi, portanto, interpretada como uma fase secundária ligada a recristalizações devidas ao metamorfismo de contato causado pelas intrusões graníticas.

Quanto à suscetibilidade magnética, os mesmos identificaram no Granodiorito Rio Maria quatro populações magnéticas sendo a SM média de 58,40 E-4 SI-emu. Elaboraram ainda, mapas de distribuição das fácies petrográficas e das populações magnéticas encontradas (Figura 60), onde evidenciaram que os valores de SM do Granodiorito Rio Maria aumentavam significativamente na região de contato entre o mesmo e os granitos Musa e Jamon.

MAGALHÃES & DALL'AGNOL (1992), em estudo de SM e minerais opacos dos granitos Musa e Jamon, determinaram que os seus principais minerais opacos são magnetita e

ilmenita, e, subordinadamente hematita, goethita e pirita e que os mesmos apresentam-se quase que exclusivamente associados as fases máficas presentes. Concluíram que a suscetibilidade magnética nos granitos Musa e Jamon é perfeitamente correlacionável à evolução magmática dos mesmos. Os valores mais elevados de SM estão presentes nas fácies menos evoluídas, segundo a seqüência de diferenciação magmática e os valores mais baixos, relacionam-se às fácies cristalizadas mais tardiamente e afetadas mais intensamente por transformações pós-magmáticas. Concluiram ainda, baseados no conteúdo de minerais opacos, na presença de magnetita em todas as fases, bem como nas razões Fe_2O_3/FeO próximas a um, que os mesmos apresentam características típicas de granitos da série à magnetita (ISHIHARA,1981).

MAGALHÃES et al. (1994), em trabalhos desenvolvidos na região de Marajoara (SE do Pará), estudaram o comportamento magnético do Tonalito Arco Verde e do Granito Guarantã, ambos de idade arqueana. Mostraram que, no Tonalito Arco Verde, os valores mais elevados de SM são fornecidos pelas amostras afetadas pelas intrusões dos granitos proterozóicos Musa e Marajoara, de modo similar ao observado anteriormente no Granodiorito Rio Maria. No caso do Granito Guarantã os mesmos constataram uma diminuição nos valores de SM, nas proximidades dos contatos desta unidade com o Tonalito Arco Verde, contatos estes marcados por zonas de cisalhamento.

FIGUEIREDO et al. (1996), estudaram o comportamento magnético e a natureza dos minerais opacos do granito arqueano Xinguara (SE do Estado do Pará). Mostraram que os minerais opacos, cujos conteúdos são variáveis entre 0.1 e 0.5% (LEITE, 1995), são formados principalmente por magnetita, vindo em segundo plano hematita, na forma de martita e, ocorrendo muito raramente, ilmenita do tipo *trellis* e goethita. Estes opacos, ocorrem inclusos em plagiocásio e microclina, ou estão associados a biotita e acessórios. Classificaram o Granito Xinguara, como pertencente a série à magnetita de ISHIHARA (1981) e, verificaram que não existe uma relação direta entre os valores de SM e as variações no corpo granítico identificados por LEITE (1995). Concluíram que os maiores valores de SM foram fornecidos pelas amostras em que os cristais de magnetita encontram-se mais desenvolvidos e melhor preservados da martitização, enquanto que os valores mais baixos ocorrem quando a magnetita apresenta-se parcial ou totalmente martitizada.

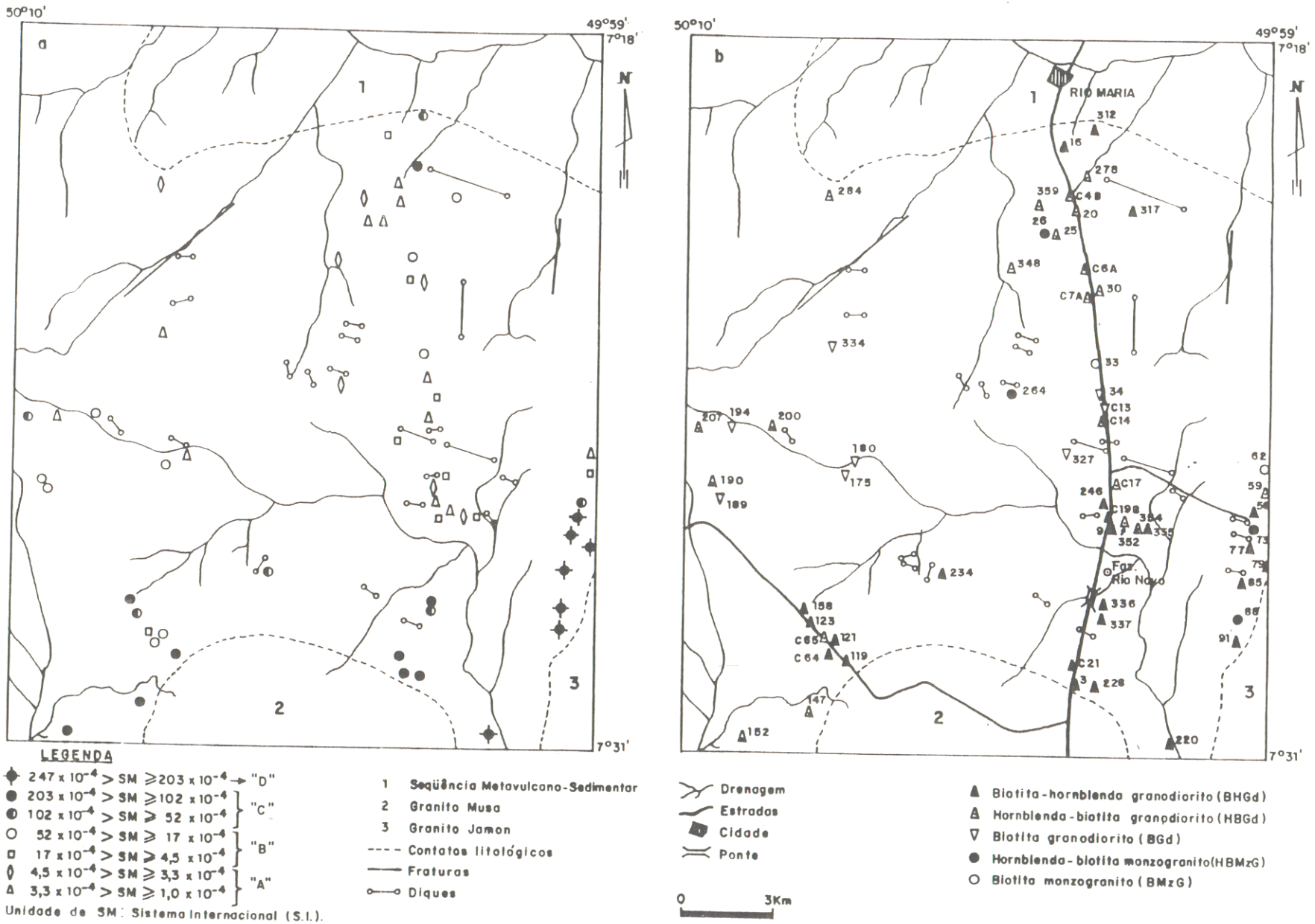


Figura 60- Mapa de variação de Suscetibilidade Magnética e de distribuição de amostras e respectivas fácies do Granodiorito Rio Maria, segundo MAGALHÃES & DALL'AGNOL (1991). Classificação dos fácies, baseada em MEDEIROS (1987) e MAGALHÃES (1991).

CARVALHO et al. (1996), apresentaram um estudo dos diques e stocks máficos da região de Curionópolis-PA, nos quais identificaram os minerais opacos, magnetita, ilmenita e, em segundo plano, hematita (martita). A magnetita ocorre associada aos minerais máficos ou inclusa em labradorita. As vezes apresenta texturas esqueletais com as cavidades preenchidas por anfibólio, biotita e titanita. A ilmenita ocorre em quatro formas distintas: ilmenita do tipo *Trellis* (T), ilmenita do tipo *composite* (C), ilmenita do tipo *patch* (P) e, ocorre ainda como cristais individuais (tipo I). A SM média obtida foi de 2,632 x E^{-2} SI-emu, e as amostras medidas foram divididas em duas populações magnéticas, sendo uma delas, com valores elevados de SM, amplamente dominante e correspondendo as fácies em que a magnetita apresenta-se menos transformada. Sugeriram ainda, uma correlação entre SM e o conteúdo modal de minerais opacos e máficos nas fácies identificadas no corpo, com a mesma tendendo a diminuir no sentido Qgb (quartzo gabros) - Gb (gabros) - Lgb (leucocabros).

DIAS et al. (1996), apresentaram um estudo de SM e minerais opacos dos metagabros de Águas Claras, onde observaram uma grande variação na natureza, quantidade e textura dos minerais opacos, que, segundo os mesmos, são refletidas nos valores de SM. Relacionaram parte das variações de SM aos processos de mineralização (disseminação de pirita, calcopirita, magnetita e vênulas de quartzo em metagabros fortemente transformados). Mostraram, ainda, que, nas amostras por eles estudadas, o conteúdo de magnetita e por conseguinte os valores de SM, não dependem do grau de preservação das associações mineralógicas e texturas ígneas.

4.3- APRESENTAÇÃO DOS DADOS DE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA

As medidas de suscetibilidade magnética foram obtidas no Laboratório de Petrologia Manética do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará, em um suscetibilímetro modelo SI-1, da marca "Saphire Instruments", que permite fazer medidas em um intervalo de 1 x 10^{-6} a > 1 emu/ cm^3, com acurácia > 95% com a calibração da bobina e > 80% sem calibração. O sensor utilizado nas medidas foi a bobina plana, que tem uma área de 15 cm^2, permitindo medidas em superfícies planas de amostras de mão previamente preparadas. Em cada amostra foram efetuadas várias medidas, considerando-se sempre a média, representativa, portanto, para cada amostra.

4.3.1- Granodiorito Rio Maria do Domínio de Contato com os Diques

Neste domínio do granodiorito foram efetuadas medidas em um total de 17 amostras, com um mínimo de duas e um máximo de cinco medidas por amostras, obtendo-se em seguida média para cada amostra. Verificou-se que nesta porção, o granodiorito apresenta valor médio de SM=2,817x 10-3 SI-emu, com uma acentuada variação nas medidas, que vão desde SM=0,554x10-3 SI-emu (valor mínimo) até 23,73x10-3 SI-emu (valor máximo). Estes dados, bem como o sumário estatístico das medidas, encontram-se nas tabelas 3A e 3B.

Análise de gráficos de probabilidade, histograma de frequência (Figura 61a e b) sugeriu a separação dos dados obtidos em duas populações magnéticas, denominadas A e B, além de uma amostra isolada. A população A é menos expressiva e abrange cerca de 41% das amostras medidas. Os valores de SM nesta população estão situados entre 0,55x10-3 SI-emu e 0,97x10-3 SI-emu. Esta população poderia ser, talvez, subdividida em duas populações, mas o número reduzido de medidas e a ausência de evidências de relação direta entre essas possíveis subpopulações e as variações devidas ao contato, mostrou-se ser mais conveniente considera-la neste estágio como uma única população. Esta população A, mostra os valores mais baixos de SM, situando-se com algumas exceções sempre a distâncias superiores a 10 metros do contato. Isso demostra que não houve neoformação significativa de magnetita a tais distâncias do contato, indicando que as auréolas térmicas ocasionadas pelas intrusões dos diques foram bastantes discretas.

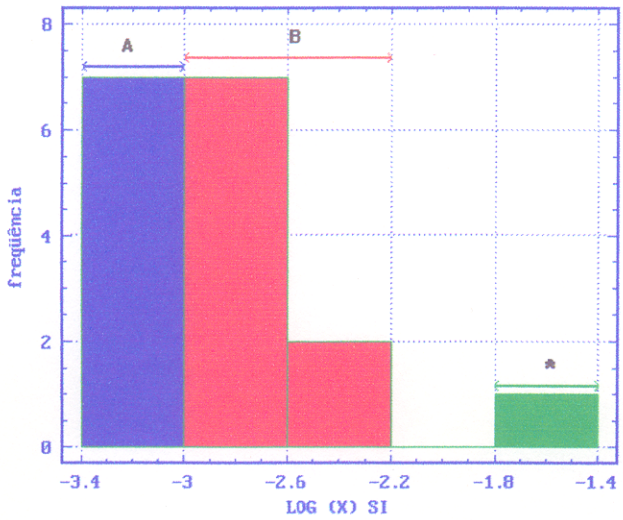
A população B, dominante, representa em torno de 52 % das amostras estudadas e apresenta valores de SM variando de 1,06x10-3 SI-emu (valor mínimo) até 5,64x10-3 SI-emu. Esta população apresenta valores de SM bastante homogêneos e engloba amostras coletadas geralmente muito próximas do contato com os diques. Uma amostra se isola do conjunto por apresentare valor de SM muito mais elevados (23,73x10-3 SI-emu; RJ-17C). Esta amostra foi coletada a menos de 3 metros de distância do contato com os diques e se destaca na Figura 61b. As variações de SM observadas no conjunto de amostras indicam que, embora seja nitida a tendência geral de aumento de SM com a maior proximidade da zona de contato, há diferenças expressivas nos valores de SM de amostras provenientes de distâncias similares do contato. Isso sugere que os outros fatores influenciaram um maior ou menor efeito térmico local. Além disso, os valores de SM das amostras desse domínio são muito inferiores em sua quase totalidade aqueles obtidos no domínio do contato das intrusões graníticas (discutidas adiante). Isso demostra que os efeitos térmicos dos diques, mesmo em zonas adjacentes ao contato, foram bem mais discretas, o que, aliás, já fora sugerido pelas observações petrográficas.

Tabela 3A - Dados de suscetibilidade magnética (SM) do Granodiorito Rio Maria nas proximidades e no domínio de contato com diques espessos ocorrentes na região.

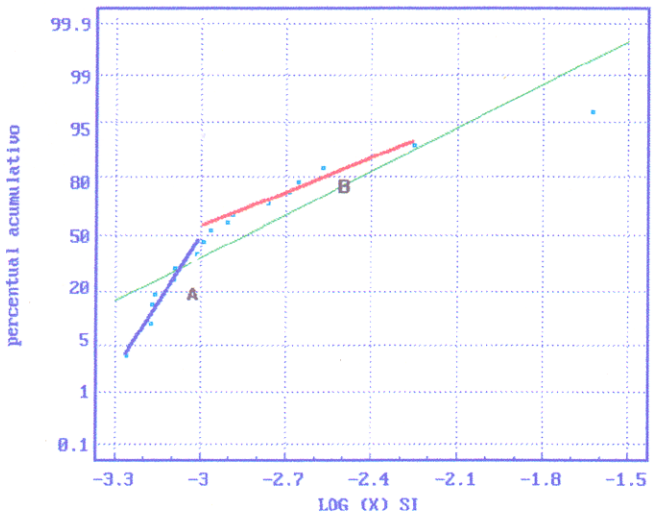
AMOSTRA	XSI	Log X	POPULAÇÃO	DISTÂNCIA DO CONTATO (m)
RJ-17 C	$23,73 \times 10^{-3}$	-1,62470		2,80 (AI)
RJ- 19	$5,64 \times 10^{-3}$	-2,24903		1,85
RJ-41 C	$2,67 \times 10^{-3}$	-2,57365		1,70
RJ-24 I	$2,21 \times 10^{-3}$	-2,65600	B	Indefinida
RJ-26 H2	$2,06 \times 10^{-3}$	-2,68634		0,20
RJ-26 I	$1,72 \times 10^{-3}$	-2,76422		27
RJ-26 J	$1,30 \times 10^{-3}$	-2,88673		36
RJ-26 K	$1,25 \times 10^{-3}$	-2,90448		40
RJ-26 A	$1,09 \times 10^{-3}$	-2,96218		14
RJ-23 B	$1,06 \times 10^{-3}$	-2,97675		101
RJ-28 H	$0,97 \times 10^{-3}$	-3,01336		6
RJ-23 A	$0,81 \times 10^{-3}$	-3,08948	A	141
RJ-23 C	$0,80 \times 10^{-3}$	-3,09431		65
RJ-34 A	$0,69 \times 10^{-3}$	-3,15833		6
RJ-23 M	$0,68 \times 10^{-3}$	-3,17031		41
RJ-24 A	$0,67 \times 10^{-3}$	-3,17393		13
RJ-41 A	$0,55 \times 10^{-3}$	-3,25649		44

Tabela 3B - Sumário estatístico referente aos dados da tabela 3A.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS (N^0 de amostras = 17	X (SI)
média	$2,817 \times 10^{-3}$
mediana	$1,091 \times 10^{-3}$
moda	$1,091 \times 10^{-3}$
média geométrica	$1,453 \times 10^{-3}$
variância	$3,053 \times 10^{-5}$
desvio padrão	$5,526 \times 10^{-3}$
erro padrão	$1,340 \times 10^{-3}$
valor mínimo	$0,554 \times 10^{-3}$
valor máximo	$23,73 \times 10^{-3}$



(a)



(b)

Figura 61 - (a) Histograma de freqüência e (b) gráfico de probabilidade referentes aos dados de suscetibilidade magnética do Granodiorito Rio Maria proveniente das proximidades e do contato com diques espessos. * Amostra isolada.

4.3.2- Granodiorito Rio Maria do Domínio de Contato com os Granitos Jamon e Musa e do Domínio Afastado das Intrusões

Foram medidas 46 amostras, deste domínio, seguindo a metodologia já descrita (mínimo de duas e máximo de sete medidas por amostra, tomando-se sempre os valores médios). Os resultados obtidos acham-se apresentados na Tabela 4A. Nestes domínios o granodiorito apresenta uma suscetibilidade magnética média de 9,533x10-3 SI-emu, com valores que variam entre o mínimo de 0,100x10-3 SI-emu e o máximo de 8,417x10-2 SI-emu. A tabela 4B apresenta o sumário estatístico dos dados obtidos para estes domínios do granodiorito.

Com a elaboração de histograma de frequência, diagrama de probabilidade (Figuras 62 a e b), com base nos dados obtidos, pôde-se constatar a ocorrência de três populações de suscetibilidade magnética, que foram denominadas em ordem crescente de SM *A, B e C*. Essas populações podem ser observadas como segmentos de retas que definem intervalos de SM na Figura 62 b. Além dessas três populações, há amostras isoladas que apresentam os valores mínimos e máximos de SM (CRM-80 e CRM-68, respectivamente).

A população *A* representa pouco mais de 26% das medidas e apresenta valores de SM situados entre 0,609x10-3 SI-emu (valor mínimo) e 1,340x10-3 SI-emu (valor máximo) (Tabela 4A). A amostra CMR-80, que apresenta o menor valor de suscetibilidade magnética do conjunto, destoa inteiramente do comportamento dessa população (Figuras 62a e b), porém suas características petrográficas são similares `as das amostras da população A. Nessa população, onde encontram-se os valores mais baixos de SM, predominam as amostras que se encontram a maiores distâncias dos contatos com as intrusões graníticas, sendo tais distâncias sempre superiores a 2.000 metros. Também nesse aspecto, a amostra CMR-80 se assemelha aquelas da população A.

A população *B* engloba cerca de 15% das medidas, e apresenta valores de SM que estão situados entre 1,534x10-3 SI-emu e 5,899x10-3 SI-emu (Tabela 4A). Nesta população, SM é baixa a moderada e um pouco superior `a da população A. Nela predominam amostras situadas a distâncias entre 600 e 1500 metros dos contatos com as intrusões graníticas.

A população C é formada por mais de 50% das amostras estudadas, as quais apresentam os maiores valores de SM. O intervalo de variação de SM vai desde 7,409x10-3 SI-emu (mínima) até 21,440x10-3 SI-emu (máxima) (Tabela 4A). As amostras dessa população provém da zona mais próxima do contato com os granitos, situando-se a uma distância média do contato em torno de 400 metros e nunca ultrapassando 1200 metros. Este domínio é certamente a região onde o metamorfismo de contato foi mais atuante, o que fortalece muito a hipótese de existência de uma relação de causa e efeito entre o primeiro e as variações de SM registradas.

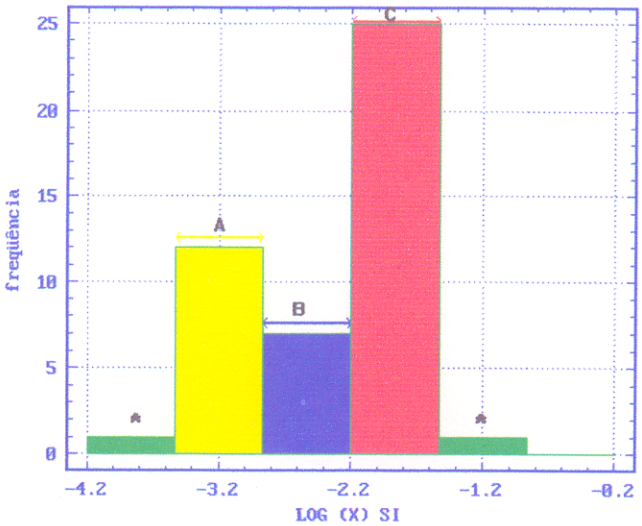
A amostra CMR-68 apresenta o valor mais alto de SM encontrado em toda área estudada (84,170x10-3 SI-emu) e comporta-se como uma amostra isolada (Figuras 62a e b) essa amostra situa-se tanto na área de influência dos efeitos térmicos causados pela intrusão do Granito Jamon, como de um dique que se encontra nas suas proximidades (vide Anexo F).

Tabela 4A - Dados de suscetibilidade magnética referentes as amostras do Granodiorito Rio Maria provenientes do domínio afastado do contato edaquele afetado pelas intrusão granitos Musa e Jamon.

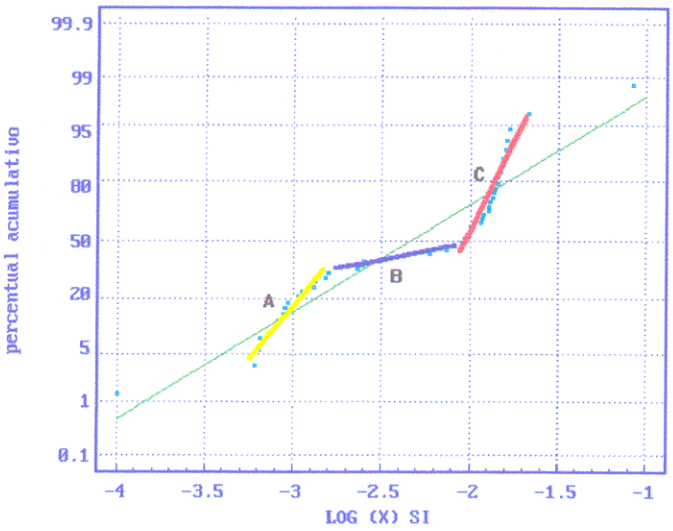
AMOSTRAS	X (SI)	Log (X)	DISTÂNCIA (m)	POPULAÇÃO
CMR-68	$84{,}170 \times 10^{-3}$	-1,07484	350	Amostra Isolada
CMR-46	$21{,}440 \times 10^{-3}$	-1,66878	1000	
CMR-53 A	$16{,}700 \times 10^{-3}$	-1,77728	1100	
CMR-35 A	$16{,}150 \times 10^{-3}$	-1,79183	200	
CMR-51	$15{,}959 \times 10^{-3}$	-1,79724	1100	
CMR-35 B	$15{,}430 \times 10^{-3}$	-1,81163	200	
CMR-1	$15{,}420 \times 10^{-3}$	-1,81192	200	
CMR-54	$14{,}920 \times 10^{-3}$	-1,82623	1050	
CMR-45	$14{,}430 \times 10^{-3}$	-1,84073	1200	
HRM-79	$14{,}430 \times 10^{-3}$	-1,84073	50	
CMR-48	$14{,}020 \times 10^{-3}$	-1,85325	990	C
CMR-67	$13{,}730 \times 10^{-3}$	-1,86233	500	
CMR-90 B	$13{,}500 \times 10^{-3}$	-1,86967	35	
CMR-47	$12{,}980 \times 10^{-3}$	-1,88673	980	
CMR-92	$12{,}710 \times 10^{-3}$	-1,89585	150	
CMR-90 A	$12{,}710 \times 10^{-3}$	-1,89585	25	
CMR-37	$11{,}980 \times 10^{-3}$	-1,92154	750	
CMR-91 A	$11{,}820 \times 10^{-3}$	-1,92738	75	
CMR-70	$11{,}480 \times 10^{-3}$	-1,94006	200	
CMR-37	$10{,}050 \times 10^{-3}$	-1,99783	750	
CMR-6 A	$10{,}050 \times 10^{-3}$	-1,99783	200	
CMR-55	$9{,}787 \times 10^{-3}$	-2,00935	1200	
CMR-93	$9{,}409 \times 10^{-3}$	-2,02646	550	
CMR-30 B	$9{,}063 \times 10^{-3}$	-2,04273	500	
CMR-34	$7{,}688 \times 10^{-3}$	-2,11419	300	
CMR-72	$7{,}409 \times 10^{-3}$	-2,13024	100	
CMR-40	$5{,}899 \times 10^{-3}$	-2,22922	1550	
CMR-39	$3{,}652 \times 10^{-3}$	-2,43747	1245	
CMR-22	$2{,}525 \times 10^{-3}$	-2,59774	110	B
CMR-79	$2{,}454 \times 10^{-3}$	-2,61013	6000	
CMR-71 B	$2{,}316 \times 10^{-3}$	-2,63526	110	
CMR-87 A	$1{,}584 \times 10^{-3}$	-2,80024	8200	
CMR-87 B	$1{,}534 \times 10^{-3}$	-2,81417	8200	
CMR-52 A	$1{,}340 \times 10^{-3}$	-2,87290	1200	
CMR-38	$1{,}321 \times 10^{-3}$	-2,87910	800	
CMR-96	$1{,}129 \times 10^{-3}$	-2,94731	1460	
CMR-81	$1{,}059 \times 10^{-3}$	-2,97510	4600	
CMR-83	$0{,}935 \times 10^{-3}$	-3,02933	6000	
CMR-122	$0{,}904 \times 10^{-3}$	-3,04378	6400	
CMR-82	$0{,}889 \times 10^{-3}$	-3,05129	5000	
CMR-123	$0{,}821 \times 10^{-3}$	-3,08576	5500	A
CMR-42 A	$0{,}775 \times 10^{-3}$	-3,11092	2250	
CMR-84	$0{,}653 \times 10^{-3}$	-3,18529	6700	
CMR-85	$0{,}642 \times 10^{-3}$	-3,19940	7300	
CMR-86	$0{,}609 \times 10^{-3}$	-3,21560	7700	
CMR-80	$0{,}100 \times 10^{-3}$	-3,99957	2500	Amostra Isolada

Tabela 4B - Sumário estatístico referente aos dados da tabela 4A.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS (N^0 de amostras = 46	X (SI)
média	$9{,}533 \times 10^{-3}$
mediana	$9{,}236 \times 10^{-3}$
moda	$1{,}005 \times 10^{-2}$
média geométrica	$4{,}644 \times 10^{-3}$
variância	$1{,}646 \times 10^{-4}$
desvio padrão	$1{,}283 \times 10^{-2}$
erro padrão	$1{,}892 \times 10^{-3}$
valor mínimo	$0{,}100 \times 10^{-3}$
valor máximo	$8{,}417 \times 10^{-2}$



(a)



(b)

Figura 62 - (a) Histograma de freqüência e (b) gráfico de probabilidade referentes aos dados de suscetibilidade magnética do Granodiorito Rio Maria proveniente das proximidades e das áreas mais afastadas do contato com os granitos Musa e Jamon.

4.3.3 - Suscetibilidade Magnética *versus* Metamorfismo de Contato

Foi elaborado um mapa de variação da suscetibilidade magnética (Anexo G), no qual verifica-se que os mais elevados valores de SM situam-se nas proximidades dos contatos do granodiorito com os granitos ou, muito localmente, relacionam-se aos diques espessos que ocorrem amplamente na região. Valores anômalos podem ser devidos, talvez, `a alteração nas amostras, mas isso não é muito provável porque se procurou deixar de lado amostras com alteração visível. É mais lógico admitir que outros processos localizados, nem sempre claramente identificados, possam afetar a SM.

Elaborou-se um gráfico que relaciona a susucetibilidade magnética do Granodiorito Rio Maria com as respectivas distâncias que as mesmas se encontram em relação ao contato com os granitos Musa e Jamon (Figura 63a), onde obteve-se uma boa correlação observando-se que as amostras mais próximas do contato apresentam nitidamente valores maiores de suscetibilidade magnética, e que se dá de modo inverso nas amostras mais afastadas do contato.serva-se histograma de frequência para as amostras do Granodiorito Rio Maria proveniente dos domínios do contato com os granitos Jamon e Musa e afastado dos mesmos. Em outro histograma (Figura 63b), tentou-se ainda, relacionar os percentuais de medidas de SM em cada população magnética com as respectivas distâncias do contato, explicitadas na Tabela 4A, tendo-se obtido uma razoável correlação, similar a figura anterior, melhor explicitada a seguir:

-A população A, que representa 26% do total de medidas e apresenta os mais baixos valores de SM, foi dividida em intervalos de distância quanto a predominância do número de medidas dentro desta população (vide Figura 63). Assim, notou-se que de um total de doze amostras que compreende o universo dessa populaçäo, oito situam-se no domíno 5, que compreende distâncias maiores que 3.000 metros. As amostras restantes, quatro, se dividiram em proporções iguais, nos domínios 3 e 4, de 750 a 1300 e de 1300 a 3000 metros respectivamentes. Baseado nestes dados, pode-se concluir que mais de 60% das amostras que compreendem a população A, ocorrem a distâncias superiores a 3.000 metros do contato com os granitos, e o restante que se distribui nos dois intervalos já mensionados, ocorrem sempre a distâncias superiores a 750 metros;

-A população B apresenta 15% do total de medidas, e os valores de SM são intermediários entre os mais baixos da população A e os mais altos da população D. Nesta população as medidas se distribuiram nos domínios, 1,3,4 e 5 respectivamente, predominando o domínio 5, distâncias superiores a 3.000 metros do contato e o 1, distâncias compreendidas entre 0 e 300 metros do contato. Não obteve-se uma excelente correlação, devido a predominância de valores intermediários de SM, embora predominem distâncias superiores a 3000 metros, isto pode ser justificado pelo número reduzido de medidas referentes a mesma;

A população C, é a população mais expressiva, compreende mais de 50% do total de análises obtidas, e foi possível a separação de três intervalos de distâncias, domínios 1, 2 e 3, de 0 a 300 m; de 300 a 750 m e de 750 a 1300 m respectivamentes. A maioria das medidas efetuadas, quase 50% predominam nitidamente no domínio 1 (0-300 metros), o restante divide-se entre os domínios 3 (750-1300 metros) e 2 (300-750 metros), sendo que nota-se um ligeiro predomínio do domínio 3. Há uma significativa coerência nestes dados, devido nesta população predominarem os valores mais elevados de suscetibilidade magnética, onde mais de 60% das medidas foram efetuadas em amostras que encontram-se a menos de 750 metros do contato com os granitos, o que nos leva a considerar que neste intervalo o metamorfismo de contato alcançou o seu climax, ratificando assim a hipótese de neoformação de magnetita em virtude do metamorfismo de contato aventada por MAGALHÃES (1991).

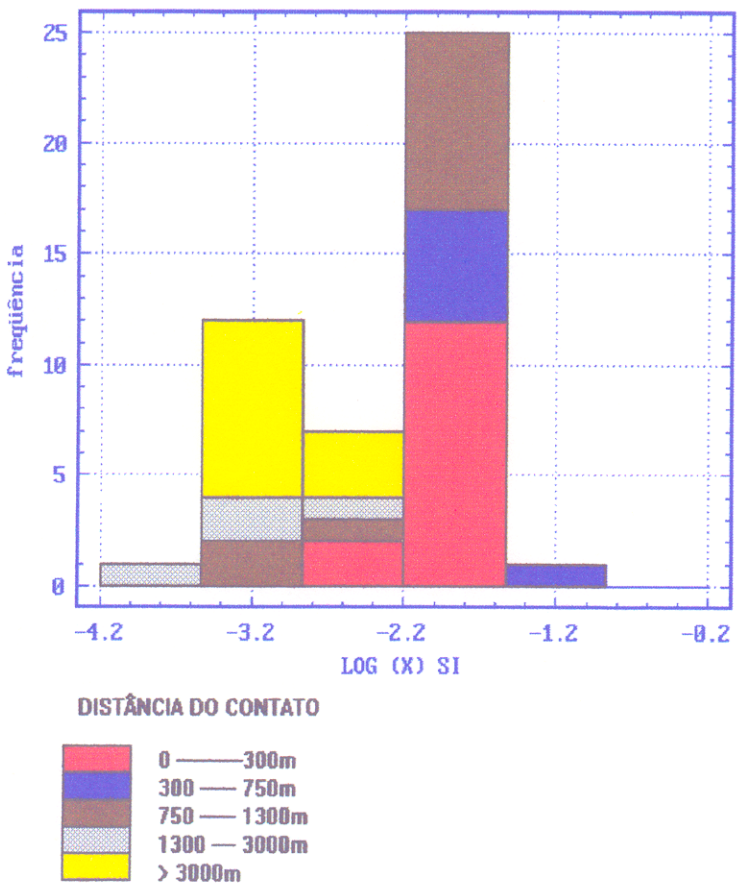
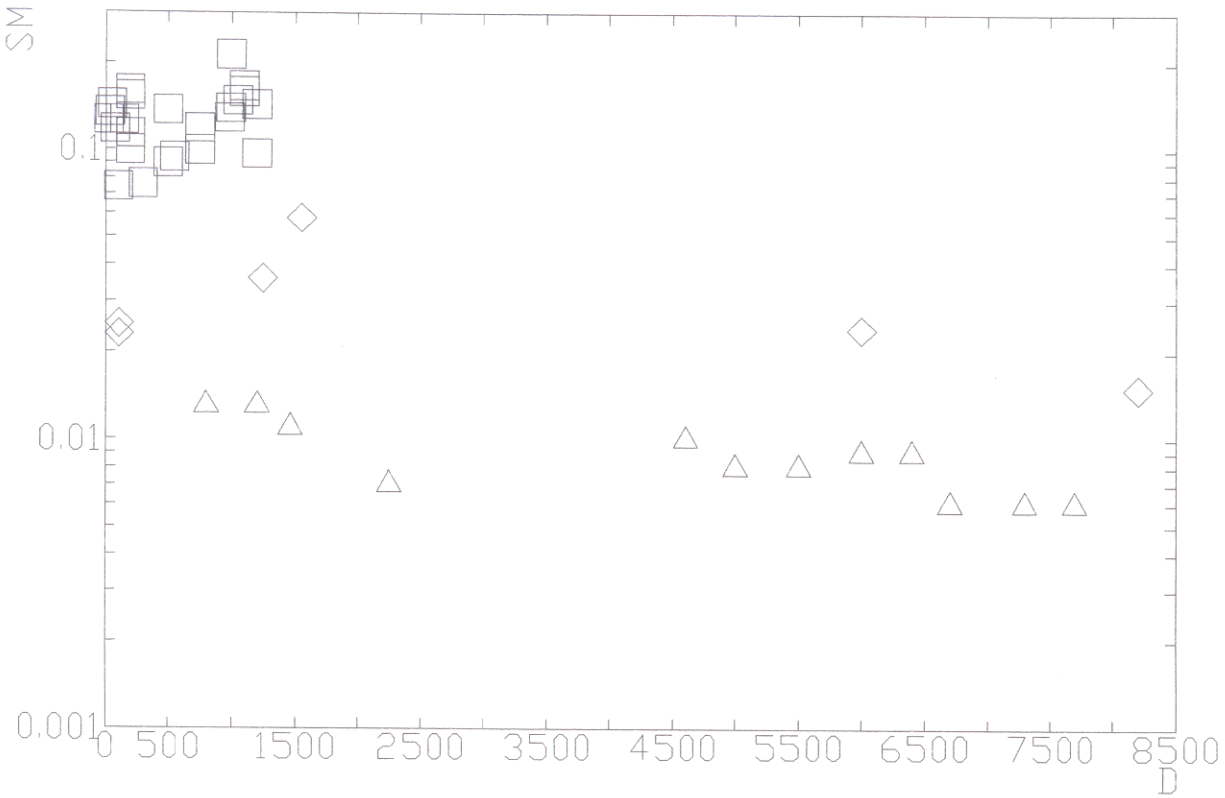


Figura 63 - Histograma de freqüência referente aos dados de suscetibilidade magnética do Granodiorito Rio Maria, mostrando a distribuição das amostras de acordo com os intervalos de distância do contato com as intrusões graníticas.



□ **População C**
◊ **População B**
Δ **População A**

Figura 63 - Diagrama Distância (D) em metros Versus Suscetibilidade Magnética (SM) em SI para amostras do Granodiorito Rio Maria nos diferentes domínios do contato com os granitos Musa e Jamon (Popucações definidas conforme a Tabela 4a).

4.4 - MINERAIS OPACOS

Os minerais opacos do Granodiorito Rio Maria foram estudados em microscópio óptico de de luz polarizada, tanto em luz refletida como transmitida. Esses estudos foram posteriormente aprimorados na microssonda eletrônica, cujos dados serão abordados no capítulo referente à química mineral. Algumas informações obtidas na microsonda poderão ser aqui utilizadas, para complementar as observações microscópicas.

Constatou-se um aumento relativamente significativo no conteúdo dos minerais opacos no domínio do granodiorito nas proximidades e no contato com os diques, que traduz-se na presença de cristais submilimetricos de magnetita (identificaçao apenas em microscópio óptco), e foram identificados três formas de ocorrência: em cristais anedrais associados a biotita cloritizada, possivelmente proveniente dos processos de substituição da mesma; em cristais isolados, anédricos ou subédricos, inclusos em plagioclásio e microclina; em cristais submilimétricos asociados `a titanita e desenvolvendo-se quase que exclusivamente nas suas bordas (Figura 64).

No domínio do contato do Granodiorito Rio Maria com os granitos Musa e Jamon, a suscetibilidade magnética torna-se bastante expressiva e constatou-se no estudo petrográfico um aumento acentuado no conteúdo de minerais opacos, os quais se associam aos cristais de plagioclásio recristalizados, mas também aos minerais máficos.

MAGALHÃES & DALL'AGNOL (1991), reconheceram quatro tipos de cristais de magnetita, mineral opaco amplamente predominante no GDRm. O tipo 1 restringia-se a cristais diminutos inclusos em feldspato alcalino e plagioclásio; o tipo 2 ocorre associado a agregados de minerais máficos; o tipo 3 corresponderia aos cristais inclusos em anfibólio e biotita; e, finalmente, o ultimo tipo, seria representado por cristais isolados. Os autores citados não estabeleceram, porém, relações entre os tipos de magnetita e `as distâncias dos contatos com os granitos anorogênicos.

No presente trabalho, procurar-se-á, com base nas amostras coletadas nos perfis perpendiculares ao contato, discutidos anteriormente, mostrar as variações em conteúdo, natureza e texturas, mostradas pelos opacos em função da maior ou menor intensidade dos efeitos de contato. Para tal serão descritos os opacos, começando pelas amostras situadas fora do domínio de contato até chegar aquelas proveniente do mesmo.

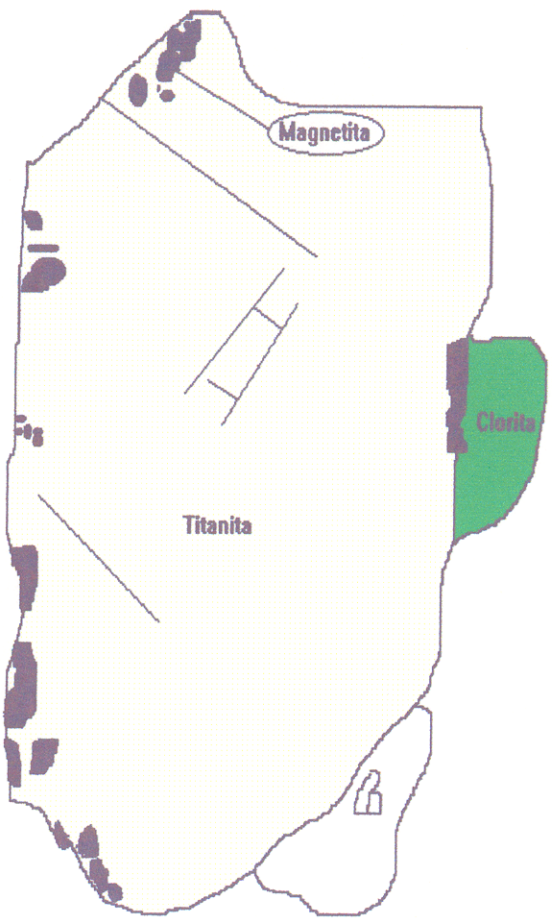


Figura 64 - Desenho esquemático de um cristal de titanita subédrico, onde observam-se minúsculo grãos de minerais opacos (magnetita) que concentram-se preferencialmente em suas bordas

A amostra CMR-96, coletada a aproximadamente 1460 metros do contato não mostra, conforme discutido anteriormente, evidências de ter sido afetada pelo metamorfismo de contato. Alem disso, a sua SM é muito baixa, pertencendo `a população A (Tabela 4A). Nessa rocha, os minerais opacos são essencialmente magnetita, sendo muito raros e de ocorrência esparsa, apresentando-se como pequenos grãos com leve martitização (Figura 65).

A partir de uma distância de 1000 metros, conforme já salientado na petrografia, o granodiorito torna-se rosado, e é marcante a recristalização do plagioclásio. Nesta altura o conteúdo de minerais opacos torna-se significativo, e a magnetita aparece em cristais maiores.

Em amostras coletadas a aproximamente 750 metros do contato, exemplificadas pela amostra CMR-37, as características de algus minerais entre eles a biotita no que concerne a mudanças essencialmente químicas (enrriquecida em Ti, detalhada no capítulo referente a química mineral) formam um grupo de amostras cujas características assumem posição intermediária entre as mais afetadas pelo metamorfismo de contato e as não afetadas. A recristalização do plagiocásio é bastante intensa, embora possam apresentar cristais parcialmente preservados. Os minerais opacos, em especial a magnetita ocorrem com bastante frequência e, basicamente, sob três formas: (1) Em grãos muito finos associados `a zona de recristalização mais proeminente do plagioclásio; (2) Em grãos muito finos que circundam zonas do plagioclásio aparentemente isenta de recristalizações; (3) Em cristais maiores subédricos euédricos que podem estar associados com biotita e anfibolio (Figura 66) ou ocorrerem isolados dos máficos e apresentando titanita no seu interior (Figuras 67).

Prosseguindo-se no perfil em direção ao contato com os granitos, tem-se na zona situada a distância inferior a 300 metros do contato, as rochas mais afetadas pelo metamorfismo de contato. Nesta zona a recristalização do plagioclásio atinge o seu ponto máximo, e tem-se a mais pronunciada neoformação de minerais opacos, que são exclusivamente magnetitas(analisadas em microssonda). Elas se apresentam como finíssimos e abundantes grãos disseminados no plagioclásio recristalizado (Figuras 68a e b) e são homogêneo, embora parcialmente martitizadas (Figura 68b). Esses grãos são submilimétricos e xenomórficos. em certos locais os grãos disseminados de magnetita estão envolvidos por uma massa de sericita que, aparentemente, substituiu o plagioclásio neoformado, após a recristalização deste. Em um desses exemplos, a magnetita está associada com biotita e anfibólio e titanita, esta com bordas mais claras, possivelmente empobrecidas em ferro (Figura 69).

Esta zona tambem é marcada pela ocorrência relativamente frequênte de cristais maiores de opacos (magnetita). Estes cristais são subeuédricos, e pouco transformados, embora constumam apresentar finas lamelas de hematita, geralmente nas suas bordas (Figura 70a). Tais cristais contrastam vivamente com os grãos muito finos de magnetita descritos anteriormente, tanto pela dimensão, quanto pela forma (Figura 70b).

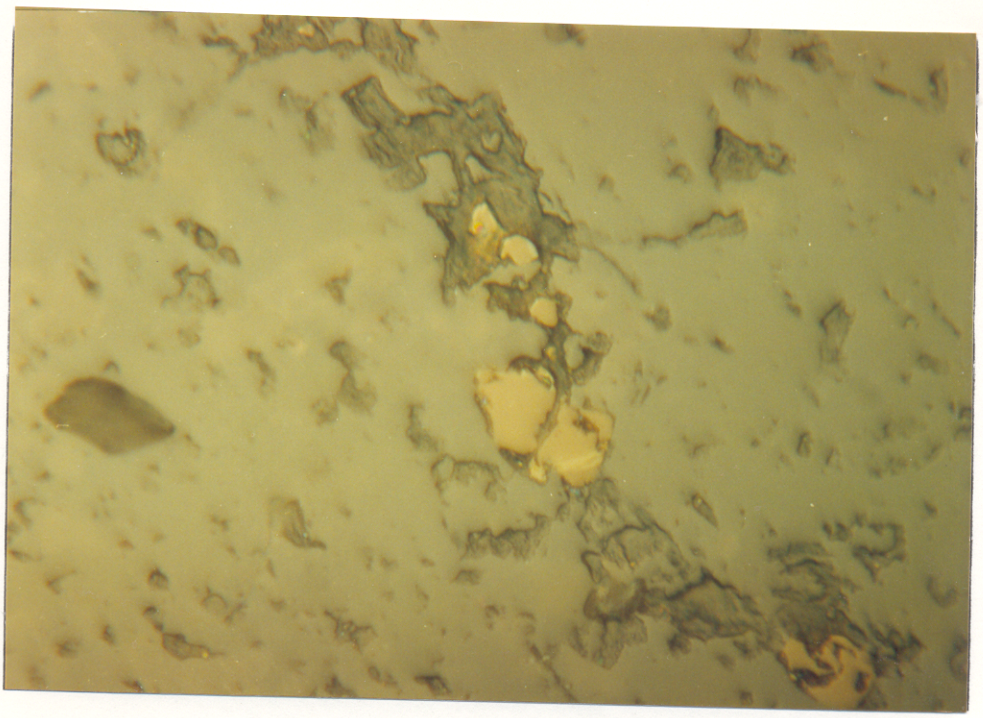


Figura 65 - Ocorrência rara de magnetita no GDrm, do domínio não afetado pelo metamorfismo de contato. A magnetita situa-se em fratura no interior da microclina; e encontra-se parcialmente martitizada. (CMR-96, fotomicrografia, luz refletida, Nc).

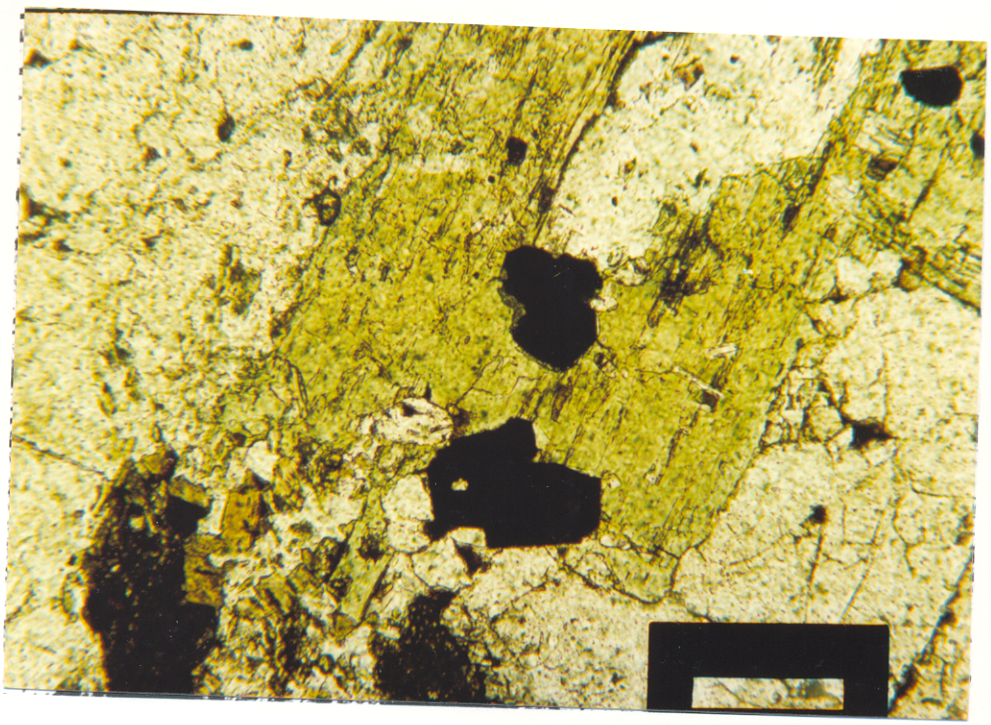


Figura 66 - Cristais de magnetita subédricos, associados a hornblenda e biotita (CMR-37, fotomicrografia; NP).

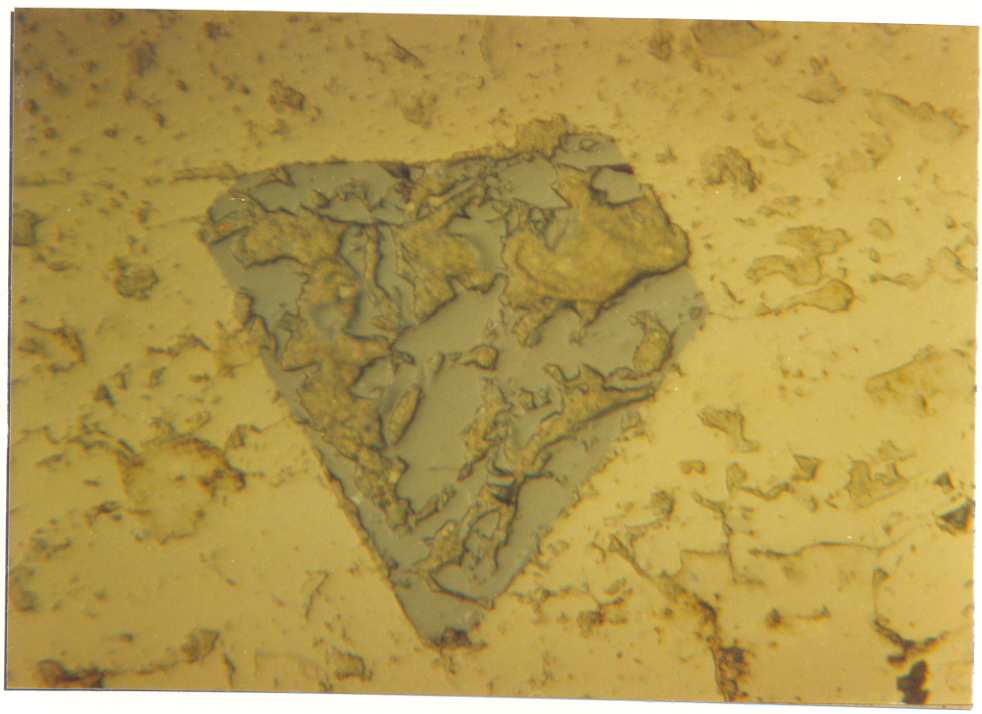


Figura 67 - Cristal euédrico de magnetita, apresentando manchas irregulares de titanita. (CMR-37; fotomicrografia em luz refletida, NP).

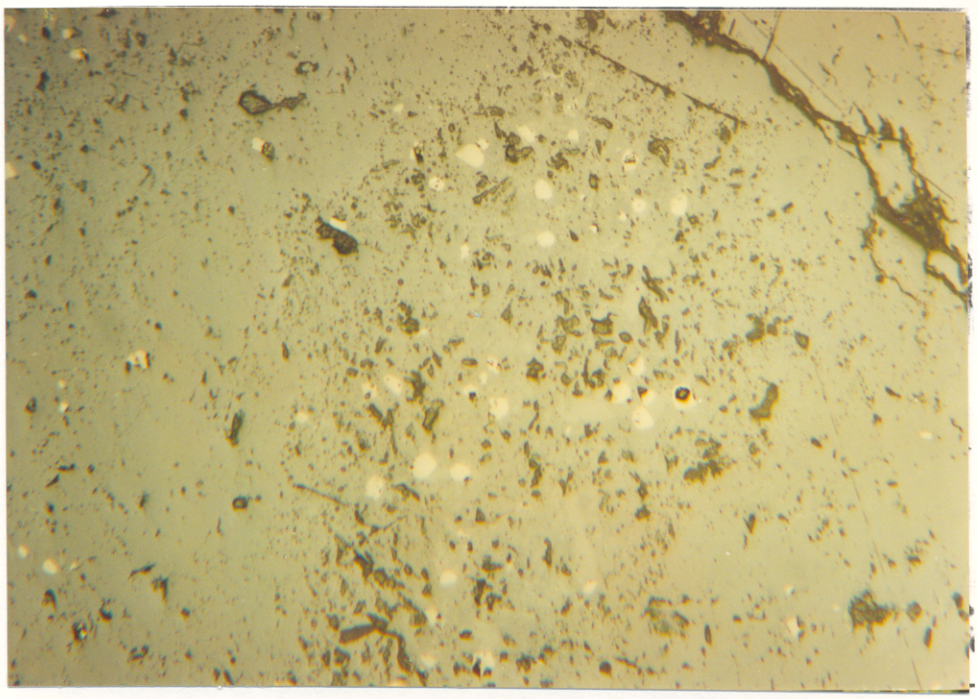


Figura 68a - Cristais Xenomórficos, submilimétricos de magnetita, associados com plagioclásio recristalizado.(CMR-91A, fotomicrografia em luz refletida, NP).

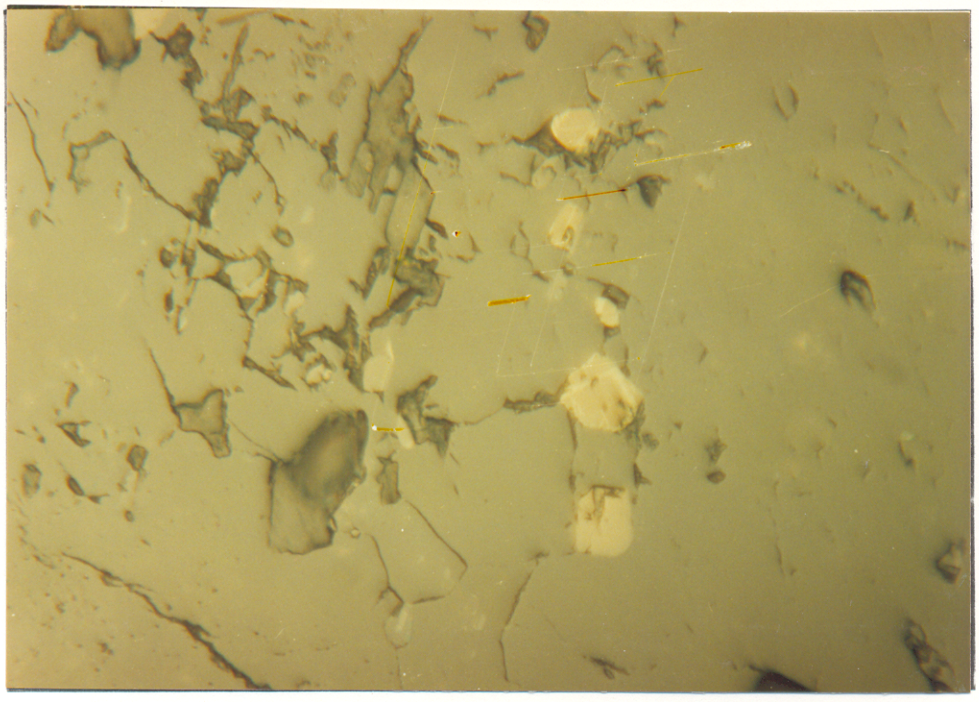


Figura 68b - Detalhe dos grãos de magnetita, notando-se a presença eventual de martita substituindo-os (CMR-91A, fotomicrografia em luz refletida, NP).

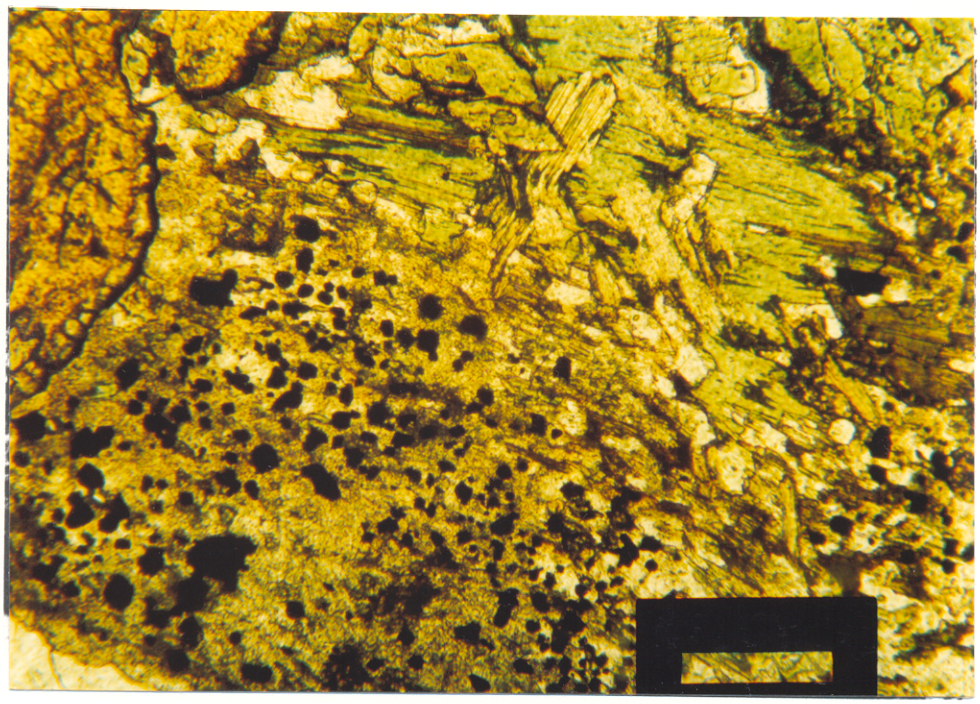


Figura 69 - Grãos submilimétricos, xenomórficos de magnetita, envoltos por massa de sericita e associados com anfibólio, alguma biotita e titanita que mostra uma borda mais clara.(HRM-79, fotomicrografia, NP).

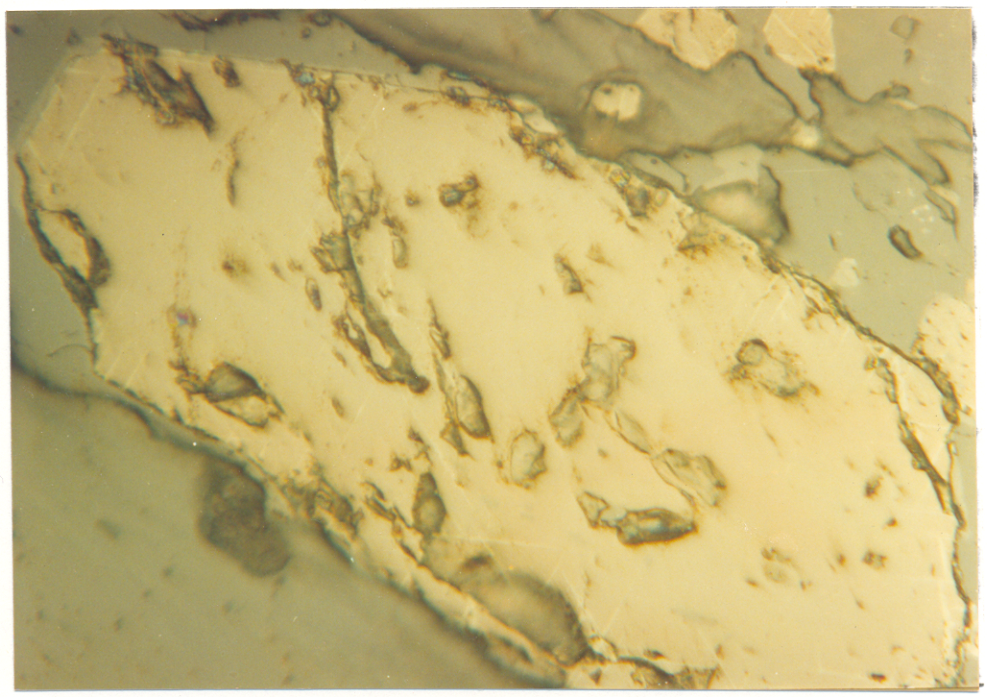


Figura 70a - Cristal de magnetita euédrico com martitização escassa e restrita as suas bordas (CMR-91A, fotomicrografia em luz refletida, NP).

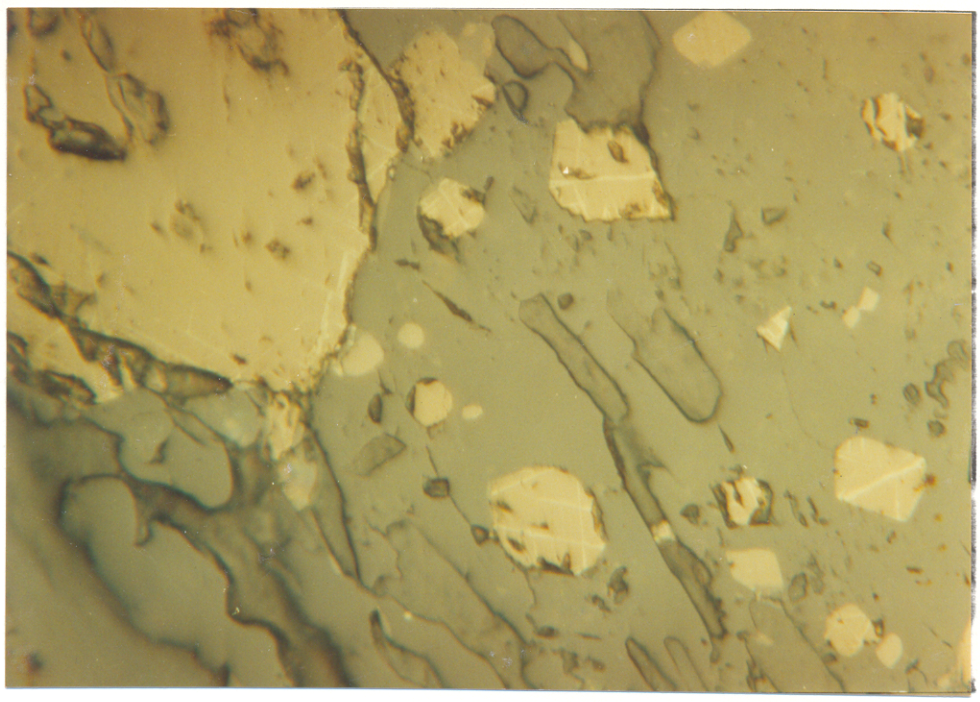


Figura 70b - Mesmo cristal da foto anterior, mostrando o seu contraste de dimensões e forma com os grãos submilimétricos de magnetita associados com à recristalização do plagioclásio (CMR-91A fotomicrografia em luz refletida, NP).

Também nesta zona observam-se cristais euédricos, (Figura 71), ou anedrais a subanedrais de magnetita, mostrando uma associação intima com a titanita. Ocorrem ainda, pequenos cristais isolados, isentos de martitização (Figura 72), ou por vezes, em fraturas no interior de outros minerais como o feldspato potássico. Localmente, observa-se o desenvolvimento de um padrão de alteração para martita que assemelha-se muito em sua disposição ao da ilmenita do tipo "trellis".

Há, igualmente cristais milimétricos e xenomórficos de magnetita, associados com biotita e anfibólio (Figura 73 a e b). Os cristais mais desenvolvidos de minerais opacos ocorrentes neste domínio da zona de contato, estão visivelmente associados com a biotita recristalizada, de caráter poiquilítico (Figura 74a e b).

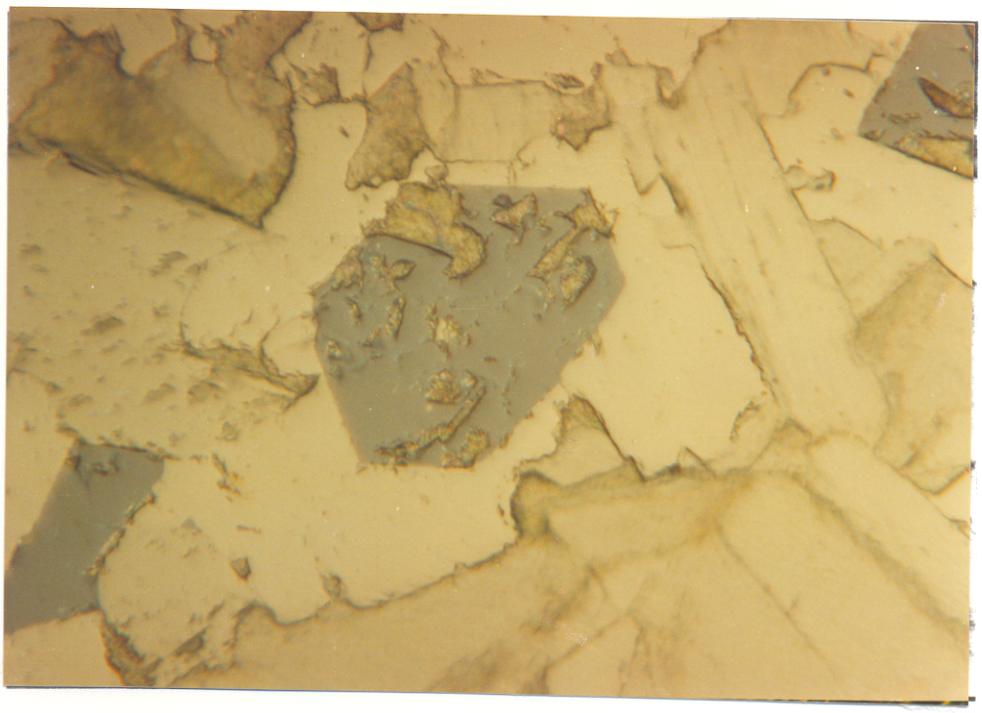


Figura 71- Cristal euédrico de magnetita, mostrando uma associação íntima com titanita (CMR-90A; fotomicrografia em luz refletida, NP).

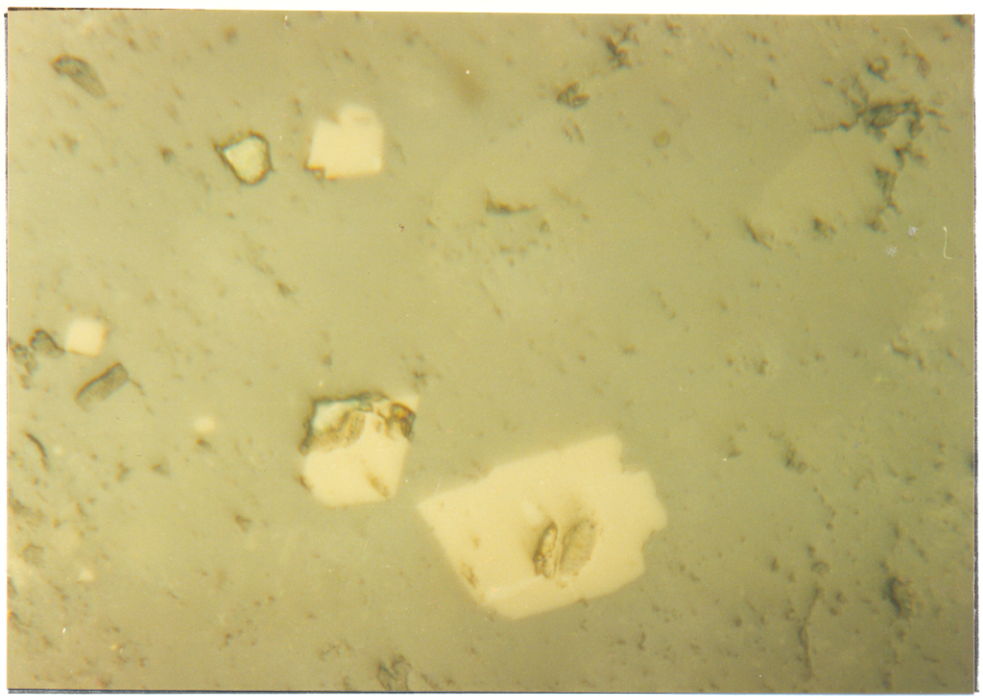


Figura 72 - Cristal de magnetita euedral com ausência de martitização (HRM-220, fotomicrografia em luz refletida, NP).

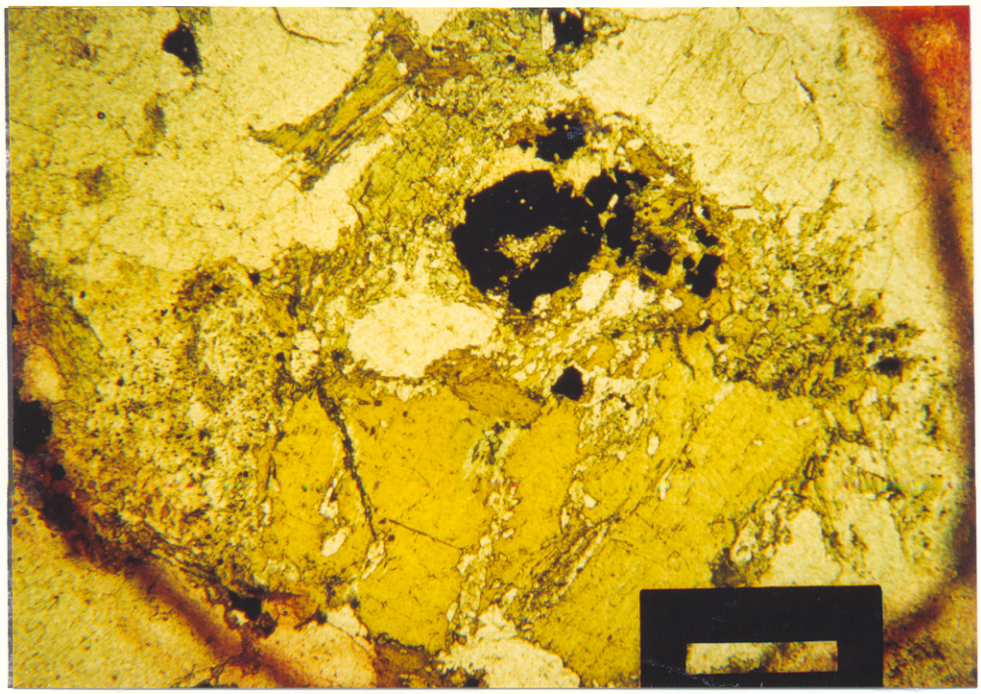


Figura 73a - Cristais anedrais de magnetita associados com biotita e anfibólio (HRM-220 fotomicrografia em luz transmitida, NP).

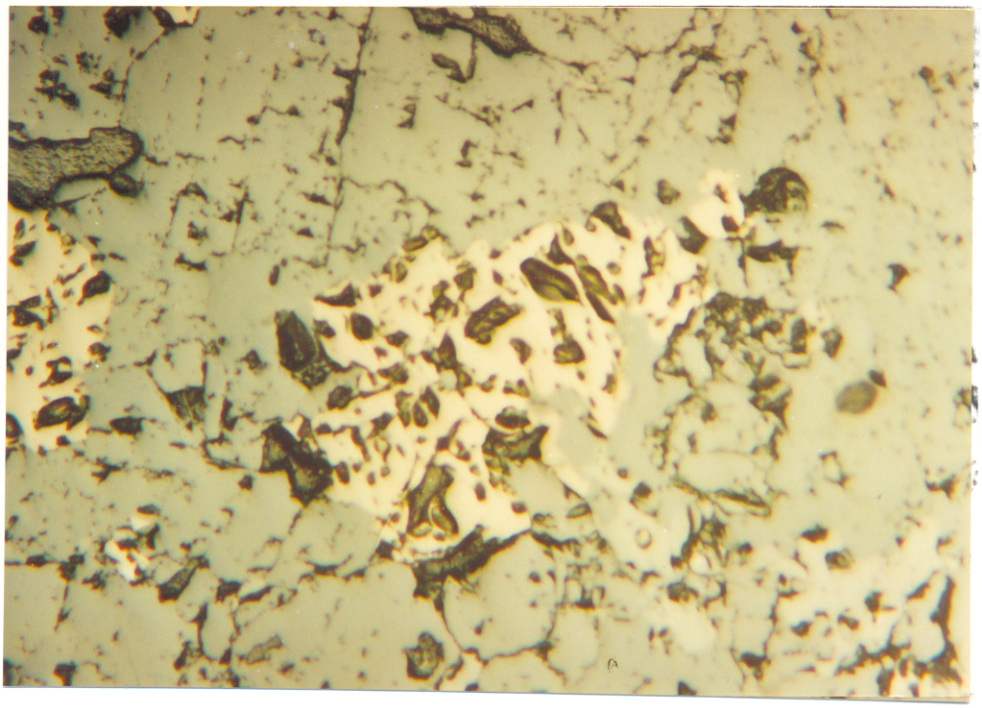
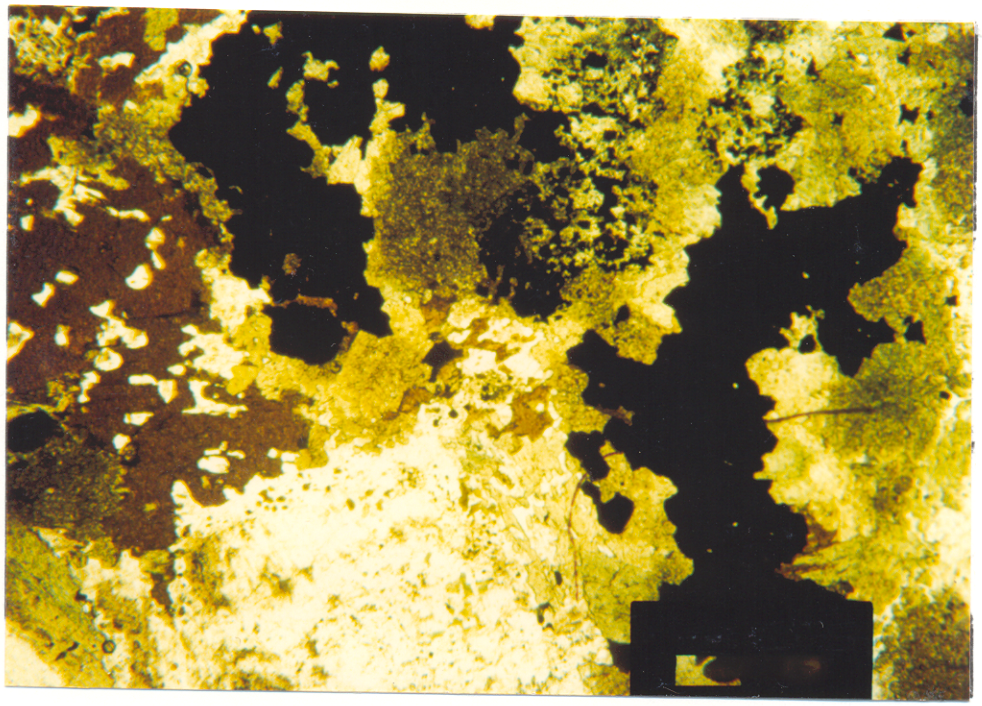
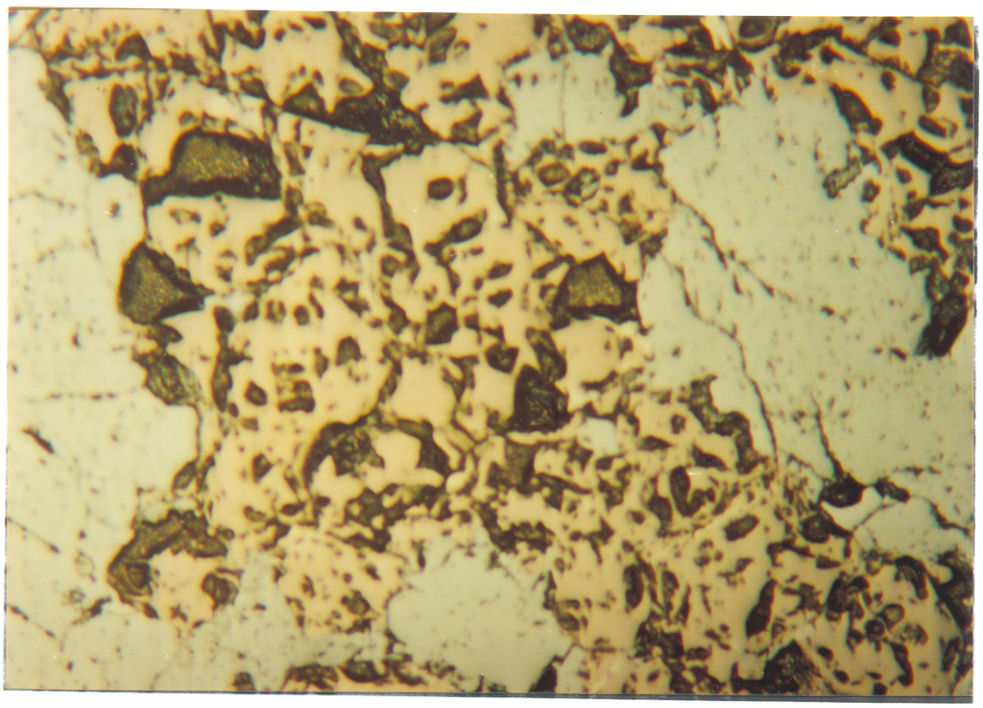


Figura 73b - Detalhe da foto anterior, mostrando o aspecto anedral da magnetita (HRM-220; fotomicrografia em luz refletida, NP).

126



(a)



(b)

Figura- 74 - (a) Grandes cristais de magnetita com recristalização poiquiloblástica de biotita; b- Detalhe da magnetita. (HRM-79, a- fotomicrografia em luz transmitida, NP; b- fotomicrografia em luz refletida, NP).

4.5 - DISCUSSÕES

Tal como relatado em MAGALHÃES & DALL'AGNOL (1991), este trabalho ratifica que o Granodiorito Rio Maria do domínio afastado das zonas de contato, apresenta uma suscetibilidade magnética muito baixas e bastante uniforme, que é reflexo direto de seu baixo conteúdo de minerais opacos e, conseqüentemente, de magnetita. Verificou-se, da mesma forma a-se o aumento significativo do conteúdo de minerais opacos e por conseguinte da suscetibilidade magnética onde o graniodiorito é intrudido por granitos anorogênicos e/ou cortado por diques de composições variadas, desde de termos intermediários até máficos. (vide capítulos 2 e 3).

Nas zonas de contato do Granodiorito Rio Maria com os diques, as amplitudes das auréolas, indicadas pelo aumento de SM, são bem mais discretas que no contato com os granitos anorogênicos ondeas mesmas alcançam em torno de 1 km em planta (Anexo F). Isso reflete as diferenças de volume das intrusões muito mais reduzido no caso dos diques em relação aos granitos. Portanto, apesar dos diques, em função de sua natureza intermediária a básica serem colocados certamente em temperaturas mais elevadas que os granitos, devido ao seu pequeno volume, deve ter ocorrido uma dissipação bem mais rápida do calor proveniente de sua cristalização. Isso fez com que os efeitos térmicos causados por eles no GDrm fossem passíveis de observação apenas nas porções em que o contato se deu de maneira quase que direta (não ultrapassando 3 m).

Na região de contato do Granodiorito Rio Maria com os Granitos Musa e Jamon, a zona afetada termicamente é muito mais expressiva. Isso reflete o maior volume dos magmas geradores desses corpos, mas indica também uma maior retenção do calor emitido por eles, o que permitiu que as reações minerais metamórficas pudessem se desenvolver. As relações de contato e as formas dos enclaves do granodiorito nesses granitos indicam um elevado contraste de viscosidade entre ambos, podendo-se assumir que o granodiorito encontrava-se a baixa temperatura quando da intrusão. Porém, a importância do evento formador dos granitos anorogênicos do paleoproterozóico, talvez tenha conduzido a um aquecimento regional da crosta que permitiu um resfriamento mais lento dos corpos e o pleno desenvolvimento das auréulas termais atualmente observadas.

5 - QUÍMICA MINERAL

5.1 - INTRODUÇÃO

O estudo de Química Mineral, foi realizado no Laboratório de Microssonda Eletrônica do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em uma microssonda eletrônica do tipo CAMECA SX-50, equipada com sistema de detecção EDS e quatro espectrômetros para aquisição no modo WDS. Ao todo foram realizadas 250 determinações em minerais, com análises para elementos maiores e menores usuais. As fases minerais analisadas, bem como as condições de operação do aparelho, foram as seguintes: tensão de aceleração, 15 Kv para todas as fases; tempo de análise, 6 segundos para todas as fases; corrente elétrica 25 nA, para os minerais opacos, anfibólios e titanitas, e 10 nA para plagioclásios e micas; tamanho do feixe de elétrons 55μ para os anfibólios, 5μ para os plagioclásios e 1μ para os opacos e biotitas. O cálculo das fórmulas estruturais, bem como a classificação dos minerais, foram efetuados com o auxílio do programa de computação MINPET versão 2.0 de RICHARD & CLARK (1990).

Foram selecionados para estudos amostras dos dois perfis realizados, provenientes de distâncias variáveis dos contatos com as intrusões graníticas. Do perfil NW do Granito Musa (Figura 19a) foram estudadas as amostras CMR-37 e CMR-42A,a primeira do domínio de contato e a segunda não afetada pelo mesmo. Do perfil ao longo da PA-150 (Figura 19b), foram escolhidas as amostras CMR-90A, adjacente com ao contato com o Granito Musa, CMR-93, dentro do domínio de contato, e CMR-96 fora desse domínio. Além dessas, foram estudadas as amostras HRM-79 e HRM-220, ambas provenientes do domínio de contato com expressiva recristalização. Em todas essas amostras foram analisados anfibólios, biotititas e, exceto na CMR-96 onde a saussuritização não permitiu, plagioclásios. Os minerais opacos (magnetitas) foram examinados em "back-Scattered immages", através de análises por EDS e, quando julgados importantes foram feitas algumas análises completas dos mesmos. O número dessas não é muito elevado, porque constatou-se a sua grande homogeneidade composicional. Finalmente foram feitas algumas análises de titanitas.

5.2 - ANÁLISES QUÍMICAS DE ANFIBÓLIOS

5.2.1- Introdução

A International Mineralogical Association (IMA) propôs uma classificacão de anfibólios (LEAKE, 1978), que têm sido largamente utilizada na literatura. Ela apresenta, porém, a dificuldade de necessitar da definição prévia dos teores de FeO e Fe_2O_3 presentes nos anfibólios e esses não são obtidos nas análises feitas na microssonda eletrônica, como é o caso do presente estudo. Esse problema tem sido muito discutido na literatura e vários métodos foram propostos para contornar essa limitação. ROBINSON et al. (1982) fizeram uma excelente revisão do tema e discutem pormenorizadamente as várias opções existentes e as limitações e adequabilidades inerentes a cada uma delas. ROCK & LEAKE (1984) também discutiram essa questão, endossando as propostas de ROBINSON et al. (1982). Esse tema é abordado, ainda, por VLACH (1993) que, ao estudar os anfibólios dos granitóides de Morungaba, testou para calcular o conteúdo de ferro férrico (Fe_2O_3) o procedimento sugerido por PAPIKE et al. (1974), tendo alcançado, segundo sua avaliação, resultados coerentes.

Seguindo-se a recomendação da IMA (LEAKE, 1978) e, levando em conta as considerações feitas por ROBINSON et al. (1982), a composição química foi recalculada, a partir da redistribuição de FeO e Fe_2O_3. Para tanto, usou-se o método 13 - CNK, ou seja, o total do número de cátions é igual a 13, excluindo-se Ca, Na e K. Isso foi feito com o auxílio do programa de computação MINPET, que faz o cálculo da fórmula estrutural, bem como a separação entre Fe_2O_3 e FeO, através do seguinte procedimento:

- Todos os cátions são recalculados para 23 oxigênios;
- os cátions são somados excluindo-se F e Cl;
- os cátions são novamente recalculados, dividindo-se cada valor pelo fator (Ca+Na+K)/13;
- o Fe^{+3} é recalculado, de acordo com o método descrito por ROBINSON et al. (1982). Ambos, ferro ferroso e férrico, são distribuídos de tal modo que o total de carga dos cátions seja 46.

Foram efetuadas mais de uma centena de análises de anfibólios, dentre as quais pouco mais de oitenta foram selecionadas pelo seu melhor fechamento, como representativas desse grupo de minerais (Anexo A). Foram consideradas nessas análises as diferentes variações identificadas na petrografia, em termos de texturas, pleocroísmo, coloração, zoneamento e associação.

5.2.2 - Classificação dos Anfibólios

A classificação dos anfibólios segue a proposta da IMA (LEAKE, 1978; Cf. discussão em HAWTHORNE, 1982), sendo fornecida automaticamente pelo programa MINPET, que plota as análises nos gráficos indicados, utilizando a fórmula estrutural calculada a partir da redistribuição de Fe_2O_3 e FeO. Conforme mostra a tabela do Anexo A, considerando que **$(Ca + Na)_B \geq 1,34$** e **$Na_B < 0,67$**, todos os anfibólios analisados pertencem ao grupo dos **anfibólios cálcicos**. Além disso, como costuma acontecer com os minerais desse grupo, **$Ca_B > 1,34$**. Outros critérios que influenciam a classificação são o conteúdo de **$(Na + K)_A < 0,50$** e **$Ti < 0,5$**, válidos para todos os anfibólios analisados.

Na Figura 75 estão plotadas todas as análises de anfibólios do Granodiorito Rio Maria. Constata-se de imediato que os mesmos distribuem-se nos campos das actinolitas, hornblendas actinolíticas e magnésio-hornblendas. As análises se concentram preferencialmente nos dois últimos campos, não havendo descontinuidades composicionais entre as mesmas. As análises no campo das actinolitas são menos numerosas e parece existir um "gap" composicional entre elas e aquelas situadas no domínio das hornblendas actinolíticas.

Percebe-se também que análises de amostras provenientes de diferentes distâncias do contato, ocorrem muitas vezes no mesmo campo, revelando que não há, em princípio, diferenças marcantes entre os anfibólios presentes nas mesmas. Essas variações de composição química dos anfibólios, mostram sobretudo, que seu estudo é bastante complexo e não são perceptíveis à primeira vista, diferenças claras relacionadas aos efeitos termais aos quais foram submetidos. Portanto, para permitir uma melhor visualização, os resultados serão tratados em alguns diagramas selecionados e discutidos amostra por amostra, sendo no final feita uma avaliação mais abrangente.

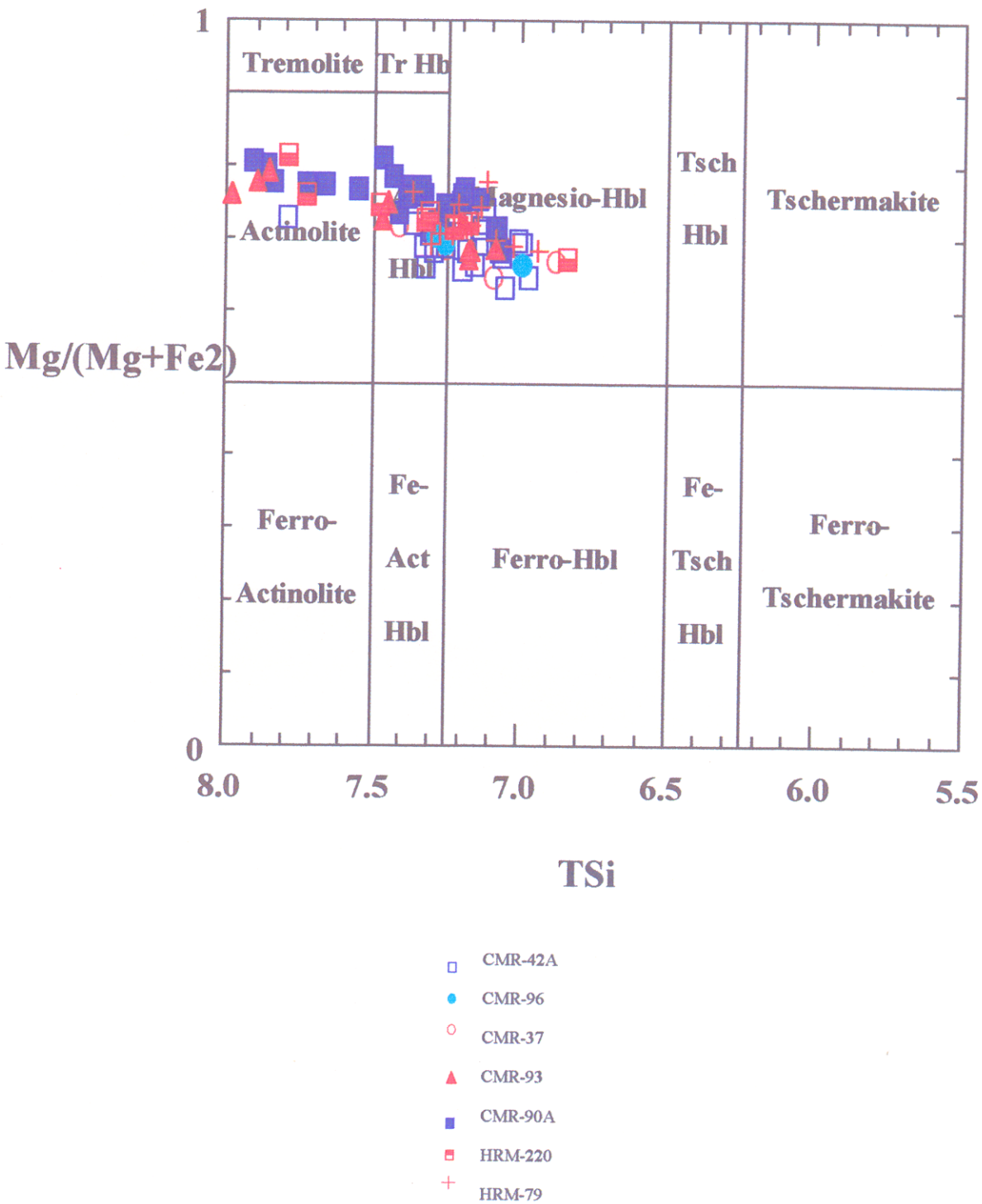


Figura 75 - Classificação dos anfibólios do Granodiorito Rio Maria, nos diagramas de LEAKE, (1978); ver também HARTWORNE, (1981), onde nota-se o predomínioi de magnesio-hornblendas e hornblendas actnolitas sobre as actnolitas.

5.2.3 - Anfibólios de Amostras do Domínio do Granodiorito Rio Maria Não Afetado pelas Intrusões Graníticas

Dentre as amostras deste domínio selecionadas para o estudo do quimismo mineral, a amostra CMR42A é a que se encontra mais afastada da região de contato, pois dista 2.250 metros do contato do Granodiorito Rio Maria com o Granito Musa em sua porção Oeste (Vide Anexo F). A segunda amostra, CMR96, encontra-se a 1345 metros do contato, não devendo ter sido afetada pelo mesmo. Há uma grande similaridade entre suas características petrográficas (Cf. capítulo petrografia) e as da amostra CMR42A. Estas amostras são representativas do granodiorito sem evidências de efeitos termais em decorrência das intrusões graníticas (Figuras 37 e 38), tendo sido descritas na petrografia. Destas amostras, foram selecionadas 25 análises químicas de anfibólios (21 da amostra CMR42A e 4 da CMR96; Anexo A), que plotam predominantemente nos campos das hornblendas magnesianas, em segundo plano no das hornblendas actinolíticas, e apenas uma análise no campo das actinolitas (Figura 76a). Há um contínuo composicional entre as hornblendas magnesianas e as hornblendas actinolíticas, enquanto que a única análise de actinolita acha-se isolada do conjunto. As análises das hornblendas magnesianas foram realizadas em sua maioria em núcleos de cristais ou na transição núcleo-borda, enquanto que as das hornblendas actinolíticas foram obtidas geralmente em pontos situados em bordas de cristais ou na transição centro-borda. A análise de actinolita também corresponde a um ponto da borda. Nos cristais onde se dispunha de um melhor controle da forma, tem-se composições de hornblendas magnesianas no centro, passando a hornblendas actinolíticas nas bordas, sugerindo um certo zoneamento dos cristais.

As hornblendas magnesianas são caracterizadas por apresentarem em relação às hornblendas actinolíticas conteúdos de Al_2O_3 (7,28 - 6,01 %), TiO_2 (0,98 - 1,37 %) e Na_2O elevados e SiO_2 mais baixa (47,57 - 49,60 %). As razões Ca/Na tendem a decrescer das hornblendas magnesianas para as hornblendas actinolíticas, ocorrendo o inverso com as razões $Mg/(Fe^{+2} + Mg)$ (Anexo A). A actinolita apresenta-se enriquecida em SiO2 (54,25 %), MgO (15,80 %), CaO (13,34 %) e TiO2 (1,50 %), e empobrecida em Al_2O_3 (2,17 %), FeO (10,48 %) e Na_2O (0,22 %). Essa variações ficam mais evidentes nos diagramas correlacionando o alumínio tetraédrico (TAl ou Al^{IV}) com diferentes cátions (Figuras 76b, c, d, e) ou Ca x Na+K x Al total (Figura 76f).

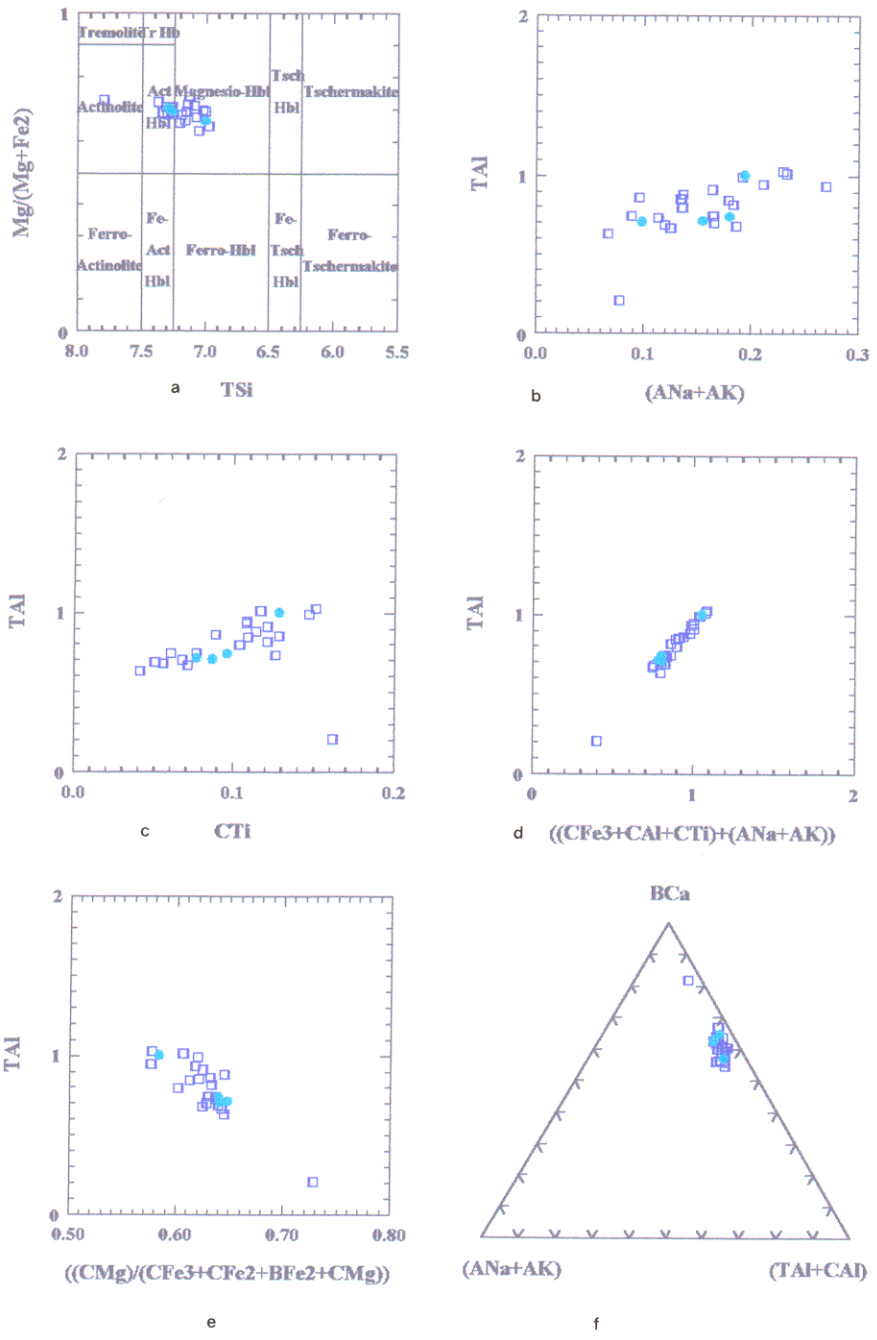


Figura 76 - Gráficos selecionados para os anfibólios do domínio do GDrm não afetado pelo metamorfismo de contato. Amostra CMR42A. (Símbolos como a Figura 75).

Associando-se os dados obtidos com as posições das amostras em relação ao contato, conclui-se que o anfibólio presente no Granodiorito Rio Maria não afetado pelas intrusões graníticas possui uma composição variando de hornblenda magnesiana a hornblenda actinolítica, com passagens graduais entre elas. Muito localmente, e apenas na amostra CMR42A, ocorre a actinolita que associa-se com um cristal de hornblenda actinolítica e titanita euédrica.

5.2.4 - Anfibólios de Amostras do Domínio do Granodiorito Rio Maria Afetado Pelas Intrusões Graníticas Situadas a Mais de 500 m do Contato

A amostra CMR37 se situa a 750 metros do contato do Granodiorito Rio Maria com o Granito Musa, em uma zona que pode ser considerada como de transição, entre aquela mais afetada pelo metamorfismo de contato e o domínio onde o metamorfismo não mais afeta o granodiorito. Suas características petrográficas foram descritas anteriormente (vide capítulo referente à petrografia).

Nesta amostra foram realizadas seis análises químicas de anfibólios, das quais quatro plotaram no campo das hornblendas magnesianas e duas no campo das hornblendas actinolíticas (Figura 77a), sendo uma delas em borda de cristal e a outra em núcleo. As análises de hornblendas magnesianas também foram obtidas tanto no centro, quanto na borda de grãos, mas no cristal em que se tem um melhor controle e variações no aspecto do anfibólio do centro para a borda, esta acusou composição de hornblenda actinolítica e o centro de hornblenda magnesiana.

Nos diagramas correlacionando o alumínio tetraédrico (TAl ou Al^{IV}) com diferentes cátions (Figuras 77b, c, d, e) e Ca x Na+K x Al total (Figura 77f), constata-se que o comportamento dos anfibólios presentes nessa amostra não é muito diferente daquele observado nos das amostras do domínio afastado do contato.

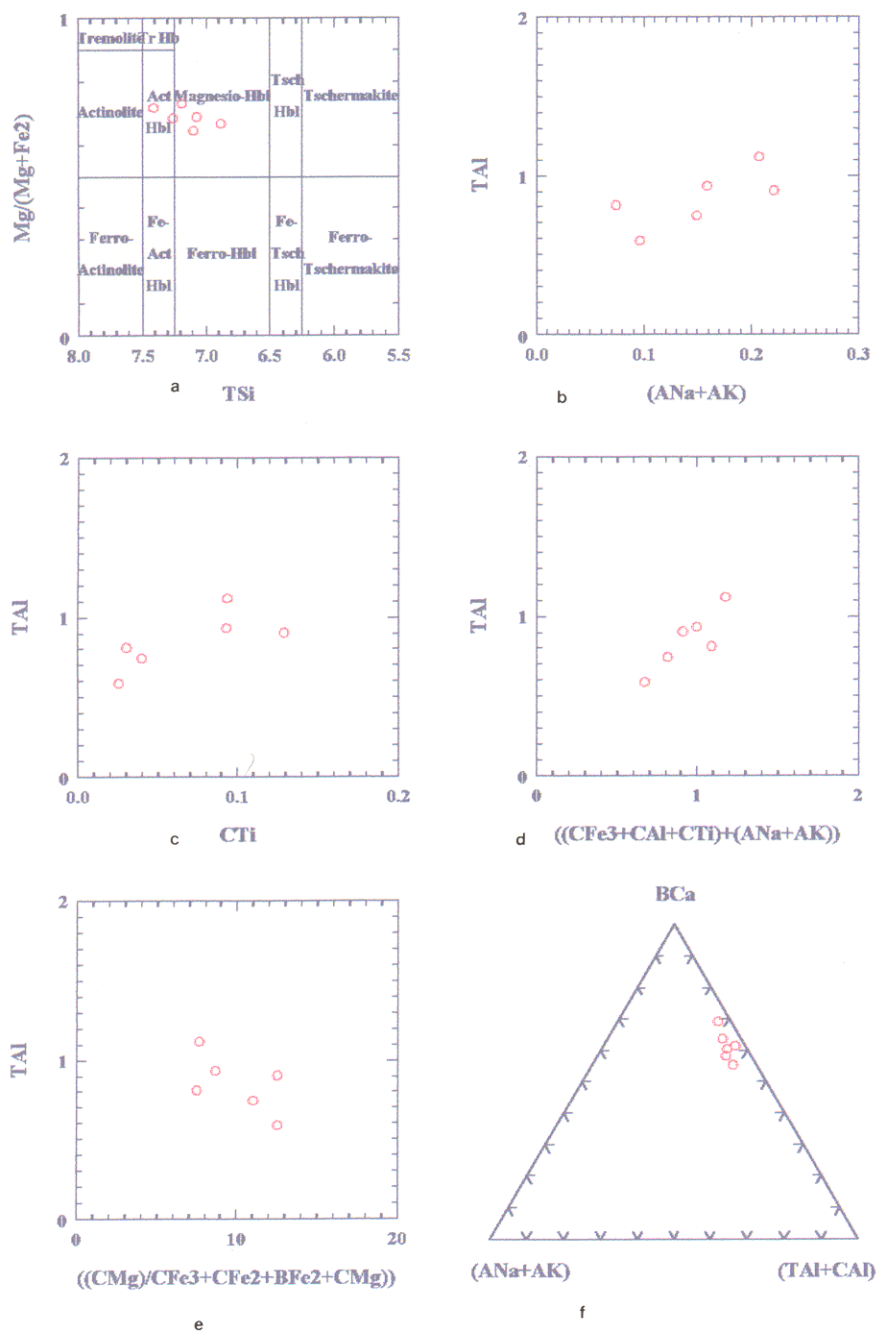


Figura 77 - Gráficos selecionados para os anfibólios do domínio do GDrm no domínio de contato situados a mais de 500 metros. Amostra CMR-37.(Símbolos como a Figura 75).

5.2.5 - Anfibólios de Amostras da Zona Interna do Domínio do Granodiorito Rio Maria Afetado Pelas Intrusões Graníticas

Neste item serão discutidos os anfibólios das amostras situadas a menos de 400 m do contato. As amostras CMR93 e CMR90a foram coletadas, respectivamente, a 395 m e 150 m do contato do Granodiorito Rio Maria com o Granito Musa, no perfil da PA-150 (Figura 19b). A amostra HRM79 situa-se a 50 metros do contato do Granodiorito Rio Maria com o Granito Jamon, em sua borda noroeste. Finalmente, a amostra HRM220 foi coletada na região em que o Granodiorito Rio Maria foi submetido aos efeitos térmicos dos granitos Musa e Jamon, mas não se conhece com precisão a sua distância dos contatos.

Essas amostras têm em comum as claras evidências petrográficas de efeitos de metamorfismo de contato, conforme salientado no capítulo da petrografia (Figuras 51, 52, 53).

Na amostra CMR93 foram selecionadas 9 análises químicas de anfibólios, que, segundo a classificação proposta pela IMA (Figura 78a) são hornblendas magnesianas (4 análises), hornblendas actinolíticas (2 análises) e actinolitas (3 análises). As variações de composição dos cristais do centro para a borda não ficaram muito claras no caso dessa amostra, mas cabe assinalar que algumas das análises de actinolitas foram obtidas no centro aparente dos cristais.

As análises também foram plotadas nos diagramas correlacionando o alumínio tetraédrico (TAl ou Al^{IV}) com diferentes cátions (Figuras 78b, c, d, e) e Ca x Na+K x Al total (Figura 78f). Como diferenças em relação às amostras anteriores, percebe-se um número maior de análises acusando composições actinolíticas e a existência de um "gap" composicional entre os três tipos de anfibóliios presentes na amostra. É possível, no entanto, que esse "gap" possa ser conseqüência do número limitado de análises.

As actinolitas apresentam os maiores teores em SiO_2 (56,96 - 56,05 %) e MgO (17,33 - 17,62 %) e teores mínimos de Al_2O_3 (1,2 - 0,87 %), assim como de TiO2 e Na_2O.

Da amostra CMR90a foram selecionadas 22 análises, classificadas (Figura 79a), dominantemente como hornblendas actinolíticas, mas com um número expressivo de amostras plotando nos campos das actinolitas e das hornblendas magnesianas. Nos cristais em que se pôde controlar bem a disposição das análises, as relações são contraditórias não sendo possível concluir se há uma dominância de um ou outro desses anfibólios nas diferentes zonas dos cristais.

Nos demais diagramas (Figuras 79b, c, d, e, f) percebe-se a ampla variação composicional dos anfibólios dessa amostra e a ausência de separação marcante entre os vários tipos. Esse aspecto, bem como a dominância da hornblenda actinolítica e a expressiva ocorrência de actinolita entre os anfibólios analisados, constituem pontos importantes que diferenciam os anfibólios dessa amostra daqueles presentes nas amostras CMR42a, CMR96 e CMR37. Por outro lado, as características de seus anfibólios parecem muito similares às dos da amostra CMR93. Na amostra HRM220 foram realizadas oito análises de anfibólios (Anexo A; Figura 80a), sendo três classificados como hornblendas magnesianas, outros três como hornblendas actinolíticas e dois como actinolitas. Também neste caso não ficou clara a dominância de um ou outro tipo no núcleo ou borda dos cristais, porém constatou-se a presença de hornblenda actinolítica em manchas e na borda de um cristal em que a parte mais central possui composição de hornblenda magnesiana, bem com a formação de actinolita em auréola envolvendo grão de opacos.

Nos diagramas elaborados a partir dos cátions (Figuras 80b, c, d, e, f), percebe-se que duas das amostras de hornblendas magnesianas encontram-se muito próximas em composição das hornblendas actinolíticas. O quadro geral é muito similar ao observado na amostra CMR93.

Na amostra HRM79 foram selecionadas 15 análises de anfibólios, das quais a maioria plota no campo das hornblendas magnesianas e as demais no campo das hornblendas actinolíticas (Figura 81a), porém bastante próximas do limite deste campo com o das hornblendas magnesianas. As análises se apresentam muito agrupadas nos vários diagramas (Figuras 81b, c, d, e, f).

As análises dos anfibólios dessa amostra, que é uma das que mostram maior grau de recristalização, comportam-se, curiosamente, de modo distinto do observado nas demais provenientes da zona mais próxima do contato (CMR93, CMR90a e HRM220). Na amostra HRM79 dominam as hornblendas magnesianas e não foi constatada a ocorrência de actinolita. Nesse sentido, os seus anfibólios se aproximam bastante daqueles presentes em amostras do domínio afastado do contato (CMR42a e CMR96).

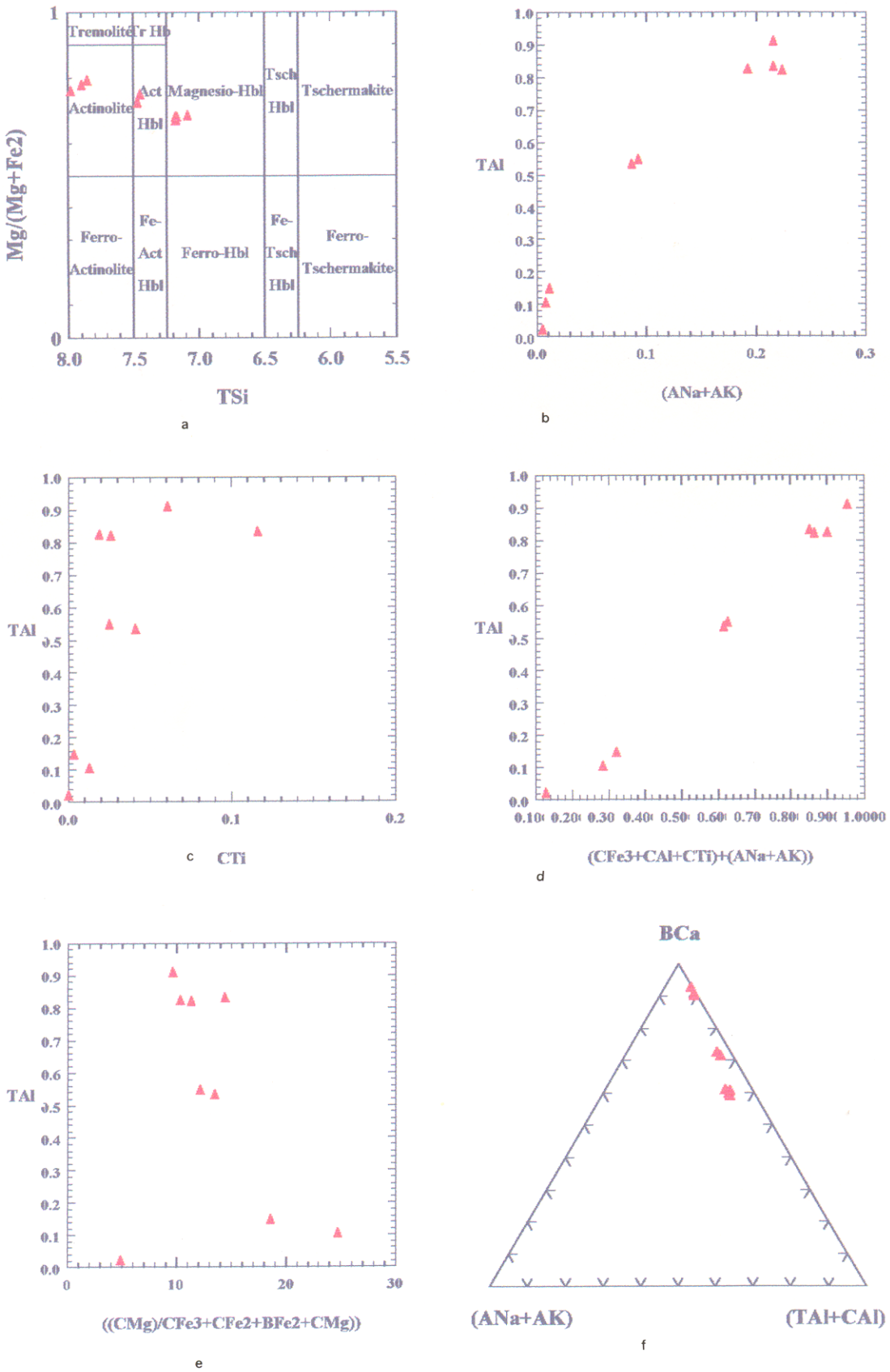


Figura 78 - Gráficos selecionados para os anfibólios do domínio do GDrm do domínio afetado pelas intrusões graníticas, a menos de 500 metros. Amostra CMR-93. (Símbolos como a Figura 75)

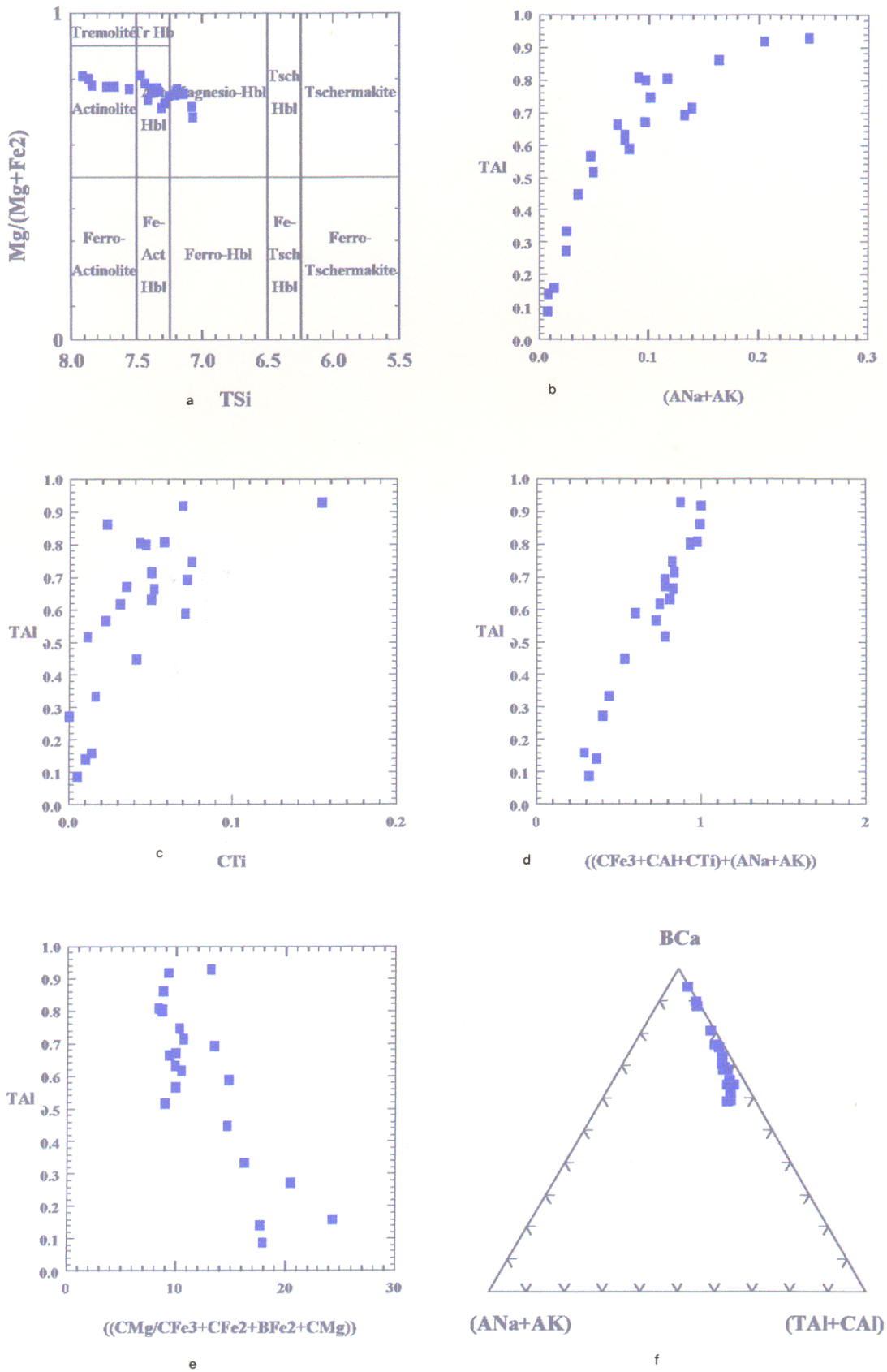


Figura 79 - Gráficos selecionados para os anfibólios do domínio do GDrm do domínio afetado pelas intrusões graníticas a menos de 500 metros do contato. Amostra CMR90A.

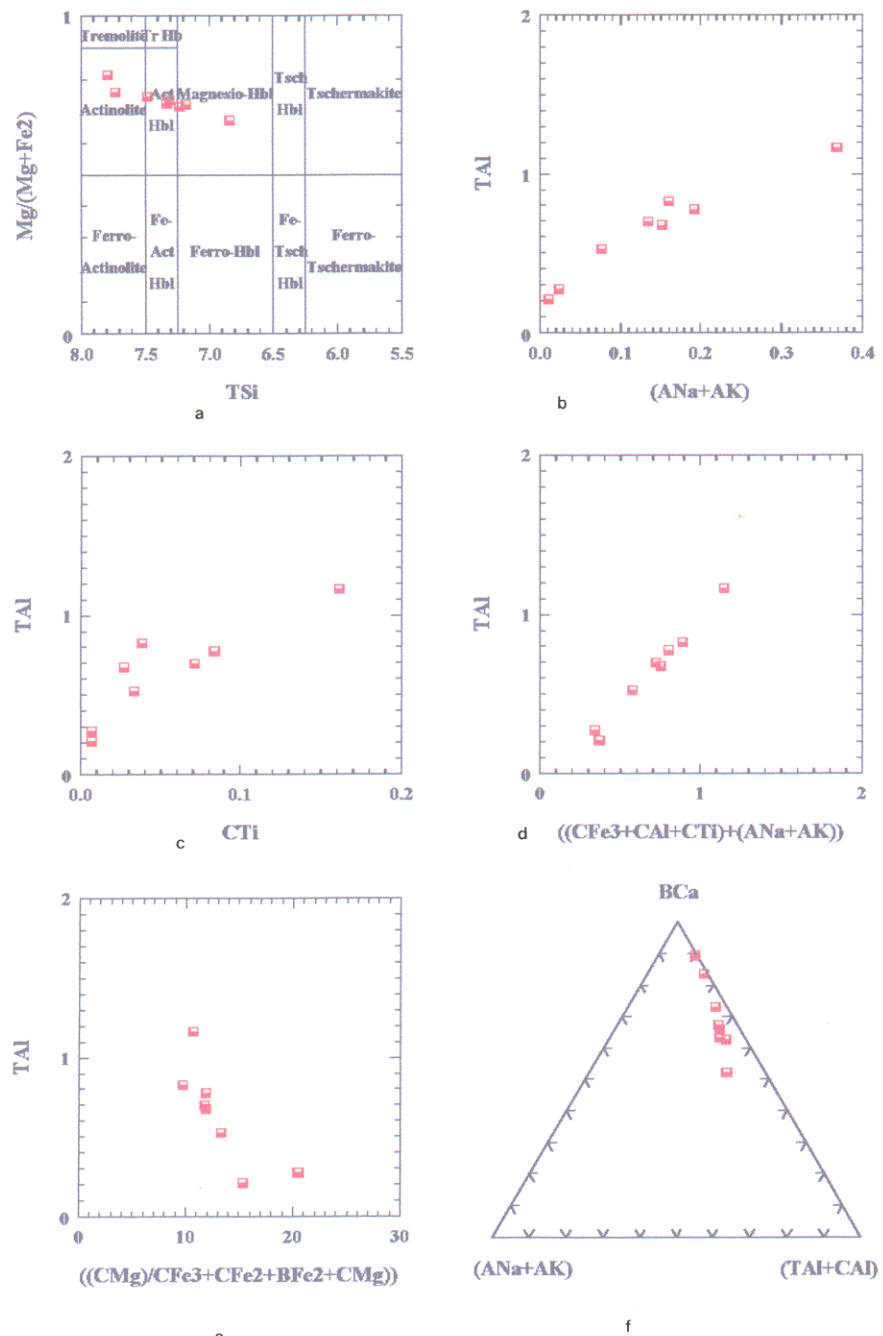


Figura 80 - Gráficos selecionados para os anfibólios do domínio do GDrm do domínio afetado pelas intrusões graníticas. Amostra HRM220. (Símbolos como a Figura 75).

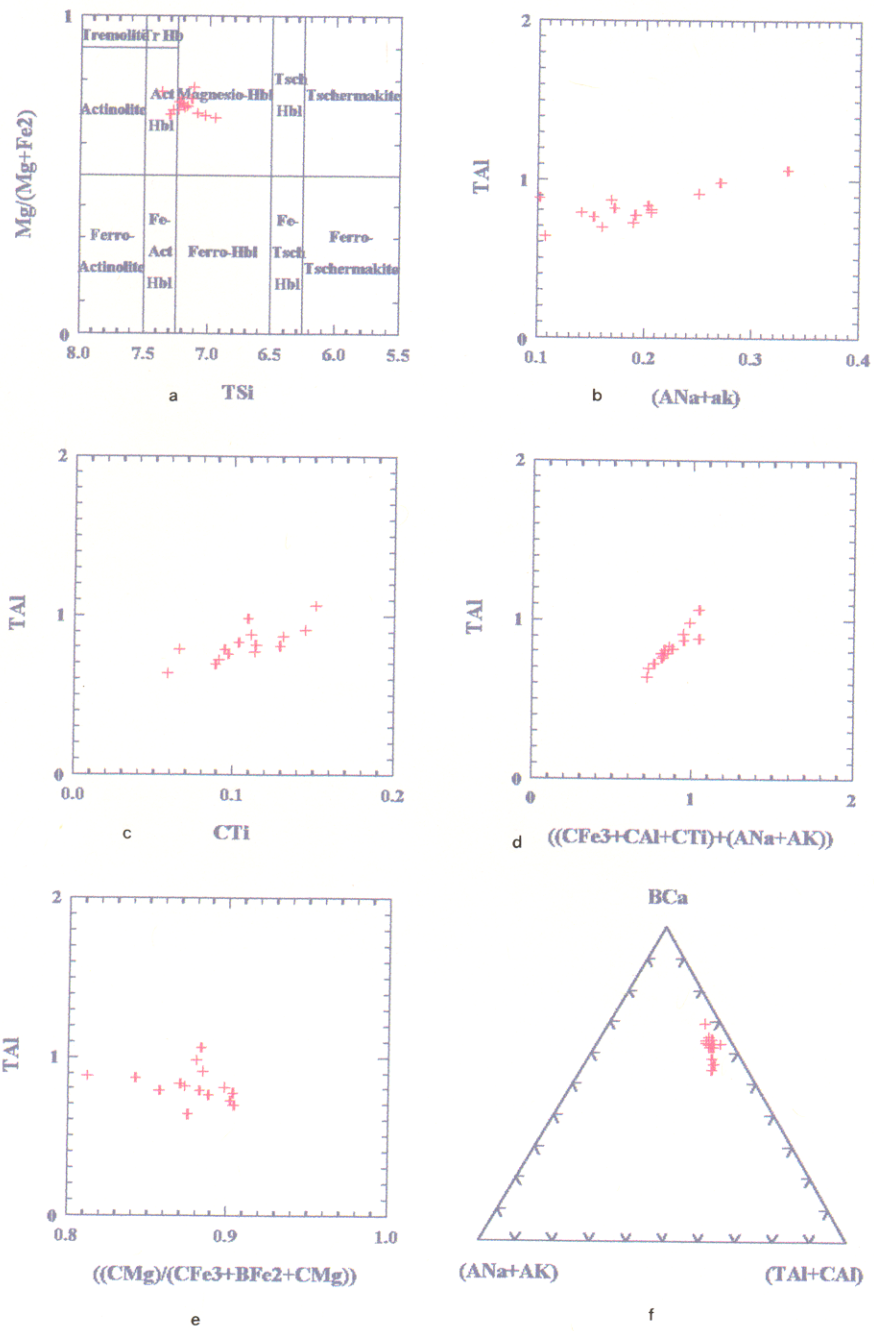


Figura 81 - Gráficos selecionados para os anfibólios do domínio do GDrm do domínio afetado pelas intrusões graníticas. Amostra HRM-79.(Símbolos como a Figura 75).

5.2.6- Discussão

CZAMANSKE & WONES (1973) discutem em detalhe as possíveis substituições em anfibólios de rochas granitóides. Este tema também é abordado por VLACH (1993). Embora não seja um objetivo central do presente trabalho, o exame conjunto das análises dos anfibólios do Granodiorito Rio Maria (Figuras 82, 83, 84) permite que sejam feitas algumas considerações a respeito. As variações composicionais contínuas entre as hornblendas magnesianas e as hornblendas actinolíticas revelam que as mesmas pertencem a uma série que evoluiu através de substituições acopladas graduais. O mesmo não é evidente no caso das actinolitas que, aparentemente, possuem uma descontinuidade composicional em relação às hornblendas. Isso é coerente com a hipótese de existência de um solvus entre esses dois anfibólios (ROBINSON et al., 1982, p. 76 e Figura 33).

O diagrama Al^{IV} x $(Na + K)_A$ (Figura 82) revela uma nítida correlação positiva entre ambos que sugere fortemente que uma substituição do tipo edenítica ($Na,K + Al^{IV}$ por sítio vago em A + Si), foi importante na evolução da série hornblenda magnesiana para hornblenda actinolítica, com a primeira enriquecendo-se em álcalis e Al^{IV} e se empobrecendo em Si. O diagrama Al^{IV} x Ti (Figura 83) também mostra uma correlação positiva entre esses dois elementos, indicando que o Ti participou das substituições que comandaram a evolução da série. Isso poderia se dar através de substituições do tipo $Ti + 2Al^{IV}$ por $Mg + 2Si$ que levariam a uma redução em magnésio nos anfibólios mais ricos em Ti, tal como se observa das hornblendas actinolíticas para as hornblendas magnesianas. As variações de Mg poderiam também ser explicadas por substituições do tipo tschermakítico, envolvendo trocas de $Al^{VI} + Al^{IV}$ por $Mg + Si$ ou de $Fe^{+3} + Al^{IV}$ por $Mg + Si$. O exame dos dados sugere, portanto, a influência de mais de um tipo de substituição na evolução da série hornblenda actinolítica - hornblenda magnesiana do Granodiorito Rio Maria. Isso pode ser testado através do diagrama Al^{IV} x $(CFe^{+3} + CAl^{VI} + CTi) + (Na + K)_A$ (Figura 84). Constata-se que os anfibólios desse tipo analisados se distribuem paralelamente a linha de razão 1:1 nesse diagrama, indicando que efetivamente essas substituições atuaram conjuntamente na transição entre esses dois tipos de anfibólios. Elas correspondem a uma associação das substituições dos tipos 1, 2 e 5 de CZAMANSKE & WONES (1973).

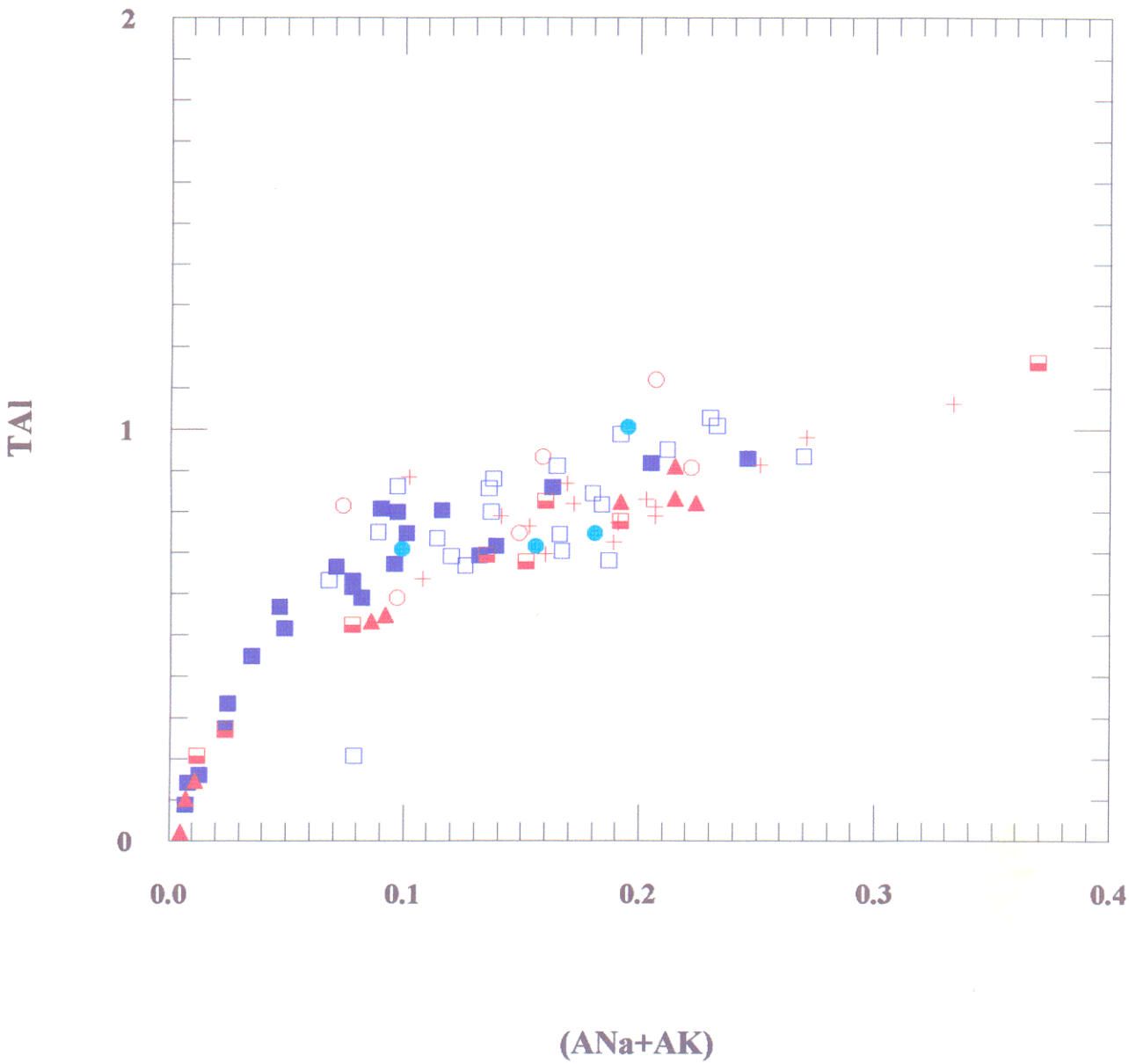


Figura 82 - Diagrama de correlação entre alumínio tetraédrico e ocupância de Na+K no sítio A, para os anfibólios do Granodiorito Rio Maria (Símbolos como a Figura 75).

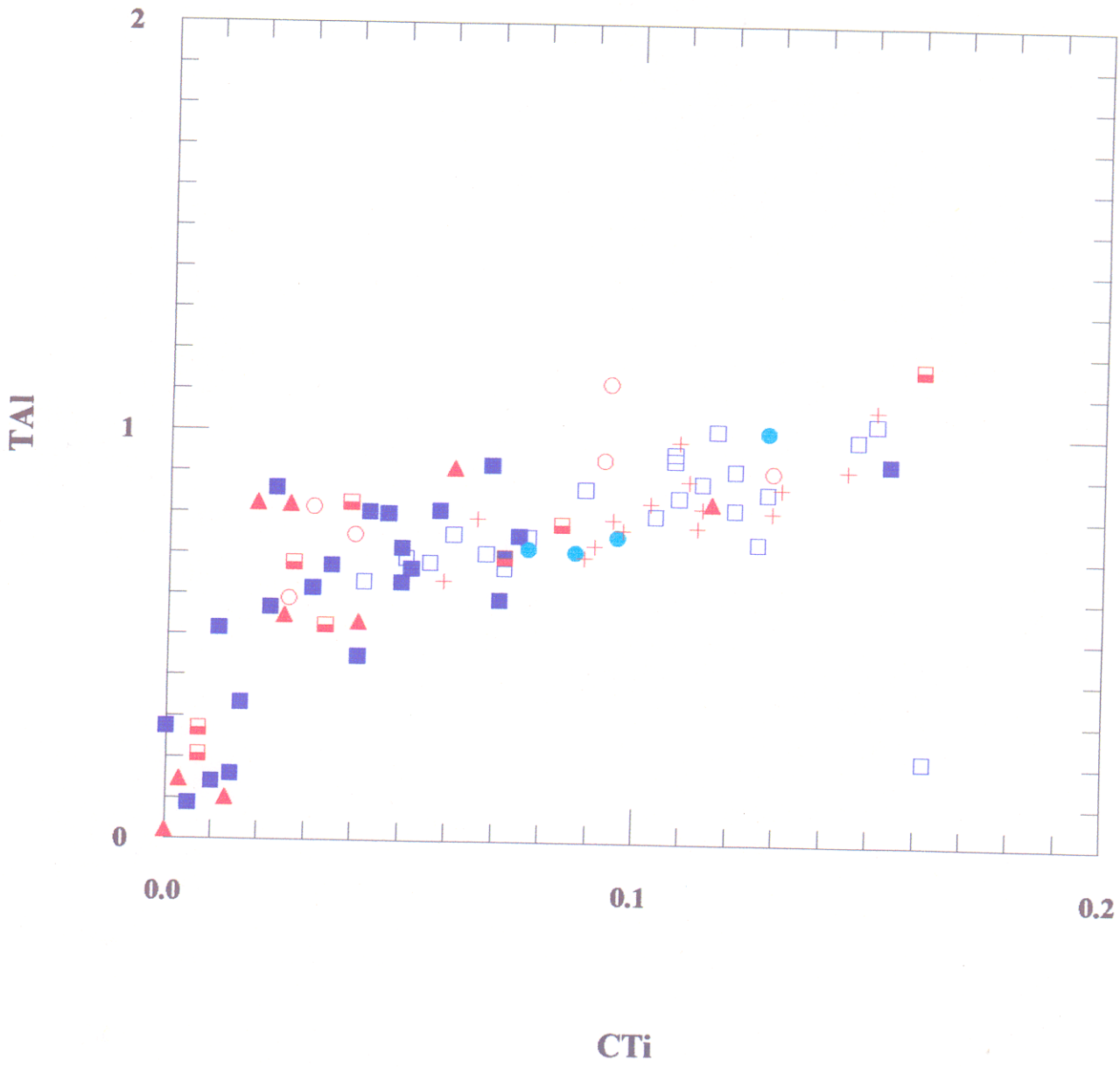


Figura 83 - Diagrama de correlação entre alumínio tetraédrico e titânio no sítio C, para os anfibólios do Granodiorito Rio Maria (Símbolos como a Figura 75).

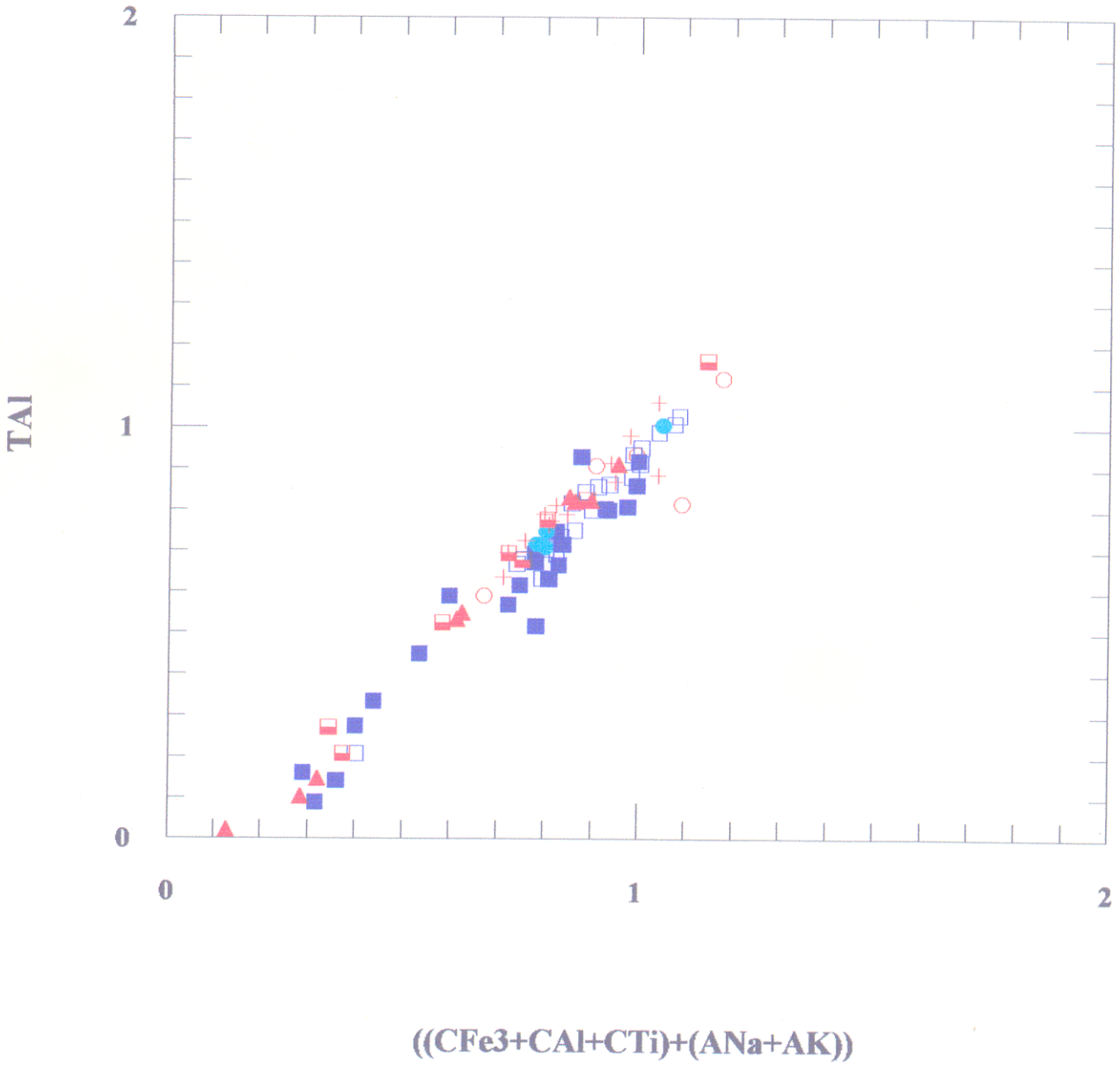


Figura 84- Diagrama de correlação entre alumínio tetraédrico e (CFe3+CAl+CTi) + (Na+K)A, para os anfibólios do Granodiorito Rio Maria (Símbolos como a Figura 75).

Esse esquema não é válido para as actinolitas, em cuja evolução a influência das substituições edeníticas e daquelas baseadas no Ti parece bem menor e onde devem ter dominado essencialmente substituições do tipo tschermakítico.

As características dos anfibólios presentes nas amostras do Granodiorito Rio Maria provenientes de diferentes distâncias do contato se revelaram globalmente pouco contrastantes, contrariamente ao observado no caso dos plagioclásios e biotitas (ver a seguir). Percebeu-se que em determinadas amostras (CMR93, CMR90a, HRM220) próximas do contato, há uma maior presença de actinolita entre os anfibólios analisados e, nas duas últimas, a hornblenda actinolítica predomina sobre a hornblenda magnesiana. Porém, na amostra HRM79, proveniente desse mesmo domínio e intensamente recristalizada, a hornblenda magnesiana predomina amplamente entre os anfibólios analisados e não foi identificada a presença de actinolita. Um quadro idêntico ao da HRM79 foi observado nas amostras coletadas no domínio não afetado pelo contacto (CMR42 e CMR96).

Isto leva a concluir que não existem diferenças marcantes entre os anfibólios do Granodiorito Rio Maria nas amostras situadas na zona de contato ou fora dela. A maior presença de actinolita em certas amostras do domínio do contato parece refletir mais uma transformação posterior ao metamorfismo (talvez durante o resfriamento regional), do que uma tentativa de reequilibrar os anfibólios durante o episódio de metamorfismo de contato. Existe, portanto, a hipótese de que os anfibólios tenham permanecido estáveis durante esse evento metamórfico ou, alternativamente, de que as condições geradas pelo mesmo não foram capazes de reequilibrar o anfibólio, mesmo este estando em desequilíbrio.

5.3 - ANÁLISES QUÍMICAS DAS BIOTITAS

A classificação e o cálculo das fórmulas estruturais das biotitas foram feitos com o auxílio do Programa de computação MINPET versão 2.0 (RICHARD & CLARKE, 1990), fixando-se como base os valores de 24 oxigênios e 4 OH, segundo recomendação de DEER et al. (1972).

Foram feitas 49 análises de biotitas (Anexo B), envolvendo amostras provenientes da zona contato e afastadas do mesmo. As biotitas, ao contrário dos anfibólios, apresentam

variações composicionais nítidas que parecem diretamente relacionadas à disposição das amostras em relação ao contato dos corpos graníticos. Como a separação das biotitas das diferentes amostras é bastante clara em diversos diagramas e o número de análises é menor que no caso dos anfibólios, elas serão discutidas em conjunto. A principal diferença entre as biotitas analisadas diz respeito aos comportamentos de TiO_2 e Al_2O_3 que permitem uma clara separação entre as micas das diferentes amostras.

A Figura 85 mostra a distribuição das biotitas analisadas em diagrama Al^{IV} x Fe/(Fe+Mg). Elas apresentam razões Fe/(Fe+Mg) bastante uniformes, entre 0,39 e 0,46, ao passo que os seus conteúdos de Al^{IV} variam um pouco mais. São biotitas magnesianas (Mg/(Mg + Fe) > 0,5), conforme definidas por FOSTER (1960). Já o diagrama triangular $10TiO_2$ x (FeO + MnO) x MgO (Figura 86) (NACHIT, 1994), revela melhor a separação entre as biotitas analisadas, constatando-se um claro e acentuado enriquecimento em titânio nas amostras situadas mais próximas dos contatos. Todas as análises situam-se no campo das biotitas reequilibradas, conforme definido por NACHIT (1994).

Os diagramas das Figuras 87a, b, c, d permitem visualizar melhor as diferenças químicas entre as biotitas do Granodiorito Rio Maria. No diagrama (FeO/MgO) x TiO_2 constata-se a marcante variação do TiO_2, que cresce nas biotitas das amostras distantes do contato para aquelas próximas do mesmo, enquanto não se observa uma variação muito acentuada na razão (FeO/MgO). O diagrama Al_2O_3 x TiO_2 revela uma nítida correlação negativa entre esses dois óxidos e mostra que o primeiro decresce nas biotitas da zona de contato. Relações análogas às observadas nos diagramas anteriores são mostradas nos diagramas Al_2O_3 x FeO e FeO/(FeO+MgO) x Al_2O_3.

Os diagramas baseados nos cátions das fórmulas estruturais auxiliam a compreender as variações composicionais observadas nas biotitas. No diagrama Ti x Al^{VI} (Figura 88a) constata-se uma correlação negativa marcante entre esses dois cátions, devido ao aumento do conteúdo de Ti e ao decréscimo daquele de Al^{VI} nas amostras situadas na zona de contacto. O diagrama Ti x Al^{IV} (Figura 88b) mostra, por sua vez, uma correlação positiva entre esses dois cátions, que reflete, obviamente, a correlação negativa entre Ti e Si (Figura 89b). Percebe-se, porém, que as biotitas da amostra CMR42a têm valores de Al^{IV} e Si que superpõem aos das

micas das demais amostras. Finalmente, o diagrama Ti x Mg (Figura 89a) revela que as variações de Ti não são acompanhadas pelo Mg, como já havia sido deduzido pelo comportamento dos óxidos. No diagrama Al^{VI} x Al^{IV} (Figura 89d) constata-se a correlação negativa entre ambos e o enriquecimento acentuado em Al^{VI} nas amostras distantes do contato. Finalmente, no diagrama (Al^{VI} + Si) x (Al^{IV} + Ti) (Figura 89c) tem-se um *trend* muito regular e uma correlação negativa perfeita, indo das amostras mais distantes do contato para aquelas mais próximas do mesmo.

É interessante destacar, ainda, que as biotitas das amostras CMR93 e CMR90a se superpõem nos vários diagramas, apesar das suas distâncias contrastantes em relação ao contato. As amostras mais enriquecidas em Ti, aparentemente as que foram submetidas a condições de temperatura mais elevada, são as amostras HRM79 e HRM220.

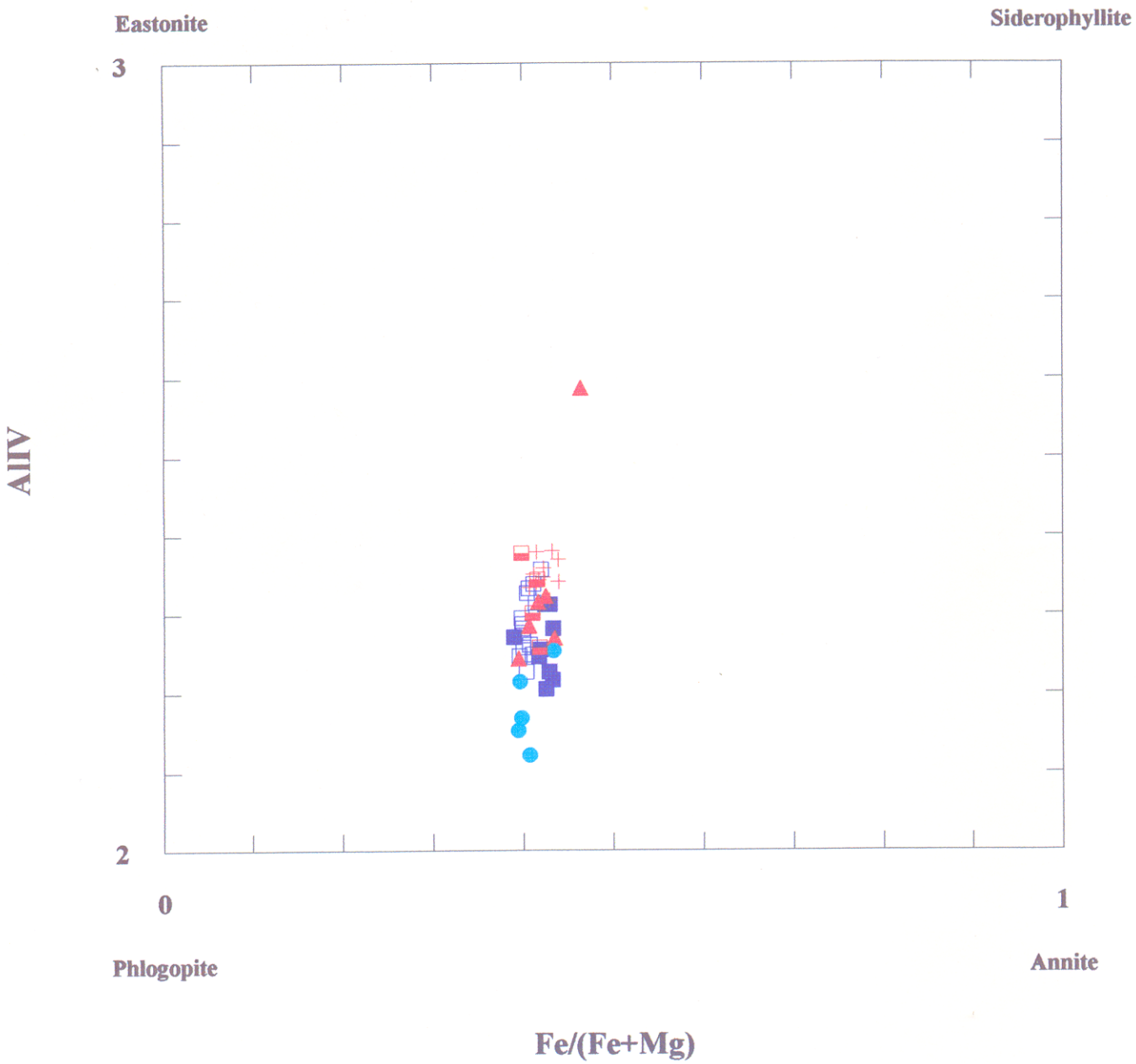


Figura- 85 - Diagrama de classificação das biotitas do Granodiorito Rio Maria, segundo DEER et al. (1992) (Símbolos como a Figura 75).

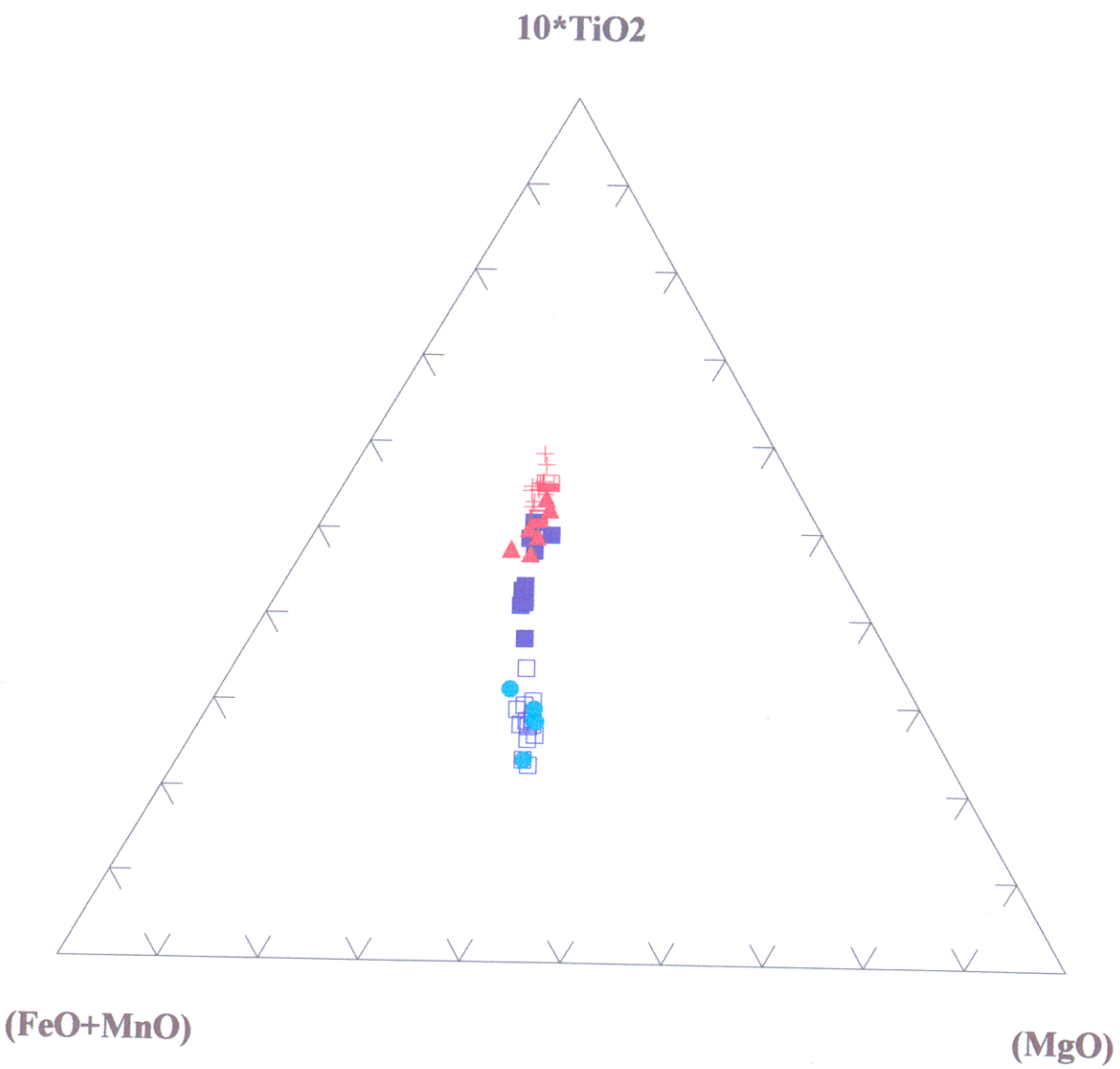


Figura 86 - Diagrama triangular de NACHIT (1994), mostrando as biotitas do Granodiorito Rio Maria, plotando no campo das biotitas reequilibradas (Símbolos como a Figura 75).

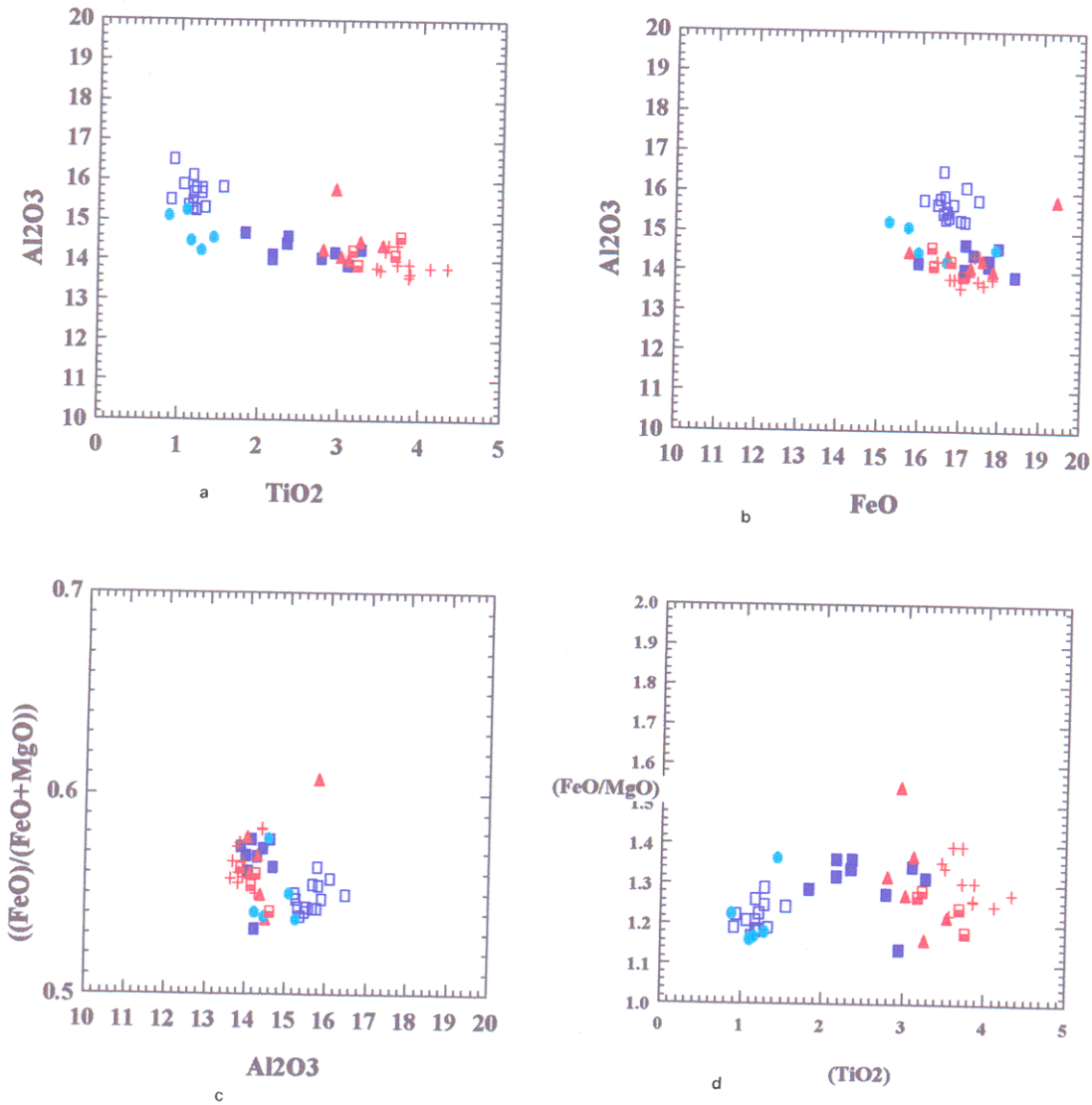
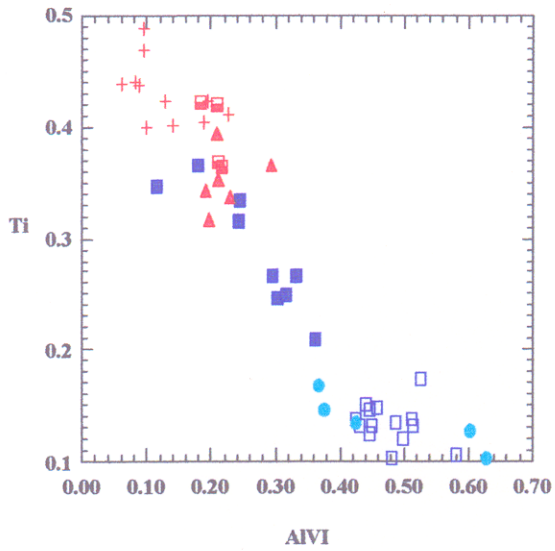
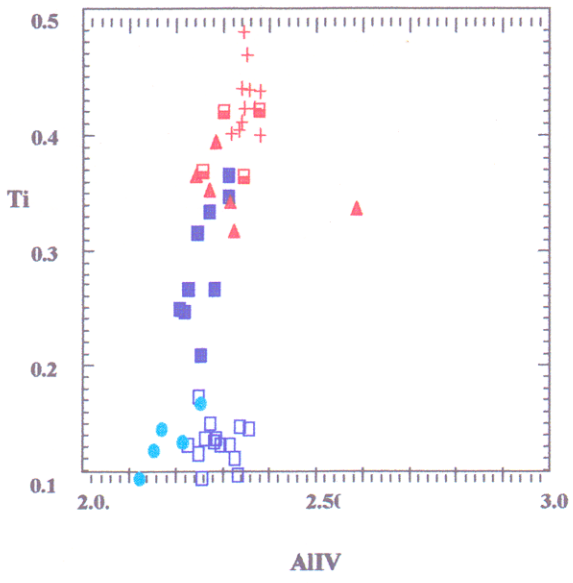


Figura 87 - Diagramas de correlações entre elementos maiores do Granodiorito Rio Maria, onde observa-se uma boa separação dos três domínios (Símbolos como a Figura 75).



(a)



(b)

Figura 88 - Diagramas de correlação entre cations da fórmula estrutural das biotitas do Granodiorito Rio Maria., mostrando a separação dos três domínios (Símbolos como a Figura 75).

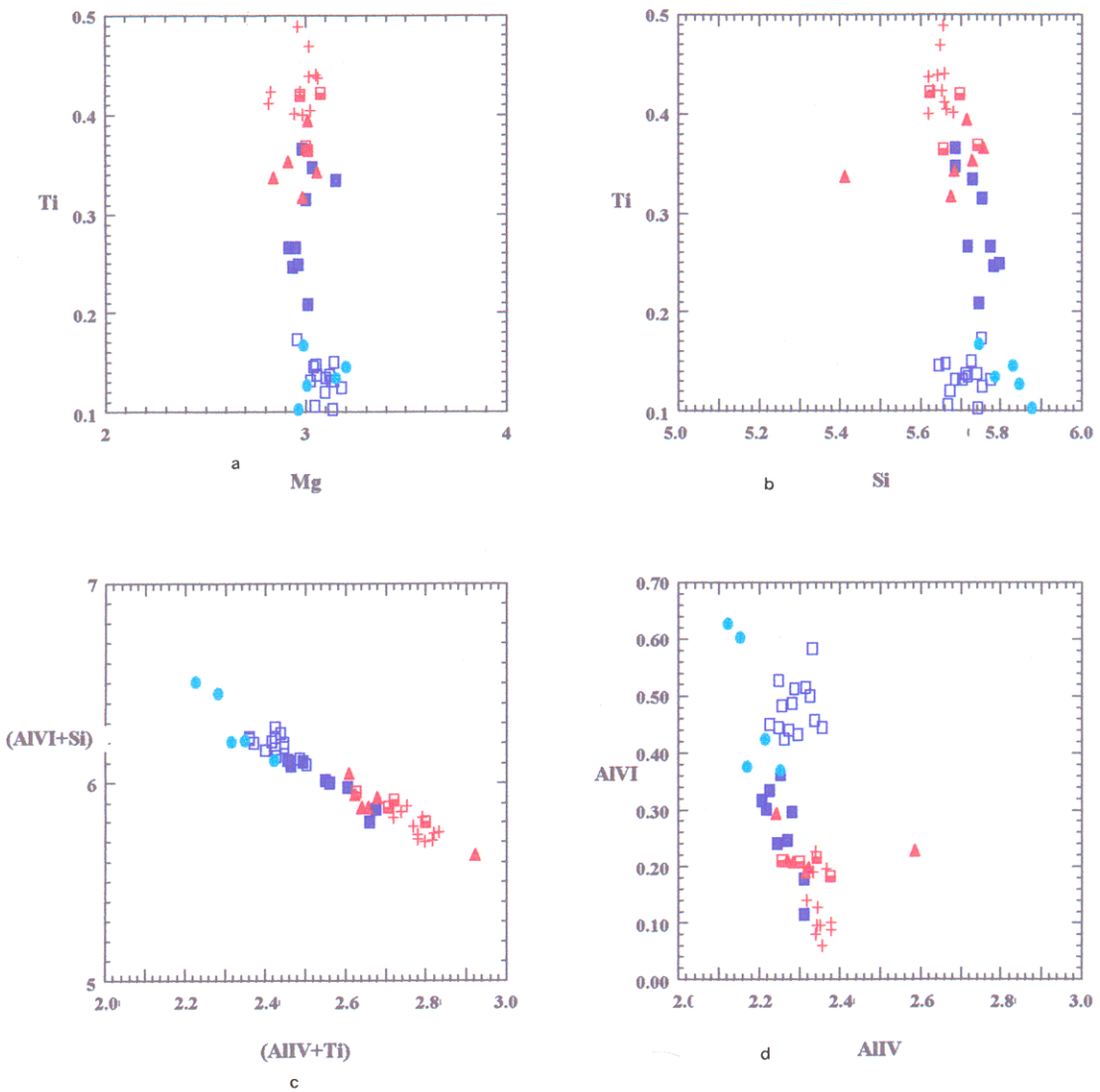


Figura 89 - Diagramas de correlação para as biotitas do Granodiorito Rio Maria., mostrando a separação dos três domínios. Cations da fórmula estrutural (Símbolos como a Figura 75).

DIMEK (1983) apresenta um sumário das principais substituições catiônicas em biotitas, destacando as seguintes:

$$(R^{2+})^{VI} + (Si^{4+})^{IV} = (Al^{3+})^{VI} + (Al^{3+})^{IV} \quad (1)$$

$$3(R^{2+})^{VI} = 2(Al^{3+})^{VI} + (\square)^{VI} \quad (2)$$

$$(R^{2+})^{VI} + 2(Si^{4+})^{IV} = (Ti^{4+})^{VI} + 2(Al^{3+})^{VI} \quad (3)$$

$$(Al^{3+})^{VI} + (Si^{4+})^{IV} = (Ti^{4+})^{VI} + (Al^{3+})^{IV} \quad (4)$$

$$2(Al^{3+})^{VI} = (Ti^{4+})^{VI} + 2(R^{2+})^{VI} \quad (5)$$

$$2(R^{2+})^{VI} = (Ti^{4+})^{VI} + (\square)^{VI} \quad (6)$$

$$(R^{2+})^{VI} + 2(OH^{-}) = (Ti^{4+}) + 2(O^{2-}) + H_2 \quad (7)$$

$$(R^{2+})^{VI} + 2(Si^{4+})^{IV} = (Fe^{3+})^{VI} + (Al^{3+})^{IV} \quad (8)$$

$$Fe^{2+} + (OH^{-}) = Fe^{3+} + O^{2-} + 1/2H_2 \quad (9)$$

$$(K^{+})^{A} + (Al^{3+})^{IV} = (\square)^{A} + (Si^{4+})^{IV} \quad (10)$$

As correlações positiva entre Ti e Al^{IV} e negativas entre Ti e Al^{VI} e Si, revelam que substituições do tipo (4) devem ter desempenhado um papel fundamental na evolução das biotitas. Da mesma forma, a ausência de variações expressivas de Fe^{2+} e Mg^{2+} indicam que substituições envolvendo cátions R^{2+}, tais como as de números (1), (2), (3), (5), (6) e (7), não devem ter sido determinantes nas transformações químicas sofridas pelas mesmas.

Em ambientes metamórficos, o enriquecimento em titânio em biotitas tem sido correlacionado diretamente com o aumento de temperatura, atingindo seu grau máximo em rochas de fácies granulítica (DIMEK, 1983; GUIDOTTI, 1984; PATIÑO DOUCE, 1993). Portanto, os dados obtidos podem ser explicados pelos efeitos térmicos das intrusões graníticas sobre o Granodiorito Rio Maria, os quais teriam causado transformações químicas expressivas nas biotitas. O fato das composições químicas variarem de modo bastante regular com as distâncias dos contatos deve refletir a gradual diminuição do gradiente térmico com o aumento dessa mesma distância.

As relações entre Ti e Al^{VI} observadas nas biotitas do Granodiorito Rio Maria (Figura 88a) são muito similares às constatadas por DIMEK (1983, a sua Figura 15a) em rochas metamórficas da Groenlândia cujos graus metamórficos variam desde a fácies xisto verde até granulito. Os gnaisses das fácies anfibolito superior ou granulito e os piribolitos são as rochas cujas biotitas são mais ricas em Ti e mais pobres em Al^{VI}. Os conteúdos de Ti de suas biotitas se superpõem com aqueles das biotitas das amostras do Granodiorito Rio Maria afetadas pelo contato, porém eles são um pouco mais elevados nas biotitas dos piribolitos do que naquelas das rochas estudadas.

5.4- ANÁLISES QUÍMICAS DOS PLAGIOCLÁSIOS

5.4.1 - Introdução

Os plagioclásios, foram tratados com o auxílio do programa de computação MINPET, versão 2.0 de (RICHARD & CLARK, 1990). As fórmulas estruturais foram calculadas com base em 32 oxigênios, de acordo com DEER et al. (1966). O programa calcula os totais dos sítios X e Z e os membros ternários finais An, Ab e Or, segundo as fórmulas seguintes:

$X = Si + Al$

$Z = Ti + Fe^{2} + Mg + Ca + Na + K$

$An = 100 * Ca / (Ca+Na+K)$

$Ab = 100* Na / (Ca+Na+K)$

$Or = 100* K / (Ca+Na+K)$

5.4.2 - Plagioclásios das Amostras do Granodiorito Rio Maria do Domínio não Afetado pelo Contato

Este grupo é representado pela amostra CMR42a. Como já foi mencionado, nesta porção do granodiorito, o plagioclásio apresenta-se totalmente saussuritizado, sendo impossível determiná-lo por métodos óticos, estimando-se que o mesmo esteja inteiramente descalcificado.

As análises obtidas na microssonda, apesar de reduzidas a quatro, mostraram composições albíticas, variáveis de $An_{<1}$ a An_5 (Figuras 90a, b, Anexo C). Isso confirmou a expectativa em relação à composição do plagioclásio, ao mesmo tempo em que tornou desnecessário um número elevado de análises nessa amostra.

5.4.3- Plagioclásios de Amostras do Domínio do Granodiorito Rio Maria Afetado Pelas Intrusões Graníticas Situadas a Mais de 500 m do Contato

Este domínio é representado pela amostra CMR-37. O plagioclásio se apresenta em parte saussuritizado e em parte afetado por processo de recristalização. As análises químicas de nove pontos, sendo oito em perfis em dois cristais (Anexo C) mostraram que os plagioclásios deste grupo apresentam composições muito variáveis, situando-se entre An_6 (albita) e An_{42} (andesina) (Figuras 90c, d). Num dos cristais, as composições variam ao longo de um perfil transversal de oligoclásio a andesina ($An_{19-25-28-34}$), tendo-se identificado também manchas de feldspato potássico. No segundo cristal as variações composicionais são maiores ($An_{6-15-20-42}$). Uma análise isolada em outro cristal acusou An_8. Esses dados são coerentes com as observações petrográficas que sugerem que o plagioclásio, embora tenha iniciado sua recristalização, buscando atingir condições de equilíbrio face ao evento termal, não chegou a alcançá-las. Constata-se de qualquer modo, uma tendência do plagioclásio recristalizado a apresentar composição de oligoclásio cálcico a andesina.

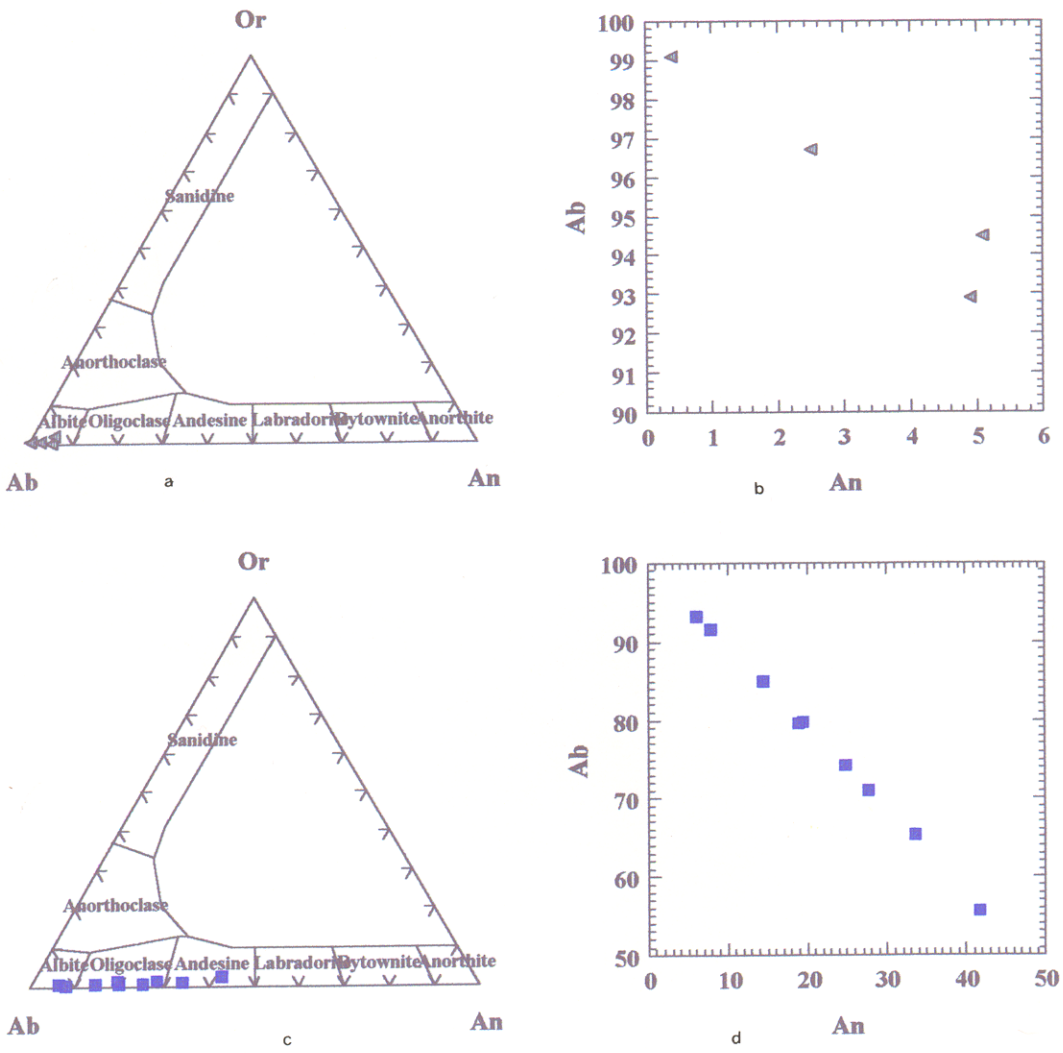


Figura 90 - Gráficos de classificação, Ab-An-Ort e Ab-An, dos plagioclásios do Granodiorito Rio Maria. Em (a) e (b), amostra do domínio não afetado pelo metamorfismo de contato (CMR-42A). Em (c) e (d), domínio do contato a mais de 500 metros; amostra CMR-37.

5.4.4 - Plagioclásios de Amostras da Zona Interna do Domínio do Granodiorito Rio Maria Afetado Pelas Intrusões Graníticas

As amostras que representam este domínio são: CMR90a, HRM220 e HRM79. Nestas amostras os plagioclásios exibem uma forte recristalização e textura em mosaico, havendo o total desaparecimento da saussuritização.

As análises na microssonda revelaram que os plagioclásios destas amostras apresentam composições amplamente dominantes variáveis de oligoclásio cálcico a andesina (An_{20} a An_{33}, excepcionalmente, An39-42) (Figuras 91a, b, c, d, e, f), com exceção de dois plagioclásios mais cálcicos na amostra HRM-220 (bytownita, An 74, e labradorita, An 59; ressalva-se que a primeira dessas análises, não mostra bom fechamento; Anexo C) e de de três análises com composições mais sódicas (albita a oligoclásio sódico). A amostra CMR93, situada nesse domínio, mas um pouco mais afastada do contato, teve apenas três pontos analisados, os quais revelaram composições de albita a oligoclásio sódico (An_2 a An_{11}). As análises dos plagioclásios dessa amostra deveriam ter sido retomadas, pois os dados obtidos são limitados e não são coerentes com as evidências de recristalização do mesmo, discutidas na petrografia. Porém, infelizmente isso não foi possível e considera-se que as composições dessas poucas análises não devam ser representativas. O mais provável é que se tenha nessa amostra um quadro semelhante ao da amostra CMR37.

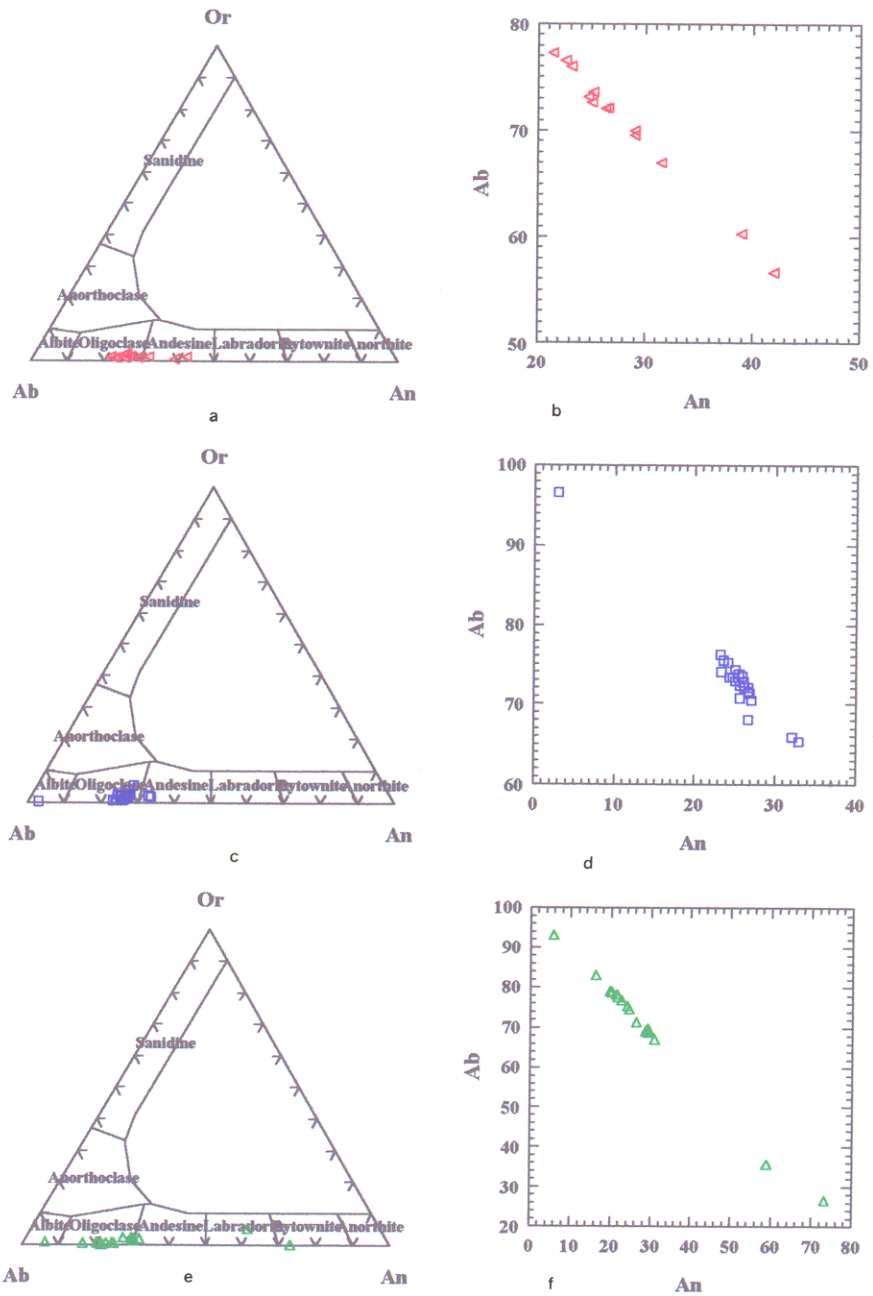


Figura 91- Gráficos de classificação, Ab-An-Ort e Ab-An, dos plagioclásios do Granodiorito Rio Maria, do domínio afetado pelo metamorfismo de contato a menos de 500 metros. Em (a) CMR-90A; (b)HRM-79 e em (C) HRM-220.

5.4.5 - Discussões e Conclusões

Em suma, os plagioclásios do Granodiorito Rio Maria, provavelmente cristalizaram como plagioclásio do tipo oligoclásio a andesina, os quais foram inteiramente transformados através de um processo de saussuritização, tornando-se assim descalcificados e com composições albíticas, tendo epidoto, sericita e, eventualmente, carbonatos e clorita associados. A origem do processo penetrativo de sausssuritização pode ser um evento de metamorfismo regional na fácies xisto verde (MEDEIROS, 1987) ou um evento de autometassomatismo, contemporâneo à colocação do Granodiorito Rio Maria (SOUZA, 1994). Quando submetido ao metamorfismo térmico em decorrência das intrusões dos granitos Musa e Jamon, houve, no domínio mais próximo do contato, uma forte recristalização do plagioclásio, com a formação de textura em mosaico, levando ao desaparecimento da saussuritização e das fases secundárias associadas ao plagioclásio descalcificado. Durante este processo o plagioclásio apresenta um acentuado enriquecimento em cálcio e adquire composições que variam em sua grande maioria de oligoclásio cálcico a andesina, interpretadas como sendo aquelas em equilíbrio com as condições metamórficas impostas na zona interna da auréola de contato. Tais composições permitem estimar condições equivalentes a pelo menos o início da fácies anfibolito para esse metamorfismo.

Em zonas da auréola mais distantes do contato, os plagioclásios mostram maiores variações composicionais, sugerindo que não atingiram inteiramente o equilíbrio com as novas condições. De qualquer modo, os plagioclásios neoformados revelam também aí composições no intervalo oligoclásio-andesina. No domínio afastado do contato, confirmou-se o processo de descalcificação do plagioclásio, em conseqüência da saussuritização.

5.5 - ANÁLISES DE MINERAIS OPACOS

As análises químicas dos minerais opacos do Granodiorito Rio Maria (Anexo D) ratificaram o que já se cogitara através dos estudos de suscetibilidade magnética (MAGALHÃES & DALL'AGNOL, 1991; cf. capítulo 4) ou seja de que os opacos presentes no Granodiorito Rio Maria, associados essencialmente aos efeitos de contato, são representados exclusivamente por magnetitas. Foram realizadas pouco mais de duas dezenas de análises, nas cinco amostras do

domínio afetado pelas intrusões graníticas (CMR93, CMR90a, CMR37, HRM220, HRM79). As análises são representativas dos diferentes tipos de cristais de magnetita distinguidos na petrografia, não tendo sido observada nenhuma diferença composicional entre eles. Isso indica que tanto os cristais diminutos de opacos, associados essencialmente com o plagioclásio recristalizado, quanto aqueles mais desenvolvidos, associados preferencialmente aos máficos, acham-se em equilíbrio.

As magnetitas analisadas são praticamente puras, com os óxidos Fe_2O_3 e FeO constituindo mais de 98% do total (Anexo D). Os teores dos demais óxidos analisados situam-se sempre abaixo de 1% e, geralmente, são <0,1%. As proporções moleculares de ulvoespinélio não ultrapassam 0,12%, demonstrando a pureza das magnetitas. Essa pureza não pode ser explicada por processos de oxidação-exsolução ou similares, que poderiam ter eliminado o titânio original através da formação de ilmenita, porque esse mineral está ausente nas rochas estudadas e não há nenhuma evidência textural de que tenha sido substituído. Conclui-se que a pureza das magnetitas traduz a sua cristalização direta em condições metamórficas, portanto no domínio subsolidus, em temperaturas onde os seus intercrescimentos com ulvoespinélio não eram estáveis. Em caso contrário, a magnetita deveria ocorrer também no domínio afastado do contato ou deveria ter associadas ilmenita ou fases dela derivadas.

Uma questão importante a discutir é a possível fonte do ferro da magnetita associada à recristalização do plagioclásio. A alternativa mais óbvia é a de que este ferro seja oriundo do epídoto da variedade pistacita, associado à saussuritização do plagioclásio e que desaparece com a recristalização do mesmo. Na realidade, a reação que leva à recristalização do plagioclásio é, em certa medida, uma reação de reconstituição de um plagioclásio próximo do plagioclásio ígneo original do granodiorito. Porém, o ferro contido no epídoto não pode ser aproveitado pelo plagioclásio, o que, juntamente com as condições oxidantes reinantes durante o metamorfismo de contato, deve levar à formação generalizada de magnetita. Parte do ferro poderia provir também de outras reações metamórficas, envolvendo as fases máficas, mas acredita-se que esse ferro seja utilizado com mais freqüência na formação dos cristais maiores de magnetita, associados aos agregados máficos.

5.6 - ANÁLISES DE TITANITAS

No granodiorito Rio Maria, um dos principais minerais acessórios é a titanita, que ocorre indistintamente em todas os domínios estudados. Foram realizadas análises químicas em apenas duas amostras, sendo uma do domínio do granodiorito não afetado termicamente (CMR42a) e outra do domínio do contato (HRM-220). As composições obtidas são muito similares e não apresentam nenhum aspecto que mereça destaque.

5.7 - CONCLUSÕES

Integrando os dados obtidos no estudo de química mineral, conclui-se que na região de contato, desenvolveu-se no Granodiorito Rio Maria uma paragênese a base de hornblendas magnesianas-hornblendas actinolíticas + oligoclásio cálcico-andesina + biotita rica em titânio + magnetita + quartzo + feldspato potássico. Essa paragênese revela que foram atingidas seguramente na auréola condições metamórficas da fácies anfibolito (WINKLER, 1979) e, possivelmente, até mesmo da fácies anfibolito superior, tendo em vista os altos teores de titânio das biotitas de determinadas amostras da auréola (HRM79 e HRM220). O desaparecimento de cloritas e epídotos na zona de contato também constitui argumento nesse sentido. Essas condições são análogas àquelas admitidas por DALL'AGNOL et al. (1985) para a auréola do Granito Jamon no Grupo Lagoa Seca.

A ausência de variações composicionais expressivas nos anfibólios presentes nos domínios afastado e próximo do contato revela que o anfibólio originalmente presente no Granodiorito Rio Maria, e que fora parcialmente transformado, gerando abundantes pseudomorfos, encontrava-se em equilíbrio com as condições impostas pelo metamorfismo termal gerado pelos granitos. Por essa razão, ao invés de modificar substancialmente a sua composição, deve ter se dado de fato a formação de novos cristais desse anfibólio, levando ao aumento de sua proporção na rocha, tal como sugerem as análises modais (Anexo A).

6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

a) Os trabalhos de campo e, mais particularmrnte perfis de amostragem detalhados, perpendiculares às zonas de contato do Granodiorito Rio Maria com as intrusões graníticas anorogênicas, permitiram as seguintes conclusões:

Foram identificados no GDrm três domínios, que correspondem a: Domínio I: sem evidência de metamorfismo de contato; Domínio II: afetado pela intrusão dos granitos Jamon e Musa; Domínio III: situado em torno dos diques mais espessos que cortam o GDrm. O domínio II corresponde a auréola de metamorfismo de contato cuja a extensão máxima em planta alcança em torno de um quilômetro. A sua delineação no campo foi possível basicamente em função do Granodiorito adquirir uma forte tonalidade rosada, ou por vezes esbranquiçada, que contrasta vivamente com sua cor cinza esverdeada característica do domínio I. Os contatos entre o Granodiorito e os granitos são marcados ainda pela presença expressiva de enclaves dos primeiros nos ultimos, cuja as formas angulosas e de dimensões consideráveis (até um metro no maior comprimento), evidenciam o elevado contraste de viscosidade entre ambos, sugerindo que quando os granitos intrudiram o GDrm este se encontrava a baixas temperaturas.

Embora não se tenha conseguido a delimitação precisa das auréolas no contato do GDrm com os diques, pode-se afirmar que as mesmas são discretas e que não devem ultrapassar três metros de espessura em planta. Nos diques é muito raro a presença de enclaves, embora tenha sido constatada localmente a ocorrência de enclave monzogranítico associado ao GDrm em dique diorítico (SILVA Jr., 1996). O enclave, tem forma angulosa indicando um alto contraste de viscosidade do mesmo com sua encaixante.

b) O estudo Petrográfico realizado em amostras selecionadas dos diferentes domínios do GDrm, mostrou diferenças significativas entre as mesmas, destacando-se as seguintes:

As análises modais do GDrm mostram que, no que diz respeito aos constituintes félsicos, não existem diferenças composicionais marcantes entre as rochas dos vários domínios, ao passo que, nas fases máficas, há modificações significativas. Nas amostras provenientes do domínio II , os conteúdos médios de anfibólios e biotitas são mais elevados e os conteúdos de opacos muitíssimos mais elevados que os do domínio I. Tem-se, ao mesmo tempo, um decréscimo

marcante nas proporções de clorita e epídoto, que tendem a desaparecer nas amostras provenientes do domínio II.

No domínio III, o GDrm é representado por uma fácies monzogranítica, onde aparentemente clorita e epídoto permanecem estáveis, sugerindo que não foram alcançadas na auréola de contato temperaturas elevadas o suficiente para permitir a desestabilização desses minerais. Como diferença aparente pôde-se constatar em amostra adjacente ao contato, a formação de intercrecimento granofírico nas juntas dos grãos, os mesmos são de difícil interpretação. Poderiam representar tão somente produtos de cristalização magmática de líquidos residuais do monzogranito, porém não ocorrem longe do contato, e nem são comuns em nenhuma outra face do GDrm. Eles poderiam alternativamente, serem relacionados a um provável início de fusão, ou recristalização no estado sólido. A primeira hipótese é mais apropriada para explicar a textura, mas não é coerente com a paragênese nem com o grau de recristalização discreto dos minerais da zona de contato, que não corresponde ao que se devia esperar em elevadas temperatura (em torno de 700 para o início da fusão). Já a recristalização no estado sólido, apresenta como limitação o fato de os intercrescimentos granofíricos serem gerados geralmente apartir de líquidos cotéticos (BARKER, 1970; SMITH, 1974). Apesar disso, ela parece ser a hipótese mais viável.

O domínio II é marcado texturalmente pela ausência de saussuritização e pela forte recristalização do plagioclásio que forma grãos finos onde nota-se o desenvolvimento de textura em mosaico. Ele contrasta fortemente com o plagioclásio proveniente do GDrm do domínio I, que mostra-se subdiomórfico e totalmente saussuritizado. O metamorfismo de contato apagaou os efeitos de saussuritização e conduziu, juntamente com a recristalização do plagioclásio a formação de abundantes cristais submilimétricos de magnetita, os quais associam-se ao plagioclásio neoformado. Na zona mais interna da auréola, desenvolveram-se cristais poiquiloblásticos de biotita que englobam os grãos neoformados de plagioclásios.

c) Os estudos de suscetibilidade magnética e de minerais opacos, permitiram concluir que:

A Suscetibilidade Magnética mostrou-se uma ferramenta importante fundamental na delimitação mais precisa da auréola de metamorfismo de contato, em virtude do significativo aumento do conteúdo de minerais opacos e por conseguinte aumento de SM, expressivo no GDrm do domínio II, contastando com os baixos valores de SM do GDrm do domínio I, em virtude da

quase ausência de minerais opacos no mesmo. O domínio III, apresenta um aumento na SM, mas este aumento é, exceto em amostras isoladas, muio inferior ao observado no domínio II. Confirmou-se, ainda, há hipeotese de neoformação de magnetita em virtude do metamorfismo de contato de MAGALHÃES & DALL' AGNOL (1991).

A existência de expressiva auréola no granodiorito no contato com os granitos contrastando com reduzida no contato com os diques, reflete certamente os volumes das intrusões. A intensidade e a penetratividade das transformações nas auréolas dos granitos, indicam que houve uma retenção de calor emitido pelos corpos, de modo a permitir o desenvolvimento das reações metamórficas.É provável, portanto, que no Paleopropterozóico, possa ter havido um aquecimento regional da crosta, permitindo assim um resfriamento mais lento desses corpos e o pleno desenvolvimento das auréolas observadas.

d) Os estudos de Química mineral realizados nas principais fases minerais dos domínios do I e II do GDrm permitiram as seguintes conclusões:

A composição dos anfibólios, mostraram-se pouco contrastantes nas amostras coletadas a diferentes distãncias do contato do GDrm com os granitos, sugerindo que os mesmos tenham permanecidos estáveis durante o evento de metamorfismo de contato. O fato da presença mais expressiva em algumas amostras da zona interna do contato de anfibólios do tipo actinolita, parece refletir transformações posteriores ao metamorfismo de contato, que podem estar relacionadas ao resfriamento regional e não a uma possível tentativa de reequilíbrio dos mesmos.

Em conta partida, as biotitas acusaram variações notáveis, relacionadas diretamente a distância do contato. As biotitas do domínio II apresentam elevados teores de Ti e baixos teores de AlVI, correspondendo o inverso no Domínio I. Constatou-se a existência de variações graduais de composição nas biotitas desses dois domínios, refletindo o gradiente térmico decrescente. O acentuado enriquecimento em Ti, em biotitas de rochas metamórficos com o aumento do grau metamórfico é correlacionado com o aumento da temperatura, e atinge o seu grau máximo em rochas da fácies granulito (DIMEK, 1983; GUIDOTTI, 1984; PATINO DOUCE, 1993). Assim conclue-se que os efeitos térmicos foram determinantes nas transformações químicas que ocorrem nas biotitas, que funcionaram como excelente indicador do grau de metamorfismo. Conclui-se ainda, que as relações Ti x AlVI no domínio II do GDrm,

assemelham-se as verificadas por DIMEK, 1983 em gnaisses de fácies anfibolito superior e granulitos da Groelândia.

Em relação aos plagioclásios, pode-se concluir, que no domínio II, houve a recristalização do mesmo para oligoclásio cálcico até andesinas, contrastando fortemente com os do domínio I que mostram-se descalcificados e com composições albíticas, em virtude do acentuado processo de saussuritização. Comprovou-se, a íntima associação entre o plagiocásio recristalizado e minúsculos e abundantes cristais de magnetita. Uma provável fonte para o ferro necessário para formar essa magnetita, seria o epídoto(pistacita) associado à saussuritização do plagioclásio presente no domínio I, que desaparece com a recristalização no domínio II. A reação de recristalização do plagioclásio assemelha-se em certa medida à reconstituição de um plagiocásio próximo do plagioclásio ígneo original. Porém, o plagioclásio neoformado não pode absorver o ferro contido no epídoto, que juntamente com as condições oxidantes reinates durante o metamorfismo de contato, leva a formação generalizada de magnetita. Parte do ferro pode advir de reações de reequilíbrio das fases máficas.

As análises por EDS e WDS, confirmaram que os opacos presentes no domínio II são magnetitas puras. Isso, somados a evidências texturais e dados de SM, permite concluir que a formação de magnetita é diretamente relacionada com o metamorfismo térmico causado pelas intrusões graníticas.

Em suma, pode-se concluir que o Granodiorito Rio Maria foi submetido a um metamorfismo de contato, em virtude principalmente das intrusões graníticas do Paleoproterozóico Musa e Jamon e de modo mais restrito por diques do Proterozóico. As primeiras desenvolveram uma auréola no GDrm, com expessura em planta em torno de um quilômetro, em quanto no caso dos diques elas não ultrapassam três metros. A auréola do domínio II caracteriza-se por apresentar uma alta suscetibilidade magnética, forte recristalização sobretudo dos plagiocásios, e uma paragênese a base de Hornblenda magnesiana-Hornblenda actnolítica+ Oligoclásio cálcico-andesina+ Biotita rica em Ti+ Magnetita +Quartzo+ Feldspato alcalino, revelando seguramente que nesta auréola foram atingidas condições metamórficas equivalentes as do fácies anfibolito (WINKLER,1979), correspondendo a fácies hornblenda-*hornfels* (TURNER,1981). Localmente, no interior da auréola é possível que condições de fácies anfibolito superior tenham sido atingidas, em virtude dos altos teores de titânio encontrados na biotita.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLING, H.L. 1932. Perthites. **Am. Miner**. 17 (2):43-65.

ALTHOFF, F.J. 1996. **Etude pétrologique et struturale de granitöides de Marajoara (Pará, Brésil); leur rôle da l'evolution archéene du craton amazonien (2.7 - 3.2 Ga)** Nancy. Faculde des Sciences. 296p. Thése (Docteur en physique et chimie de la terre).

ALTHOFF, F.J.; BARBEY.; BOULIER, A.M; DALL´AGNOL, R.1994. Regime tectônico e composição dos granitóides arqueanos da região de Marajoara. in: SIMP. GEOLOG. AMAZ.,4, Belém,1994. **Anais**.. Blém, SBG. p.291-294.

ALTHOFF, F.J.; DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z.S. 1991. Região de Marajoara - SE do Pará: Prolongamento dos terrenos Arqueanos de Rio Maria ou retrabalhamento? In: SIMP. GEOL. AMAZ., 3, Belém, 1991. **Anais**... Belém, SBG. p. 130-141.

ARAUJO, O.J.B. & MAIA, R.G.N. 1991. **Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil, Serra dos Carajás, Folha SB-22-Z-A, Estado do Pará. Texto explicativo.** Brasília, DNPM/CPRM, 164p.

ARAUJO, O.J.B.; MACAMBIRA, E.M.B.; VALE A.G.; OLIVEIRA, J.R.; SILVA NETO,C.S.; COSTA, E.J.S.; SANTOS, A.; PENA FILHO, J.I.C.; NEVES, A.P.; JOÃO, X.S.J; COSTA, J.B.S. 1994. Primeira Integração das investigações geológicas do programa Grande Carajás, região SSE do Estado do Pará. in: SIMP. GEOL. AMAZ.4, Belém 1994. **Anais.** Belém, SBG.p.299-301.

BARBOSA, A.A.; LAFON, J.M.; NEVES,A.P. VALE, A.G.1994. O Granito Redenção(Sul do Pará), novos dados geocronológicos Pb/Pb e Rb/Sr.in: SIMP.GEOL.AMAZ., 4 , Belém 1994. **Anais**, Belém, S.B.G., p. 302-306.

BARKER,A.J.1990. **Introduction to metamorphic textures and microestrutures**. New York, BLAKIE.,162p.

BARKER, D.S.1970. Compositions of granophiryre, mimekite, and graphic granite. **Geological Society of America Bulletin**, 81:3329-3350.

BARROS, C.E.M. 1991. **Evolução Petrológica e Estrutural do Gnaisse Estrela, Curionópolis, Pa.** Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 135p. Tese (Mestrado em petrologia e geoquímica)- Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPa. 1991.

BARROS, C. E. M.; DALL'AGNOL, R.; SOARES, A. D. V.; DIAS, G.S.1994. Metagabros de Águas Claras, serra dos carajás: petrografia, geoquímica e transformações metamórficas hidrotermais. **Acta Geologica Leopoldensia,** 40 (17): 31-70.

BARROS, C.E.M.; DALL'AGNOL, R.; TEIXEIRA, N.P. RIBEIRO, J.W. 1992. Evolução Estrutural do Gnaisse Estrela, Curionópolis - Pa. In: CONG. BRAS. GEOL., 37, São Paulo, 1992. **Boletim de resumos expandidos**.... São Paulo, SBG. v. 2, p. 333-335.

BASLEY, J.R. & BUDDINGTON, A.F. 1958. Iron titaniun Oxide minerals, rocks, and aeromagnetic anomalies of the Adirondack area, New York. **Economic. Geolog**., 53(7): 777-805.

BUDDINGTON, A. F. & LINDSLEY, H.D. 1964. Iron-Titanium Oxide Minerals and Sinthetic equivalents. **J. Petrology**, 5(2)310-357.

CARMICHAEL, R.S. 1986. Magnetitic properties of minerals and rocks. **Handbook of physical Properties of rocks**. 2. ed. [s.1], CRS Press. v.2., p. 229-287.

CARVALHO, L. M. N.; DALL'AGNOL, R.; BARROS, C. E. M. 1996. Diques e stoks máficos da região de curionópolis Pará: Petrografia, suscetibilidade magnética e mineralogia dos opacos. In: SIMP. GEOL. AMAZ. Belém, 1996. **Anais.** Belém, SBG. p. 46-49.

COLLINSON, D.W.1983. **Methods in Rock Magmatism and Paleomagnetism (Techinicques and instrumentation)**. New York, Chapman and Hall.503p.

CORDEIRO, A.A.C. 1982. Geologia preliminar da Região de Andorinhas. in: SIMP. DE GEOL. AMAZ;1, Belém, 1982. **Anais**...Belém, SBG. V1, p.45 a49.

CORDEIRO, A. A. C. & MARTINS, L.P.B. 1984. Ocorrência de Pilow lavas no "grenstone belt"de Andorinhas-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33.,Rio de Janeiro, 1984. **Resumos. Breves comunicações. Cursos, Excursões e Mesas Redondas**. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Geologia. p.148-149.

CORDEIRO, A.A.C. & SAURESSIG, R.1980. Serra das Andorinhas, geologia e principais ocorrências de ouro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriu, 1980. **Resumos**. Camboriu, Sociedade Brasileira de Geologia. p.344.

CORDEIRO, A.A.C; ALVES, C.A; FONSECA, L.R. 1982. Geologia da região da Serra do Gradaús. In: SIMP. GEOL. AMAZ., Belém, 1982. **Anais**... Belém, SBG. v.1, p.50-53.

CORDEIRO, A.A.C.; ALVES, C.A; FONSECA, L.R.; NASCIMENTO, J.A.S., AZEVEDO, I. L, SANTOS, F.F. 1984. Pesquisa geológica da jazida de wolframita de Pedra Preta, Rio Maria-PA. In: SIMP. AMAZ., 2. Manaus, 1984. **Anais**... Manaus, MME -DNPM. p.375-379.

CZAMANSKE, G.K., & WONES, D.R. 1973. Oxidation during magmatic diferentation, Firmarka Complex, Oslo Area, Norway. Part 2. The massific silicates. **J. Petrol**,14:349-380.

DALL´AGNOL, R.1980. **Etudes sur des granites du type Rondoniam en Amazonie Orientale et leurs transformations tardi-magmatiques**.Thèse. Labor. Geol.- Petrol. Toulouse, Univers. Paul Sabatier.384p.

DALL´AGNOL, R.1982a. Estudo comparativo de alguns maciços graníticos pós-transamazônico da Amazônia Oriental. In: CONG. BRAS. DE GEOLOGIA.,32., Salvador,1982.**Anais**...Salvador, S.B.G., v.2, p.500-513.

DALL'AGNOL, R. 1982b. Maciço Jamon: Evolução Petrológica de um granito da Amazônia Oriental. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 1., Belém, 1982. **Anais**...Belém, SBG. v.2, p. 139-161.

DALL'AGNOL, R. 1987. Petrologic Evolution of the Magnetite-Bearing Jamon Anorogenic Granite, Western Amazon, Brasil: an Example of Moderate Fractional Cristalization. In: INTERN. SYMP. ON GRANITES AND ASSOC. MINER., Salvador, 1987. **Extended Abstracts.** p. 217-219.

DALL´AGNOL, R. 1996. Rapakivi Granites from Brazil and adjacent areas. In: INTERN. SYMP. RAPAKIVI GRANITES AND RELATED ROCKS. HELSINK, 1996. **Abstract volume.** Helsink p.17.

DALL´AGNOL, R. & MAGALHÃES, M.S. 1995. Geochemetry and Petrogenesis of the anorogenic Jamon and Musa granites, eastern Amazonian craton, Brazil: implications of the genesis of A-type proterozoic granites. In: SYMPOSIUN ON RAPAKIVI GRANITES AND RELATED ROCKS., Belém.,1995. **Abstract Volume.,** Belém: University Federal of Pará. Center for Geociences.

DALL'AGNOL, R.; BETTENCOURT, J.S.; JORGE JOÃO, X.S.; MEDEIROS, H.; COSTI, H.T. MACAMBIRA, M.J.B. 1987. Granitogenesis in the Northern Brasilian Region: a Review. **Rev. Bras. Geoc**., 17(4): 382-403.

DALL´AGNOL, R.; SAUCK, W.A.; GONÇALVES, M.G.B.1988. Suscetibilidade magnética em granitóides da Amazônia: um estudo preliminar, In: CONG. BRAS. DE GEOLOGIA.,35., Belém, 1988. **Anais**...Belém, SBG. v.3, p.1164-1173.

DALL´AGNOL, R.; SCHENATO, A.C; CORDEIRO, C.A.A.; SCHELLER, T.1985. Efeitos de contato do Maciço granítico Jamon na Sequência Lagoa Seca (Sudeste do Pará), In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2., Belém.1985. **Anais**..Belém, SBG. v,1., p.35-52.

DALL'AGNOL, R.; SCHUCKMANN, W.K.; BASEI M.A.S.; SCHELLER, T. 1984. Novos dados geocronológicos e estudo de elementos traços de Maciços Graníticos Anorogênicos da Amazônia Oriental, Estado do Pará (Brasil). In: SYMP. AMAZ., 2., Manaus, 1984. **Anais**...Manaus, DNPM. p. 59-74.

DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z.S.; ALTHOFF, F.J.; MACAMBIRA, M.J.B.; LEITE, A.A.S. 1996. Geology and Geochemestry of the Arquean Rio Maria Granite-greenstone Terrain, Carajás province, Amazonian craton. SYMP. ARQUEAN TERR. SOUTH AMER. PLATAFORM., Brasília, 1996. **Extended abstracts.** Brasília, SBG. p.29-30.

DALL'AGNOL, R.; VIEIRA, E.A.P.; SÁ, C.A.S.; MEDEIROS, H.; GASTAL, M.C.P.; TEIXEIRA, N.P. 1986. Estado atual do Conhecimento sobre Rochas Granitóides da Porção Sul da Amazônia Oriental. **Rev. Bras. Geoc**. 16(1): 11-23.

DEER, W. A., HOWIE, R.A.; ZUSSMAN. J. 1962. **Rocking forming minerals**. Sheet Silicates. Logmans. V.3, 270p.

DEER, W. A., HOWIE, R.A.; ZUSSMAN. J. 1966. **Minerais constituintes das rochas: uma introdução.** Lisboa, Fundação Caluoste. 558p.

DEER, W. A., HOWIE, R.A.; ZUSSMAN. J. 1972. **Rocking forming minerals**. 6. London, Logman Lin.,291p.

DEER, W. A., HOWIE, R.A.; ZUSSMAN. J. 1992. **An intoduction to the rock-forming minerals**. 2ed. Hong Kong, Logman Scientif & Techinical.

DIAS, G. S., MACAMBIRA, M.J.B. DALL'AGNOL, R. SOARES, D.V., BARROS, C.E.M. 1996. Datações de zircão de zircões de sill de metagabros: comprovação de idade arqueana da formação Aguas Claras, Carajás Pará. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 5. Belém, 1996. **Boletin de resumos expandidos e guia de excursões.** Belém, SBG, p.376-379.

DIMEK, R.F. 1983. Titanium, aluminium and interlayer cations substitutions in biotite from higt grade gnaisse, West Greenland. **Amer. Mineral**.,68:880-889.

DOCEGEO (Amazônia). 1988. Revisão Litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: CONG. BRAS. GEOL., 35., Belém, 1988. Província Mineral de Carajás - Litoestratigrafia e Principais Depósitos Minerais. **Anexo aos anais**. Belém, CVRD-SBG., p. 11-54.

DUARTE, K.D. 1992. **Geologia e Geoquímica do Granito Mata Surrão (SW de Rio Maria - Pa): Um exemplo de Granito "Stricto Sensu" Arqueano**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Tese (Mestrado em Petrologia e Geoquímica)- Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPa. 1992.

DUARTE, K.D.; PEREIRA, E.D.; DALL'AGNOL, R.; LAFON, J.M. 1991. Geologia e Geocronologia do Granito Mata Surrão - Sudoeste de Rio Maria (Pa). In: SIMP. GEOL. AMAZ., 3, Belém, 1991. **Anais**... Belém. SBG. p. 7-20.

FIGUEREDO, M.A.B.M., DALL'AGNOL, R., LEITE, A.A.S. 1996. Comportamento magnético e natureza dos minerais opacos do Granito Arqueano Xinguara, sudeste do Pará. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 5., Belém, 1996. **Boletin de resumos expandidos e guia de excursões.** Belém, 1996. Belém. SBG, p. 56-59.

FOSTER, M.D. 1960. **Interpretation of the composition of trioctahedral micas**. Schort Contr. Gen. Geol. Surv. Profes. Paper. **354-B**. p.49.

GAMA Jr..T.; MACAMBIRA,J.B.; KOTSCHOUBEY,B.1982. Contribuição à Litoestratigrafia da Região Serra das Andorinhas, Sudeste do Pará. In: SIMP. GEOL. AMAZ.,1., Belém.,1982. **Anais**..Belém, SBG. v,1., p.111-127..

GASTAL, M.C.P. 1987. **Petrologia do Maciço Granítico Musa. Sudeste do do Pará**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 316p. Tese (Mestrado em petrologia e geoquímica)- Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPa. 1987.

GASTAL, M.C.P. 1988. Magmatismo Ácido-Intermediário do Proterozóico Médio da Região de Rio Maria, SE do Pará: Discussão quanto à tipologia. In: CONG. BRAS. GEOL., 35.,Belém, 1988. **Anais**... Belém, SBG. v. 3, p. 1147-1163.

GASTAL, M.C.P.; MACAMBIRA, M.J.B.; MEDEIROS, H.; DALL'AGNOL, R. 1987. Idades e Geoquímica Isotópica Rb-Sr do Granito Musa e do Granodiorito Rio Maria, Amazônia Oriental. **Geochm. Brasil**., 1(2):247-459.

GUIDOTTI, C.V. 1984. Micas in metamorfic rocks. Bailey, SW. (ED), Micas. **Rev. Mineral**., 13:357-348.

HARTMANN, L. A. 1987. Isócrona Sm/Nd de 2,1 Ga em minerais de duas amostras do Complexo Granítico Santa Maria Chico, R.S., In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA., Porto Alegre, 1987. **Anais**. Rio de Janeiro, SBGq. V.1, p.105-111.

HARTMANN, L. A.1991. Condições de Metamorfismo no Complexo Granulítico Santa Maria Chico, RS. **Revista Brasileira de Geociências**, 21(2): 107-113.

HATTORI, K.1987. Magnetic Felsic Intrusions Associated With Canadian Archean Gold deposits. **Geology**, 15:1107-1111.

HAWTHORNE, F. C. 1982. Amphibole spectroscopy In: VEBLEN, D. R. **Anphiboles and others hydrous pyriboles - mineralogy.** p.103-139. (Review in mineralogy, 9A).

HIRATA, W.K.; RIGON, J.C.; KADEKARU, K.; CORDEIRO, A.A.C.; MEIRELES, E.M. 1982. Geologia Regional da Província Mineral de Carajás. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 1, Belém. **Anais**... Belém, SBG. v. 1, p. 100-110.

HOOD, P.J; HOLROYO, M.T; MCGRANT, P. H. 1979. Magnetic methods appled to base metal exploration. In: HOOD, P.J. **Geophysics and geochemistry in the search for metalic ores.** [s.1], Geol. Survey Canada, Econ. Geol. Report 31, p. 77-404.

HUHN, S.R.B. 1991. Controle estrutural dos depósitos e ocorrências auríferas no terreno Granito-Greenstone da Região de Rio Maria In: SIMP. GEOL. AMAZ., 3., Belém, 1991. **Anais**... Belém, SBG. p. 211-219.

HUHN, S.R.B.; SANTOS, A.B.S.; AMARAL, A.F.; LEDSHAM, E.J.; GOUVEIA, J.L.; MARTINS, L.B.P.; MONTALVÃO, R.M.G.; COSTA, V.G. 1988. O Terreno Granito-Greenstone da Região de Rio Maria - Sul do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 35., Belém. **Anais**... Belém, SBG. v. 3, p. 1438-1453.

HUNTER, D.R.; BARKER, F.; MILLARD, H.T. 1984. Geochemiscal investigation of archean bimodal and Dwalile metamorphic suites, ancient gneiss complex, Swaziland. **Prec. Res**., 24:131-155.

ISHIHARA, S. 1981. The Granitoids Series and Mineralization. Skinner, B.J. Economic Geology Seventy Fifth Anniversary-Volume.Lancaster, **Economic Geology**.p. 458-484.

JOHANNES, W. 1985. The significance of experimental studies for the formation of migmatites. In: ASHWORTH, J.R., ed. **Magmatites**. New York: Blakie Glasgow. p.36-85.

KERRICK, D.M.1993. Overview of contact metamorphism . **Reviews in Mineralogy**, 26: 1-11.

LABOTKA, T. C., PAPIKE, J.J.; VNIMAN, D. T.; MOREY, G. B. 1981. Petrologic Study of Contact Metamorphosed argilite from the Rove Formation, Gunflint Trail, Minesota. **American Mineral,** 66(1-2): 70-86.

LAFON, J.M. & MACAMBIRA, M.J.B. 1992. Evolucão da Província Mineral de Carajás com base em novos, dados geocronológicos. In: CONG. BRAS. GEOL., 37, São Paulo, 1992. **Boletim de resumos expandidos**.... São Paulo, SBG. v. 2, p. 174-175.

LAPOINTE, P.; MORRIS, W.A.; HARDING,K.L.1986. Interpretation of magnetic susceptility: a new approach to geographysical evaluation of the degree of rock alteration**. Can. J. Earth. Sci**.,23.P.339-401.

LEAKE, B.E. 1978. Nomeclature of anphiboles. **Canad. Mineralogist**.,16:501-520.

LEITE, A.A.S. 1995. **Geologia e geoquímica do maciço granítico arqueano Xinguara e de suas encaixantes- sudeste do estado do Pará**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 209p. Tese (Mestrado em petrologia e geoquímica)- Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPa. 1995.

LEITE, A.A.S. & DALL'AGNOL, R. 1994. Estratigrafia e aspectos geológicos da região de ocorrência do Granito Xinguara (SE do Pará). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., Belém, 1994. **Boletin de resumos expandidos**. Belém, SBG., p. 325-327.

MACAMBIRA, M.J.B. 1992. **Chronologie U/Pb, Rb/Sr, K/Ar et croissance de la croûte continentale dans L'Amazonie du sud-est; exemple de la région de Rio Maria, Province de Carajas, Brésil** (These de Doctorat - Universite Montpellier II - France).

MACAMBIRA,M.J.B. & LAFON,J.M.1994. Geocronologia da Província Mineral de Carajás; Síntese de dados e novos desafios, In: SIMP. DE GEOL. DA AMAZ.,4.,Belém, 1994. **Anais**...Belém, SBG. p.339-341.

MACAMBIRA, M.J.B. & LANCELOT, J. 1991a. Em busca do embasamento arqueano da Região de Rio Maria, SE do Estado do Pará. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 3., Belém, 1991. **Anais**... Belém, SBG. p. 49-58.

MACAMBIRA, M.J.B. & LANCELOT, J. 1991b. História arqueana da região de Rio Maria, SE do estado do Pará, registrada em zircões detríticos de Greenstone Belts e de Cobertura Plataformal. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 3., Belém,1991. **Anais**... Belém, SBG. p. 59-69.

MACAMBIRA, M.J.B. & LANCELOT, J. 1992. Idade U/Pb em zircões de metavulcânica do greenstone belt do Supergrupo Andorinhas; delimitante da estratigrafia aequeana de Carajás, Estado do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 37, São Paulo, 1992. **Boletim de resumos expandidos.**... São Paulo, SBG. v. 2, p. 188.

MACAMBIRA, M.J.B.; LAFON, J.M.; BARRADAS, J.A.1991. Le Granite de Xinguara, témoin d'un magmatisme monzogranitique dans l'archéen de l'Amazonie orientale, Brésil. **C. R. Acad. Sci. Paris**, 313 (2): 781-785.

MACAMBIRA, M.J.B.; LAFON, J.M.; LANCELOT, J.; BARRADAS, J.A. BARBOSA, A.A. 1990. Geocronologia U-Pb, Rb-Sr e K-Ar dos Granitóides da Região de Rio Maria (Pa). In: CONG. BRAS. GEOL., 36., Natal, 1990. **Bol. Res**. Natal, SBG. p. 169-170.

MACAMBIRA, M.J.B.; PEREIRA, E.D.; KAWASHITA, K.; MEDEIROS, H. 1988. Contribuição à História Tectono-Termal da Região da Serra das Andorinhas (SE do Pará) com Base em Dados Geocronológicos. In: CONG. BRAS. GEOL.., 35, Belém. **Anais**...Belém, SBG. v.3, p. 1468-1477.

MACHADO, N.; LINDENMAYER, Z.; KROGH, T.E.; LINDENMAYER, D. 1988. Geocronologia U/Pb da Província Metalogenética de Carajás, Pará: Resultados preliminares. In: CONG. LAT. AMER. GEOL., 7., Belém, 1988. **Anais**... Belém, SBG. v. 1, p. 339-347.

MACHADO, N.; LINDENMAYER, Z.; KROGH, T.E.; LINDENMAYER, D. 1991. U/Pb Geocchronology of Archean Magmatism and Basement Reactivation in the Carajás Área, Amazon Shield, Brazil. **Prec. Res**., 49:329-354.

MAGALHÃES, M. S. 1991. **Minerais opacos e suscetibilidade magnética de granitóides da Amazônia Oriental: Implicações petrológicas.**, Belém. 274p. Tese (Mestrado em Ciências Geoquímica e Petrologia) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Centro de Geociências, UFPa, 1991.

MAGALHAES M.S.; & DALL'AGNOL, R. 1991. Considerações petrológicas baseadas em estudos de minerais opacos e suscebilidade magnética no Granodiorito Rio Maria (região de Rio Maria - sudeste do Pará). In: SIMP. GEOL. AMAZ.,3, Belém,1991. **Anais**...Belém,S.B.G. p.70-84.

MAGALHAES M.S.; & DALL'AGNOL, R. 1992. Estudo de minerais opacos e suscetibilidade Magnética nos granitos Musa e Jamon (região de Rio Maria- SE do Pará) e suas implicações petrológicas. **Rev. Bras. de Geoc**. 22 (2): 184-197.

MAGALHÃES M.S; DALL'AGNOL, R; SAUCK, W. A; LUIZ, J.G. (no prelo). **Suscetibilidade magnética: um indicador da evolução petrológica de granitóides da Amazônia**.

MAGALHAES M.S.; FIGUEIREDO M.A.B.M.; LTHOFF F.J. 1994. Comportamento Magnético do Tonalito Arco Verde e do Granito Guarantã, Rio Maria, Pará: Suscetibilidade Magnética e Minerais Opacos. In: SIMP. GEOL. AMAZ.,4, Belém,1994. **Anais**...Belém,S.B.G. P.347-348.

MARRE, J. 1982. **Méthodes d'analyse struturale des granitoides.** Orleans. BRGM. 126p. (Manuels et Méthodes, 3).

MCGRATH, P. H. 1970. Magnetic Investigations of Charlotte and Pokiok Intrusions,Southern New Brunswick. In: THE GEOL. ASOCIATION OF CANADA, 21., 1970. **Procedings**, p.25-32.

MEDEIROS, H. 1987. **Petrologia da Porção Leste do Maciço Granodiorito Rio Maria, Sudeste do Pará**., Belém. 184p. Tese (Mestrado em Ciências Geoquímica e Petrologia) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Centro de Geociências, UFPa, 1987.

MEDEIROS, H. & DALL'AGNOL, R. 1988. Petrologia da Porção Leste do Batólito Granodiorítico Rio Maria, Sudeste do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL.., 35., Belém, 1988. **Anais**...Belém, SBG. v. 3, p. 1488-1499.

MEDEIROS, H.; GASTAL, M.C.P.; DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z.S. 1987. Geology of the Rio Maria Area (Eastern Amazonian Region - Brasil): an Example of Archean Granite-Greenstone Terrane Intruded by Anorogenic Granites of Middle Proterozóic Ages. In: IUGS. Precambrian Evolution of the Amazonian Region, Carajás, 1987. Project 204. Final Meeting of the Working Group. **Extended Abstract**. Carajás. p.97-105.

MONTALVÃO, R.M.G.; BEZERRA, P.E.L.; PRADO, P.; FERNANDES, C.A.C.; SILVA, G.H.; BRIM, R.J.P. 1982. Caractrísticas Petrográficas e Geoquímicas do Granito Redenção e suas Possibilidades Metalogenéticas. In: CONG. BRAS. GEOL., 32., Salvador, 1882. **Anais**... Salvador, SBG. v. 2, p. 520-546.

MONTALVÃO, R.M.G.; TASSINARI,C.G.C.; BEZERRA P.E.L. 1984. Geocronologia dos granitóides e gnaisses das regiões de Rio Maria:Fazenda Mata Geral e Rio Itacaiunas, Sul do Pará (distrito Carajás-Cumaru), In: CON. BRAS. DE GEOL, 33., Rio de Janeiro, 1984. **Anais**... Rio de J., SBG.V.1, p.2757-2766.

MONTALVÃO, R.M.G.; TASSINARI, C.C.G.; TEIXEIRA, W.; VASCONI, A.V. 1988. Caracterização Geocronológica Rb/Sr dos Terrenos Granodioríticos e Trondhjemíticos da Região de Rio Maria, Sul da Serra dos Carajás. In: CONG. BRAS. GEOL., 35, Belém, 1988. **Anais**... Belém, SBG. v.3, p. 1478-1487.

NACHIT, H. 1994. **Contribution à la typologia des granitoides, petrogenese et petrologie struturale du batholite panafrican du cercle de tafraonte** (Boutoniére de Kerdous, Anti-Atlas Ocidental, Maroc) Thése d'eat, université Ibonou Zohor, Agadir, 465p.

PAPIKE, E.; CAMERON, K.L.; BALDWIN, K. 1974. Anphiboles and Piroxenes: Caracterization of others than quadrilateral components and estimates of ferric iron from microprobe data. **Geol. Soc. Amer**. Abstracts. with programs, 6:1053.

PATIÑO DOUCE, A. 1993. Titanium substitution in biotite: an empirical model with applications to thermometry, O2 and H2O barometries, and consequences for biotite stability. **Chem. Geol**. 108:133-162.

PIMENTEL, M.M. & MACHADO, N. 1994. Geocronologia U-Pb dos terrenos granito-*geenstone* de Rio Maria, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., Camboriu, 1988. **Boletin de resumos expandidos**. Camboriu, SBG.p.390-391.

RAMSAY, C. R. & KAMINEMI, D. C.1976. Petrology and Evolution of an Archean Metamorfic Aureole in the Slave Craton, Canadá. **Petr**. 18 (3) 460-484.

REVERDATO, V.V.; SHARAPOV, V.N.; MELAMED, V.G. 1970. The controls and selected peculiarities of the origin of contact metamorphic zonation. **Contrib. Mineral. Petrol**., 29: 310-337.

RICHARD & CLARK. 1990. **Programa de computação MINPET.**

ROBINSON, P; SPEAR, F.S; SCHUMACHER, J.C; LAIRD, J; KLEIN, C; EVANS, B,W; DOOLAN, B. L. 1982. Phase relations of metamorphic anphiboles: natural ocurrence and theory and theory. In: VEBLEN, D. R. & RIBBE, P. H. **Anphiboles: Petrology and experimental phase relations.**p. 1-227. (Review in mineralogy, 9B).

ROCK, N. M. S. & LEAKE, B. E. 1984. The international mineralogical association anphibole nomeclature scheme: computerization and its consequences. **Miner. Mag**. 48: 211-227.

RODRIGUES, E.M.S. 1992. **Implantação da metodologia Pb-Pb em rochas totais. Exemplos de aplicação na Província Mineral de Carajás**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 127p. Tese (Mestrado em Geocronologia)- Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPa. 1992.

RODRIGUES, E.M.S.; LAFON, J.M; SCHELLER, T. 1992. Geocronologia Pb-Pb em rochas totais da Província Mineral de Carajás: Primeiros resultados. In: CONG. BRAS. GEOL., 37, São Paulo, 1992. **Boletim de resumos expandidos**.... São Paulo, SBG. v. 2, p. 183-184.

SANTOS, J.O.S. 1982. Granitos proterozóicos da Plataforma Amazônica, Brasil. In: CONG. LAT. AMER. GEOL., 5, Buenos Aires, 1982. **Actas**... Buenos Aires, v. 2, p. 97-112.

SILVA, G.G.; LIMA, M.I.C.; ANDRADE, A.R.F.; ISSLER, R.S.;GUIMARÃES, G. 1974. Folhas SB-22 Araguaia e Parte da SC-22 Tocantins. Geologia. In: BRASIL-MME. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SC-22 - Tocantins. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, DNPM. v. 4, (Lev. Rec. Nat.) p. 1-143.

SILVA JÚNIOR, R.O.1996. **Geologia, Petrografia e geoquímica dos diques da região de Rio Maria, SE do estado do Pará**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 126p. Tese (Mestrado em Petrologia e Geoquímica) - Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPa,1996.

SILVA JÚNIOR, R.O.; DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA E.P. 1996. Geologia, geoquímica e geocronologia K-Ar dos diques da região de Rio Maria, SE do estado do Pará. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 5., Belém,1996. **Anais**... Belém, SBG. p. 325-327.

SMITH,J.V. 1974. **Feldspar Minerals**. New York, Springuer Verlag. 690p.

SMITH, J.V. & BROW, W.L. 1988. **Feldspar Minerals. Cristal strutures phisical, chemical and textural properties**. 2. ed. Berlin, Springuer Verlag, V.1. 828p.

SOUZA, Z.S. 1994. **Geologia e Petrogênese do Greentone Belt Identidade: Implicações sobre a evolução geodinâmica do Terreno Granito Greenstone de Rio Maria, SE do Pará**. Belém, Universidade Federal do pará. Centro de geociências, 484p. Tese (Doutorado em geoquímica e Petrologia) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Centro de Geociências UFPa,1994.

SOUZA, Z.S.de; LAFON, J.M.; SACHETT, C.R; DALL´AGNOL,R.1992. Geocronologia Rb/Sr de Metadacitos e Diques Riolíticos no Greenstone Belt de Identidade, SE do Estado do Pará, resultados parciais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GE0LOGIA,37., São Paulo,1992. **Boletim de Resumos Expandidos**. São Paulo, S.B.G.V.2,p.184-185

SOUZA, Z.S.; MEDEIROS, H.; ALTHOFF, F.J.; DALL'AGNOL, R. 1990. Geologia do Terreno Granito-Greenstone Arqueano da Região de Rio Maria, Sudeste do Pará. In; CONG. BRAS. GEOL., 36, Natal, 1990. **Anais**...Natal, SBG. v. 6, p. 2913-2928..

SPRINGER, R. K. 1974. Contact Metamorphesed Ultramafic Rocks in the Western Sierra Nevada Foothithills, California. **Journal of Petrology**., 15 (01) 160-190.

STORMER JR., J.C.1975. Apratical two-feldspar geothermometer. **Amer. Mineral**, 60:667-674.

STRECKEISEN, A.L. 1976. To each plutonic rock its proper name. **Eath. Sci. Rev**.,12:1-3.

TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C.C.G.; CORDANI U.G.; KAWASHITA, K. 1989. A Review of the Geochronology of the Amazonian Craton: Tectonic Implications. **Prec. Res**., 42., 213-227.

TURNER, F.J.1981. **Metamorphic Petrology: Mineralogical and Field Aspects**. New York, Mc Graw Hill.

TURNER F.J. & VERHOOGEN, J. 1978. **Petrologia Ígnea y Metamórfica**. 3. ed. Barcelona, Omega, 726p.

VLACK, S.R.F. 1993. **Geologia e Petrologia dos Granitóides de Morungaba São Paulo,** Universidade de S. Paulo. Instituto de Geociências, 414p. Tese (Doutourado). Instituto de Geociências, S. Paulo, 1993.

WERNICK, E. 1983. Enclaves e seu significado geológico. **Geociências**, 2: 87-96.

WINKLER, H. G. F. 1977. **Petrogênese das Rochas Metamórficas**. Porto Alegre, Edgar Blucher.

WINKLER, H. G. F. 1979. Anatexis, formation of migmatites, and origin of granitic magmas. In: WINKLER, H. G. F. **Petrogênesis of metamorphic rocks**. New York, Springer Verlag. p. 283-339.

ANEXOS

ANEXO A- Tabela de composição química dos Anfibólios

Sample	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR90A
Analysis	1	10	11	12	13	14	15	16	17
Location	S-2	S-3	S-3	S-4	S-4	S-4	S-4	S-4	S-4
Mineral	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF
SiO2	56.35	51.74	54.14	49.51	51.16	50.87	51.96	50.92	54.08
TiO2	0.10	0.66	0.00	1.43	0.67	0.55	0.47	0.70	0.11
Al2O3	1.24	4.28	2.55	6.38	5.58	5.50	4.44	5.24	3.17
FeO	10.30	12.37	10.58	14.34	13.16	14.05	12.88	13.41	13.27
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.44	0.51	0.32	0.39	0.48	0.63	0.55	0.42	0.46
MgO	17.67	15.23	16.66	13.82	14.33	14.69	15.34	14.81	16.58
CaO	12.40	12.50	12.33	12.40	12.01	11.69	11.86	12.10	12.30
Na2O	0.23	0.40	0.37	0.89	0.78	0.90	0.60	0.75	0.34
K2O	0.047	0.29	0.13	0.56	0.43	0.40	0.43	0.26	0.28
F	0.05	1.92	0.00	0.28	0.08	0.00	0.08	0.11	0.00
Cl	0.00	0.03	0.01	0.05	0.00	0.01	0.01	0.00	0.05
Total	98.83	99.93	97.09	100.05	98.68	99.29	98.62	98.72	100.64
O_F_Cl	0.02	0.82	0.00	0.13	0.03	0.00	0.04	0.05	0.01
O_F	0.02	0.81	0.00	0.12	0.03	0.00	0.03	0.05	0.00
O_Cl	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
H2O	2.10	1.92	2.08	1.92	2.04	2.08	2.04	2.02	2.12
CTotal	100.91	101.03	99.17	101.84	100.69	101.37	100.62	100.69	102.75
TSi	7.859	7.411	7.726	7.071	7.308	7.193	7.370	7.253	7.471
TAl	0.141	0.589	0.274	0.929	0.692	0.807	0.630	0.747	0.516
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013
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
CAl	0.062	0.133	0.154	0.144	0.246	0.108	0.112	0.132	0.000
CCr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CFe3	0.281	0.313	0.223	0.334	0.331	0.721	0.570	0.517	0.724
CTi	0.010	0.071	0.000	0.154	0.072	0.058	0.050	0.075	0.011
CMg	3.674	3.252	3.544	2.942	3.051	3.096	3.244	3.145	3.415
CFe2	0.920	1.169	1.040	1.378	1.241	0.940	0.958	1.080	0.796
CMn	0.052	0.062	0.039	0.047	0.058	0.075	0.066	0.051	0.054
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	1.853	1.918	1.885	1.897	1.838	1.771	1.802	1.847	1.821
BNa	0.062	0.082	0.102	0.103	0.162	0.229	0.165	0.153	0.091
Sum_B	1.915	2.000	1.988	2.000	2.000	2.000	1.967	2.000	1.912
ACa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ANa	0.000	0.029	0.000	0.144	0.054	0.018	0.000	0.054	0.000
AK	0.008	0.053	0.024	0.102	0.078	0.072	0.078	0.047	0.049
Sum_A	0.008	0.082	0.024	0.246	0.132	0.090	0.078	0.101	0.049
Sum_cat	14.923	15.082	15.011	15.246	15.132	15.090	15.045	15.101	14.961
CCl	0.000	0.007	0.002	0.012	0.000	0.002	0.002	0.000	0.012
CF	0.022	0.870	0.000	0.126	0.036	0.000	0.036	0.050	0.000
OH	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum_oxy	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000

Sample	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR90A
Analysis	2	22	23	24	25	26	3	4	5
Location	S-2	S-1	S-1	S-1	S-1	S-1	S-2	S-2	S-2
Mineral	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF
SiO2	51.72	50.61	51.41	52.76	50.00	50.51	55.97	56.98	51.70
TiO2	0.29	0.44	0.33	0.21	0.21	0.40	0.13	0.05	0.49
Al2O3	4.38	5.50	4.48	3.83	5.99	5.29	1.44	0.67	4.50
FeO	13.14	14.23	13.30	12.79	14.04	14.14	10.39	10.10	13.31
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.42	0.42	0.49	0.47	0.41	0.49	0.47	0.43	0.47
MgO	15.17	14.54	15.25	15.94	14.57	14.73	17.41	18.11	15.24
CaO	12.0	11.91	12.15	12.07	12.03	11.99	12.66	12.52	11.81
Na2O	0.66	0.72	0.66	0.65	0.90	0.77	0.21	0.15	0.69
K2O	0.33	0.45	0.32	0.26	0.40	0.40	0.07	0.04	0.39
F	0.07	0.12	0.10	0.09	0.10	0.12	0.04	0.09	0.13
Cl	0.02	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.04
Total	98.20	98.96	98.51	99.07	98.66	98.85	98.80	99.14	98.77
O_F_Cl	0.03	0.06	0.05	0.04	0.04	0.05	0.02	0.04	0.06
O_F	0.03	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.02	0.04	0.05
O_Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
H2O	2.03	2.00	2.02	2.05	2.01	2.00	2.10	2.10	2.00
CTotal	100.20	100.90	100.48	101.08	100.63	100.80	100.88	101.20	100.71
TSi	7.384	7.202	7.328	7.432	7.141	7.197	7.840	7.913	7.336
TAl	0.616	0.798	0.672	0.568	0.859	0.803	0.160	0.087	0.664
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
CAl	0.120	0.124	0.080	0.068	0.149	0.084	0.078	0.022	0.088
CCr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CFe3	0.519	0.667	0.570	0.588	0.661	0.687	0.185	0.282	0.620
CTi	0.031	0.047	0.035	0.022	0.023	0.043	0.014	0.005	0.052
CMg	3.229	3.085	3.240	3.347	3.102	3.129	3.636	3.749	3.224
CFe2	1.050	1.026	1.015	0.919	1.016	0.998	1.032	0.891	0.959
CMn	0.051	0.051	0.059	0.056	0.050	0.059	0.056	0.051	0.056
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	1.836	1.816	1.855	1.822	1.841	1.830	1.900	1.863	1.795
BNa	0.164	0.184	0.145	0.178	0.159	0.170	0.057	0.040	0.190
Sum_B	2.000	2.000	2.000	1.999	2.000	2.000	1.957	1.903	1.985
ACa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ANa	0.018	0.015	0.038	0.000	0.090	0.043	0.000	0.000	0.000
AK	0.060	0.082	0.058	0.047	0.073	0.073	0.013	0.007	0.071
Sum_A	0.078	0.096	0.096	0.047	0.163	0.116	0.013	0.007	0.071
Sum_cat	15.078	15.096	15.096	15.046	15.163	15.116	14.970	14.910	15.056
CCl	0.005	0.005	0.005	0.000	0.002	0.002	0.002	0.000	0.010
CF	0.032	0.054	0.045	0.040	0.045	0.054	0.018	0.040	0.058
OH	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum_oxy	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000

Sample	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR93	CMR93	CMR93	CMR93	CMR93
Analysis	6	7	8	9	27	28	29	29A	30
Location	S-2	S-2	S-3	S-3	S-1	S-1	S-1	S-1	S-4
Mineral	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF
SiO2	50.64	49.09	54.31	53.02	49.00	49.33	56.12	56.05	56.96
TiO2	0.46	0.64	0.15	0.38	0.17	1.06	0.12	0.03	0.00
Al2O3	5.23	6.28	2.61	3.42	6.03	6.22	1.12	1.14	0.87
FeO	13.69	14.60	11.26	11.52	15.26	13.76	10.35	10.51	9.90
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.45	0.42	0.39	0.40	0.43	0.42	0.43	0.36	0.34
MgO	14.35	13.80	16.67	16.07	13.01	13.52	17.33	17.62	17.61
CaO	11.85	11.95	12.51	12.34	12.14	11.98	12.49	12.59	13.02
Na2O	0.82	0.91	0.34	0.38	0.72	0.88	0.15	0.16	0.12
K2O	0.46	0.56	0.14	0.19	0.44	0.55	0.04	0.06	0.03
F	0.10	0.08	0.07	0.12	0.02	0.08	0.07	0.08	0.03
Cl	0.01	0.02	0.02	0.00	0.03	0.04	0.02	0.00	0.00
Total	98.06	98.35	98.47	97.84	97.25	97.84	98.24	98.60	98.88
O_F_Cl	0.04	0.04	0.03	0.05	0.02	0.04	0.03	0.03	0.01
O_F	0.04	0.03	0.03	0.05	0.01	0.03	0.03	0.03	0.01
O_Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
H2O	2.00	2.00	2.06	2.02	2.00	2.00	2.07	2.08	2.12
CTotal	100.02	100.31	100.50	99.81	99.23	99.80	100.28	100.65	100.99
TSi	7.285	7.082	7.666	7.552	7.177	7.168	7.897	7.854	7.979
TAl	0.715	0.918	0.334	0.448	0.823	0.832	0.103	0.146	0.021
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
CAl	0.171	0.149	0.100	0.126	0.218	0.232	0.083	0.042	0.122
CCr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CFe3	0.479	0.577	0.299	0.334	0.470	0.289	0.181	0.264	0.000
CTi	0.050	0.069	0.016	0.041	0.019	0.116	0.013	0.003	0.000
CMg	3.077	2.968	3.508	3.413	2.841	2.929	3.635	3.681	3.677
CFe2	1.168	1.185	1.030	1.039	1.399	1.383	1.037	0.968	1.160
CMn	0.055	0.051	0.047	0.048	0.053	0.052	0.051	0.043	0.040
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	1.826	1.847	1.892	1.883	1.905	1.865	1.883	1.890	1.954
BNa	0.174	0.153	0.093	0.105	0.095	0.135	0.041	0.043	0.033
Sum_B	2.000	2.000	1.985	1.988	2.000	2.000	1.924	1.934	1.987
ACa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ANa	0.055	0.102	0.000	0.000	0.110	0.113	0.000	0.000	0.000
AK	0.084	0.103	0.025	0.035	0.082	0.102	0.007	0.011	0.005
Sum_A	0.140	0.205	0.025	0.035	0.192	0.215	0.007	0.011	0.005
Sum_cat	15.140	15.205	15.010	15.023	15.192	15.215	14.931	14.944	14.992
CCl	0.002	0.005	0.005	0.000	0.007	0.010	0.005	0.000	0.000
CF	0.045	0.037	0.031	0.054	0.009	0.037	0.031	0.035	0.013
OH	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum_oxy	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.024

Sample	CMR93	CMR93	CMR93	CMR93	CMR96	CMR96	CMR96	CMR96	HRM220
Analysis	31	32	35	36	84a	85A	91	92	19
Location	S-4	S-4	S-5	S-5	S-3	S-3.	S-1	S-1	S4
Mineral	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF
SiO2	49.02	52.28	52.27	49.27	50.01	49.50	50.81	47.74	54.41
TiO2	0.56	0.23	0.38	0.24	0.70	0.87	0.81	1.16	0.07
Al2O3	6.20	3.73	3.97	5.90	5.34	5.40	5.36	6.84	2.16
FeO	15.34	12.87	13.21	14.78	13.47	13.72	13.97	15.76	11.24
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.42	0.42	0.46	0.41	0.40	0.37	0.40	0.45	0.38
MgO	13.39	15.60	14.98	13.48	13.96	13.69	13.98	12.41	16.62
CaO	12.22	12.45	12.26	12.35	11.88	11.75	11.95	11.63	12.60
Na2O	0.85	0.54	0.58	0.77	0.74	0.85	0.52	0.84	0.32
K2O	0.45	0.23	0.27	0.42	0.50	0.51	0.54	0.70	0.10
F	0.07	0.06	0.03	0.09	0.03	0.01	0.08	0.01	0.10
Cl	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.05	0.03	0.06	0.00
Total	98.53	98.43	98.43	97.72	97.04	96.72	98.45	97.60	98.00
O_F_Cl	0.03	0.03	0.02	0.04	0.01	0.02	0.04	0.02	0.04
O_F	0.03	0.03	0.01	0.04	0.01	0.00	0.03	0.00	0.04
O_Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
H2O	2.00	2.04	2.06	1.98	2.01	2.01	2.02	1.99	2.05
CTotal	100.50	100.44	100.47	99.66	99.04	98.71	100.43	99.57	100.01
TSi	7.089	7.451	7.467	7.180	7.285	7.254	7.291	6.995	7.730
TAl	0.911	0.549	0.533	0.820	0.715	0.746	0.709	1.005	0.270
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
CAl	0.145	0.077	0.135	0.193	0.201	0.186	0.197	0.175	0.091
CCr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CFe3	0.535	0.431	0.353	0.421	0.350	0.342	0.419	0.554	0.222
CTi	0.061	0.025	0.041	0.026	0.077	0.096	0.087	0.128	0.007
CMg	2.887	3.314	3.190	2.929	3.032	2.991	2.991	2.711	3.520
CFe2	1.320	1.103	1.225	1.380	1.291	1.340	1.257	1.377	1.114
CMn	0.051	0.051	0.056	0.051	0.049	0.046	0.049	0.056	0.046
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	1.894	1.901	1.877	1.928	1.854	1.845	1.837	1.826	1.918
BNa	0.106	0.099	0.123	0.072	0.146	0.155	0.145	0.174	0.082
Sum_B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.982	2.000	2.000
ACa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ANa	0.132	0.050	0.037	0.146	0.063	0.086	0.000	0.064	0.006
AK	0.083	0.042	0.049	0.078	0.093	0.095	0.099	0.131	0.018
Sum_A	0.215	0.092	0.086	0.224	0.156	0.182	0.099	0.195	0.024
Sum_cat	15.215	15.092	15.086	15.224	15.156	15.182	15.081	15.195	15.024
CCl	0.002	0.005	0.005	0.002	0.002	0.012	0.007	0.015	0.000
CF	0.032	0.027	0.014	0.041	0.014	0.005	0.036	0.005	0.045
OH	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum_oxy	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000

Sample	HRM220	HRM220	HRM220	HRM220	HRM220	HRM220	HRM220	HRM79	HRM79
Analysis	20	24	25	26	27	28	29	01	02
Location	S4	S5	S5	S5	S6	S6	S6	S1	S1
Mineral	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF
SiO2	50.53	49.58	50.64	51.20	49.32	55.74	46.07	49.60	49.43
TiO2	0.25	0.77	0.66	0.31	0.36	0.07	1.44	0.88	0.60
Al2O3	4.90	5.24	4.62	3.63	5.68	1.30	7.73	5.50	5.22
FeO	13.28	13.64	13.12	12.31	14.17	10.37	14.57	13.52	13.18
Cr2O3	0.08	0.00	0.03	0.00	0.01	0.04	0.04	0.00	0.14
MnO	0.30	0.29	0.37	0.31	0.36	0.27	0.32	0.41	0.40
MgO	14.62	14.25	14.90	15.27	14.03	17.92	12.63	13.90	14.50
CaO	12.16	12.08	12.25	12.17	12.15	12.58	11.63	11.88	12.21
Na2O	0.70	0.78	0.62	0.45	0.70	0.18	1.31	0.72	0.75
K2O	0.36	0.46	0.37	0.25	0.37	0.07	0.75	0.50	0.46
F	0.06	0.22	0.58	0.06	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	97.16	97.31	98.13	95.96	97.14	98.56	96.45	96.91	96.75
O_F_Cl	0.03	0.09	0.24	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
O_F	0.03	0.09	0.24	0.03	0.00	0.03	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	2.01	1.92	1.76	2.00	2.03	2.10	2.00	2.03	2.03
CTotal	99.14	99.14	99.65	97.93	99.17	100.63	98.45	98.94	98.78
TSi	7.323	7.224	7.307	7.476	7.175	7.794	6.839	7.236	7.211
TAl	0.677	0.776	0.693	0.524	0.825	0.206	1.161	0.764	0.789
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
CAl	0.159	0.123	0.092	0.100	0.148	0.008	0.190	0.180	0.107
CCr	0.009	0.000	0.003	0.000	0.001	0.004	0.005	0.000	0.016
CFe3	0.416	0.408	0.426	0.373	0.543	0.348	0.426	0.380	0.420
CTi	0.027	0.084	0.072	0.034	0.039	0.007	0.161	0.097	0.066
CMg	3.158	3.095	3.205	3.324	3.043	3.735	2.795	3.023	3.153
CFe2	1.194	1.254	1.157	1.130	1.181	0.865	1.383	1.269	1.188
CMn	0.037	0.036	0.045	0.038	0.044	0.032	0.040	0.051	0.049
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	1.888	1.886	1.894	1.904	1.894	1.885	1.850	1.857	1.908
BNa	0.112	0.114	0.106	0.096	0.106	0.049	0.150	0.143	0.092
Sum_B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.933	2.000	2.000	2.000
ACa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ANa	0.085	0.106	0.067	0.031	0.091	0.000	0.227	0.060	0.121
AK	0.067	0.086	0.068	0.047	0.069	0.012	0.142	0.093	0.086
Sum_A	0.151	0.192	0.135	0.078	0.160	0.012	0.369	0.154	0.206
Sum_cat	15.151	15.192	15.135	15.078	15.160	14.946	15.369	15.154	15.206
CCl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CF	0.027	0.101	0.265	0.028	0.000	0.027	0.000	0.000	0.000
OH	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum_oxy	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000

Sample	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79
Analysis	03	06	07	08	10	11	12	13	14
Location	S1	S1	S1	S1	S2a	S2a	S2a	S3a	S3a
Mineral	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF
SiO2	49.90	50.10	48.87	47.95	50.92	49.90	49.24	49.19	47.31
TiO2	1.05	0.81	1.01	0.99	0.54	0.87	0.82	1.334	1.37
Al2O3	5.70	4.95	5.80	6.87	4.18	5.14	4.98	6.31	7.14
FeO	13.70	13.75	13.28	14.05	12.45	13.30	13.17	14.01	14.17
Cr2O3	0.05	0.02	0.00	0.03	0.03	0.11	0.01	0.04	0.00
MnO	0.45	0.45	0.40	0.36	0.35	0.31	0.35	0.32	0.25
MgO	14.12	13.91	14.35	13.37	15.37	14.68	14.05	13.81	13.30
CaO	11.85	12.05	11.88	12.03	12.01	11.86	11.83	11.82	11.90
Na2O	0.84	0.64	0.10	0.95	0.65	0.79	0.80	1.12	1.16
K2O	0.60	0.52	0.55	0.61	0.35	0.45	0.46	0.62	0.71
F	0.06	0.00	0.19	0.03	0.00	0.00	0.06	0.55	0.22
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	98.27	97.18	96.43	97.21	96.82	97.30	95.76	99.08	97.53
O_F_Cl	0.03	0.00	0.08	0.01	0.00	0.00	0.03	0.23	0.09
O_F	0.03	0.00	0.08	0.01	0.00	0.00	0.03	0.23	0.09
O_Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O	2.00	2.04	1.94	2.01	2.05	2.05	1.98	1.76	1.91
CTotal	100.24	99.22	98.29	99.21	98.87	99.35	97.71	100.61	99.35
TSi	7.181	7.304	7.115	7.020	7.364	7.211	7.275	7.087	6.939
TAl	0.819	0.696	0.885	0.980	0.636	0.789	0.725	0.913	1.061
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
CAl	0.148	0.154	0.109	0.205	0.076	0.085	0.142	0.158	0.172
CCr	0.006	0.002	0.000	0.003	0.003	0.013	0.001	0.005	0.000
CFe3	0.439	0.320	0.719	0.396	0.471	0.526	0.338	0.386	0.385
CTi	0.114	0.089	0.111	0.109	0.059	0.095	0.091	0.145	0.151
CMg	3.029	3.023	3.114	2.918	3.314	3.162	3.095	2.966	2.908
CFe2	1.210	1.356	0.898	1.324	1.035	1.082	1.289	1.302	1.353
CMn	0.055	0.056	0.049	0.045	0.043	0.038	0.044	0.039	0.031
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	1.827	1.882	1.853	1.887	1.861	1.836	1.873	1.825	1.870
BNa	0.173	0.118	0.028	0.113	0.139	0.164	0.127	0.175	0.130
Sum_B	2.000	2.000	1.881	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
ACa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ANa	0.062	0.063	0.000	0.157	0.043	0.058	0.102	0.137	0.200
AK	0.110	0.097	0.102	0.114	0.065	0.083	0.087	0.114	0.133
Sum_A	0.172	0.160	0.102	0.271	0.108	0.141	0.189	0.251	0.333
Sum_cat	15.172	15.160	14.983	15.271	15.108	15.141	15.189	15.251	15.333
CCl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CF	0.027	0.000	0.087	0.014	0.000	0.000	0.028	0.251	0.102
OH	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum_oxy	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000

Sample	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79
Analysis	15	16	17	18
Location	S3a	S4a	S4a	S4a
Mineral	ANF	ANF	ANF	ANF
SiO2	49.40	48.71	49.59	49.10
TiO2	1.03	0.93	1.18	1.20
Al2O3	5.49	5.30	5.53	5.50
FeO	12.28	13.63	12.99	13.65
Cr2O3	0.04	0.00	0.00	0.00
MnO	0.43	0.34	0.36	0.42
MgO	14.45	14.07	14.43	14.25
CaO	11.72	11.86	11.97	11.48
Na2O	0.89	0.83	0.88	1.01
K2O	0.54	0.51	0.54	0.53
F	0.39	0.65	0.06	0.23
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	96.62	96.83	97.53	97.37
O_F_Cl	0.16	0.27	0.03	0.10
O_F	0.16	0.27	0.03	0.10
O_Cl	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O	1.85	1.69	2.02	1.92
CTotal	98.31	98.25	99.52	99.19
TSi	7.228	7.170	7.189	7.132
TAl	0.772	0.830	0.811	0.868
TFe3	0.000	0.000	0.000	0.000
TTi	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_T	8.000	8.000	8.000	8.000
CAl	0.174	0.089	0.133	0.073
CCr	0.005	0.000	0.000	0.000
CFe3	0.338	0.461	0.354	0.576
CTi	0.113	0.103	0.129	0.131
CMg	3.152	3.088	3.119	3.086
CFe2	1.164	1.217	1.221	1.082
CMn	0.053	0.042	0.044	0.052
CCa	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_C	5.000	5.000	5.000	5.000
BMg	0.000	0.000	0.000	0.000
BFe2	0.000	0.000	0.000	0.000
BMn	0.000	0.000	0.000	0.000
BCa	1.837	1.871	1.859	1.787
BNa	0.163	0.129	0.141	0.213
Sum_B	2.000	2.000	2.000	2.000
ACa	0.000	0.000	0.000	0.000
ANa	0.090	0.107	0.107	0.071
AK	0.101	0.096	0.100	0.098
Sum_A	0.191	0.203	0.207	0.169
Sum_cat	15.191	15.203	15.207	15.169
CCl	0.000	0.000	0.000	0.000
CF	0.180	0.303	0.028	0.106
OH	-	-	-	-
Sum_oxy	23.000	23.000	23.000	23.000

Sample	CMR37	CMR37	CMR37	CMR37	CMR37	CMR37	CMR42a	CMR42a	CMR42a
Analysis	103	104	105	106	108	109	32	33	34
Location	S1	S1	S1	S1	S4	S4	S1	S1	S4
Mineral	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF
SiO2	47.27	48.84	51.11	49.29	48.37	50.05	51.52	47.57	54.25
TiO2	0.86	0.85	0.24	0.28	1.17	0.37	0.39	1.06	1.50
Al2O3	7.48	6.20	4.42	5.88	6.56	5.51	4.90	6.73	2.17
FeO	16.70	15.66	13.35	15.15	15.10	14.75	14.01	14.98	10.48
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.00
MnO	0.41	0.38	0.39	0.43	0.40	0.40	0.33	0.37	0.28
MgO	12.24	13.17	14.53	13.21	12.55	13.55	14.29	12.93	15.80
CaO	11.83	11.90	12.16	11.10	11.90	12.17	11.72	11.48	13.34
Na2O	0.82	0.75	0.57	0.78	0.81	0.65	0.73	1.05	0.22
K2O	0.70	0.56	0.26	0.40	0.65	0.41	0.37	0.67	0.10
F	0.02	0.03	0.04	0.06	0.06	0.04	0.00	0.00	0.63
Cl	0.03	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00
Total	98.36	98.35	97.08	96.59	97.61	97.91	98.26	96.84	98.77
O_F_Cl	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.27
O_F	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.27
O_Cl	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O	2.00	2.02	2.02	2.00	2.00	2.02	2.07	2.01	1.80
CTotal	100.34	100.36	99.08	98.56	99.58	99.91	100.33	98.85	100.30
TSi	6.882	7.068	7.411	7.187	7.093	7.254	7.368	6.992	7.794
TAl	1.118	0.932	0.589	0.813	0.907	0.746	0.632	1.008	0.206
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
CAl	0.165	0.124	0.166	0.197	0.226	0.195	0.193	0.157	0.161
CCr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.005	0.000
CFe3	0.712	0.619	0.384	0.791	0.332	0.432	0.491	0.570	0.000
CTi	0.094	0.093	0.026	0.031	0.129	0.040	0.042	0.117	0.162
CMg	2.657	2.841	3.141	2.872	2.744	2.928	3.046	2.833	3.384
CFe2	1.322	1.277	1.235	1.057	1.520	1.356	1.184	1.271	1.259
CMn	0.051	0.047	0.048	0.053	0.050	0.049	0.040	0.046	0.034
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	1.845	1.845	1.889	1.734	1.870	1.890	1.796	1.808	2.000
BNa	0.155	0.155	0.111	0.221	0.130	0.110	0.202	0.192	0.000
Sum_B	2.000	2.000	2.000	1.955	2.000	2.000	1.998	2.000	2.000
ACa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.053
ANa	0.077	0.056	0.049	0.000	0.100	0.073	0.000	0.107	0.061
AK	0.130	0.103	0.048	0.074	0.122	0.076	0.068	0.126	0.018
Sum_A	0.207	0.159	0.098	0.074	0.222	0.148	0.068	0.233	0.133
Sum_cat	15.207	15.159	15.098	15.029	15.222	15.148	15.066	15.233	15.133
CCl	0.007	0.002	0.002	0.002	0.010	0.002	0.000	0.000	0.000
CF	0.009	0.014	0.018	0.028	0.028	0.018	0.000	0.000	0.286
OH	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum_oxy	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.233

Sample	CMR42a	CMR42a	CMR42a	CMR42a	CMR42a	CMR42a	CMR42a	CMR42a	CMR42a
Analysis	35	36	36a	37	39	40	41	42	43
Location	S4	S3	S3	S3	S3	S6	S6	S7	S7
Mineral	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF
SiO2	50.22	47.64	49.39	49.28	50.16	48.57	49.80	48.33	49.28
TiO2	0.47	1.37	1.05	1.12	0.62	1.35	0.56	0.98	1.17
Al2O3	5.27	7.28	6.01	6.35	5.36	7.05	5.61	6.78	6.12
FeO	13.87	15.76	13.82	14.54	14.20	14.44	14.20	14.42	14.48
Cr2O3	0.02	0.06	0.00	0.04	0.10	0.00	0.04	0.03	0.03
MnO	0.37	0.37	0.39	0.34	0.40	0.34	0.32	0.31	0.32
MgO	13.83	12.10	14.11	13.61	13.50	13.28	13.60	13.09	13.35
CaO	11.62	11.37	11.53	11.56	11.68	11.63	11.72	11.70	11.66
Na2O	0.80	1.05	0.91	0.98	0.90	0.97	0.57	1.07	0.76
K2O	0.44	0.80	0.56	0.60	0.50	0.66	0.48	0.72	0.60
F	0.61	0.16	0.03	0.09	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	97.50	97.90	97.80	98.47	97.61	98.29	96.86	97.40	97.74
O_F_Cl	0.26	0.07	0.01	0.04	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
O_F	0.26	0.07	0.01	0.04	0.12	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	1.73	1.94	2.03	2.01	1.90	2.05	2.03	2.03	2.04
CTotal	98.97	99.77	99.82	100.44	99.39	100.34	98.89	99.43	99.78
TSi	7.309	6.973	7.120	7.089	7.297	7.012	7.251	7.066	7.144
TAl	0.691	1.027	0.880	0.911	0.703	0.988	0.749	0.934	0.856
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
CAl	0.212	0.227	0.140	0.165	0.216	0.210	0.213	0.234	0.189
CCr	0.002	0.007	0.000	0.005	0.011	0.000	0.005	0.003	0.003
CFe3	0.443	0.478	0.593	0.552	0.352	0.494	0.501	0.377	0.461
CTi	0.051	0.151	0.114	0.121	0.068	0.147	0.061	0.108	0.128
CMg	3.001	2.640	3.032	2.919	2.928	2.858	2.952	2.853	2.885
CFe2	1.245	1.451	1.073	1.197	1.376	1.250	1.228	1.386	1.294
CMn	0.046	0.046	0.048	0.041	0.049	0.042	0.039	0.038	0.039
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	1.812	1.783	1.781	1.782	1.821	1.799	1.828	1.833	1.811
BNa	0.188	0.217	0.219	0.218	0.179	0.201	0.161	0.167	0.189
Sum_B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.989	2.000	2.000
ACa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ANa	0.038	0.081	0.035	0.055	0.074	0.070	0.000	0.136	0.025
AK	0.082	0.149	0.103	0.110	0.093	0.122	0.089	0.134	0.111
Sum_A	0.119	0.230	0.138	0.165	0.167	0.192	0.089	0.271	0.136
Sum_cat	15.119	15.230	15.138	15.165	15.167	15.192	15.079	15.271	15.136
CCl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CF	0.281	0.074	0.014	0.041	0.133	0.000	0.000	0.000	0.000
OH	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum_oxy	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000

Sample	CMR42a	CMR42a	CMR42a	CMR42a	CMR42a	CMR42a	CMR42a	CMR42a	CMR42a
Analysis	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Location	S7	S7	S7	S7	S7	S7	S7	S7	S7
Mineral	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF
SiO2	49.60	49.59	50.32	49.67	49.34	47.98	49.55	49.82	50.67
TiO2	1.11	0.82	1.16	0.95	1.00	0.98	0.50	0.70	0.66
Al2O3	6.08	6.41	5.36	6.40	6.49	7.20	5.40	5.70	5.38
FeO	13.97	14.10	13.91	14.96	14.61	15.66	14.10	13.80	13.66
Cr2O3	0.05	0.22	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	0.04	0.00
MnO	0.35	0.32	0.32	0.34	0.32	0.41	0.29	0.42	0.33
MgO	13.51	13.63	13.82	12.70	13.00	11.94	13.18	13.60	13.83
CaO	11.80	11.74	11.45	11.55	11.87	11.63	11.78	11.84	11.94
Na2O	0.86	0.73	0.88	0.87	0.75	0.85	0.81	0.80	0.65
K2O	0.60	0.45	0.52	0.53	0.67	0.74	0.48	0.50	0.50
F	0.00	0.32	0.10	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	0.32
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	97.88	98.11	97.84	97.97	98.05	97.39	96.67	97.18	97.94
O_F_Cl	0.00	0.13	0.04	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.13
O_F	0.00	0.13	0.04	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.13
O_Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O	2.05	1.89	2.00	2.05	2.05	2.02	1.72	2.04	1.90
CTotal	99.93	99.87	99.80	100.02	100.10	99.41	98.15	99.22	99.71
TSi	7.184	7.138	7.266	7.201	7.156	7.050	7.320	7.256	7.333
TAl	0.816	0.862	0.734	0.799	0.844	0.950	0.680	0.744	0.667
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
CAl	0.221	0.225	0.178	0.294	0.265	0.296	0.260	0.233	0.250
CCr	0.006	0.025	0.002	0.002	0.003	0.005	0.004	0.005	0.000
CFe3	0.332	0.527	0.417	0.365	0.333	0.390	0.253	0.339	0.295
CTi	0.121	0.089	0.126	0.104	0.109	0.108	0.056	0.077	0.072
CMg	2.917	2.925	2.975	2.745	2.811	2.616	2.903	2.953	2.984
CFe2	1.360	1.171	1.263	1.449	1.439	1.535	1.489	1.342	1.359
CMn	0.043	0.039	0.039	0.042	0.039	0.051	0.036	0.052	0.040
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	1.831	1.811	1.771	1.794	1.845	1.831	1.865	1.848	1.851
BNa	0.169	0.189	0.229	0.206	0.155	0.169	0.135	0.152	0.149
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	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ANa	0.073	0.014	0.018	0.039	0.056	0.073	0.097	0.073	0.034
AK	0.111	0.083	0.096	0.098	0.124	0.139	0.090	0.093	0.092
Sum_A	0.184	0.097	0.114	0.137	0.180	0.212	0.187	0.166	0.126
Sum_cat	15.184	15.097	15.114	15.137	15.180	15.212	15.187	15.166	15.126
CCl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CF	0.000	0.146	0.046	0.000	0.000	0.000	0.271	0.000	0.146
OH	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum_oxy	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000

ANEXO B- Tabela de composição química das Biotitas

Sample	CMR37	CMR37	CMR37	CMR37	CMR37	CMR42A	CMR42A	CMR42A	CMR42A
Analysis	115	116	117	118	120	100	72	79	84
Location	S-1	S-1	S-1	S-3	S-3	S-8	S-2	S-3	S-6a
Mineral	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO
SiO2	38.20	38.26	37.90	37.90	38.08	38.34	37.59	37.46	38.78
TiO2	2.17	2.35	1.83	2.16	2.36	1.21	1.06	1.29	1.17
Al2O3	14.13	14.40	14.65	14.00	14.58	15.23	15.89	15.78	15.26
FeO	17.70	17.34	17.16	17.15	17.97	17.11	16.63	17.45	17.01
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.29	0.27	0.30	0.30	0.27	0.22	0.20	0.34	0.22
MgO	13.00	12.96	13.32	13.00	13.18	13.97	13.75	13.52	14.08
CaO	0.05	0.00	0.01	0.01	0.00	0.06	0.01	0.05	0.04
Na2O	0.06	0.08	0.05	0.07	0.13	0.03	0.05	0.02	0.10
K2O	9.63	9.59	9.61	9.42	9.35	9.54	9.71	9.58	9.25
F	0.16	0.10	0.18	0.21	0.00	0.10	0.12	0.33	0.29
Cl	0.04	0.01	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O	3.88	3.92	3.86	3.81	3.99	3.96	3.91	3.82	3.89
Total	99.31	99.28	98.91	98.05	99.91	99.77	98.92	99.64	100.09
O_F_Cl	0.08	0.04	0.08	0.09	0.00	0.04	0.05	0.14	0.12
CTotal	99.23	99.24	98.83	97.96	99.91	99.73	98.87	99.50	99.97
Si	5.783	5.773	5.745	5.795	5.718	5.739	5.674	5.644	5.773
AlIV	2.217	2.227	2.255	2.205	2.282	2.261	2.326	2.356	2.227
AlVI	0.302	0.333	0.361	0.316	0.296	0.424	0.499	0.445	0.449
Ti	0.247	0.267	0.209	0.249	0.267	0.137	0.121	0.146	0.132
Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	2.241	2.189	2.175	2.194	2.257	2.143	2.100	2.200	2.118
Mn	0.037	0.035	0.039	0.039	0.035	0.028	0.027	0.044	0.028
Mg	2.934	2.915	3.010	2.961	2.950	3.119	3.095	3.038	3.126
Ca	0.008	0.001	0.002	0.003	0.000	0.010	0.002	0.008	0.007
Na	0.018	0.024	0.015	0.022	0.039	0.010	0.015	0.006	0.031
K	1.860	1.847	1.859	1.838	1.793	1.823	1.870	1.843	1.758
Cations	15.647	15.611	15.670	15.622	15.637	15.694	15.729	15.730	15.649
CF	0.153	0.098	0.181	0.211	0.000	0.100	0.123	0.318	0.278
CCl	0.021	0.008	0.022	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
OH	3.913	3.947	3.898	3.888	4.000	3.950	3.938	3.841	3.861
O	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000
Fe_FeMg	0.43	0.43	0.42	0.43	0.43	0.41	0.40	0.42	0.40
Mg_FeMg	0.57	0.57	0.58	0.57	0.57	0.59	0.60	0.58	0.60

Sample	CMR42A	CMR42A	CMR42A	CMR42A	CMR42A	CMR42A	CMR42A	CMR42A	CMR42A
Analysis	86	87	89	92	93	94	95	97	98
Location	S-6a	S-7	S-7	S-8	S-8	S-8	S-8	S-8	S-8
Mineral	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO
SiO2	38.05	38.11	38.26	38.14	37.74	37.92	38.56	37.39	38.13
TiO2	1.33	1.17	0.91	1.19	0.93	1.21	1.55	1.29	1.17
Al2O3	15.31	15.46	15.49	15.68	16.47	15.77	15.81	15.67	16.10
FeO	16.65	16.60	16.67	16.44	16.59	16.11	16.50	16.85	17.15
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.20	0.26	0.25	0.24	0.31	0.25	0.39	0.22	0.24
MgO	14.00	14.07	14.01	13.87	13.58	13.60	13.28	13.52	13.60
CaO	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00
Na2O	0.01	0.00	0.06	0.00	0.07	0.04	0.06	0.00	0.11
K2O	9.30	10.28	9.67	9.86	9.41	10.08	9.46	9.89	9.53
F	0.00	0.27	0.16	0.14	0.16	0.27	0.10	0.02	0.25
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O	3.98	3.88	3.92	3.93	3.91	3.85	3.97	3.95	3.90
Total	98.90	100.10	99.40	99.49	99.17	99.10	99.73	98.85	100.18
O_F_Cl	0.00	0.11	0.07	0.06	0.07	0.11	0.04	0.01	0.11
CTotal	98.90	99.99	99.33	99.43	99.10	98.99	99.69	98.84	100.07
Si	5.727	5.705	5.742	5.718	5.668	5.713	5.751	5.662	5.686
AlIV	2.273	2.295	2.258	2.282	2.332	2.287	2.249	2.338	2.314
AlVI	0.440	0.431	0.481	0.487	0.581	0.512	0.527	0.457	0.514
Ti	0.151	0.132	0.103	0.135	0.106	0.138	0.174	0.147	0.132
Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	2.096	2.079	2.092	2.061	2.083	2.031	2.058	2.134	2.139
Mn	0.026	0.033	0.032	0.031	0.040	0.033	0.050	0.033	0.031
Mg	3.141	3.140	3.136	3.100	3.042	3.056	2.954	3.052	3.024
Ca	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.009	0.000
Na	0.003	0.001	0.018	0.000	0.022	0.014	0.019	0.001	0.032
K	1.786	1.964	1.852	1.886	1.804	1.938	1.800	1.911	1.814
Cations	15.655	15.780	15.714	15.700	15.678	15.722	15.591	15.744	15.686
CF	0.000	0.257	0.159	0.140	0.160	0.262	0.100	0.020	0.239
CCl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
OH	4.000	3.872	3.921	3.930	3.920	3.869	3.950	3.990	3.881
O	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000
Fe_FeMg	0.40	0.40	0.40	0.40	0.41	0.40	0.41	0.41	0.41
Mg_FeMg	0.60	0.60	0.60	0.60	0.59	0.60	0.59	0.59	0.59

Sample	CMR42A	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR93	CMR93	CMR93	CMR93
Analysis	99	40	41	42	43	37	39	45	48
Location	S-8	S-1	S-1	S-2	S-4	S-3	S-3	S-1	S-3
Mineral	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO
SiO2	38.65	38.28	38.27	38.40	38.11	38.75	38.76	38.20	37.85
TiO2	1.11	2.78	3.10	3.27	2.95	3.54	3.26	3.12	2.79
Al2O3	15.35	14.05	13.86	14.28	14.21	14.36	14.50	14.03	14.27
FeO	16.74	17.11	18.38	17.75	15.99	16.70	15.76	17.83	17.57
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.16	0.28	0.26	0.34	0.22	0.21	0.32	0.22	0.29
MgO	14.33	13.39	13.68	13.50	14.05	13.69	13.55	13.01	13.33
CaO	0.08	0.05	0.01	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00
Na2O	0.02	0.03	0.09	0.04	0.04	0.04	0.03	0.08	0.61
K2O	9.45	9.64	9.70	9.68	9.35	9.88	9.96	9.65	9.49
F	0.29	0.17	0.011	0.19	0.11	0.25	0.34	0.21	0.19
Cl	0.00	0.04	0.03	0.07	0.04	0.07	0.02	0.04	0.03
H2O	3.89	3.89	4.02	3.94	3.92	3.93	3.87	3.88	3.90
Total	100.07	99.71	101.41	101.49	99.02	101.44	100.37	100.27	100.32
O_F_Cl	0.12	0.08	0.01	0.10	0.06	0.12	0.15	0.10	0.09
CTotal	99.95	99.63	101.40	101.39	98.96	101.32	100.22	100.17	100.23
Si	5.753	5.754	5.688	5.688	5.729	5.715	5.756	5.730	5.677
AlIV	2.247	2.246	2.312	2.312	2.271	2.285	2.244	2.270	2.323
AlVI	0.445	0.242	0.115	0.179	0.245	0.209	0.293	0.210	0.198
Ti	0.125	0.315	0.347	0.365	0.334	0.394	0.365	0.352	0.316
Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	2.085	2.151	2.285	2.200	2.010	2.060	1.958	2.237	2.205
Mn	0.021	0.036	0.033	0.043	0.029	0.027	0.041	0.029	0.037
Mg	3.180	3.002	3.031	2.982	3.148	3.011	3.000	2.910	2.982
Ca	0.014	0.008	0.002	0.006	0.005	0.005	0.001	0.001	0.000
Na	0.008	0.010	0.028	0.014	0.014	0.012	0.009	0.024	0.193
K	1.795	1.849	1.841	1.830	1.793	1.859	1.888	1.847	1.817
Cations	15.673	15.613	15.682	15.619	15.578	15.577	15.555	15.610	15.748
CF	0.279	0.169	0.011	0.180	0.112	0.234	0.323	0.205	0.184
CCl	0.000	0.023	0.015	0.039	0.021	0.037	0.013	0.025	0.018
OH	3.861	3.904	3.987	3.890	3.933	3.864	3.832	3.885	3.899
O	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000
Fe_FeMg	0.40	0.42	0.43	0.42	0.39	0.41	0.39	0.43	0.43
Mg_FeMg	0.60	0.58	0.57	0.58	0.61	0.59	0.61	0.57	0.57

Sample	CMR93	CMR93	CMR96	CMR96	CMR96	CMR96	CMR96	HRM220	HRM220
Analysis	49	50	86	87	88	89	90	64	65
Location	S-3	S-3	S-4	S-4	S-4	S-1	S-1	S-4	S-4
Mineral	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO
SiO2	35.73	37.62	37.36	38.01	38.12	37.59	38.38	37.75	37.74
TiO2	2.94	3.01	1.16	0.88	1.10	1.44	1.28	3.76	3.69
Al2O3	15.78	14.08	14.47	15.09	15.25	14.56	14.22	14.60	14.12
FeO	19.38	17.26	15.98	15.73	15.26	17.90	16.67	16.32	16.38
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.32	0.22	0.27	0.21	0.22	0.25	0.22	0.19	0.18
MgO	12.56	13.55	13.66	12.84	13.13	13.10	14.13	13.83	13.19
CaO	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.08	0.07	0.00	0.00
Na2O	0.07	0.09	0.05	0.04	0.05	0.03	0.07	0.03	0.02
K2O	9.58	9.35	9.35	8.88	9.27	9.31	8.78	9.80	9.62
F	0.11	0.18	0.17	0.21	0.13	0.10	0.17	0.22	0.18
Cl	0.05	0.07	0.01	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
H2O	3.89	3.86	3.79	3.77	3.84	3.86	3.86	3.92	3.88
Total	100.41	99.29	96.30	95.69	96.40	98.27	97.85	100.42	99.00
O_F_Cl	0.06	0.09	0.07	0.09	0.05	0.05	0.07	0.09	0.08
CTotal	100.35	99.20	96.23	95.60	96.35	98.22	97.78	100.33	98.92
Si	5.413	5.685	5.785	5.878	5.847	5.746	5.831	5.623	5.699
AlIV	2.587	2.315	2.215	2.122	2.153	2.254	2.169	2.377	2.301
AlVI	0.229	0.191	0.425	0.627	0.602	0.368	0.376	0.184	0.209
Ti	0.336	0.342	0.135	0.103	0.128	0.167	0.146	0.421	0.419
Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	2.456	2.182	2.070	2.035	1.958	2.289	2.119	2.033	2.069
Mn	0.042	0.029	0.036	0.028	0.029	0.033	0.029	0.024	0.024
Mg	2.838	3.055	3.153	2.960	3.003	2.986	3.202	3.072	2.970
Ca	0.000	0.001	0.006	0.006	0.006	0.015	0.011	0.001	0.001
Na	0.023	0.027	0.015	0.012	0.017	0.011	0.022	0.010	0.008
K	1.852	1.803	1.847	1.752	1.815	1.817	1.702	1.862	1.854
Cations	15.776	15.630	15.687	15.523	15.558	15.686	15.607	15.607	15.554
CF	0.110	0.179	0.170	0.211	0.135	0.098	0.167	0.210	0.179
CCl	0.028	0.037	0.009	0.004	0.003	0.029	0.003	0.000	0.000
OH	3.931	3.892	3.911	3.892	3.931	3.936	3.915	3.895	3.910
O	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000
Fe_FeMg	0.46	0.42	0.40	0.41	0.39	0.43	0.40	0.40	0.41
Mg_FeMg	0.54	0.58	0.60	0.59	0.61	0.57	0.60	0.60	0.59

Sample	HRM220	HRM220	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79
Analysis	66	67	52	53	54	56	57	58	59
Location	S-4	S-5	S-1	S-1	S-1	S-1	S-4a	S-4a	S-4a
Mineral	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO
SiO2	37.99	37.04	36.88	37.24	37.47	37.33	37.45	37.59	37.54
TiO2	3.23	3.17	3.47	3.71	3.51	3.60	3.71	3.56	3.87
Al2O3	13.86	14.23	13.82	14.39	13.76	14.37	13.92	14.22	13.66
FeO	17.09	16.78	17.81	17.48	17.46	17.38	17.24	16.44	17.59
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.21	0.21	0.30	0.31	0.29	0.18	0.28	0.29	0.17
MgO	13.31	13.21	13.13	12.55	13.02	12.45	13.21	13.45	13.47
CaO	0.02	0.01	0.01	0.04	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00
Na2O	0.04	0.03	0.03	0.05	0.04	0.01	0.03	0.01	0.08
K2O	9.09	9.50	9.67	9.81	9.69	9.92	9.78	9.70	9.83
F	0.03	0.11	0.35	0.19	0.28	0.20	0.23	0.25	0.11
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O	3.95	3.87	3.77	3.87	3.82	3.86	3.86	3.86	3.94
Total	98.82	98.16	99.24	99.64	99.36	99.30	99.71	99.39	100.26
O_F_Cl	0.01	0.05	0.15	0.08	0.12	0.08	0.10	0.11	0.05
CTotal	98.81	98.11	99.09	99.56	99.24	99.22	99.61	99.28	100.21
Si	5.742	5.657	5.620	5.631	5.682	5.659	5.653	5.666	5.642
AlIV	2.258	2.343	2.380	2.369	2.318	2.341	2.347	2.334	2.358
AlVI	0.210	0.217	0.100	0.195	0.140	0.226	0.128	0.190	0.061
Ti	0.368	0.364	0.399	0.423	0.401	0.411	0.422	0.404	0.438
Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	2.160	2.144	2.270	2.211	2.214	2.204	2.177	2.073	2.211
Mn	0.028	0.027	0.039	0.040	0.037	0.024	0.036	0.038	0.023
Mg	3.000	3.009	2.982	2.829	2.943	2.814	2.973	3.022	3.018
Ca	0.005	0.002	0.002	0.008	0.005	0.000	0.000	0.004	0.000
Na	0.012	0.012	0.009	0.017	0.013	0.005	0.009	0.004	0.024
K	1.753	1.851	1.881	1.893	1.876	1.920	1.885	1.865	1.886
Cations	15.536	15.626	15.682	15.616	15.629	15.604	15.630	15.600	15.661
CF	0.036	0.109	0.346	0.190	0.274	0.196	0.220	0.242	0.107
CCl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
OH	3.982	3.946	3.827	3.905	3.863	3.902	3.890	3.879	3.947
O	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000
Fe_FeMg	0.42	0.42	0.43	0.44	0.43	0.44	0.42	0.41	0.42
Mg_FeMg	0.58	0.58	0.57	0.56	0.57	0.56	0.58	0.59	0.58

Sample	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79
Analysis	60	61	62	63
Location	S-4a	S-4a	S-4a	S-4a
Mineral	BIO	BIO	BIO	BIO
SiO2	37.72	37.52	37.34	37.47
TiO2	4.33	4.12	3.85	3.86
Al2O3	13.81	13.79	13.91	13.60
FeO	16.87	16.76	17.21	17.04
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.29	0.21	0.27	0.29
MgO	13.23	13.44	13.64	13.54
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00
Na2O	0.03	0.03	0.01	0.02
K2O	9.65	9.72	9.50	9.54
F	0.17	0.19	0.26	0.26
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O	3.92	3.89	3.86	3.84
Total	100.02	99.67	99.85	99.46
O_F_Cl	0.07	0.08	0.11	0.11
CTotal	99.95	99.59	99.74	99.35
Si	5.657	5.649	5.621	5.660
AlIV	2.343	2.351	2.379	2.340
AlVI	0.096	0.095	0.088	0.081
Ti	0.489	0.468	0.437	0.440
Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	2.117	2.111	2.167	2.153
Mn	0.037	0.028	0.035	0.038
Mg	2.959	3.016	3.062	3.050
Ca	0.001	0.002	0.000	0.000
Na	0.012	0.010	0.005	0.007
K	1.847	1.868	1.825	1.840
Cations	15.558	15.598	15.619	15.609
CF	0.165	0.184	0.248	0.256
CCl	0.000	0.000	0.000	0.000
OH	3.918	3.908	3.876	3.872
O	24.000	24.000	24.000	24.000
Fe_FeMg	0.42	0.41	0.41	0.41
Mg_FeMg	0.58	0.59	0.59	0.59

ANEXO C- Tabela de composição química dos Plagioclásios

Sample	CMR22	CMR22	CMR22	CMR22	CMR22	CMR22	CMR22	CMR22	CMR22
Analysis	121	122	123	124	125	126	127	128	129
Location	S6	S6	S6	S6	S6	S6	S6	S6	S2
Mineral	PLA	PLA	PLA	PLA	PLA	PLA	PLA	PLA	PLA
SiO2	62.73	63.82	62.43	62.61	63.70	63.08	63.80	62.40	66.22
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al2O3	24.08	23.96	24.46	23.92	24.14	23.86	23.47	22.96	22.86
Fe2O3	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.09	0.24	0.22	0.16	0.09	0.05	0.12	0.15	0.08
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	5.42	5.91	6.19	5.85	5.44	5.40	5.30	5.96	3.59
Na2O	7.64	7.63	7.5222	7.50	7.75	7.7327	7.95	7.24	8.69
K2O	0.18	0.17	0.1901	0.20	0.18	0.15	0.08	0.15	0.14
Total	100.14	101.73	101.01	100.24	101.30	100.27	100.72	98.87	101.58
Si	11.062	11.095	10.955	11.048	11.100	11.104	11.177	11.151	11.435
Al	5.002	4.906	5.055	4.972	4.954	4.947	4.843	4.833	4.649
Fe3	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	0.014	0.035	0.033	0.024	0.014	0.009	0.019	0.023	0.013
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	1.024	1.101	1.165	1.107	1.017	1.019	0.996	1.142	0.665
Na	2.615	2.574	2.559	2.567	2.621	2.639	2.701	2.510	2.910
K	0.042	0.038	0.043	0.047	0.041	0.036	0.020	0.036	0.032
Cations	19.759	19.750	19.810	19.767	19.747	19.754	19.756	19.698	19.704
X	16.064	16.001	16.010	16.020	16.054	16.051	16.020	15.984	16.084
Z	3.695	3.749	3.800	3.747	3.693	3.703	3.736	3.714	3.620
Ab	71.0	69.3	67.9	69.0	71.2	71.4	72.7	68.1	80.7
An	27.8	29.7	30.9	29.8	27.6	27.6	26.8	31.0	18.4
Or	1.1	1.0	1.1	1.3	1.1	1.0	0.5	1.0	0.9

Sample	CMR22	CMR37	CMR37	CMR37	CMR37	CMR37	CMR37	CMR37	CMR37
Analysis	130	131	132	133	134	135	137	138	140
Location	S2	S5	S5	S5	S5	S5	S6	S6	S6
Mineral	PLA	PLA	PLA	PLA	PLA	PLA	PLA	PLA	PLA
SiO2	62.77	67.64	69.01	58.45	65.74	68.50	61.84	63.82	65.00
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al2O3	24.81	21.45	20.48	25.97	22.34	20.55	24.84	24.26	21.78
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.12	0.08	0.12	0.73	0.14	0.09	0.25	0.29	0.21
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.10
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	6.10	2.77	1.21	8.08	3.85	1.55	6.61	4.66.	3.79
Na2O	7.35	8.90	10.05	5.93	8.65	9.94	7.09	7.66	8.79
K2O	0.11	0.08	0.08	0.41	0.11	0.07	0.16	0.12	0.24
Total	101.26	100.93	100.95	99.57	100.83	100.70	100.79	100.85	99.91
Si	10.960	11.702	11.908	10.499	11.451	11.864	10.880	11.138	11.453
Al	5.103	4.371	4.162	5.495	4.583	4.191	5.147	4.986	4.521
Fe3	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	0.019	0.012	0.019	0.110	0.021	0.013	0.038	0.044	0.031
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.001	0.005	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.012	0.029
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	1.143	0.514	0.225	1.556	0.720	0.289	1.246	0.872	0.717
Na	2.489	2.987	3.363	2.068	2.924	3.339	2.419	2.592	3.003
K	0.025	0.019	0.020	0.096	0.026	0.016	0.037	0.027	0.055
Cations	19.740	19.610	19.697	19.826	19.725	19.712	19.767	19.671	19.809
X	16.063	16.073	16.070	15.994	16.034	16.055	16.027	16.124	15.974
Z	3.677	3.537	3.627	3.832	3.691	3.657	3.740	3.547	3.835
Ab	68.1	84.9	93.2	55.6	79.7	91.6	65.3	74.2	79.5
An	31.3	14.6	6.2	41.8	19.6	7.9	33.7	25.0	19.0
Or	0.7	0.5	0.6	2.6	0.7	0.4	1.0	0.8	1.5

Sample	CMR37	CMR42a	CMR42a	CMR42a	CMR42a	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR90A
Analysis	141	140	141	142	143	51	52	54	55
Location	S6	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S3
Mineral	PLA	FEL	FEL	FEL	FEL	PLA	PLA	PLA	PLA
SiO2	61.93	67.66	68.66	67.28	68.77	63.82	65.67	63.92	60.68
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al2O3	23.84	20.64	19.57	20.80	19.99	23.30	23.37	24.14	26.02
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.55	0.07	0.07	0.28	0.03	0.12	0.18	0.24	0.29
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.08	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	5.53	0.99	0.06	0.93	0.48	4.34	4.21	5.62	7.74
Na2O	7.81	10.23	10.43	9.72	10.29	8.13	8.41	7.45	6.61
K2O	0.19	0.06	0.07	0.34	0.12	0.14	0.22	0.22	0.11
Total	99.93	99.65	98.86	99.40	99.68	99.85	102.06	101.59	101.45
Si	10.994	11.837	12.056	11.808	11.992	11.247	11.320	11.108	10.645
Al	4.986	4.252	4.049	4.301	4.106	4.836	4.744	4.941	5.377
Fe3	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	0.083	0.011	0.012	0.042	0.006	0.019	0.027	0.035	0.043
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.022	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	1.054	0.187	0.013	0.176	0.091	0.820	0.778	1.047	1.455
Na	2.690	3.473	3.553	3.310	3.482	2.780	2.814	2.511	2.249
K	0.044	0.014	0.018	0.077	0.028	0.032	0.050	0.050	0.025
Cations	19.873	19.774	19.701	19.729	19.705	19.734	19.733	19.693	19.796
X	15.980	16.089	16.105	16.109	16.098	16.083	16.064	16.049	16.022
Z	3.893	3.685	3.596	3.620	3.607	3.651	3.669	3.644	3.774
Ab	71.0	94.5	99.1	92.9	96.7	76.5	77.3	69.6	60.3
An	27.8	5.1	0.4	4.9	2.5	22.6	21.4	29.0	39.0
Or	1.2	0.4	0.5	2.2	0.8	0.9	1.4	1.4	0.7

Sample	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR90A	CMR90A
Analysis	56	57	58	59	60	61	62	63	64
Location	S3	S3	S5	S5	S5	S5	S5	S5	S5
Mineral	PLA	PLA	PLA	PLA	PLA	PLA	PLA	PLA	PLA
SiO2	59.72	64.03	62.24	63.18	63.52	63.57	63.23	62.41	63.55
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al2O3	26.60	24.01	25.10	24.02	23.50	23.75	23.80	24.38	23.79
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.33	0.33	0.15	0.31	0.18	0.17	0.20	0.14	0.19
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	8.20	5.34	6.09	5.12	4.89	4.87	4.89	5.70	4.37
Na2O	6.12	7.99	7.14	7.77	7.85	7.95	7.90	7.60	7.95
K2O	0.21	0.21	0.23	0.24	0.36	0.33	0.16	0.15	0.14
Total	101.18	101.91	100.95	100.64	100.30	100.64	100.18	100.38	99.99
Si	10.522	11.111	10.906	11.090	11.177	11.150	11.134	10.995	11.183
Al	5.519	4.908	5.181	4.967	4.870	4.906	4.936	5.060	4.932
Fe3	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	0.050	0.049	0.022	0.046	0.028	0.026	0.031	0.022	0.029
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002	0.001	0.000	0.001	0.000
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	1.549	0.993	1.144	0.967	0.923	0.916	0.923	1.076	0.825
Na	2.091	2.688	2.429	2.646	2.679	2.707	2.698	2.596	2.716
K	0.049	0.048	0.053	0.054	0.082	0.076	0.038	0.034	0.034
Cations	19.780	19.797	19.736	19.770	19.761	19.782	19.760	19.784	19.719
X	16.041	16.019	16.087	16.057	16.047	16.056	16.070	16.055	16.115
Z	3.739	3.778	3.649	3.713	3.714	3.726	3.690	3.729	3.604
Ab	56.7	72.1	67.0	72.2	72.7	73.2	73.7	70.0	76.0
An	42.0	26.6	31.5	26.4	25.1	24.8	25.2	29.0	23.1
Or	1.3	1.3	1.5	1.5	2.2	2.1	1.0	0.9	1.0

Sample	CMR93	CMR93	CMR93	HRM220	HRM220	HRM220	HRM220	HRM220	HRM220
Analysis	66	67	69	119	120	121	122	123	124
Location	S3	S3	S3	S1	S1	S1	S1	S1	S1
Mineral	PLA	PLA	PLA	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL
SiO2	70.84	68.26	70.51	62.30	62.09	62.66	61.57	61.98	64.42
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al2O3	20.49	21.90	20.38	24.49	24.64	24.32	24.81	24.50	22.68
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.01	0.07	0.00	0.14	0.14	0.12	0.12	0.17	0.15
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.42	2.13	0.41	5.71	5.73	5.55	6.03	5.72	3.83
Na2O	10.44	9.32	10.23	7.58	7.50	7.36	7.18	7.35	8.48
K2O	0.07	0.11	0.09	0.28	0.29	0.36	0.30	0.21	0.17
Total	102.27	101.79	101.62	100.50	100.40	100.38	100.01	99.93	99.73
Si	12.021	11.699	12.034	10.974	10.947	11.030	10.899	10.968	11.357
Al	4.096	4.422	4.097	5.079	5.116	5.043	5.176	5.107	4.709
Fe3	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	0.003	0.010	0.000	0.022	0.021	0.018	0.018	0.026	0.023
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.003	0.001	0.000	0.000
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.078	0.392	0.076	1.078	1.082	1.048	1.145	1.085	0.723
Na	3.438	3.097	3.387	2.589	2.565	2.515	2.465	2.523	2.900
K	0.016	0.026	0.020	0.064	0.066	0.083	0.069	0.048	0.039
Cations	19.652	19.646	19.614	19.806	19.801	19.740	19.773	19.757	19.751
X	16.117	16.121	16.131	16.053	16.063	16.073	16.075	16.075	16.066
Z	3.535	3.525	3.483	3.753	3.738	3.667	3.698	3.682	3.685
Ab	97.3	88.1	97.2	69.4	69.1	69.0	67.0	69.0	79.2
An	2.2	11.2	2.2	28.9	29.1	28.7	31.1	29.7	19.7
Or	0.5	0.7	0.6	1.7	1.8	2.3	1.9	1.3	1.1

Sample	HRM220	HRM220	HRM220	HRM220	HRM220	HRM220	HRM220	HRM220	HRM220
Analysis	125	126	128	129	130	131	132	133	134
Location	S1	S1	S1	S3	S3	S3	S3	S3	S3
Mineral	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL
SiO2	63.70	65.61	61.62	63.53	68.30	61.70	64.05	63.16	64.06
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al2O3	23.46	22.42	24.82	23.06	20.26	24.57	23.18	23.73	23.28
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.06	0.06	0.12	0.06	0.08	0.36	0.14	0.16	0.06
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	4.23	3.21	5.71	4.18	1.11	5.61	3.92	4.73	4.34
Na2O	8.51	9.02	7.47	8.19	9.76	7.2822	8.37	8.15	8.16
K2O	0.05	0.08	0.18	0.06	0.14	0.32	0.14	0.09	0.09
Total	100.01	100.40	99.92	99.08	99.65	99.84	99.80	100.02	99.99
Si	11.214	11.462	10.911	11.272	11.925	10.941	11.284	11.137	11.265
Al	4.864	4.613	5.176	4.819	4.167	5.133	4.810	4.929	4.821
Fe3	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	0.009	0.010	0.019	0.009	0.012	0.054	0.021	0.025	0.010
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.002	0.000
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.799	0.602	1.083	0.795	0.209	1.066	0.741	0.894	0.818
Na	2.908	3.058	2.565	2.818	3.307	2.504	2.860	2.787	2.784
K	0.012	0.019	0.043	0.014	0.032	0.073	0.033	0.022	0.020
Cations	19.806	19.764	19.797	19.727	19.652	19.773	19.751	19.796	19.718
X	16.078	16.075	16.087	16.091	16.092	16.074	16.094	16.066	16.086
Z	3.728	3.689	3.710	3.636	3.560	3.699	3.657	3.730	3.632
Ab	78.2	83.1	69.5	77.7	93.2	68.7	78.7	75.3	76.9
An	21.5	16.4	29.3	21.9	5.9	29.3	20.4	24.1	22.6
Or	0.3	0.5	1.2	0.4	0.9	2.0	0.9	0.6	0.6

Sample	HRM220	HRM220	HRM220	HRM220	HRM220	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79
Analysis	135	136	137	138	139	101	102	103	104
Location	S3	S7	S7	S7	S7	S3	S3	S3	S3
Mineral	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL
SiO2	62.45	63.03	47.00	51.85	64.36	63.44	63.94	63.34	63.68
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Al2O3	23.95	23.97	26.98	28.83	23.15	23.77	23.79	23.86	23.93
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.10	0.05	1.00	0.82	0.08	0.22	0.24	0.31	0.23
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.47	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	5.18	4.83	16.91	13.19	3.94	4.74	4.44	4.75	4.91
Na2O	7.77	8.06	3.41	4.42	8.40	8.13	8.08	7.77	7.69
K2O	0.37	0.12	0.05	1.03	0.12	0.09	0.09	0.30	0.07
Total	99.82	100.06	95.82	100.17	100.05	100.39	100.58	100.33	100.51
Si	11.061	11.107	9.129	9.508	11.305	11.146	11.191	11.139	11.156
Al	4.996	4.975	6.172	6.227	4.789	4.918	4.905	4.941	4.938
Fe3	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	0.016	0.009	0.164	0.126	0.012	0.034	0.036	0.047	0.035
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.000	0.000	0.139	0.009	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.983	0.914	3.521	2.593	0.742	0.893	0.834	0.896	0.922
Na	2.669	2.757	1.287	1.572	2.862	2.771	2.744	2.651	2.613
K	0.085	0.029	0.014	0.242	0.027	0.022	0.022	0.069	0.018
Cations	19.810	19.791	20.426	20.277	19.737	19.784	19.734	19.743	19.682
X	16.057	16.082	15.301	15.735	16.094	16.064	16.096	16.080	16.094
Z	3.753	3.709	5.125	4.542	3.643	3.720	3.638	3.663	3.588
Ab	71.4	74.5	26.7	35.7	78.8	75.2	76.2	73.3	73.5
An	26.3	24.7	73.0	58.8	20.4	24.2	23.2	24.8	25.9
Or	2.3	0.8	0.3	5.5	0.7	0.6	0.6	1.9	0.5

Sample	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79
Analysis	105	106	107	108	109	110	111	112	113
Location	S3	S3	S3	S3	S3	S4	S4	S4	S4
Mineral	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL
SiO2	62.67	62.71	62.95	63.64	63.56	63.04	60.5	61.25	62.81
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al2O3	23.77	24.04	24.03	23.34	23.96	24.16	23.88	24.86	23.96
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.16	0.20	016	0.11	0.11	0.23	1.148	0.29	0.18
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.72	0.00	0.00
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	4.99	5.13	5.15	4.55	4.94	5.21	5.15	6.29	5.29
Na2O	7.99	7.61	7.67	8.01	8.09	7.91	7.25	7.13	7.60
K2O	0.13	0.26	0.21	0.13	0.07	0.27	0.84	0.32	0.39
Total	99.71	99.95	116.01	99.78	100.73	100.83	99.49	100.14	100.23
Si	11.097	11.081	1.325	11.227	11.127	11.056	10.858	10.855	11.077
Al	4.958	4.997	0.596	4.850	4.940	4.990	5.041	5.188	4.977
Fe3	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	0.024	0.030	28.180	0.016	0.016	0.034	0.172	0.043	0.028
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.004	0.194	0.000	0.000
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.948	0.972	0.116	0.861	0.927	0.980	0.990	1.195	1.001
Na	2.745	2.607	0.313	2.742	2.748	2.692	2.523	2.453	2.600
K	0.029	0.059	0.006	0.029	0.018	0.061	0.193	0.073	0.089
Cations	19.803	19.746	30.536	19.725	19.778	19.817	19.971	19.807	19.772
X	16.055	16.078	1.921	16.077	16.067	16.046	15.899	16.043	16.054
Z	3.748	3.668	28.615	3.648	3.711	3.771	4.072	3.764	3.718
Ab	73.8	71.7	72.0	75.5	74.4	72.1	68.1	65.9	70.5
An	25.5	26.7	26.7	23.7	25.1	26.3	26.7	32.1	27.1
Or	0.8	1.6	1.4	0.8	0.5	1.6	5.2	2.0	2.4

Sample	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79	HRM79
Analysis	114	115	117	144	145	146	148	149	150
Location	S4	S4	S4	S4	S4	S4	S4	S4	S4
Mineral	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL
SiO2	62.97	61.25	63.12	68.60	63.00	62.91	62.81	63.37	63.44
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al2O3	23.51	25.13	23.93	20.05	23.91	24.34	24.06	24.13	23.45
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.21	0.12	0.16	0.09	0.32	0.31	0.33	0.38	0.37
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	4.91	6.37	4.90	0.60	5.06	5.24	5.17	5.02	4.56
Na2O	7.50	6.98	7.88	10.28	7.87	7.78	7.62	7.74	7.97
K2O	0.59	0.28	0.33	0.05	0.32	0.29	0.29	0.17	0.39
Total	99.69	100.13	100.32	99.68	100.48	100.89	100.28	100.81	100.18
Si	11.157	10.839	11.110	11.969	11.088	11.029	11.069	11.097	11.182
Al	4.905	5.238	4.960	4.121	4.955	5.027	4.994	4.976	4.868
Fe3	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	0.032	0.019	0.024	0.013	0.048	0.046	0.049	0.056	0.056
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.932	1.208	0.925	0.112	0.955	0.986	0.977	0.943	0.862
Na	2.580	2.396	2.692	3.478	2.688	2.646	2.607	2.629	2.726
K	0.135	0.065	0.075	0.012	0.072	0.067	0.066	0.040	0.089
Cations	19.741	19.765	19.786	19.709	19.806	19.807	19.762	19.741	19.783
X	16.062	16.077	16.070	16.090	16.043	16.056	16.063	16.073	16.050
Z	3.679	3.688	3.716	3.619	3.763	3.751	3.699	3.668	3.733
Ab	70.7	65.3	72.9	96.6	72.4	71.5	71.4	72.8	74.1
An	25.6	32.9	25.1	3.1	25.7	26.7	26.8	26.1	23.4
Or	3.7	1.8	2.0	0.3	1.9	1.8	1.8	1.1	2.4

Sample	HRM79
Analysis	151
Location	S4
Mineral	FEL
SiO2	63.76
TiO2	0.00
Al2O3	23.80
Fe2O3	0.00
FeO	0.37
MnO	0.00
MgO	0.00
BaO	0.00
CaO	4.76
Na2O	7.92
K2O	0.37
Total	100.98
Si	11.152
Al	4.903
Fe3	0.000
Ti	0.000
Fe2	0.054
Mn	0.000
Mg	0.000
Ba	0.000
Ca	0.893
Na	2.688
K	0.084
Cations	19.774
X	16.055
Z	3.719
Ab	73.3
An	24.4
Or	2.3

Anexo — D

ANEXO D- Tabela de composição química dos Minerais Opacos

AMOSTRA	CMR90A								CMR-93	
ANÁLISE	72	73	74	75	76	77	79	80	82	83
SiO_2	0.07	0.06	0.04	0.04	0.13	0.04	0.06	0.06	2.00	0.03
TiO_2	0.53	0.00	0.04	0.01	0.03	0.04	0.01	0.04	0.04	0.13
Al_2O_3	0.03	0.00	0.01	0.01	0.10	0.00	0.00	0.02	0.39	0.01
Cr_2O_3	0.11	0.04	0.03	0.01	0.11	0.02	0.06	0.11	0.20	0.10
Fe_2O_3	69.2	70.01	69.58	70.87	70.29	70.54	69.36	69.13	67.07	70.14
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
MnO	0.02	0.06	0.14	0.08	0.03	0.07	0.03	0.04	0.00	0.02
FeO	32.13	31.45	31.26	31.84	31.78	31.74	31.22	31.19	30.62	31.82
Total	102.12	101.16	101.12	102.90	102.51	102.47	100.77	100.61	100.35	102.27
Si	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01	0.02	0.01	0.60	0.01
Ti	0.12	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02
Al	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00
Cr	0.02	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.02	0.04	0.02
Fe	15.69	15.97	15.95	15.96	15.87	15.96	15.95	15.92	15.18	15.90
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Mn	0.00	0.01	0.03	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
Fe	8.10	7.97	7.96	7.97	7.97	7.98	7.98	7.98	7.70	8.01
Total	23.98	23.99	23.99	23.99	23.98	23.99	23.98	23.99	23.69	23.99
Cr/Cr+Al	0.68	0.91	0.57	0.46	0.42	0.70	0.94	0.78	0.26	0.83

ANEXO D- Tabela de composição química dos Minerais Opacos

AMOSTRA	CMR-37				HRM-79						HRM-220	
ANÁLISE	142	144	147	148	153	154	155	156	157	158	160	162
SiO_2	0.29	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02	0.01	0.03	0.03	0.02	0.02	0.08
TiO_2	0.02	0.04	0.04	0.00	0.43	0.06	0.03	1.12	0.25	0.01	0.03	0.00
Al_2O_3	0.20	0.03	0.02	0.32	0.03	0.23	0.07	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
Cr_2O_3	0.01	0.12	0.04	0.04	0.28	0.25	0.46	0.33	0.37	0.44	0.22	0.00
Fe_2O_3	68.12	69.84	69.80	69.25	68.15	68.87	68.89	66.66	68.80	69.08	69.15	68.51
MgO	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	*	*	*	*	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.04	0.12
MnO	0.02	0.32	0.06	0.04	0.09	0.01	0.00	0.28	0.03	0.03	0.00	0.00
FeO	30.80	31.52	31.44	31.16	31.50	31.34	31.32	31.87	31.55	31.28	31.28	30.82
Total	99.48	101.64	101.47	100.59	100.54	100.84	100.83	100.35	101.06	100.89	100.77	99.57
Si	0.08	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
Ti	0.00	0.01	0.01	0.00	0.10	0.01	0.00	0.25	0.05	0.00	0.00	0.00
Al	0.10	0.01	0.00	0.01	0.01	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.02	0.01	0.01	0.06	0.06	0.11	0.08	0.09	0.10	0.05	0.00
Fe	15.82	15.93	15.95	15.95	15.71	15.81	15.83	15.38	15.78	15.87	15.91	15.94
[illegible]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
[illegible]	*	*	*	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04
Mn	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	7.95	7.99	7.98	7.98	8.07	7.99	8.00	8.17	8.04	7.98	8.00	7.97
Total	23.95	23.99	23.99	23.99	23.99	23.99	23.99	23.99	23.99	23.99	24.00	23.99
Cr/Cr+Al	0.03	0.73	0.54	0.46	0.85	0.42	0.81	0.92	0.97	0.95	1.00	0.00