Universidade Federal do Pará | Faculdade de Geologia | Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

GEOLOGIA, PETROGRAFIA E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA, DO GRANODIORITO GROTÃO, TERRENO GRANITO-*GREENSTONE* DE RIO MARIA, SUDESTE DO ESTADO DO PARÁ.

BELÉM – PA

MARÇO - 2013

REGIANE ROBERTA TRINDADE SANTOS

GEOLOGIA, PETROGRAFIA E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA, DO GRANODIORITO GROTÃO, TERRENO GRANITO-*GREENSTONE* DE RIO MARIA, SUDESTE DO ESTADO DO PARÁ.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Claudio Lamarão

Coorientador: Dr. Albano Antonio da Silva Leite

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

S237g Santos, Regiane Roberta Trindade

Geologia, petrografia e microscopia eletrônica de varredura, do granodiorito grotão, Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, Sudeste do Estado do Pará / Regiane Roberta Trindade Santos; Orientador: Claudio Nery Lamarão; Coorientador: Albano Antonio da Silva Leite – 2013

73 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2013.

1. Microscopia eletrônica de varredura. 2. Granodiorito Arqueanos. 3. Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria. 4. Petrografia. I. Lamarão, Cláudio Nery, *orient*. II. Leite, Albano, *coorient*. III. Universidade Federal do Pará. IV. Título.

CDD 22ª ed.: 502.825098115

REGIANE ROBERTA TRINDADE SANTOS

GEOLOGIA, PETROGRAFIA E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA, DO GRANODIORITO GROTÃO, TERRENO GRANITO-*GREENSTONE* DE RIO MARIA, SUDESTE DO ESTADO DO PARÁ.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Data de aprovação: ____/____/____
Conceito: _____
Banca examinadora:

Prof. Dr. Claudio Nery Lamarão – Orientador
Doutor em Petrologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Paulo Sergio de Sousa Gorayeb
Doutor em Petrologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Aos meus Pais,

Por todo amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de externar meus agradecimentos, em especial:

Ao meu bom Deus;

Aos meus pais e irmãos, por toda a credibilidade e amor direcionado a mim, ao longo destes anos;

À Erika Figueiredo, por sempre incentivar minhha educação;

Ao Prof. Claudio Lamarão, pela orientação e dedicação prestada durante a confecção deste trabalho;

Ao geólogo Albano Leite, pela sua importante participação nas etapas que se sucederam para a confecção deste trabalho (desde o campo até o momento de sua conclusão), pelo aprendizado, apoio e amizade;

Á geóloga Fabriciana Guimarães, por toda a paciência e por sempre está disposta a ajudar;

Ao geólogo Marcelo Oliveira, pela ajuda na fase de campo e pelas discussões que enriqueceram este trabalho;

ÀLilian Paula, pela imensa colaboração para o desenvolvimento desse trabalho;

À Ishi Macris, por ceder algumas amostras para correlações com as rochas estudadas neste trabalho;

À Ana Paula, pela ajuda na obtenção das imagens de MEV;

As minhas queridas amigas e companheiras de curso: Ayara Bentes, Caroline da Cunha, Hanna Sales, Hévila Costa, Indy Favacho e Roberta Cavalcante, por toda força, incentivo, companheirismo e momentos de descontração.

Ao Instituto de Geociências da Ufpa, por todo o suporte para a execução deste trabalho.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

RESUMO

O Granodiorito Grotão está situado à sudeste de Xinguara ou à noroeste de Rio Maria, sudeste do estado do Pará. É representado por biotita granodioritos de idade arqueana. O mapeamento geológico permitiu definir melhor a distribuição espacial dessa unidade, que aflora na forma de blocos abaulados e lajeiros, por vezes cortado por diques máficos na direção N-S. Em decorrência disso, o mapa geológico com a área de ocorrência do Granodiorito Grotão foi redefinido. Macroscopicamente essas rochas são isotrópicas, apresentam granulação média e coloração cinza claro. Os dados modais quando plotados no diagrama Q-A-P, incidem exclusivamente no campo das rochas granodioríticas. A mineralogia essencial dessas rochas é constituída dominantemente por plagioclásio, quartzo e feldspato potássico, tendo a biotita como único mineral ferromagnesiano. O conteúdo médio de minerais máficos é de 4,5%, essas rochas são classificadas como leucocráticos. Análises de MEV-EDS em zircões e biotita do Granodiorito Grotão mostraram diferenças significativas quando comparadas com zircões e biotitas do Granodiorito Rio Maria, permitindo sugerir que se trata de unidades geológicas distintas.

Palavras-chave: Microscopia eletrônica de varredura. Granodiorito Arqueanos. Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria. Petrografia.

ABSTRACT

The Grotão granodiorite is situated southeast of Xinguara or northwest of Rio Maria, southeastern Pará state. It is represented by biotite granodiorite of Archean age. The geological mapping allowed better define the spatial distribution of this unit, which outcrops as rounded blocks and flooring, sometimes cut by mafic dykes in the NS direction. As a result, the geological map of the area of occurrence of the granodiorite Grotão was redefined. Macroscopically these rocks are isotropic, have medium granulation, and light gray color. The modal data when plotted in the QAP diagram, plots exclusively on the field of granodioritic rocks. The essential mineralogy of these rocks is dominantly composed of plagioclase, quartz and feldspar, with biotite as the main ferromagnesian mineral. The average content of mafic minerals is 4.5%, these rocks are classified as leucocratic. SEM-EDS analyses of zircons and biotite in the Grotão granodiorite showed significant differences when compared with zircons and biotites of the Rio Maria Granodiorite, allowing to suggests that they are two distinct geological units.

Keywords: Scanning electron microscopy. Archean Granodiorite. Rio Maria Granite-Greenstone Terrain. Petrography.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização e acesso a área de trabalho. 17
Figura 2 - Mapa geológico do TGGRM 23
Figura 3 - Mapa de localização das amostras coletadas e de pontos descritos da área de ocorrência do Granodiorito Grotão, destacando-se os diferentes tipos de rochas identificadas. 26
Figura 4 – A) Vista Geral do afloramento, na forma de blocos abaulados; B) Granodiorito Grotão cortado por veios de leucogranitos; C) e D) Fotos das amostras de mão do Granodiorito Grotão, mostrando seus aspectos texturais. 28
Figura 5: A) Contato brusco entre tonalito (claro) e granodiorito (escuro); B) Diques máficos discordando dos granodioritos; C) e D) Enclaves de composição tonalítica e máfica, respectivamente, sendo englobados por granodiorito. 29
Figura 6 - Mapa geológico da área de estudo. 30
Figura 7 - Diagramas Q-A+P-M e Q-A-P, para as amostras estudadas, mostrando sua composição modal. 33
Figura 8: A) Fotomicrografia da lâmina RAM-09 mostrando textura hipidiomórfica granular (nicóis cruzados), bem como sua granulação média e B) Fotomicrografia da lâmina RAM-41 mostrando textura mirmequítica (nicóis cruzados). 34
Figura 9 – A) e B) Fotomicrografia da lâmina RAM-34, mostrando cristal de plagioclásio saussuritizado, luz natural e nicóis cruzados, respectivamente; C) Fotomicrografia da lâmina RAM-30, mostrando cristal de quartzo com extinção ondulante (nicóis cruzados) e D) Fotomicrografia da lâmina RAM-30, mostrando agregados policristalinos de quartzo (nicóis cruzados). 35
Figura 10 – A) e B) Fotomicrografia da lâmina RAM-07, mostrando cristal de microclina, com maclamento albita-periclina, luz natural e nicóis cruzados, respectivamente; C) e D) Fotomicrografia da lâmina RAM-09, mostrando lamela de biotita, luz natural e nicóis cruzados, respectivamente. 36

Figura 11 – A) e B) Fotomicrografia da lâmina RAM-34, mostrando cristal de titanita, com faces idiomórficas, luz natural e nicóis cruzados, respectivamente; C) e D) Fotomicrografia da lâmina 03b, mostrando cristal de opaco, bordejado por epidoto, luz natural e nicóis cruzados, respectivamente. 37
Figura 12 – A) Fotomicrografia da lâmina RAM-30, mostrando cristal de epidoto com faces idiomórficas (nicóis cruzados); B) Fotomicrografia da lâmina RAM-32, mostrando cristal de allanita, envolvido por um manto de epidoto (nicóis cruzados); C) Fotomicrografia da lâmina RAM-31C, mostrando cristal de epidoto disperso na rocha (nicóis cruzados) e D) Fotomicrografia da lâmina RAM-34, mostrando cristais de epidoto disseminados em plagioclásio.....38
Figura 13: Ordem de cristalização dos minerais formadores do biotita Granodiorito Grotão. 41
Figura 14 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV. A) Cristais hipidiomórfica de biotita, inclusa em cristal quartzo (RAM-05). B) Cristal de biotita, em contato com plagioclásio (RAM-07). 44
Figura 15 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV. A) Cristal de magnetita xenomórfico, disperso na rocha (RAM-34). B) Cristal de Ilmenita, bordejado por titanita (RAM-05f).....46
Figura 16 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV. A) Cristais xenomórfico de monazita (RAM-09); B) Cristal de apatita em contato com cristal de allanita (RAM-07). 47
Figura 17 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV. A) Cristal de titanita com centro de ilmenita (RAM-05f) e B) Cristal de allanita em contato com cristal de biotita (RAM-09). 48
Figura 18 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV. A) Cristais hipidiomórficos de zircão incluso em cristal de plagioclásio (RAM-07) e B) Cristal de zircão incluso em cristal de quartzo (RAM-09). 49
Figura 19 - Diagrama geoquímico Y x Nb (% peso). 51
Figura 20 - Diagrama geoquímico Nb x Ta (% peso). 52
Figura 21 - Diagrama geoquímico de Y x Ta (% peso). 52
Figura 22 - Diagrama geoquímico de Zr/Nb x Nb/Ta (%peso). 53

Figura 23 - Imagens de MEV-CL. A) e B) Cristais de zircão idiomórficos e fraturados, da amostra FMR-49; C) e D) Cristais de zircão idiomórficos e zonados, da amostra ADR-03.....54
Figura 24 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV. A) Biotita do Granodiorito Grotão, com feições preservadas; B) Biotita do granodiorito Maria, mostrando-se bastante alterada.....55
Figura 25 - Composições de biotitas do Granodiorito Grotão e do Granodiorito Rio Maria, obtidas por EDS (este estudo) no diagrama FeO – MgO – Al_2O_3. 56
Figura 26 - Composições de biotitas dos granodioritos Grotão e Rio Maria no diagrama 10(TiO_2) – (FeO + MnO) – MgO analisadas por EDS.....57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados geocronológicos para as rochas do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria. 16
Tabela 2 - Dados de composições modais do Granodiorito Grotão. 32
Tabela 3 - Principais fases mineralógicas identificadas por MEV nos biotita Granodiorito Grotão.....42
Tabela 4 - Análises de EDS mostrando os teores médios dos elementos (% em peso) analisados nas biotitas. 43
Tabela 5 **-** Análises de EDS mostrando os teores médios dos elementos (% em peso), analisados nas magnetitas e ilmenitas. 45
Tabela 6 - Análises de EDS mostrando os teores médios dos elementos (% em peso), juntamente com o espectro, analisado na Monazita. 46
Tabela 7 - Análises de EDS mostrando o teor médio dos elementos (% em peso), juntamente com o espectro, analisado na Apatita. 47
Tabela 8 - Análises de EDS mostrando os teores médios dos elementos (% em peso), juntamente com o espectro, analisado nas Titanitas. 47
Tabela 9 - Análises de EDS mostrando os teores médios dos elementos (% em peso), juntamente com o espectro, analisado nas Allanitas. 48
Tabela 10 - Análises de EDS mostrando o teor médio dos elementos (% em peso), analisado nos zircões. 49

LISTA DE ABREVIATURAS DE MINERAIS

Allanita -	Aln
Apatita -	Ap
Biotita -	Bt
Epidoto -	Ep
Ilmenita -	Ilm
Magnetita -	Mag
Microclina -	Mc
Monazita -	Mnz
Opacos -	Op
Plagioclásio -	Pl
Quartzo -	Qtz
Titanita -	Tnt
Zircão -	Zrn

Lista de abreviações segundo Siivola e Schmid (2007).

SUMÁRIO

1 **INTRODUÇÃO**.....15

1.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....15

2 **JUSTIFICATIVA**.....16

3 **OBJETIVOS**.....18

4 **MATÉRIAIS E MÉTODOS**.....19

4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....19

4.2 PETROGRAFIA.....19

4.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....19

5 **CONTEXTO REGIONAL**.....21

6 **GEOLOGIA DO GRANODIORITO GROTÃO**.....25

6.1 ASPECTOS GERAIS DO GRANODIORITO GROTÃO.....25

6.2 RELAÇÕES DE CONTATO ENTRE OS CORPOS E AS SUAS ENCAIXANTES 28

6.3 MAPA GEOLÓGICO.....29

7 **PETROGRAFIA**.....31

7.1 ASPECTOS GERAIS.....31

7.2 ASPECTOS TEXTURAIS.....33

7.3 ORDEM DE CRISTALIZAÇÃO.....39

8 **ANÁLISE MINERALÓGICA POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA**.....42

8.1 ASPECTOS GERAIS.....42

8.2 ANÁLISE DOS MINERAIS.....43

8.2.1 **Biotita $K_2(Mg, Fe^{2+})_{6-4}(Fe^{3+},Al, Ti)_{0-2}Si_{6-5}Al_{2-3}O_{20}(OH,F)_4$**.....43

8.2.2 **Minerais Opacos**.....45

8.2.3 **Monazita $(Ce,La,Nd,Th)PO_4$**.....46

8.2.4 **Apatita $Ca_5(PO4)_3(OH, F,Cl)$** 46

8.2.5 **Titanita $CaTiSiO_5$** 47

8.2.6 **Allanita $Ca(REE,Ca)Al_2(Fe^2+,Fe^3+)(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$** 48

8.2.7 **Zircão $ZrSiO_4$** 48

9 **DISCUSSÕES** 50

9.1 COMPARAÇÕES ENTRE OS GRANODIORITOS GROTÃO E RIO MARIA, COM BASE EM MEV-EDS. 50

9.1 2 **Zircões** 50

9.1 3 **Biotitas** 55

10 **CONCLUSÕES** 58

REFERÊNCIAS 60

APÊNDICES 66

APÊNDICE A – LISTA DE AFLORAMENTOS 67

APÊNDICE B – COMPOSIÇÕES SEMIQUANTITATIVAS POR MEV-EDS DOS ZIRCÕES DOS GRANODIORITOS GROTÃO E RIO MARIA 68

APÊNDICE C – COMPOSIÇÃO SEMIQUANTITATIVAS POR MEV-EDS DAS BIOTITAS DOS GRANODIORITOS GROTÃO E RIO MARIA 72

1 **INTRODUÇÃO**

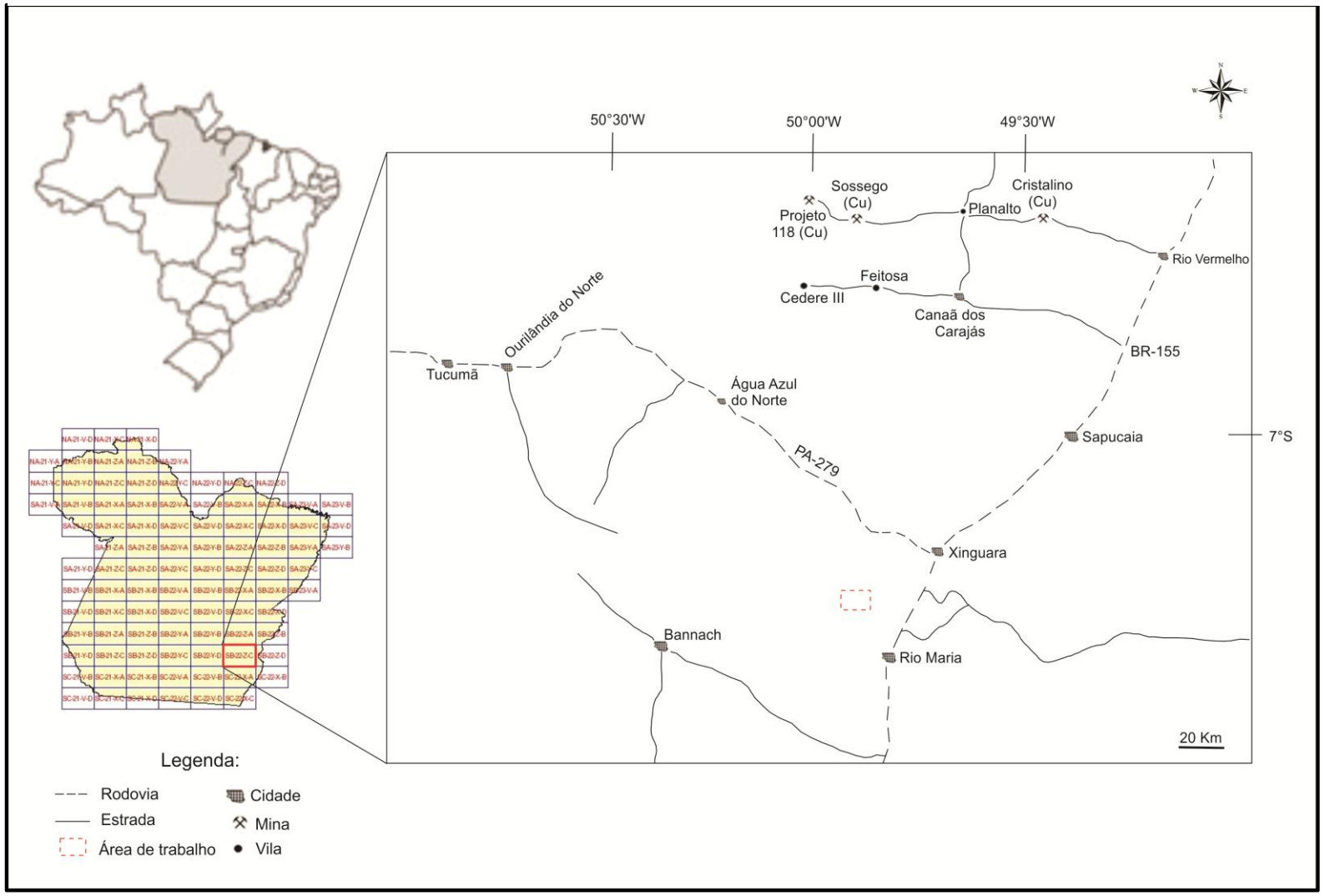
1.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área estudada localiza-se no sudeste do Estado do Pará, mais especificamente a sudoeste da sede do município de Xinguara ou a noroeste da sede do município de Rio Maria. O acesso à área partindo de Belém pode ser feito por via terrestre ou aérea até a cidade de Marabá, seguindo-se desta em direção ao município de Xinguara ou Rio Maria por via terrestre pela rodovia BR-155 (Figura 1).

2 **JUSTIFICATIVA**

Nos estudos efetuados por Guimarães (2009) na região do presente trabalho não foi dado ênfase para o mapeamento detalhado do Granodiorito Grotão. Apenas dez amostras foram coletadas no campo, destas apenas cinco tiveram estudo petrográfico e análises químicas. Deste modo, este trabalho tem como objetivo geral, melhorar o entendimento sobre o Granodiorito Grotão através da realização de mapeamento geológico de semidetalhe na escala 1:50.000, visando definir a real extensão do corpo granodiorítico, amostragem sistemática e aprofundamento dos trabalhos de petrográfia e caracterização dos minerais ferromagnesianos através de análises em microscópio eletrônico de varredura (MEV).

Figura 1 - Mapa de localização e acesso à área de trabalho.



Fonte: Modificado de Leite, 2001.

3 **OBJETIVOS**

O objetivo principal deste trabalho é realizar mapeamento geológico de semidetalhe da área de ocorrência do Granodiorito Grotão, bem como estudo petrográfico e caracterização dos minerais ferromagnesianos através de observações em microscópio eletrônico de varredura (MEV), contribuindo assim para o melhor entendimento sobre o magmatismo Arqueano do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria.

Sendo assim os objetivos específicos foram:

- Realizar mapeamento geológico na escala 1:50.000 da principal área de ocorrência do Granodiorito Grotão, para definir melhor os seus limites de ocorrência e as suas relações com os granitóides encaixantes;
- Caracterizar petrograficamente o Granodiorito Grotão, definindo suas possíveis variedades faciológicas, composições modais, transformações tardia a pós-magmáticas e feições deformacionais;
- Caracterizar as associações de minerais ferromagnesianos, através de observações em miscroscópios ótico e em microscópio eletrônico de varredura (MEV), com o auxílio de imagens de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas por EDS.
- Comparar os dados obtidos neste corpo granitoide e relacioná-los com aqueles obtidos em rochas similares no Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria.

4 **MATÉRIAIS E MÉTODOS**

4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

O levantamento bibliográfico foi feito durante o período de execução deste trabalho, sendo consultados trabalhos envolvendo o Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria. É importante destacar que o estudo da bibliografia existente não ficou restrito a referências sobre o Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, mas alcançaram também componentes principais de outros terrenos arqueanos, bem como, conhecimentos teóricos sobre petrografia, geoquímica, petrologia e geocronologia.

4.2 PETROGRAFIA

Para o estudo petrográfico foram realizadas descrições macroscópicas de amostras de mão que serviram de base para a seleção de amostras para a confecção de lâminas delgadas e polidas. As descrições microscópicas enfatizaram a identificação da mineralogia, análise textural e, as transformações pós-magmáticas e deformacionais.

As análises modais foram realizadas em amostras representativas, sendo utilizado um contador eletrônico de pontos da marca *Swift*, com a contagem de 1800 pontos para cada lâmina. Os dados de análises modais foram plotadas em diagramas Q-A-P, Streckeisen (1976) e Q-A-P-M, Le Maitre (2002), permitindo assim classificar adequadamente as rochas estudadas, conforme estabelecido pela Subcomissão de Nomenclatura das Rochas Ígneas. Foram identificados, ainda minerais de óxido de Fe e Ti em microscópio eletrônico de varredura.

4.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

As análises de MEV foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura – LABMEV do IG da UFPA e constaram na obtenção de imagens de elétrons retroespalhados e análises químicas semiquantitativas por EDS (*Energy Dispersive Spectrometry*) de fases minerais previamente selecionadas. O MEV utilizado foi um LEO-Zeiss modelo 1430 sob as seguintes condições: corrente do feixe de elétrons=90 µA, voltagem de aceleração constante=20 kV, distância de

trabalho=15 mm, tempo de contagem para aquisição dos elementos=30s. As lâminas polidas foram previamente metalizadas com carbono.

Os resultados obtidos foram tratados em diagramas geoquímicos específicos utilizando-se o programa GCDkit 2.2;

5 **CONTEXTO REGIONAL**

O terreno Granito *Greenstone* de Rio Maria é constituído fundamentalmente por associações granitoides dominadas por rochas que formam as clássicas associações tonalítico-trondhjemítico-granodioríticas (TTG) e por rochas metanovulcano-sedimentares do tipo *greenstone belts,* Condie e Hunter (1976) Dall"Agnol et al. (1997), Althoff, Barbey e Boullier (2000) , Leite (2001) e ainda por granitos anorogênicos de idade proterozóica e diques associados (Figura 2) e (Tabela 1).

A sequência *greenstone belt* denominada de Supergrupo Andorinhas, é constituída pelo Grupo Babaçu (base) - derrames de basaltos, intercalações de talco-xistos, metatufos, metacherts e BIF's. E pelo Grupo Lagoa Seca (topo) - metapelitos, metapsamitos e metadacitos, Cordeiro (1982), Hirata et al*.* (1982). Datações U-Pb, em zircão, forneceram idade de 2904 ± 22 Ma e 2971 ± 18 Ma, Macambira e Lancelot (1992) e 2979 ± 5 Ma, Pimentel e Machado (1994) para as rochas vulcânicas félsicas do Grupo Lagoa Seca. Trabalhos recentes não utilizam o termo Supergrupo Andorinhas, e dividem os *greenstone belts* do TGGRM em seis grupos: Gradaús, Serra do Inajá, Lagoa Seca, Babaçu, Sapucaia e Tucumã, Vasquez et al. (2008b).

Segundo Leite et al. (2004) e Dall'Agnol et al. (2006) os granitóides arqueanos são divididos em: 1- Série tonalítica-trondjemitica-granodioritica (TTG); 2- Rochas sanukitóides; 3- leucogranitos potássios de afinidades cálcio-alcalina.

A série **TTG** é representada pelo Tonalito Arco Verde, Complexo Tonalítico Caracol e Trondhjemitos Mogno e Água Fria. O Tonalito Arco Verde tem idades de 2957 ± 25 Ma (U-Pb em zircão), Macambira (1992), 2948 ± 7 Ma, 2981 ± 8 Ma, 2965 ± 1 Ma e 2988 ± 5 Ma, Rolando e Macambira (2003) e 2964±2 Ma (Pb/Pb em zircão), Vasquez et al. (2008a). Segundo Althoff (1996), este magmatismo seria derivado da fusão parcial de um granada-anfibolito, tendo o magma inicial evoluído através de cristalização fracionada. Da mesma forma Leite et al. (2004), sugeriu que o magma gerador do Complexo Tonalítico Caracol (2948±5 Ma,) seria oriundo da fusão de metabasaltos, previamente transformados em granada-anfibolitos. Os trondhjemitos Mogno e Água Fria, apesar da dominância de trondhjemitos, são similares geoquimicamente aos TTG's descritos anteriormente. O Trondhjemito Mogno apresenta idade U-Pb em titanita de 2871 Ma, Pimentel e Machado (1994) e

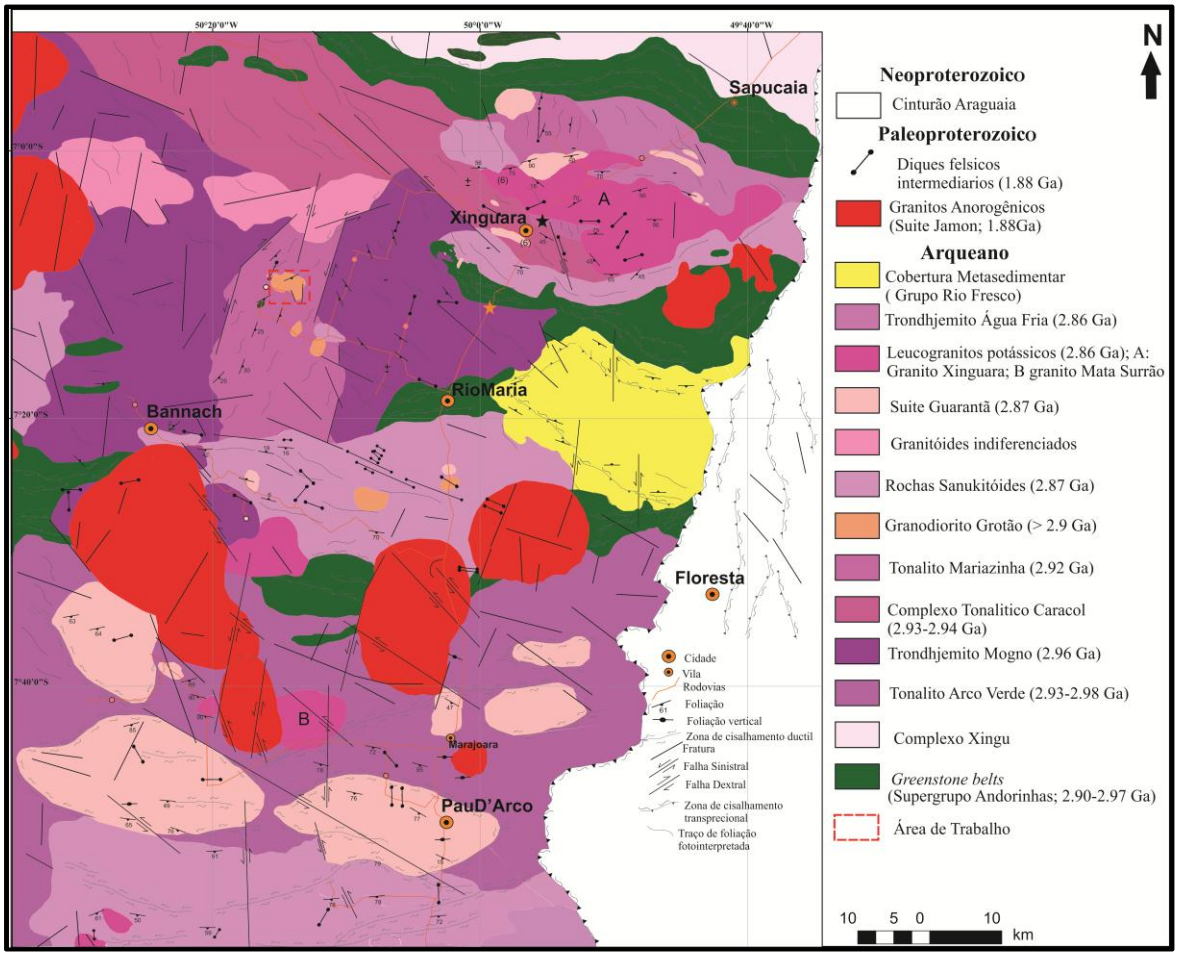
Pb-Pb em zircão de 2959 ± 5 Ma, Almeida (2010) e forma um batólito que varia composicionalmente para tonalitos, Docegeo (1988). Guimarães (2009) identificou na área de ocorrência do Trondhjemito Mogno duas novas unidades denominadas de Tonalito Mariazinha (2925 ± 4 Ma), Almeida (2010) e de Granodiorito Grotão, além disso, propôs a redefinição do tonalito Parazônia para Quartzo-diorito Parazônia. O Trondhjemito Água Fria forneceu idade Pb-Pb em zircão de 2864 ± 21 Ma, Leite et al. (2004) e 2973 ± 130 Ma, Tassinari et al. (2005) e apresenta enclaves do Complexo Tonalítico Caracol e do *greenstone belt* de Sapucaia.

As rochas sanukitóides, são representadas pelo Granodiorito Rio Maria, apresenta idades de 2872 + 5 Ma, Pimentel e Machado (1994), 2878± 4 Ma Dall'agnol et al. (1999) e 2881±8 Ma, Rolando e Macambira (2003). Apresenta algumas características geoquímicas coincidentes com as da série cálcio- alcalinas, Medeiros e Dall'agnol (1988), porém pertence na realidade às séries de granitoides arqueanos ricos em Mg, pois exibe conteúdos relativamente baixos de Al_2O_3, para as rochas daquela série, além de ser relativamente enriquecido em Cr e Ni, Althoff et al. (1995), Althoff (1996), Leite (2001), Oliveira, Dall'agnol e Althoff (2006), Oliveira et al. (2009). Leite (2001) e Dall' Agnol et al. (2001) admitem que o magma inicial seja derivado da fusão parcial da cunha do manto previamente enriquecido em constituintes incompatíveis. Os leucogranitos potássicos de afinidade cálcico-alcalina são representados pelos granitos Xinguara, Mata Surrão e Guarantã. De acordo com Leite et al.(2004), o Granito Xinguara é produto de cristalização de um magma formado por baixo grau de fusão de granitóides arqueanos tipo TTG. É intrusivo no Complexo Tonalítico Caracol, Granodiorito Rio Maria e *greenstone belts*, onde forneceu idades Pb/Pb em zircão de 2865 ± 1 Ma, similar a do Trondhjemito Água Fria, indicando que esses dois granitóides são contemporâneos e intrusivos no Complexo Tonalítico Caracol Leite et al. (2004). O Granito Mata Surrão apresenta idade Pb/Pb em rocha total de 2872±10 Ma, Lafon, Rodrigues e Duarte (1994) de 2871±7 Ma por Pb/Pb em cristais de zircão, Althoff et al. (1998), sendo este intrusivo no Tonalito Arco Verde, Duarte et al. (1991), Duarte (1992), Duarte e Dall'agnol (1996) e Althoff et al. (2000). O Granito Guarantã também é intrusivo no Tonalito Arco Verde, no entanto dados geocronológicos apontam para uma idade de 2870±5 Ma, Althoff (2000), sugerindo que houve geração de leucogranitos potássicos anterior à formação dos granitos Xinguara e Mata Surrão. No entanto, o granito Guarantã apresenta um padrão geoquímico distinto, sugerindo que a geração e

evolução do magma que o originou foi diferente, Dall'agnol et al. (1997), Althof, Barbey e Boullier (2000). Tais unidades são recobertas pelos sedimentos do Grupo Rio Fresco, Docegeo (1988).

No Paleoproterozoico, esta região foi palco de um magmatismo granítico anorogênico e com afinidades geoquímicas do tipo-A, Dall'agnol et al. (1997). Segundo Dall'Agnol et al. (2005) as similaridades em termos de idade e posicionamento estratigráfico, aliadas às características geológicas, petrográficas e geoquímicas, permitiram que os maciços Jamon, Musa, Marajoara, Redenção e Bannach fossem enquadrados dentro da Suíte Jamon (1883+5/-2 Ma), Machado et al. (1991), (1885±32 Ma), Dall'agnol et al. (1999). Esses granitos apresentam características subalcalinas e afinidades com os granitos do tipo-A, Loiselle e Wones (1979), por vezes associados a rochas vulcânicas de composições intermediárias a félsicas, além de ocorrências subordinadas de rochas plutônicas máficas e diques félsicos a máficos, Dall'agnol et al. (1999), Teixeira et al. (2002) e Oliveira (2006).

Figura 2 - Mapa geológico do TGGRM



Fonte: Modificado de Almeida et al. (2011).

Tabela 1 - Dados geocronológicos para as rochas do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria.

Terreno Granito Greenstone de Rio Maria				
Unidade	Litotipo	Método	Material	Idade
Leucogranitos Potássicos				
Granito Xinguara	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2865±1 (5)
Granito Mata Surrão	Leucogranito	Pb-Pb	Rocha total	2872±10 (12)
	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2875±11 (3)
	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2881±2 (3)
Grupo de leucogranodioritos-leucomonzogranitos				
Suíte Guarantã	Granodiorito	Pb-Pb	Zircão	2868±5 (11)
	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2870±5 (10)
Série de TTG Jovem				
Trondhjemito Mogno	Trondhjemito	U-Pb	Titanita	2871 ? (1)
	Trondhjemito	Pb-Pb	Zircão	2857±13 (9)
	Trondhjemito	Pb-Pb	Zircão	2900±21 (9)
Trondhjemito Água Fria	Trondhjemito	Pb-Pb	Zircão	2864±21 (5)
Suíte sanukitóide Rio Maria Granodiorito				
Granodiorito Rio Maria e rochas associadas	Granodiorito	U-Pb	Zircão	2874 + 9/-10 (2)
	Granodiorito	U-Pb	Titanita, Zircão	2872±5 (1)
	Quartzo-diorito	Pb-Pb	Zircão	2878±4 (8)
	Diorito	Pb-Pb	Zircão	2880±4 (3)
	Granodiorito	Pb-Pb	Zircão	2877±6 (3)
Quartzo-diorito Parazônia				
	Quartzo-diorito	Pb-Pb	Zircão	2876±2 (7)
	Tonalito	U-Pb	Titanita	2858 (1)
Série de TTG Antigo				
Complexo Tonalítico Caracol	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2948±5 (5)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2936±3 (5)
Tonalito Mariazinha	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2925±4 (7)
Tonalito Arco Verde	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2964±4 (4)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2948±7 (3)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2981±8 (3)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2988±5 (3)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2957 + 25/-21 (2)
Greenstone Belts				
Supergrupo Andorinhas	Metavulcânica félsica	U-Pb	Zircão	2904+29/-22 (2)
	Metagrauvaca	U-Pb	Zircão	2971±18 (2)
	Metavulcânica félsica	U-Pb	Zircão	2972±5 (1)

Fonte da data: (1) Pimentel e Machado (1994), (2) Macambira e Lancelot (1996), (3) Rolando e Macambira (2003), (4) Vasquez et al. (2008a), (5) Leite et al. (2004), (7) Almeida (2010), (8) Dall'Agnol et al. (1999), (9) Macambira et al. (2000), (10) Althof, Barbey e Boullier (2000), (11) Almeida et al. (2008), (12) Lafon, Rodrigues e Duarte (1994).

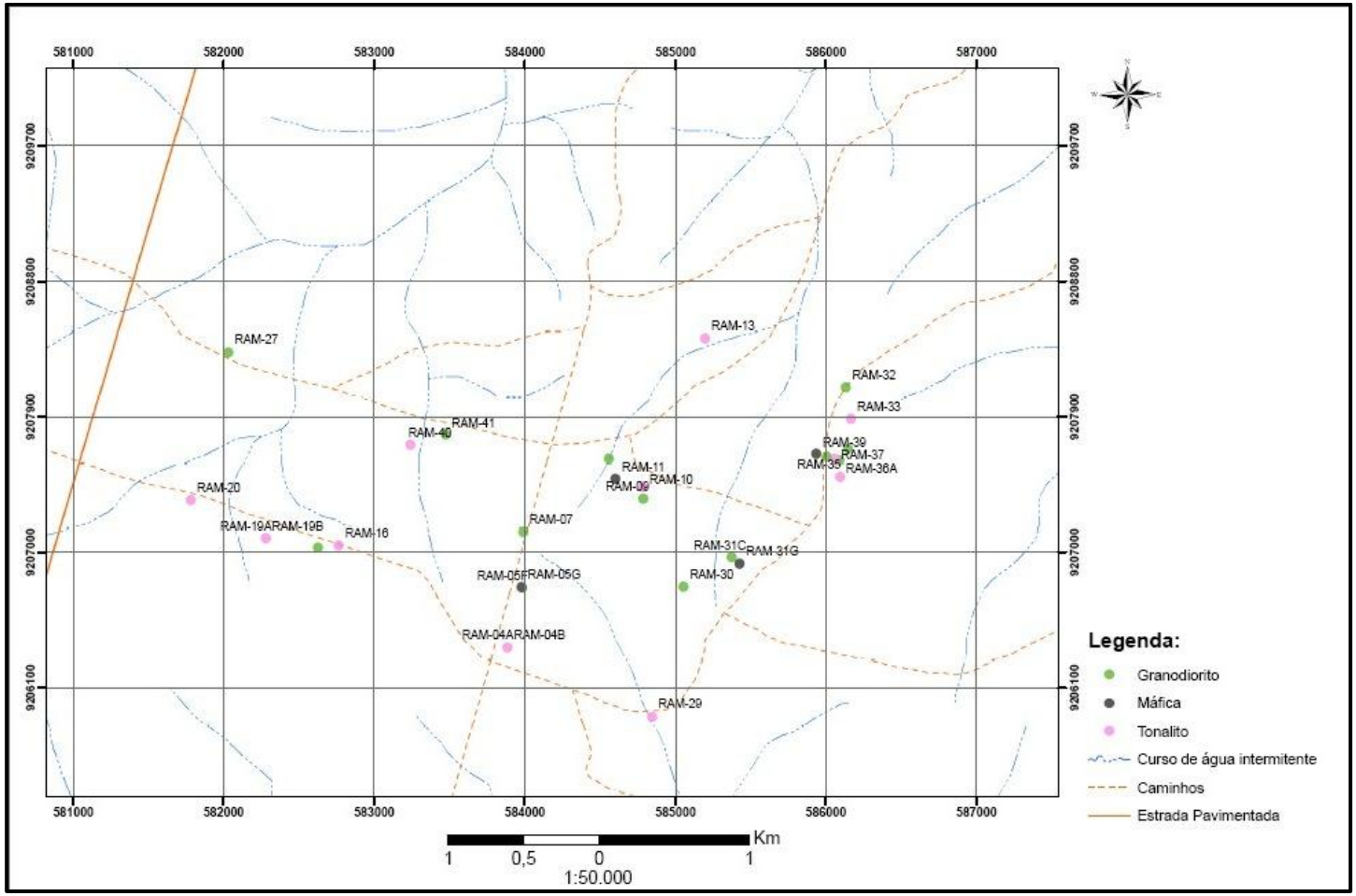
6 **GEOLOGIA DO GRANODIORITO GROTÃO**

6.1 ASPECTOS GERAIS DO GRANODIORITO GROTÃO

O mapeamento geológico consistiu em uma viagem para o município de Xinguara, onde foi realizado levantamento sistemático dos afloramentos existentes ao longo de estradas e caminhos trafegáveis (Apêndice A), acompanhado de coleta de amostras, conforme mapa de localização dos pontos (Figura 3).

O mapeamento geológico foi realizado na escala 1:50.000. A localização dos pontos de afloramento foi verificada através da utilização do aparelho GPS (*Global Position System*) e foram posteriormente lançados em uma base ArcGis para produção do mapa geológico; durante esta fase pode-se observar a dimensão do corpo e sua relação com as encaixantes.

Figura 3 - Mapa de localização das amostras coletadas e de pontos descritos da área de ocorrência do Granodiorito Grotão, destacando-se os diferentes tipos de rochas identificadas.



Fonte: Da autora.

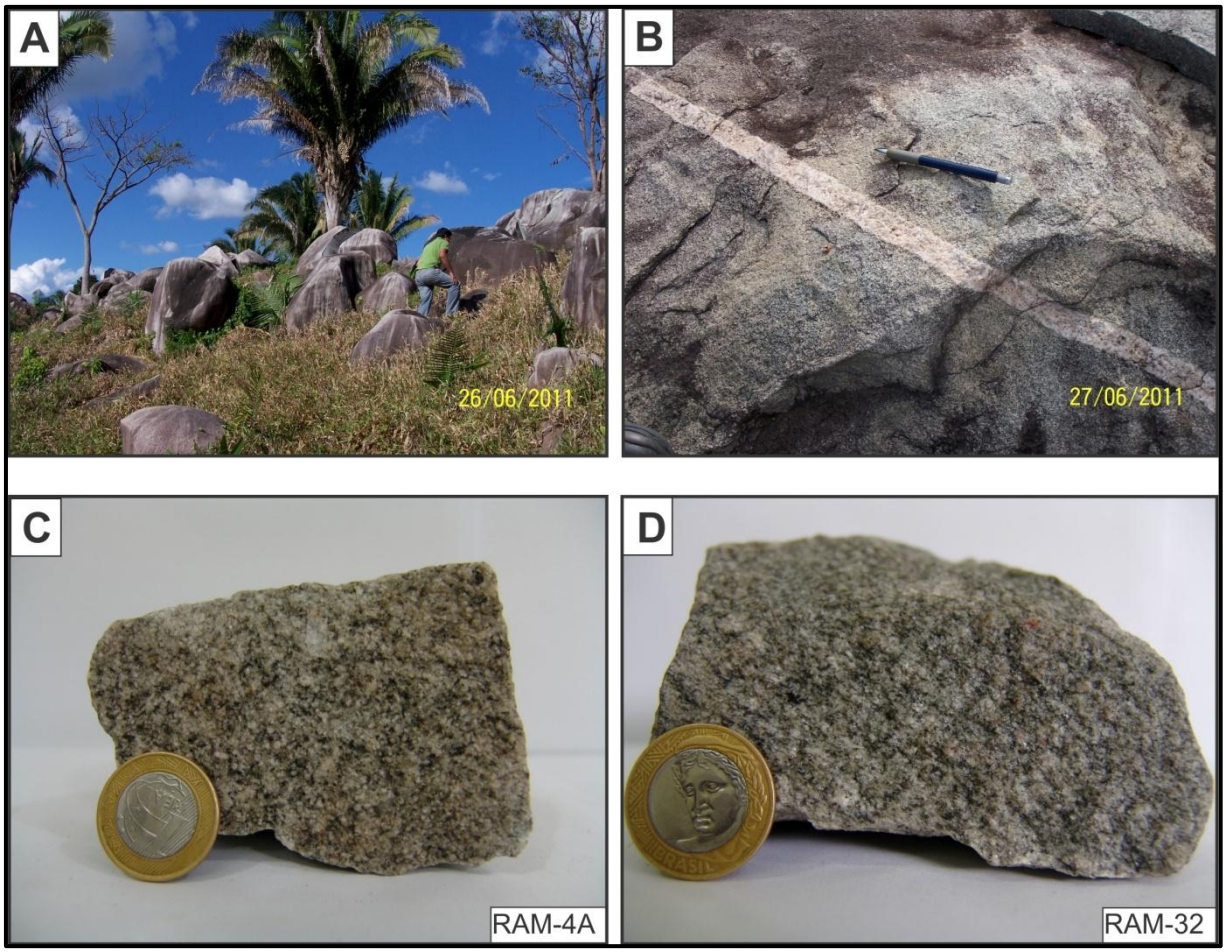
Geologia, Petrografia e Microscopia Eletrônica de Varredura, do Granodiorito Grotão, TGGRM.

O Granodiorito Grotão, corpo alvo do mapeamento geológico, ocorre em afloramentos na forma de blocos abaulados (Figura 4A), de tonalidade cinza-esbranquiçada, é cortado localmente por veios de leucogranitos e pegmatitos (Figura 4B). Ocorrem também rochas de composição tonalítica, na qual estão intrudidos os corpos granodioríticos.

As rochas de composição granodiorítica, são isotrópicas, apresentam textura fanerítica, de coloração cinza, são holocristalinas, leucocráticas, equigranulares, de granulação média (Figura 4C e D)

Sua mineralogia é representada dominantemente por plagioclásio e quartzo, e em menor proporção, por feldspato alcalino. O plagioclásio, com cristais de até 8mm, tem cor cinza-claro levemente esverdeado, ocupando proporções elevadas na rocha (aproximadamente 46%). O quartzo tem proporção modal de 33% e o tamanho médio de seus cristais fica em torno de 5mm. O álcali feldspato tem cor rosada, com proporção modal de 15% e seus cristais atingem aproximadamente 1cm. Os minerais máficos são representados por biotita (6%) e raros minerais opacos, ocorrendo de forma dispersa na rocha.

Figura 4 – A) Vista geral do afloramento, na forma de blocos abaulados; B) Granodiorito Grotão cortado por veios de leucogranitos; C) e D) Fotos das amostras de mão do Granodiorito Grotão, mostrando seus aspectos texturais.



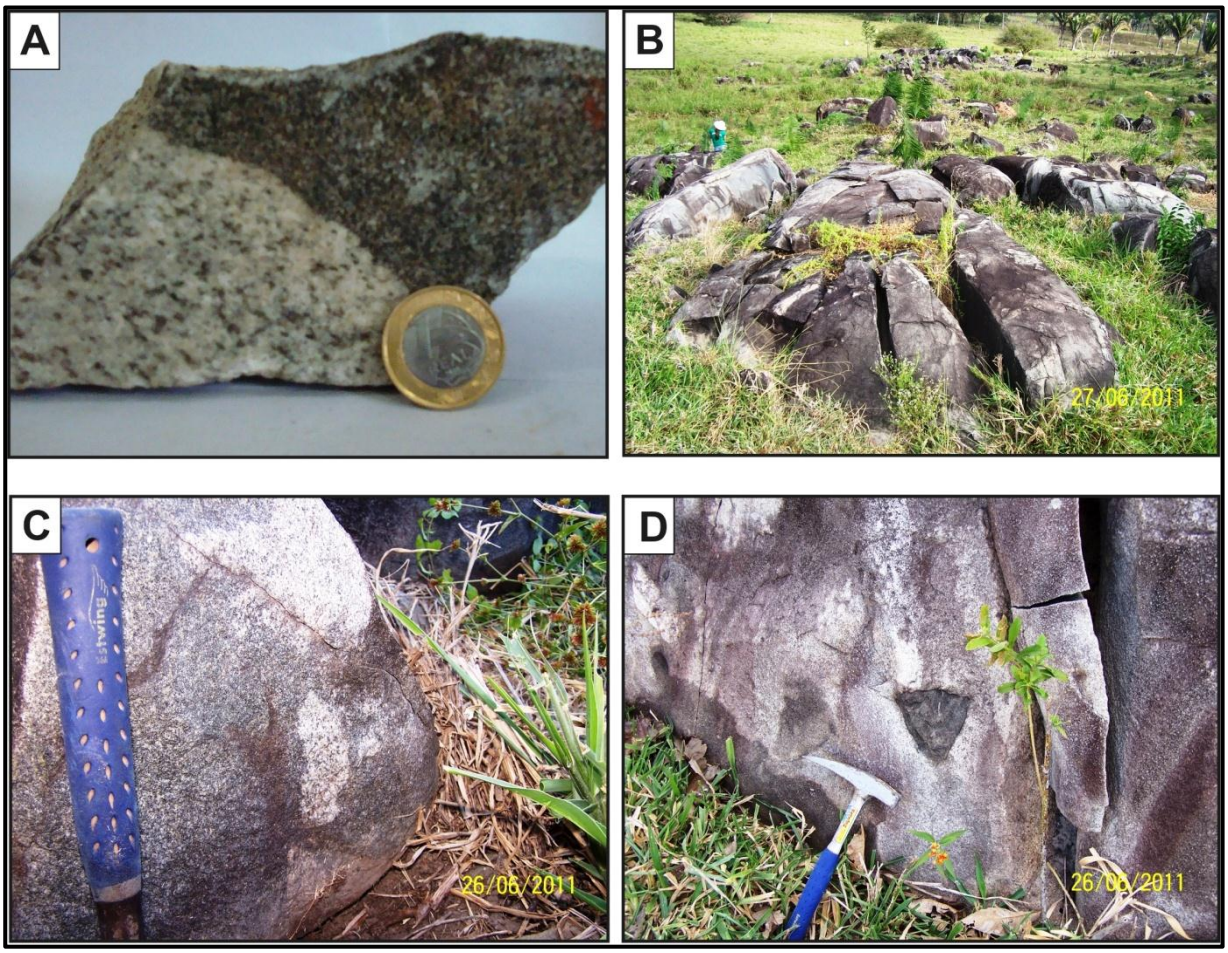
6.2 RELAÇÕES DE CONTATO ENTRE OS CORPOS E AS SUAS ENCAIXANTES

O Granodiorito é intrusivo nas rochas arqueanas aflorantes na região, definida como Tonalito Mariazinha com idade de 2924 ± 2 Almeida (2010). De modo geral os contatos entre o granodiorito e as rochas encaixantes são bruscos, bem expostos (Figura 5A), facilmente observáveis em campo e de fácil delimitação. Estas relações na maioria das vezes são inferidas pela disposição das diversas litologias no campo, onde se verificou a presença de rochas tonalíticas em contato com aquelas de composição granodioriticas.

Contatos discordantes também foram observados entre diques máficos e as rochas de composição granodiorítica (Figura 5B), a discordância entre esses corpos sugerem um evento magmático posterior para a formação desses diques. Nota-se ainda, a presença de enclaves de composição tonalítica, por vezes também de composição máfica englobados pelo granodiorito (Figura 5C e 5D). Tais enclaves

possuem dimensões centimétricas, podendo atingir até cerca de 20 cm de espessura.

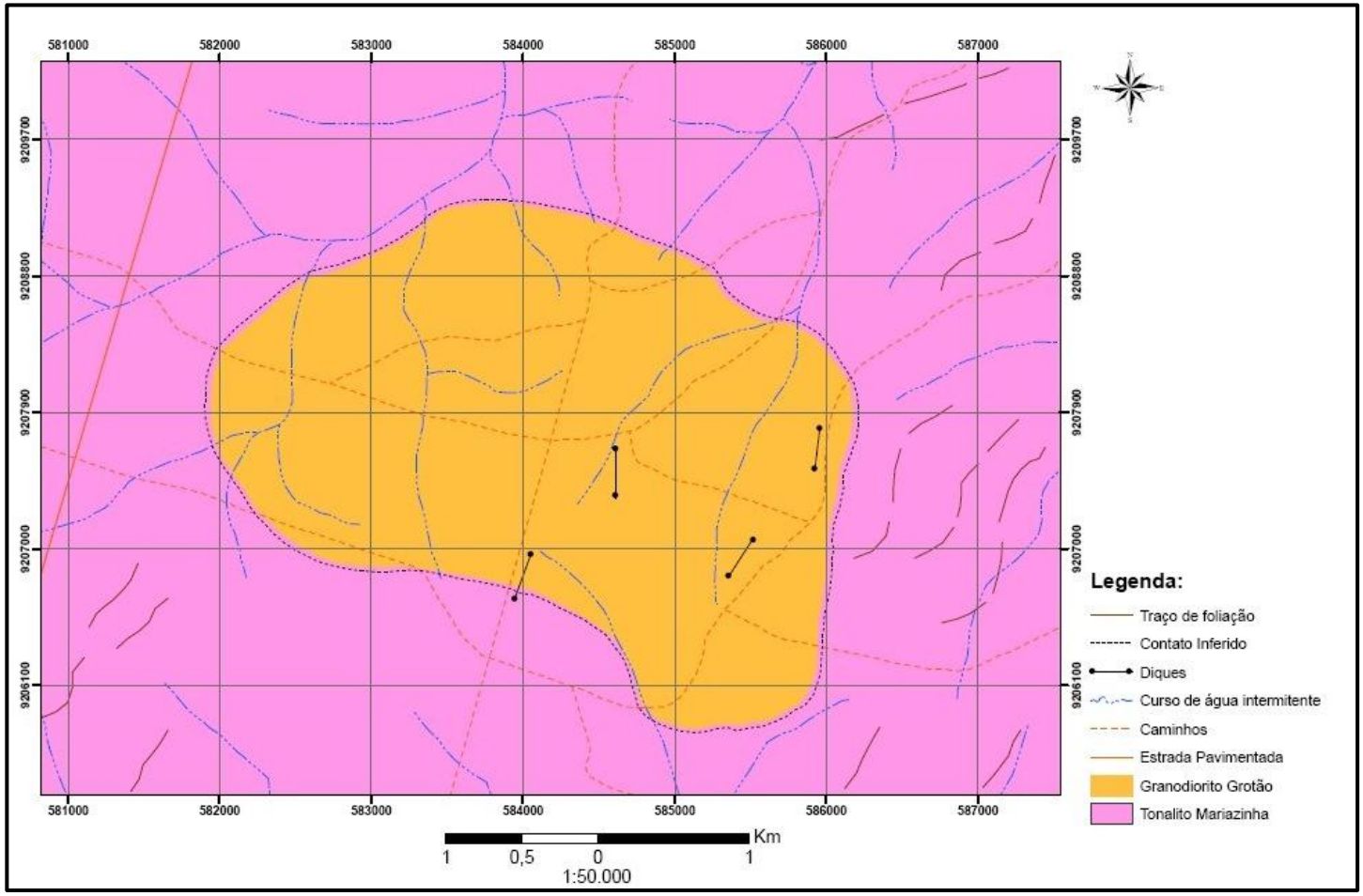
Figura 5: A) Contato brusco entre tonalito (claro) e granodiorito (escuro); B) Diques máficos discordando dos granodioritos; C) e D) Enclaves de composição tonalítica e máfica, respectivamente, sendo englobados por granodiorito.



6.3 MAPA GEOLÓGICO

A partir das observações feitas em campo, das descrições macroscópicas das amostras de mão, das descrições petrográficas, da localização dos pontos de afloramento e tendo como base o mapa de amostragem foi confeccionado o mapa geológico da área (Figura 6).

Figura 6 - Mapa geológico da área de estudo.



Fonte: Da autora.

7 **PETROGRAFIA**

7.1 ASPECTOS GERAIS

O Granodiorito Grotão, corpo principal do mapeamento geológico deste trabalho é formado por rochas leucocráticas, isotrópicas, textura granular hipidiomórfica e de granulação média. Este granitoide é constituído essencialmente por plagioclásio (60%), quartzo (29%) e álcali feldspato (11%). Como mineral varietal ocorre biotita e os minerais acessórios estão representados por epidoto, titanita, allanita, apatita, zircão e minerais opacos.

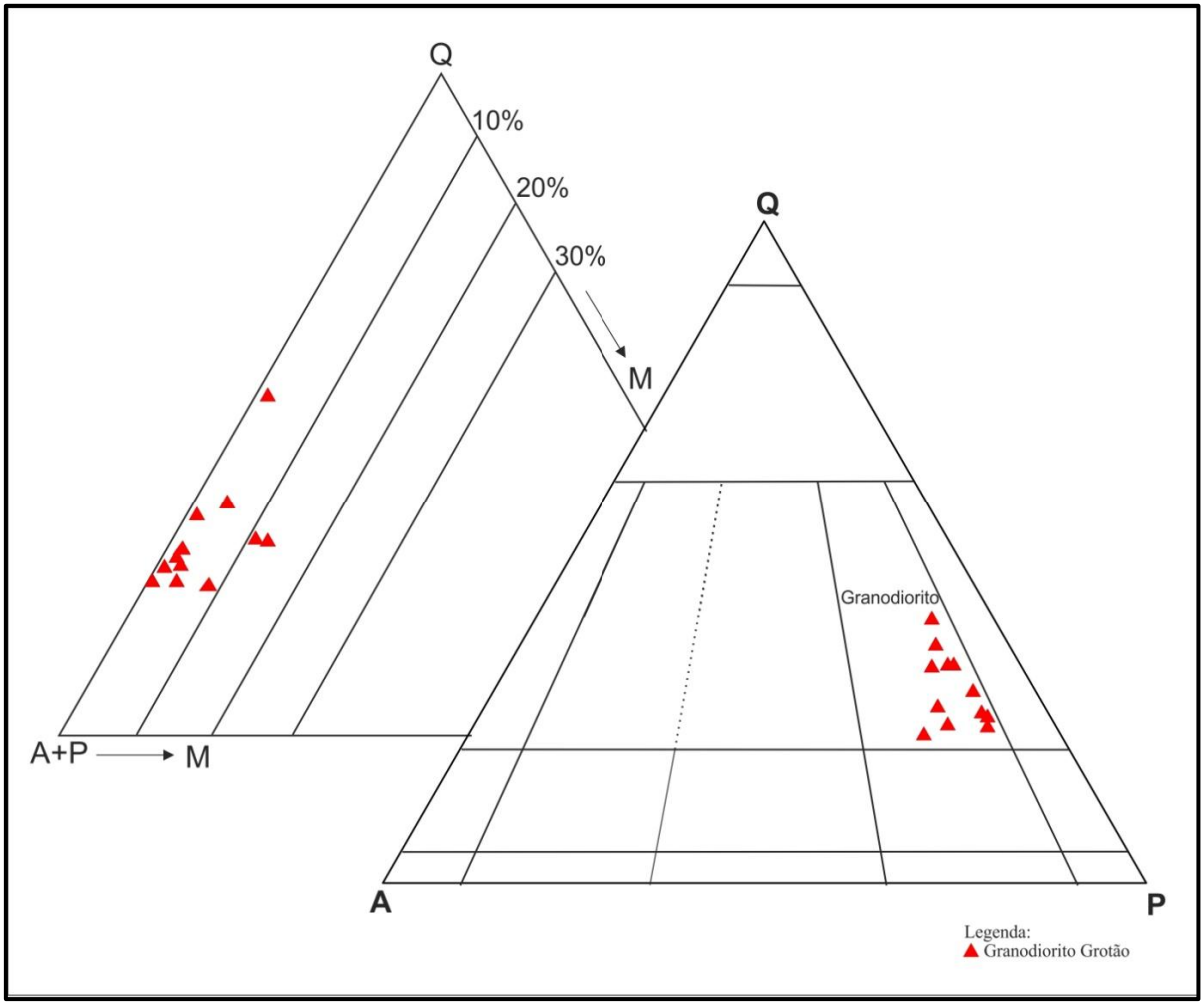
Os dados das análises modais obtidos em 12 lâminas delgadas (Tabela 2) quando plotados no diagrama Q-A-P, Streckeisen (1976) (Figura 7) incidem no campo dos granodioritos. O conteúdo médio de minerais máficos é de 5,3% e, segundo a classificação de Le Maitre (2002), essas rochas são classificadas como leucocráticas.

Tabela 2 - Dados de composições modais do Granodiorito Grotão.

Amostra / Mineral	RAM-04	RAM-05f	RAM-07	RAM-09	RAM-12	RAM-30	RAM-31c	RAM-32	RAM-34	RAM-36a	RAM-38c	RAM-41	Média
Álcali Feldspato	9,3	7,8	8,2	8,7	17,6	7,7	8,3	6,7	13	13,5	9,2	10,6	10,1
plagioclásio	55,3	49,1	65,5	64,1	58,9	50,6	63	62,6	56,6	57,7	51,3	49,2	57,0
Quartzo	32	37,8	24,8	22,5	22,4	28,7	25	27	22	26,1	34,2	29	27,6
Biotita	1,9	4,5	0,8	2,2	0,5	8,6	1,9	2,7	4,4	1,0	2,6	9,0	3,3
Titanita	0	0	0,1	0,4	0	2,2	0,3	0,1	1,1	0	0	0,6	0,4
Epidoto I	1,4	0,6	0,4	1,4	0,3	2	1,4	0,6	1,6	1,4	2,4	1	1,2
Allanita	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0,5	0	0	0,2	0,1
Zircão	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Opacos	0,1	0,2	0,2	0,4	0,3	0	0,1	0,3	0,6	0,3	0,3	0,4	0,3
Apatita	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0,0
Álcali Feldspato + Plagioclásio	64,6	56,9	73,7	72,8	76,5	58,3	71,3	69,3	69,6	71,2	60,5	59,8	67,1
A*	9,64	8,25	8,4	9,14	17,81	8,86	8,62	6,97	14,2	13,88	9,72	11,3	10,6
P*	57,24	51,84	66,5	67,26	59,55	58,16	65,42	65	61,79	59,3	54,17	60,19	60,5
Q*	33,12	39,91	25,1	23,6	22,64	32,98	25,96	28,03	24,01	26,82	36,11	28,51	28,9
Máficos	3,4	5,3	1,5	4,7	1,1	13	3,7	3,7	8,4	2,7	5,3	11,2	5,3
N° de pontos	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800

Abreviações: A- Álcali feldspato; P-Plagioclásio; Q-Quartzo.
* recalculados a 100%.
Fonte: Da autora.

Figura 7 - Diagramas Q-A+P-M e Q-A-P, para as amostras estudadas, mostrando sua composição modal.

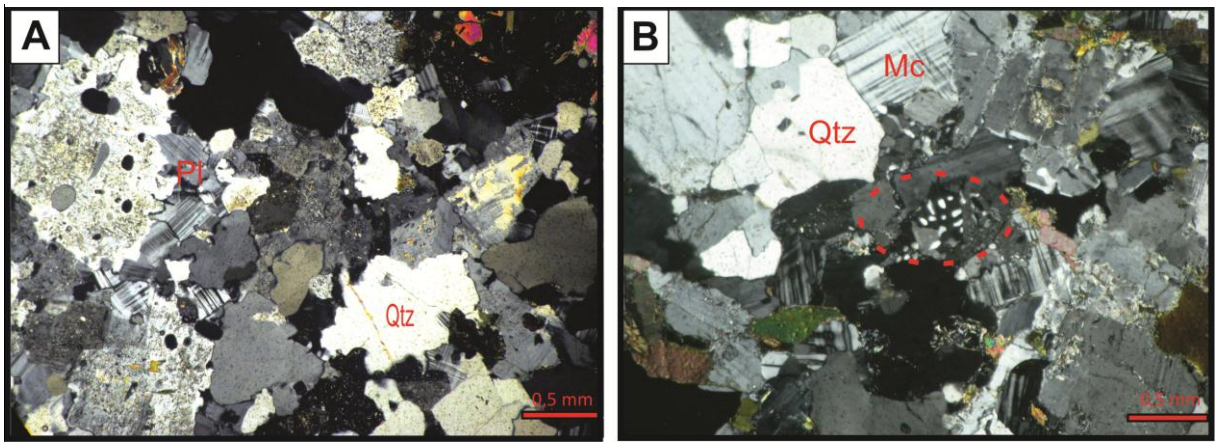


Fonte: Modificado de Streckeisen (1976); Le Maitre et al. (2002).

7.2 ASPECTOS TEXTURAIS

Neste tópico serão apresentados em detalhe, as descrições e os aspectos texturais dos principais minerais formadores de rocha presentes no biotita Granodiorito Grotão. A rocha em sua totalidade possui granulação média, textura hipidiomórfica granular (Figura 8A) e localmente textura mirmequítica (Figura 8B).

Figura 8: A) Fotomicrografia da lâmina RAM-09 mostrando textura hipidiomórfica granular (nicóis cruzados), bem como sua granulação média e B) Fotomicrografia da lâmina RAM-41 mostrando textura mirmequítica (nicóis cruzados).



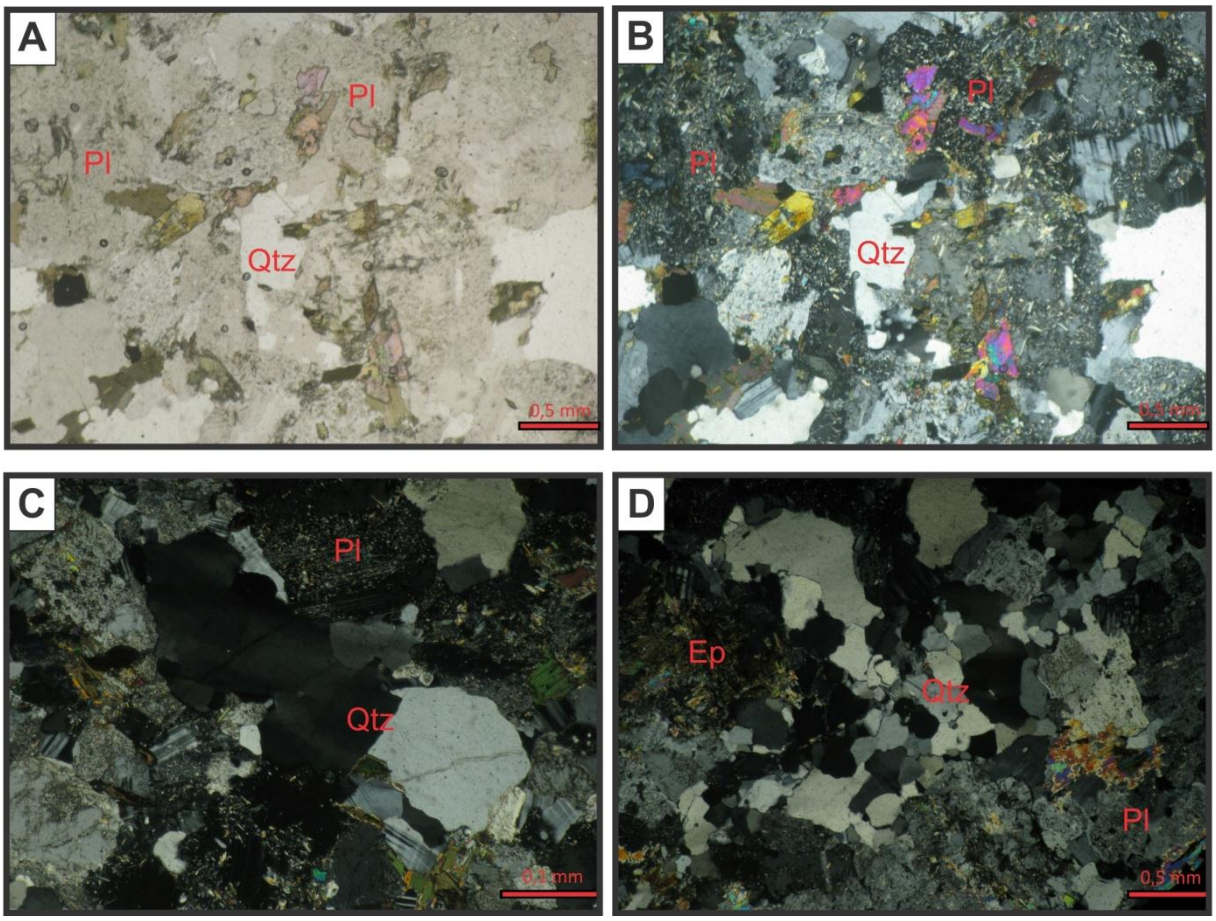
Plagioclásio (Pl)

Seus cristais são equigranulares, predominantemente hipidiomórficos, eventualmente xenomórficos, com cerca de 5mm de comprimento (Figura 9A e 9B). Apresentam maclamento albita, e com menos frequência albita Carlsbad, ocorre ainda zoneamento normal-oscilatório e alteração para epidoto e sericita, que tende a mascarar as feições originais do plagioclásio.

Quartzo (Qtz)

Seus cristais são equigranulares, xenomórficos a hipidiomórficos, com cerca de 4mm de comprimento (Figura 9C), apresentam comumente extinção ondulante. Em função da recristalização é muito comum esses cristais formarem agregados policristalinos com formas xenomórficas e granulação fina (Figura 9D). Está associado principalmente ao plagioclásio (contatos irregulares) e por vezes com a biotita (contatos retos).

Figura 9 – A) e B) Fotomicrografia da lâmina RAM-34, mostrando cristal de plagioclásio saussuritizado, luz natural e nicóis cruzados, respectivamente; C) Fotomicrografia da lâmina RAM-30, mostrando cristal de quartzo com extinção ondulante (nicóis cruzados) e D) Fotomicrografia da lâmina RAM-30, mostrando agregados policristalinos de quartzo (nicóis cruzados).



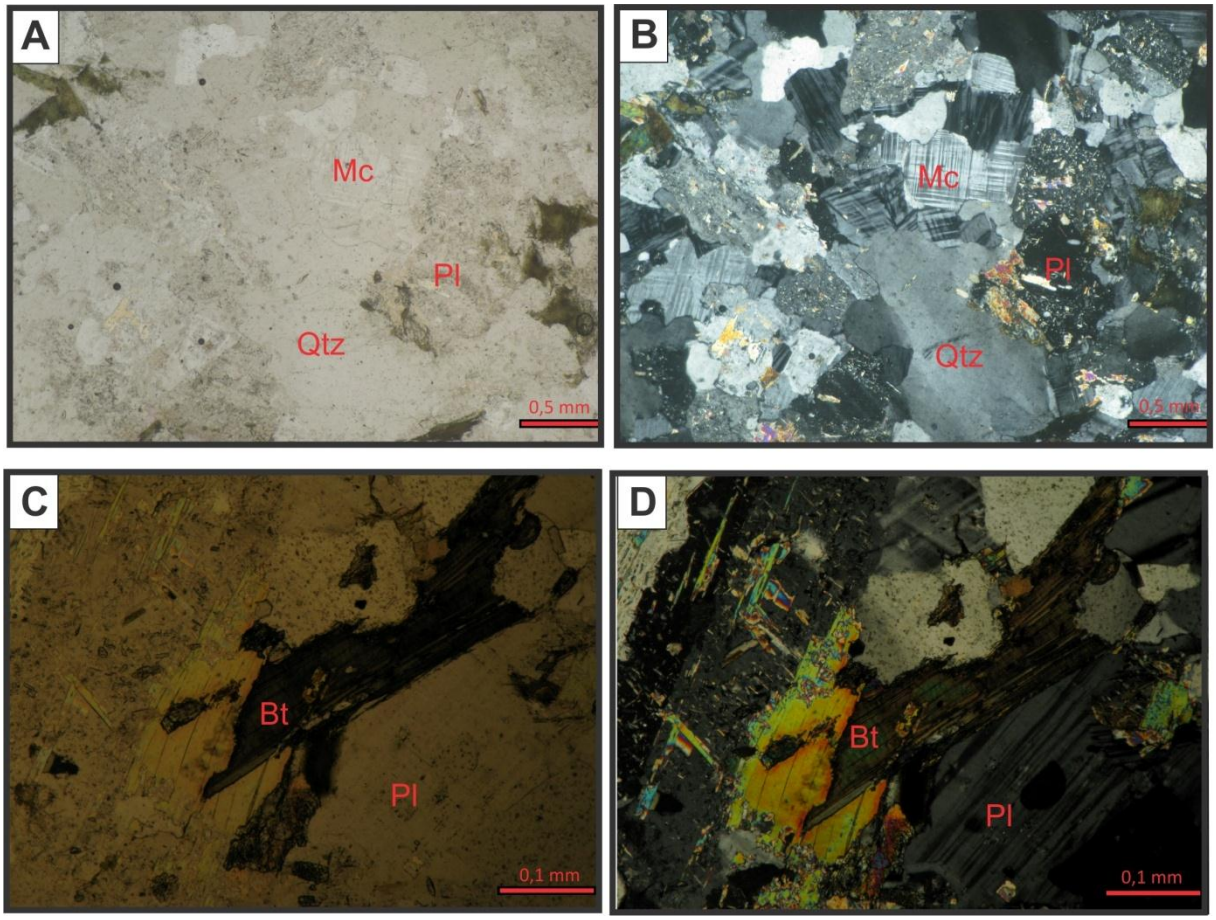
Microclina (Mc):

Seus cristais são equigranulares, hipidiomórficos, com cerca de 4 mm de comprimento, de granulação média, exibem maclamento do tipo albita-periclina (Figura 10A e 10B), apresentam inclusões de biotita, epidoto e titanita.

Biotita (Bt):

Apresenta-se como lamelas hipidiomórficas, com tamanhos variando entre 0,5 e 2,0 mm de comprimento (Figura 10C e 10D), formando agregados. Os cristais de biotita estão associados aos de epidoto e titanita. É substituída parcialmente por muscovita e clorita, e suas bordas podem mostrar feições de corrosão.

Figura 10 – A) e B) Fotomicrografia da lâmina RAM-07, mostrando cristal de microclina, com maclamento albita-periclina, luz natural e nicóis cruzados, respectivamente; C) e D) Fotomicrografia da lâmina RAM-09, mostrando lamela de biotita, luz natural e nicóis cruzados, respectivamente.



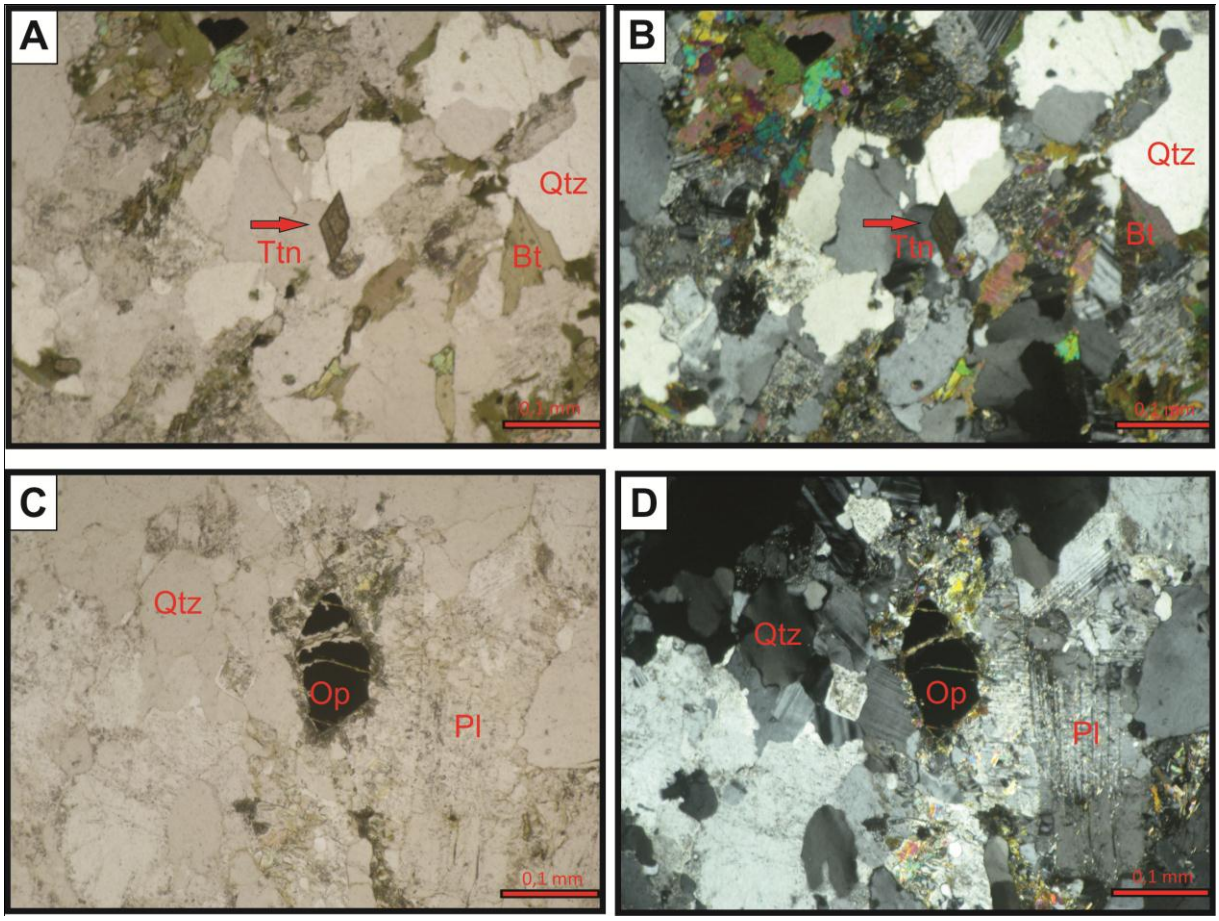
Titanita (Ttn):

Apresenta-se na forma de cristais hipidiomórficos a idiomórficos (Figura 11A e 11B), está associada com minerais opacos. Também ocorrem ao longo dos planos de clivagem da biotita, neste caso, como uma fase secundária.

Opacos (Op):

Pouco frequentes nestas rochas, ocorrem como cristais hipidiomórficos a xenomórficos, dispersos na rocha (Figura 11C e 11D).

Figura 11 – A) e B) Fotomicrografia da lâmina RAM-34, mostrando cristal de titanita, com faces idiomórficas, luz natural e nicóis cruzados, respectivamente; C) e D) Fotomicrografia da lâmina 03b, mostrando cristal de opaco, bordejado por epidoto, luz natural e nicóis cruzados, respectivamente.



Epidoto (Ep):

De acordo com suas feições texturais, podem ocorrer das seguintes formas:

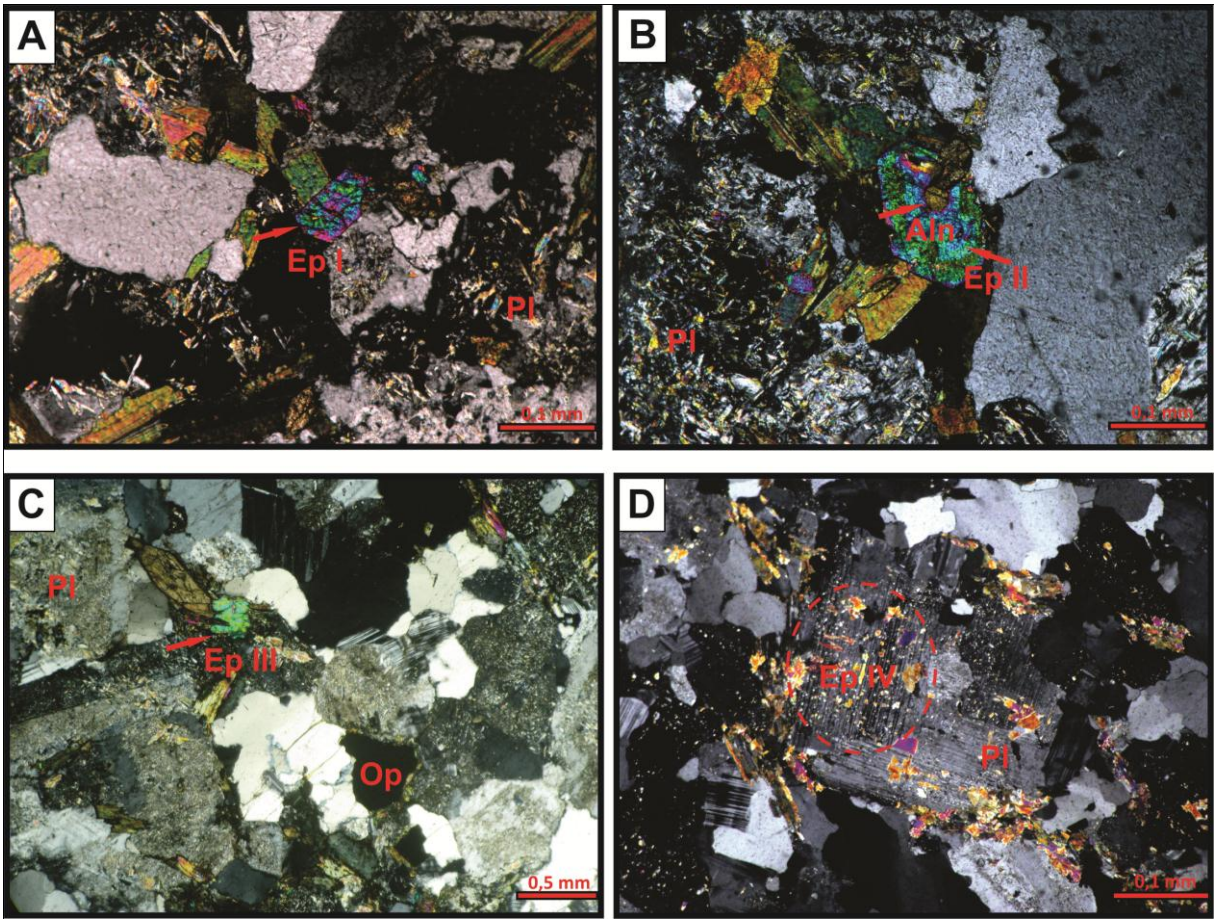
Epidoto I: São cristais idiomórficos a hipidiomórfico, inclusos ou não na biotita, (figura 12A).

Epidoto II: São cristais hipidiomórficos a xenomórficos, associados a allanita, formando um manto de espessura variável sobre este mineral, (Figura 12B).

Epidoto III: São cristais xenomórficos, com birrefrigência variando de média a alta. Ocorre disperso na rocha, (Figura 12C).

Epidoto IV: Diminutos cristais disseminados sobre cristais de plagioclásio, como produto de alteração deste mineral, (Figura 12D).

Figura 12 – A) Fotomicrografia da lâmina RAM-30, mostrando cristal de epidoto com faces idiomóficas (nicóis cruzados); B) Fotomicrografia da lâmina RAM-32, mostrando cristal de allanita, envolvido por um manto de epidoto (nicóis cruzados); C) Fotomicrografia da lâmina RAM-31C, mostrando cristal de epidoto disperso na rocha (nicóis cruzados) e D) Fotomicrografia da lâmina RAM-34, mostrando cristais de epidoto disseminados em plagioclásio.



Allanita (Aln):

Forma cristais prismáticos, geralmente idiomórficos, zonados e envolvidos por um manto de epidoto.

Apatita (Ap):

Forma cristais prismáticos, idiomórficos, de dimensões submilimétricas, dispersa na rocha e inclusa na biotita.

Zircão (Zrn):

Ocorre como cristais submilimétricos, geralmente idiomórficos, inclusos ou não na biotita e/ou plagioclásio.

Minerais Secundários:

Os minerais de alteração observados nessas rochas são sericita ± epidoto originados pelas alterações dos núcleos de composição mais cálcica do plagioclásio, clorita e muscovita derivada da biotita e argilo-minerais derivado das microclinas.

7.3 ORDEM DE CRISTALIZAÇÃO

Levando em consideração principalmente as relações de contato entre os diversos minerais constituintes, modo de ocorrência e transformações mineralógicas associadas, estabeleceu-se a possível sequência de cristalização do biotita Granodiorito Grotão (Figura 13).

O início do estágio magmático é marcado pelo aparecimento dos minerais acessórios, apatita, zircão e minerais opacos, que se apresentam de forma geralmente idiomórfica; não foram observadas relações que levem a uma ordem relativa de cristalização entre essas fases; em geral ocorrem como inclusões nos plagioclásios e quartzo, sugerindo sua cristalização precoce.

Os minerais essenciais começaram a se formar após o início da cristalização da apatita, zircão e minerais opacos. O primeiro mineral essencial a se cristalizar é o plagioclásio que geralmente é hipidiomórfico. A forma dos cristais de plagioclásio é indicativa de que os mesmos cristalizaram a partir de um magma ainda com baixa razão cristal/líquido, de modo a permitir o crescimento livre dos cristais. A cristalização inicia-se com a formação dos núcleos cálcicos de plagioclásio, com as zonas mais sódicas formando-se nos estágios mais tardios, onde geralmente apresentam inclusões de biotita e quartzo.

Após a cristalização do plagioclásio, inicia-se a formação dos cristais de allanita, que são geralmente idiomórficos; não se observam ocorrências destes minerais, como inclusões em feldspatos e quartzo.

A titanita ocorre na forma idiomórfica, comumente inclusa em cristais de biotita. A forma idiomórfica da titanita pode indicar que esta iniciou sua cristalização um pouco antes do epidoto (ep1), com faces idiomórfica a hipidiomórficas.

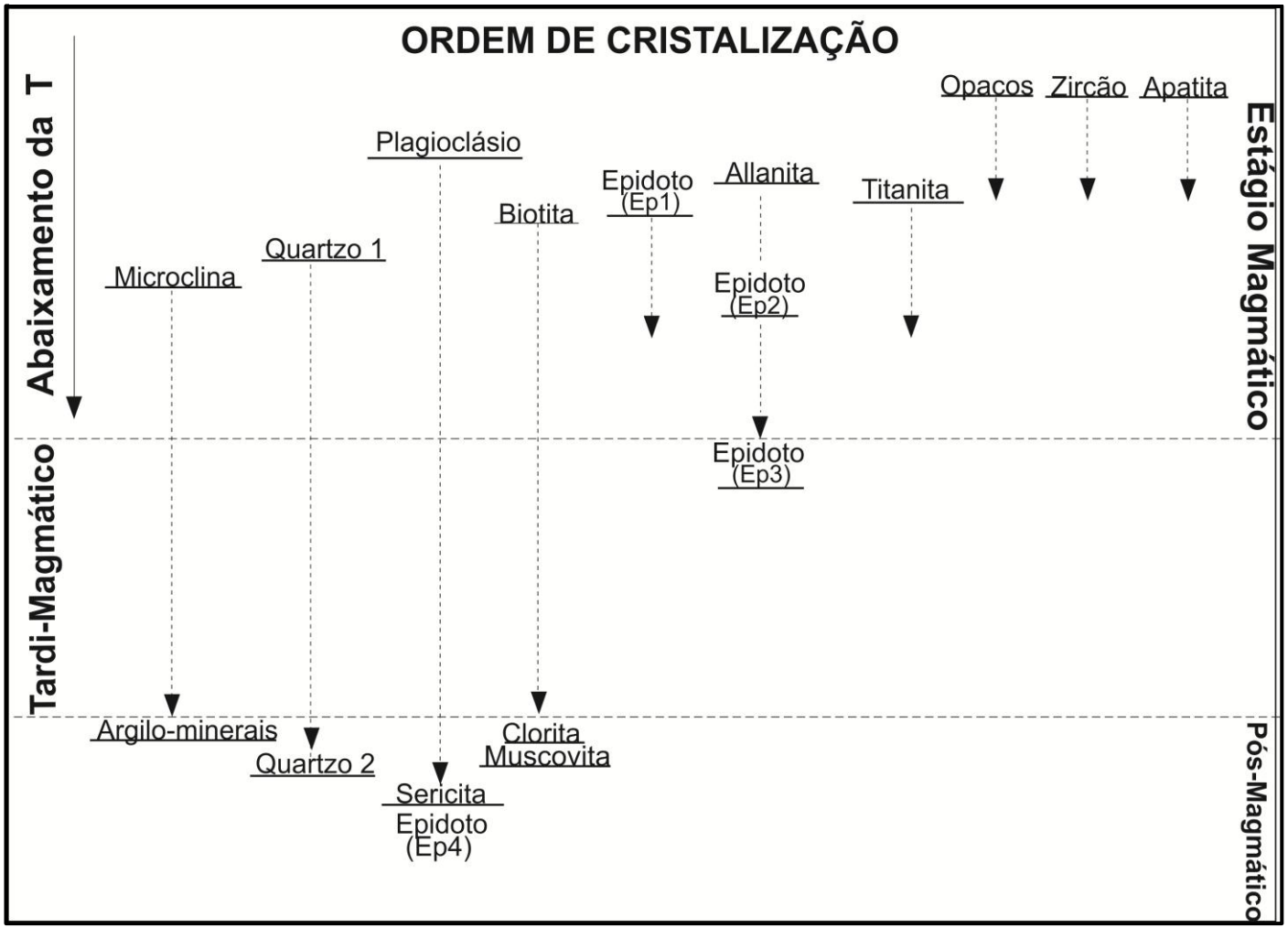
A cristalização da biotita iniciou-se após a formação do plagioclásio, devido suas relações de inclusão. Seus cristais apresentam-se na forma de lamelas hipidiomórfica de contornos irregulares, quando em contato com quartzo.

A ordem de cristalização entre quartzo e a microclina é um pouco difícil de se estabelecer. No entanto, as proporções elevadas de quartzo, indicam que o início da sua cristalização pode ter antecedido o da microclina.

No estágio pós-magmático tem-se a formação dos minerais provenientes das transformações mineralógicas; ocorre a saussuritização do plagioclásio formando diminutos cristais de epidoto e sericita. Contemporâneo a isso, ocorre formação de clorita e muscovita a partir da desestabilização das lamelas de biotita e, ainda, o surgimento de argilo-minerais provenientes da microclina. Efeitos deformacionais são retratados principalmente pelo fraturamento e recristalização dos minerais, tal como o quartzo.

Geologia, Petrografia e Microscopia Eletrônica de Varredura, do Granodiorito Grotão, TGGRM.

Figura 13: Ordem de cristalização dos minerais formadores do biotita Granodiorito Grotão.



Fonte: Da autora.

8 **ANÁLISE MINERALÓGICA POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA**

8.1 ASPECTOS GERAIS

Análises de MEV-EDS (*Energy Dispersive Spectrometry)* permitem caracterizar geoquimicamente fases minerais constituintes das rochas, como minerais acessórios e varietais, embora os resultados obtidos sejam semiquantitativos, fornecem uma aproximação satisfatória da composição real do mineral analisado.

As análises foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LABMEV) do Instituto de Geociências/UFPA, utilizando um microscópio eletrônico de varredura (MEV) da marca LEO-ZEISS, modelo 1430. As lâminas das rochas analisadas foram metalizadas a carbono para obtenção de imagens de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas por EDS. As condições de análise foram: corrente de feixe = 90 µa, voltagem de aceleração constante = 20 Kv, distância de trabalho = 15 mm, tempo de análise = 30 s com 3000 a 4000 c/s para cada análise.

A tabela 3 apresenta os minerais identificados nas quatro amostras deste estudo.

Tabela 3 - Principais fases mineralógicas identificadas por MEV nos biotita Granodiorito Grotão.

Amostra / Mineral	RAM-05f	RAM-07	RAM-09	RAM-34
Biotita	■	■	■	■
Magnetita	■			■
Ilmenita	■	■	■	
Monazita			■	
Apatita	■			
Titanita	■	■		
Allanita	■		■	
Zircão	■	■	■	■

8.2 ANÁLISE DOS MINERAIS

8.2.1 **Biotita**

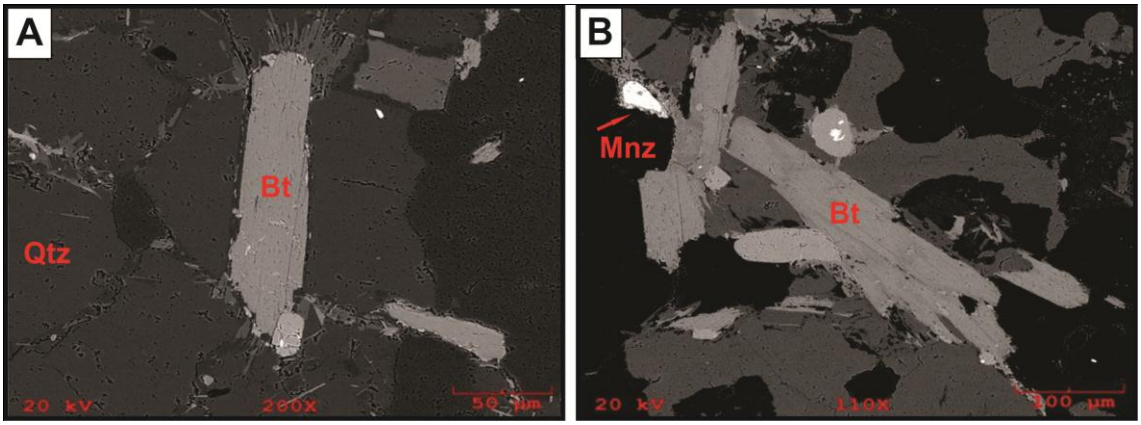
A biotita é o único mineral varietal presente nesta rocha, apresenta-se hipidiomórfica e pouco cloritizada (Figura 14A e B). As 50 análises de EDS realizadas apresentaram, de modo geral, uma razão Fe/Mg média entre 1,85 e 4,26. A tabela 4 exibe os conteúdos elementares médios encontrados nas biotitas do Granodiorito Grotão.

Tabela 4 - Análises de EDS mostrando os teores médios dos elementos (% em peso) analisados nas biotitas.

Elemento / Amostra	O	F	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe
RAM-05f	40,6	0,6	5,0	9,3	18,9	0,0	8,1	0,1	1,1	0,3	16,0
	41,6	0,7	5,1	9,4	18,5	0,0	7,6	0,2	1,2	0,3	15,4
	39,2	0,5	4,9	9,0	19,0	0,0	8,1	0,2	1,3	0,3	17,5
	42,0	0,7	5,1	9,0	18,5	0,1	7,5	0,2	1,1	0,3	15,5
	40,3	1,0	4,5	9,1	18,5	0,1	8,1	0,1	1,2	0,3	16,9
	39,5	1,0	4,6	9,3	18,3	0,1	8,0	0,2	1,3	0,3	17,4
	39,5	0,6	4,3	9,4	18,7	0,1	8,3	0,2	1,4	0,3	17,2
	40,8	0,4	5,3	9,2	18,6	0,1	7,8	0,2	1,0	0,4	16,0
	41,4	0,7	5,1	9,1	18,3	0,1	7,9	0,2	1,2	0,3	15,7
	37,5	0,9	5,4	9,7	20,0	0,1	8,3	0,2	1,3	0,2	16,3
RAM-07	39,0	1,2	5,3	9,2	18,9	0,1	7,8	0,5	0,9	0,3	16,8
	39,8	1,2	5,0	9,3	18,9	0,1	8,2	0,1	0,8	0,1	16,5
	40,8	1,0	5,0	8,8	18,3	0,1	7,4	1,5	1,7	0,1	15,4
	37,8	1,2	5,2	9,5	19,4	0,1	8,1	0,6	1,1	0,3	16,8
	40,0	0,4	5,1	8,9	18,9	0,1	8,4	0,2	0,8	0,1	17,1
	39,0	1,0	4,9	9,5	19,3	0,0	8,4	0,1	0,7	0,2	16,7
	40,8	0,7	5,1	9,2	18,7	0,0	7,9	0,1	0,7	0,2	16,6
	40,0	1,2	5,0	9,1	18,7	0,1	8,4	0,1	0,8	0,2	16,3
	42,8	0,4	7,1	10,1	15,7	0,0	1,6	0,3	0,4	0,2	21,4
	39,4	1,1	4,8	9,5	19,1	0,1	8,2	0,1	0,7	0,3	16,8
RAM-09	40,5	1,5	4,2	9,5	18,1	0,0	7,2	0,3	0,8	0,1	17,8
	40,3	0,4	4,0	9,4	18,5	0,0	7,8	0,2	0,9	0,3	18,2
	39,9	0,9	3,9	9,5	18,6	0,0	8,0	0,2	0,7	0,3	17,9
	43,1	0,6	5,0	9,1	16,3	0,1	2,6	1,3	0,3	0,2	21,2
	40,2	0,9	4,0	9,4	18,3	0,1	7,4	0,3	0,8	0,3	18,2
	39,8	0,4	4,0	9,4	18,6	0,0	7,9	0,3	0,8	0,2	18,6
	39,0	1,2	3,9	9,5	18,7	0,1	7,6	0,3	0,8	0,2	18,7

RAM-09	41,1	0,9	4,4	9,3	17,8	0,1	6,2	0,2	0,6	0,4	19,0
	40,1	0,8	4,4	9,3	19,0	0,1	8,0	0,1	0,8	0,2	17,4
	39,0	1,0	3,9	9,5	18,4	0,1	8,3	0,2	0,9	0,4	18,5
	38,8	1,5	4,1	9,5	18,5	0,2	8,0	0,2	0,9	0,3	18,3
	40,1	1,3	4,1	9,4	18,1	0,0	8,1	0,2	0,9	0,2	17,6
	39,5	1,2	4,3	9,6	18,2	0,1	7,8	0,2	0,7	0,2	18,2
	44,6	1,1	6,2	8,1	14,9	0,0	1,4	0,1	0,2	0,3	23,0
	39,4	1,1	4,0	9,4	18,0	0,1	8,0	0,1	0,9	0,3	18,9
	40,0	1,0	4,1	9,1	18,4	0,0	7,8	0,2	0,7	0,3	18,3
	39,8	1,1	4,3	9,4	18,6	0,1	7,8	0,1	0,9	0,3	17,6
	44,2	0,9	6,0	8,6	15,2	0,0	1,4	0,2	0,2	0,2	23,0
RAM-34	40,8	0,5	7,2	8,7	19,4	0,1	8,2	0,2	1,1	0,3	13,5
	41,2	0,3	7,1	8,5	19,4	0,1	7,9	0,4	1,1	0,3	13,7
	40,9	0,7	7,0	8,7	19,6	0,1	8,1	0,2	1,0	0,3	13,3
	40,6	1,0	7,1	8,5	19,2	0,1	8,1	0,2	1,0	0,4	13,7
	39,4	1,3	7,1	8,6	19,9	0,1	8,3	0,1	1,1	0,3	13,8
	40,8	0,7	7,4	8,5	19,8	0,1	8,2	0,1	1,1	0,4	12,8
	41,8	0,1	7,1	8,9	19,5	0,1	8,1	0,2	1,2	0,3	12,8
	41,2	1,0	7,4	8,8	19,4	0,1	8,2	0,1	1,1	0,3	12,5
	40,8	1,2	7,0	8,7	19,2	0,1	8,0	0,2	1,1	0,2	13,5
	44,2	0,7	7,7	7,2	18,1	0,0	1,4	4,1	3,8	0,2	12,4
	40,7	0,5	6,8	9,0	19,6	0,1	8,5	0,2	1,0	0,4	13,2
	39,9	1,4	7,0	8,9	19,6	0,1	8,4	0,2	1,1	0,2	13,2

Figura 14 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV. A) Cristais hipidiomórfica de biotita, inclusa em cristal quartzo (RAM-05). B) Cristal de biotita, em contato com plagioclásio (RAM-07).



8.2.2 **Minerais Opacos**

Os minerais opacos foram caracterizados por meio de imagens de elétrons retroespalhados e análise semiquantitativas de EDS, entre os minerais opacos, observou-se magnetita e ilmenita (Tabela 5).

Magnetita

A magnetita está presente nas amostras RAM-05f e RAM-34, ocorre em geral, como finos cristais xenomórficos, por vezes bordejados por cristais de titanita, dispersos aleatoriamente (Figura 15A).

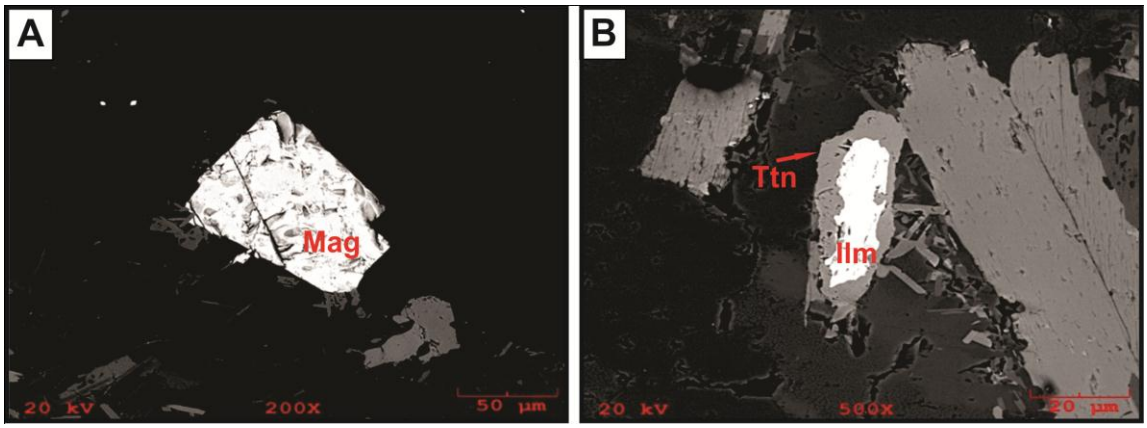
Ilmenita

A Ilmenita está presente em todas as amostras, com exceção da RAM-34, ocorre como cristais hipidiomórficos, substituindo a magnetita e também sendo bordejada por titanita (Figura 15B).

Tabela 5 **-** Análises de EDS mostrando os teores médios dos elementos (% em peso), analisados nas magnetitas e ilmenitas.

Elemento / Amostra	O	Fe	Ti	Mn	Ni	Cu	Zn	Mineral
RAM-05f	32,4	32,9	31,4	3,2	0,0	0,0	0,0	Ilmenita
	30,5	68,8	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3	Magnetita
RAM-07	29,8	33,4	35,8	1,0	0,0	0,0	0,0	Ilmenita
	43,8	27,3	27,7	1,2	0,0	0,0	0,0	Ilmenita
	32,5	31,8	32,2	3,4	0,0	0,0	0,0	Ilmenita
RAM-09	38,2	29,1	29,6	3,1	0,0	0,0	0,0	Ilmenita
	33,2	30,4	32,1	4,3	0,0	0,0	0,0	Ilmenita
	32,4	31,5	32,1	4,0	0,0	0,0	0,0	Ilmenita
RAM-34	25,7	73,4	0,0	0,0	0,2	0,3	0,4	Magnetita
	23,5	68,3	0,0	0,0	5,5	2,7	0,0	Magnetita
	29,1	70,2	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	Magnetita
	29,3	70,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	Magnetita

Figura 15 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV. A) Cristal de magnetita xenomórfico, disperso na rocha (RAM-34). B) Cristal de Ilmenita, bordejado por titanita (RAM-05f).

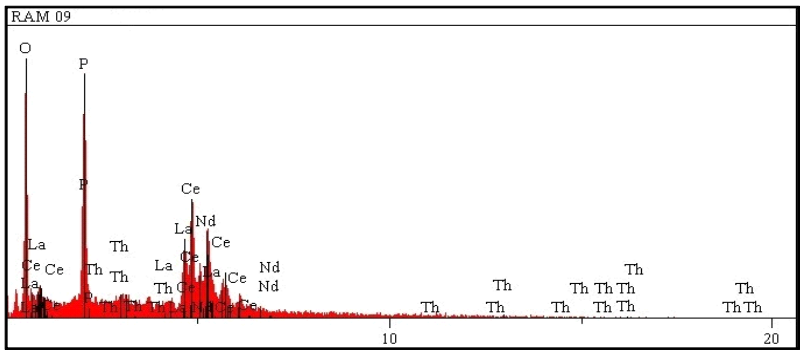


8.2.3 **Monazita**

Aparece somente na amostra RAM-09 como cristal xenomórfico (Figura 16A). Apresenta teores elevados de La e Ce (Tabela 6, exibindo o conteúdo elementar médio).

Tabela 6 - Análises de EDS mostrando os teores médios dos elementos (% em peso), juntamente com o espectro, analisado na Monazita.

Amostra / Elemento	RAM-09
O	23,5
P	14,1
La	18,0
Ce	35,5
Nd	7,0
Th	1,9



8.2.4 **Apatita**

Ocorre somente na amostra RAM-05f, apresenta-se de como cristais finos xenomórficos a hipidiomórficos, de hábito prismático a subarredondado, comumente associada à allanita (Figura 16B), apresenta baixos teores de Ce e La e elevado de F (Tabela 7, exibindo o conteúdo elementar médio).

Tabela 7 - Análises de EDS mostrando o teor médio dos elementos (% em peso), juntamente com o espectro, analisado na Apatita.

Amostra / Elemento	RAM-05f
O	36,9
F	2,9
P	20,5
Ca	38,3
Sr	0,3
La	0,6
Ce	0,4

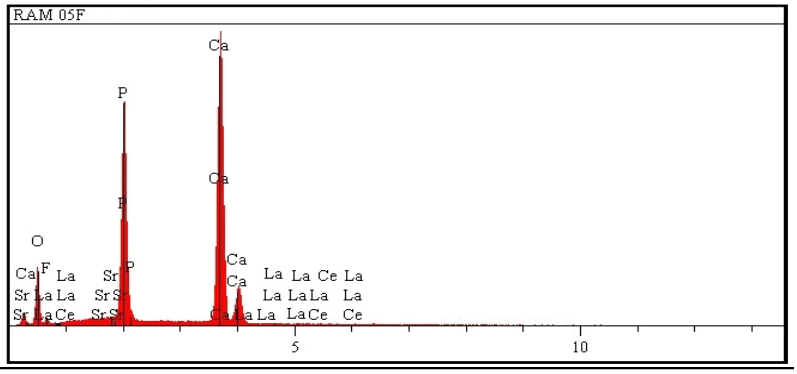
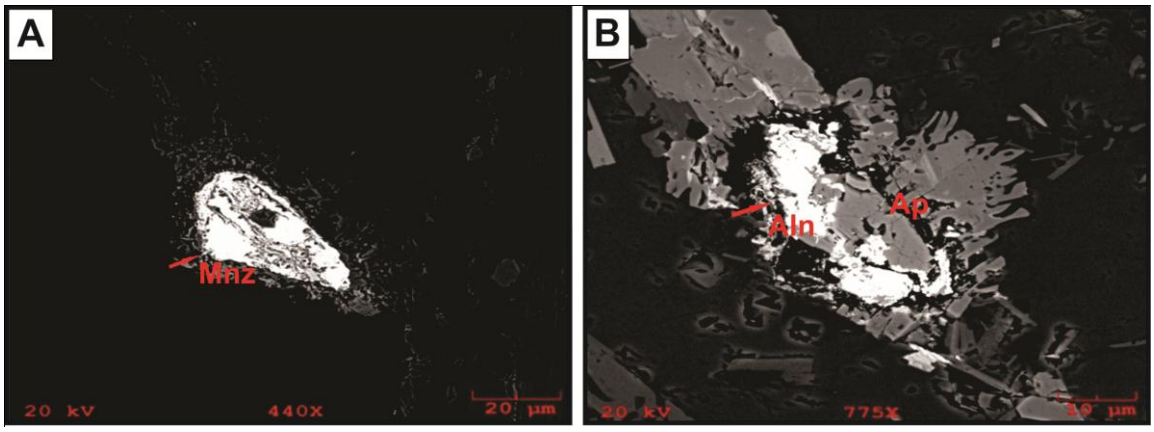


Figura 16 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV. A) Cristais xenomórfico de monazita (RAM-09); B) Cristal de apatita em contato com cristal de allanita (RAM-07).

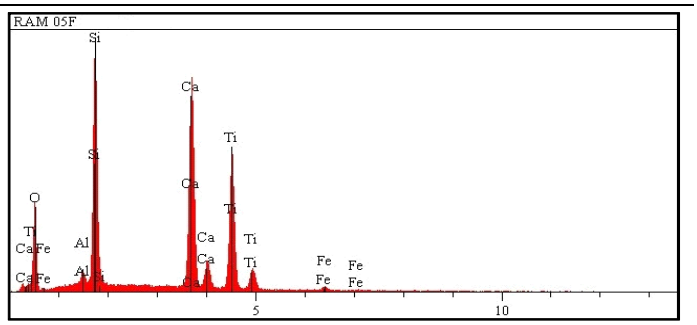


8.2.5 **Titanita**

Ocorre nas amostras RAM-05f e RAM-07, geralmente com forma xenomórfica. Associa-se comumente aos cristais de Ilmenita (Figura 17A). Apresenta baixos teores de Fe (Tabela 8, exibindo o conteúdo elementar médio).

Tabela 8 - Análises de EDS mostrando os teores médios dos elementos (% em peso), juntamente com o espectro, analisado nas Titanitas.

Amostra / Elemento	Ram-05f		Ram-07
O	37,8	41,3	39,2
Al	0,7	0,8	1,2
Si	16,7	16,3	16,5
Ca	21,2	19,5	20,9
Ti	23,3	21,2	22,0
Fe	0,3	1,0	0,2



8.2.6 **Allanita**

Ocorrem nas amostras RAM-05f e RAM-09, exibindo cristais prismáticos xenomórficos a hipidiomórficos, (Figura 17B), associados geralmente à biotita. Apresenta teor médio de La e altos teores de Ce (Tabela 9, exibindo o conteúdo elementar médio).

Tabela 9 - Análises de EDS mostrando os teores médios dos elementos (% em peso), juntamente com o espectro, analisado nas Allanitas.

Amostra / Elemento	RAM-05f	RAM-09
O	23,58	25,32
Al	0,65	0,73
Si	1,15	5,50
P	12,82	12,17
Ca	8,50	8,96
La	17,29	13,97
Ce	23,50	17,50
Nd	4,68	3,14
Th	7,84	12,71

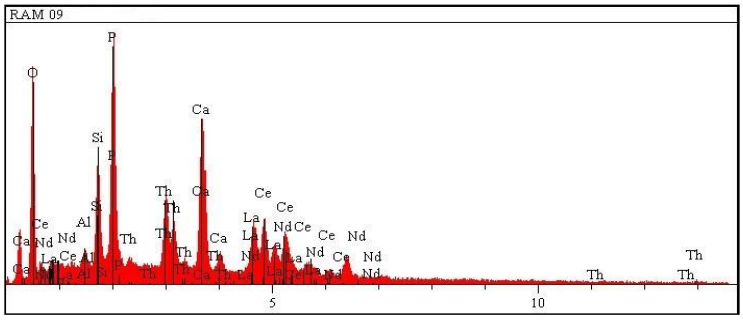
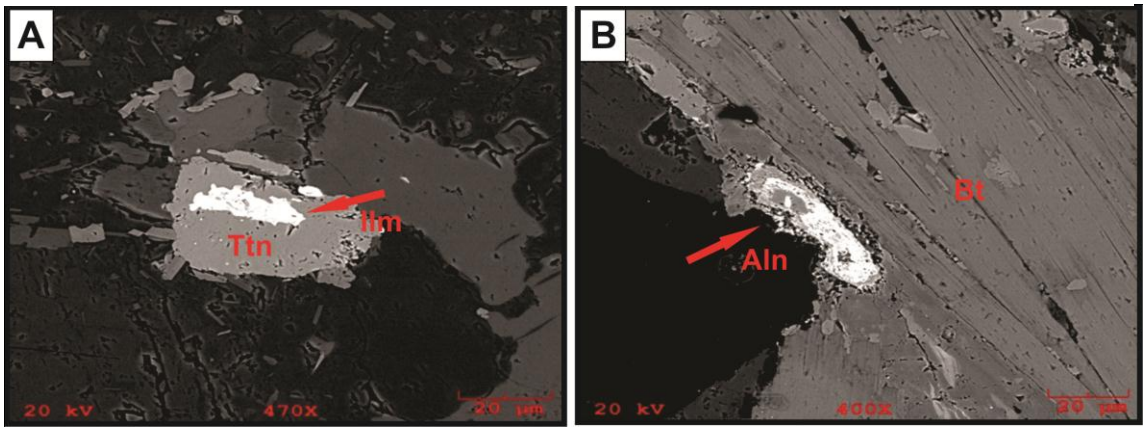


Figura 17 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV. A) Cristal de titanita com centro de ilmenita (RAM-05f) e B) Cristal de allanita em contato com cristal de biotita (RAM-09).



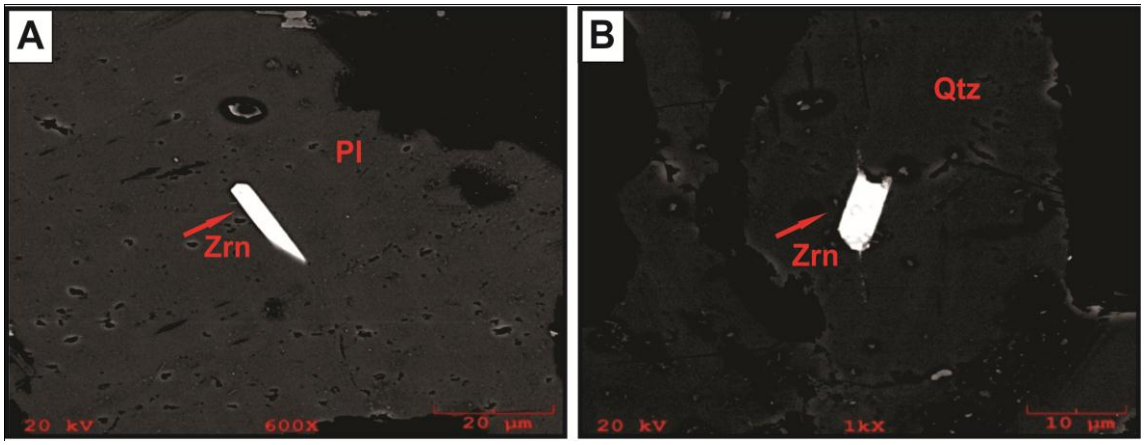
8.2.7 **Zircão $ZrSiO_4$**

É comum nas quatro amostras estudadas, ocorrem como finos cristais hipidiomórficos; as imagens de elétrons retroespalhados não permitiram observar zoneamentos (Figura 18A e B), Apresenta baixo teor de Hf e Th (Tabela 10, exibindo o conteúdo elementar médio).

Tabela 10 - Análises de EDS mostrando o teor médio dos elementos (% em peso), analisado nos zircões.

Amostra / Elemento	RAM-05f	RAM-07	RAM-09	RAM-34	
O	21,8	17,4	21,5	18,4	16,4
Si	13,9	13,7	13,6	13,5	13,7
P	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Ca	0,4	0,2	0,8	0,5	0,4
Y	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5
Zr	57,3	58,0	58,4	57,2	57,8
Nb	1,7	1,8	1,6	1,5	1,8
Ba	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4
Ce	0,7	0,5	0,5	0,4	0,4
Hf	1,8	1,8	1,8	1,7	1,9
Ta	1,5	1,5	1,6	1,5	1,6
Th	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
U	0,3	0,1	0,2	0,2	0,3

Figura 18 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV. A) Cristais hipidiomórficos de zircão incluso em cristal de plagioclásio (RAM-07) e B) Cristal de zircão incluso em cristal de quartzo (RAM-09).



9 **DISCUSSÕES**

9.1 COMPARAÇÕES ENTRE OS GRANODIORITOS GROTÃO E RIO MARIA, COM BASE EM MEV-EDS.

No TGGRM, os biotita granodioritos ocorrem de modo expressivo na área de Vila Marajoara, onde três *stocks* compõem a Suíte Guarantã, Dias (2009), Almeida et al. (2010), ou em pequenos corpos, os quais não se encontram representados nos mapas geológicos e são muitas vezes confundidos com leucogranitos cálcico-alcalinos ou com produtos de diferenciação local dos demais granitóides do TGGRM.

Corpos de biotita granodioritos, associados ao Granodiorito Rio Maria em sua área-tipo foram descritas por Medeiros (1987), que os interpretou como termos mais evoluídos derivados do magma formador do Granodiorito Rio Maria. Guimarães (2009) nomeou esses corpos como Granodiorito Grotão e os diferenciou através de análises petrográficas e químicas.

Análises de MEV-EDS foram realizadas em zircões e biotitas do Granodiorito Grotão e Rio Maria, com o objetivo de complementar os trabalhos existentes e verificar se tais rochas seriam provenientes do mesmo magma gerador ou se, realmente, são duas unidades distintas.

9.1. 2 **Zircões**

A elevada estabilidade química do zircão, associada à ocorrência em sua estrutura interna de elementos-traço como Hf, Y, Nb, Th, U, ETR, Ca, e P, pode ser útil na identificação da natureza geoquímica da rocha fonte, na caracterização de fracionamento magmático e em estudos de proveniência de zircões detríticos de rochas sedimentares, e na avaliação preliminar do potencial metalogenético de sua rocha hospedeira, Murali et al. (1983), Uher et al. (1998), Pupin (1980) e (2000), Wang et al. (2000), Belousova e Griffin (2002), Kempe et al. (2004) e Lamarão et al. (2007), (2011) e (2012).

Foram selecionadas cinco amostras representativas do Granodiorito Grotão (RAM-05f, RAM-07, RAM-09, RAM-34 e FRM-49). A amostra FMR-49 pertencente ao Granodiorito Grotão e ADR-03A ao Granodiorito Rio Maria, foram gentilmente cedidas por Ramalho, I.O.M - dados inéditos (em

preparação). Foram analisados por EDS os elementos O, Si, P, Ca, Y, Zr, Nb, Ba, Ce, Hf, Ta, Th e U, num total de 38 análises (Apêndice B). Os conteúdos de Nb, Ta, Y e Zr (% em peso) foram plotados nos diagramas geoquímicos Y x Nb (Figura 19) Nb x Ta (Figura 20), Y x Ta (Figura 21) e Zr/Nb x Nb/Ta (Figura 22).

Figura 19 - Diagrama geoquímico Y x Nb (% peso).

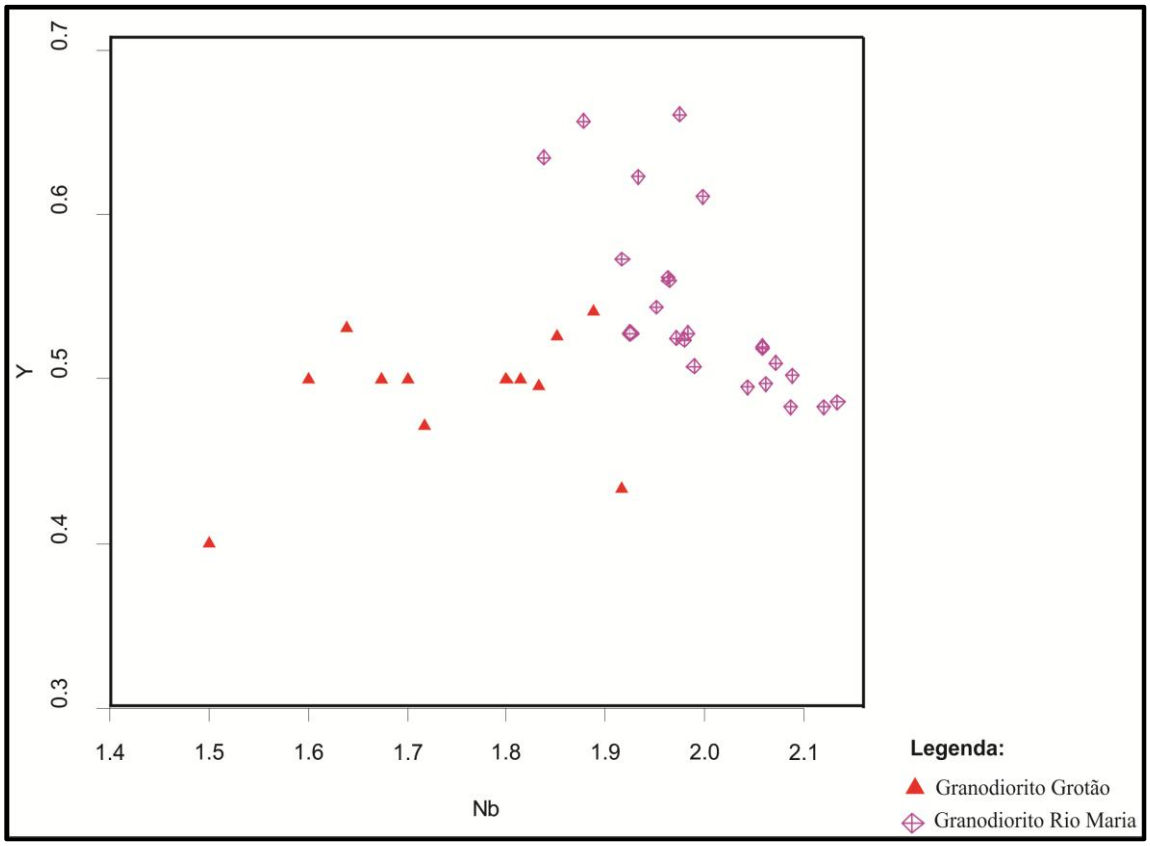


Figura 20 - Diagrama geoquímico Nb x Ta (% peso).

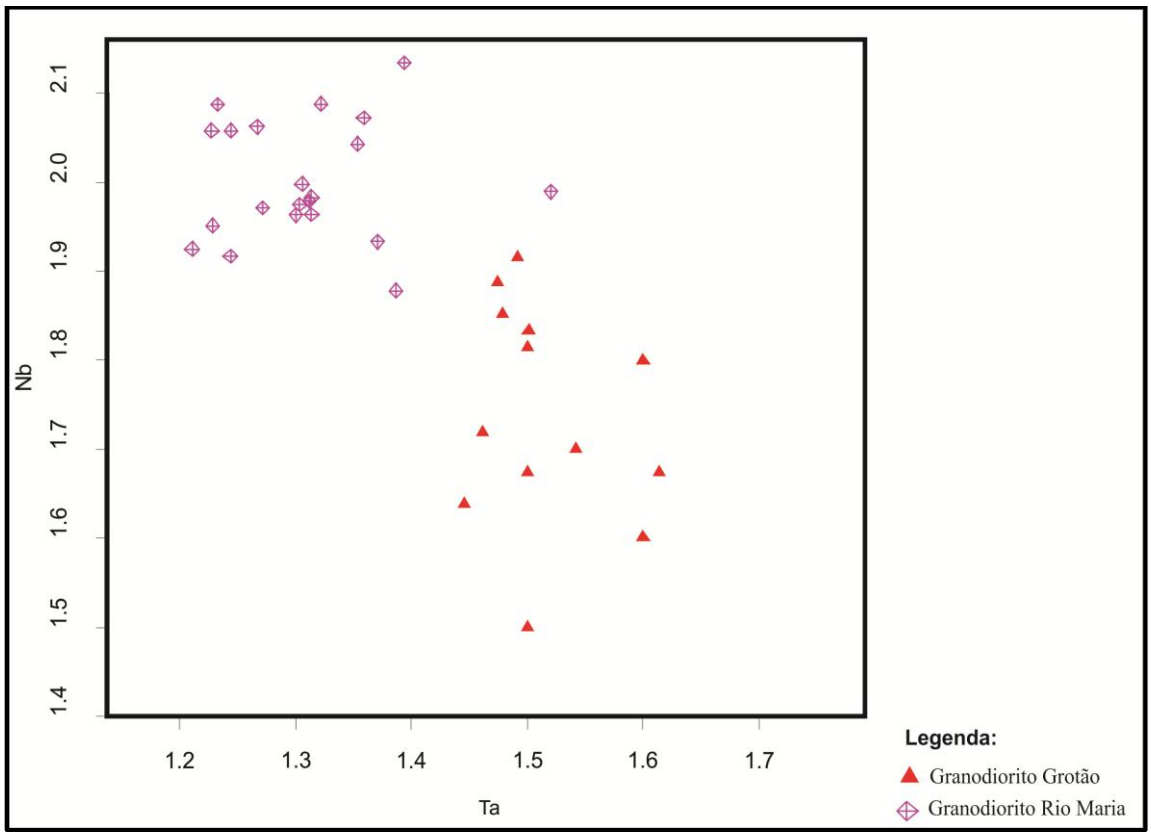


Figura 21 - Diagrama geoquímico de Y x Ta (% peso).

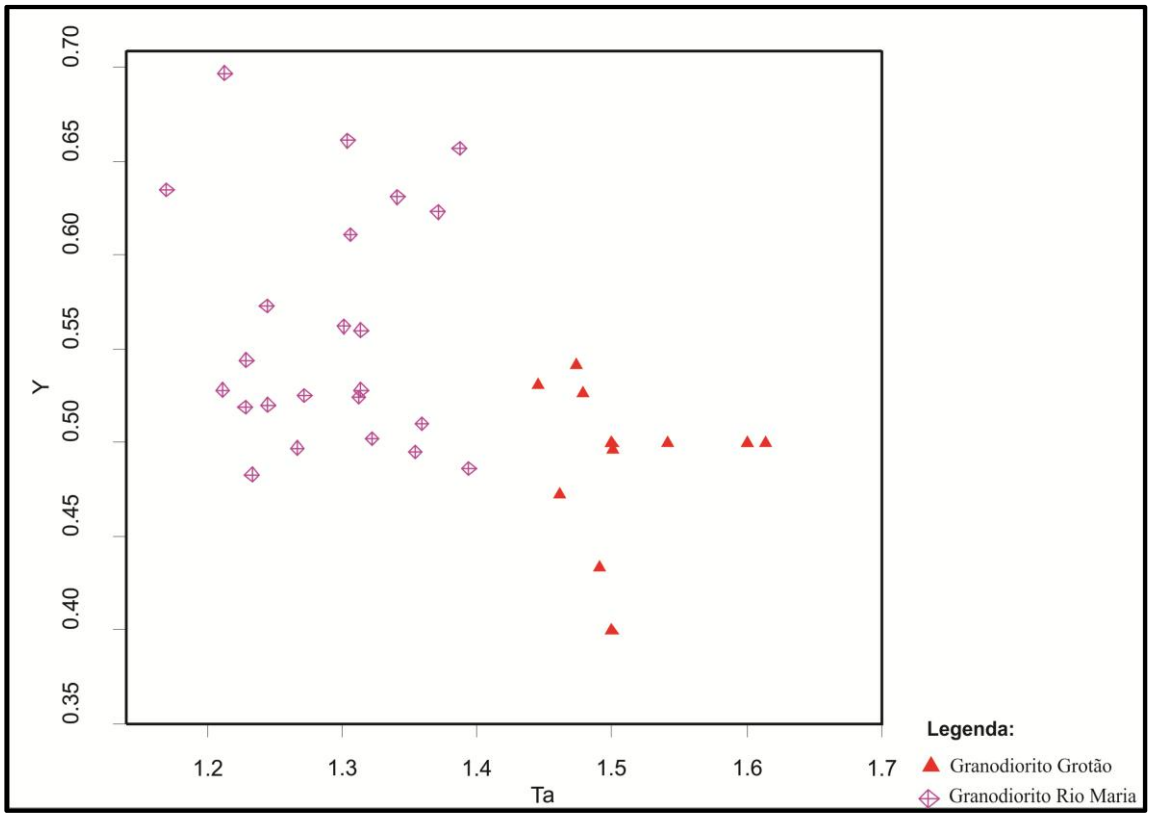
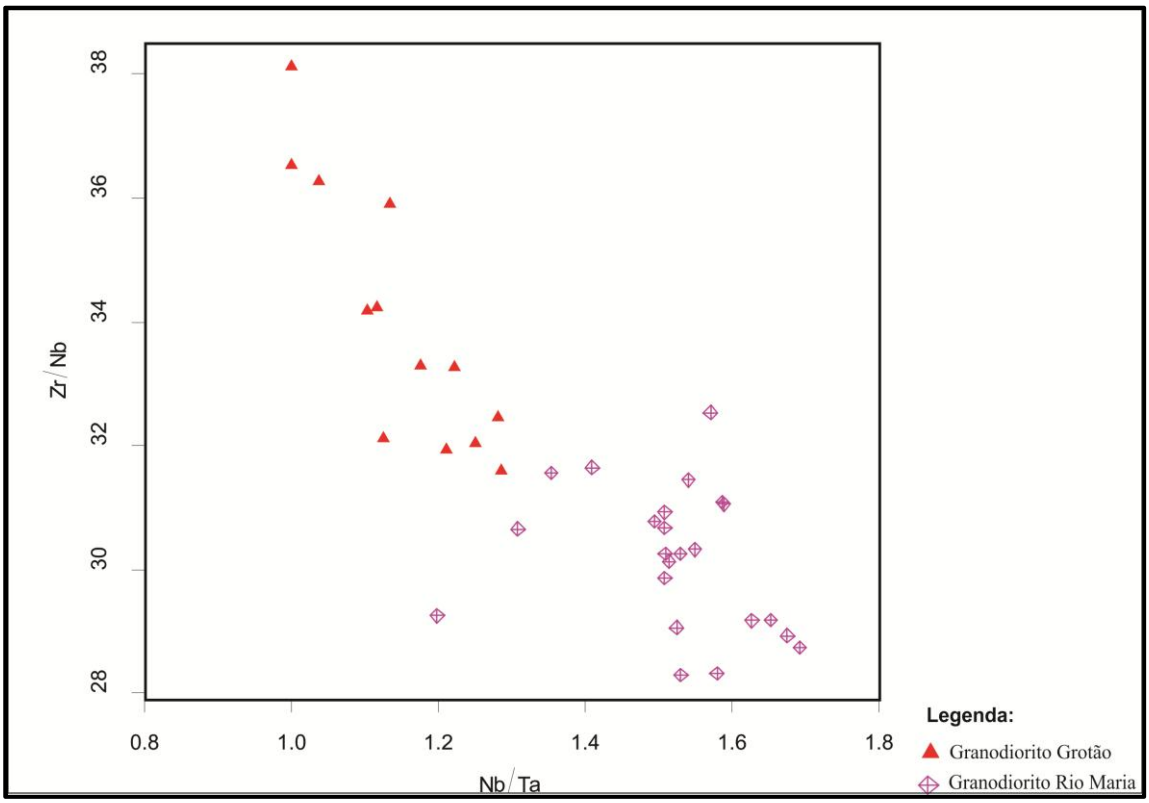


Figura 22 - Diagrama geoquímico de Zr/Nb x Nb/Ta (%peso).



No diagrama geoquímico Y x Nb, os zircões do Granodiorito Grotão mostram teores médios de Y próximos de 0,5% e de Nb em torno de 1,7%, enquanto no Granodiorito Rio Maria os teores desses elementos aproximam-se, neste mesmo sentido, de 0,6% e 2%. O diagrama mostra que o Granodiorito Rio Maria é um pouco mais enriquecido nesses dois elementos em relação ao Granodiorito Grotão.

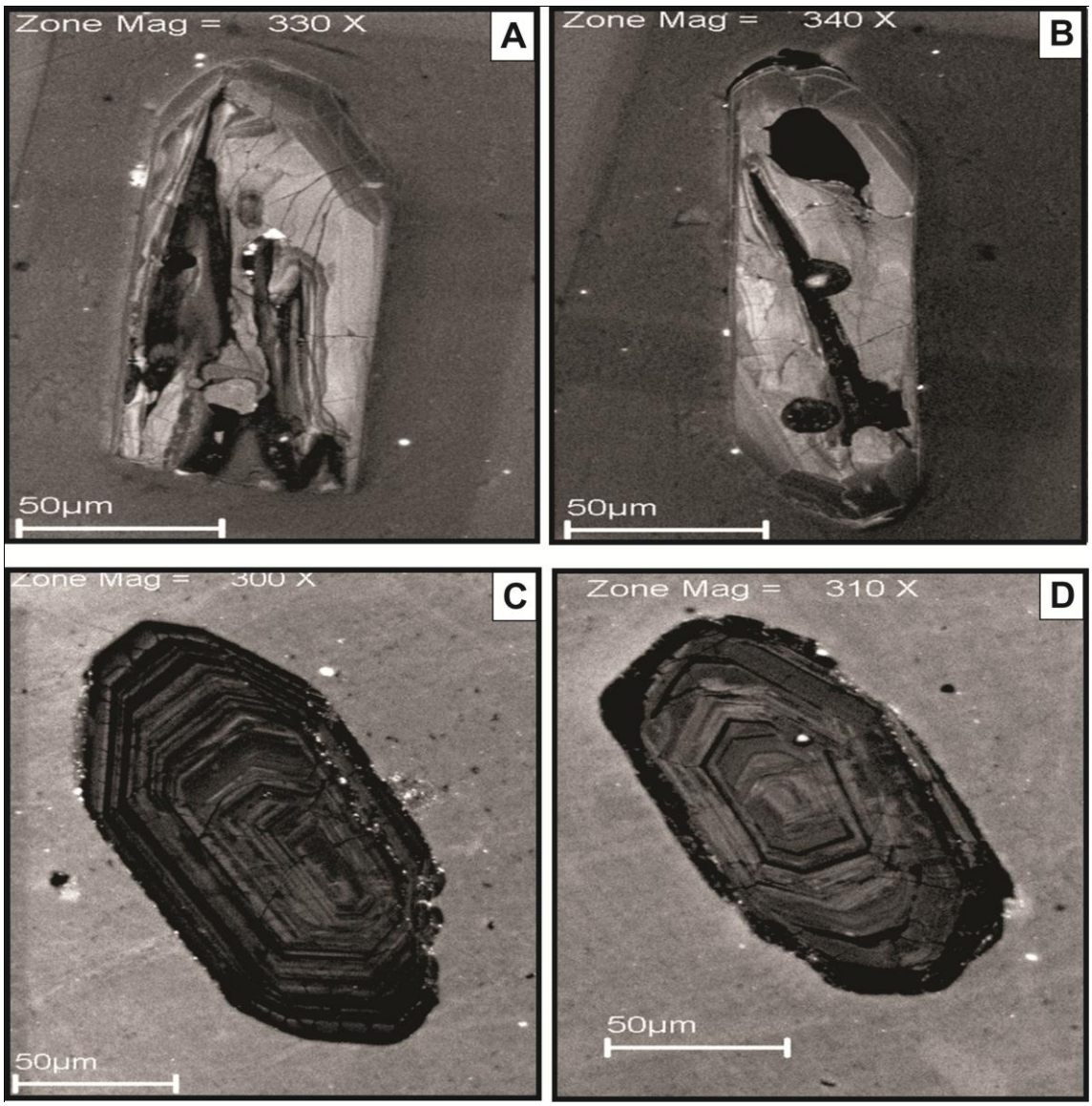
No diagrama Nb x Ta, os zircões do Granodiorito Grotão mostram teores de Nb variando entre 1,5 e 1,9% e teores de Ta entre 1,4 e 1,6%. No Granodiorito Rio Maria, os teores de Nb são mais elevados e variam de 1,8 a 2,1% e os de Ta mais baixos, situando-se entre 1,2 e 1,4%, com um único zircão um pouco mais enriquecido (1,5%). No diagrama Y x Ta, a separação entre os dois grupos de zircões analisados também é evidente, com os zircões do Granodiorito Grotão, um pouco mais enriquecidos em Ta e mais empobrecidos em Y, em relação aos zircões do Granodiorito Rio Maria. No diagrama geoquímico envolvendo as razões Zr/Nb x Nb/Ta, os zircões do

Granodiorito Grotão, mostram razões Zr/Nb mais elevadas e Nb/Ta mais baixas quando comparadas as do Granodiorito Rio Maria, promovendo uma nítida separação entre as duas populações de zircão estudadas.

Imagens de zircão em MEV-CL dos Granodioritos Grotão e Rio Maria, feitas por Ramalho, I.M.O (em preparação), evidenciam as diferenças morfológicas entre esses zircões (Figura 23).

De modo geral, os diagramas geoquímicos de comparação de zircão entre os granodioritos Grotão e Rio Maria se diferenciam, ratificando Guimarães (2009).

Figura 23 - Imagens de MEV-CL. A) e B) Cristais de zircão idiomórficos e fraturados, da amostra FMR-49; C) e D) Cristais de zircão idiomórficos e zonados, da amostra ADR-03.



9.1. 3 **Biotitas**

Vários estudos têm procurado relacionar a composição química das biotitas com a natureza magmática de suas rochas hospedeiras. Abdel-Rahman (1994) mostrou, por diagramas de elementos maiores, que a composição deste mineral é dependente, sobretudo, da natureza do magma original. Segundo Speer (1984), biotitas de rochas plutônicas são freqüentemente afetadas por reequilíbrio pós-magmático. De acordo com Nachit (1994), é possível visualizar essas diferenças e classificar as biotitas em primárias, reequilibradas e secundárias através do diagrama $10(TiO_2)$ – (FeO + MnO) – MgO.

Foram realizadas 50 análises por EDS em biotitas das amostras (RAM-05f, RAM-07, RAM-09 E RAM-34) do Granodiorito Grotão e 50 análises em biotitas da amostra ADR-03, pertencente ao Granodiorito Rio Maria (Apêndice C). Os resultados foram plotados e comparados nos diagramas FeO – MgO – Al_2O_3, Abdel-Rahman (1994) e $10(TiO_2)$ – (FeO + MnO) – MgO, Nachit (1994).

A figura 24A mostra aspectos preservados das biotitas do Granodiorito Grotão e em 24B, biotitas cloritizadas do Granodiorito Rio Maria.

No diagrama FeO-MgO-Al_2O_3 (Figura 25), as análises de EDS das biotitas do Granodiorito Grotão plotam no campo dos granitóides cálcico-alcalinos, porém percebe-se que as biotitas do Granodiorito Rio Maria são mais enriquecidas em MgO e mais empobrecidas em FeO que aquelas do Granodiorito Grotão.

Figura 24 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV. A) Biotita do Granodiorito Grotão, com feições preservadas; B) Biotita do granodiorito Maria, mostrando-se bastante alterada.

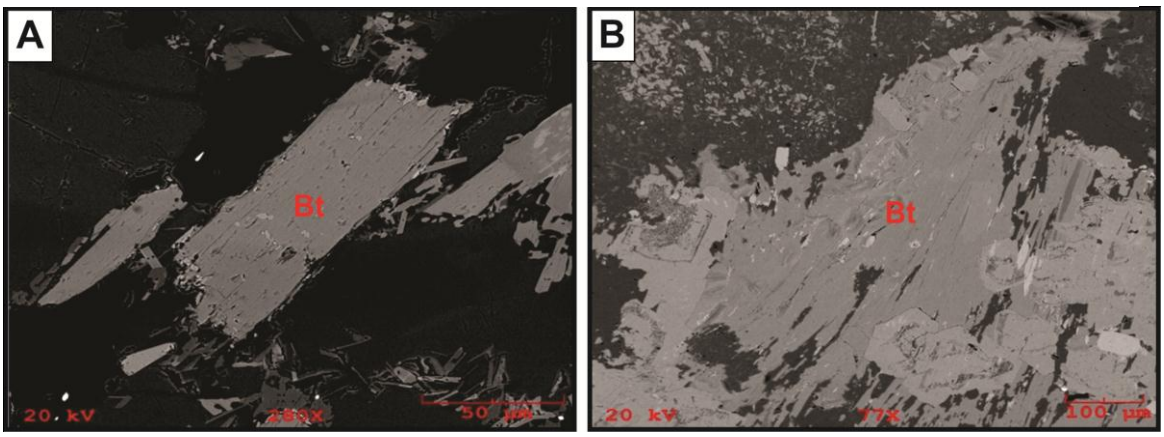
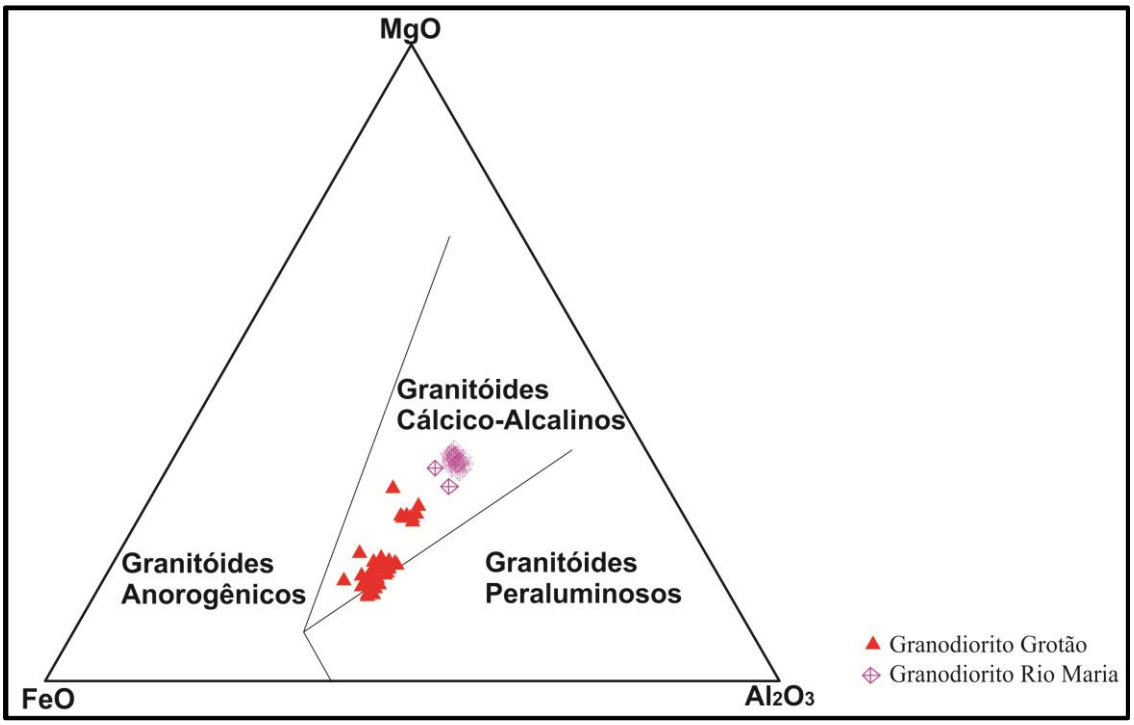


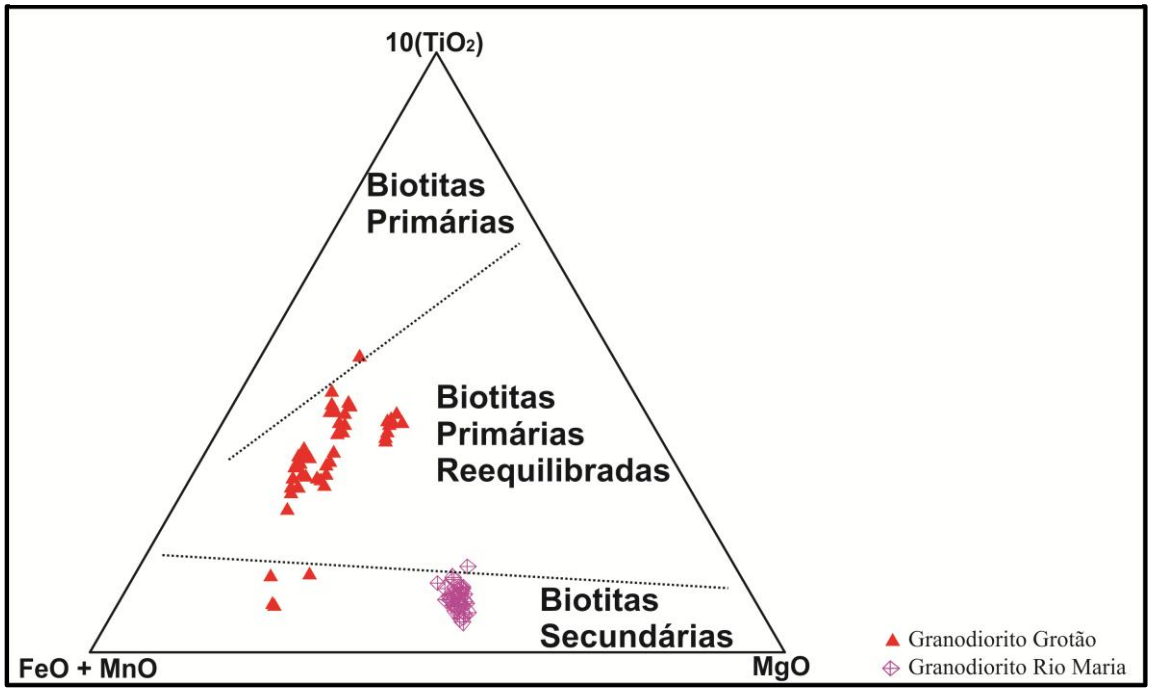
Figura 25 - Composições de biotitas do Granodiorito Grotão e do Granodiorito Rio Maria, obtidas por EDS (este estudo) no diagrama FeO – MgO – Al_2O_3.



Fonte: Modificado de Abdel-Rahman (1994)

No diagrama 10(TiO_2) – (FeO + MnO) – MgO, Nachit (1994), que classifica as biotitas em primárias, primárias reequilibradas e secundárias, as biotitas do Granodiorito Grotão migram do campo das biotitas primárias para o das biotitas primárias reequilibradas (dominates), provavelmente por serem menos alteradas. Algumas biotitas incidem no campo das biotitas secundárias, o que se deve muito provavelmente a cloritização. As biotitas do Granodiorito Rio Maria posicionam-se dominantemente sobre o campo das biotitas secundárias, pois estas se apresentam fortemente cloritizadas (Figura 26).

Figura 26 - Composições de biotitas dos granodioritos Grotão e Rio Maria no diagrama $10(TiO_2)$ – (FeO + MnO) – MgO analisadas por EDS.



Fonte: Modificado de Nachit (1994).

10 **CONCLUSÕES**

Os trabalhos de mapeamento, petrografia e análises por EDS proporcionaram um panorama mais claro acerca das rochas que compõem o Granodiorito Grotão, possibilitando identificar melhor sua distribuição espacial e características petrográficas e de química mineral.

Neste mapeamento verificou-se que o Granodiorito Grotão possui dimensões menores que aquela proposta em trabalhos anteriores e, por esse motivo, o mapa geológico apresentado teve sua área redefinida. As relações de campo mostraram que o corpo deste estudo é intrusivo no Tonalito Mariazinha, visto que diversos enclaves de composição tonalítica são encontrados no interior do Granodiorito Grotão. Foram identificados ainda diques máficos que cortam este corpo preferencialmente na direção N-S.

O estudo petrográfico mostrou que essas rochas são constituídas por um biotita granodiorito leucocrático isento de deformação. Não sendo possível diferenciar outras facies. A paragênese essencial do Granodiorito Grotão é representada por plagioclásio, quartzo e álcali-feldspato, tendo a biotita como principal mineral ferromagnesiano. Os principais minerais acessórios que ocorrem no Granodiorito Grotão foram identificados em microscópio petrográfico e caracterizados por MEV, sendo eles: magnetita, ilmenita, monazita, apatita, titanita, allanita e zircão.

Os estudos petrográficos associados às análises químicas por MEV-EDS em cristais de zircão e biotita, permitiram estabelecer boa individualização das rochas estudadas com o Granodiorito Rio Maria, unidade bem conhecida da literatura. Análises de MEV-EDS em cristais de zircão dos granodioritos Grotão e Rio Maria mostraram que os zircões dessas rochas apresentam diferenças significativas em termos composicionais, com o Granodiorito Grotão sendo mais enriquecidos em Ta e na razão Zr/Nb e mais empobrecido em Nb, Y e na razão Nb/Ta em relação ao Granodiorito Rio Maria.

As análises de MEV/EDS de biotita do Granodiorito Grotão em comparação com aquelas do Granodiorito Rio Maria, mostram que no diagrama FeO-MgO-Al_2O_3 elas incidem no campo dos granitoides cálcico-alcalinos, porém as biotitas do Granodiorito Grotão são mais empobrecidas em MgO e

mais enriquecidas em FeO em relação às biotitas do Granodiorito Rio Maria. As biotitas do Granodiorito Grotão comportam-se como biotitas primárias reequilibradas, enquanto as biotitas do Granodiorito Rio Maria mostram características de biotitas dominantemente secundárias.

Com base nos dados obtidos neste trabalho e nos dados da literatura sugere-se que o Granodiorito Grotão é uma unidade independente do Granodiorito Rio Maria, conforme demonstrado por Guimarães (2009). Estudos mais detalhados, envolvendo geoquímica, datação geocronológica, entre outros, são necessários para saber, por exemplo, se o Granodiorito Grotão não seria produto de diferenciação magmática dos biotitas granodioritos descritos por Medeiros (1987) ou de outra rocha similar.

REFERÊNCIAS

ABDEL-RAHMAN, A. M. Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline, and peraluminous magmas. **J. Petrol**., v. 35, p. 525-541. 1994.

ALMEIDA, J.A.C.; OLIVEIRA, M.A.; DALL'AGNOL, R.; ALTHOFF, F. J; BORGES, R.M.K. **Relatório de mapeamento geológico na escala 1:100.000 da Folha Marajoara (SB.22-Z-C-V)**. Programa Geobrasil, CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Rio de Janeiro, 2008. 147p.

ALMEIDA, J.A.C., DALL'AGNOL R., OLIVEIRA, M.A., DIAS, S.B., ALTHOFF, F.J. Origin of the Archean leucogranodiorite - granite suites: Evidence from the Rio Maria terrane and implications for granite magmatism in the Archean. **Lithos,** n.120, p.235-257. 2010.

ALMEIDA, J. A. C. **Geologia, geocronologia e petrogenesis das suítes TTG e dos leucogranitos arqueanos do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Sudeste do Cráton Amazônico**. 2010. 224f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2010. n. 7. p. 5-26.

ALMEIDA, J.A.C.; DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, M.A.; MACAMBIRA, M.J.B.; PIMENTEL, M.M.; RÄMÖ, O.T.; GUIMARÃES, F.V.; LEITE, A.A.S. Zircon geochronology, geochemistry and origin of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: implications for the growth of the Archean crust of the Carajás Province, Brazil. **Precambrian Research**, n. 187, p. 15-18. 2011.

ALTHOFF, F. J.; BARBEY, P.; BOULLIER, A. M.; DALL'AGNOL, R. Composição e estrutura dos granitóides arqueanos da região de Marajoara. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi** - Série Ciências da Terra. Belém, n 104, p.187-206. 1995.

ALTHOFF, F. J. **Etude pétrologique et structurale des granitoïdes de Marajoara (Pará, Brésil)**: leur rôle dans l'évolution archéenne du craton Amazonien (2,7-3,2 Ga). 1996. 296f. Tese (Doutorado) Université Henri Poincaré, Nancy I – France, 1996.

ALTHOFF, F. J.; BARBEY, P.; MACAMBIRA, M. J. B.; SCHELLER, T.; LETERRIER, J.; DALL'AGNOL, R.; LAFON, J. M. La croissance du craton sud-amazonien (région de Rio Maria, Brésil). In: RÉUNION DES SCIENCES DE LA TERRE, 1998, Brest. **Resumés**. Brest: Societé Géologique de France, 1998. p. 62.

ALTHOFF, F.J.; BARBEY P.; BOULLIER, A.M. 2.8-3.0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral province, Brazil). **Precambrian Research**, n. 104, 187-206. 2000.

BELOUSOVA, E. A.; GRIFFIN, W. L. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type. **Contrib. Mineral. Petrol**., v. 143, p. 602-622. 2002.

CONDIE, K.C.; HUNTER, D.R. Trace elements geochimestry of archean granitic rocks from Barberton region, South Africa. **Earth and Planetary Science Letters**, n. 29: 389-400. 1976.

CORDEIRO, A.C. Geologia Preliminar da Região de Andorinhas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1, 1982, Belém, **Anais...** Belém: SBG, 1982. v. l, p. 45-49.

DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z.S.; ATHOFF, F. J.; BARROS, C.E.M.; LEITE, A.A. S.; JORGE JOÃO, X. S. General aspects of the granite genesis of the Carajas metallogenic province. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 1997, Salvador. **Extended abstract and program**. Salvador: SGM, 1997. p.135-161.

DALL'AGNOL, R.; RAMÖ, O. T.; MAGALHÃES, M. S.; MACAMBIRA, M. J. B. Petrology of the anorogenic, oxidised Jamon and Musa granites, Amazonian Craton: implications for the genesis of Proterozoic, A-type Granites*.* **Lithos.** 1999, v.46, p. 431-462.

DALL'AGNOL, R.; RAMÖ, O.T.; MACAMBIRA, M.J.B.; LEITE, A.A.S.; ALTHOFF, F.J. Archean and paleoproterozoic granitoids and crustal evolution of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, eastern Amazonian Craton, Brasil. In: **Simposio Suadamericano de Geologia Isotopica**, 3. Pucon, Chile. Sociedade Geologia de Chile. 2001. (CD-ROM).

DALL'AGNOL, R.; TEIXEIRA, N. P.; RAMO, O. T.; MOURA, C. A. V.; MACAMBIRA, M. J. B.; OLIVEIRA, D.C.. Petrogenesis of the Paleoproterozoic, rapakivi, A-type granites of the Archean Carajás Metallogenic Province, Brazil. **Lithos.** 2005. v. 80, p. 101-129

DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, M. A.; ALMEIDA, J. A. C.; ALTHOFF, F. J.; LEITE, A. A. S.; OLIVEIRA, D. C.; BARROS, C. E. M. Archean and paleoproterozoic granitoids of the Carajás Metallogenetic Province, eastern Amazonian craton. In: DALL'AGNOl, R., ROSA-COSTA, L.T., Klein, E.L. (eds.). SYMPOSIUM ON MAGMATISM, CRUSTAL EVOLUTION, AND METALLOGENESIS OF THE AMAZONIAN CRATON, 2006, Belém. **Abstracts volume and field trips guide**. Belém: PRONEX UFPA/ SBG-NO, 2006. p. 99-150..

DIAS, S.B.D. **Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica dos granitos arqueanos da Folha Marajoara, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, SE – PA**. 2009. 129f. Dissertação (Mestrado) - UFPA, Instituto de Geociências, 2009

DOCEGEO. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. **In: congresso brasileiro de geologia**, 35, Belém, 1988. p. 11–54.

DUARTE, K.D.; PEREIRA, E.D.; DALL"AGNOL,R.; LAFON, J.M. Geologia e geocronologia do Granito Mata surrão - sudoeste de Rio Maria (Pa). In: Simpósio de Geologia da Amazonia, 3, Belém. **Anais**...SBG, 1991. p. 7-20

DUARTE, K.D. **Geologia e geoquímica do Granito Mata Surrão (SW de Rio Maria-Pa)**: Um exemplo de granito "stricto sensu" Arqueano. Universidade Federal do Pará. Tese de Mestrado, 1992. 217p.

DUARTE, K.D. ; DALL"AGNOL,R. Geologia geoqúimica do leucogranito arqueano potássico Mata Surrão, terreno granito-greenstone de Rio Maria, Pará. **Boletim IG - USP**, 1996. 18: 113-115.

GUIMARÃES, F. V. **Geologia, petrografia e geoquímica do Trondhjemito Mogno e rochas arqueanas associadas, Terreno Granito-Greenstne de Rio Maria, SE do Pará.** Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. Tese de Mestrado. 2009. 224p.

HIRATA, W. K.; RIGON, J. C.; KADEKARU, K.; CORDEIRO, A. A. C.; MEIRELLES, E. M. Geologia regional da Província Mineral de Carajás. In: **SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA**, 1. Belém, 1982. v. 1, p. 100-108.

KEMPE, U.; GRUNER, T.; RENNO, A. D.; WOLF, D.; RENÉ, M. Discussion on Wang et al. (2000) Chemistry of Hf rich zircons from the Laoshan I- and A-type granites, Eastern China. **Mineral. Magazine**, v. 64, p. 867-877. 2004.

LAFON, J. M.; RODRIGUES, E.; DUARTE, K. D**. Le Granite Mata Surrão: un magmatisme monzogranitique contemporain des associations tonalitiques-trondhjemitiques-granodioritiques archéennes de la région de Rio Maria** (Amazonie Orientale, Brésil), 1994. p. 642- 649.

LAMARÃO, C. N.; DALL'AGNOL, R.; SOLEDADE, G. L.; SILVA, J. S. Variações composicionais de zircão em granitos anorogênicos proterozóicos do Cráton Amazônico: implicações metalogenéticas. **Rev. Bras. Geoc**., v. 37, n. 4, p. 693-704. 2007.

LAMARÃO, C. N.; BORGES, R. M K; MARQUES, G.T. Novos dados composicionais de zircão como indicadores de granitos estaníferos: os granitos Campinas (RS), Pedra Branca (GO) e Kymi (Finlândia). In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 13.; SIMPÓSIO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DO MERCOSUL,** 3., 2011, Gramado (RS). Gramado (RS): SBGq, 2011. 1 CD-ROM

LAMARÃO, C. N. ; PINHO, S. C. C.; PAIVA JUNIOR, de A. L.; GALARZA, A M. Mineralogy and geochemistry of the Paleoproterozoic, tin-mineralized Bom Jardim granite of the Velho Guilherme Suite, eastern Amazonian craton. **Journal of South American Earth Sciences**. 2012.

LEITE, A. A. S. **Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitóides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico**. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Tese de Doutorado, 2001. 343p.

LEITE, A. A. S.; DALL'AGNOL, R.; MACAMBIRA, M. J. B.; ALTHOFF, F. J. Geologia e geocronologia dos granitóides arqueanos da região de Xinguara (PA) e suas implicações na evolução do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria. **Revista Brasileira de Geociências**, 2004. 34, 447-458

LE MAITRE, R. W. **A classification of igneous rocks and glossary of terms**. 2nd Edition. London, 2002. 193 p.

LOISELLE, M.C.; WONES, D.R. Characteristics and origin of anorogenic granites. **Geological Society of America Abstracts with Programs**, 1979. 11, 468.

MACAMBIRA, M. J. B. **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.** 1992. Montpellier, Université Montpellier II-France.(Tese de Doutorado), 1992. 212p.

MACAMBIRA, M. J. B. ; LANCELOT, J. R. Idade U-Pb em zircões de metavulcânica do greenstone do Supergrupo Andorinhas, delimitante da estratigrafia de Carajás, Estado do Pará. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, 37, São Paulo, 1992. Resumos expandidos... SBG: v.2, p.188-189.

MACAMBIRA, M. J. B. ; LANCELOT, J. R. Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria crust, southeastern Amazonian Craton, Brazil. **International Geology Review**, 1996. v. 38, p. 1134-1142.

MACAMBIRA, M. J. B.; COSTA, J. B. S.; ALTHOFF, F. J.; LAFON, J. M.; MELO, J. C. V.; SANTOS; A. New geochronological data for the Rio Maria TTG terrane; implications for the time constaints of the crustal formation of the Carajás province, Brazil. In: **INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS**, 31st, Rio de Janeiro, 2000. Abstract, CD-ROM. SBG.

MACHADO, N.; LINDENMAYER, Z.; KROGH, T.E.; LINDENMAYER, D. U/Pb geocrhronology of archean magmatism and basement reactivation in the Carajás Área, Amazon Shield, Brazil. **Precambrian Research**, 1991. 49: 329-354.

MEDEIROS, H. **Petrologia da porção leste do Maciço Granodiorítico Rio Maria, sudoeste do Pará**. Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará, 1987. 187 p.

MEDEIROS, H.; DALL'AGNOL, R. Petrologia da porção leste do Batólito Granodiorítico Rio Maria, sudeste do Pará. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA** 35. Belém, 1988. v 3, p.1488-1499.

MURALI, A. V.; PARTHASARATHY, R.; MAHADEVAN, T. M.; SANKAR DAS, M. Trace element characteristics, REE patterns and partition coefficients of zircons from different geological environments- a case study on Indian zircons. **Geochim. Cosmochim Acta***,* 1983. v. 47, p. 2047-2052.

NACHIT, H. **Contribuition à typologie des granitóides, petrogenèse et petrologie structurale Du Batholite Panafrican Du cercle de Tafraoute (Boutnniére de Kerdous, Anti- Atlas Occidental, Maroc)**, Agadir, Université Ibhou Zohor (Thése d'etat), 1994. 465p.

OLIVEIRA, D.C., 2006. **Modelos de Evolução e Colocação dos Granitos Paleoproterozóicos da Suíte Jamon, SE do Cráton Amazônico**. (Tese de doutoramento), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 186p.

OLIVEIRA, M. A.; DALL'AGNOL, R.; ALTHOFF, F. J. Petrografia e Geoquímica do Granodiorito Rio Maria da região de Bannach e comparações com as demais ocorrências no terreno Granito-Greenstone de Rio Maria-Pará**. Revista Brasileira de Geociências**, 2006. 36 (2), 313-326.

OLIVEIRA, M. A.; DALL'AGNOL, R.; ALTHOFF, F. J.; LEITE, A. A. S. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences,** 2009. v. 27. p. 146-160.

PIMENTEL, M. M.; MACHADO, N. Geocronologia U-Pb dos Terrenos granito greenstone de Rio Maria, Pará. In: congresso brasileiro de geologia, 38. Camboriú, 1994. p. 390-391. **Boletim de Resumos Expandidos**. Camboriú, SBG.

PUPIN, J. P. **Zircon and granite petrology. Contributions to Mineralogy and Petrology**, 1980. v. 73, p. 207-220.

PUPIN, J. P. Granite genesis related to geodynamics from Hf-Y in zircon. **Transactions of the Royal Society of Edinburgh Earth Sci**., 2000. v. 91, p.245-256.

ROLANDO, A. P.; MACAMBIRA, M. J. B. Archean crust formation in Inajá range area, SSE of Amazonian Craton, Brazil, basead on zircon ages and Nd isotopes. In: **south american symposium on isotope geology**, 4. Salvador, 2003. Expanded Abstracts. Salvador: CD-ROM.

SIIVOLA, J;. SCHMID, R. A systematic nomenclature for metamorphic rocks: List of mineral abbreviations.Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks. **Web version 01.02.07. (http://www.bgs.ac.uk/scmr/docs/papers/paper_12.pdf)** IUGS Commission on the Systematics in Petrology.2007. 14 p

SPEER, J. A. Micas in igneous rocks. **Micas Reviews in Mineralogy, 13, 1984. p. 299-356.**

STRECKEISEN, A. To each plutonic rocks its proper name. **Earth Sci. Rev**., 1976. v. 12, p. 1-33.

TASSINARI, T.; TACHIBANA, J.; TULIO, M., LÍVIO, R.; GAIA, C. Geologia isotópica aplicada nas mineralizações de Cu-Au do greenstone belt da Serra dos Gradaús, Província Mineral de Carajás, Cráton Amazônico: exemplo de mineralizações policíclicas. In: **Simpósio Brasileiro de Metalogenia**, Gramado, RS.2005. Resumos... Porto Alegre: SBG/SEG/SGMTM-MME, 1 CD-ROM.

TEIXEIRA, N. P.; BETTENCOURT, J. S.; MOURA, C. A. V.; DALL'AGNOL, R.; MACAMBIRA, E.M.B. Archean crustal sources for Paleoproterozoic tin-mineralized granites in the Carajás Province, SSE Pará, Brazil: Pb–Pb geochronology and Nd isotope geochemistry. **Precambrian Research, 2002**.

UHER, P.; BREITER, K.; KLECKA, M.; PIVEC, E. Zircon in highly evolved Hercynian Homolka Granite, Moldanubian Zone, Czech Republich: **indicator of magma source and petrogenesis. Geologica Carpathica,** 1998. v. 49, n. 3, p.151-160.

VASQUEZ M.L., MACAMBIRA M.J.B. ARMSTRONG R.A. Zircon geochronology of granitoids from the western Bacajá domain, southeastern Amazonian craton, Brazil: Neoarchean to Orosirian evolution. **Precambrian Research,** 2008a. 161(3-4): pg. 279-302.

VASQUEZ, L. V.; ROSA-COSTA, L. R.; SILVA, C. G.; RICCI, P. F.; BARBOSA, J. O.; KLEIN, E. L.; LOPES, E. S.; MACAMBIRA, E. B.; CHAVES, C. L.; CARVALHO, J. M.; OLIVEIRA, J. G.; ANJOS, G. C.; SILVA, H. R. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará.** Organizadores, Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM. 2008b.

WANG, R. C.; ZHAO, G. T.; LU, J. J.; CHEN, X. M.; XU, S. J.; WANG, D. Z. Chemistry of Hf-zircons from the Laoshan Iand A-type granites, Eastern China. **Mineral. Magazine**, 2000. v. 64, p. 867-877.

APÊNDICES

APÊNDICE A – LISTA DE AFLORAMENTOS

PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	CLASSIFICAÇÃO
RAM-04A	9206372	583891	Granodiorito
RAM-04B	9206372	583891	Tonalito
RAM-05A	9206766	583989	Tonalito
RAM-05F	9206766	583989	Granodiorito
RAM-05G	9206766	583989	Máfica (Diorito/Basalto)
RAM-06	9207532	584237	Tonalito
RAM-07	9207134	583996	Granodiorito
RAM-08	9207440	584625	Tonalito
RAM-09	9207356	584791	Granodiorito
RAM-10	9207432	584792	Tonalito
RAM-11	9207488	584608	Máfica (Diorito/Basalto)
RAM-12	9207552	584540	Granodiorito
RAM-13	9208424	585204	Tonalito
RAM-14	9208248	586417	Tonalito
RAM-15	9206940	583647	Tonalito
RAM-16	9207048	582770	Tonalito
RAM-17	9207078	582615	Tonalito
RAM-18	9207020	582615	Granodiorito
RAM-19A	9207094	582285	Tonalito
RAM-19B	9207094	582285	Tonalito
RAM-20	9207346	581787	Tonalito
RAM-27	9208332	582037	Granodiorito
RAM-29	9205912	584852	Tonalito
RAM-30	9206754	585043	Granodiorito
RAM-31C	9206920	585435	Granodiorito
RAM-31E	9206920	585435	Tonalito
RAM-31G	9206920	585435	Máfica (Diorito/Basalto)
RAM-32	9208100	586139	Granodiorito
RAM-33	9207884	586172	Tonalito
RAM-34	9207686	586153	Granodiorito
RAM-35	9207500	586100	Tonalito
RAM-36A	9207610	586096	Granodiorito
RAM-36B	9207610	586096	Tonalito
RAM-37	9207618	586065	Tonalito
RAM-38A	9207632	586012	Tonalito
RAM-38B	9207632	586012	Tonalito
RAM-38C	9207632	586012	Granodiorito
RAM-39	9207652	585942	Máfica (Diorito/Basalto)
RAM-40	9207712	583247	Tonalito
RAM-41	9207780	583480	Granodiorito
RAM-42	9207726	583944	Tonalito

APÊNDICE B – COMPOSIÇÕES SEMIQUANTITATIVAS POR MEV-EDS DOS ZIRCÕES DOS GRANODIORITOS GROTÃO E RIO MARIA.

(continua)

AMOSTRA	ROCHA	U	Zr/Hf	Zr/Ta	Zr/Y	Zr/Nb	Nb/Ta	Nb/Y	Hf+Y+Th+U	Th/U
FMR-49-1	G. GROTÃO	0,3	31,76	37,71	116,24	34,19	1,10	3,40	3,0	1,08
FMR-49-2	G. GROTÃO	0,2	31,78	41,58	113,22	32,47	1,28	3,49	2,9	1,59
FMR-49-3	G. GROTÃO	0,2	26,04	40,62	139,86	31,61	1,29	4,42	3,2	1,89
FMR-49-4	G. GROTÃO	0,2	26,66	39,15	121,19	33,30	1,18	3,64	3,0	0,87
FMR-49-5	G. GROTÃO	0,1	27,48	40,70	110,82	35,90	1,13	3,09	3,0	2,02
FMR-49-6	G. GROTÃO	0,2	26,90	37,61	121,42	36,27	1,04	3,35	3,2	1,35
FMR-49-7	G. GROTÃO	0,2	26,59	40,61	122,91	33,26	1,22	3,70	3,1	1,07
FMR-49-8	G. GROTÃO	0,1	25,56	40,10	112,76	32,04	1,25	3,52	3,2	1,33
RAM-05f	G. GROTÃO	0,3	31,85	38,21	114,64	34,24	1,12	3,35	2,8	0,54
RAM-07	G. GROTÃO	0,1	32,21	38,65	115,96	31,94	1,21	3,63	2,6	1,39
RAM-09	G. GROTÃO	0,2	32,46	36,52	116,86	36,52	1,00	3,20	2,7	0,87
RAM-34-1	G. GROTÃO	0,2	32,70	38,11	142,92	38,11	1,00	3,75	2,5	0,90
RAM-34-2	G. GROTÃO	0,3	30,42	36,13	115,60	32,11	1,13	3,60	3,0	0,93
Média		0,2	29,42	38,90	120,34	34,00	1,15	3,55	2,9	1,22
ADR-03-1	G. RIO MARIA	0,2	34,0	49,4	111,5	31,1	1,6	3,6	2,7	1,1
ADR-03-2	G. RIO MARIA	0,2	30,7	46,3	115,8	30,7	1,5	3,8	2,9	1,2
ADR-03-3	G. RIO MARIA	0,2	25,4	47,0	113,9	30,3	1,5	3,8	3,2	1,0
ADR-03-4	G. RIO MARIA	0,2	28,5	46,7	108,0	30,9	1,5	3,5	3,0	1,0
ADR-03-5	G. RIO MARIA	0,2	29,0	48,3	115,5	29,2	1,7	4,0	2,9	1,2
ADR-03-6	G. RIO MARIA	0,1	29,6	44,3	118,1	29,1	1,5	4,1	2,9	1,6
ADR-03-7	G. RIO MARIA	0,1	31,4	46,0	107,9	30,8	1,5	3,5	2,8	1,5
ADR-03-8	G. RIO MARIA	0,1	28,4	40,1	120,0	30,7	1,3	3,9	3,0	1,6

Continuação

AMOSTRA	ROCHA	U	Zr/Hf	Zr/Ta	Zr/Y	Zr/Nb	Nb/Ta	Nb/Y	Hf+Y+Th+U	Th/U
ADR-03-9	G. RIO MARIA	0,2	27,9	45,7	113,6	30,3	1,5	3,8	3,0	1,1
ADR-03-10	G. RIO MARIA	0,2	27,5	51,1	94,2	32,5	1,6	2,9	3,2	0,8
ADR-03-11	G. RIO MARIA	0,1	26,8	49,7	86,4	35,7	1,4	2,4	3,3	1,4
ADR-03-12	G. RIO MARIA	0,2	22,3	44,1	93,7	34,4	1,3	2,7	3,7	1,1
ADR-03-13	G. RIO MARIA	0,2	28,7	45,6	90,0	30,1	1,5	3,0	3,1	1,1
ADR-03-14	G. RIO MARIA	0,1	29,5	46,3	98,9	30,3	1,5	3,3	3,0	1,6
ADR-03-15	G. RIO MARIA	0,2	27,9	48,5	114,7	28,9	1,7	4,0	3,0	0,9
ADR-03-16	G. RIO MARIA	0,2	28,2	45,1	123,3	29,9	1,5	4,1	3,1	1,4
ADR-03-17	G. RIO MARIA	0,2	28,5	35,1	128,4	29,3	1,2	4,4	3,1	1,8
ADR-03-18	G. RIO MARIA	0,1	26,5	48,7	124,2	28,7	1,7	4,3	3,1	1,6
ADR-03-19	G. RIO MARIA	0,2	26,6	44,7	117,8	28,3	1,6	4,2	3,1	0,8
ADR-03-20	G. RIO MARIA	0,2	26,8	42,7	90,2	31,6	1,4	2,9	3,3	0,8
ADR-03-21	G. RIO MARIA	0,2	28,8	49,4	113,2	31,1	1,6	3,6	3,0	0,9
ADR-03-22	G. RIO MARIA	0,2	27,9	47,5	121,0	29,2	1,6	4,1	3,0	1,2
ADR-03-23	G. RIO MARIA	0,2	31,3	43,3	124,3	28,3	1,5	4,4	2,8	1,2
ADR-03-24	G. RIO MARIA	0,2	29,5	48,5	105,2	31,4	1,5	3,3	3,0	1,0
ADR-03-25	G. RIO MARIA	0,1	30,4	44,6	98,2	31,6	1,4	3,1	3,0	1,5
Média		0,2	28,5	45,9	109,9	30,6	1,5	3,6	3,1	1,2

Continuação

AMOSTRA	ROCHA	O	Si	P	Ca	Y	Zr	Nb	Ba	Ce	Hf	Ta	Th
FMR-49-1	G. GROTÃO	20,9	13,2	0,1	0,8	0,5	58,1	1,7	0,4	0,3	1,8	1,5	0,3
FMR-49-2	G. GROTÃO	18,0	13,7	0,1	0,1	0,5	61,3	1,9	0,4	0,3	1,9	1,5	0,3
FMR-49-3	G. GROTÃO	18,0	13,7	0,1	0,3	0,4	60,6	1,9	0,4	0,4	2,3	1,5	0,3
FMR-49-4	G. GROTÃO	21,4	13,5	0,1	0,7	0,5	57,2	1,7	0,4	0,5	2,1	1,5	0,2
FMR-49-5	G. GROTÃO	20,5	13,3	0,1	0,5	0,5	58,8	1,6	0,4	0,4	2,1	1,4	0,2
FMR-49-6	G. GROTÃO	17,8	13,5	0,1	0,4	0,5	60,7	1,7	0,3	0,5	2,3	1,6	0,3
FMR-49-7	G. GROTÃO	18,1	13,7	0,1	0,1	0,5	61,0	1,8	0,3	0,4	2,3	1,5	0,2
FMR-49-8	G. GROTÃO	19,0	13,7	0,1	0,9	0,5	59,3	1,9	0,3	0,4	2,3	1,5	0,2
RAM-05f	G. GROTÃO	21,8	13,9	0,1	0,4	0,5	57,3	1,7	0,4	0,7	1,8	1,5	0,2
RAM-07	G. GROTÃO	17,4	13,7	0,1	0,2	0,5	58,0	1,8	0,4	0,5	1,8	1,5	0,2
RAM-09	G. GROTÃO	21,5	13,6	0,1	0,8	0,5	58,4	1,6	0,4	0,5	1,8	1,6	0,2
RAM-34-1	G. GROTÃO	18,4	13,5	0,1	0,5	0,4	57,2	1,5	0,3	0,4	1,7	1,5	0,2
RAM-34-2	G. GROTÃO	16,4	13,7	0,1	0,4	0,5	57,8	1,8	0,4	0,4	1,9	1,6	0,3
Média		19,2	13,6	0,1	0,5	0,5	58,9	1,7	0,4	0,4	2,0	1,5	0,2
ADR-03-1	G. RIO MARIA	18,8	14,1	0,0	0,1	0,5	60,7	2,0	0,3	0,3	1,8	1,2	0,2
ADR-03-2	G. RIO MARIA	18,5	13,8	0,0	0,1	0,5	60,7	2,0	0,3	0,4	2,0	1,3	0,2
ADR-03-3	G. RIO MARIA	19,0	13,9	0,0	0,1	0,5	59,8	2,0	0,3	0,4	2,3	1,3	0,2
ADR-03-4	G. RIO MARIA	18,4	13,9	0,0	0,1	0,6	60,7	2,0	0,3	0,4	2,1	1,3	0,2
ADR-03-5	G. RIO MARIA	18,9	14,0	0,0	0,1	0,5	60,1	2,1	0,3	0,4	2,1	1,2	0,2
ADR-03-6	G. RIO MARIA	18,8	13,9	0,0	0,1	0,5	60,2	2,1	0,3	0,4	2,0	1,4	0,2
ADR-03-7	G. RIO MARIA	19,0	13,7	0,0	0,1	0,6	60,4	2,0	0,3	0,4	1,9	1,3	0,2
ADR-03-8	G. RIO MARIA	18,0	13,7	0,0	0,1	0,5	61,0	2,0	0,3	0,4	2,1	1,5	0,2

Conclusão

AMOSTRA	ROCHA	O	Si	P	Ca	Y	Zr	Nb	Ba	Ce	Hf	Ta	Th
ADR-03-9	G. RIO MARIA	19,0	13,8	0,0	0,2	0,5	60,0	2,0	0,4	0,4	2,1	1,3	0,2
ADR-03-10	G. RIO MARIA	19,5	13,5	0,0	0,2	0,6	59,8	1,8	0,3	0,5	2,2	1,2	0,2
ADR-03-11	G. RIO MARIA	19,1	13,6	0,0	0,1	0,7	60,3	1,7	0,3	0,3	2,2	1,2	0,2
ADR-03-12	G. RIO MARIA	19,6	13,6	0,0	0,3	0,6	59,1	1,7	0,3	0,5	2,6	1,3	0,2
ADR-03-13	G. RIO MARIA	19,4	13,5	0,0	0,3	0,7	59,5	2,0	0,3	0,5	2,1	1,3	0,2
ADR-03-14	G. RIO MARIA	18,6	13,8	0,0	0,1	0,6	60,4	2,0	0,3	0,4	2,0	1,3	0,2
ADR-03-15	G. RIO MARIA	19,4	13,7	0,0	0,4	0,5	59,5	2,1	0,3	0,4	2,1	1,2	0,2
ADR-03-16	G. RIO MARIA	17,8	13,9	0,0	0,1	0,5	61,0	2,0	0,3	0,4	2,2	1,4	0,2
ADR-03-17	G. RIO MARIA	16,1	14,0	0,0	0,1	0,5	62,0	2,1	0,4	0,4	2,2	1,8	0,3
ADR-03-18	G. RIO MARIA	18,8	13,9	0,0	0,1	0,5	60,0	2,1	0,4	0,4	2,3	1,2	0,2
ADR-03-19	G. RIO MARIA	19,9	13,2	0,0	0,4	0,5	59,1	2,1	0,3	0,6	2,2	1,3	0,2
ADR-03-20	G. RIO MARIA	19,9	13,1	0,0	0,4	0,7	59,3	1,9	0,3	0,5	2,2	1,4	0,2
ADR-03-21	G. RIO MARIA	19,6	13,6	0,0	0,3	0,5	59,8	1,9	0,3	0,4	2,1	1,2	0,2
ADR-03-22	G. RIO MARIA	18,8	13,9	0,0	0,1	0,5	60,2	2,1	0,3	0,4	2,2	1,3	0,2
ADR-03-23	G. RIO MARIA	18,6	13,9	0,0	0,1	0,5	60,4	2,1	0,4	0,4	1,9	1,4	0,2
ADR-03-24	G. RIO MARIA	19,0	13,8	0,0	0,1	0,6	60,3	1,9	0,3	0,4	2,0	1,2	0,2
ADR-03-25	G. RIO MARIA	18,1	13,7	0,0	0,1	0,6	61,2	1,9	0,3	0,3	2,0	1,4	0,2
Média		18,8	13,7	0,0	0,2	0,6	60,2	2,0	0,3	0,4	2,1	1,3	0,2

APÊNDICE C – COMPOSIÇÃO SEMIQUANTITATIVAS POR MEV-EDS DAS BIOTITAS DOS GRANODIORITOS GROTÃO E RIO MARIA.

(continua)

AMOSTRA	ROCHA	FeO	MgO	Al_2O_3	Fe	Mg	Fe/Mg	Fe/(Fe+Mg)
RAM-05F-1	G. GROTÃO	20,8	8,3	17,7	16,02	4,96	3,23	0,76
RAM-05F-2	G. GROTÃO	20,39	8,60	18,17	15,44	5,05	3,06	0,75
RAM-05F-3	G. GROTÃO	22,31	8,08	16,79	17,51	4,92	3,56	0,78
RAM-05F-4	G. GROTÃO	20,7	8,8	17,5	15,53	5,11	3,04	0,75
RAM-05F-5	G. GROTÃO	22,1	7,6	17,5	16,88	4,47	3,77	0,79
RAM-05F-6	G. GROTÃO	22,5	7,7	17,7	17,37	4,63	3,75	0,79
RAM-05F-7	G. GROTÃO	22,1	7,2	17,7	17,20	4,33	3,97	0,80
RAM-05F-8	G. GROTÃO	20,9	8,9	17,7	16,01	5,31	3,02	0,75
RAM-05F-9	G. GROTÃO	20,8	8,7	17,7	15,72	5,09	3,09	0,76
RAM-05F-10	G. GROTÃO	20,2	8,7	17,7	16,31	5,44	3,00	0,75
RAM-07-1	G. GROTÃO	21,6	8,8	17,4	16,82	5,29	3,18	0,76
RAM-07-2	G. GROTÃO	21,4	8,4	17,7	16,46	5,02	3,28	0,77
RAM-07-3	G. GROTÃO	20,2	8,4	17,0	15,41	4,96	3,11	0,76
RAM-07-4	G. GROTÃO	21,0	8,4	17,5	16,76	5,21	3,22	0,76
RAM-07-5	G. GROTÃO	22,1	8,4	17,0	17,09	5,07	3,37	0,77
RAM-07-6	G. GROTÃO	21,3	8,1	17,9	16,71	4,91	3,40	0,77
RAM-07-7	G. GROTÃO	21,8	8,6	17,7	16,61	5,12	3,24	0,76
RAM-07-8	G. GROTÃO	21,3	8,4	17,5	16,31	5,02	3,25	0,76
RAM-07-9	G. GROTÃO	29,0	12,4	20,0	21,41	7,10	3,02	0,75
RAM-07-10	G. GROTÃO	21,6	8,0	17,9	16,75	4,79	3,49	0,78
RAM-09-1	G. GROTÃO	23,6	7,2	18,4	17,81	4,25	4,20	0,81
RAM-09-2	G. GROTÃO	23,7	6,7	17,9	18,21	4,02	4,53	0,82
RAM-09-3	G. GROTÃO	23,3	6,6	18,2	17,94	3,93	4,56	0,82
RAM-09-4	G. GROTÃO	29,2	8,9	18,4	21,24	5,03	4,22	0,81
RAM-09-5	G. GROTÃO	23,9	6,8	18,1	18,23	4,04	4,52	0,82
RAM-09-6	G. GROTÃO	24,0	6,7	17,9	18,57	4,01	4,63	0,82
RAM-09-7	G. GROTÃO	24,1	6,5	18,0	18,71	3,93	4,77	0,83
RAM-09-8	G. GROTÃO	25,3	7,6	18,1	19,03	4,41	4,31	0,81
RAM-09-9	G. GROTÃO	22,6	7,3	17,7	17,38	4,35	3,99	0,80
RAM-09-10	G. GROTÃO	23,8	6,6	17,9	18,47	3,95	4,68	0,82
RAM-09-11	G. GROTÃO	23,6	6,8	18,1	18,27	4,05	4,51	0,82
RAM-09-12	G. GROTÃO	23,2	6,9	18,1	17,59	4,07	4,33	0,81
RAM-09-13	G. GROTÃO	23,7	7,2	18,4	18,20	4,30	4,23	0,81
RAM-09-14	G. GROTÃO	33,0	11,4	17,1	23,05	6,15	3,75	0,79
RAM-09-15	G. GROTÃO	24,6	6,7	17,9	18,86	3,96	4,76	0,83
RAM-09-16	G. GROTÃO	23,9	7,0	17,6	18,28	4,13	4,43	0,82
RAM-09-17	G. GROTÃO	22,9	7,2	18,1	17,60	4,30	4,09	0,80
RAM-09-18	G. GROTÃO	32,5	10,9	17,8	23,02	5,98	3,85	0,79
RAM-34-1	G. GROTÃO	17,4	11,9	16,5	13,48	7,16	1,88	0,65
RAM-34-2	G. GROTÃO	17,4	11,9	16,5	13,70	7,09	1,93	0,66
RAM-34-3	G. GROTÃO	17,3	11,6	16,6	13,34	6,96	1,92	0,66
RAM-34-4	G. GROTÃO	17,8	12,0	16,2	13,69	7,15	1,92	0,66
RAM-34-5	G. GROTÃO	17,6	11,7	16,2	13,77	7,10	1,94	0,66
RAM-34-6	G. GROTÃO	24,0	6,7	17,9	18,57	4,01	4,63	0,82
RAM-34-7	G. GROTÃO	16,6	11,9	16,9	12,80	7,11	1,80	0,64
RAM-34-8	G. GROTÃO	16,3	12,5	16,8	12,49	7,44	1,68	0,63
RAM-34-9	G. GROTÃO	17,6	11,8	16,7	13,47	7,03	1,92	0,66
RAM-34-10	G. GROTÃO	16,8	13,4	14,3	12,43	7,70	1,61	0,62
RAM-34-11	G. GROTÃO	17,1	11,4	17,0	13,25	6,84	1,94	0,66
RAM-34-12	G. GROTÃO	17,1	11,6	16,8	13,23	7,01	1,89	0,65
Média		22,0	8,9	17,5	16,78	5,27	3,39	0,76

(conclusão

ADR-03-1	G. RIO MARIA	3,8	0,4	22,8	2,21	0,18	12,64	0,93
ADR-03-2	G. RIO MARIA	14,9	19,6	22,3	8,61	8,78	0,98	0,50
ADR-03-3	G. RIO MARIA	15,4	19,6	22,2	9,07	8,95	1,01	0,50
ADR-03-4	G. RIO MARIA	15,4	19,3	22,1	8,71	8,47	1,03	0,51
ADR-03-5	G. RIO MARIA	15,2	19,0	22,9	8,88	8,61	1,03	0,51
ADR-03-6	G. RIO MARIA	14,7	20,1	22,5	8,39	8,89	0,94	0,49
ADR-03-7	G. RIO MARIA	15,1	20,0	21,4	8,50	8,73	0,97	0,49
ADR-03-8	G. RIO MARIA	15,1	20,4	21,1	8,58	8,96	0,96	0,49
ADR-03-9	G. RIO MARIA	14,8	19,4	22,7	8,44	8,58	0,98	0,50
ADR-03-10	G. RIO MARIA	15,4	19,3	22,0	8,70	8,43	1,03	0,51
ADR-03-11	G. RIO MARIA	15,5	19,2	21,2	8,68	8,37	1,04	0,51
ADR-03-12	G. RIO MARIA	15,0	19,7	22,2	8,51	8,64	0,98	0,50
ADR-03-13	G. RIO MARIA	15,3	20,1	22,3	8,60	8,75	0,98	0,50
ADR-03-14	G. RIO MARIA	15,8	18,9	21,8	8,64	8,01	1,08	0,52
ADR-03-15	G. RIO MARIA	15,4	20,2	21,6	8,68	8,85	0,98	0,50
ADR-03-16	G. RIO MARIA	15,5	20,6	21,5	8,84	9,11	0,97	0,49
ADR-03-17	G. RIO MARIA	15,3	19,8	21,7	8,75	8,77	1,00	0,50
ADR-03-18	G. RIO MARIA	9,3	1,0	16,3	5,39	0,45	12,01	0,92
ADR-03-19	G. RIO MARIA	15,2	20,3	21,4	8,65	8,92	0,97	0,49
ADR-03-20	G. RIO MARIA	14,7	20,4	20,9	8,33	8,97	0,93	0,48
ADR-03-21	G. RIO MARIA	15,4	18,5	22,0	8,55	7,96	1,07	0,52
ADR-03-22	G. RIO MARIA	15,7	19,8	21,5	8,77	8,59	1,02	0,51
ADR-03-23	G. RIO MARIA	15,7	18,7	22,7	8,82	8,18	1,08	0,52
ADR-03-24	G. RIO MARIA	15,8	19,7	22,5	8,86	8,57	1,03	0,51
ADR-03-25	G. RIO MARIA	15,2	20,7	22,0	8,58	9,06	0,95	0,49
ADR-03-26	G. RIO MARIA	15,5	19,3	22,2	8,85	8,56	1,03	0,51
ADR-03-27	G. RIO MARIA	4,8	0,7	22,0	2,74	0,31	8,78	0,90
ADR-03-28	G. RIO MARIA	6,7	1,4	20,0	3,73	0,62	6,05	0,86
ADR-03-29	G. RIO MARIA	6,5	1,4	20,0	3,64	0,22	16,61	0,94
ADR-03-30	G. RIO MARIA	3,5	0,5	22,9	2,02	8,29	0,24	0,20
ADR-03-31	G. RIO MARIA	15,4	18,9	22,1	8,72	8,51	1,02	0,51
ADR-03-32	G. RIO MARIA	17,0	19,3	21,2	9,70	0,51	19,18	0,95
ADR-03-33	G. RIO MARIA	6,1	1,1	20,4	3,52	8,96	0,39	0,28
ADR-03-34	G. RIO MARIA	15,6	19,9	22,0	9,04	8,58	1,05	0,51
ADR-03-35	G. RIO MARIA	15,1	19,5	21,1	8,58	8,81	0,97	0,49
ADR-03-36	G. RIO MARIA	15,4	19,7	21,1	8,85	8,81	1,00	0,50
ADR-03-37	G. RIO MARIA	15,2	19,7	21,2	8,72	8,38	1,04	0,51
ADR-03-38	G. RIO MARIA	15,2	19,5	22,5	8,42	8,53	0,99	0,50
ADR-03-39	G. RIO MARIA	15,5	19,5	22,2	8,71	8,15	1,07	0,52
ADR-03-40	G. RIO MARIA	15,1	19,3	22,4	8,22	8,51	0,97	0,49
ADR-03-41	G. RIO MARIA	15,9	19,3	21,6	9,02	8,81	1,02	0,51
ADR-03-42	G. RIO MARIA	15,0	20,0	21,3	8,48	8,95	0,95	0,49
ADR-03-43	G. RIO MARIA	15,3	20,3	21,6	8,69	8,68	1,00	0,50
ADR-03-44	G. RIO MARIA	15,2	19,7	21,3	8,67	8,82	0,98	0,50
ADR-03-45	G. RIO MARIA	15,0	20,0	21,4	8,53	8,84	0,96	0,49
ADR-03-46	G. RIO MARIA	15,3	19,9	21,5	8,77	8,81	1,00	0,50
ADR-03-47	G. RIO MARIA	15,0	20,0	21,5	8,55	8,81	0,97	0,49
ADR-03-48	G. RIO MARIA	15,7	20,5	21,2	8,79	8,90	0,99	0,50
ADR-03-49	G. RIO MARIA	15,9	19,7	21,8	9,09	8,73	1,04	0,51
ADR-03-50	G. RIO MARIA	15,6	20,3	21,2	8,94	9,00	0,99	0,50
Média		14,0	17,1	21,6	7,95	7,68	2,36	0,54