



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, PETROGRÁFICA E
GEOQUÍMICA DE GRANITOS ARQUEANOS DA FOLHA
MARAJOARA, TERRENO GRANITO-GREENSTONE DE RIO
MARIA SUDESTE DO PARÁ**

Dissertação apresentada por:

SAMANTHA BARRIGA DIAS

**BELÉM
2009**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

D541c Dias, Samantha Barriga
Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica de Granitos Arqueanos da Folha Marajoara, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria Sudeste do Pará / Samantha Barriga Dias; orientador: Roberto Dall’Agnol – 2009
x, 129 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

1. Granito Folha Marajoara, Região (PA). 2. Suite Garantã. 3. Terreno Granito-Greenstone. 4. Rio Maria (PA). I. Universidade Federal do Pará. II. Dall’Agnol, Roberto, *orient.* III. Título.

CDD 20. ed.:552.3098115



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, PETROGRÁFICA E
GEOQUÍMICA DE GRANITOS ARQUEANOS DA FOLHA
MARAJOARA, TERRENO GRANITO-GREENSTONE DE
RIO MARIA SUDESTE DO PARÁ**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

SAMANTHA BARRIGA DIAS

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

Data de Aprovação: **08 / 07 / 2009**

Comitê de Dissertação:

PROF. DR. ROBERTO DALL'AGNOL (UFPA)
(Orientador)

PROF. DR^a DÉBORA CORREIA RIOS (UFBA)
(Membro)

PROF.DR. FERNANDO JACQUES ALTHOFF (UFES)
(Membro)

Belém

Aos meus pais, Ernani e Maria do Carmo e aos meus orientadores Roberto e Ari. Meu muito Obrigado!

AGRADECIMENTOS

A autora expressa seu sincero e profundo agradecimento a todas as pessoas e entidades que direta ou indiretamente prestaram sua contribuição para que este trabalho fosse concluído com êxito, em especial:

- A **Deus**, o criador de todas as coisas, por sempre guiar meus passos e por estar comigo em todos os momentos e a nossa senhora de Nazaré pela interseção, junto a Deus;
- Aos meus familiares, em especial meus pais, Ernani e Maria Do Carmo, e meus irmãos, Sávio, Samara, Tatiana e Renato.
- A minha avó Fernandina Barriga por todo seu carinho e amor.
- À Universidade Federal do Pará por toda infra-estrutura;
- Ao Curso de pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA),
- A FAPESPA/SEDECT pela concessão da bolsa de pesquisa durante a realização deste trabalho;
- Ao CNPq (Processo número 306348/2006-3) pelo apóio financeiro.
- Ao Grupo de Pesquisa Petrologia de Rochas Granitóides (GPPG) do Centro de Geociências (GC) da UFPA, pelo suporte técnico-científico indispensável ao desenvolvimento deste trabalho.
- Ao professor Roberto Dall’Agnol pela orientação, dedicação, amizade e pelas oportunidades que me deu para que pudesse iniciar minha vida científica;
- Especialmente aos geólogos José de Arimatéia e Marcelo Augusto, Fabriciana Guimarães, Antônio Lima, por toda ajuda, amizade e pelos valorosos ensinamentos;
- Ao professores e amigos Cláudio Nery Lamarão, pelas sugestões que sempre chegaram no momento certo;
- Aos amigos Vanessa, Keila, Gilmara, Manoel e Tayla pelas discussões e sugestões, bem como pelo companheirismo e momentos de descontração proporcionados;
- As minhas grandes amigas Sabrina, Adriana Bentes “Drika” e Andreza Santos.
- Ao meu namorado João Jorge por todo carinho, atenção e paciência que dedicou a mim em todas as etapas da realização deste trabalho.
- A todos estes meu muito **OBRIGADO**.

Esta dissertação é uma contribuição para o INCT de Geociências da Amazônia (CNPq/MCT/FAPESPA, processo número 573733/2008-2).

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	1
ABSTRACT	3
CAPÍTULO 1	5
1.1 - APRESENTAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....	5
1.2 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	6
1.3 - GRANITOS ARQUEANOS DO TGGRM.....	12
1.4 - GEOLOGIA DA FOLHA MARAJOARA	13
1.5 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	19
1.6. OBJETIVOS.....	21
1.7 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
1.7.1 - Pesquisa Bibliográfica	22
1.7.2 - Mapeamento Geológico	22
1.7.3 - Petrografia	23
1.7.4 - Geoquímica	25
CAPÍTULO 2	27
2.1 – INTRODUÇÃO.....	27
2.2 - FEIÇÕES GEOLÓGICAS DA SUÍTE GUARANTÃ.....	27
2.2.1 - Pluton Granítico Guarantã	27
2.2.2 - Pluton Granodiorítico Azulona	32
2.2.3 - Pluton Granodiorítico Trairão	33
2.3-FEIÇÕES GEOLÓGICAS DO PLUTON RANCHO DE DEUS.....	35
2.4 -FEIÇÕES GEOLÓGICAS DOS CORPOS LEUCOGRANÍTICOS.....	39
CAPITULO 3	40
3.1 – INTRODUÇÃO.....	40
3.2 – SUÍTE GUARANTÃ.....	40
3.2.1 - Composições modais e classificação	40
3.2.2 - Aspectos texturais das diferentes variedades de rocha da Suíte	

Guarantã.....	45
3.2.3 – Ordem de cristalização dos minerais.....	50
3.3 - GRANITO RANCHO DE DEUS.....	53
3.3.1 – Composições modais e classificação.....	53
3.3.2 - Aspectos texturais das variedades de rocha do Rancho de Deus.....	55
3.3.3 – Ordem de cristalização dos minerais.....	58
3.4 – CORPOS LEUCOGRANÍTICOS.....	61
3.4.1 – Composições modais e classificação.....	61
3.4.2 - Aspectos texturais dos leucomonzogranitos.....	61
CAPÍTULO 4.....	64
4.1 – ELEMENTOS MAIORES.....	64
4.2- ELEMENTOS–TRAÇO.....	73
4.2.1 - Comportamento dos elementos litófilos de grandes íons (LILE) – Rb, Sr e Ba.....	76
4.2.2 - Diagramas multi-elementos.....	79
4.2.3 – Comportamento dos Elementos Terras Raras.....	81
4.3 – ELEMENTOS-TRAÇO <i>VERSUS</i> AMBIENTE TECTÔNICO.....	83
4.4 - DISCUSSÕES SOBRE A GEOQUÍMICA.....	84
4.4.1 - Suíte Pau D’ Arco.....	84
4.4.2 – Granito Rancho de Deus.....	86
4.4.3 - Corpos leucomonzograníticos.....	89
CAPÍTULO 5.....	91
5.1 – INTRODUÇÃO.....	91
5.2 – GEOLOGIA.....	91
5.3 – PETROGRAFIA.....	92
5.4 – GEOQUÍMICA.....	96
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES.....	110
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114
ANEXOS.....	128
ANEXO A – Lista de amostras estudadas neste trabalho.....	129

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Mapa de localização geográfica da Folha Marajoara indicando área estudada.....	7
Figura 1.2 - Mapa geológico do Terreno Granito- <i>Greenstone</i> de Rio Maria.....	9
Figura 1.3 - Mapa geológico da Folha Marajoara.....	14
Figura 1.4 - Mapa de localização das amostras estudadas neste trabalho.....	24
Figura 2.1 - Mapa geológico da folha Marajoara.....	28
Figura 2.2 - Feições geológicas do Granito Guarantã.....	29
Figura 2.3 - a) Mapa da Área de Marajoara; b) Imagem de contagem do Th.....	31
Figura 2.4 - a) a f) Feições geológicas do Granodiorito Azulona.....	34
Figura 2.5 - a) a d) Feições geológicas do Granodiorito Trairão	36
Figura 2.6 - Modelo topográfico do Granito Rancho de Deus.....	37
Figura 2.7 - a) a e b) Feições geológicas do Granito Rancho de Deus.....	38
Figura 3.1 - Diagramas (a) Q-A-P e (b) Q-A+P-M.....	43
Figura 3.2 - a) a f) Aspectos macroscópicos e microscópicos da Suíte Guarantã.....	46
Figura 3.3 - Feições microscópicas de granitóides da Suíte Guarantã.....	47
Figura 3.4 - Feições microscópicas de granitóides da Suíte Guarantã.....	49
Figura 3.5 - Ordem de cristalização dos granitóides da Suíte Guarantã.....	51
Figura 3.6 - a) a d) Feições macro e microscópicas do Granito Rancho de Deus.....	54
Figura 3.7 - a) a f) Feições microscópicas do Granito Rancho de Deus.....	56
Figura 3.8 - Ordem de cristalização do Granito Rancho de Deus.....	59
Figura 3.9 - a) a d) Feições macro e microscópica dos corpos leucograníticos.....	62
Figura 4.1 - Diagramas de Harker para as variedades de granitóides.....	68
Figura 4.2 - (a) Diagrama $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)mol$ vs; (b) Diagrama binário K_2O vs. SiO_2 ; (c) Diagrama $K_2O/Na_2Omol.$ vs. SiO_2	69
Figura 4.3 - Diagramas (A) Ax B ; (b) R1 x R2; (c) Q X P.....	70

Figura 4.4 - Diagrama $(Al_2O_3+CaO)/(FeOt+Na_2O+K_2O)$ vs. $100(MgO+FeOt+TiO_2)/SiO_2$	72
Figura 4.5 - Diagramas de caracterização geoquímica. (a) An-Ab-Or; (b) K-Na-Ca; (c) A-F-M	74
Figura 4.6 - Diagramas de Harker de elementos traços.....	75
Figura 4.7 - Diagrama Rb, Sr e Ba.....	78
Figura 4.8 - Diagramas multi-elementos.....	80
Figura 4.9 - Diagrama de elementos terras raras (ETR).....	82
Figura 4.10 - (a) Diagrama Rb vs. Y+Nb e (b) Diagrama Ta vs. Yb.....	85
Figura 4.11 - Diagrama Rb/Y vs. Al_2O_3/TiO_2	88
Figura 5.1 - Diagrama Q-A-P (Streckeisen 1976) comparativo.....	94
Figura 5.2 - Diagramas geoquímicos comparativo.....	98
Figura 5.3 - Diagramas binários comparativos.....	100
Figura 5.4 - Diagrama multi-elementos.....	102
Figura 5.5 - Padrões de elementos terras raras comparativo.....	104
Figura 5.6 - Padrões de elementos terras raras normalizados comparativo.....	105
Figura 5.7 - Padrões de Elementos Terras Raras dos leucogranitos.....	107
Figuras 5.8 - Diagramas binários comparando o Granito Rancho de Deus.....	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Composições modais das variedades petrográficas dos granitóide arqueanos da Folha Marajoara.....	41-42
Tabela 4.1 - Composições químicas dos granitóides da Folha Marajoara.....	65-66
Tabela 5.1 - Comparação dos dados de composição modal do Granito da área de Marajoara com as demais rochas do TGGRM.....	93
Tabela-5.2 - Composições químicas dos granitos estudado e dos demais granitos arqueanos do TGGRM.....	97

RESUMO

Na Folha Marajoara foram distinguidos três grupos de granitos arqueanos: Suíte Guarantã, Granito Rancho de Deus e corpos leucogranítico. O primeiro grupo é formado por três corpos graníticos, intrusivos no Tonalito Arco Verde (TAV), que receberam a denominação de Granito Guarantã (Gg), Granodiorito Azulona (GDaz) e Granodiorito Trairão (GDt), sendo formados por rochas muito similares em termos geológicos, petrográficos e geoquímicos, agrupadas no presente trabalho sob a denominação de Suíte Guarantã. O Granito Rancho de Deus possui forma amendoada, apresenta contato a sul com o Granodiorito Rio Maria, e a norte com o Granito Guarantã, porém controlado por extensa zona de cisalhamento. O terceiro grupo corresponde a pequenos corpos leucograníticos intrusivos no TAV e no Granodiorito Rio Maria. Os granitóides da Suíte Guarantã são formados por epidoto-biotita monzogranitos a granodioritos, com foliação mineral discreta, textura porfirítica e fenocristais grossos (5 a 20 mm) de feldspato potássico imersos em matriz equigranular média. O Granito Rancho de Deus é constituído por monzogranitos com incipiente foliação mineral e textura porfirítica, com fenocristais grossos (5 a 30 mm) de feldspato potássico em matriz equigranular média. O anfibólio ocorre como fase varietal juntamente com a biotita. Os leucogranitos são rochas hololeucocráticas, equigranulares de granulação média. Os dados geoquímicos mostram que a suíte Guarantã e os corpos leucograníticos possuem características predominantemente peraluminosas, enquanto que o Granito Rancho de Deus varia de metaluminoso a peraluminoso. Os três grupos de granitos exibem diferenças composicionais marcantes. As amostras da Suíte Guarantã são enriquecidas em Al_2O_3 , CaO, Na_2O , Ba, Sr e Ga e empobrecidas em Fe_2O_3 , K_2O , MgO, Rb e Th comparativamente ao Granito Rancho de Deus. Já os corpos leucograníticos, comparados aos dois grupos anteriores, são enriquecidos em SiO_2 e K_2O e empobrecidos em Fe_2O_3 , MgO, Na_2O , CaO, P_2O_5 , Ba, Sr, Zr. Os padrões de ETR dos três grupos apresentam fracionamento expressivo de ETRP, sendo que os da Suíte Guarantã são desprovidos de anomalias de Eu ou apresentam anomalias discretas, ora positivas, ora negativas, enquanto que as amostras do Granito Rancho de Deus tendem a apresentar discretas anomalias negativas de Eu e os leucogranitos anomalias negativas marcantes. As rochas do Granito Rancho de Deus e da Suíte Guarantã são análogas geoquimicamente aos granitos arqueanos cálcico-alcálicos do tipo CA2. Porém, os contrastes geoquímicos entre os dois grupos não podem ser explicados por processos de diferenciação magmática, tendo em vista apresentarem teores de SiO_2 superpostos e não seguirem o mesmo *trend* de diferenciação, sendo improvável, portanto, que esses dois grupos tenham se formado

a partir de um mesmo magma parental, apesar de sua associação espacial. A hipótese assumida é que estas rochas se originaram de fontes ou por processos distintos e que seus magmas evoluíram independentemente. Comparações entre os três grupos de granitos estudados e corpos afins do TGGRM revelaram que as rochas da Suíte Guarantã apresentam maior similaridade com os granodioritos e monzogranitos dos corpos satélites do pluton Xinguara, podendo também representar termos menos evoluídos do Granito Guarantã, tal como originalmente definido. O Granito Rancho de Deus apresenta maiores afinidades petrográficas e geoquímicas com o Granodiorito Rio Maria e rochas sanukitóides afins, podendo corresponder a um termo mais evoluído da associação sanukitóide. Os corpos leucograníticos, por sua vez, possuem afinidade petrográfica e geoquímica com o Granito Mata Surrão. O estudo realizado demonstra que, além dos leucogranitos cálcico-alcalinos ricos em potássio, representados pelos granitos Xinguara e Mata Surrão, leucogranodioritos e monzogranitos menos evoluídos, aqui definidos como Suíte Guarantã, tiveram um papel importante na evolução do TGGRM. Esta suíte encontra-se melhor exposta na Folha Marajoara, mas corpos com características similares, tais como os corpos satélites do pluton Xinguara, já foram identificados.

Palavras-Chave: Granitos da Folha Marajoara, Suíte Guarantã, Terreno Granito-*Greenstone*

ABSTRACT

During geological mapping in the Marajoara Sheet, located in the south portion of Rio Maria Granite-greenstone Terrane, southeastern of Amazonian Craton, three groups of Archean granites were distinguished: The Guarantã Suite, the Rancho de Deus Granite and Leucogranitic stocks. The first group is composed of three plutons, named Guarantã Granite (Gg), Azulona Granodiorite (GDaz) and Trairão Granodiorite (Gdt), which are intrusive in the Arco Verde Tonalite and were assembled in the Guarantã Suite. The Rancho de Deus Granite is an oval stock, in contact with the Rio Maria Granodiorite and the Guarantã Granite, the latter contact being controlled by a regional shear zone. The third group is formed by small leucogranite bodies, intrusive in the Arco Verde Tonalite and Rio Maria Granodiorite. The epidote-biotite granodiorites to monzogranites of the Guarantã Suite display EW to NW-SE foliation and a porphyritic texture, with coarse alkali feldspar phenocrysts in a fine- to medium-grained matrix. The Rancho de Deus Granite is composed of hornblende-biotite monzogranites with a discrete foliation and porphyritic texture, displaying coarse alkali feldspar phenocrysts in a medium, even-grained matrix. The leucogranites are equigranular, medium-grained rocks. Geochemical data show that the Guarantã Suite and the leucogranites are dominantly peraluminous rocks, whereas the Rancho de Deus rocks vary from metaluminous to peraluminous granites. The three granite groups show strong geochemical contrasts. The Guarantã Suite is enriched in Al_2O_3 , CaO , Na_2O , Ba, Sr and Ga and impoverished in Fe_2O_3 , K_2O , MgO , Rb and Th compared to the Rancho de Deus Granite. On the other hand, the leucogranites are enriched in SiO_2 and K_2O and impoverished in Fe_2O_3 , MgO , Na_2O , CaO , P_2O_5 , Ba, Sr, Zr, compared to the other two groups. The three groups exhibit moderate to strong HREE fractionation; the Guarantã Suite granites show only discrete negative or positive europium anomalies or are devoid of it. The europium anomalies in the Rancho de Deus Granite are discrete but always negative and those of the leucogranites are also negative but more important. The Rancho de Deus Granite and the Guarantã Suite rocks are similar geochemically to the Archean CA2 calc-alkaline granites. However, the geochemical contrasts between these two groups cannot be

explained by magmatic differentiation processes, because their rocks have similar SiO₂ contents and display distinct trends in geochemical plots. Hence, the hypothesis of a genetic linking between these two granites is discarded and it is assumed that their magmas derived from different sources or evolved by different magmatic processes or both. A comparison between the three studied granite groups and similar Archean rocks of the RMGGR has shown that the Guarantã Suite rocks are similar to the granodiorites and monzogranites found in small satellite stocks associated with the Xinguara Granite pluton and with the Guarantã Granite, as originally defined by Althoff (1996). The Rancho de Deus Granite is similar to the Rio Maria Granodiorite and other rocks of the sanukitoid series. Finally, the leucogranites display petrographic and geochemical affinity with the Mata Surrão Granite. The large area of exposition and volume of the Guarantã Suite demonstrated that this variety of leucogranites was relevant in the evolution of the RMGGT and that, besides the Xinguara and Mata Surrão potassic calc-alkaline leucogranites, they should be considered as an important event of granitic magmatism in the RMGGT. This suite is better exposed in the Marajoara area, but similar rocks, alike those of the satellite stocks of the Xinguara pluton, were previously described and other similar rocks were probably mixed with the mentioned leucogranites in the past.

Keywords: Marajoara leaf Granites, Guarantã Suite, Granite-greenstone Terrane

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

O Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM) integra o domínio tectônico sul da Província Mineral de Carajás (PMC), a qual está situada na porção oriental do Cráton Amazônico. Dentre os modelos tectônicos propostos para o cráton, a PMC se situa na província arqueana de Carajás (Santos et al. 2003; ver discussão em Vasquez et al. 2008a) ou na porção oriental da Província Amazônia Central (Tassinari & Macambira 2004).

A Província Mineral de Carajás (PMC) é caracterizada pela sua grande variedade de recursos minerais, destacando-se os depósitos de ferro, ouro, manganês, níquel e cobre (DOCEGEO 1988, Vasquez et al. 2008a). O conhecimento relativamente mais aprofundado sobre a geologia da PMC em relação a outras províncias do Cráton Amazônico deve-se em grande parte a trabalhos de mapeamento geológico e prospecção executados pelas equipes da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM – Serviço Geológico do Brasil) e da DOCEGEO (Companhia Vale do Rio Doce). O Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG) e o Laboratório de Geologia Isto óptica (Pará-Iso) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA) destacaram-se pelos trabalhos mais detalhados na região, em particular no estudo de rochas granitóides. Grupos de pesquisa de outras universidades e geólogos de outras empresas de mineração também têm contribuído para a expansão do conhecimento geológico desta região chave dos pontos de vista científico e econômico.

O TGGRM situado na porção sul da Província Carajás é um domínio mesoarqueano que mostra um quadro geológico similar, em linhas gerais, aos dos demais crátons arqueanos do mundo formados neste período. Granitóides arqueanos têm sido sistematicamente estudados pelo GPPG, com destaque para os maciços graníticos *stricto sensu* com altos conteúdos de K_2O , os quais possuem uma presença significativa no TGGRM. A importância atribuída a essas rochas deve-se ao fato que as mesmas geralmente relacionam-se a eventos magmáticos tardios na evolução geológica dos crátons onde estão inseridas, podendo funcionar como marcadores petrológicos e tectônicos.

Vários plutons representativos deste magmatismo granítico têm sido identificados no TGGRM. Dentre eles, destacam-se os granitos Xinguará (Leite 1995), Mata Surrão (Duarte 1992) e Garantã (Althoff 1996), bem como pequenos corpos leucograníticos mapeados na

região de Identidade (Souza 1994), e a leste da cidade de Bannach (Oliveira 2005, Dias 2007). Mapeamento geológico recente realizado por membros do GPPG, dentro do programa GEOBRASIL da CPRM na área de Marajoara (Almeida et al. 2008), revelou a existência de um extenso domínio granítico disposto numa faixa de direção E-W, até então não assinalado em mapas geológicos. Porém, em função da escala de trabalho, as rochas graníticas mencionadas não foram estudadas em maior detalhe, necessitando de estudos petrográficos, geoquímicos e geocronológicos mais apurados. Em razão do exposto, este trabalho direciona-se para a petrografia e geoquímica dessas rochas, visando contribuir para melhor caracterizar o magmatismo granítico e para o melhor entendimento da evolução geológica do TGGRM.

A pesquisa proposta se articula aos projetos de doutoramento de José de Arimatéia Costa de Almeida (Almeida em prep.) e Marcelo Augusto de Oliveira (Oliveira em prep.), ambos vinculados ao GPPG, ora em desenvolvimento na região. A localização e principais rodovias de acesso à área estudada são apresentados na Figura 1.1.

1.2 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Província Mineral de Carajás possui idade arqueana (Machado et al. 1991, Macambira & Lafon 1995, Galarza et al. 2002, Rolando & Macambira 2003, Leite et al. 2004, Barros et al. 2004), sendo a região com maior exposição de rochas com esta idade do Cráton Amazônico. Souza et al. (1996), Althoff et al. (2000), e Dall'Agnol et al. (1997, 2006) enfatizaram o forte contraste geológico existente entre o TGGRM e a bacia ou bloco Carajás, situados, respectivamente, nas porções sul e norte da Província Mineral de Carajás. Costa et al. (1995) distinguiram nesta região três domínios tectônicos: Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM), Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas e Cinturão Pau D'Arco. Segundo estes autores, o TGGRM, definido originalmente por Medeiros et al. (1987), seria um núcleo arqueano preservado tectonicamente limitado a norte pelo Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas e a sul pelo Cinturão Pau D'Arco. Entretanto, Souza et al. (1996,2001), Dall'Agnol et al. (1997, 2006), Althoff et al. (2000) e Rolando e Macambira (2003), não consideram o Cinturão de Cisalhamento Pau D'Arco um domínio tectônico distinto e sim uma extensão para sul do TGGRM que se prolongaria ,pelo menos, até 100 km a sul da cidade de Redenção. Esta interpretação foi adotada igualmente por Vasquez et al. (2008a) que assumem a existência na Província Carajás de um domínio sul, mesoarqueano e mais antigo, correspondente ao TGGRM, denominado Domínio Rio Maria, e um domínio com evolução final no Neoarqueano a norte, denominado de Domínio Carajás.

O quadro litoestratigráfico do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria pode ser

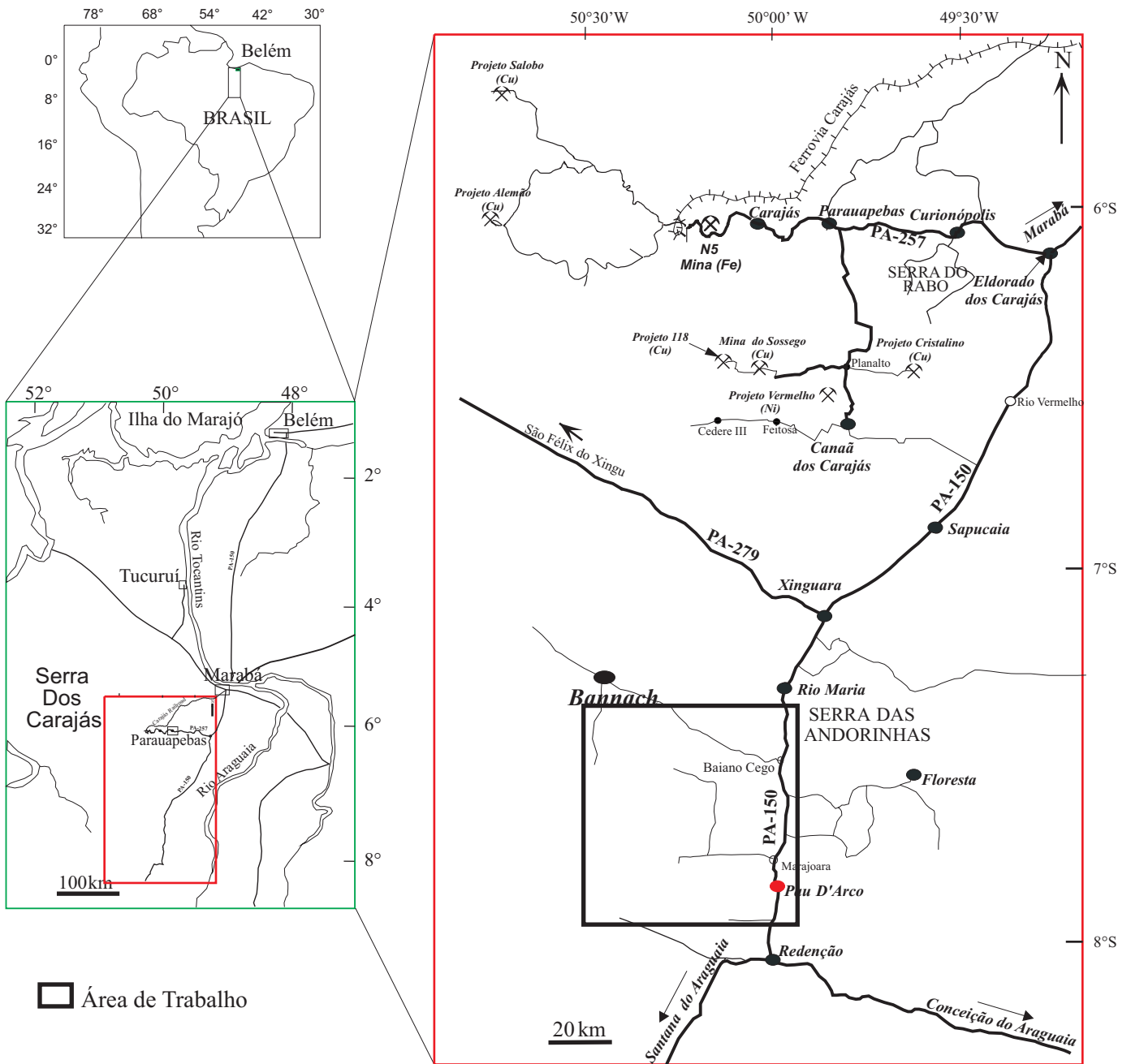


Figura 1.1 - Mapa de localização geográfica da Folha Marajoara indicando área estudada.

melhor visualizado no mapa geológico da Figura 1.2 e na tabela 1.1, sendo constituído pelas seguintes unidades:

(a) *Greenstone belts Supergrupo Andorinhas (2,97 a 2,90)*

As diversas sequências de *greenstone-belts* que ocorrem no TGGRM são reunidas estratigraficamente no Supergrupo Andorinhas (DOCEGEO 1988, Huhn et al. 1988) e correspondem à unidade mais antiga da região, com idades que variam de 2,97 a 2,9 Ga (Tabela 1.1; Macambira 1992, Pimentel & Machado 1994). São constituídas predominantemente por komatiitos e basaltos toleíticos, embora metavulcânicas cálcico-alcalinas e metassedimentos também tenham sido descritos nas porções superiores da unidade.

(b) *Granitóides TTG antigos (2,98 a 2,93 Ga)*

Esses granitóides são representados pelo Tonalito Arco Verde (Macambira & Lancelot 1996, Althoff 1996, Althoff et al. 1995, 2000) e Complexo Tonalítico Caracol (Leite 2001, Leite et al. 2004). Essas rochas mostram fortes similaridades petrográficas e geoquímicas e posições estratigráficas análogas, porém suas idades não são sempre coincidentes (Tabela 1.1). O Tonalito Arco Verde mostrou idades U-Pb em zircão e Pb-Pb por evaporação em zircão de 2,98 Ga a 2,93 Ga (Macambira & Lafon 1995, Rolando & Macambira 2003; Tabela 1.1). Já o Complexo Tonalítico Caracol possui idade de 2,95 a 2,92 Ga (Pb-Pb evaporação em zircão; Leite et al. 2004; Tabela 1.1). Esses granitóides são os mais antigos datados no TTGRM e se aproximam em idade das rochas mais antigas da Província Mineral de Carajás. Idades similares foram obtidas para rochas TTG do Complexo Xingu (2.972 ± 16 Ma, Avelar 1996, Avelar et al. 1999) (Tabela 1.1).

(c) *Granitóides Sanukitóides tipo Granodiorito Rio Maria e rochas associadas (~2.87 Ga)*

Esses granitóides cobrem uma grande área do TGGRM e apresentam uma notável uniformidade em termos geocronológicos (idades sempre em torno de 2,87 Ga; Tabela 1.1), sendo expostos, além da sua área tipo, situada nas proximidades da cidade de Rio Maria (Medeiros & Dall'Agnol 1988), a sul e a nordeste de Xinguara (Souza 1994, Leite 2001), a norte de Redenção (Althoff et al. 2000) e a leste de Bannach (Oliveira et al. 2006, 2009). Exibem feições petrográficas muito características, facilitando a correlação entre suas diferentes áreas de ocorrência. Rochas máficas e intermediárias, formando enclaves ou mais raramente pequenos corpos (área de Bannach, Oliveira 2005, Oliveira et al. 2006, 2009), estão normalmente associadas a ele. Esses granitóides são intrusivos nas rochas do Supergrupo Andorinhas (Souza et al. 2001, Leite et al. 2001) e nos granitóides TTG antigos, sendo

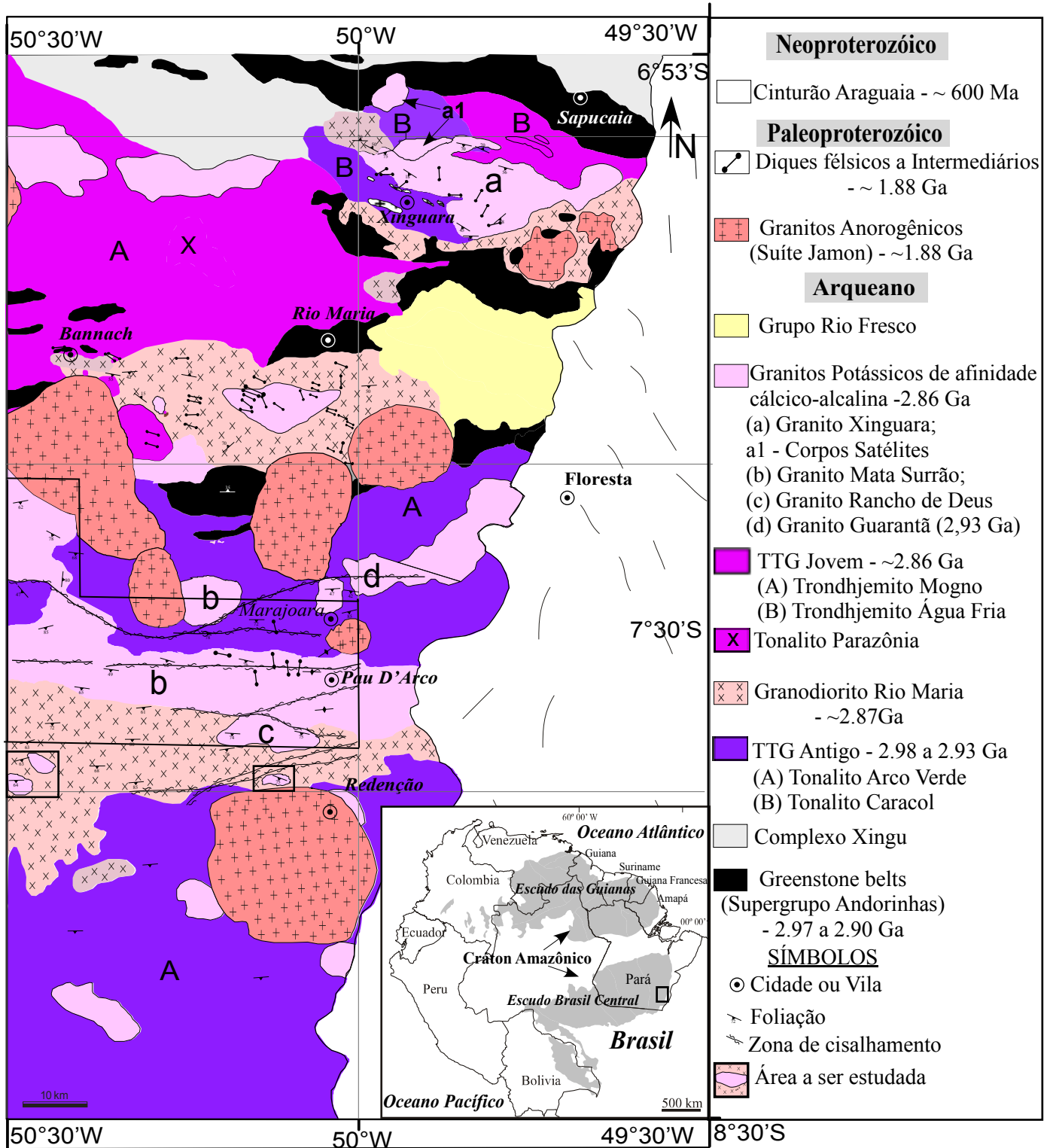


Figura 1.2 - Mapa geológico do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria (Modificado a partir de Almeida 2005).

cortadas pelo Trondhjemitó Águas Frias e Granito Xinguara (Leite 2001).

(d) *Granitóides TTG jovens (~2,87 Ga)*

Este grupo é estratigraficamente posterior aos TTG mais antigos descritos acima, porém mostra características petrográficas e geoquímicas muito similares. Eles afloram nas áreas de Xinguara e Rio Maria do TGGRM, sendo representado pelo Trondhjemitó Mogno e Trondhjemitó Águas Frias. O Trondhjemitó Mogno é intrusivo nas rochas do *greenstone belt* de Identidade (Souza et al. 1994) e forneceu uma idade de 2,87 Ga pelo método U-Pb em titanita (Pimentel & Machado 1994), que tem sido interpretada como a sua idade de cristalização, embora isto ainda não esteja demonstrado. O Trondhjemitó Águas Frias, por sua vez, revelou idade de 2,86 Ga, sendo intrusivo no Complexo Tonalítico Caracol e contemporâneo ao leucogranito potássico Xinguara (Leite 2001, Leite et al. 2004). A vinculação do Trondhjemitó Mogno a este grupo de TTGs está sendo questionada e revista por Guimarães et al. (submetido).

(e) *Leucogranitos potássicos de afinidade cálcico-alcálica (~2,87 Ga)*

Leucogranitos potássicos são relativamente comuns no Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, sendo representados pelos granitos Xinguara (Leite 1995, Leite & Dall'Agnol 1997, Leite et al. 1999, Leite 2001, Leite et al. 2004), Mata Surrão (Duarte et al. 1991, Duarte 1992, Althoff et al. 2000) e Guarantã (Althoff et al. 1991, 1995, 2000, Althoff 1996) e por pequenos *stocks* graníticos aflorantes na região de Identidade (Souza 1994) a leste da cidade de Bannach (Dias 2007), e por plutons graníticos na região de Marajoara (Almeida et al. 2008). Vários outros batólitos e *stocks* de composição granítica encontrados no Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria também foram correlacionados a este grupo de leucogranitos (Araújo et al. 1994, Costa et al. 1995). Essas rochas serão descritas em maior detalhe nos próximos tópicos por se tratar do alvo da pesquisa a ser realizada.

Essas unidades arqueanas são cobertas por metassedimentos do Grupo Rio Fresco, considerados como sendo de idade arqueana (Dall'Agnol et al. 2006) ou paleoproterozóica (Vasquez et al. 2008a).

(e) *Granitos anorogênicos paleoproterozóicos tipo-A e diques associados (~1.88 Ga)*

Durante o Paleoproterozóico, mais precisamente em torno de 1,88 Ga, a região de Rio Maria foi palco de magmatismo granítico anorogênico (CPRM 2000, Dall'Agnol et al. 1994, 1997, 2000, 2005), representado na região pelos Granitos Jamon (Dall'Agnol et al. 1999a), Musa (Gastal 1987), Marajoara (Rocha Jr. 2004), Bannach (Almeida 2005, Almeida et al.

Tabela 1.1 - Síntese dos principais geocronológicos das rochas pertencentes ao Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria (modificado a partir de Leite 2001, Dall’Agnol et al. 2006).

Unidade Estratigráfica	Tipo de rocha	Método	Material Analisado	Idade/Referência
<i>Paleoproterozóico</i>				
Granito Musa	Monzogranito	U/Pb	Zircão	1883±5/-2 Ma (1)
Granito Marajoara	Monzogranito	Rb/Sr	Rocha total	1724±50 Ma (2)
Granito Redenção	Monzogranito	Pb/Pb	Rocha total	1870±68 Ma (3)
Granito Seringa	Monzogranito	Pb/Pb	Zircão	1892±30 Ma (4)
Granito Jamon	Monzogranito	Pb/Pb	Zircão	1885±32 Ma (5)
<i>Arqueano</i>				
Granito Mata Surrão	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2871±7 Ma (6)
	Monzogranito	Pb-Pb	Zircão	2881±2 Ma (7)
	Monzogranito	Pb-Pb	Zircão	2875±11 Ma (7)
	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2868±5 Ma (8)
			Pb-Pb	Rocha Total
Granito Xinguará	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2865±1 Ma (10)
Granito Guarantã	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2,93 Ga (6)
Granodiorito Cumaru	Granitóide	Pb-Pb	Zircão	2817±4 Ma (11)
Trondhjemitó Águas Fria	Granitóide	Pb-Pb	Zircão	2864±21 Ma (10)
Trondhjemitó Mogno	Granitóide	U-Pb	Titanita	2871±? Ma (12)
Granodiorito Rio Maria	Granodiorito	U-Pb	Zircão	2874±9/-10 Ma (2)
	Granodiorito	U-Pb	Zir, titan	2872±5 Ma (12)
	Granodiorito	Pb-Pb	Zircão	2877±6 Ma (7)
	Granodiorito	Pb-Pb	Zircão	2881±8 Ma (7)
	Quartzo-diorito	Pb-Pb	Zircão	2878±4 Ma (5)
Complexo Tonalítico Caracol	Tonalito	Pb-Pb		2948±5 Ma (10)
	Tonalito	Pb-Pb		2936±3 Ma(10)
	Tonalito	Pb-Pb		2924±2Ma(10)
Tonalito Arco Verde	Tonalito	U-Pb	Zircão	2957±25/-21 Ma (2)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2948±7 Ma (7)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2981±8 Ma (7)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2988±5 Ma (7)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2936 ± 4 Ma (8)
Supergrupo Andorinhas (Grupo Lagoa Seca)	Metagrauvaca	U-Pb	Zircão	2971±18 Ma (2)
	Metavulc. fêlsica	U-Pb	Zircão	2904±29/-21 Ma (2)
	Metavulc. fêlsica	U-Pb	Zircão	2979±5 Ma (12)

Fontes dos Dados: (1) Machado et al. (1991); (2) Macambira (1992); (3) Barbosa et al. (1994); (4) Avelar (1996, 1999); (5) Dall’Agnol et al. (1999a); (6) Althoff et al. (2000); (7) Rolando & Macambira (2003); (8) Almeida et al. (2008); (9) Lafon et al. (1994); (10) Leite et al. (2004); (11) Lafon & Scheller (1994); (12) Pimentel & Machado (1994).

2006), Redenção (Montalvão et al. 1982, Vale & Neves 1994, Oliveira 2006, Oliveira et al. 2005, 2008) e Manda Saia (Leite 2001), que são agrupados na Suíte Jamon (Dall'Agnol et al. 1999b, 2005). Diques félsicos a máficos, de modo geral contemporâneos aos granitos, ocorrem sob forma de corpos subverticais, tabulares, com espessuras de até 10 a 20 m, cortando preferencialmente as unidades arqueanas, mas localmente também os granitos anorogênicos (Gastal 1987, Huhn et al. 1988, Souza et al. 1990, Silva Jr. 1996, Rivalenti et al. 1998, Silva Jr. et al. 1999, Ferreira 2009). Trabalhos de campo revelaram a ocorrência de dique composto (Dall'Agnol et al. 2002, Oliveira 2006), formado por um granito pórfiro e um diabásio, seccionando o Granodiorito Rio Maria, aflorando próximo ao contato deste com o Granito Musa.

1.3 - GRANITOS ARQUEANOS DO TERRENO GRANITO-*GREENSTONE* DE RIO MARIA

Maçios graníticos *stricto sensu* ou magmatismo rico em K_2O com características fracamente intrusivas, formando corpos de dimensões variáveis desde *stocks* até batólitos, relacionados espacialmente a associações tonalito-trondhjemitó-granodiorito (TTG), são reconhecidos em terrenos granito-*greenstone* de vários locais do mundo (Cassidy et al. 1991, Condie 1993, Sylvester 1994, Davis et al. 1994). No TGGRM este evento é marcado pelos leucogranitos cálcico-alcálicos, ricos em potássio, representados pelos *plutons* Xinguara, Mata Surrão e outros a eles correlacionados, incluindo pequenos *stocks* graníticos aflorantes na região de Identidade (Souza 1994), bem como a leste da cidade de Bannach (Oliveira 2005, Dias 2007). Na Folha Marajoara (Almeida et al. 2008), além do Granito Mata Surrão e de *plutons* graníticos correlacionados a ele, foi descrito o Granito Guarantã (Althoff 1996, Althoff et al. 2000). Porém, embora haja evidências de que este corpo seja distinto dos granitos Xinguara e Mata Surrão em termos de assinatura geoquímica, a sua idade e características geoquímicas ainda não se encontram inteiramente definidas.

O Granito Mata Surrão é intrusivo no Tonalito Arco Verde (Duarte 1992, Althoff et al. 2000) e é cortado na sua porção oeste pelo Granito Anorogênico Bannach (Almeida et al. 2006, 2008), enquanto que o Granito Xinguara é intrusivo no Complexo Tonalítico Caracol e no Granodiorito Rio Maria e contemporâneo ao Trondhjemitó Água Fria. O Granito Guarantã, por sua vez, é intrusivo no Tonalito Arco Verde. Finalmente, o *stock* leucogranítico a leste da cidade de Bannach é intrusivo no Granodiorito Rio Maria e em trondhjemitos da série TTG (Dias 2007).

O granito Guarantã foi definido originalmente por Althoff (1996), englobando

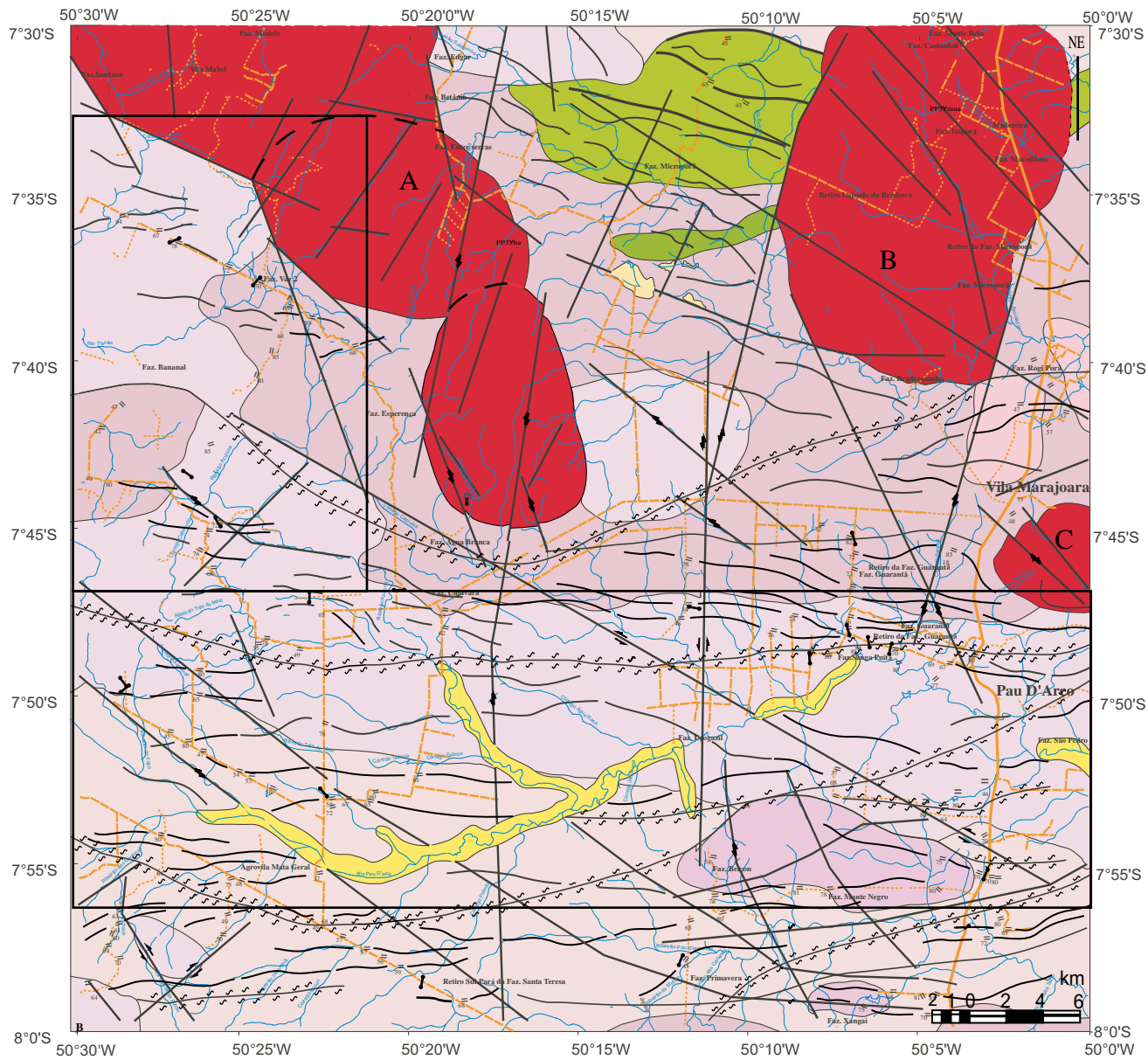
diversos corpos graníticos expostos ao longo da PA-150, nas proximidades das vilas Marajoara e Pau D'Arco. A sua seção-tipo situa-se na Fazenda Guarantã, não mais existente, mas que se localizava a SW de vila Marajoara e a NW de Pau D'Arco (Fig 1.3). Althoff (1996 não correlacionou inicialmente o Granito Guarantã como o Granito Mata Surrão porque percebeu contrastes em termos de feições deformacionais e geoquímicas entre eles. Mais tarde, Althoff et al. (2000), dataram amostra representativa do corpo principal do Granito Guarantã e obtiveram idade de 2871 ± 7 Ma (Tabela 1.1), ao passo que amostra do corpo situado a leste da PA-150, em direção à Floresta, forneceu idade de $\sim 2,93$ Ga (Althoff et al. 2000). Isto levou Althoff et al. (2000) a correlacionar a maior parte das ocorrências do Granito Guarantã, incluindo aquelas de sua área-tipo, com o Granito Mata Surrão. As ocorrências do Granito Guarantã na Folha Marajoara ficaram restritas a dois corpos pequenos no leste da mesma, um deles o que fornecera idade mais antiga.

Durante o mapeamento geológico da Folha Marajoara, Almeida et al. (2008) constataram que parte dos domínios atribuídos anteriormente ao Tonalito Arco Verde ao longo de uma faixa que se estende aproximadamente no sentido E-W e se prolonga para NW a W do contato das unidades arqueanas com o Granito Bannach (Fig. 1.3), era ocupada por rochas graníticas e não por tonalitos e trondhjemitos como seria esperado. Como os dados disponíveis sobre aquela faixa granítica naquele momento ainda eram limitados, sobretudo considerando a grande extensão areal de ocorrência da unidade, e o fato de parte significativa das amostras coletadas exibirem semelhanças petrográficas e estruturais de com o Granito Guarantã, os autores citados optaram por datar uma amostra representativa do conjunto. Obtiveram pelo método Pb-Pb por evaporação em zircão uma idade de 2868 ± 5 Ma (Almeida et al. 2008), similar àquela fornecida pelo Granito Mata Surrão e muito distinta da idade admitida para o Granito Guarantã. Apesar de algumas amostras analisadas apresentarem maior afinidade geoquímica com o Granito Guarantã, isto levou os referidos autores a correlacionarem as rochas graníticas daquele domínio ao Granito Mata Surrão.

As principais características dos granitos do TGGRM acham-se resumidas na tab. 1.2.

1.4. GEOLOGIA DA FOLHA MARAJOARA

Os trabalhos de prospecção mineral executados pela empresa Rio Doce Geologia e Mineração (DOCEGEO 1988, Huhn et al. 1988) no Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, com destaque para os realizados nas áreas de Lagoa Seca, Identidade e Pedra Preta, e o mapeamento geológico na escala 1:250.000 da Folha Xinguara (CPRM 2000), foram importantes contribuições para o avanço do conhecimento da geologia da região de Marajoara



CENOZÓICO	
	DEPÓSITOS ALUVIONARES
PALEOPROTEROZÓICO	
	GRANITO BANNACH (A)
	GRANITO MUSA (B)
	GRANITO MARAJOARA (C)
	DIQUES
ARQUEANO	
	GRANITO MATA SURREÃO
	GRANITO RANCHO DE DEUS
	GRANODIORITO RIO MARIA
	GRANITO GUARANTÃ
	TONALITO ARCO VERDE
	SUPERGRUPO ANDORINHAS

SÍMBOLOS	
	FALHA OU FRATURA
↔	FALHA TRANSCORRENTE
/ / /	ZONA DE CISALHAMENTO
	VILA
	CIDADE
	PROPRIEDADE RURAL
	DRENAGEM
	ÁREA ESTUDADA
~	FOLIAÇÃO
~	CONTATO GEOLÓGICO
72	FOLIAÇÃO COM ÂNGULO DE MERGULHO
	ESTRADA PAVIMENTADA
	ESTRADA SEM PAVIMENTAÇÃO
	CAMINHOS

Figura 1.3 - Mapa geológico da Folha Marajoara (Almeida et. al. 2008)

Tabela 1.2 - Idades e resumos das características petrográficas e geoquímicas dos granitos arqueanos do TGGRM.

Unidade	Idade	Petrografia	Mineralogia	Geoquímica	Refer.
Mata Surrão	2.872±10Ma	Textura equigranular, granulação média, hololeucocrático, róseo claro.	Pl, FK, Qz, Bt, Ep, Mt, Ap, Tit, Zr, Al.	SiO ₂ = 72,9 a 77,1 % K ₂ O/Na ₂ O = 1,0 a 1,48 Rb = 203 a 291 ppm	(1)
	Pb-Pb				(3)
	2871 ± 7 Ma Pb-Pb zircão				(5)
Xinguara	2865±1 Ma	Textura equigranular, granulação média, com variações porfíricas, hololeucocrático, róseo claro.	Pl, FK, Qz, Bt, Ep, Mt, Ap, Tit, Zr e Al	SiO ₂ = 71,6 a 75,3% K ₂ O/Na ₂ O = 0,93 a 2,19 Ba = 434 a 1216 ppm Rb = 109 a 211 ppm (La/Yb) _n = 16 a 144 (Eu/Eu*) _n = 0,28 a 0,76	(2)
	Pb-Pb Zircão				
Guarantã	2,93 Ga	Textura porfírica, granulação grossa, leucocrático, coloração rosada.	Pl, FK, Qz, Bt, Ep, Mt, Ap, Tit, Zr e Al	SiO ₂ = 70,6 a 76,1 % K ₂ O/Na ₂ O = 0,60 a 1,27 Ba = 763 a 1722 ppm Rb = 68 a 142 ppm (La/Yb) _n = 7 a 211 (Eu/Eu*) _n = 0,70 a 1,2	(3)
	Pb-Pb Zircão				(7)
Stock a leste de Bannach	-	Textura heterogranular com granulação média a fina e variações porfíricas, leucocrático.	Pl, FK, Qz, Bt, Ep, Mt, Ap, Tit, Zr e Al	SiO ₂ = 68,87 a 73,38 K ₂ O/Na ₂ O = 0,68 a 1,63 Ba = 1067 a 3312 Rb = 94 a 176 (La/Yb) _n = 23 a 51 (Eu/Eu*) _n = 0,50 a 1,29	(4)
Faixa E-W de Granitos da área de Marajoara	2,86 Ga	Textura equigranular, granulação média a grossa, com variações porfíricas, leucocrático, coloração rosada.	Pl, FK, Qz, Bt, Ep, Mt, Ap, Tit, Zr e Al	-	(5) (6)
Granito Rancho de Deus	-	Textura porfírica, hololeucocrático, coloração rosada.	Pl, FK, Qz, Bt, Anf, Ep, Mt, Ap, Tit, Zr e Al	-	(5)(6)

Fonte dos dados: (1) – Duarte (1992); (2) Leite (2001); (3) Althoff (1996); (4) Dias (2007); (5) Almeida et al. 2008; (6) Este trabalho; (7) Althoff et al. (2000); Abreviações: Pl - Plagioclásio, FK - Feldspato potássico, Qz - Quartzo, Bt - Biotita, Ep - Epidoto, Mt - Magnetita, Ap - Apatita, Tit – Titanita, Zr - Zircão, e Al - Alanita.

e levaram à individualização das principais unidades nela existentes, assim como da sua distribuição espacial aproximada. Porém, os limites geológicos entre as unidades nem sempre foram definidos com precisão e a distribuição areal dos corpos graníticos alvo deste estudo foi subestimada.

Já o mapeamento na escala 1:100.000 da Folha Marajoara, realizado dentro do programa GEOBRASIL (Almeida et al. 2008), apoiado nas informações disponíveis na literatura e acumuladas em etapas anteriores por pesquisadores do GPPG (Duarte 1992, Macambira 1992, Macambira & Lancelot 1996, Althoff et al. 1995, 2000, Althoff 1996), permitiu uma melhor delimitação das áreas de exposição das diferentes unidades arqueanas e

dos granitos paleoproterozóicos e levou à individualização de um extenso domínio de ocorrência de granitos arqueanos, antes supostamente ocupado pelo Tonalito Arco Verde (Fig. 1.3). Segue uma descrição das principais unidades mapeadas naquela folha, assim como da sua distribuição espacial.

a) Supergrupo Andorinhas

Hirata et al. (1982) agruparam os *greenstone belts* do TGGRM no Supergrupo Andorinhas, o qual foi subdividido em Grupo Babaçu (unidade inferior) e Grupo Lagoa Seca (unidade superior), apesar de mantê-los como parte do Complexo Xingu. Conforme Gastal (1987), Santos e Pena Filho (2000), Oliveira (2005) e Almeida et al. (2008) as rochas supracrustais do Supergrupo Andorinhas presentes na Folha Marajoara são aflorantes no extremo norte da folha e, de forma subordinada, no seu extremo nordeste. A faixa mais ao norte, que faz contato ao norte com rochas do Granodiorito Rio Maria e Leucogranito tipo Mata Surrão, a sul com o Tonalito Arco Verde e a leste com o Granito Musa, foi correlacionada ao Grupo Lagoa Seca, enquanto que a faixa situada mais a sul, bem mais estreita, foi correlacionada ao Grupo Babaçu (Huhn et al. 1988). A ocorrência do extremo nordeste da Folha é bem mais restrita em área que as demais e está em contato com os granitos Musa e Jamon (Figuras 1.2 e 1.3).

b) Tonalito Arco Verde

De acordo com Althoff (1996) e Althoff et al. (2000), o Tonalito Arco Verde é uma típica suíte TTG, seguindo o *trend* de enriquecimento acentuado em Na_2O nas rochas mais evoluídas, distinto daquele das séries cálcico-alcálicas, e mostrando características de trondhjemito com alto Al_2O_3 . Almeida et al. (2008) mostraram que as rochas do Tonalito Arco Verde (Tav) afloram em grande parte da porção nordeste da folha Marajoara, havendo ocorrências menores no sudeste e oeste da área. Geralmente, ocorrem em porções mais arrasadas ou, no caso do oeste da área, como corpos constituindo morros, porém apresentando cotas topográficas mais baixas que as dos granitos paleoproterozóicos. São intrusivos nas seqüências supracrustais e são seccionados pelos demais granitóides arqueanos e paleoproterozóicos. São comuns rochas do Tonalito Arco Verde cortadas por veios leucograníticos, em geral, ligados aos granitos arqueanos. O Tonalito Arco Verde apresentou idades variáveis de cerca de 2980 a 2930 milhões de anos (Tabela 1.1).

c) Granodiorito Rio Maria

O Granodiorito Rio Maria (GDrm) forneceu idade de cerca de 2,87 Ga (Tabela 1.1) e ocorre em grandes áreas do TGGRM. Almeida et al. (2008) mostraram que em Marajoara, as ocorrências de rochas do GDrm estão concentradas na porção sul, em uma extensa faixa que se estende do limite leste até o oeste, sendo aparentemente intrudida no leste pelo Granito Rancho de Deus e, no oeste, por dois pequenos corpos de Leucogranitos tipo Mata Surrão. Rochas do GDrm também ocupam pequena área no extremo norte e nordeste da Folha. Já os mapas geológicos da Folha Xinguara 1:250.000 (Santos & Pena Filho 2000) e do GIS/Brasil (CPRM 2004) são contraditórios quanto à distribuição do GDrm. Porém, Almeida et al. (2008) constataram que a faixa de GDrm se estende até o limite sudoeste da Folha Marajoara, havendo, ainda, a presença de dois corpos de leucogranitos correlacionados ao granito Mata Surrão, possivelmente intrusivos no GDrm. Almeida et al. (2008) afirmam que a morfologia no domínio do Granodiorito Rio Maria é, no geral, bastante uniforme e peneplanizada, com ocorrências de morrotes isolados, cuja distribuição não obedece um padrão regular. Segundo Althoff (1996), Santos & Pena Filho (2000), Oliveira (2005) e Almeida et al. (2008), o Granodiorito Rio Maria apresenta caráter intrusivo nos *Greenstone Belts* do Supergrupo Andorinhas e no Tonalito Arco Verde e é intrudido pelos leucogranitos tipo Mata Surrão e granitos paleoproterozóicos (Figura 1.3).

d) Granitos Arqueanos

Na Folha Marajoara, os leucogranitos arqueanos são abundantes, sendo representados pelos granitos Mata Surrão e Guarantã e por *stocks* graníticos encontrados na porção norte da folha, em contato com o *Greenstone Belt* de Pedra Preta e na porção sudoeste da folha, em contato com o GDrm. O Granito Mata Surrão é intrusivo no Tonalito Arco Verde (Duarte 1992). Althoff et al. (2000) correlacionaram inicialmente um corpo de leucogranito, exposto a sul de Pau d'Arco ao Granito Guarantã (Althoff 1996), porém o referido corpo apresentou idade Pb-Pb em zircão de 2871 ± 7 Ma (Althoff et al. 1998, 1999), fazendo com que a interpretação inicial fosse revista e o mesmo correlacionado ao Granito Mata Surrão.

Na Folha Marajoara, Almeida et al. (2008) observaram que, além das ocorrências dos granitos Mata Surrão (Duarte 1992) e Guarantã (Althoff 1996) já identificadas, granitos arqueanos afloravam em amplos domínios da folha. Portanto, um dos resultados do mapeamento foi a comprovação de uma distribuição mais ampla dos granitos arqueanos. Outra conclusão foi a redução substancial da área de ocorrência do Granito Guarantã, que ficou limitado a um pequeno corpo na porção centro-leste da folha (Fig. 1.3), pois os demais corpos graníticos arqueanos, em função dos dados geocronológicos, foram correlacionados ao

Granito Mata Surrão. Desta forma, este, além de sua área-tipo no centro da folha, formaria *stocks* a norte e leste da mesma e ocuparia uma extensa faixa se estendendo de E a W na porção central e se prolongando para NW da folha. Isto correspondeu à ampliação do domínio das rochas graníticas e à redução daquele do Tonalito Arco Verde.

Os *stocks* do Granito Mata Surrão formam geralmente morros com cotas inferiores apenas às dos corpos graníticos anorogênicos. Contrariamente, o Granito Guarantã e a faixa de rochas graníticas E-W, mostram um relevo peneplanizado atingindo cotas topográficas mais elevadas apenas na porção noroeste (Almeida et al. 2008).

No centro-leste da Folha Marajoara, foi descrito por Santos & Pena Filho (2000), um corpo granítico denominado Rancho de Deus, interpretado como anorogênico e correlacionado aos corpos da Suíte Jamon. Porém, estudos petrográficos, geoquímicos e estruturais (Almeida et al. 2008) revelaram que o Granito Rancho de Deus e um corpo menor, localizado a sul deste, são similares aos granitos arqueanos do TGGRM. Não ficou, no entanto, definida a que associação magmática pertenceria o Granito Rancho de Deus.

De acordo com os trabalhos anteriores (Duarte 1992, Althoff 1996, CPRM 2000, Oliveira 2005) e suas próprias observações de campo, Almeida et al. (2008) registraram que, na maioria das ocorrências, os granitos arqueanos e as rochas do Granodiorito Rio Maria mostram contatos abruptos, com os primeiros cortando claramente o granodiorito. Além de serem intrusivos no Granodiorito Rio Maria, os leucogranitos cortam também rochas do Tonalito Arco Verde e das supracrustais, sendo intrudidos pelos granitos anorogênicos Musa (Gastal 1987), Bannach (Almeida 2005) e Marajoara (Rocha Jr. 2004).

Apesar da existência de similaridades entre os granitos Mata Surrão e Guarantã, eles exibem idades contrastantes (Tabela 1.2 e subitem 1.2). Além disso, Althoff et al. (2000, 2005) mencionam evidências de campo sugerindo que o Granito Guarantã tenha idade de cristalização/colocação mais próxima do Tonalito Arco Verde do que do Granito Mata Surrão. Portanto, quando da proposição do presente trabalho, as relações entre os granitos Mata Surrão e Guarantã ainda não se encontravam inteiramente esclarecidas precisando ser investigadas.

e) Granitos Anorogênicos

Almeida et al. (2008) mostraram que as elevações máximas em Marajoara correspondem aos domínios dos granitos da Suíte Jamon (Dall’Agnol et al. 2005), representados pelos granitos Bannach (Almeida 2005), localizado na porção noroeste; Musa

(Gastal 1987), na porção nordeste; e Marajoara (Rocha Jr. 2004), na porção centro-leste. Os relevos acidentados dos maciços são formados por dois padrões geomorfológicos principais: a) morros apresentando formas arqueadas e escarpas íngremes com altitudes que variam de 400 até 650m; b) Morros fortemente orientados na direção NE-SW e subordinadamente NW-SE com cotas que alcançam 700m. Em alguns casos, como no corpo Bannach, há estruturas internas mostrando padrões concêntricos e formando anfiteatros (Almeida 2005).

Costa et al. (1990, 1995) sugerem que os *trends* da estruturação regional paleoproterozóica da Província Mineral de Carajás são devidos a esforços extensionais, os quais geraram falhamentos normais orientados segundo NE-SW e NW-SE e afetaram coberturas vulcânicas e sedimentares e granitos anorogênicos. Tal observação é consistente com os padrões principais de fraturamento observados nos corpos anorogênicos.

f) Depósitos aluvionares

Depósitos aluvionares ocorrem fundamentalmente ao longo das drenagens associadas ao rio Pau-D'Arco e seus afluentes, situando-se as zonas mais expressivas no centro-sul e sudoeste da Folha (Figura 1.3). São formados por sedimentos típicos de canais fluviais e planície de inundação, sendo arenosos, silticos e argilosos.

1.5. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Conforme destacado por Leite (2001), magmas graníticos são constituintes importantes do TGGRM. Em geral, este tipo de magmatismo é produzido em algumas dezenas de milhões de anos, nos estágios finais de crescimento da crosta no Arqueano, provavelmente marcando uma relação entre plutonismo e cratonização numa época em que a reciclagem crustal já é mais importante do que a diferenciação (Ridley, 1992). Sylvester (1994) considera que os granitos *stricto sensu* são um constituinte comum e bastante volumoso dos crátons arqueanos. Uma das características mais marcantes dos plutons graníticos arqueanos está relacionada à sua colocação quase sincrônica nos vários crátons, sempre intrusivos nos granitóides e gnaisses TTG e *greenstone Belts*. Estes plutons formam assim grandes províncias ígneas que representam eventos magmáticos diferentes daqueles que produziram os TTGs e rochas vulcânicas félsicas dos *greenstone belts*. De acordo com Kröner (1991), volumosas intrusões de rochas granitóides ricas em K₂O marcam a estabilização dos crátons arqueanos. A formação desse tipo de magmatismo dá-se em curto período de tempo, situando-se em geral algumas dezenas de milhões de anos antes da estabilização (Ridley 1992). Admite-se, em geral, que

sejam derivados de fusão parcial de granitóides similares às associações TTG arqueanas ou produto de cristalização fracionada de magmas do tipo TTG (Condie & Hunter 1976, Cassidy et al. 1991, Kröner 1991, Kröner & Layer 1992, Ridley 1992, Sylvester 1994, Davis et al. 1994).

Na Folha Marajoara (Figura 1.3), há amplas exposições dos três grupos principais de granitóides reconhecidos em terrenos arqueanos: tonalitos-trondhjemitos-granodioritos, granodioritos com alto Mg do tipo sanukitóide e granitos *stricto sensu*. Os granitos arqueanos foram estudados em relativa profundidade em algumas áreas, tendo sido individualizados o Granito Mata Surrão (Duarte 1992, 2,87 Ga) e o Granito Guarantã (Althoff 1996, 2,93 Ga). Porém, durante os trabalhos de mapeamento da equipe de geólogos da UFPA, dentro do programa GEOBRASIL, na área de Marajoara, foram identificadas novas ocorrências de granitos que necessitam de estudos mais detalhados.

Os granitos Mata Surrão (Duarte 1992) e Xinguara (Leite 2001) apresentam muitas similaridades nos padrões de elementos terras raras, com moderado fracionamento de elementos terras raras pesadas e uma pronunciada anomalia de Eu, refletindo importante fracionamento de plagioclásio. O Granito Guarantã mostra um padrão completamente diferente, sugerindo um contraste nos processos ou fontes magmáticas quando comparado com os demais granitos (Althoff 1996, Dall'Agnol et al. 1996, 1997, 2006, Althoff et al. 2000). Os dois primeiros granitos apresentam idades próximas a 2,87 Ga (Pb-Pb rocha total, Lafon et al. 1994; Pb-Pb em zircão, Leite 2001, respectivamente), enquanto que o Granito Guarantã mostra idade de 2,93 Ga (Althoff et al. 2000), como citado anteriormente. As idades diferentes obtidas para esses granitos sugerem que haja pelo menos duas gerações de magmatismo granítico no TGGRM, porém esta é questão ainda passível de investigação, sendo a região de Marajoara uma área-chave na busca do entendimento destes granitos, tanto no aspecto estrutural e geocronológico, quanto no aspecto petrológico.

A idade de cristalização de 2931 ± 19 Ma (Althoff et al. 2000) obtida para o Granito Guarantã, se confirmada, abriria a possibilidade de ocorrência nesta região do Cráton Amazônico de um ciclo de formação de crosta continental anterior ao que ocorreu entre 2,96 e 2,87 Ga no Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria. Este ciclo terminaria por volta de 2,93 Ga com a colocação do Granito Guarantã. Outras evidências deste ciclo pretérito são os zircões com idades reliquias de 3,2 Ga encontrados na região em granitos proterozóicos (Machado *et al.* 1991) e os zircões detríticos de mesma idade presentes em formações sedimentares (Macambira & Lancelot 1991).

O novo domínio de rochas graníticas identificado na folha Marajoara, no mapeamento

realizado por pesquisadores do GPPG por meio do programa GEOBRASIL (Almeida et al. 2008) adquire neste contexto uma grande relevância do ponto de vista científico. Este domínio, embora correlacionado naquele trabalho ao Granito Mata Surrão, necessita de estudos mais aprofundados em termos de sua geologia, petrografia e geoquímica, para que se possa avançar na caracterização das rochas graníticas do TGGRM e na interpretação de sua origem e significado tectônico.

Com base no exposto, chega-se aos principais problemas ainda pendentes sobre estas rochas graníticas:

1. O Granito Guarantã é uma unidade granítica distinta dos granitos Mata Surrão e Xinguara? Em caso positivo, que características podem distinguí-los? O termo Guarantã deve ser mantido na literatura ou abandonado?
2. O novo domínio granítico identificado na Folha Marajoara é formado por que tipo de rochas? Constituem um grupo homogêneo ou apresentam variações expressivas? Qual é a composição mineralógica, modal e química das rochas dominantes? Como podem ser classificadas?
3. Essas rochas são semelhantes aos leucogranitos de afinidade cálcico-alcálica do TGGRM, Xinguara e Mata Surrão, ou divergem deles em termos geoquímicos?
4. Há efetivamente mais de uma geração de granitos cálcico-alcálicos no TGGRM ou a formação destas rochas se deu unicamente em torno de 2,87 Ga?
5. Caso haja mais de uma geração, elas podem ser diferenciadas por suas características estruturais, petrográficas, geoquímicas ou somente por sua idade?
6. Se as características são distintas, como explicá-las em termos de contrastes de fontes ou processo de evolução do magma?
7. Qual o significado do magmatismo granítico na evolução do TGGRM?

1.6. OBJETIVOS

A partir das inúmeras questões listadas anteriormente, foi definido como objetivo central para a presente dissertação a caracterização das rochas graníticas aflorantes na porção central da Folha Marajoara, no que diz respeito aos seus aspectos geológicos, petrográficos e geoquímicos. Com base nisso, pretende-se contribuir para esclarecer as questões pendentes em relação à existência ou não do Granito Guarantã e seu posicionamento estratigráfico.

Como objetivos subordinados podem ser assinalados os seguintes:

1. Aprimorar o mapa geológico do domínio granítico recentemente identificado na Folha Marajoara nas cercanias da cidade de Pau D'Arco, identificando as diferentes rochas graníticas e definindo a sua distribuição espacial.
2. Fazer a caracterização petrográfica de amostras representativas das rochas graníticas dominantes, procurando definir e caracterizar as suas possíveis variedades faciológicas;
3. Determinar as composições modais, classificar, estimar ordem de cristalização e discutir as transformações tardi a pós-magmáticas e feições deformacionais presentes nas mesmas;
4. Efetuar a caracterização geoquímica das diferentes variedades de rochas graníticas, discutindo com base nisso suas afinidades geoquímicas e os processos magmáticos que controlaram a sua evolução;
5. Comparar as rochas estudadas com outros corpos de granitos arqueanos que ocorrem na região de Rio Maria, com o intuito de analisar as similaridades possivelmente existentes.

Finalmente, cabe assinalar que estudos geocronológicos e isotópicos sobre essas mesmas rochas estão sendo desenvolvidos em paralelo (Almeida em prep.), devendo permitir aprofundar as discussões sobre a origem e significado tectônico das rochas graníticas do TGGRM e estabelecer comparações mais detalhadas com o que se observa em outros crátons arqueanos. Estes objetivos do GPPG transcendem, portanto, o que se almeja na presente dissertação.

1.7. MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos foram utilizados vários métodos e técnicas de investigação, relacionadas ao tema e compatíveis com os assuntos abordados.

1.7.1 – Pesquisa bibliográfica

Durante o desenvolvimento da dissertação, foi efetuado levantamento bibliográfico referente à geologia da Província Carajás, com ênfase na região estudada, bem como sobre temas específicos, concernentes à evolução, petrogênese e geoquímica de granitos, em particular aqueles do Arqueano.

1.7.2 – Mapeamento geológico.

Ao longo do projeto GEOBRASIL (convênio CPRM/UFPA) foram realizadas duas campanhas de campo na Folha Marajoara, na qual está inserida a área estudada, para complementar os dados necessários para efetuar o mapeamento na escala 1:100.000 (diversos domínios da folha haviam sido previamente mapeados por pesquisadores do GPPG). A

primeira consistiu da complementação do reconhecimento logístico e do levantamento dos principais perfis ao longo das estradas que cortam a folha, acompanhados de coleta de amostras. Foi realizada em agosto de 2005 e permitiu o levantamento de grande parte da área ainda não mapeada, ficando o restante para uma segunda fase de campo. Esta foi executada em setembro de 2005, com o intuito de concluir o mapeamento geológico da Folha Marajoara, detalhando a amostragem e definindo as relações de contato e limites das unidades. Durante estas duas etapas, dentre outras coisas, foram examinados e descritos 98 afloramentos referentes aos domínios das rochas graníticas. Foram efetuados levantamentos de perfis e coleta sistemática e criteriosa de amostras ao longo das estradas e caminhos existentes, além de eventuais caminhamentos na área de ocorrência das rochas graníticas. Foram utilizadas como apoio, nesta etapa, imagens de radar, satélite e de levantamentos aereogeofísicos (magnetometria e radiometria) cedidas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Imagens com superposição de dados aereogeofísicos e de sensores também foram utilizadas no mapeamento. Os pontos de amostragem tiveram suas localizações definidas utilizando aparelho GPS (Global Position System) e foram locados em uma base georeferenciada. Na etapa de refinamento dos dados, realizado pela autora, foi elaborado um mapa mostrando a distribuição das amostras de granitos estudadas neste trabalho (Figura 1.4).

Os trabalhos de mapeamento na escala de 1:100.000 realizados dentro do programa GEOBRASIL (Almeida et al. 2008) levaram à proposição de uma coluna estratigráfica, construída com base nas relações estratigráficas entre as diversas unidades, nas feições estruturais apresentadas pelas mesmas, bem como em dados geocronológicos disponíveis na literatura, somados a duas novas datações. Os dados reunidos ao longo daquele trabalho foram ordenados em sistema de informação geográfica e, aqueles referentes às rochas graníticas, foram disponibilizados para a autora, que contou, assim, com uma base sólida para o desenvolvimento de sua pesquisa. Além disso, ela dispunha de acesso às informações de campo por meio de contato direto com os responsáveis por aquele mapeamento. A autora contribuiu para o aprimoramento do mapa geológico da Folha Marajoara pela integração dos dados disponíveis com o grande volume de informações petrográficas e geoquímicas inéditas que gerou.

1.7.3– Petrografia

Os estudos petrográficos contaram com descrições macroscópicas das 98 amostras coletadas, para posterior seleção e confecção de lâminas delgadas para estudo microscópico. As amostras selecionadas para estudo foram essencialmente do domínio granítico da porção

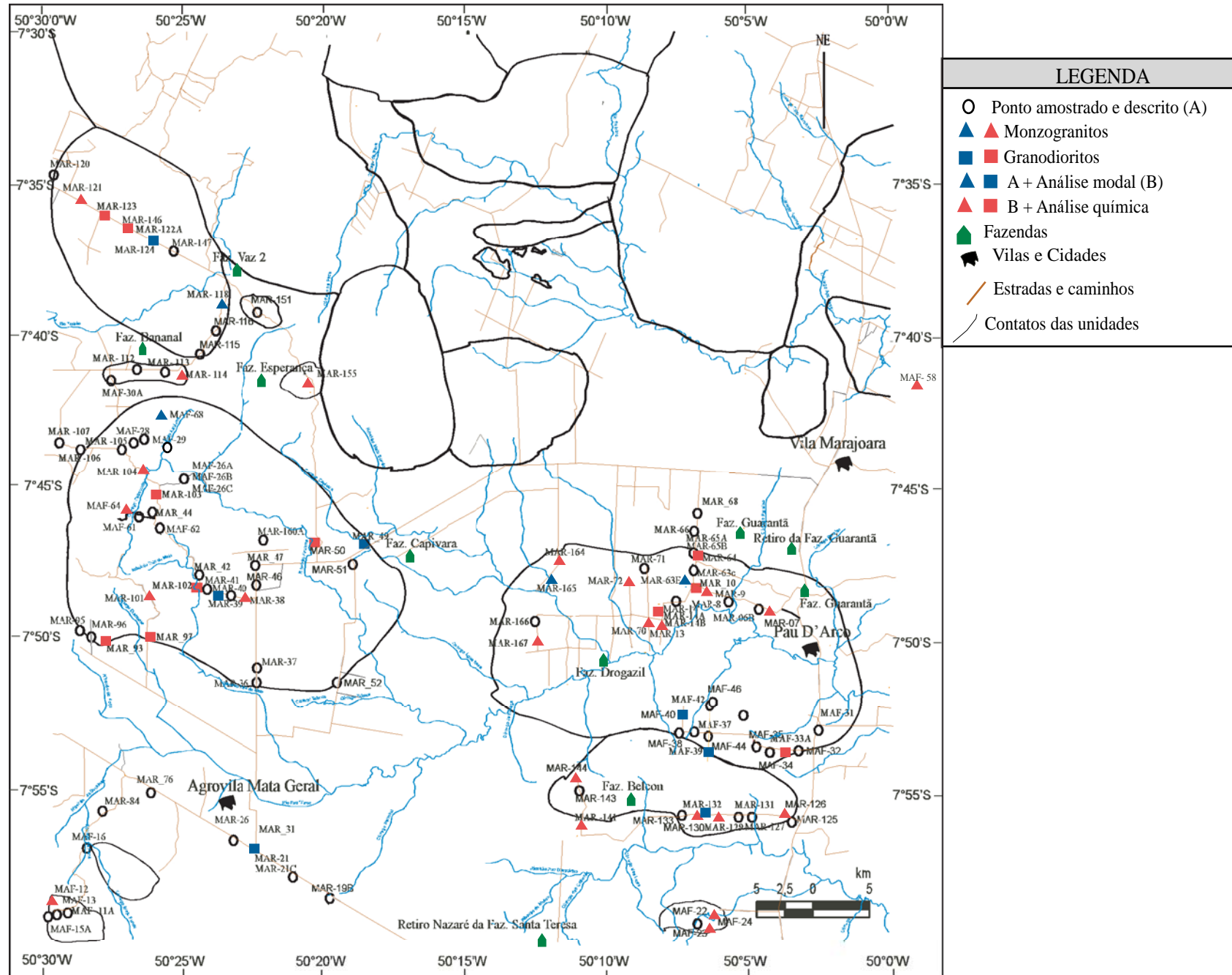


Figura 1.4 - Mapa de localização das amostras estudadas neste trabalho (Mapa modificado de Almeida et al. 2008)

central da Folha Marajoara, com algumas poucas amostras de granitos de outras áreas, bem como de rochas encaixantes. Foram estudadas 33 lâminas polidas de rochas, confeccionadas durante a execução do projeto GEOBRASIL, acrescidas de 25 lâminas delgadas preparadas posteriormente. Todas estas lâminas foram descritas e tiveram analisadas suas feições texturais, deformacionais e transformações tardi a pós-magmáticas. Foram realizadas 40 análises modais de amostras representativas das diferentes variedades identificadas de granitos, sendo 25 delas pela autora deste trabalho e 15 cedidas por Almeida et al. (2008). As 130 análises modais que constam no capítulo 5 são copiladas dos trabalhos de diversos autores que estão citados no referido capítulo. Em todos os casos, utilizou-se um contador eletrônico de pontos, da marca *Swift*, onde foram contados em média 1500 pontos por cada lâmina. Os dados assim obtidos foram posteriormente plotados nos diagramas QAP e Q-A+P-M (Streckeisen 1976, Le Maitre et al. 2002), permitindo assim classificar adequadamente as rochas estudadas, conforme estabelecido pela IUGS(International Union of Geological Sciences).

1.7.4 – Geoquímica.

Foram efetuadas 34 análises químicas de amostras representativas das rochas graníticas estudadas, todas previamente submetidas à análise modal. Destas, 20 análises foram obtidas durante o desenvolvimento do projeto GEOBRASIL e 14 foram selecionadas posteriormente, sendo que todo o conjunto passou pelo mesmo processo de preparação. Destas 14 amostras, doze foram preparadas durante a realização do presente trabalho e duas são vinculadas à tese de doutorado de J.A.C. Almeida, ora em desenvolvimento.

A preparação das amostras foi realizada no Laboratório de Sedimentologia e na Oficina de Preparação de Amostras (OPA), ambos pertencentes ao Instituto de Geociências (UFPA). Nesta fase as amostras foram trituradas, pulverizadas e quarteadas, visando obter uma boa representatividade do material. As análises químicas foram realizadas no Laboratório ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD. Sendo os elementos maiores e menores (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅) analisados por fluorescência de raios-X, ao passo que os elementos-traço (Rb, Sr, Ba, Ga, Y, Zr, Nb, U, Th, Cr, Ni, V), incluindo os elementos terras raras (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Yb e Lu), foram analisados por ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry). A caracterização do quimismo das rochas analisadas foi baseada nos procedimentos indicados em Ragland (1989) e Rollisson (1993) e fundamentou-se na avaliação do comportamento dos elementos maiores, menores e traço, através de diagramas de variação clássicos e vários diagramas

propostos na literatura (Shand 1951, La Roche et al. 1980, Whalen et al. 1987, Debon & Le Fort 1988), com o objetivo de definir a série magmática.

CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DOS GRANITOS ARQUEANOS DA FOLHA MARAJOARA

2.1 – INTRODUÇÃO

O estudo detalhado das rochas graníticas arqueanas da Folha Marajoara permitiu: a) individualizar três plutons granítico Gurantã, Granodiorito Azulona e Trairão (Fig. 2.1), constituídos por rochas monzograníticas a granodioríticas, geralmente pobres em máficos, na suposta faixa granítica correlacionada ao Granito Mata Surrão que se estendia no sentido E-W na porção central da Folha Marajoara, segundo mapa geológico anterior (Fig. 1.3; Almeida et al. 2008); b) Confirmar a ocorrência de um quarto pluton granítico, correspondente ao Granito Rancho de Deus, composto predominantemente por monzogranitos com anfibólio; c) Identificar três pequenos *stocks* leucograníticos na porção noroeste da folha, os quais vieram a se somar aos dois outros *stocks* mapeados anteriormente no sudoeste da folha (Figs. 1.3 e 2.1).

Os dados petrográficos e geoquímicos (capítulos 3 e 4), associados a datações geocronológicas, permitiram concluir que os três primeiros corpos são cogenéticos e podem ser associados a uma mesma suíte (Almeida et al. em preparação; este trabalho; Dias et al. em preparação). Esta suíte recebeu a denominação de Suíte Guarantã que será adotada no presente trabalho.

2.2 - FEIÇÕES GEOLÓGICAS DA SUÍTE GUARANTÃ

2.2.1 - Pluton Granítico Guarantã.

O pluton Guarantã, exposto na porção centro-leste da Folha Marajoara, é constituído por monzogranitos e granodioritos, possui área aproximada de 240 km² e forma sub-circular (Figura 2.1), com eixos medindo 20 e 12 km, sendo que o eixo maior se alinha segundo a direção E-W. Ele é intrusivo no Tonalito Arco Verde (Figura 2.2a), e faz contato na porção sul com o Granito Rancho de Deus e com o Granodiorito Rio Maria, não tendo sido observadas no campo relações diretas do mesmo com esses dois granitóides. Os limites norte e sul do pluton são marcados por duas grandes zonas de cisalhamento, separando, respectivamente, o granito Guarantã do Tonalito Arco Verde e do Granito Rancho de Deus. Outras zonas de cisalhamento, todas elas orientadas próximas da direção E-W, seccionam o corpo granítico, que exhibe foliação orientada preferencialmente em direções próximas de E-W com variações para NW-SE, em geral com alto ângulo de mergulho para sul ou sudoeste (Fig. 2.1). Diversos lineamentos estruturais com direções NW-SE, NE-SW e N-S, interpretados em

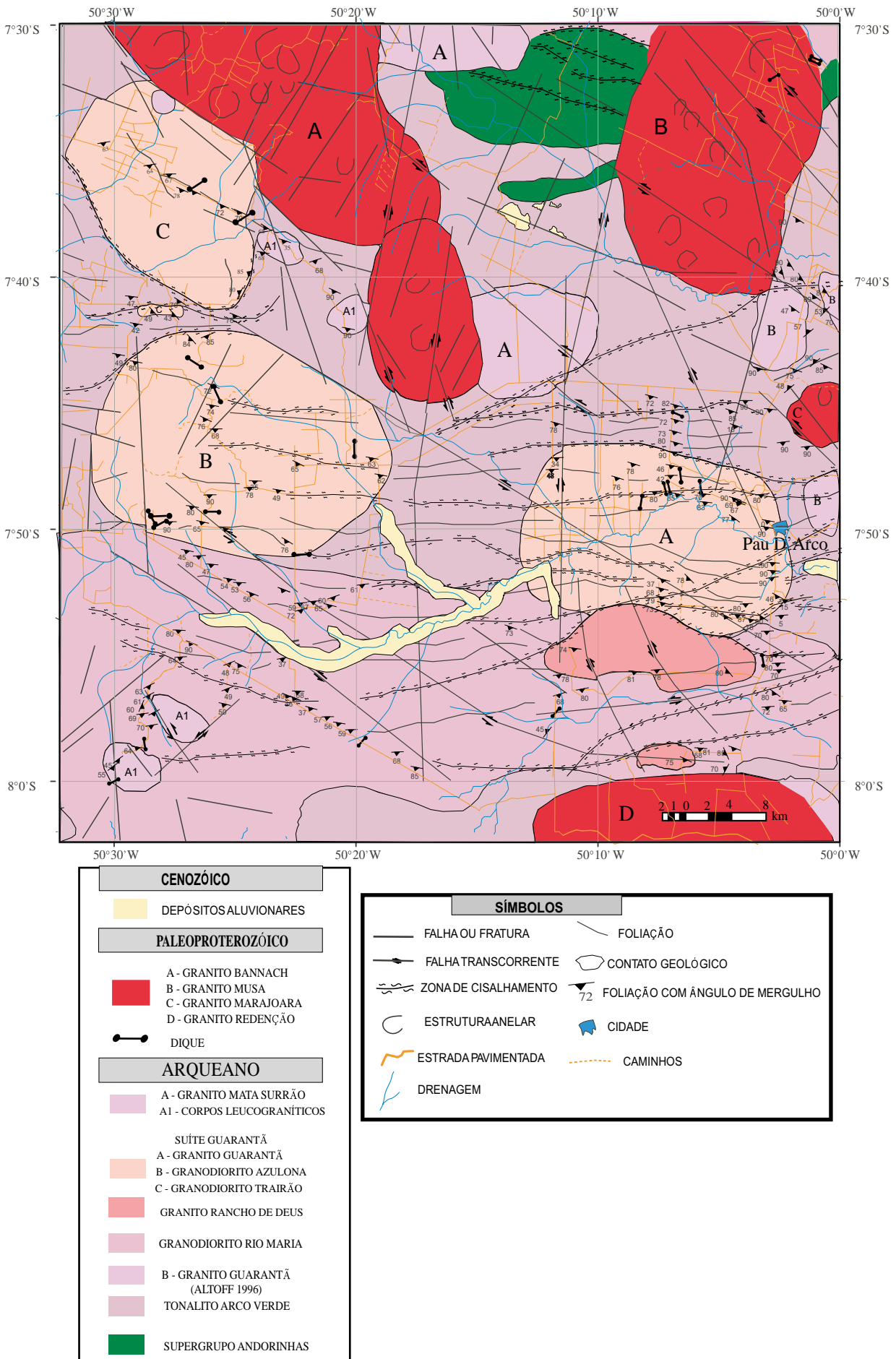


Figura 2.1 - Mapa geológico da folha Marajoara (SB-22-Z-C-V), mostrando a distribuição espacial dos *plutons* da Suíte Guarantã do Granito Rancho de Deus e dos corpos leucograníticos estudados neste trabalho (modificado de Almeida et al. 2008).



Figura 2.2 - Feições geológicas do Granito Guarantã. (a) Contato entre o Granito Guarantã e o Tonalito Arco Verde; (b) Dique de diabásio cortando o Granito Guarantã e (c, d) Encraves máficos no Granito Guarantã (Fotos obtidas por Almeida et al. 2008).

sua maioria como falhamentos (Almeida et al. 2008), afetam tanto as variedades do corpo como suas encaixantes. Diques de orientação NNW-SSE a N-S, de composição máfica, ocorrem na porção norte do pluton, seccionando tanto as suas rochas quanto às suas encaixantes (Figura 2.2 b). Estes diques não foram estudados neste trabalho.

O mapeamento das rochas encaixantes do pluton Guarantã não consta entre os objetivos do presente trabalho, porém, cabe destacar, que, além das informações obtidas durante o mapeamento da folha Marajoara (Almeida et al. 2008), estudos detalhados do Tonalito Arco verde e do Granodiorito Rio Maria foram realizados, respectivamente, por Althoff (1996) e Oliveira (2005) e esses granitóides também estão sendo re-estudados atualmente em duas teses de doutorado de pesquisadores vinculados ao GPPG (Almeida em preparação; Oliveira em preparação).

A morfologia no domínio do pluton corresponde, no geral, a relevo bastante uniforme, arrasado e peneplanizado, com altitudes menores que 200m, ao passo que as áreas ocupadas pelo corpo Rancho de Deus sobressaem na topografia local, formando morrotes de até 460m de altitude (Fig. 2.6). Em imagens de satélite e de radar os limites do corpo são ora bem definidos, ora mostram padrões poucos característicos, que dificultaram a sua delimitação. O contraste geomorfológico entre o corpo granítico e o Tonalito Arco Verde é restrito, pois ambos apresentam relevo arrasado, o que não contribui para a individualização de seus domínios. Porém, os levantamentos gamaespectrométricos revelam, em imagens de contagem total, respostas radiométricas comparativamente mais elevadas nas áreas de exposição do corpo Guarantã, em relação ao Tonalito Arco Verde (Figura 2.3). Isso, juntamente com a amostragem de campo (Fig. 1.4) facilitou a delimitação do pluton e é coerente com o fato de suas amostras exibirem razões K_2O/Na_2O e conteúdos de U e Th mais altos do que as rochas do tonalito (cf. Capítulo 4, Geoquímica).

Em termos estruturais, nas variedades mais grossas a foliação é ausente ou incipiente, tendendo a ser mais pronunciada ao longo do contato sul, onde predominam variedades de granulação média e há incidência de zonas de deformação mais intensa, as quais são responsáveis pela orientação mineral no Granito Guarantã.

Enclaves máficos centimétricos, com formas ligeiramente arredondada, ocorrem no pluton granítico (Figura 2.2 c, d). O fato de existirem fenocristais de feldspato potássico nestes enclaves sugere que os mesmos são cogenéticos com o granito, tendo ambos coexistido no estado parcialmente líquido.

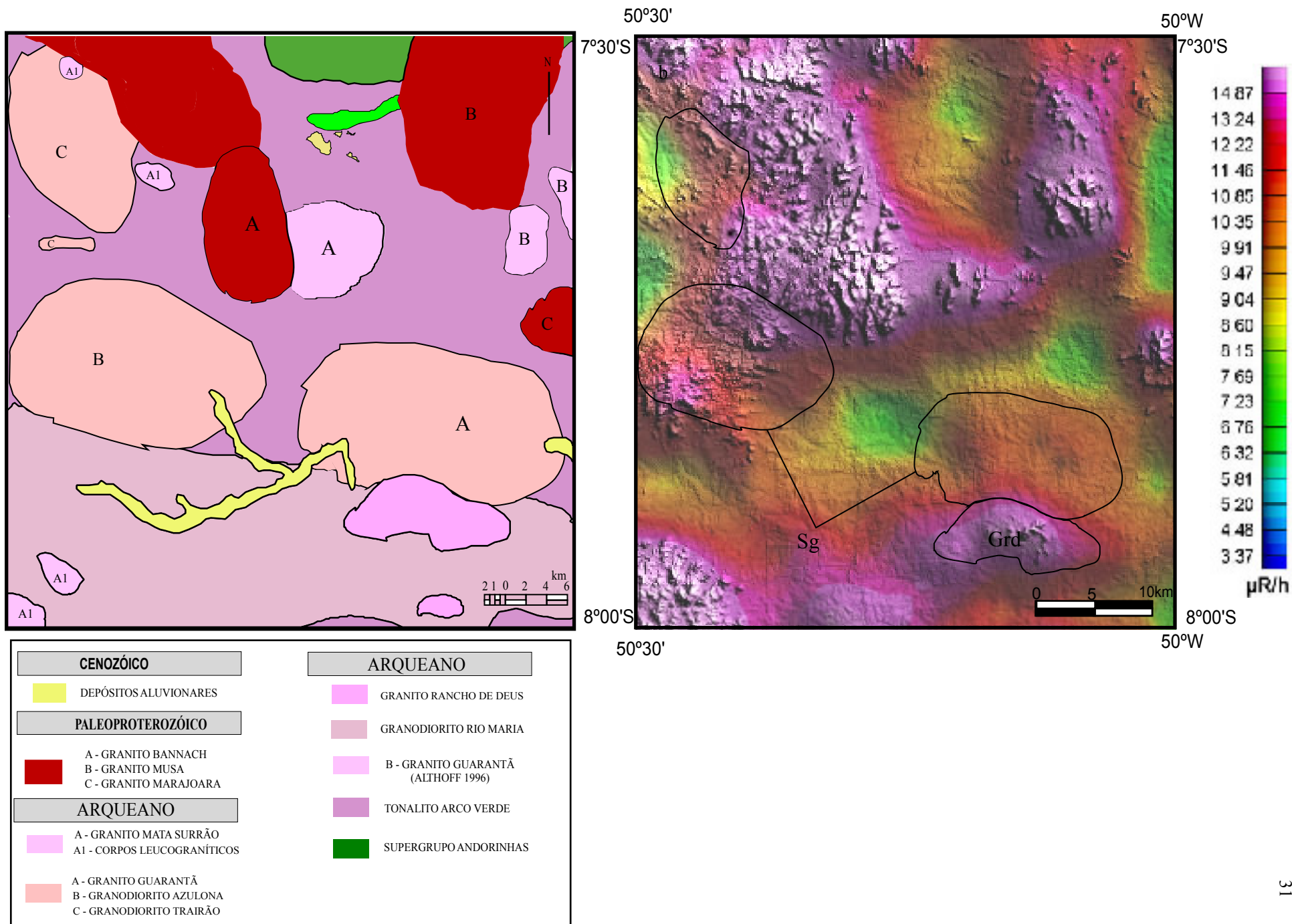


Figura 2.3- a) Mapa geológico da Área de Marajoara (Modificado de Almeida et al. 2008); b) Imagem de contagem total do Th (tório) fundida com imagem de radar destacando os granitóides arqueanos da Folha Marajoara estudados. Notar a expressiva anomalia radiométricas exibidas pelos corpos da Suite Guarantã (Sg) e as anomalias mostradas do corpo Rancho de Deus (Grd) (imagem modificada de Almeida et al. 2008).

2.2.2 - Pluton Granodiorítico Azulona.

O corpo Azulona aflora na porção centro-oeste da Folha Marajoara e possui também forma sub-circular, com sua área de exposição cobrindo aproximadamente 352 km², com eixos medindo 22 e 16 km, sendo que o eixo maior está orientado segundo a direção WNW-ESE. Este pluton é constituído principalmente por granodioritos com variações para monzogranitos e apresenta contato intrusivo com o Tonalito Arco Verde, exceto na sua porção sul que faz contato com o Granodiorito Rio Maria (Figura 2.1). O pluton Azulona foi afetado por zonas de cisalhamento com orientação próxima de E-W e seu contato NW com o Tonalito Arco Verde é controlado por uma zona de cisalhamento de direção em torno de NE-SW, ao passo que o contato NE se faz por meio de um grande lineamento de amplitude regional interpretado como falha (Almeida et al. 2008; Fig. 2.1). Outros lineamentos estruturais com direções N-S a NE-SW afetam tanto o corpo, quanto suas encaixantes. O padrão dominante da foliação apresentada pelas rochas do corpo é similar ao observado no pluton Guarantã, ambos sendo concordantes com as estruturas principais registradas no arqueano do TGGRM. Diques de diabásio de orientação E-W, NW-SE, N-S e NE-SW seccionam as rochas granitóides do pluton Azulona.

Quanto à morfologia, no domínio do pluton, nota-se que a sua porção centro-oeste é constituída por morros isolados, geralmente alinhados na direção do *trend* regional dominante, com altitudes superiores a 200m, apresentando encostas relativamente íngremes, onde afloram grandes blocos de coloração rosa acinzentado. Já a porção leste do pluton exibe relevo bastante uniforme e peneplanizado.

Os padrões geomorfológicos contrastantes do maciço granítico e de suas encaixantes contribuem para individualizar seus domínios (Figura 2.3) e os contatos entre o pluton e suas encaixantes são mais facilmente reconhecidos em imagens de radar e de fácil delimitação no campo, sendo em geral, bruscos e bem expostos. As imagens gamaespectrométricas de contagem total (Figura 2.3) revelam uma anomalia radiométrica positiva, mais acentuada na porção centro-oeste do pluton e mais suavizada na sua borda leste. O pluton Azulona apresenta anomalia radiométrica mais marcante que o corpo Guarantã, mas isso não parece justificável por contraste composicional entre eles, pois as rochas de ambos tendem a mostrar conteúdos de K₂O e Th similares (cf. Tabela 4.1, capítulo 4), podendo, talvez, ser devido a efeito do relevo positivo do pluton Azulona.

As rochas que formam o pluton Azulona apresentam em geral caráter hololeucocrático, coloração rosada e aspecto maciço, sugerindo, à primeira vista, uma deformação pouco intensa. Apresentam-se freqüentemente fraturadas e, por vezes, afetadas

por zonas hidrotermalizadas ou por veios leucograníticos de granulação grossa a pegmatóide (Figura 2.4 c e d). Encraves do Tonalito Arco Verde com forma variando desde angulosa até ligeiramente arredondada, são englobados pelas rochas do pluton granodiorítico, concentrando-se preferencialmente próximo aos contatos entre ambos (Figura 2.4 e). A forma angulosa dos xenólitos e o contato brusco entre o granodiorito e suas encaixantes tonalíticas (Figuras 2.4a, b, e) sugerem a existência de alto contraste de viscosidade e temperatura entre a intrusão granítica e suas encaixantes (Pitcher & Berger 1972, Marre 1982). Isso sugere também que a colocação do granito se deu quando o magma dispunha de uma fração líquida significativa, estando, portanto, em estado físico e térmico distinto daqueles das suas encaixantes, que estavam inteiramente cristalizadas e submetidas a menores temperaturas.

2.2.3 - Pluton Granodiorítico Trairão.

O pluton Trairão situa-se no extremo NW da Folha Marajoara, possui área aproximada de 160 km² e forma elíptica (Figura 2.1), com eixos medindo 16 e 10 km, sendo que o eixo maior está orientado segundo a direção NNW. Ele é intrusivo no Tonalito Arco Verde e é cortado na sua porção norte por um pequeno stock de leucogranito e a NE pelo Granito Paleoproterozóico Bannach, com o qual exhibe contato controlado por falhamentos. Os contatos sul e sudoeste do pluton com o Tonalito Arco Verde são marcados por expressiva zona de cisalhamento (Fig. 2.1). Diques de diabásio, exemplificados pelo exposto no afloramento MAR-124, de orientação NE-SW, seccionam tanto as rochas do pluton, quanto o Tonalito Arco Verde. O pluton Trairão exhibe diversos lineamentos com direção NW-SE, que afetam tanto as variedades do corpo quanto suas encaixantes. As foliações exibidas pelas rochas do pluton se alinham com o padrão regional, exceto localmente no seu contato SE com o Tonalito Arco Verde, onde foram observadas foliações próximas de N-S condicionadas por zona de cisalhamento.

Da mesma forma que no caso do pluton Azulona, os contatos entre o corpo Trairão e suas encaixantes podem ser, em geral, distinguidos em imagens de radar (Figura 2.3) e são de fácil delimitação no campo. Isto se deve aos padrões geomorfológicos contrastantes do maciço granítico e de suas encaixantes, pois o Tonalito Arco Verde forma um relevo bastante uniforme e plano. (Fig 2.3 b). A morfologia no domínio do pluton e o seu comportamento em imagens aerogamaespectrométricas são bastante similares àqueles descritos no corpo Azulona, As rochas do pluton Trairão apresentam muitas vezes textura porfirítica, de modo análogo ao que se observa nas demais rochas da Suíte Guarantã, porém, um aspecto particular deste corpo, é o fato de os pórfiros de feldspato potássico de suas rochas se apresentarem

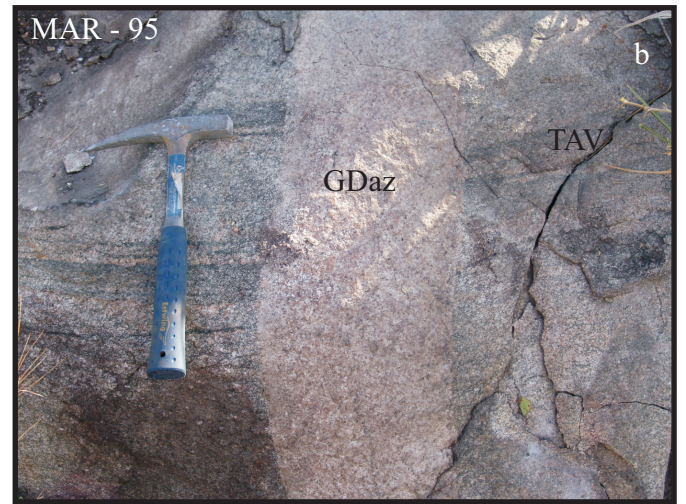


Figura 2.4 - Feições geológicas do Granodiorito Azulona. (a) Contato brusco entre o Tonalito Arco Verde e o Granodiorito Azulona; (b) Veios do Granodiorito Azulona cortando rocha bandada do Tonalito Arco Verde; (c,d) Possível zona hidrotermalizada cortando o Granodiorito Azulona; e (e) Veios leucograníticos grossos e pegmatóide cortando o Granodiorito Azulona; (f) Encrave angular do Tonalito Arco Verde englobados pelo Granodiorito Azulona, sendo ambos seccionados por véios de leucogranito (Fotos obitadas no trabalho de Almeida et al. 2008).

muitas vezes orientados, indicando a direção do fluxo magmático (Figuras 2.5 a e b).

2.3 – FEIÇÕES GEOLÓGICAS DO PLUTON GRANÍTICO RANCHO DE DEUS

O pluton Rancho de Deus, exposto na porção sudeste da Folha Marajoara, possui área aproximada de 80 km² e forma amendoada (Figura 2.1), com eixos medindo 16 e 5 km, sendo que o eixo maior está orientado segundo a direção E-W. Ele acha-se em contato quase que exclusivamente com o Granodiorito Rio Maria, exceto na porção norte onde faz contato com o Granito Guarantã. As relações de campo entre o Granito Rancho de Deus e os demais granitóides mencionados não puderam ser esclarecidas até o momento e, conseqüentemente, seu posicionamento estratigráfico se encontra ainda indefinido. O Granito Rancho de Deus está sendo datado em paralelo por Almeida (em preparação), o que deverá contribuir para superar essa limitação. O pluton é limitado na porção norte por extensa zona de cisalhamento com orientação variável em torno de E-W (Figura 2.1). Diversos lineamentos estruturais com direções variáveis de NW-SE a N-S afetam o corpo e as unidades que fazem contato com ele.

O pluton Rancho de Deus apresenta comportamento particular em levantamento aerogamaespectrométrico, tendo fornecido em imagens de contagem total (Figura 2.3) anomalias fortemente positivas que contrastam vivamente com o mostrado pelo Tonalito Arco Verde e, em menor grau, com o Granodiorito Rio Maria e plutons da Suíte Guarantã. Esse aspecto, somado ao forte contraste geomorfológico entre o pluton, de relevo bem marcado e saliente na topografia regional, e as demais unidades arqueanas (Figuras 2.6 e 2.7a, b), e os dados obtidos em amostragem de campo, permitiram a delimitação com grau de precisão adequado do corpo.

A morfologia no domínio do Rancho de Deus é constituída, no geral, por morros geralmente alinhados na direção NE-SW com altitudes que variam em média de 380 a 440 m, em cujas encostas afloram grandes blocos de coloração rosa acinzentado, ao passo que as áreas ocupadas pelas rochas do Granodiorito Rio Maria, formam um relevo bastante uniforme e peneplanizado, com ocorrências de morrotes isolados (Figuras 2.7 a e b).

O Granito Rancho de Deus, embora seja igualmente porfirítico (Figuras 2.7 c, d), distingue-se dos granitóides da suíte Guarantã, por apresentar composição monzogranítica e por ter anfibólio como um dos seus principais constituintes máficos. As rochas do *pluton* apresentam-se freqüentemente fraturadas, sendo as fraturas, por vezes, preenchidas por epidoto (Figura 2.7e).

Além do corpo principal descrito acima, outro stock, bem menor, mas com características similares, com forma alongada segundo E-W e fornecendo anomalia positiva

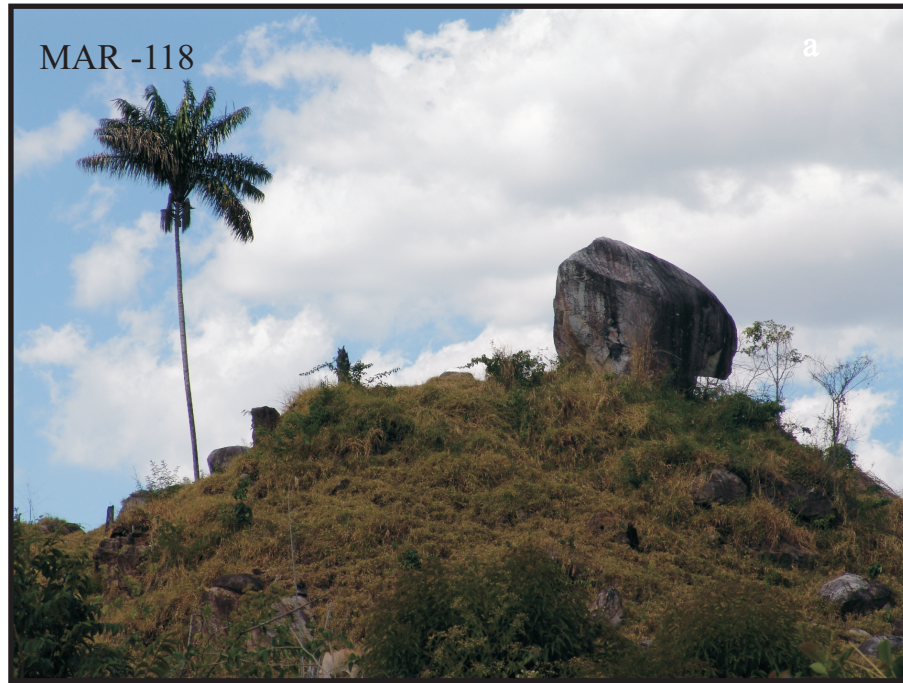


Figura 2.5 - Feições geológicas do Granodiorito Trairão. (a) Afloramento em blocos do Granodiorito Trairão; (d) Fenocristais centimétricos de feldspato potássico orientados, mostrando a foliação magmática no Granodiorito Trairão (Fotos obtidas no trabalho de Almeida et al. 2008 e Almeida em preparação).

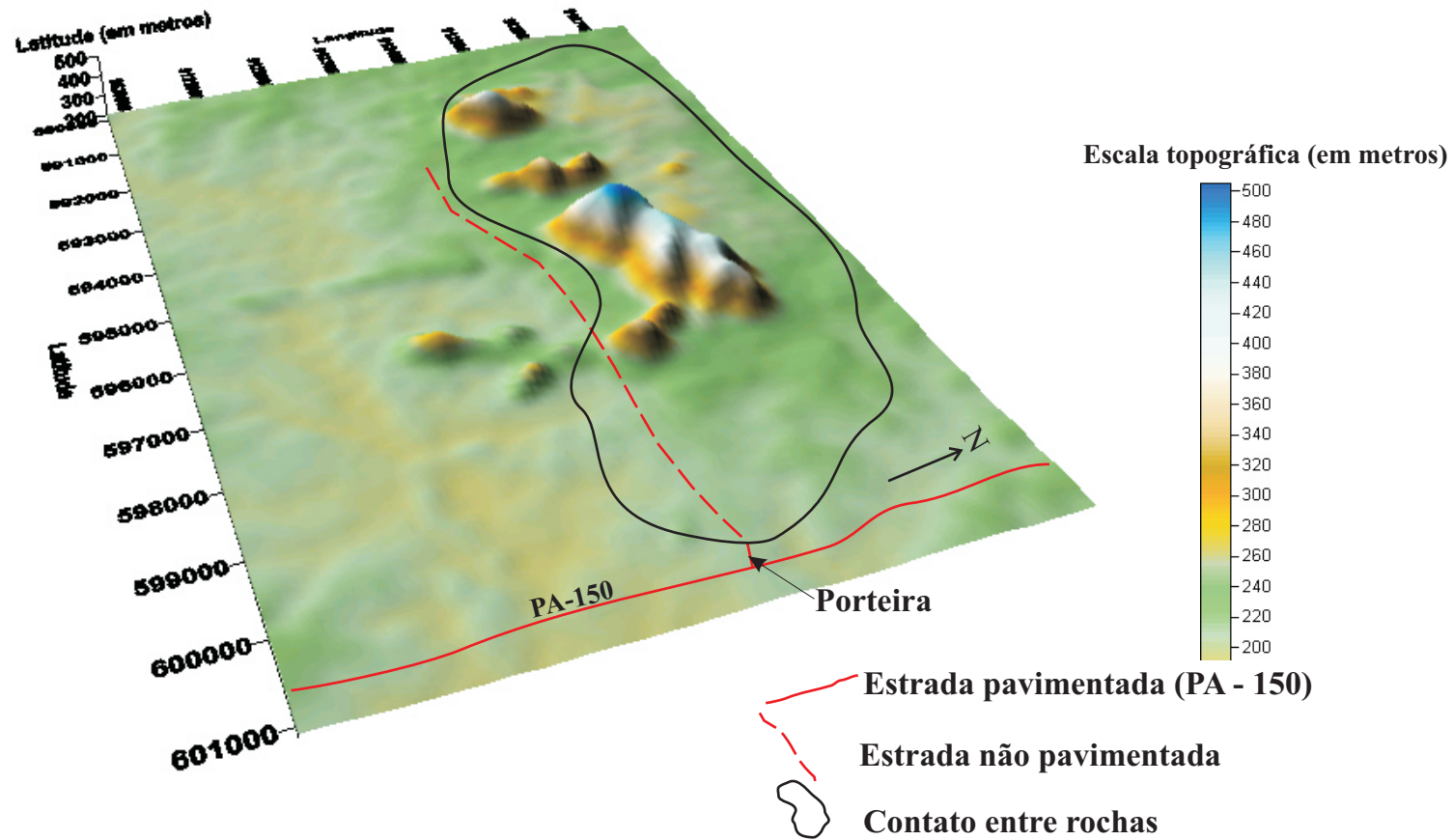


Figura 2.6 - Modelo topográfico em 3 dimensões gerados a partir de Imagem SRTM (Shutter Radar Topography Mission -Nasa) destacando o pluton Granito Rancho de Deus.

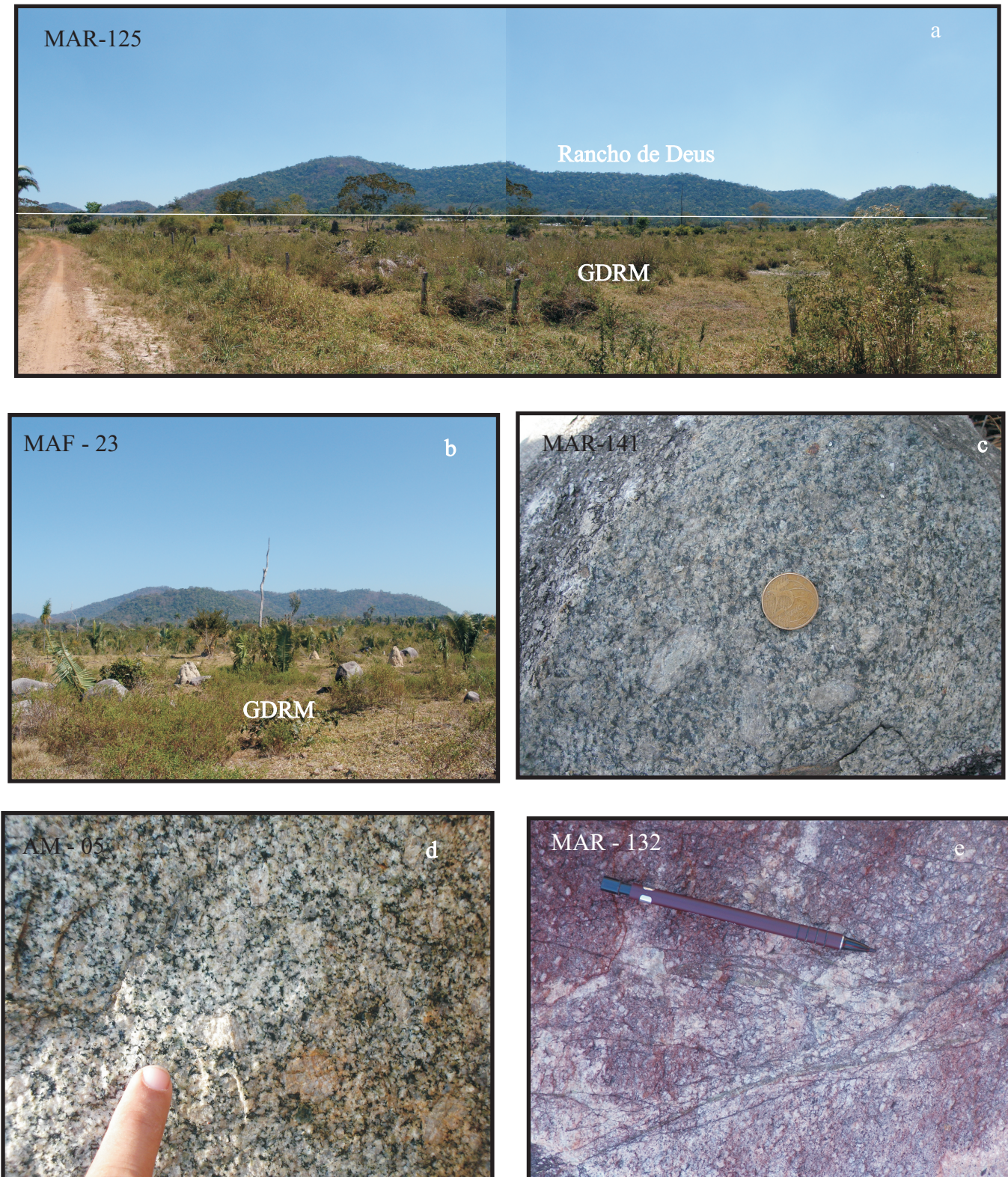


Figura 2.7 - Feições geológicas do Granito Rancho de Deus. (a) Visão Panorâmica do Granito Rancho de Deus, porção suldeste da Folha Marajoara; (b) Visão Panorâmica do Granito Rancho de Deus em foto tomada de sul para norte; (c) Aspecto mesoscópico do Granito Rancho de Deus em afloramento mostrando os fenocristais centimétricos de feldspato potássico em matriz equigranular grossa; (d) Aspecto mesoscópico do Granito Rancho de Deus, destacando-se, fenocristais de feldspato alcalino e os agregados máficos contendo anfibólio; (e) Micro veios preenchidos por epidoto cortando rochas do Granito Rancho de Deus, mais intensamente deformados (Fotos cedidas por Almeida et al.2008).

em imagens aerogamaespectrométricas, foi correlacionado ao Granito Rancho de Deus (Fig. 2.1). O estudo deste corpo foi limitado e sua composição geoquímica difere em alguns aspectos daquela do Granito Rancho de Deus (Capítulo 4), mas neste estágio, as rochas que formam este corpo estão sendo correlacionadas ao referido granito.

2.4 – FEIÇÕES GEOLÓGICAS DOS CORPOS LEUCOGRANÍTICOS

Além do Granito Mata Surrão e dos corpos a ele correlacionados, e dos corpos da Suíte Guarantã, foram identificados na Folha Marajoara (Fig 2.1) pequenos corpos de leucogranitos, com eixos maiores variando entre 2 e 3 km, e características macroscópicas similares às dos granitos Mata Surrão (Duarte 1992) e Xinguara (Leite 2001), foram identificados na Folha Marajoara (Figura 2.1). Tais corpos são intrusivos no Tonalito Arco Verde, Granodiorito Rio Maria e Granodiorito Trairão.

Dois destes corpos situam-se na porção sudoeste da área, possuem formas alongadas e são alongados paralelamente às direções E-W a NW-SE, coincidentes com às da foliação do Granodiorito Rio Maria, naquele setor. Os corpos leucograníticos presentes na porção noroeste da folha formam corpos alongados ou subcirculares, intrusivos no Tonalito Arco Verde e Granodiorito Trairão, sendo um deles cortado pelo Granito Anorogênico Bannach. No geral, essas rochas afloram na forma de blocos abaulados, sem estruturação marcante, foliação incipiente e podem não apresentar evidências macroscópicas de deformação. Quando a foliação está presente, sua orientação se conforma, salvo exceções locais, ao padrão regional dominante (Figura 2.1). As limitadas informações e amostragem obtidas nesses corpos leucograníticos restringem a discussão sobre essas rochas. No entanto, as feições de campo e petrográficas, junto com alguns poucos dados geoquímicos (Ver capítulo 4), sugerem, preliminarmente, que esses pequenos corpos graníticos sejam contemporâneos e relacionados ao magmatismo formador do Granito Mata Surrão. Efetivamente, leucogranitos tardios, formando corpos de pequena dimensão são encontrados ao longo de todo o TGGRM. Eles costumam seccionar os demais granitóides arqueanos e têm sido correlacionados aos granitos Mata Surrão e Xinguara.

CAPITULO 3 – PETROGRAFIA

3.1 – INTRODUÇÃO

Dentre as várias ocorrências de rochas graníticas arqueanas identificadas na Folha Marajoara, foram selecionadas para estudos mais detalhados os três corpos da Suíte Guarantã, o Granito Guarantã (Gg), o Granodiorito Azulona (GDaz) e o Granodiorito Trairão (GDt), o Granito Rancho de Deus (Grd) e, de modo menos aprofundado, algumas amostras representativas dos corpos leucograníticos correlacionados ao Granito Mata Surrão. Neste capítulo serão apresentados e discutidos os aspectos petrográficos das variedades identificadas nos diferentes corpos ou associações mencionadas. As composições modais de amostras representativas dos mesmos são apresentadas na tabela 3.1. Os granitóides da Suíte Guarantã, em função de suas notáveis semelhanças petrográficas, serão discutidos em conjunto.

3.2 – SUÍTE GUARANTÃ

3.2.1 – Composições modais e classificação

As composições modais, quando plotadas no diagrama Q-A-P (Streckeisen 1976, Le Maitre 2002), revelam que as amostras representativas dos três plutons da Suíte Guarantã variam de granodioritos a monzogranitos, e os campos que definem no diagrama são amplamente superpostos, sugerindo similaridade composicional. Segundo as composições modais, predominam nos três plutons composições granodioríticas com dispersão para o campo dos monzogranitos, mas sem caracterizar uma grande heterogeneidade composicional (Tabela 3.1 e Figura 3.1 a). A paragênese essencial é representada por quartzo, plagioclásio e microclina e os principais minerais ferromagnesianos são biotita, em grande parte cloritizada, e epidoto, sendo considerado aqui apenas o epidoto interpretado como de origem magmática.

As composições modais médias dos três plutons sugerem que os mesmos são formados por granodioritos, porém as composições químicas apontam para uma presença mais importante de granitos, que seriam inclusive dominantes no pluton Guarantã. Por essa razão, este último foi designado como Granito Guarantã (Gg), ao passo que os outros dois plutons foram denominados de Granodiorito Azulona (GDaz) e Granodiorito Trairão (GDtr). Fica claro, porém, que todos os plutons estudados apresentam associações similares e as variações observadas em cada um deles podem ser reflexo da amostragem. O fato de não haver plena consistência entre a classificação modal de algumas amostras e aquela sugerida pela

Tabela 3.1 - Composições modais das variedades petrográficas dos granitóide arqueanos da Folha Marajoara.

Amostra	Granito Guarantã															
	MAF	MAR	MAR	MAR	MAR	MAR	MAR	MAF	MAR	MAR	MAR	MAR	MAR	MAF	MAF	Média
Mineral	33 ²	14A ³	64A ¹	10A ²	72 ²	70 ²	07 ²	58 ²	09A ²	164A ¹	167 ¹	165 ²	63E ²	44 ²	40 ²	
Quartzo	27	37,7	28	35	29	26	25	27	20,3	34	29	32	21	19	24	27,5
Microclínio	9,7	9,7	16,7	17,7	18,3	16,6	20,6	16,3	34	24,3	24,6	25,6	27,6	14,8	19,1	19,7
Plagioclásio	58,8	44,5	47,8	43,2	49,7	50,2	52,2	46,8	39,6	35,3	41,4	39,3	48,4	55,1	45,5	46,5
Biotita	0,2	5	4,20	0,1	0,40	x	0,20	x	0,4	0,9	0,4	x	x	1,7	x	1,0
Anfibólio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Epidoto	2,9	0,1	1,4	2,1	1,8	3,6	1,5	5,1	3,2	2,5	2,2	0,7	2	5,4	7,8	2,8
Clorita	7,7	1	0,5	x	0,4	1,8	0,3	1,4	1,2	0,5	0,3	0,2	x	1,5	2,2	1,3
Muscovita	x	0,7	0,5	1,6	1,0	1,6	x	2,7	0,8	1,9	1,3	2,6	0,4	1,1	1,1	1,2
Opacos	0,2	0,2	0,5	x	x	0,2	x	x	x	0,5	0,4	0,2	x	0,7	x	0,2
Titanita	0,4	0,5	0,2	x	0,1	x	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	x	x	0,7	0,2	0,2
Acessórios	1,0	0,9	0,7	x	0,1	0,2	1,2	0,3	0,2	0,9	0,8	0,2	x	1,4	0,2	0,54
Máficos(M')	11,4	6,8	6,8	2,2	2,7	5,6	3,2	6,8	5,0	4,8	3,7	1,1	2,0	10	10,2	5,1
A+P	68,5	54,2	64,5	60,9	68,0	66,8	72,8	63,1	73,6	59,6	66,0	64,9	76	69,9	64,6	66,0
PI/A	6,06	4,59	2,86	2,44	2,72	3,02	2,53	2,87	1,16	1,45	1,68	1,54	1,75	3,72	2,38	2,7
A	10	10,6	18	18	20	18	21	18	36	26	26	27	28	17	22	21,0
Q	27	41	30	37	30	27	25	30	22	36	31	33	22	21	27	29,2
P	51	48,4	52	45	51	54	54	52	42	38	44	41	50	62	51	49,0
Nº de pontos	1500	1800	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500

Tabela 3.1 (Contin.) - Análises modais das variedades petrográficas dos granitóides arqueanos da Folha Marajoara.

Amostra	Granodiorito Azulona													
	MAR	MAR	MAR	MAR	MAR	MAR	MAF	MAR	MAR	MAR	MAF	MAR	MAR	Média
Mineral	103A ³	50 ²	93 ³	102 ³	97 ³	38 ²	64 ²	101 ²	104 ²	40A ²	68 ²	31 ²	49A ¹	
Quartzo	35,8	24	34,7	27,3	35,3	27	21,4	27	26	30	37	23	28	28,96
Microclínio	8,1	19,8	12,1	10,1	11,1	27,2	44,5	21,6	10,0	27,8	21,23	14,2	13,3	18,54
Plagioclásio	49,6	48,4	48	55,7	46,8	37,9	29,8	48,1	59,6	39,37	38,43	56,3	46,7	46,52
Biotita	4,5	x	2,7	4,2	5,6	x	1,4	2,8	0,2	0,5	1,5	1,1	5,0	2,27
Anfibólio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Epidoto	0,3	2,6	0,5	1,3	0,3	4,5	x	2,2	2,0	0,3	1	1,7	3,6	1,56
Clorita	1,1	2,9	0,5	0,3	x	2,2	1,0	x	1,2	0,2	0,2	1,7	0,2	0,96
Muscovita	x	1,8	0,2	0,2	0,1	1	0,7	x	x	x	x	0,5	2,6	0,55
Opacos	x	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	1,0	0,2	x	0,2	0,3	0,2	x	0,21
Titanita	0,1	x	0,7	0,2	0,2	x	x	0,1	0,3	x	0,3	0,3	0,4	0,20
Acessórios	0,2	0,2	1	0,4	0,4	0,1	1	0,3	1,3	0,2	0,6	0,8	0,4	0,53
Máficos(M')	6,1	5,7	4,6	6,2	6,3	6,8	3,4	5,3	3,7	1	3,3	5,3	9,2	4,70
A+P	57,7	68,2	60,1	65,8	57,9	65,1	74,3	69,7	69,6	67,2	59,7	70,5	60,0	65,06
PI/A	6,12	2,44	3,97	5,51	4,22	1,39	0,7	2,22	5,96	1,42	1,81	3,96	3,51	3,32
A	8,7	21	12,8	10,8	11,9	30	46,5	23	10	29	22	15	15	19,70
Q	38,3	26	36,6	29,3	37,9	26	22,4	29	27	31	38	25	32	30,63
P	53	53	50,6	59,8	50,2	41	31,1	48	62	41	40	60	53	49,43
Nº de pontos	1800	1500	1800	1800	1800	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500

Tabela 3.1 (Contin.) - Análises modais das variedades petrográficas dos granitóides arqueanos da Folha Marajoara.

Amostra	Granodiorito Trairão							Granito Rancho de Deus						Corpos leucograníticos						
	MAR	MAR	MAR	MAR	MAR	MAR	Média	MAR	MAR	MAR	MAR	MAR	MAF	MAR	MAR	Média	MAR	MAR	MAF	Média
Mineral	146 ²	123 ¹	121 ¹	114 ¹	118 ¹	124A ²		141 ¹	144 ²	132A ¹	129 ¹	126 ¹	22 ²	127 ¹	130A ¹		13 ²	155 ¹	12 ¹	
Quartzo	22	26	28	24	34	37	37,0	27,9	28,9	25,1	26	33	36,6	25,4	20	27,86	30,1	33	32,3	31,80
Microclínio	4,1	18,6	19,3	24,4	23,2	10,7	10,7	29,1	30,8	19,2	29,1	25,1	41,6	25,6	32,3	29,10	35,8	37,4	29,6	34,27
Plagioclásio	57,2	44,6	46,0	44,0	35,8	43,8	43,8	31,9	33,9	45,8	40,2	37,6	19,7	44,8	40,7	36,83	31,6	26,4	35,8	31,27
Biotita	6,9	4,7	4,0	3,2	0,4	3,1	3,1	2,8	2,6	4,2	2,1	0,8	1	1,7	3,1	2,29	x	0,8	1,2	0,67
Anfibólio	-	-	-	-	-	-	-	x	1,1	1,4	x	0,1	0,6	x	0,3	0,44	-	-	-	-
Epidoto	6,2	4,8	1,9	3,3	4	3,4	3,4	4,1	1,8	2,9	1,3	0,8	0	0,7	2,1	1,71	0,4	1,5	0,2	0,70
Clorita	2,5	0,2	0,2	0,1	1,6	1,2	1,2	2,6	0,1	0,2	x	0,7	0,9	0,8	0,3	1,71	0,4	0,4	5	1,93
Muscovita	x	0,1	0,1	0,4	0,6	0,1	0,1	0,6	x	0,1	0,3	1,2	x	0,4	0,4	0,38	1,4	0,5	x	0,95
Opacos	x	0,2	x	x	x	x	x	x	x	0,1	0,5	0,4	0,2	0,2	0,3	0,21	0,1	x	0,5	0,20
Titanita	0,4	0,4	0,3	0,6	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,9	0,1	0,1	0	0,2	x	0,23	0	x	0,2	0,07
Acessórios	0,5	0,6	0,3	0,6	0,2	0,3	0,30	0,3	0,3	1,1	0,6	0,5	0,2	0,4	0,3	0,46	0,1	x	0,7	0,27
Máficos(M')	16,0	10,3	6,4	7,2	6,2	8,0	8,0	9,8	5,9	9,7	4	2,9	2,7	3,6	6,1	5,59	0,9	2,5	7,1	3,50
A+P	61,3	63,2	65,3	68,4	59,0	54,5	54,5	61	64,7	65	69,3	62,7	61,3	70,4	73	65,93	67,4	63,8	65,4	65,53
Pl/A	13,95	2,40	2,38	1,80	1,54	4,09	4,1	1,10	1,10	2,39	1,38	1,50	0,40	1,75	1,26	1,36	0,88	0,71	1,20	0,93
A	5	21	21	27	25	12	11,7	33	33	21	31	26	42	27	35	30,95	37	39	33	36,14
Q	26	29	30	26	37	40	40,4	31	31	28	27	34	37	27	22	29,65	31	34	37	33,87
P	69	50	49	48	38	48	47,9	36	36	51	42	39	20	47	44	39,38	32	27	30	29,99
Nº de pontos	1800	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1800	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500

Fonte dos dados: ¹ Almeida et al. (2008); ² Este trabalho; ³ Almeida et al. (2008) estudados também por Costa (2009).

-: Mineral ausente na rocha;

x: Mineral presente na rocha

Acessórios: Opacos + Apatita + Titanita + Allanita + Zircão

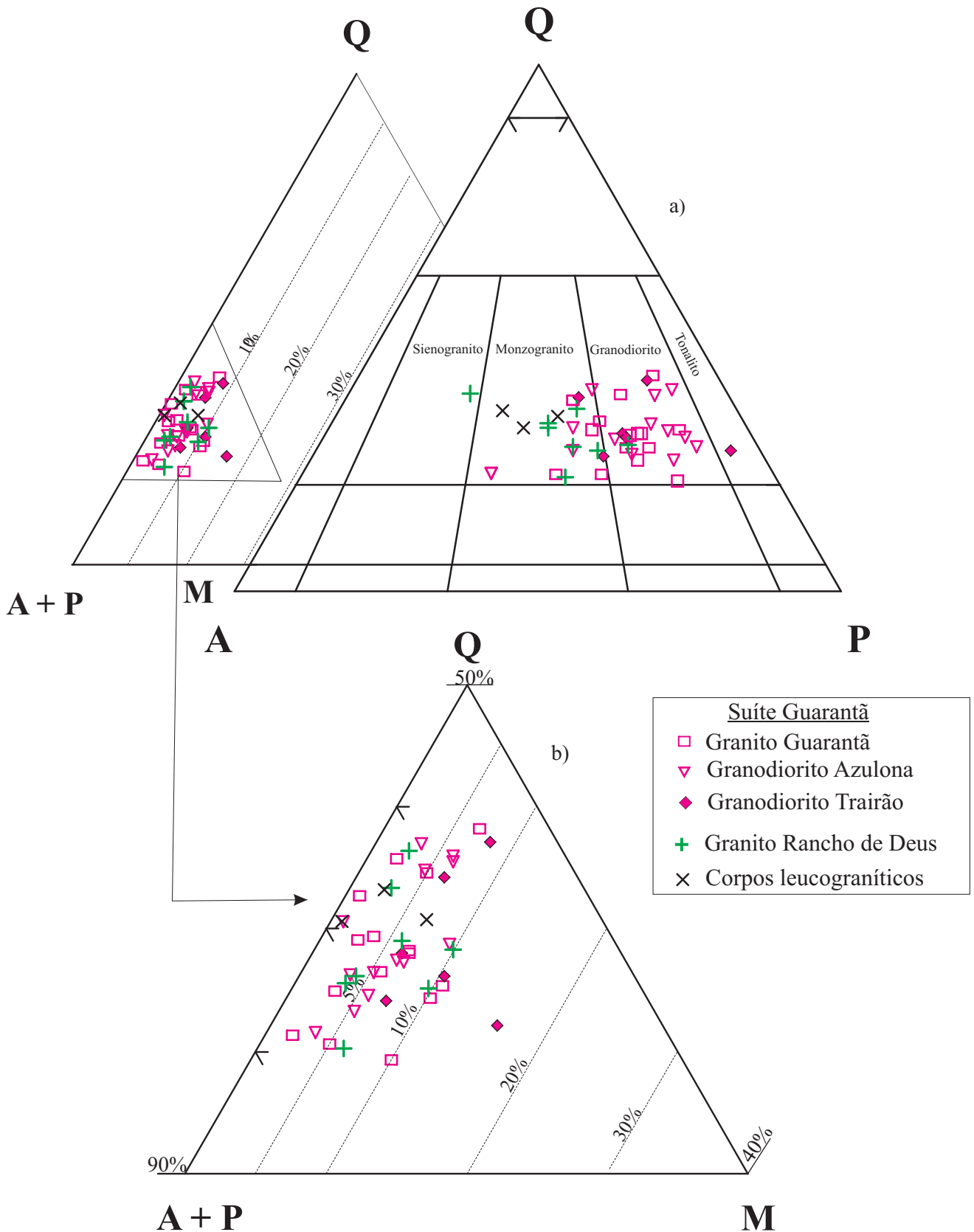


Figura 3.1 - Diagramas (a) Q-A-P e (b) Q-A+P-M' (campos conforme Streckeisen 1976, LeMaitre 2002) das associações granitóides estudadas, mostrando sua classificação e variações da composição modal.

geoquímica pode ser devida a imprecisões das análises modais por se tratar de rochas porfíricas, muitas vezes de grão grosso, para as quais a representatividade da análise modal em uma única lâmina delgada é reduzida (Chayes 1956).

Os conteúdos médios de minerais máficos (M) são de 5,5 % no Granito Guarantã, de 5,1 % no Granodiorito Azulona, e de 9,0 % no Granodiorito Trairão. Segundo a classificação de Le Maitre (2002), quase todas as amostras analisadas são classificáveis como hololeucocráticas. No diagrama Q-A+P-M (Figura 3.1b) as amostras dos três plutons também tendem a se agrupar, sendo os valores de M' (Le Maitre 2002) variáveis de 2 a 12%, salvo raríssimas exceções. Percebe-se que há um grupo de amostras do conjunto que é relativamente enriquecido em quartzo, mas as razões para isso não estão claras. A razão Plagioclásio/Microclina (Pl/Mc; Tabela 3.1) diminui no sentido Granodiorito Trairão (média de 4,4), Granodiorito Azulona (média de 3,3) e Granito Guarantã (média de 2,7). Os conteúdos modais médios de quartzo são muito próximos nos três corpos estudados (Tabela 3.1 e Figura 3.1).

A biotita e epidoto magmático são os principais ferromagnesianos, podendo as rochas da suíte ser genericamente classificadas como epidoto-biotita granodioritos a monzogranitos. A mica só localmente está presente em quantidades mais expressivas, pois foi, em geral, afetada por processos hidrotermais e transformada para, clorita. Os minerais acessórios primários são titanita, apatita, zircão, opacos e allanita, sendo que esses minerais constituem em média cerca de 0,5% das diferentes variedades. Os constituintes secundários são clorita, epidoto secundário e mica branca.

As composições modais das rochas da Suíte Guarantã indicam a existência de passagens graduais entre elas. A transição entre as rochas é comandada pelos seguintes fatores que atuam isoladamente ou associados: **a)** variações moderadas no conteúdo de minerais máficos; **b)** idem quartzo; **c)** variações mais acentuadas nas razões plagioclásio/microclina (Pl/Mc). Em linhas gerais, as razões Pl/Mc tendem a diminuir no sentido GDtr → GDaz → Gg.

A avaliação dos dados de composições modais sugere a hipótese que a cristalização fracionada tenha comandado a evolução das rochas granitóides da Suíte Guarantã. Tal processo teria se traduzido pelo aumento nos teores de quartzo e diminuição das razões Pl/Mc, observadas nessas rochas, acompanhadas, muito provavelmente, pelo decréscimo no teor de anortita do plagioclásio e no conteúdo de minerais máficos. Essas hipóteses deverão ser avaliadas com o auxílio dos dados geoquímicos (Capítulo 4).

3.2.2 - Aspectos texturais das diferentes variedades de rocha da Suíte Guarantã

Os três plutons estudados da Suíte Guarantã são formados por rochas de composição granodiorítica a monzogranítica, as quais exibem foliação mineral discreta e, geralmente, textura porfírica, com fenocristais grossos (5 a 20 mm) de feldspato potássico imersos em matriz equigranular média, hipidiomórfica. Localmente ocorrem rochas com textura equigranular com granulação média ou fina (Figuras 3.2 a, b, c, d, e, f). Quando situadas ao longo de zonas de cisalhamento, as rochas dominantes adquirem texturas protomiloníticas a miloníticas. Nestes casos, os fenocristais assumem formas ovaladas (fenoclastos), com intensa recristalização nos bordos, e a matriz tende a se orientar fortemente e apresenta graus variáveis de recristalização.

A seguir será apresentada a descrição conjunta dos principais aspectos texturais dos minerais formadores das rochas da suíte, sem individualizá-las por pluton, tendo em vista que as texturas são muito similares nos três corpos granitóides da suíte.

Álcali-feldspato - É do tipo microclina perítica, sendo as lamelas sódicas pouco abundantes e do tipo cordas ou veios (Smith 1974, Smith & Brown 1988). Seus cristais são hipidiomórficos a xenomórficos e comumente mostram maclamento albita-periclina bem nítido. Nas rochas porfíricas, os fenocristais possuem dimensão de 5 a 20 mm, enquanto que nas equigranulares os grãos são médios, variando de 1 a 3 mm. Os contatos microclina/microclina são suturados e marcados pelo desenvolvimento incipiente de albita intergranular em coroa trocada (Smith 1974). Ramberg (1962) demonstrou que o crescimento de albita intergranular é controlado pela estrutura dos cristais de álcali-feldspato em contato mútuo. A albita nucleia respeitando a orientação de um dos cristais e cresce no sentido do cristal adjacente, o que explica a textura em coroa trocada (*swapped rims*). Nos contatos microclina/plagioclásio desenvolvem-se mirmequitas em forma de bulbos (Figura 3.3a), invadindo os cristais de microclina. Nas rochas porfíricas, os feldspatos potássicos podem ocorrer englobando cristais de quartzo globular (Figura 3.3b), que costumam se dispor em zonas externas do feldspato, plagioclásio, biotita, titanita e opacos. Nas rochas mais deformadas os cristais de álcali-feldspato mostram-se intensamente fraturados.

Quartzo - Forma cristais hipidiomórficos a xenomórficos de granulação média (1 a 3 mm), com moderada extinção ondulante. Em rochas mais intensamente deformadas, o quartzo se apresenta em agregados policristalinos de grãos finos, os quais costumam revelar a forma original dos cristais (Figura 3.3c,d). Os contatos entre os grãos de quartzo são irregulares, suturados ou ondulados, ao passo que os contatos com os feldspatos são geralmente regulares. Os cristais de quartzo quando inclusos nos feldspatos possuem formas arredondadas ou

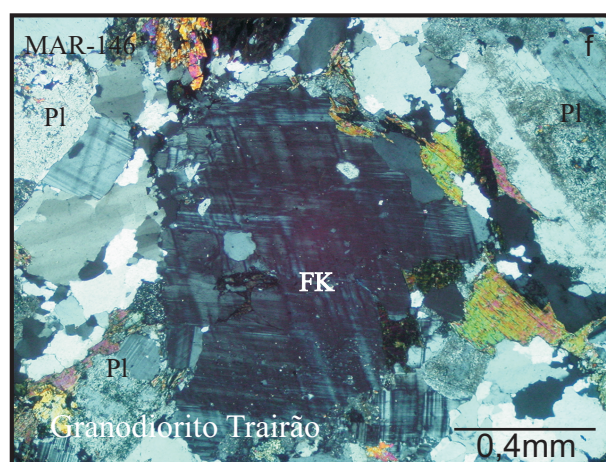
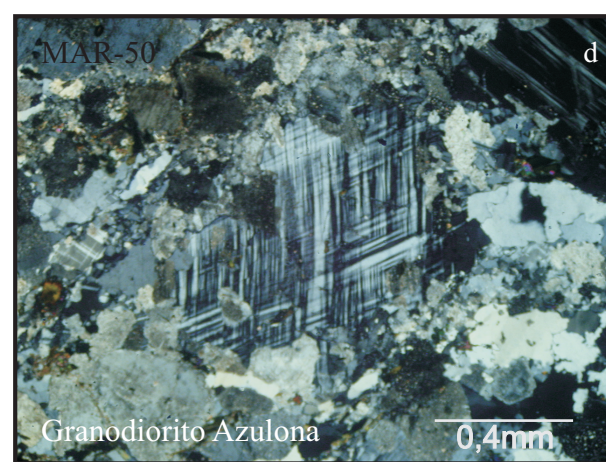


Figura 3.2 - Feições macro e microscópicas dos granitóides da Suíte Guarantã. (a) Aspecto macroscópico do Granito Guarantã exibindo a textura porfirítica. (b) Feições macroscópicas do Granito Guarantã, exibindo fenocristais de feldspatos potássicos em matriz equigranular. (c) Feições macroscópicas do Granodiorito Azulona com fenocristais grossos esparsos de feldspato potássico em matriz média sem orientação marcante. (d) Características microscópica do Granodiorito Azulona, mostrando cristal de microclina fazendo parte de uma matriz equigranular média parcialmente recrystalizada. (e) Feições macroscópica do Granodiorito Trairão, detalhando a textura porfirítica com fenocristais esparsos de feldspatos potássicos e a matriz orientada dessas rochas. (f) Aspecto microscópico do Granodiorito Trairão, notando-se, além dos constituintes félsicos essenciais, biotita e epidoto. Fotomicrografias em nicóis cruzados.

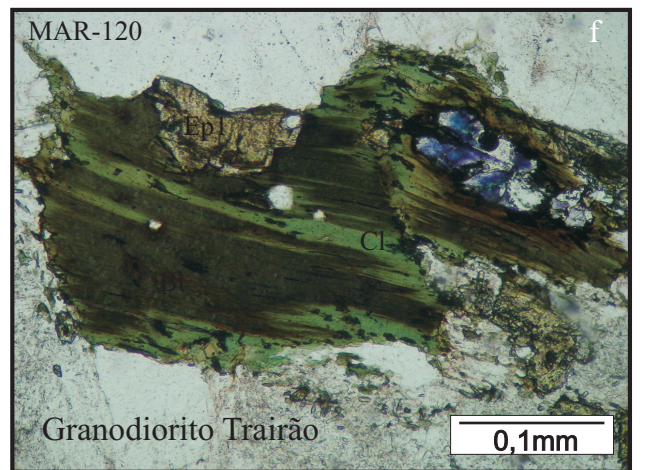
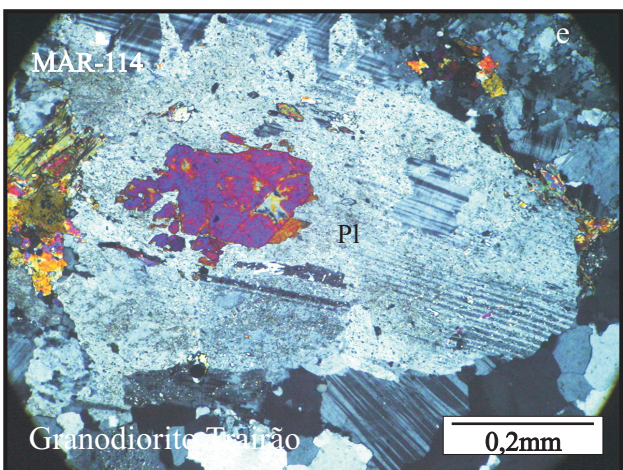
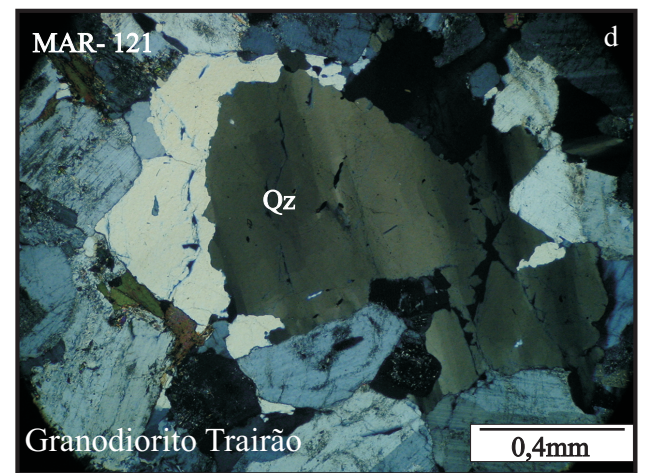
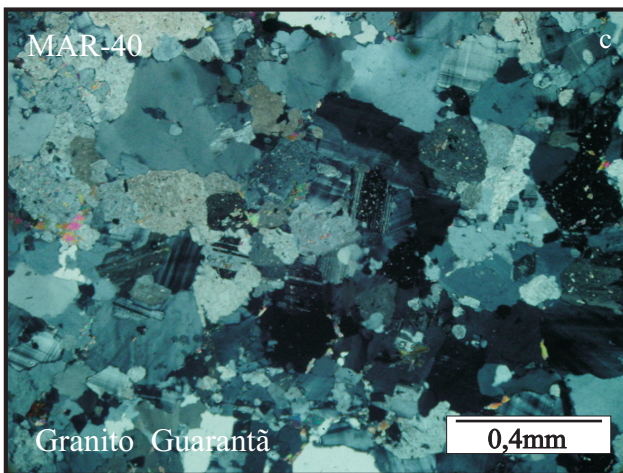
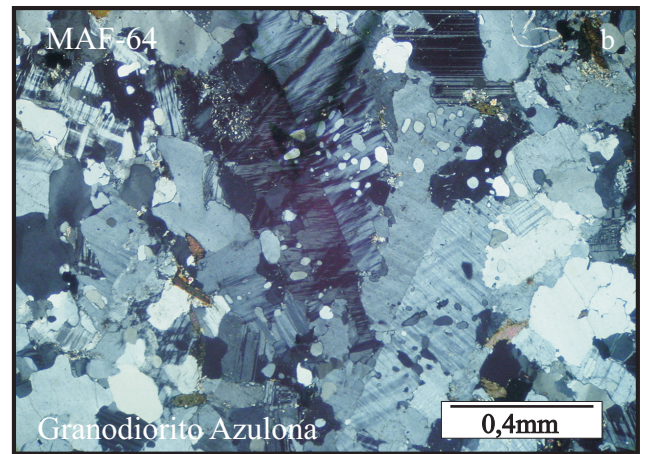
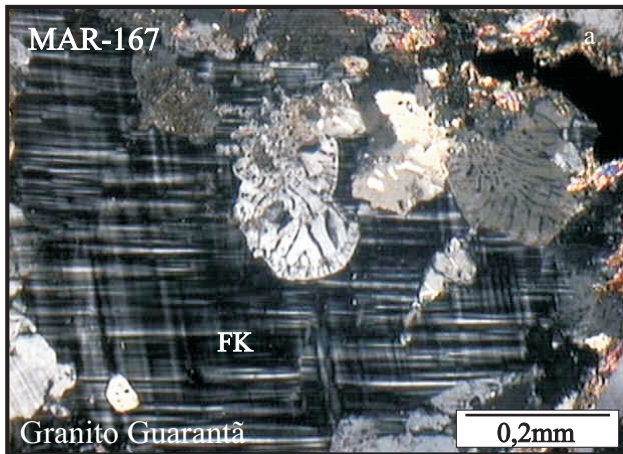


Figura 3.3- Feições microscópicas de granitóides Suíte Guarantã. (a) Intercrescimento mirmequitico em bulbos, nas bordas de cristal de feldspato potássico (NC); (b) Agregados de cristais de feldspato potássicos com gotículas de quartzo (NC); (c) Cristais xenomórficos de quartzo formando agregados (NC); (d) Cristal de quartzo preservado com extinção ondulante (NC); (e) Cristal de plagioclásio intensamente alterado para epidoto e saussuritizado (NC); e (f) Cristal de biotita com epidoto associado parcialmente alterando para clorita (NP). NC - Nicóis cruzados, NP - Nicóis Paralelos.

globulares com fraca extinção ondulante, e se dispõem de modo ordenado seguindo zonas de crescimento, geralmente nas bordas dos cristais. É comum, ainda, quartzo vermicular ou goticular formando junto com o plagioclásio, intercrescimentos mirmequíticos.

Plagioclásio - São cristais hipidiomórficos a xenomórficos, de granulação média (2 a 4 mm), com maclas albita ou, com menor frequência, carlsbad. Mostra evidências de zoneamento, mas as composições das zonas não puderam ser determinadas em função do acentuado grau de alteração. O núcleo são mais intensamente alterados, sobressaindo devido à maior concentração de minerais secundários (Figura 3.3 e), sugerindo que possuíam originalmente composição mais cálcica. Raramente são observados núcleos idiomórficos. Os contatos entre cristais de plagioclásio são bastantes regulares entre si, assim como com biotita e quartzo, ao passo que costumam ser muito irregulares os contatos com feldspato alcalino. A alteração do plagioclásio varia de moderada a forte (Figuras 3.3 e), produzindo uma paragênese secundária constituída por sericita–muscovita \pm epidoto \pm carbonatos, que mascara as feições originais do plagioclásio. São freqüentes inclusões de biotita, opacos e apatita, posicionadas nas zonas marginais dos cristais de plagioclásio.

Biotita - Ocorre como lamelas de 1 a 3 mm, hipidiomórficas a xenomórficas, em geral parcial ou totalmente transformadas para clorita (Figura 3.3 f), com formação associada de titanita secundária ao longo dos planos de clivagem. A biotita se associa com epidoto idiomórfico e a cristais esqueléticos de opacos.

Epidoto - O epidoto é um dos principais constituintes máficos presentes nos granitóides da Suíte Guarantã. Com base nos seus aspectos texturais, podem ser distinguidos quatro tipos principais: (1) cristais hipidiomórficos a idiomórficos, de 0,5 a 2 mm, por vezes maclados e zonados, inclusos ou não na biotita (Ep1, similar ao epidoto III de Sial 1990) (Figura 3.4 a), sendo considerado como fruto de cristalização magmática. (2) Como pequenos cristais de 0,2 a 0,8mm, xenomórficos a hipidiomórficos, associados à allanita, formando um manto de espessura variável sobre este mineral (Ep2, similar ao epidoto II de Sial 1990). Por vezes, restam apenas pontos castanhos no centro do agregado de epidoto, devendo corresponder a relíquias de cristais de allanita metamictizados. De acordo com Bitencourd & Nardi (1986), este tipo de epidoto poderia ser originado pela transformação da allanita, relacionada a processo de hidratação da rocha com conseqüente oxidação do Fe^{2+} para Fe^{3+} , cátion este incompatível com a estrutura da allanita; (3) cristais preferencialmente xenomórficos de 0,2 a 1 mm, com elevada birrefringência, em geral associados aos minerais máficos ou isolados na rocha (Ep3); (4) epidoto em grãos submilimétricos xenomórficos, ocorrendo sobre cristais de plagioclásio, produto da sua saussuritização (Ep4, similar ao epidoto IV de Sial 1990).

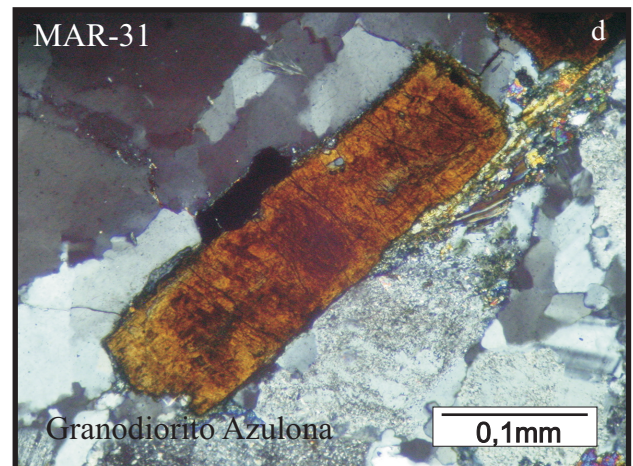
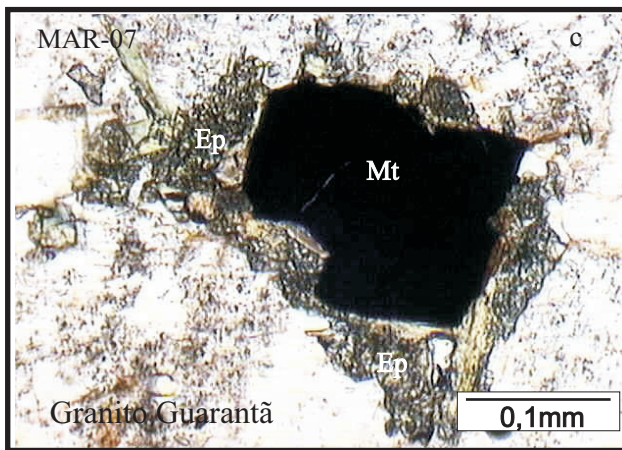
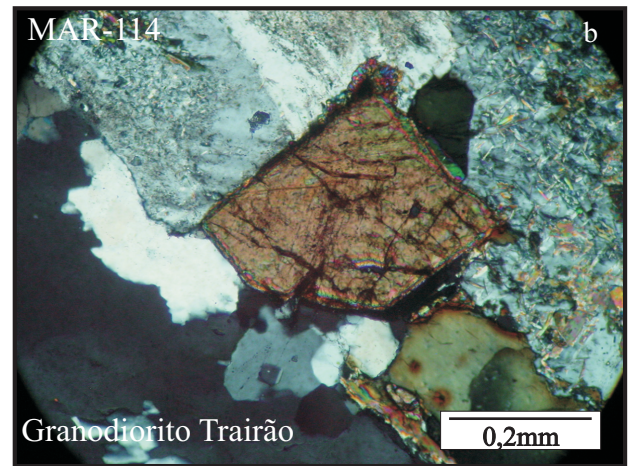
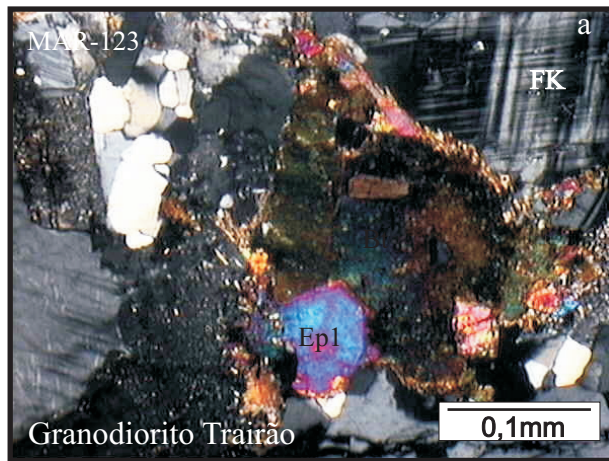


Figura 3.4 - Feições microscópicas de granitoides da Suíte Guarantã. (a) Cristal de biotita em contato retilíneo com epidoto automorfo (NC). (b) Cristal idiomórfico de titanita (NC,LR); (c) Cristais de epidoto (Ep1) bordejando cristal subidiomorfo de magnetita (NP). (d) Cristal subidiomórfico de alanita associado com biotita, quartzo e feldspato (NC).

Além dos quatro tipos descritos, observaram-se, ainda, cristais de epidoto formando coroa em torno da magnetita, interpretados como tendo sido gerados no estágio magmático, possivelmente através de reação peritética entre a magnetita e o líquido magmático (Figura 3.4c). O epidoto IV ocorre de modo geral em quantidades expressivas e pode ser muito abundante em certas amostras, nas quais o hidrotermalismo e a alteração do plagioclásio foram muito intensas.

Titanita - Apresenta-se por vezes na forma de cristais losangulares, subidiomórficos (Figura 3.4b), mas é mais comum em grãos xenomórficos, de dimensões submilimétricas de 0,2 a 0,8mm, associada à alteração da biotita ou, localmente, a minerais opacos.

Minerais opacos - Possuem dimensões de 0,1 a 1 mm e podem ocorrer de forma idiomórfica (magnetita; Fig. 3.4c) a xenomórfica. A magnetita, quando alterada, assume coloração vermelho intenso, devida à sua oxidação e transformação para hematita. Localmente ocorrem associados a biotita e titanita ou bordejando cristais de epidoto.

Allanita - Forma cristais idiomórficos a xenomórficos, com dimensões de 0,1 a 0,6 mm, por vezes envolvidos por um manto de epidoto ou isolados dos demais máficos (Figura 3.4d).

Apatita – Apresenta-se em cristais prismáticos idiomórficos, de dimensões submilimétricas de 0,1 a 0,3 mm, inclusos em plagioclásio e quartzo.

Zircão - Ocorre em minúsculos cristais submilimétricos de 0,1 a 0,2 mm, idiomórficos, inclusos no plagioclásio ou associados aos minerais ferromagnesianos.

3.2.3 – Ordem de cristalização dos minerais

A seqüência de cristalização dos minerais presentes nos plutons granodioríticos a monzograníticos da Suíte Guarantã foi estimada a partir de estudos petrográficos minuciosos baseados em análise textural de suas variedades, associados com os dados quantitativos obtidos por meio de análises modais (Tabela 3.1). Os efeitos de processos pós-magmáticos, como a alteração hidrotermal e a deformação subsolidus, também foram considerados na avaliação da história de cristalização das rochas estudadas. A ordem de cristalização estimada para as rochas granodioríticas da Suíte Guarantã é apresentada na Figura 3.5.

A cristalização dos granodioritos provavelmente inicia com a formação dos minerais acessórios primários, magnetita, zircão e apatita, geralmente idiomórficos e cujos cristais acham-se comumente inclusos nos feldspatos e na mica. A allanita parece ser a próxima fase a cristalizar, pois é sempre idiomórfica, comportando-se como uma fase precoce, cujo crescimento deu-se livremente no espaço ocupado pelo líquido (Gromet & Silver 1983). A

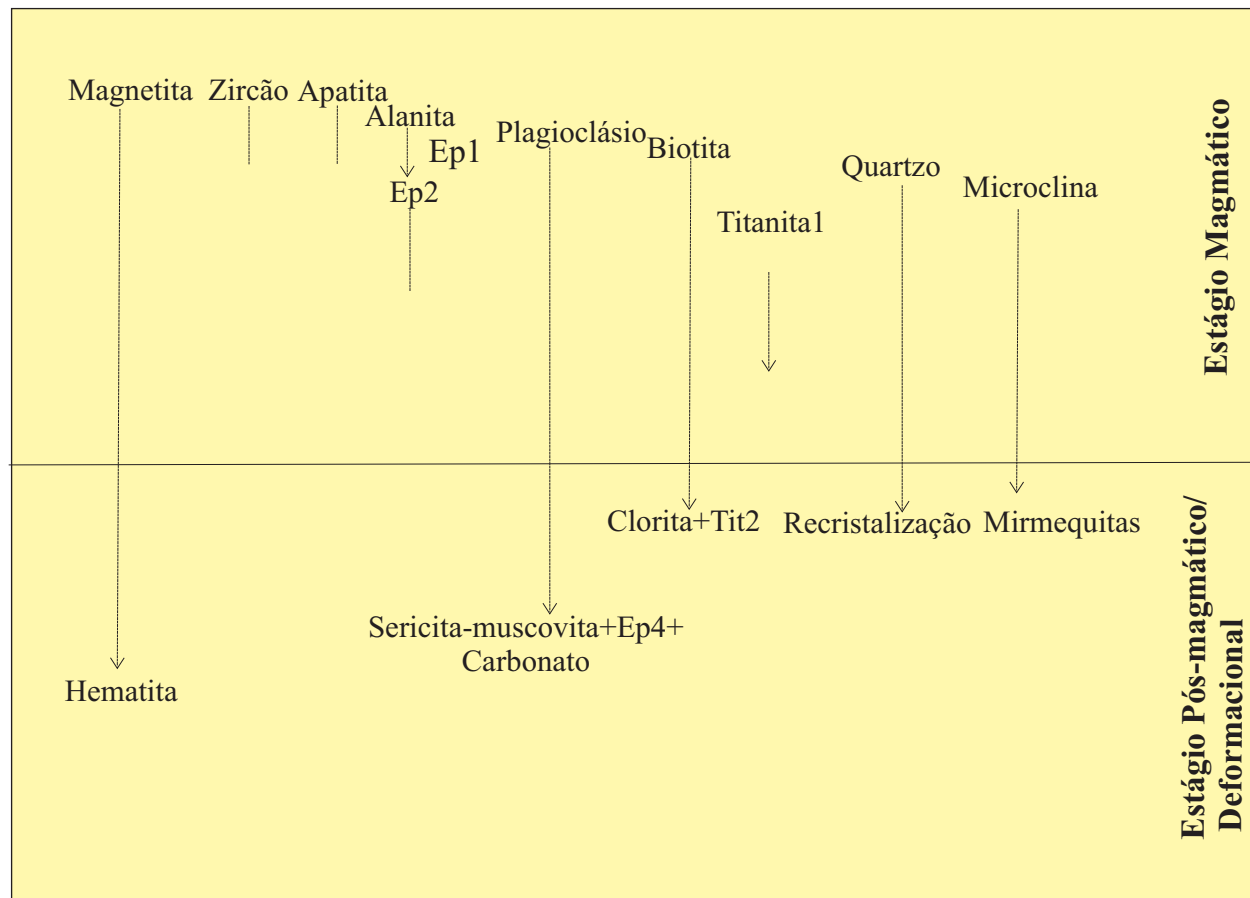


Figura 3.5 - Ordem de cristalização dos Granitóides da Suíte Guarantã.

ordem relativa de cristalização entre o plagioclásio e a biotita primária é algo subjetiva, porém, o fato de os cristais de plagioclásio serem geralmente idiomórficos a hipidiomórficos e não apresentarem inclusões de biotita primária, sugere que o plagioclásio foi mais precoce que a biotita.

Os cristais de biotita são geralmente hipidiomórficos e exibem contatos retilíneos com os feldspatos, sugerindo que a cristalização de ambos foi pelo menos em parte contemporânea. A titanita subidiomórfica formou-se provavelmente mais tardiamente que os demais acessórios, pois há evidências experimentais de que sua cristalização seja restrita a temperaturas mais moderadas (Spear 1981, Dall'Agnol et al. 1999a). Já os cristais xenomórficos de titanita, que sempre estão associados com lamelas alteradas de biotita, são de formação tardia, durante o estágio subsolidus e ligados, assim como a clorita, à desestabilização da biotita.

Os demais constituintes félsicos essenciais parecem iniciar a sua formação pouco após a biotita. Os cristais de quartzo iniciam sua cristalização provavelmente um pouco antes dos fenocristais de feldspato potássico. Estes formam cristais hipidiomórficos e englobam cristais de quartzo e plagioclásio, o que atesta seu desenvolvimento em ambiente onde ainda havia espaço para crescer, porém já num estágio relativamente avançado da cristalização da rocha.

As transformações pós-magmáticas, durante o estágio subsolidus, são registradas principalmente por plagioclásio (saussuritização com formação expressiva de epidoto) e biotita (cloritização). A saussuritização do plagioclásio é mais intensa nas partes centrais dos cristais e indica a introdução de uma fase fluida rica em H₂O. A desestabilização da biotita para clorita reforça a admissão de água no sistema. A formação de intercrescimentos mirmequíticos também se dá no estágio subsolidus, sendo possivelmente associada a efeitos integrados de deformação e recristalização do feldspato potássico (Smith & Brown 1988). Ela deve ser concomitante com os processos deformacionais responsáveis pela recristalização de feldspatos e quartzo e pelo desenvolvimento da foliação dominante nas rochas estudadas.

A textura porfírica, presente nos granodioritos e monzogranitos, poderia ser explicada admitindo-se dois estágios de evolução distintos para a cristalização das rochas granitóides da Suíte Guarantã. O primeiro estágio corresponderia à ascensão rápida do magma gerador destas rochas, com conseqüente liberação de voláteis, o que imprimiria altas taxas de nucleação e baixa taxa de crescimento dos cristais (Smith & Brown 1988), refletindo-se na geração das fases máficas, plagioclásio e quartzo que constituem a matriz destas rochas; O segundo estágio da cristalização teria se dado após a ascensão do magma e sua parada na crosta superior, sendo regido por menores taxas de resfriamento, que permitiriam uma baixa

taxa de nucleação e maior taxa de crescimento, favorecendo, juntamente com a condição saturada em H₂O do líquido residual, a formação dos fenocristais de microclina. Nas rochas com textura equigranular média, o segundo estágio seria menos marcado e não haveria condição favorável para o desenvolvimento dos fenocristais, em função da manutenção de uma taxa de nucleação relativamente alta e de uma taxa discreta de crescimento dos cristais.

A cristalização nas rochas monzograníticas deve ter sido, em linhas gerais, similar à estimada para os granodioritos. Entretanto, mantidos constantes os demais parâmetros, os conteúdos mais elevados de potássio, devem ter favorecido um início um pouco mais precoce da cristalização do feldspato potássico e a formação de maior volume de fenocristais deste mineral, tal como efetivamente se observa nas rochas estudadas.

3.3 - GRANITO RANCHO DE DEUS

3.3.1 – Composições modais e classificação

O Granito Rancho de Deus é formado por rochas de composição monzogranítica com incipiente foliação mineral geralmente segundo E-W. Essas rochas possuem textura porfírica, com fenocristais grossos (5 a 30 mm) de feldspato potássico em matriz equigranular média. Em geral, exibem em amostra de mão coloração rosada a acinzentada, algumas com tonalidades esbranquiçadas e outras avermelhadas, em especial os tipos mais leucocráticos (Figura 3.6 a, b).

A paragenese essencial do granito Rancho de Deus é representada por quartzo (26,6%), microclina (27,3%) e plagioclásio (39,3%) (Tabela 3.1). Biotita (2,5%) e anfibólio (0,7%) são as fases varietais, enquanto que allanita, epidoto, titanita, zircão, apatita e opacos são as fases acessórias primárias. Os produtos secundários são representados por sericita-muscovita e epidoto, provenientes da alteração do plagioclásio, e por clorita, oriunda da biotita. Os dados das análises modais, quando plotados no diagrama Q-A-P (Streckeisen 1976), mostram que as amostras do corpo Rancho de Deus possuem composição monzogranítica com pequenas variações (amostras MAR 132 A, de composição granodiorítica, e MAF-22, sienogranítica), demonstrando a homogeneidade composicional deste pluton (Tabela 3.1 e Figura 3.1). Os conteúdos de máficos são semelhantes aos obtidos nos granitóides da Suíte Guarantã. Dentre as amostras analisadas, três possuem valores de M inferiores a 5% e cinco amostras valores acima deste. Segundo a classificação de Le Maitre (2002), todas as amostras do Granito Rancho de Deus podem ser classificadas como hololeucocráticas.

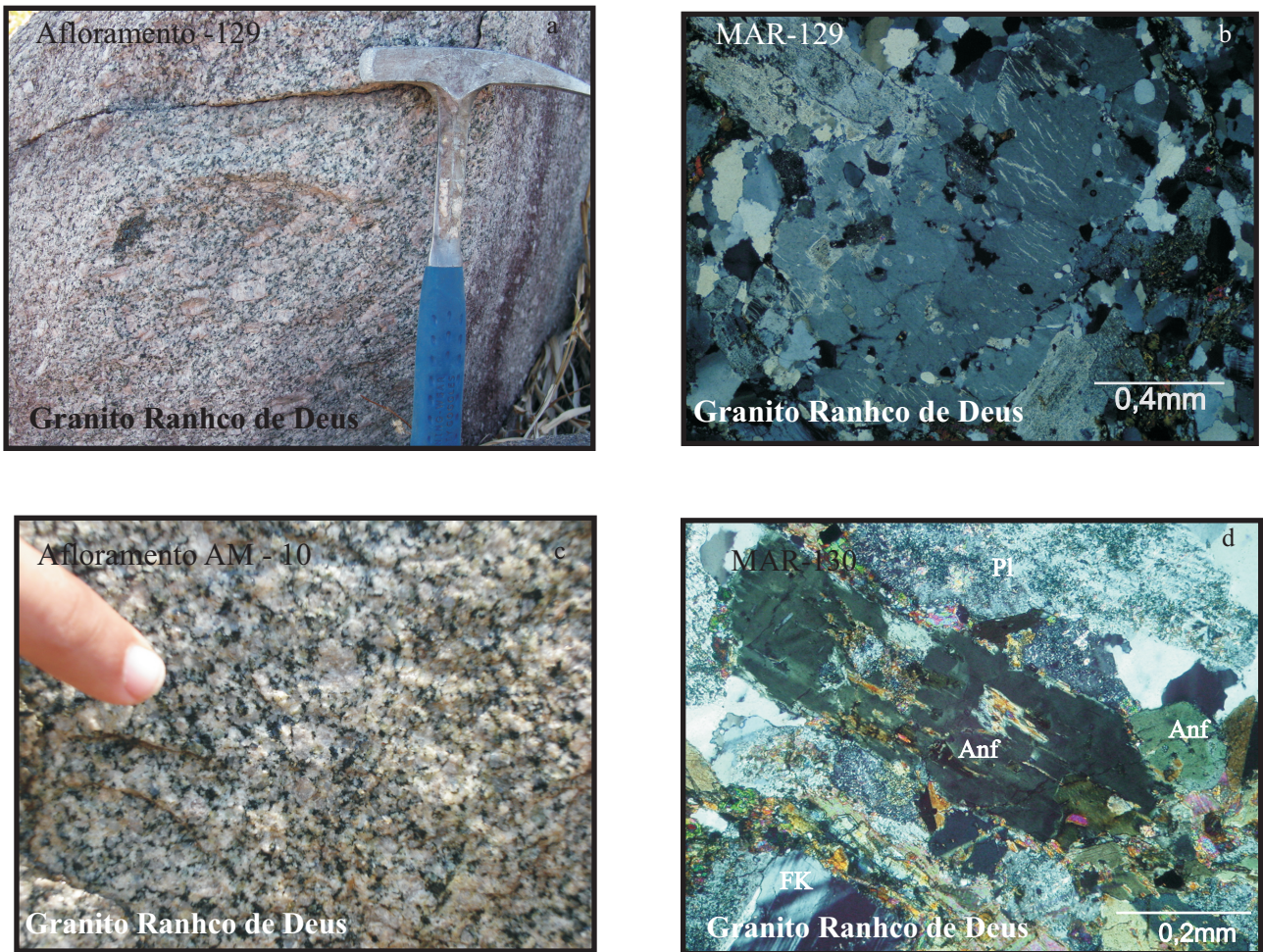


Figura 3.6 - Feições macro e microscópicas do Granito Rancho de Deus. (a) Textura porfirítica das rocha do Granito Rancho de Deus; (b) Cristal de feldspato potássico presente na matriz do Granito Rancho de Deus (NC); (c) Monzogranito com caráter porfirítico menos acentuado destacando-se as pontuações escuras devidas o agregados máficos; (d) Agregados máficos a base de anfibólio e biotita associado ao plagioclásio alterado e quartzo (NC).Fotos dos afloramentos obtidas por Almeida et al. 2008 e Almeida em preparação.

Os dados modais, em particular as razão PI/Mc , permitiriam supor que o Granito Rancho de Deus, de composição granítica possa representar um termo mais evoluído de uma série relacionada com os granodioritos da Suíte Guarantã, descritos anteriormente. Entretanto, alguns aspectos texturais distintos apresentados pelo Granito Rancho de Deus e a presença de anfibólio (Figuras 3.6 c, d), ainda que em baixas proporções, em todas as amostras analisadas do Granito Rancho de Deus (Tabela 3.1), não fortalecem esta hipótese.

As composições modais do Granito Rancho de Deus não permitem visualizar nenhum *trend* sugestivo de processos de cristalização fracionada comandando a evolução das diferentes variedades deste pluton. Isto não implica que tais processos não tenham atuado, porém a grande homogeneidade composicional do conjunto de amostras analisado não permite distinguir claramente possíveis tendências de diferenciação. É muito provável que o conteúdo de minerais máficos ainda seja o principal indicador da diferenciação, decrescendo das amostras derivadas de líquidos menos evoluídos para aquelas provenientes dos mais diferenciados, porém não se pode concluir a respeito.

A amostra MAF-22 (sienogranito), que representa o *stock* a sul do corpo Rancho de Deus (Figura 2.1), possui um comportamento análogo ao das amostras deste último corpo e indica que as rochas do *stock* mencionado apresentam afinidade com o Granito Rancho de Deus. Portanto, sua origem poderia estar relacionada ao mesmo processo magmático responsável pela formação do Granito Rancho de Deus. No entanto, esta e outras hipóteses só testadas com auxílio dos dados geoquímicos.

3.3.2 - Aspectos texturais das variedades de rocha do pluton Rancho de Deus

O Granito Rancho de Deus apresenta textura variável desde porfirítica, com fenocristais centimétricos de feldspato potássico em matriz média (Figura 3.6a), até granular hipidiomórfica de granulação grossa (Figura 3.6c). Em geral, não apresentam foliação muito marcante, exceto próximo de zonas de cisalhamento. Serão descritos a seguir os principais aspectos texturais dos minerais formadores deste granito.

Quartzo - Forma cristais hipidiomórficos a xenomórficos de granulação média (1,5 a 3 mm), que apresentam moderada extinção ondulante (Figura 3.7 a). Nas rochas mais deformadas, tais cristais evoluem para agregados policristalinos de grãos finos, que podem formar junções tríplexes. Os contatos entre os grãos de quartzo são irregulares, suturados ou ondulados, ao passo que os contatos com os feldspatos são geralmente regulares. Cristais finos, arredondados ou globulares, de quartzo, com fraca extinção ondulante, estão inclusos nos.

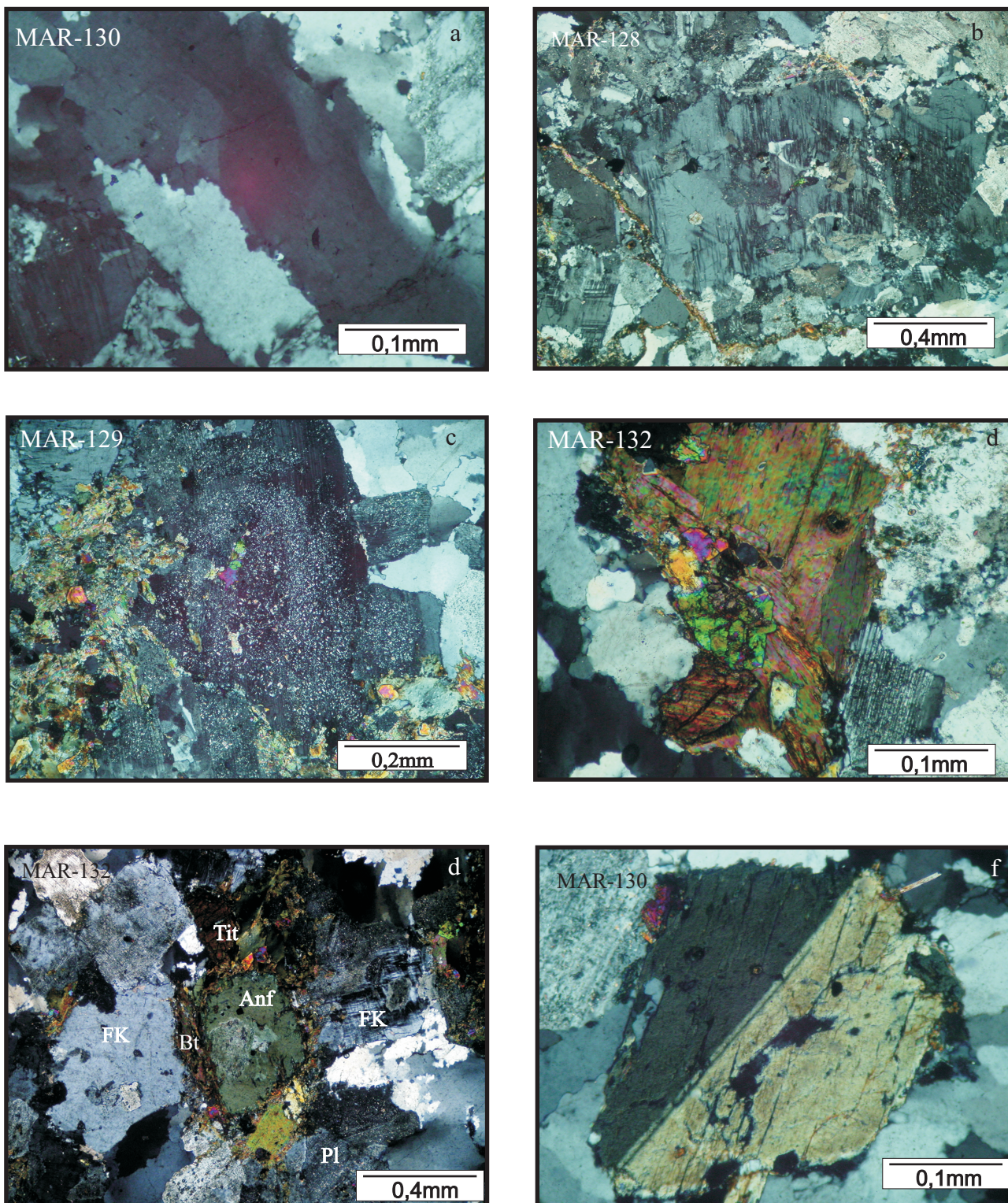


Figura 3.7 - Feições microscópicas do Granito Rancho de Deus; (a) Cristal hipidiomorfo de quartzo com extinção ondulante(NC); (b) Detalhe de fenocristal de feldspato alcalino (NC);(c) Cristal de plagioclásio intensamente alterado (NC); (d) Cristal de biotita associado com epidoto magmático e titanita (NC); (e) Cristal de anfíbólio bordejado por biotita (NC); (f) Maclamento em cristal de anfíbólio (NC). NC - Nicóis cruzados.

Feldspatos.

Álcali-feldspato – Forma cristais hipidiomórficos a xenomórficos e é do tipo microclina pertítica (Figuras 3.6b e 3.7b), com escassas lamelas sódicas do tipo corda ou veios, e maclamento albita-periclina. Os fenocristais de feldspato potássico possuem dimensão de 5 a 30 mm, e acham-se imersos em matriz com cristais de tamanhos variáveis entre 0,5 e 3,5 mm. Cristais de quartzo, plagioclásio, biotita, titanita e opacos acham-se inclusos nas bordas dos cristais de microclina. Por vezes, no contato entre dois cristais de feldspato alcalino, ocorre a formação de albita intergranular em pequenos grãos isolados, assim como em forma de coroas trocadas (Smith 1974). Cristais de albita intergranular em forma de dedos, ocorrem em contatos entre microclina e plagioclásio.

Plagioclásio - Apresenta-se como cristais idiomórficos a hipidiomórficos de granulação média (2 a 3,5 mm). Mostram maclas albita polissintéticas e, mais raramente, duplas maclas albita-carlsbad. A forte saussuritização dos cristais de plagioclásio dificulta a determinação da composição dos mesmos (Figura 3.7c). A maior concentração de minerais secundários (sericita - muscovita ± epidoto) nos núcleos dos cristais sugere que estes apresentavam originalmente zoneamento normal e, conseqüentemente, núcleos mais cálcicos que as bordas. Os seus contatos com quartzo e biotita são regulares e irregulares com o feldspato alcalino.

Biotita - Ocorre como lamelas hipidiomórficas a xenomórficas, de 1,3 a 3 mm de comprimento, parcial ou totalmente transformada para clorita. Associa-se a cristais de anfibólio e epidoto idiomórfico (Figura 3.7d) e também a opacos esqueléticos. Grãos secundários de titanita ao longo dos planos de clivagem são comuns nas lamelas alteradas. Lamelas finas e xenomórficas de biotita substituem localmente os cristais de anfibólio (Figura 3.7e).

Anfibólio - Apresenta-se na forma de cristais hipidiomórficos a xenomórficos, médios (0,5 a 3 mm), por vezes maclados (Figura 3.6f) ou englobando cristais de zircão, apatita e opacos. A substituição parcial por biotita é muito comum (Figura 3.6e). Os cristais de anfibólio mostram tendência a associar-se com o plagioclásio, tanto na forma de agregados como em cristais isolados.

Epidoto - O epidoto é um mineral relativamente abundante no Granito Rancho de Deus (Tabela 3.1) e, com base nos seus aspectos texturais, puderam ser distinguidos quatro tipos principais, que correspondem perfeitamente aqueles descritos na Suíte Guarantã, não sendo, portanto, necessário repetir sua descrição aqui. Chama, no entanto, a atenção o fato de a presença de epidoto magmático ser registrada em número cada vez mais amplo de granitóides arqueanos do TGGRM. Descrito originalmente no Granito Mata Surrão (Duarte 1992), foi

reconhecido também no Granito Xinguara (Leite 2001) e no Granodiorito Rio Maria (Oliveira et al. 2006, 2009), o que mostra a relevância deste mineral no TGGRM.

Titanita - Apresenta-se na forma de cristais losangulares, de 0,5 a 1,5mm, interpretados como magmáticos. Porém, ocorre também em grãos xenomórficos, secundários, submilimétricos, associados com biotita ou anfibólio. Localmente, se apresenta em cristais xenomórficos associados a minerais opacos, podendo englobar grãos parcialmente reabsorvidos deste mineral.

Minerais opacos - Forma cristais muito finos, idiomórficos a xenomórficos, por vezes intensamente oxidados (martitização).

Allanita - Seus cristais são idiomórficos a xenomórficos, muito finos (0.1 a 0,5 mm), e, por vezes, encontram-se envolvidos por epidoto ou inclusos em plagioclásio e biotita.

Apatita e Zircão – Apresentam-se em cristais prismáticos idiomórficos, submilimétricos, inclusos em plagioclásio e quartzo ou associados aos máficos.

3.3.3 – Ordem de cristalização dos minerais

A ordem de cristalização admitida para as rochas do Granito Rancho consta da Figura 3.8 e guarda muitas analogias com aquela proposta para o Granodiorito Rio Maria (Oliveira 2005), com o qual o Granito Rancho de Deus pode ter alguma ligação genética.

A cristalização do Granito Rancho de Deus inicia com a formação de magnetita, zircão e apatita, sendo que não foram observadas relações que levem a uma ordem relativa entre essas fases. Estes minerais formam cristais idiomórficos a hipidiomórficos, inclusos em plagioclásio, microclina e quartzo, sugerindo seu caráter precoce. A allanita, muito provavelmente, também começou a cristalizar precocemente, antes da hornblenda, plagioclásio e biotita, pois é encontrada como cristais idiomórficos inclusos nestes minerais.

A hornblenda muito provavelmente iniciou sua cristalização antes do epidoto magmático (Ep1 e Ep2) e do plagioclásio, pois não são vistas inclusões deste minerais no anfibólio. Entretanto, as evidências texturais indicam que o intervalo de temperatura em que o plagioclásio cristalizou foi coincidente ou próximo daquele do anfibólio. A seguir, tem-se o início da cristalização do epidoto magmático (Ep1 e Ep2). O Ep1 apresenta-se, em geral idiomórfico, e sua cristalização deve ser anterior à da biotita, devido às suas relações com esta mica, enquanto o Ep2, que envolve cristais de allanita, cristaliza após esta e deve estar relacionado ao mesmo estágio de cristalização do Ep1.

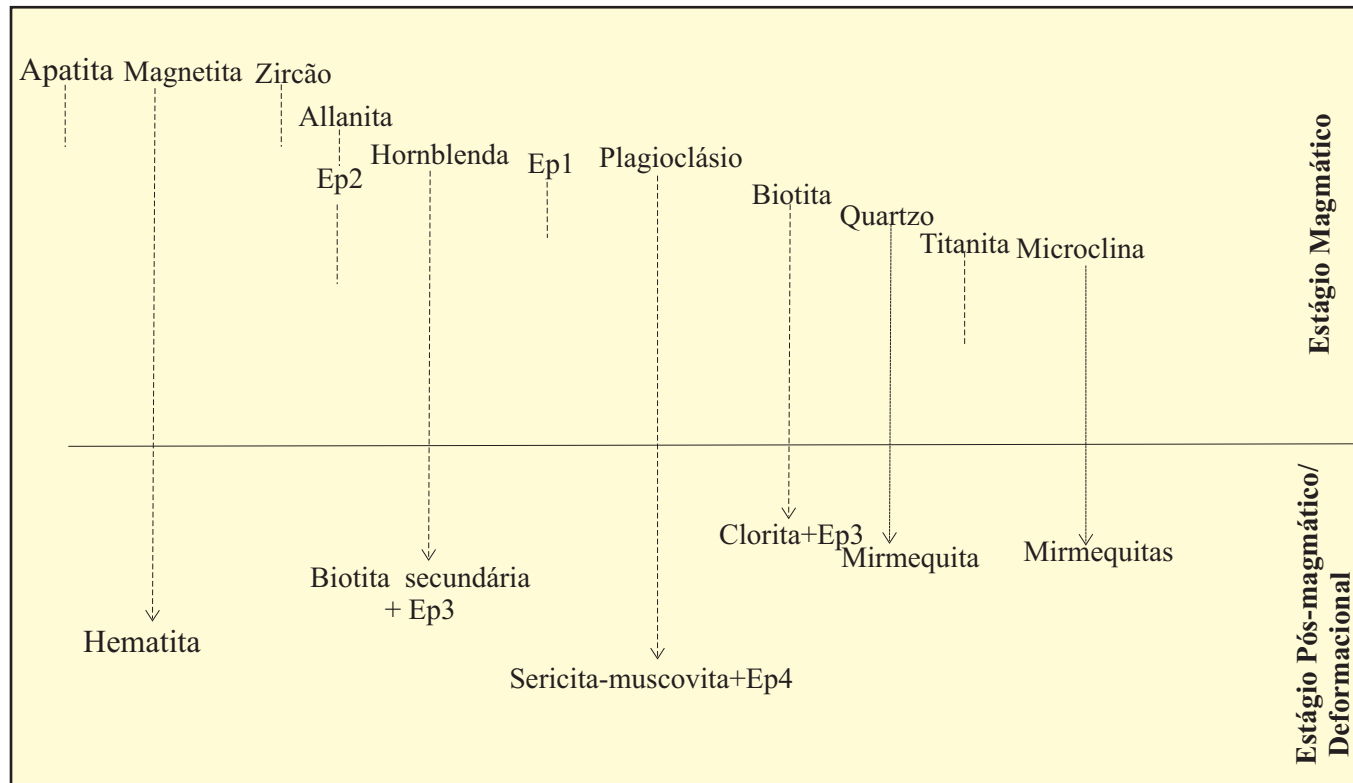


Figura 3.8 - Ordem de cristalização do Granito Rancho de Deus.

A definição da ordem relativa de cristalização entre plagioclásio e biotita é deduzida de modo indireto, levando-se em conta que os cristais de plagioclásio são geralmente idiomórficos a hipidiomórficos e não apresentam inclusões de biotita, o que leva a crer que o plagioclásio foi mais precoce que a mica. O quartzo iniciou sua cristalização após a biotita e antes dos cristais mais desenvolvidos de titanita, interpretados como sendo magmáticos, por sua forma e por conterem inclusões de quartzo.

A transformação pós-magmática mais marcante é a saussuritização do plagioclásio, que leva à formação de sericita e epidoto (Ep4). A biotita, quando desestabilizada, gera clorita e, subordinadamente, titanita, enquanto que a hornblenda é substituída parcial a totalmente por biotita e titanita.

A microclina exhibe formas hipidiomórficas e engloba inclusões de minerais que cristalizaram precocemente, indicando que foi o mineral félsico essencial que principiou sua cristalização mais tardiamente durante a evolução dessas rochas.

Os constituintes félsicos essenciais parecem iniciar a sua formação após os minerais máficos precoces, formando-se sucessivamente plagioclásio + quartzo e plagioclásio + quartzo + feldspato potássico. Nas amostras onde a deformação é pouco acentuada, nota-se que o plagioclásio, feldspato potássico e quartzo formam cristais hipidiomórficos, atestando seu desenvolvimento em magma ainda contendo porcentagem expressiva de líquido e no qual possuíam espaço para crescer. Swanson (1977) atesta que, geralmente, as rochas plutônicas cristalizam a partir de um resfriamento contínuo, desenvolvendo sua textura, definida pelo mosaico ou arcabouço mineral, de acordo com o aparecimento sucessivo de fases cristalinas distintas e do crescimento dos cristais das mesmas. O processo de cristalização é controlado pelas taxas de nucleação e crescimento das várias fases. Este mesmo autor considera que em sistemas graníticos a densidade de nucleação é elevada para todas as fases minerais, sendo o feldspato potássico o mineral com maior taxa de desenvolvimento durante a evolução magmática. Isto é corroborado em certa medida no Granito Rancho de Deus, no qual a microclina é o mineral que forma os cristais de maiores dimensões, se destacando por essa razão no arcabouço textural comparativamente às outras fases.

O anfibólio é um mineral máfico que pode fornecer indicações importantes sobre as condições de cristalização das rochas graníticas onde ocorre. No Granito Rancho de Deus, o anfibólio ocorre como cristais hipidiomórficos mostrando contatos retilíneos com o plagioclásio, e foi interpretado como tendo caráter precoce na cristalização. De acordo com diversos estudos experimentais (Naney 1983, Dall'Agnol et al. 1999a, Klimm et al. 2003), a hornblenda somente cristaliza em líquidos contendo apreciáveis conteúdos de água (> 4 % de

água). Tais evidências indicam que o magma gerador do Granito Rancho de Deus seria bastante rico em água. Raciocínio análogo foi desenvolvido por Oliveira et al. (2009), os quais concluíram que o Granodiorito Rio Maria também derivou de magmas com conteúdos de água relativamente elevados. Isso reforça a hipótese de possível vinculação genética entre o Granito Rancho de Deus e o Granodiorito Rio Maria.

Conforme discutido no caso da Suíte Guarantã, as transformações pós-magmáticas, representadas por sausrutização e cloritização, implicam presença de fase volátil rica em H₂O durante o estágio subsolidus.

3.4 – CORPOS LEUCOGRANÍTICOS

3.4.1 – Composições modais e classificação

Estes corpos são formados por rochas monzograníticas, leucocráticas a hololeucocráticas, com índice de cor médio de 5,3%, coloração rosa clara, com variações para tonalidades cinza esbranquiçado. São formados predominantemente por rochas equigranulares de granulação média (Figura 3.9 a), com variações locais para fina.

Os resultados das análises modais de amostras desta variedade, embora muito limitados, sugerem que estas rochas não possuem variações composicionais marcantes. Quartzo, plagioclásio e álcali-feldspato são os constituintes essenciais e suas proporções são aproximadamente equivalentes. A principal fase máfica é a biotita e, entre os acessórios, encontram-se sempre opacos, titanita, apatita, allanita e epidoto (Tabela 3.1, Figura 3.1). A pequena quantidade de amostras desta variedade estudadas limita a discussão sobre estes leucogranitos.

3.4.2 - Aspectos texturais dos leucomonzogranitos

Os leucogranitos apresentam em sua maioria textura granular hipidiomórfica média, com foliação pouco marcante. Variações para tipos micrograníticos ou grossos a pegmatóides são comuns no caso do Granito Xinguara (Leite 2001), mas não foram observadas na amostragem estudada.

Feldspato potássico – forma cristais hipidiomórficos a xenomórficos, de granulação fanerítica média (1 a 3 mm), sendo do tipo microclina pertítica e exibindo maclamento albita-periclina. Engloba inclusões de plagioclásio e quartzo globular. Os contatos microclina/microclina são suturados e marcados pelo desenvolvimento incipiente de albita intergranular em coroa trocada (Smith 1974). Por sua vez, nos contatos microclina/plagioclásio se desenvolvem

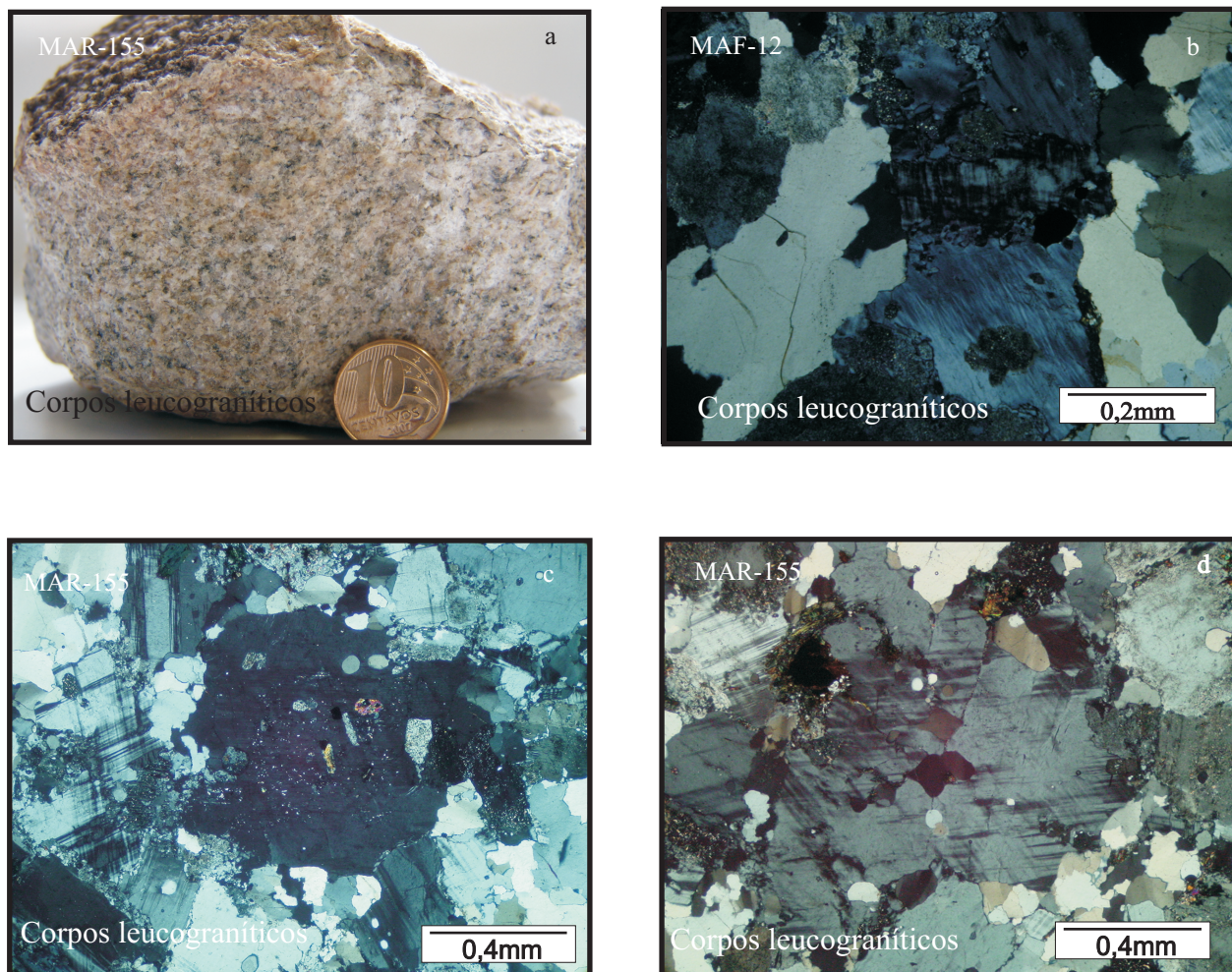


Figura 3.9 - Feições macro e microscópica dos corpos leucograníticos da Folha Marajoara. (a) Feição macroscópica, de leucogranito exibindo textura equigranular média. (b) Cristais de feldspato alcalino em contato interpenetrado com cristais de quartzo (NC). (c) Feições microscópicas do leucomonzogranito mostrando plagioclásio subidiomórfico (NC). (d) Cristal de feldspato potássico englobando grãos de quartzo (NC). (NC- Nicóis cruzados).

mirmequitas em forma de bulbos, invadindo os cristais de microclina. O feldspato alcalino pode englobar cristais de quartzo globular (Figura 3.9 d) e, por vezes, de plagioclásio, epidoto e opacos.

Quartzo – Apresenta-se em cristais hipidiomórficos a xenomórficos de dimensões similares a dos feldspatos. Os contatos entre os grãos de quartzo são regulares entre si e interlobados com os de feldspatos (Figura 3.9b). Os cristais de quartzo, quando inclusos nos feldspatos, possuem formas arredondadas ou globulares com fraca extinção ondulante, e se concentram nas zonas marginais do cristal hospedeiro. Pode ocorrer ainda quartzo vermicular ou goticular, formando junto com o plagioclásio intercrescimento mirmequítico.

Plagioclásio – Apresenta-se em cristais hipidiomórficos a xenomórficos, médios (2 a 3 mm). A sua alteração varia de moderada a forte, produzindo uma paragênese secundária constituída de sericita e epidoto, que mascara as feições originais do plagioclásio, muitas vezes encobrindo seus planos de macla e dificultando a determinação da sua composição (Figura 3.9 c). Localmente, engloba inclusões de minerais opacos.

Biotita - Ocorre como finas lamelas (até 1 a 2 mm), bordejando parcialmente os plagioclásios ou inclusa em feldspato alcalino, muitas vezes parcial ou totalmente substituídas por clorita. Pode estar associada a epidoto ou conter grãos de minerais opacos xenomórficos.

Epidoto - Com base nos seus aspectos texturais, foram distinguidos dois tipos principais: (1) cristais preferencialmente xenomórficos, com elevada birrefringência, em geral associados aos minerais máficos ou isolados na rocha (similar ao Ep3 dos demais granitóides estudados); (2) epidoto em grãos submilimétricos xenomórficos, ocorrendo sobre cristais de plagioclásio, produto da sua saussuritização (idem Ep4).

Allanita - Forma cristais hipidiomórficos, submilimétricos de 0,1 a 2,5mm.

Titanita - Apresenta-se na forma de cristais losangulares, hipidiomórficos a xenomórficos, submilimétricos de 0,2 a 0,3mm, associados a biotita ou isolados.

Apatita - Forma pequenos cristais prismáticos, idiomórficos, submilimétricos, de 0,1 a 0,2mm, inclusos em plagioclásio.

Minerais opacos - São hipidiomórficos a xenomórficos, finos (0,5 a 1,3 mm), ocorrendo associados a biotita e allanita.

O número limitado de amostras desta variedade de granito e o fato de provirem de diferentes corpos torna sem sentido estimar sua ordem de cristalização.

CAPÍTULO 4 – GEOQUÍMICA

O principal objetivo deste capítulo é caracterizar em termos geoquímicos as rochas estudadas e interpretar o comportamento das diferentes associações identificadas, permitindo assim uma melhor avaliação dos processos petrogenéticos envolvidos na evolução das mesmas, bem como de sua assinatura geoquímica e tipologia.

As análises químicas foram efetuadas em amostras selecionadas a partir dos estudos petrográficos (Capítulo 3) realizados, numa primeira etapa, por pesquisadores do GPPG-UFGPA responsáveis pela execução do mapeamento da Folha Marajoara (Almeida et al. 2008; Programa GEOBRASIL), ampliados e complementados no presente trabalho. Neste foram integrados, reavaliados e reinterpretados os dados existentes, considerando as diferentes variedades de granitos identificadas na Folha Marajoara, porém com ênfase nos corpos da Suíte Guarantã e do Granito Rancho de Deus, com breve abordagem sobre alguns leucogranitos, 20 análises químicas do conjunto estudado foram realizadas durante o mapeamento da Folha Marajoara (Almeida et al. 2008), sendo acrescentadas mais duas análises recentemente (Doutorado de J.A.C. Almeida). Durante o desenvolvimento do presente trabalho, foram realizadas mais 12 análises para aumentar a abrangência e cobrir as principais variedades das associações estudadas. Os resultados de quatro análises químicas do Granodiorito Azulona e uma do Granito Guarantã, todas do primeiro conjunto, foram discutidos também por Costa (2009). As análises químicas envolveram a determinação dos elementos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O), menores (TiO_2 , P_2O_5 e MnO) e traços (Ba , Rb , Zr , Nb , Y , Ga , Sc , Th , U , V e elementos terras raras). As análises foram realizadas por ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD (Capítulo 1, Materiais e métodos) e os resultados obtidos constam da Tabela 4.1.

4.1 – ELEMENTOS MAIORES

O conteúdo de SiO_2 das rochas graníticas arqueanas da Folha Marajoara estudadas varia entre 67,32 e 75,84%. Conforme discutido anteriormente, os dados geológicos e petrográficos permitiram individualizar claramente três grupos de granitóides, os granodioritos a monzogranitos da Suíte Guarantã, o Granito Rancho de Deus e corpos leucograníticos. A maior parte das análises é de amostras da Suíte Guarantã, totalizando 24 amostras, sendo 11 amostras do Granito Guarantã, 9 do Granodiorito Azulona e 4 do Granodiorito Trairão; foram efetuadas, ainda, sete análises de amostras do Granito Rancho de

Tabela 4.1 - Composições químicas das variedades de granito da Folha Marajoara.

Granito Guarantã														Granodiorito Azulona										
Amostra Elementos	Gd					MzG							Média	Gd					MzG					
	MAF 33 ¹	MAR 14A ³	MAR 64A ¹	MAR 10A ²	Média	MAR 70 ²	MAR 72 ²	MAR 07 ²	MAR 58 ²	MAR 09A ²	MAR 164A ¹	MAR 167 ¹		MAR 103A ³	MAR 50 ²	MAR 93 ³	MAR 102 ³	MAR 97 ³	Média	MAR 38 ²	MAF 64 ²	MAR 101 ²	MAR 104 ²	Média
SiO ₂	68,86	71,39	72,39	75,84	72,12	70,12	70,42	71,03	71,13	71,20	71,71	74,39	71,43	71,34	71,36	71,9	72,03	72,27	71,78	70,12	70,55	72,07	73,82	71,64
TiO ₂	0,45	0,27	0,19	0,11	0,26	0,24	0,17	0,17	0,22	0,16	0,17	0,12	0,18	0,26	0,20	0,21	0,21	0,17	0,21	0,18	0,38	0,15	0,08	0,20
Al ₂ O ₃	15,14	15	14,93	13,34	14,72	15,30	15,91	15,17	15,08	14,93	15,22	14,10	15,10	15	15,39	16	15	15	15,13	15,56	14,60	15,00	14,20	14,84
Fe ₂ O ₃	3,21	1,55	1,50	0,90	1,79	1,89	1,25	1,36	1,66	1,25	1,26	1,04	1,39	2,15	1,66	1,40	1,68	1,40	1,66	1,25	1,80	1,14	0,90	1,27
MnO	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02
MgO	1,03	0,45	0,45	0,26	0,55	0,68	0,38	0,40	0,58	0,37	0,35	0,19	0,42	0,61	0,54	0,36	0,51	0,42	0,49	0,39	0,27	0,29	0,22	0,29
CaO	2,81	2,19	2,05	1,70	2,19	1,74	1,73	1,62	2,04	1,46	1,90	1,17	1,67	2,21	1,97	2,32	2,19	1,97	2,13	1,74	0,72	1,39	1,09	1,24
Na ₂ O	4,44	4,90	4,92	4,47	4,68	4,73	5,34	4,93	4,72	4,78	5,02	4,59	4,87	4,44	5,17	5,00	4,92	4,86	4,88	4,48	4,07	4,55	4,12	4,31
K ₂ O	2,68	2,87	2,64	2,19	2,60	3,85	3,55	3,85	3,05	4,46	3,24	3,43	3,63	2,76	2,51	2,73	2,46	2,98	2,69	4,86	6,20	4,51	4,54	5,03
P ₂ O ₅	0,16	0,09	0,07	0,04	0,09	0,12	0,05	0,09	0,07	0,08	0,06	0,05	0,07	0,09	0,08	0,05	0,08	0,06	0,07	0,08	0,11	0,06	0,03	0,07
PF	1,1	0,80	0,7	0,9	0,88	1,0	0,9	1,1	1,2	1,0	0,8	0,8	0,97	1,00	0,9	0,40	0,90	0,70	0,78	1,0	0,9	0,6	0,9	0,85
TOTAL	99,92	99,18	99,86	99,76	99,68	99,69	99,70	99,73	99,74	99,72	99,75	99,89	99,75	98,75	99,79	99,53	99,00	99,14	99,24	99,68	99,61	99,79	99,92	99,75
Ba	1173	978	1066	1436	1163	1873	1558	1854	1578	1547	1020	1081	1502	991	964	918	785	1247	981	2230	1962	1363	697	1563
Sr	553,5	388,7	649,6	639,3	557,8	830,3	778,2	757,4	739,0	629,6	533,6	366,4	662,1	353,8	642,5	483,5	566,9	695,9	548,5	767,1	519,3	570,9	212,0	517,3
Rb	77,8	95,0	70,4	57,0	75,05	94,2	91,1	103,0	59,8	121,2	80,8	76,0	89,44	97,1	59,2	61,9	95,6	63,8	75,52	173,3	252,1	169,7	180,4	193,88
Zr	132,0	128	95,6	72,4	107,1	146,8	106,1	106,5	122,2	111,9	81,6	70,6	106,53	129	90,5	82	100	90	98,14	98,2	355,9	100,6	86,4	160,28
Y	12,6	5,7	6,3	55,9	20,13	9,7	7,8	6,8	6,6	23,8	6,2	7,0	9,70	8,0	7,9	12,2	6,4	5,1	7,92	10,9	3,8	6,8	6,3	6,95
Nb	6,1	5,4	6,7	3,9	5,53	7,3	3,3	6,0	4,8	7,1	5,6	4,8	5,56	8,1	3,6	3,7	6,6	4,2	5,24	5,7	7,2	5,1	3,4	5,35
Ga	19,6	20,6	21,1	15,1	19,10	19,3	19,6	18,8	17,9	20,0	20,2	16,7	18,93	20,4	20,6	15,9	23,6	21,2	20,34	18,5	18,6	19,5	17,8	18,60
Th	5,0	6,9	5,0	2,4	4,83	9,7	4,3	7,3	3,2	9,7	3,0	4,7	5,99	5,9	2,5	4,2	3,3	2,3	3,64	2,7	35,8	8,3	16,5	15,83
Hf	3,7	3,80	3,2	1,7	3,10	3,7	3,0	2,4	3,0	3,5	2,7	2,5	2,97	4,00	2,8	2,50	3,80	2,70	3,16	2,8	7,6	2,8	2,9	4,03
Ta	1,7	2,1	2,4	0,5	1,68	0,7	0,3	0,6	0,4	0,5	2,1	1,5	0,87	2,3	0,3	1,9	2,7	1,9	1,82	0,5	0,3	0,4	0,3	0,38
Zn	47	39	46	26	39,50	48	42	37	36	46	31	47	41,00	39	41	38	46	36	40,00	29	50	31	32	35,50
Cu	54,2	6,6	26,6	6,5	23,48	2,2	1,5	2,3	2,0	2,6	6,3	31,0	6,84	118,3	4,1	9,7	89,8	53,7	55,12	3,9	2,3	2,6	2,3	2,78
Ni	7,6	3,4	7,5	3,1	5,40	9,6	4,1	4,4	5,9	4,6	5,2	3,6	5,34	9,6	6,6	3,3	8,1	7,0	6,92	4,6	0,5	2,7	2,6	2,60
La	56,8	25,7	18,0	75,1	43,90	35,0	23,9	21,7	18,1	29,4	14,0	22,6	23,53	26,6	15,7	28,0	15,0	15,7	20,20	15,9	104,1	18,1	14,9	38,25
Ce	80,7	46,2	32,9	65,6	56,35	68,2	36,8	40,1	34,2	54,4	26,1	26,0	40,83	46,1	29,8	46,4	28,0	28,7	35,80	34,3	177,8	46,8	24,6	70,88
Pr	10,07	4,79	3,54	17,88	9,07	8,07	4,91	4,88	4,13	6,70	2,88	3,85	5,06	4,41	3,71	5,26	3,15	3,16	3,94	4,78	19,00	4,04	3,27	7,77
Nd	36,00	17,00	12,30	74,30	34,90	29,30	19,50	18,00	16,30	23,80	9,70	11,50	18,30	13,50	12,70	16,9	11,00	10,0	12,82	18,30	57,90	15,80	11,30	25,83
Sm	4,90	2,40	1,90	13,97	5,79	4,74	2,94	2,94	2,70	4,06	2,00	1,60	3,00	2,00	2,44	2,80	2,10	1,90	2,25	3,75	5,60	2,33	1,85	3,38
Eu	1,22	0,67	0,53	3,87	1,57	1,17	0,74	0,69	0,62	0,94	0,40	0,60	0,74	0,51	0,67	0,72	0,53	0,50	0,59	0,83	1,19	0,61	0,53	0,79
Gd	2,98	1,66	1,29	13,45	4,85	3,16	2,03	2,03	1,79	3,62	1,17	1,36	2,17	1,25	1,85	1,83	1,21	1,06	1,44	2,69	2,42	1,61	1,59	2,08
Tb	0,44	0,22	0,25	1,96	0,72	0,40	0,26	0,25	0,26	0,48	0,17	0,19	0,29	0,22	0,27	0,30	0,25	0,25	0,26	0,38	0,23	0,22	0,22	0,26
Dy	2,07	1,09	0,95	10,36	3,62	1,86	1,41	1,33	1,28	2,71	0,78	0,68	1,44	1,19	1,34	1,83	1,24	0,92	1,30	2,08	0,91	1,16	1,16	1,33
Ho	0,38	0,17	0,16	2,11	0,71	0,31	0,27	0,23	0,23	0,55	0,18	0,11	0,27	0,26	0,25	0,35	0,25	0,16	0,25	0,37	0,09	0,21	0,21	0,22
Er	0,92	0,43	0,60	5,07	1,76	0,88	0,67	0,64	0,60	1,58	0,52	0,44	0,76	0,72	0,69	1,14	0,66	0,52	0,75	1,11	0,24	0,59	0,62	0,64
Tm	0,15	0,07	0,08	0,73	0,26	0,15	0,10	0,11	0,09	0,25	0,08	0,07	0,12	0,11	0,11	0,18	0,09	0,06	0,11	0,19	0,05	0,09	0,10	0,11
Yb	0,88	0,47	0,63	3,82	1,45	0,85	0,57	0,57	0,52	1,46	0,63	0,30	0,70	0,72	0,57	1,00	0,56	0,26	0,62	1,14	0,23	0,58	0,63	0,65
Lu	0,13	0,05	0,08	0,50	0,19	0,12	0,08	0,09	0,07	0,22	0,07	0,07	0,10	0,09	0,08	0,14	0,08	0,07	0,09	0,15	0,04	0,09	0,09	0,09
ΣETR	198	101	73	288	164,97	154	94	94	81	130	59	69	97,27	98	70	107	64	63	80,33	86	152	92	130	115,04
K ₂ O/Na ₂ O	0,60	0,59	0,54	0,49	0,56	0,81	0,66	0,78	0,65	0,93	0,65	0,75	0,75	0,62	0,49	0,55	0,50	0,61	0,55	1,08	1,52	0,99	1,10	1,18
Rb/Sr	0,14	0,24	0,11	0,09	0,14	0,11	0,12	0,14	0,08	0,19	0,15	0,21	0,14	0,27	0,09	0,13	0,17	0,09	0,15	0,23	0,49	0,30	0,85	0,46
Sr/Ba	0,47	0,39	0,61	0,45	0,48	0,44	0,50	0,41	0,47	0,41	0,52	0,34	0,44	0,36	0,67	0,53	0,72	0,56	0,57	0,34	0,26	0,42	0,30	0,33
Ba/Rb	15,07	10,29	15,15	25,19	16,43	19,88	17,10	18,00	26,39	12,76	12,63	14,23	17,28	10,20	16,28	14,83	8,21	19,54	13,81	12,87	7,78	8,03	3,86	8,14
(La/Yb) _n	43,03	36,45	19,29	13,11	27,97	27,45	27,95	25,38	23,21	13,42	15,00	50,85	26,18	24,63	18,36	18,7	17,86	40,26	23,96	9,30	301,7	20,80	15,77	86,90
(La/Sm) _n	7,13	6,59	5,96	3,31	5,75	4,54	5,00	4,54	4,12	4,45	4,41	8,89	5,14	8,18	3,96	6,15	4,39	5,08	5,55	2,61	11,40	4,78	4,95	5,94
(Dy/Yb) _n	1,50	1,49	0,98	1,73	1,42	1,40	1,58	1,49	1,58	1,18	0,80	1,47	1,36	1,06	1,50	1,17	1,42	2,27	1,49	1,17	2,52	1,28	1,18	1,54
Eu/Eu*	0,98	1,03	1,03	0,87	0,98	0,93	0,93	0,87	0,87	0,75	0,80	1,24	0,91	0,99	0,97	0,98	1,02	1,08	1,01	0,80	0,99	0,97	0,95	0,93
Mg#	0,39	0,36	0,37	0,36	0,37	0,41	0,37	0,37	0,41	0,37	0,35	0,26	0,36	0,36	0,39	0,33	0,37	0,37	0,36	0,38	0,23	0,33	0,32	0,32

Fonte dos dados: ¹ Almeida et al.(2008); ² Este trabalho;³ Almeida et al. (2008) estudadas também por Costa 2009

Tabela 4.1 (Contin.) - Composições químicas das variedades de granito da Folha Marajoara.

Amostras/ Elementos	Granodiorito Trairão						Granito Rancho de Deus						Corpos Leucograníticos					
	Gd		MzG		Média	MzG		Média	MzG		Média	MzG						
	MAR	MAR	MAR	MAR		MAR	MAR		MAF	MAF		MAR	MAR	MAF	Média			
	146 ¹	123 ¹	146 ¹	123 ¹	146 ¹	123 ¹	141 ¹	144 ¹	132A ¹	129 ¹	126 ¹	24 ¹	22 ¹	13 ²	155 ¹	12 ¹	Média	
SiO ₂	68,20	70,08	69,14	70,32	70,89	70,61	67,32	67,74	69,82	71,93	72,36	73,09	73,42	70,81	72,66	73,26	74,98	73,6
TiO ₂	0,40	0,27	0,34	0,21	0,25	0,23	0,30	0,29	0,25	0,20	0,20	0,28	0,28	0,26	0,04	0,11	0,09	0,08
Al ₂ O ₃	15,30	15,40	15,35	15,66	14,60	15,13	15,07	15,59	14,62	14,45	14,28	14,18	13,86	14,58	14,48	14,15	13,44	14,0
Fe ₂ O ₃	2,97	1,95	2,46	1,71	2,10	1,91	3,20	2,87	2,55	1,85	1,66	1,92	1,90	2,28	0,60	1,16	1,11	0,96
MnO	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,04	0,04	0,04	0,01	0,02	0,02	0,02
MgO	1,38	0,77	1,08	0,59	0,82	0,71	1,54	1,13	0,95	0,65	0,52	0,30	0,29	0,77	0,10	0,21	0,19	0,17
CaO	3,00	2,31	2,66	2,09	2,03	2,06	2,38	2,47	2,02	1,57	1,15	0,92	1,20	1,67	0,75	1,23	0,93	0,97
Na ₂ O	4,91	4,87	4,89	4,98	4,56	4,77	4,27	4,18	4,37	4,11	4,05	3,99	3,97	4,13	3,77	3,36	3,38	3,50
K ₂ O	2,41	2,91	2,66	3,31	3,44	3,38	4,31	4,14	4,07	4,44	4,65	4,89	4,64	4,45	6,53	5,65	5,39	5,86
P ₂ O ₅	0,16	0,10	0,13	0,08	0,10	0,09	0,15	0,13	0,12	0,08	0,07	0,05	0,05	0,09	0,04	0,06	0,03	0,04
LOI	1,0	1,0	1,00	0,7	1,0	0,85	1,2	1,1	0,9	0,5	0,9	0,4	0,4	0,78	0,8	0,7	0,6	0,70
TOTAL	99,77	99,69	99,73	99,68	99,83	99,76	99,80	99,68	99,72	99,81	99,86	100,06	100,04	99,85	99,78	99,91	100,16	99,95
Ba	1203	1170	1186	1436	1218	1327	1638	1554	1392	976	722	1214	1182	1240	1131	781	746	885,9
Sr	918,7	737,3	828	724,9	673,1	699,0	518,5	575,7	528,4	374,4	280,9	138,8	146,4	366,2	278,1	182,9	185,6	215,5
Rb	73,5	83,7	78,60	77,9	127,6	102,8	166,1	132,3	167,0	185,6	175,6	111,5	121,1	151,3	157,6	209,4	186,8	184,6
Zr	137,1	112,4	124,8	91,8	104,1	97,95	175,9	163,2	127,6	115,8	95,1	209,8	238,7	160,9	40,7	116,1	82,4	79,7
Y	9,4	11,6	10,50	3,1	40,5	21,80	13,7	13,2	8,8	5,7	13,6	15,1	16,9	12,4	12,5	7,9	9,3	9,9
Nb	5,6	5,5	5,55	4,2	6,3	5,25	6,3	6,3	8,0	6,7	5,4	9,3	11,2	7,60	6,5	4,3	8,2	6,3
Ga	20,4	19,4	19,90	19,3	20,4	19,85	19,4	18,9	18,7	16,7	17,5	15,3	16,5	17,57	23,1	17,3	16,7	19,0
Th	5,0	5,1	5,05	4,6	7,6	6,10	18,9	10,3	19,0	16,6	15,3	16,7	22,1	16,99	3,1	33,3	47,5	28,0
Hf	4,1	4,2	4,15	3,1	4,1	3,60	5,5	4,5	4,0	4,1	3,7	6,0	7,1	4,99	2,1	3,8	2,7	2,9
Ta	1,8	2,1	1,95	2,1	2,0	2,05	1,7	2,4	2,2	2,6	2,1	3,0	3,1	2,44	0,7	1,8	3,7	2,1
Zn	52	40	46,00	28	43	35,50	35	34	38	26	23	19	19	28	11	21	15	15,7
Cu	18,2	13,1	15,65	10,4	67,8	39,10	38	18,8	16,0	8,1	31,8	5,9	3,8	17,5	4,0	5,4	17,0	8,8
Ni	18,6	10,6	14,60	8,1	12,4	10,25	17,8	12,2	13,0	7,5	6,1	2,0	2,2	8,69	0,5	12,0	1,8	4,8
La	31,6	32,1	31,85	13,0	27,5	20,25	44,4	42,4	42,6	35,8	53,5	58,9	57,3	47,8	7,8	31	18,9	19,2
Ce	63,8	47,6	55,70	29,5	44,2	36,85	80,2	75	73,8	58,2	65,7	111,3	107,5	81,7	15,3	55,6	37,7	36,2
Pr	7,18	6,84	7,01	2,51	5,73	4,12	7,94	7,69	7,29	5,59	7,81	11,54	11,00	8,41	2,18	5,35	4,00	3,8
Nd	27,40	23,90	25,65	8,10	20,00	14,05	26,5	28,1	23,1	14,5	22,9	39,0	38,0	27,44	8,7	17,4	13,5	13,2
Sm	4,50	4,30	4,40	1,30	4,00	2,65	3,90	4,60	3,70	2,10	3,20	5,50	5,40	4,06	2,56	3,10	2,50	2,7
Eu	1,04	1,11	1,08	0,38	1,07	0,73	1,05	0,87	0,75	0,50	0,73	0,85	1,01	0,82	0,36	0,48	0,38	0,4
Gd	2,58	2,90	2,74	0,71	3,56	2,14	2,56	3,19	1,83	1,14	2,66	3,22	3,41	2,57	2,67	2,28	1,62	2,2
Tb	0,38	0,39	0,39	0,12	0,60	0,36	0,40	0,49	0,31	0,14	0,37	0,52	0,57	0,40	0,53	0,31	0,28	0,4
Dy	1,78	1,82	1,80	0,51	3,87	2,19	1,94	1,92	1,35	0,91	1,67	3,01	3,13	1,99	2,81	1,41	1,60	1,9
Ho	0,26	0,29	0,28	0,13	0,88	0,51	0,33	0,42	0,30	0,15	0,29	0,52	0,57	0,37	0,47	0,22	0,29	0,3
Er	0,81	0,89	0,85	0,36	3,17	1,77	0,90	1,11	0,73	0,49	0,91	1,36	1,62	1,02	1,10	0,75	0,94	0,9
Tm	0,14	0,14	0,14	0,08	0,47	0,28	0,13	0,17	0,16	0,10	0,14	0,17	0,25	0,16	0,19	0,09	0,15	0,1
Yb	0,74	0,69	0,72	0,43	2,53	1,48	0,80	0,89	0,72	0,59	0,65	1,14	1,45	0,89	1,02	0,67	1,10	0,9
Lu	0,10	0,11	0,11	0,06	0,47	0,27	0,16	0,19	0,15	0,11	0,15	0,19	0,22	0,17	0,13	0,12	0,18	0,1
ΣETR	142	123	133	57	118	87,62	171	167	157	120	161	128	231	162	160	168	83	137,2
K ₂ O/Na ₂ O	0,49	0,60	0,54	0,66	0,75	0,71	1,01	0,99	0,93	1,08	1,15	1,23	1,17	1,08	1,73	1,68	1,59	1,7
Rb/Sr	0,08	0,11	0,10	0,11	0,19	0,15	0,32	0,23	0,32	0,50	0,63	0,80	0,83	0,52	0,57	1,14	1,01	0,9
Sr/Ba	0,76	0,63	0,70	0,50	0,55	0,53	0,32	0,37	0,38	0,38	0,39	0,11	0,12	0,30	0,25	0,23	0,25	0,2
Ba/Rb	16,37	13,97	15,17	18,43	9,54	13,99	9,86	11,74	8,34	5,26	4,11	10,89	9,76	8,57	7,18	3,73	3,99	5,0
(La/Yb) _n	28,47	31,01	29,74	20,16	7,34	13,75	37,46	32,16	39,94	40,96	55,56	34,44	26,34	38,12	5,09	30,85	11,45	15,8
(La/Sm) _n	4,32	4,59	4,46	6,15	4,33	5,24	7,17	5,80	7,25	10,73	10,53	6,59	6,53	7,80	1,87	6,15	4,65	4,2
(Dy/Yb) _n	1,54	1,69	1,62	0,76	0,99	0,88	1,58	1,40	1,22	1,00	1,67	1,69	1,38	1,42	1,765	1,34	0,93	1,3
Eu/Eu*	0,93	0,96	0,95	1,21	0,87	1,04	1,02	0,69	0,88	0,99	0,76	0,62	0,72	0,81	0,42	0,55	0,58	0,5
Mg#	0,48	0,44	0,46	0,40	0,43	0,42	0,48	0,44	0,42	0,41	0,38	0,23	0,23	0,37	0,25	0,26	0,25	0,3

Fonte dos dados: ¹ Almeida et al. (2008); ² Este trabalho; ³ Almeida et al. (2008) estudadas também por Costa 2009

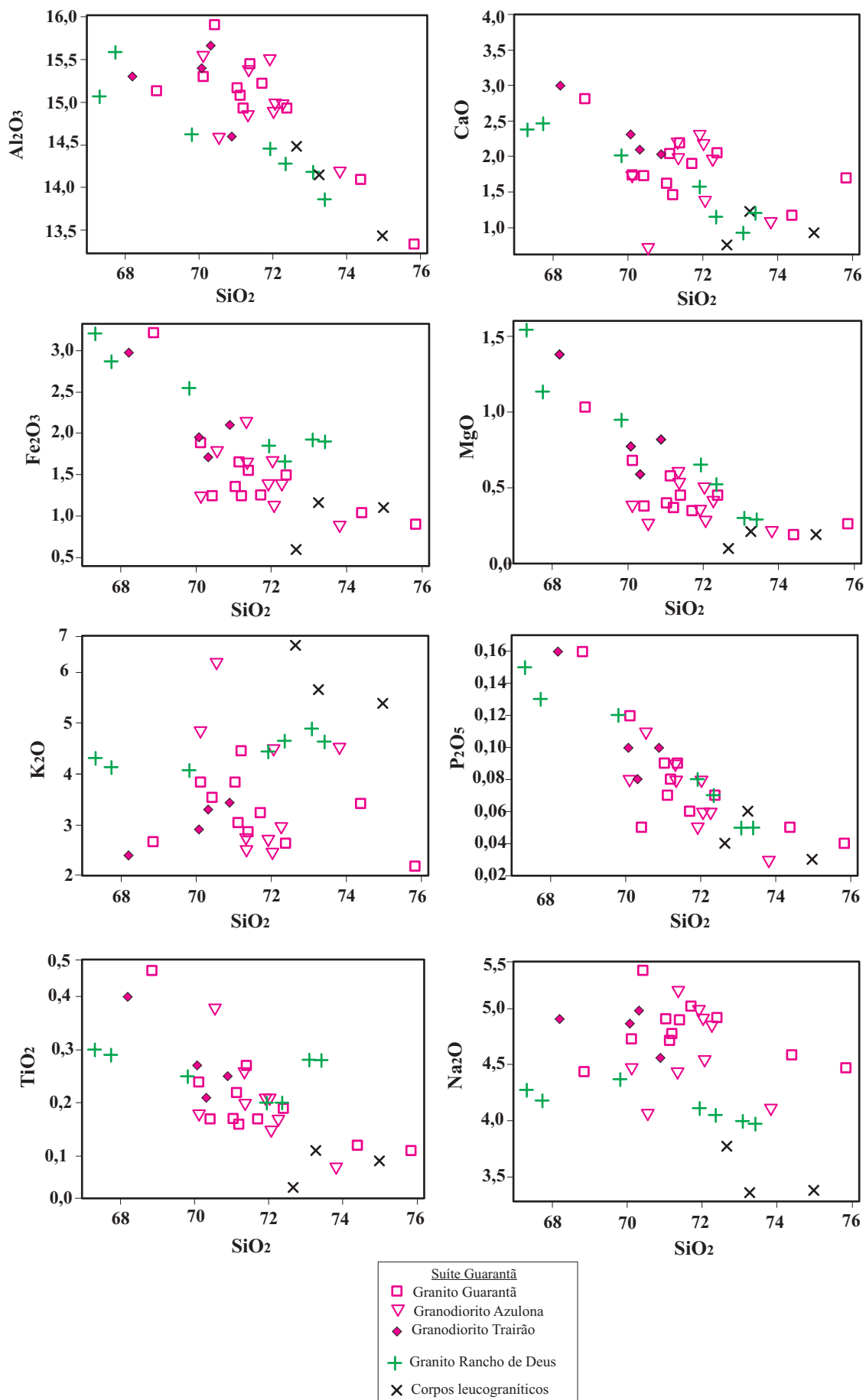


Figura 4.1 - Diagramas de Harker para as variedades de granitos da Folha Marajoara.

Deus (cinco do corpo principal e duas do pequeno *stock* a ele correlacionado; Fig. 2.1) e três de leucogranitos potássicos (Tabela 4.1).

Deixando de lado duas amostras do Granito Guarantã com proporções mais elevadas de sílica, as amostras dos três corpos da suíte apresentam variações dentro de intervalos em grande parte superpostos (68,86 a 72,39 % para o Granito Guarantã, 70,12 a 73,82% para o Granodiorito Azulona e 68,20 a 70,89 % para o Granodiorito Trairão). Nas rochas do Granito Rancho de Deus os valores de SiO₂ variam de 67,32 a 73,42% e as amostras analisadas dos corpos leucograníticos tendem a mostrar valores comparativamente mais elevados, com valor mínimo de 72,66%.

A variação dos elementos maiores e menores em função de SiO₂ (Figura 4.1; diagramas de Harker) mostra a existência de diferenças composicionais marcantes entre as rochas dos três grupos de granitóides. Em amostras com teores similares de SiO₂, as amostras da Suíte Guarantã são enriquecidas comparativamente em Al₂O₃, CaO e Na₂O, e empobrecidas em Fe₂O₃, K₂O e MgO em relação ao Granito Rancho de Deus. Já os conteúdos de TiO₂ e P₂O₅ não divergem significativamente nos dois grupos. Por sua vez, as amostras dos corpos leucograníticos se distinguem dos outros dois grupos por serem mais ricas em SiO₂ e K₂O e mais pobres em Na₂O, CaO e MgO do que as rochas dos outros dois grupos. Constatase que, de modo geral, Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃, MgO, P₂O₅ e TiO₂ mostram correlação negativa com a sílica, ao passo que K₂O e Na₂O não mostram variações expressivas à medida que aumenta a sílica.

O diagrama ANK vs. ACNK (Figura 4.2a), baseado em parâmetros de Shand (1951), evidencia o caráter metaluminoso a peraluminoso das amostras dos três grupos analisadas. Entretanto, os dados sugerem que a Suíte Guarantã e os leucogranitos possuam caráter peraluminoso dominante, enquanto que o Granito Rancho de Deus se distribui de modo mais equilibrado entre os dois campos do diagrama. No diagrama K₂O vs. SiO₂ (Figura 4.2b), a grande maioria das amostras da Suíte Guarantã posiciona-se na transição entre os campos de rochas com médio a alto potássio, enquanto que as do Granito Rancho de Deus e dos leucogranitos posicionam-se, sem exceção, no campo de rochas com alto potássio, sendo porém os leucogranitos os mais ricos em K₂O. O diagrama K₂O/Na₂O vs. SiO₂ (Figura 4.2c) mostra que ocorre também um acentuado aumento das razões K₂O/Na₂O da Suíte Guarantã (médias variáveis de 0,63 a 0,83 nos três corpos da suítes) para o Granito Rancho de Deus (média de 1,08), e deste para os leucomonzogranitos (média de 1,67) (Tabela 4.1).

O diagrama Fe + Mg + Ti *versus* Al-(K+Na+2Ca) ou A x B (Fig. 4.3a; Debon & Le Fort 1988) confirma o caráter peraluminoso a metaluminoso dos granitos estudados.

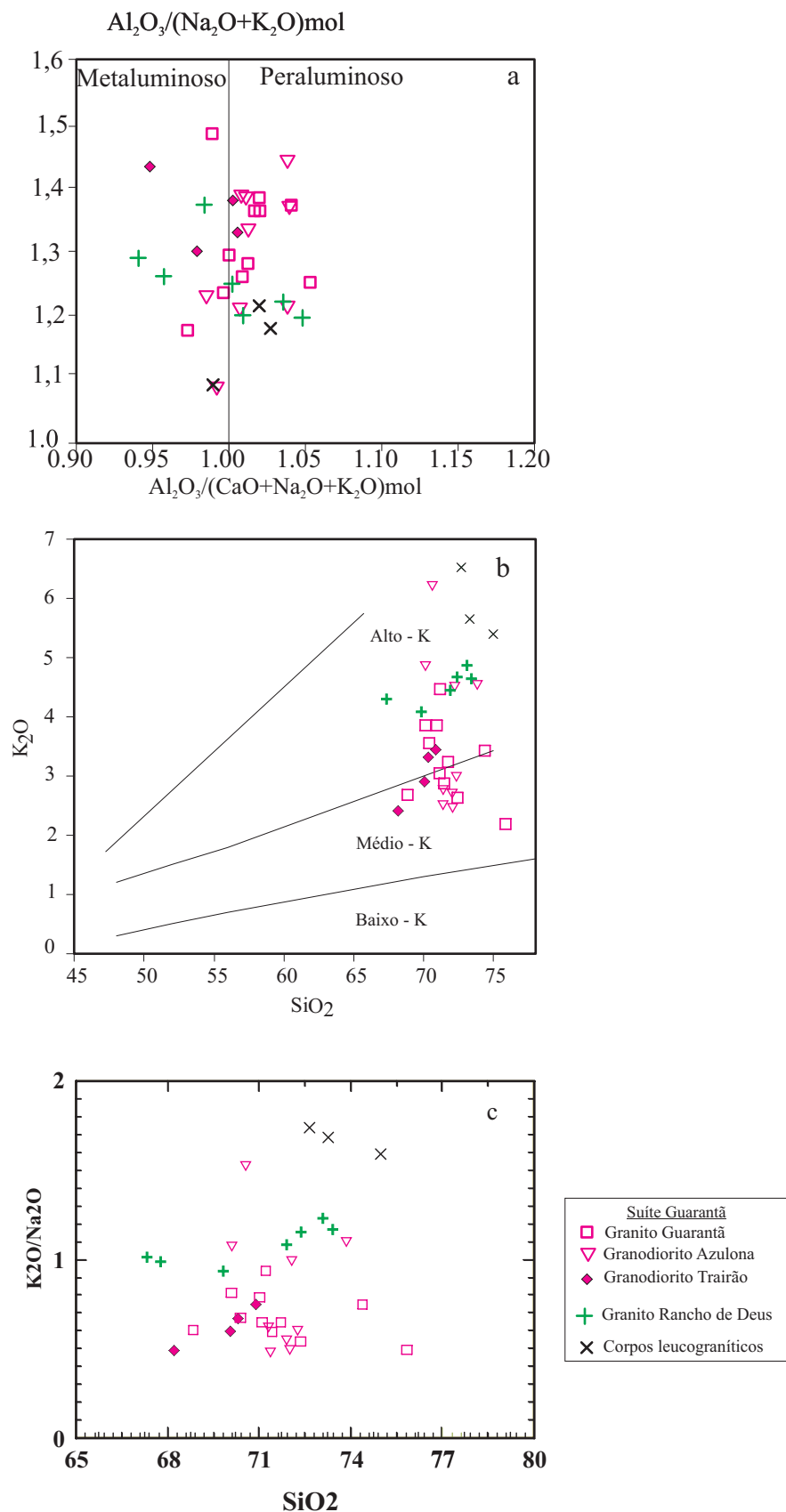


Figura 4.2 - (a) Diagrama $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})\text{mol}$ vs. $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})\text{mol}$, mostrando o caráter metaluminoso a peraluminoso das rochas granodioríticas e graníticas da Folha Marajoara; (b) Diagrama binário K_2O vs. SiO_2 (Peccerillo & Taylor 1946, modificado por Ewart 1979), mostrando que as rochas da Suíte Guarantã transicionam de médio a alto potássio. (c) Diagrama $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ vs. SiO_2 mostrando o aumento dessas razões das amostras da Suíte Guarantã no sentido daquelas do corpo Rancho de Deus e das amostras dos corpos leucograníticos.

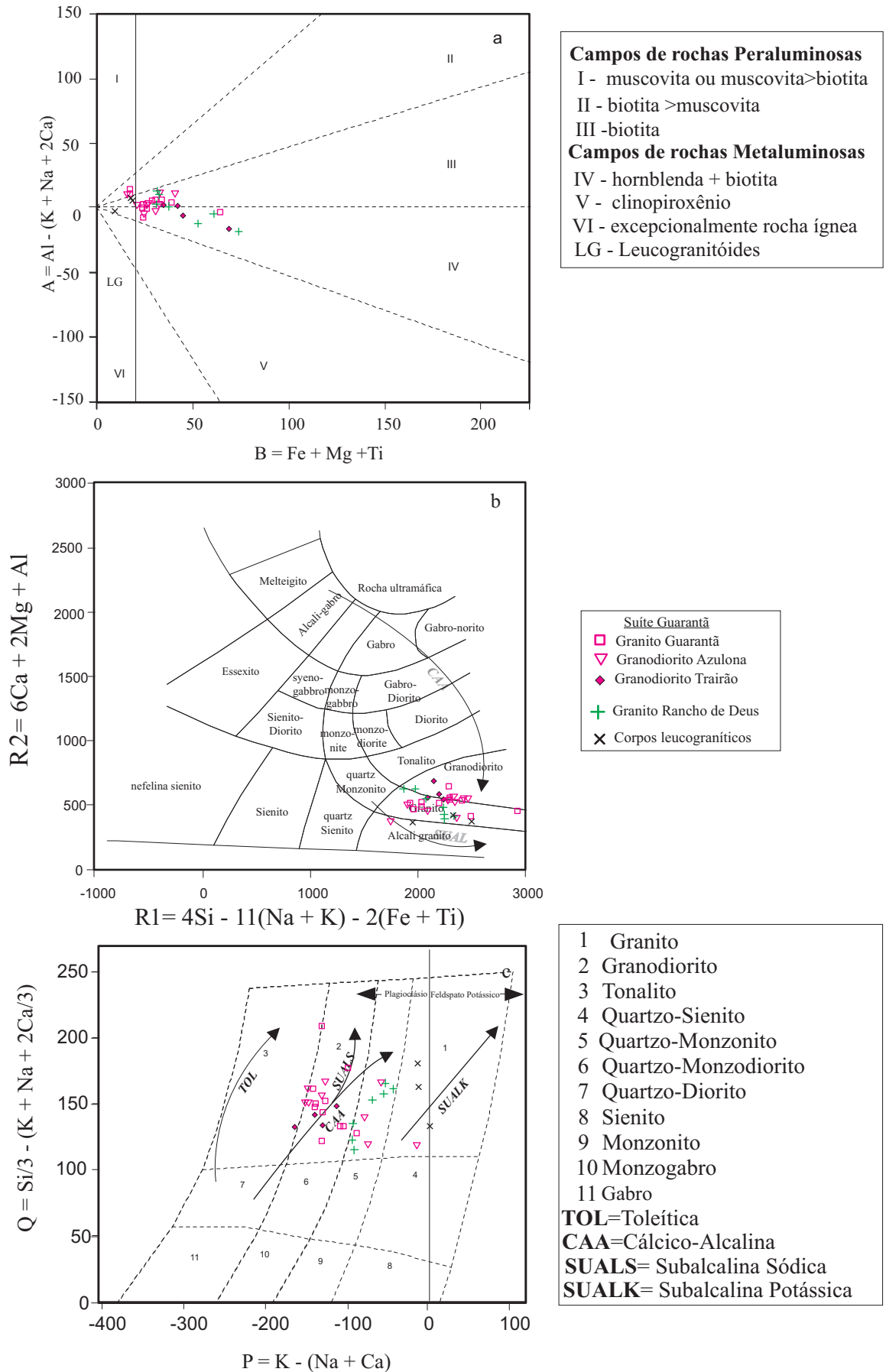


Figura 4.3- Diagramas geoquímicos para as variedades de granitos da Folha Marajoara. (A) AxB (Debon Le Fort. 1988); (b) R1 x R2 (La Roche et al. 1980); (c) Q x P (Debon & Le Fort. 1988).

O diagrama mostra, ainda, que as rochas da Suíte Guarantã plotam, preferencialmente, no campo III, correspondente a rochas peraluminosas com biotita, enquanto que parte das do Granito Rancho de Deus se situa no campo das rochas metaluminosas com anfibólio e biotita (campo IV), o que é coerente com os dados petrográficos que revelaram a presença de anfibólio associado com biotita neste último granito. A amostra de leucogranito revela, como seria de esperar, baixos valores de B, pois são pobres em constituintes ferromagnesianos, e plotam preferencialmente no campo das rochas peraluminosas com biotita (campo III da Figura 4.3a).

O diagrama R1-R2 (Figura 4.3b; La Roche et al. 1980) mostra que as amostras da Suíte Guarantã incidem no campo dos granitos e granodioritos e as do Granito Rancho de Deus no campo dos granitos ou muito próximo dele. Já os leucogranitos se aproximam do campo dos álcali-granitos. Por sua vez, no diagrama $Si/3-(K+Na+2Ca/3)$ versus $K-(Na+Ca)$ ou P x Q (Figura 4.3c; Debon & Le Fort 1988), verifica-se que a maioria das amostras da Suíte Guarantã se situam no campo dos granodioritos, enquanto que aquelas do Granito Rancho de Deus e dos leucogranitos plotam no campo dos granitos. Este diagrama é um dos que revelam melhor os contrastes composicionais entre as rochas estudadas, porque não levam em conta os constituintes máficos e não são influenciados pelo caráter hololeucocrático dominante na Suíte Guarantã. Por outro lado, este diagrama não é conclusivo quanto à natureza da série magmática a que pertencem as rochas estudadas.

No diagrama $(Al_2O_3+CaO)/(FeOt+Na_2O+K_2O)$ vs. $100(MgO+FeOt+TiO_2)/SiO_2$ (Figura 4.4; Sylvester 1989), foram definidos campos que permitem avaliar a natureza das séries magmáticas de rochas granitóides. No referido diagrama, as amostras analisadas dos três grupos plotam no campo das séries cálcico-alcálicas ou fortemente peraluminosas, passando para o campo das séries cálcico-alcálicas ou alcálicas fortemente fracionadas. Como as rochas estudadas não possuem caráter fortemente peraluminoso (ver Figuras 4.2a e 4.3a) e situam-se acima do campo das séries alcálicas, pode-se deduzir que as suas características geoquímicas indicam maior afinidade com as séries cálcico-alcálicas. Além disso, este diagrama oferece uma boa separação entre os três grupos, em função dos conteúdos mais elevados de CaO e Al_2O_3 presentes na Suíte Guarantã e do caráter mais rico em sílica dos leucogranitos.

No diagrama ternário An-Ab-Or (O'Connor 1965) as rochas analisadas situam-se, sem exceção, no campo dos granitos, porém as amostras da Suíte Guarantã e do Granito Rancho de Deus são relativamente enriquecidas em anortita em relação às dos leucogranitos e as

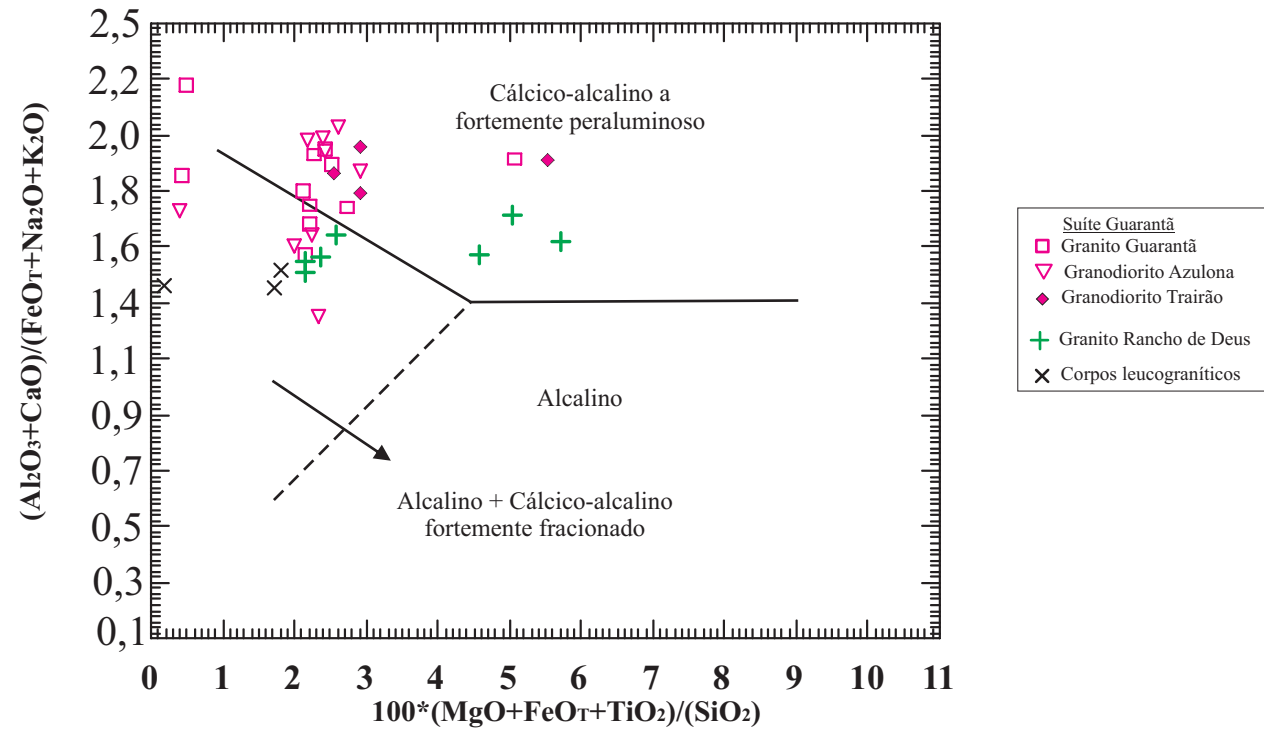


Figura 4.4 - Diagrama $(Al_2O_3 + CaO) / (FeO_T + Na_2O + K_2O)$ vs. $100 * (MgO + FeO_T + TiO_2) / SiO_2$ mostrando a distribuição dos granitos da Folha Marajoara.

razões Ab/Or diminuem da Suíte Guarantã para o Granito Rancho de Deus e deste para os leucogranitos (Figura 4.5 a). No diagrama K-Na-Ca (Figura 4.5b), verifica-se a tendência dos granitos estudados a dispor-se segundo o *trend* cálcico-alcálico, devido ao seu enriquecimento em K₂O, fugindo inteiramente do clássico *trend* trondhjemítico de muitas séries arqueanas. Os três grupos se separam claramente neste diagrama em função das variações que apresentam em termos de conteúdo de potássio. No diagrama ternário AFM (Figura 4.5c), as amostras dos três grupos exibem enriquecimento relativo em álcalis em relação a FeO_t e MgO e se alinham segundo *trend* comum às séries cálcico-alcálicas.

Sumarizando, as características geoquímicas dos três grupos de granitos estudados não coincidem com as dos granitos fortemente peraluminosos, nem tampouco com as dos granitos alcálicos e os diagramas geoquímicos empregados sugerem sua maior afinidade com séries cálcico-alcálicas. Entretanto, os acentuados contrastes geoquímicos observados em diversos diagramas por estes mesmos grupos não fortalece a hipótese de sua origem a partir de um mesmo magma, por processos de diferenciação magmática.

4.2- ELEMENTOS-TRAÇO

Os teores de alguns elementos-traço analisados (Rb, Nb, Y, Zr, Sr, Ba, Th, Hf, U Ga e Ta) quando lançados em diagramas geoquímicos apropriados, podem contribuir para uma melhor caracterização e discriminação geoquímica entre os granitos estudados. Sabe-se, também, que o comportamento geoquímico dos elementos-traço compatíveis e incompatíveis constitui um bom indicador dos processos petrogenéticos (Hanson 1989).

Nas rochas estudadas, de modo geral, Ba, Sr, Zr e Ga mostram correlação negativa com a sílica (Figura 4.6), enquanto que Rb, Th, Y e Nb não mostram correlação clara com as variações de sílica. As rochas da Suíte Guarantã exibem teores mais elevados de Ba, Sr e Ga e menores de Rb e Th, quando comparadas com o Granito Rancho de Deus e leucogranitos. Os teores de Zr, Y e Nb são similares nos diferentes granitos. A amostra MAF-64 do Granodiorito Azulona (Suíte Guarantã) e as duas amostras correlacionadas ao Granito Rancho de Deus, provenientes do *stock* situado no sul da Folha Marajoara (MAF-24 e MAF-22), destoam notavelmente em termos do comportamento geoquímico dos elementos-traço em relação aos grupos a que foram associadas (Figura 2.1 e Tabela 4.1). A primeira apresenta conteúdo extremamente elevado de K₂O, bem como de Zr, Rb e Th, sugerindo tendência alcálica. As duas últimas revelam enriquecimento relativo em Ba, Zr, Th, Y e Nb, e empobrecimento em Sr e Rb, quando comparadas às amostras provenientes do corpo principal

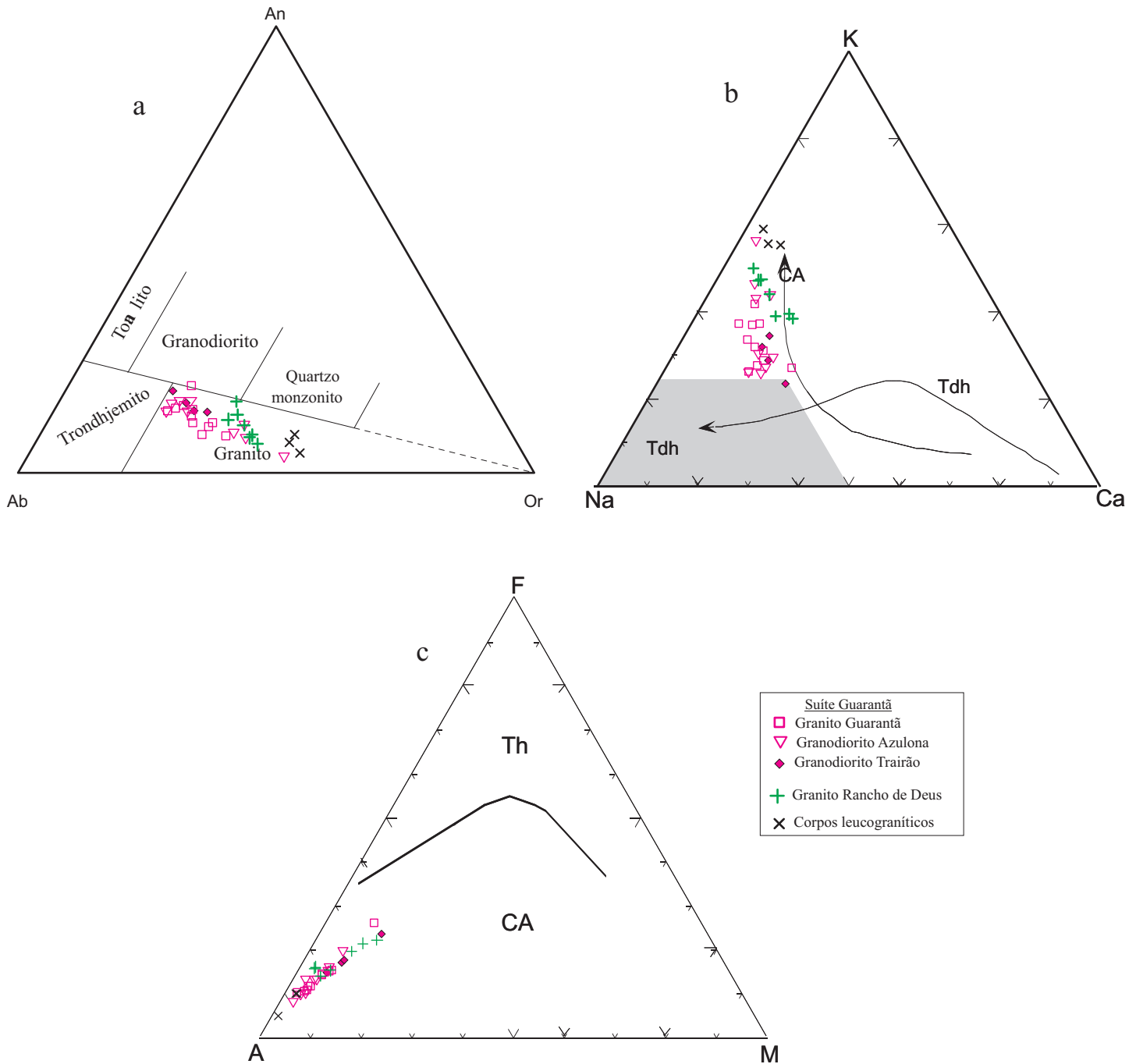


Figura 4.5- Diagramas de caracterização geoquímica dos granitos da Folha Marajoara. (a) Diagrama normativo An-Ab-Or (O'Connor 1965); (b) Diagrama K-Na-Ca mostrando que as amostras apresentam maior afinidade com as séries cálcico-alcalinas, pelo seu enriquecimento em potássio. Tdh= trend trondhjemítico e CA= trend cálcico-alcalino definido por Nockolds e Allen (1953) e Barker & Arth (1976); (c) Diagrama AFM (A=Na₂O+K₂O; F= FeO+0,9Fe₂O₃; M=MgO) sugerindo o caráter cálcico-alcalino para os granitos estudados. Os campos são de Irvine & Baragar (1971). Th= Toleitos, CA= cálcico-alcalino.

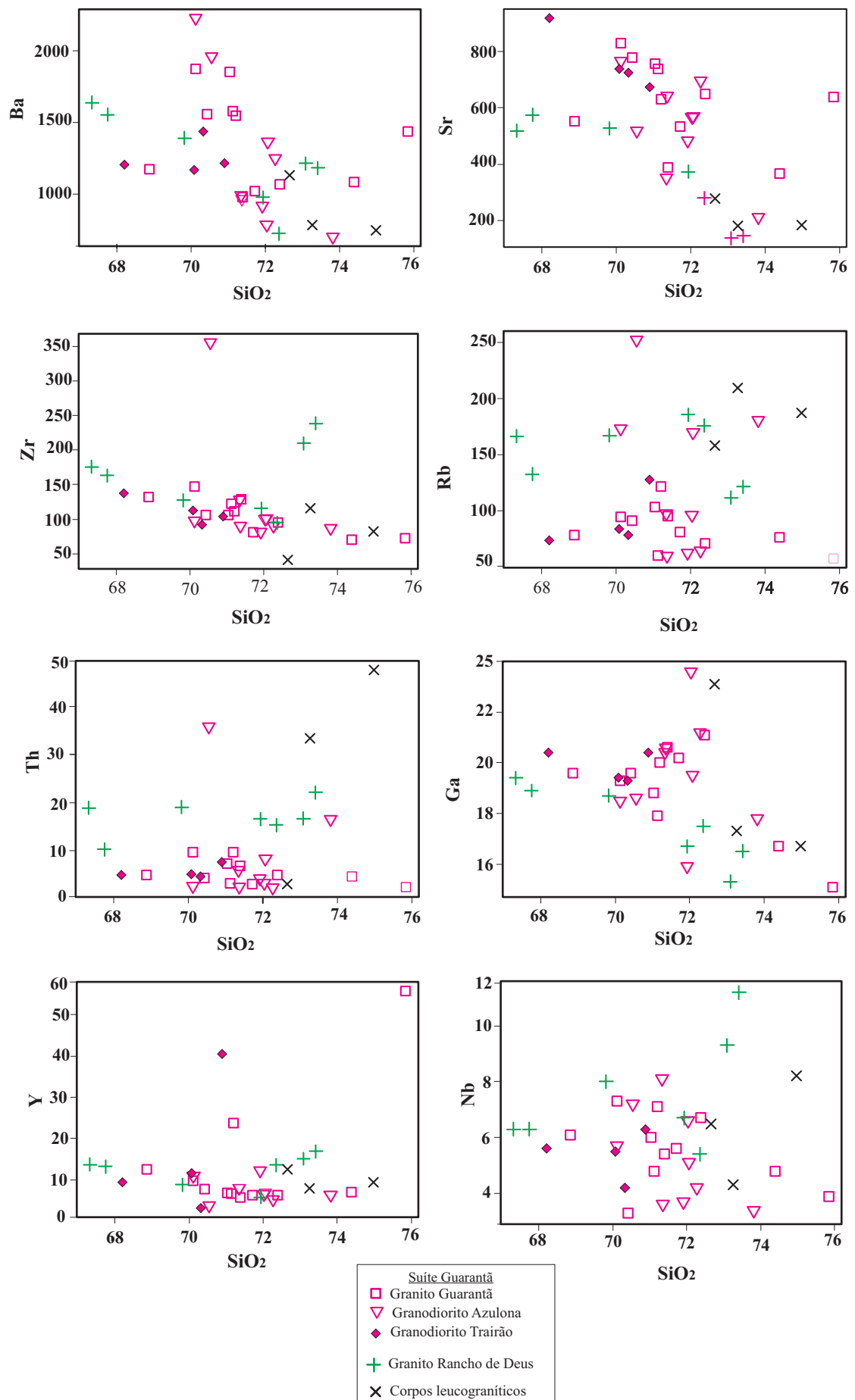


Figura 4.6 - Diagramas de Harker de elementos traços para os granitos da Folha Marajoara.

do Granito Rancho de Deus. Os leucogranitos exibem enriquecimento relativo em Rb e Th, tendendo a apresentar baixos teores dos demais elementos, em função de seu caráter muito evoluído. Finalmente, observam-se teores muito elevados de Y (Tabela 4.1) nas amostras MAR-09A e MAR-10A (Granito Guarantã) e MAR-114 (Granodiorito Trairão). Essas variações não são facilmente explicáveis e devem ser interpretadas como evidências adicionais do caráter não homogêneo em termos de séries magmáticas e origem dos granitos estudados.

4.2.1- Comportamento dos elementos litófilos de grandes íons (LILE) – Rb, Sr e Ba

O comportamento dos elementos litófilos é muito importante para esclarecer a evolução de rochas leucograníticas, pois a distribuição destes elementos é amplamente controlada pelas fases minerais dominantes nestas rochas, com destaque para os feldspatos.

O Rb apresenta propriedades iônicas e atômicas muito semelhantes às do K. Por esse motivo, ele é muitas vezes camuflado em minerais potássicos formadores de rochas (Wedepohl 1970). A maioria do Rb na crosta está contido em feldspato potássico e biotita, sendo que o conteúdo deste elemento tende a aumentar paralelamente à diferenciação da série magmática a que pertence a rocha hospedeira. Rhodes (1969) constatou que a composição da rocha é um fator determinante no conteúdo de Rb nos feldspatos potássicos. Observou que os conteúdos de Rb e K aumentam no sentido das rochas mais evoluídas, porém o Rb aumenta proporcionalmente mais do que o K, fazendo com que a razão K/Rb diminua nas rochas mais diferenciadas. Diversos trabalhos mostram que a biotita, em geral, é relativamente mais enriquecida em Rb do que o feldspato potássico (Sen et al. 1959, Hart & Aldrich 1967). Apesar disso, nos granitos estudados, o Rb deve estar contido em sua maior parte no feldspato potássico, por ser sua proporção modal muito elevada comparativamente à da biotita.

Segundo Wedepohl (1974), em líquidos silicáticos o Sr tende a se concentrar principalmente nos plagioclásios, mas também em feldspatos potássicos. O decréscimo do componente anortita do plagioclásio é acompanhado do aumento do conteúdo de Sr, o qual se concentra preferencialmente em plagioclásio de composições intermediárias (andesina a oligoclásio cálcico). Os granodioritos são as rochas que geralmente possuem os maiores valores de Sr. Wedepohl (1974) relata que a cristalização de fases ferromagnesianas aumenta o conteúdo de Sr, ao passo que a formação de feldspatos, principalmente dos plagioclásios, reduz seu teor nos líquidos mais evoluídos.

O Ba, por sua vez, é admitido mais facilmente no feldspato potássico e nas micas, mas

teores significativos podem ocorrer em plagioclásios intermediários (Wedepohl 1972). Heier & Taylor (1959) constataram que feldspatos potássicos presentes em rochas derivadas de magmas pouco evoluídos possuem concentrações de Ba maior do que aqueles presentes em rochas evoluídas. Portanto, de modo geral, os líquidos tardios associados a rochas graníticas tendem a se empobrecer acentuadamente em Ba. Esta observação é coerente com o comportamento das rochas estudadas, pois as rochas supostamente mais evoluídas, com conteúdos mais elevados de sílica, tal como as amostras dos corpos leucograníticos, são mais pobres em Ba do que as demais. Além disso, as amostras da Suíte Guarantã possuem teores de Ba comparativamente mais elevados do que as do Granito Rancho de Deus, em parte talvez devido ao seu caráter parcialmente granodiorítico, embora outros fatores também devam ser considerados, como a fonte e processos de geração do seu magma.

As variações de Rb, Sr e Ba são geralmente usadas para estimar o grau de fracionamento das principais fases formadoras dos granitos e especular sobre os processos petrogenéticos que controlaram a sua evolução magmática (Hanson 1978, 1989; Dall’Agnol et al. 1999a).

A figura 4.7 mostra os diagramas Rb-Sr, Sr-Ba e Rb/Sr-Sr/Ba das amostras estudadas, nos quais foram indicados, por meio de vetores, os sentidos de variações das composições dos líquidos em função do fracionamento de determinadas fases minerais (plagioclásio, feldspato potássico, biotita e hornblenda). Nestes diagramas constata-se a existência de pelo menos dois *trends* bem distintos, um deles fortemente controlado pelo fracionamento do plagioclásio e um segundo pelo feldspato alcalino, porém, ao que tudo indica, a influência da biotita também foi importante em alguns casos. Há igualmente fortes evidências, já observadas em outros diagramas geoquímicos, de que as rochas da Suíte Guarantã, apesar de serem muito provavelmente cogenéticas – entendendo-se como cogenéticas rochas derivadas de fontes similares por processos magmáticos análogos - não são derivadas de um mesmo líquido magmático, não sendo, portanto, comagmáticas no sentido empregado em literatura anglo-saxônica. Assim, nas rochas da Suíte Guarantã, o fracionamento do plagioclásio parece ter sido determinante na evolução do magma, enquanto que no caso do Granito Rancho de Deus e, muito provavelmente, também nos leucogranitos, o fracionamento do feldspato potássico foi mais efetivo. Outro aspecto digno de nota é a variação moderada na Suíte Guarantã dos teores dos elementos-traço considerados, bem como das razões Rb/Sr, Sr/Ba. Tal fato, aliado à comparação entre os diagramas mencionados acima com diagramas semelhantes elaborados para os granitos proterozóicos Jamon, Musa e diques associados, nos quais processos de cristalização fracionada foram muito efetivos durante a evolução magmática das diferentes

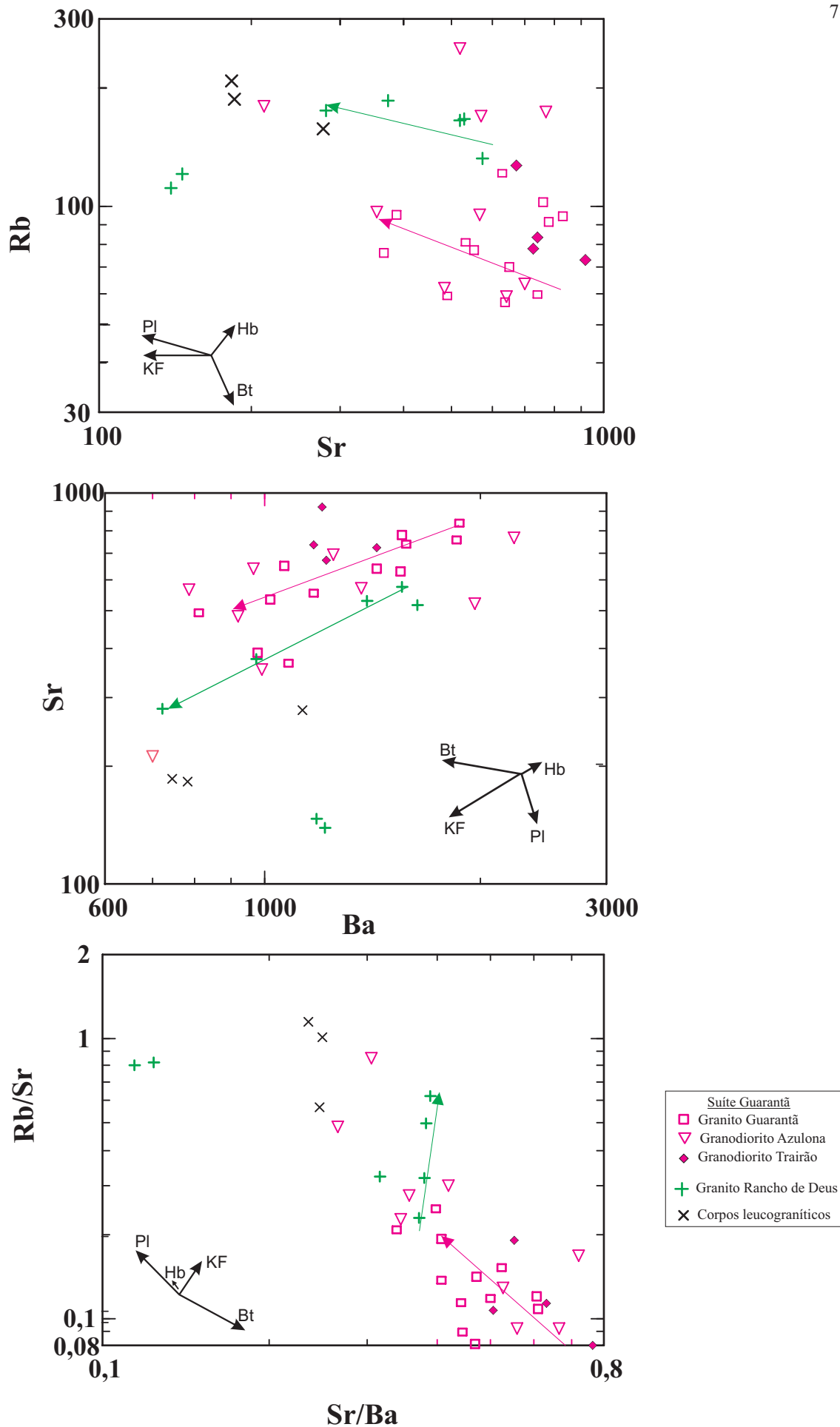


Figura4.7 - Diagrama mostrando o comportamento de Rb, Sr e Ba, nos granitos da Folha Marajoara.

fácies graníticas (Dall’Agnol et al. 1999b), indica segundo as evidências sugeridas por Hanson (1989) que a cristalização fracionada talvez não tenha sido o processo determinante na evolução da Suíte Guarantã, ao passo que no Granito Rancho de Deus, tais processos parecem ter atuado de forma comparativamente mais efetiva.

4.2.2 - Diagramas multi-elementos

A análise do comportamento de elementos-traço em diagramas multi-elementos normalizados é uma ferramenta importante na interpretação geoquímica (Rollinson 1993). Em razão disso, as composições dos granitos estudados em termos de alguns elementos-traço selecionados foram normalizadas em relação à composição média da crosta superior (Taylor & MacLennan 1985). Os diagramas multi-elementos elaborados para os três grupos de granitos da região de Marajoara (Figura 4.8) mostram que as assinaturas geoquímicas das amostras dos três corpos da Suíte Guarantã são bastante similares, com marcantes anomalias positivas de Rb, Ba e Sr e diminuição em Y, Ti, Nb e P, as últimas sugerindo, respectivamente, fracionamento de fases como hornblenda, titanita, ilmenita e apatita. O Granito Rancho Deus mostra um comportamento similar no diagrama, porém é mais enriquecido em Th, Rb, La, Ce, e empobrecido em Zn, de tal modo que não apresenta depressão em P. Finalmente, as amostras dos leucogranitos (Figura 4.8e) apresentam enriquecimento relativo em Th e Rb e empobrecimento em P e Sr, em relação aos grupos anteriores, mantendo o padrão horizontalizado entre La e Ce, tal como no Granito Rancho de Deus.

Comparando as rochas estudadas com os vários tipos de granitos arqueanos distinguidos por Sylvester (1994), verifica-se que o comportamento nos diagramas multi-elementos dos granitos da Suíte Guarantã e do Granito Rancho de Deus guarda muitas analogias com o dos granitos cálcico-alcálicos dos tipos 1 e 2 (CA1 e CA2) daquele autor, sendo ainda mais similar ao tipo CA2 (Figura 5.4) Sylvester (1994) considera que os dois tipos de granitos citados formaram-se a partir da mesma rocha fonte, porém a partir de diferentes graus de fusão parcial, o que explicaria o fato de ser tipo 1, mais enriquecido em Th, Rb e Y e empobrecido em P, Sr e Cu, em relação ao segundo tipo, cujo magma seria produto de maior grau de fusão. Isto se deveria ao fato de Th, Rb e Y serem fortemente incompatíveis durante a fusão parcial da crosta, enquanto P, Sr e Cu são fortemente compatíveis.

Essa discussão mostra que uma das possíveis explicações para as heterogeneidades

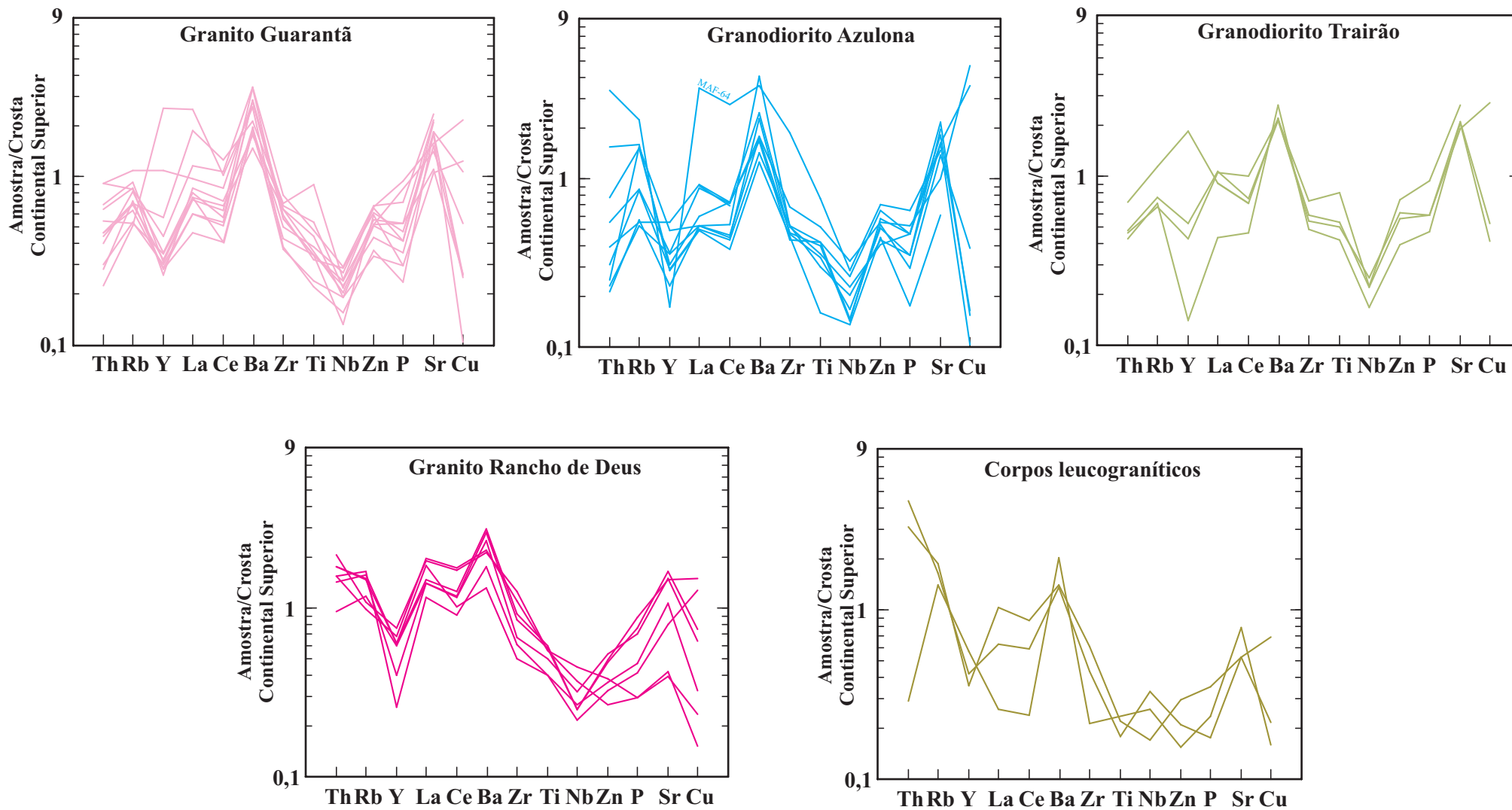


Figura 4.8 - Diagramas multi-elementos para os granitos da Folha Marajoara, normalizados em relação à crosta continental superior (Taylor & MacLennan 1985).

composicionais observadas na amostra MAF-64 do Granodiorito Azulona pode ser sua derivação a partir de líquido similar ao formador dos demais granitóides da Suíte Guarantã porém com menor grau de fusão da rocha fonte, o que justificaria seu enriquecimento em elementos incompatíveis e resultaria em comportamento no diagrama multi-elementos próximo dos granitos cálcico-alcálicos arqueanos do tipo CA1 (Sylvester 1994) e destoante dos demais granitos estudados (Figura 4.8).

4.2.3 – Comportamento dos Elementos Terras Raras

Todas as amostras selecionadas para estudo geoquímico tiveram seus elementos terras raras (ETR) analisados, sendo suas concentrações e razões apresentadas na tabela 4.1. Os dados analíticos foram normalizados em relação ao condrito (Nakamura 1974). Os conteúdos totais de ETR na Suíte Guarantã (médias de 122 ppm para o Granito Guarantã, 96 ppm para o Granodiorito Azulona e 110 ppm para o Granodiorito Trairão) são maiores do que no Granito Rancho de Deus (média de 70,81 ppm). Os padrões de ETR dos três grupos (Figura 4.9) mostram enriquecimento relativo em elementos terras raras leves (ETRL) em relação aos pesados (ETRP). Os padrões das amostras dos três corpos da Suíte Guarantã são muito similares, com acentuado fracionamento de ETRP, com razões $(La/Yb)_N$ variando de 13 a 51 no Granito Guarantã, 9 a 40 no Granodiorito Azulona (descartando a amostra MAF-64, com comportamento destoante do conjunto, conforme já discutido), e 7 a 31 no Granodiorito Trairão, portanto com ampla superposição de valores. As amostras do Granito Rancho de Deus apresentam, por sua vez, razões variáveis de 26 a 55, da mesma ordem de grandeza, e os leucogranitos razões entre 5 a 31. Os granodioritos e monzogranitos da Suíte Guarantã são desprovidos de anomalias de Eu ou apresentam anomalias discretas, ora positivas, ora negativas, como é evidenciado por suas razões Eu/Eu^* que oscilam em torno da unidade (Tabela 4.2; Figura 4.9). Já as amostras do Granito Rancho de Deus tendem a apresentar discretas anomalias negativas de Eu e os leucogranitos anomalias negativas marcantes. Os padrões apresentados pelas rochas da Suíte Guarantã e do Granito Rancho de Deus mostram em geral uma concavidade nos ETR intermediários e pesados que aponta para possível fracionamento de anfíbólio durante a evolução destas rochas. Este aspecto e a ausência de anomalia acentuada de Eu, juntamente com evidências geoquímicas de fracionamento de plagioclásio durante a evolução da Suíte Guarantã (Figura 4.7), sugerem o possível fracionamento conjugado de plagioclásio e hornblenda durante a evolução magmática, em proporções tais que o efeito oposto de ambos na anomalia de Eu, tenderia a se anular. Já nos leucogranitos, tal como observado nos granitos Xinguara (Leite et al. 1999) e Mata Surrão

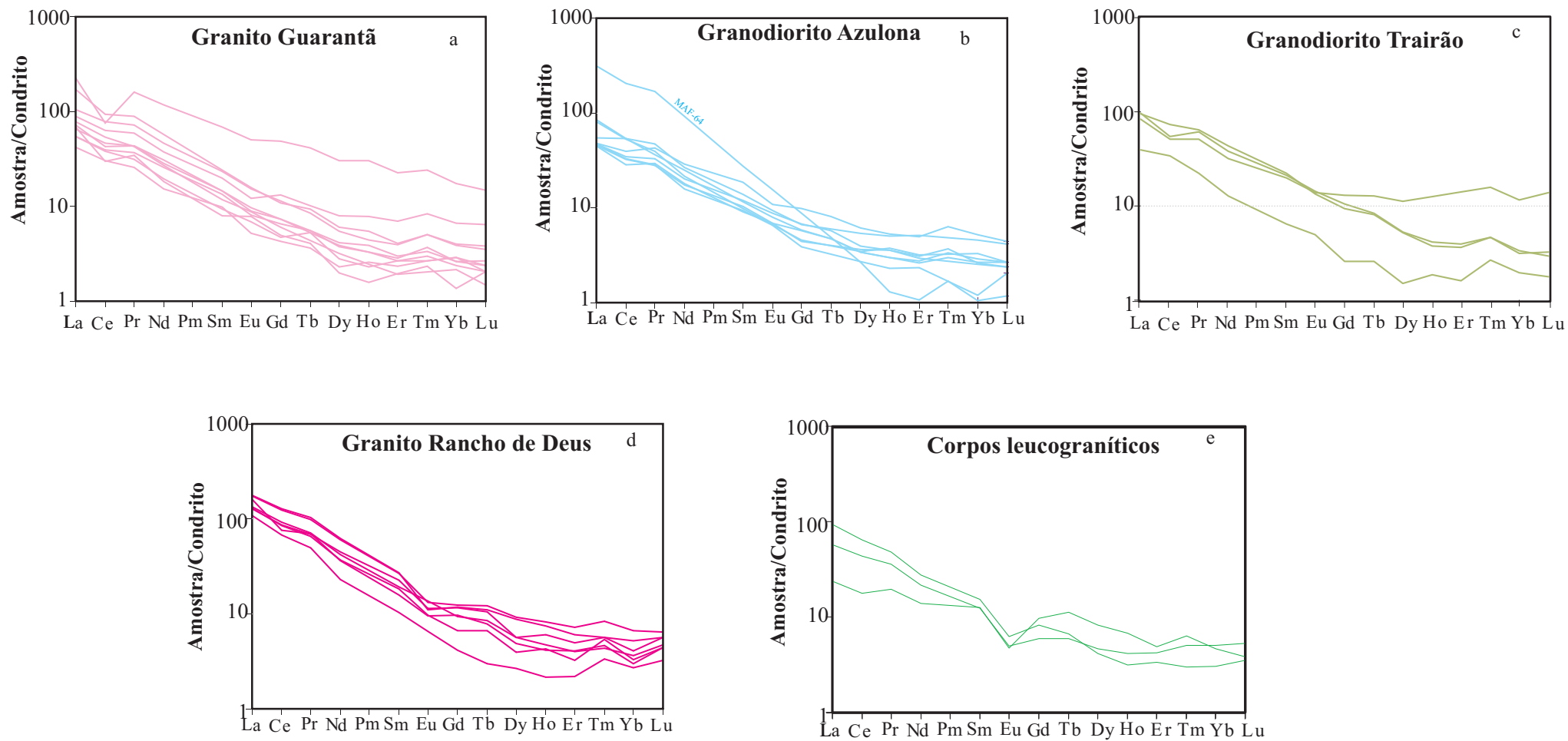


Figura 4.9 - Diagrama de elementos terras raras para os granitos da Folha Marajoara, normalizados em relação ao condrito (Nakamura 1978).

(Althoff et al. 2000), a presença de anomalia acentuada de Eu aponta para um fracionamento mais intenso de feldspatos, seja retidos no resíduo de fusão de rocha fonte crustal, seja como fases que sofreram um fracionamento importante durante a cristalização.

O acentuado empobrecimento em ETRP nos granitos estudados deve ter sido causado por fracionamento de fases minerais que concentram notavelmente os ETRP, tais como granada, anfibólio, zircão e piroxênio. Pode-se, portanto, sugerir que uma ou mais destas fases foram retidas no resíduo de fusão ou fracionaram durante a evolução magmática. Dentre elas, o fracionamento de granada e/ou anfibólio parece ser mais provável que o de piroxênios. O padrão côncavo dos ETRP que essas rochas apresentam favorece a hipótese de fracionamento do anfibólio, pois os ETR são compatíveis com o mesmo em magmas félsicos e os coeficientes de partição dos ETR em anfibólio são mais altos entre Dy e Er (Rollinson 1993), justamente onde há inflexão nos padrões. Padrões análogos, quanto a este aspecto, foram observados nas rochas do maciço Musa (Gastal 1987, Dall’Agnol et al. 1999a), nos leucogranitos do corpo Redenção (Oliveira 2001) e na fácies porfirítica do Granito Bannach (Almeida 2005), sendo interpretados como indicadores de fracionamento de anfibólio (Dall’Agnol et al. 1999b). A possível participação de granada é sugerida pelo coeficiente de partição do Ho que é também alto para este mineral e onde se verifica também uma forte inflexão.

Algumas amostras do Granito Guarantã (MAR-09A e MAR-10A) e do Granodiorito Trairão (MAR-114) mostram enriquecimento relativo em ETRP e Y, o que se reflete em padrões subhorizontalizados para os ETRP (Figuras 4.9a, c) e razões $(La/Yb)_N$ comparativamente baixas (Tabela 4.1).

Os padrões de elementos terras raras dos granitos estudados se aproximam em termos gerais daqueles dos granitos cálcico-alcálicos arqueanos de Sylvester (1994), porém com uma diferença importante que é o fato de não apresentarem anomalia negativa de Eu expressiva. Neste sentido, excetuando os leucogranitos potássicos, cujos padrões são marcados pela presença de anomalias negativas de Eu marcantes (Figura 4.9e), os granitóides da Suíte Guarantã e o Granito Rancho de Deus divergem também de modo expressivo do Granito Xinguara (Leite et al. 1999).

4.3 – ELEMENTOS-TRAÇO *VERSUS* AMBIENTE TECTÔNICO

Vários autores utilizaram elementos traço a fim de discriminar e classificar rochas granitóides de acordo com seu ambiente tectônico. Pearce et al. (1984) idealizaram diagramas

que discriminam ambientes tectônicos de rochas granitóides, utilizando elementos traço em granitos do fanerozóico, no geral não deformados. Contudo, utilização isolada dos diagramas de Pearce *et al.* (1984) não permite definir o ambiente tectônico de colocação de rochas granitóides, pois sabe-se que há granitóides geoquimicamente similares, formados em ambientes tectônicos distintos (Sylvester 1989; ver crítica extensiva em Forster et al. 1997), os mesmos podem auxiliar na caracterização geoquímica das rochas estudadas, permitindo a eliminação de determinadas hipóteses em termos de tipologia e série magmática.

As amostras de todos os granitos estudados situam-se na transição entre os campos de granitos de arcos vulcânicos e granitos sin-colisionais conforme definidos por Pearce et al. (1984) (Figura 4.10), embora se distribuam preferencialmente no primeiro. Duas amostras com teores elevados de Y se aproximam do campo dos granitos intra-placa. No entanto, no diagrama Ta vs. Yb (Figura 4.10), verifica-se que as amostras do Granito Rancho de Deus localizam-se exclusivamente no campo dos granitos sin-colisionais (Syn-COLG), enquanto as amostras Suíte Guarantã se distribuem entre aquele campo e o campo de granitos de arcos vulcânicos.

Na realidade, conforme destacado na introdução do item, os diagramas de Pearce et al. (1984) não permitem a distinção do ambiente tectônico dos granitos estudados. Isto é evidenciado pelo fato de os granitos terem ao que tudo indica idades semelhantes (J.A.C. Almeida, informação verbal), não sendo lógico admitir que se tenham formado em ambientes tectônicos distintos. Portanto, os referidos diagramas servem apenas para reforçar as evidências geoquímicas de que todos os granitos estudados possuem, em termos dos elementos considerados, maiores afinidades geoquímicas com os granitos de arcos vulcânicos e sin-colisionais, divergindo acentuadamente dos granitos intraplaca ou tipo A e dos granitos de cadeias oceânicas.

4.4 - DISCUSSÕES SOBRE A GEOQUÍMICA

4.4.1 - Suíte Pau D' Arco

Em termos de séries magmáticas, os granitóides da Suíte Guarantã possuem maior afinidade com as séries cálcico-alcálicas, pois suas características geoquímicas não coincidem com as dos granitos fortemente peraluminosos ou alcalinos, tal como definidos por Sylvester (1994) (ver Capítulo 5). Entretanto, este enquadramento deve ser visto como genérico, pois não deve haver uma estrita correspondência entre as séries cálcico-alcálicas de margens continentais fanerozóicas e as associações formadas em ambientes arqueanos, cujas particularidades evolutivas são conhecidas (Martin et al. 2005).

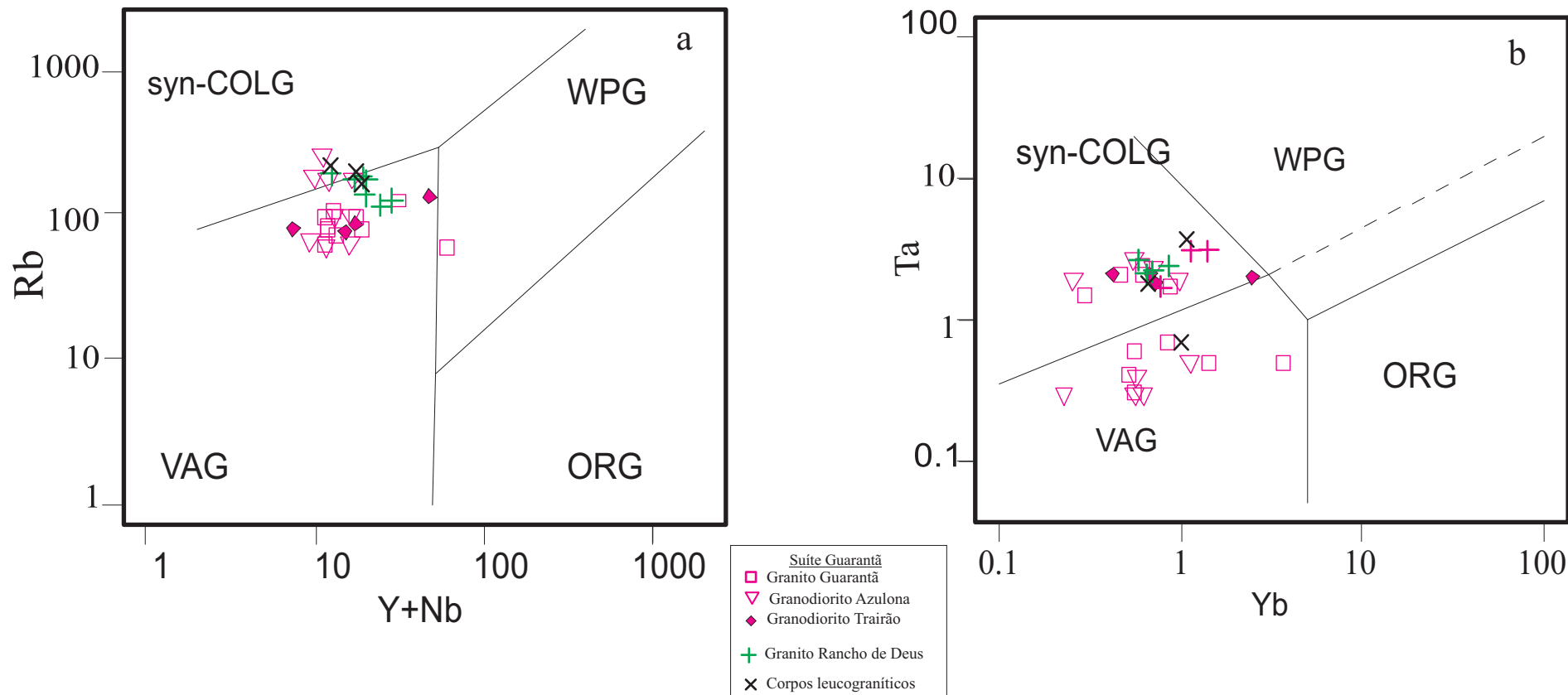


Figura 4.10 - (a) Diagrama Rb vs. Y+Nb e (b) Diagrama Ta vs. Yb (Pearce et al. 1984) para os granitos da Folha Marajoara. Syn-COLG: Granitóides Sin-Colisionais; VAG: Granitóides de Arcos Vulcânicos; ORG: Granitóides de Cadeias Oceânicas; e WPG: Granitóides Intra-placa.

Algumas idéias merecem ser assinaladas quanto à gênese dos granodioritos e monzogranitos que formam os corpos Guarantã, Azulona e Trairão. Os granitóides estudados não apresentam homogeneidade composicional marcante, conforme indicam os dados petrográficos e geoquímicos e há variações expressivas mesmo dentro de um único corpo. Isto aponta para a derivação das rochas formadoras da suíte a partir de magmas afins, mas não de um único líquido magmático. Seria necessário igualmente avaliar com maior profundidade se os contrastes observados entre as rochas da suíte e internamente nos vários corpos são resultantes de processos de cristalização fracionada ou se processos de fusão parcial ou outros foram decisivos na diferenciação magmática. Este objetivo vai além daqueles traçados para o presente trabalho, mas deverão ser buscados no futuro.

4.4.2 – Granito Rancho de Deus

O Granito Rancho de Deus apresenta uma considerável homogeneidade composicional, conforme indicam os dados petrográficos e geoquímicos. Os dados geoquímicos são coerentes com as variações mineralógicas observadas entre as diferentes variedades petrográficas, indicando *trends* de evolução por processos de diferenciação magmática no sentido da variedade menos evoluída para as mais evoluídas. Verifica-se paralelamente ao aumento de SiO₂, neste mesmo sentido, uma nítida diminuição dos teores de Al₂O₃, TiO₂, MgO, Fe₂O₃t, CaO, P₂O₅, Ba, Sr e Zr e um relativo aumento dos teores de K₂O e Rb, com o aumento do K₂O sendo mais acentuado do que o do Rb. As amostras MAF-24 e MAF-22 (*stock* a sul do corpo principal do Granito Rancho de Deus; Fig. 2.1) constituem uma exceção, pois, embora semelhantes em suas características gerais, apresentam algumas diferenças significativas em relação ao Granito Rancho de Deus, fugindo do *trend* geral de evolução geoquímica do mesmo. Isto demonstra que as rochas mencionadas derivaram de líquidos distintos dos que geraram o corpo principal, sendo o contraste geoquímico observado decorrente de diferenças nos processos de geração ou evolução dos líquidos magmáticos que geraram os dois corpos do Granito Rancho de Deus. Uma possível explicação seria contraste no grau de fusão da fonte geradora dos magmas originais, mas outras possibilidades precisariam ser igualmente avaliadas, o que está além dos objetivos do presente trabalho.

Petrograficamente, as rochas do Granito Rancho de Deus apresentam características distintas daquelas observadas nos granitos da Suíte Guarantã, sendo a principal diferença o conteúdo modal de anfibólio que é significativo no primeiro. Esta característica modal, a área de ocorrência do Granito Rancho de Deus (Figura 2.1) e algumas afinidades texturais com o

Granodiorito Rio Maria e seu correlato na folha Marajoara, o Granodiorito Mata Geral (Almeida et al. 2008), sugerem afinidade deste granito com o referido granodiorito. Esta hipótese deverá ser avaliada a seguir (Capítulo 5).

Os contrastes geoquímicos observados entre as rochas da Suíte Guarantã e o Granito Rancho de Deus indicam complexibilidades na origem dos magmas geradores das rochas estudadas. Tais contrastes não podem ser explicados por processos de diferenciação magmática, tendo em vista que os dois grupo de rocha apresentam teores de SiO_2 superpostos e não seguem o mesmo *trend* de diferenciação. Isto fica bem demonstrado pelo comportamento dos elementos litófilos que é inteiramente distinto nos dois granitóides mencionados (Figura 4.7). É altamente improvável, portanto, que esses dois grupos tenham se formado a partir de um mesmo magma parental, apesar de sua associação no espaço. A possibilidade de contaminação em graus variáveis do magma original pelas rochas encaixantes também parece incapaz de explicar as diferenças observadas. Seria, entretanto, necessário avaliar se a atuação de processos de *mixing* ou *mingling* (Hibbard 1995) não foi determinante na evolução da Suíte Guarantã e do Granito Rancho de Deus. Parece mais razoável, portanto, admitir neste estágio que os granodioritos e monzogranitos da Suíte Guarantã e o Granito Rancho de Deus tenham se originado a partir de líquidos distintos que evoluíram independentemente.

Partindo-se da premissa de geração dos magmas graníticos através de processos de fusão parcial, podem ser postuladas duas hipóteses na tentativa de explicar a origem dos magmas formadores da Suíte Guarantã e do Granito Rancho de Deus: (a) Seriam produto de magmas resultantes de diferentes graus de fusão parcial de uma mesma rocha fonte; ou (b) os seus magmas formadores teriam sido derivados de rochas fontes de diferentes composições. A primeira dessas suposições poderia talvez explicar as diferenças entre os referidos granitos admitindo-se que os contrastes entre os mesmos sejam devidos a diferenças de profundidade de gerações dos respectivos magmas. Raciocínio análogo foi assumido por Sylvester (1994) para explicar os contrastes geoquímicos entre os granitos do tipo CA1, nos quais haveria presença de maior proporção de minerais restíticos quando da formação do magma, em relação aos do tipo CA2, formados em maiores profundidades na crosta e capazes de uma separação mais efetiva de líquido e resíduo de fusão. Entretanto, os granitóides da Suíte Guarantã e o Granito Rancho de Deus mostram diferenças composicionais e mineralógicas bem menos expressivas que os dois tipos cálcico-alcálicos de Sylvester e são ambos geoquimicamente semelhantes aos granitos do tipo 2 (CA2). Isto fica mais evidente no diagrama Rb/Y vs. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ (Figura 4.11), onde os diversos subtipos de granitos estudados

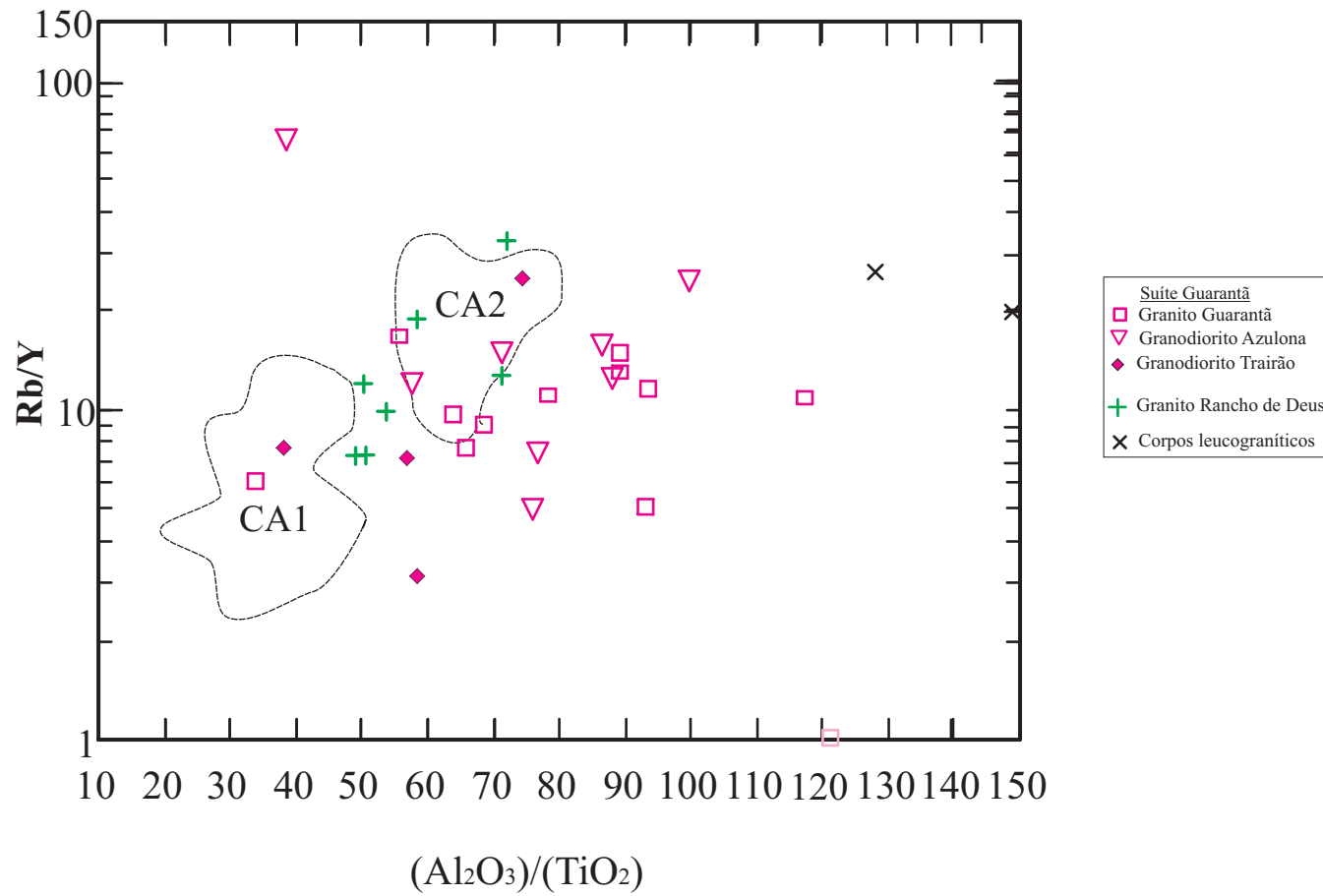


Figura 4.11- Diagrama Rb/Y vs. Al₂O₃/TiO₂ para os granitos da Folha Marajoara campos conforme Sylvester 1994. CA1 e Ca2 granitos calcico-alcálicos do tipo 1 e 2, respectivamente.

concentram-se no domínio dos granitos CA2 ou próximos a ele. Com exceção das amostras MAF-33 e MAR-146, ambas com conteúdos excepcionalmente elevados de TiO_2 (Tabela 4.1), que plotam dentro do domínio CA1, as demais, em função de suas razões Rb/Y moderadas e Al_2O_3/TiO_2 relativamente elevadas, se distribuem no campo dos granitos CA2 ou próximo a ele, separando-se parcialmente por exibirem razões Al_2O_3/TiO_2 mais elevadas. Logo, a hipótese de existência de diferenças de níveis crustais de geração dos magmas, de modo análogo ao sugerido por Sylvester (1994), não poderia ser aplicada para justificar os contrastes geoquímicos entre os granitos estudados.

Retornando às hipóteses iniciais, diferentes graus de fusão parcial a partir de uma mesma fonte deveriam se refletir em comportamentos diferenciados de determinados elementos- traço, tais como Rb, Y e Th de um lado, e P, Sr e Cu, de outro, em função de seus diferentes coeficientes de partição entre líquido e resíduo (Sylvester 1994). Tais contrastes são observados em relação a algumas amostras, das quais o melhor exemplo é sem dúvida a amostra MAF-64 do Granodiorito Azulona da Suíte Guarantã, mas se trata de caso isolado, não se podendo generalizar esse mecanismo para as rochas graníticas estudadas. Embora o Granito Rancho de Deus seja mais enriquecido em Th e Rb e empobrecido em P, Sr e Cu que os granitóides da Suíte Guarantã, os valores de Y não mostra variações significativas entre os dois grupos e os contrastes entre os dois grupos de granitos não parecem suficientes para demonstrar a hipótese inicial.

Concluindo, no presente trabalho foram definidos parâmetros geoquímicos que permitiram a caracterização e testadas algumas hipóteses para explicar a origem dos granitos estudados, porém não se pôde chegar a conclusões definitivas em termos da origem de seus magmas. Para aprofundar essa discussão são necessários testes de modelamento geoquímico, refinamento dos dados geocronológicos e novos dados isotópicos, em particular de Nd. Tais estudos estão sendo desenvolvidos em paralelo, associados ao doutoramento de J. A. C. de Almeida.

4.4.3 - Corpos leucomonzograníticos

O número limitado de amostras estudadas deste grupo impõe severas limitações para quaisquer conclusões a respeito de sua origem. As variedades leucomonzograníticas são, conforme atestam as relações de campo, tardias e de menor volume. Poderiam em tese ter derivado dos líquidos residuais de um dos dois tipos de granitos estudados, porém os dados geoquímicos não favorecem tal hipótese, pois os contrastes geoquímicos entre os leucomonzogranitos e a Suíte Guarantã e Granito Rancho de Deus são muito acentuados e os

diferentes diagramas geoquímicos empregados não sinalizam para uma vinculação entre essas rochas por processos de diferenciação magmática. Restaria a hipótese de que os líquidos formadores dos leucogranitos se relacionem a processos de fusão parcial de fontes granitóides situadas na base da crosta (Leite et al. 1999, Dall’Agnol et al. 2006), mas a mesma também precisa ser avaliada em maior profundidade antes de qualquer conclusão.

CAPÍTULO 5 - COMPARAÇÕES ENTRE OS GRANITOS DA FOLHA MARAJOARA ESTUDADOS E OS DEMAIS GRANITÓIDES ARQUEANOS DO TGGRM

5.1 - INTRODUÇÃO

O presente capítulo tem por objetivo estabelecer comparações entre os granitóides estudados e os demais granitos arqueanos do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria. Para tanto foram selecionadas 15 análises compiladas dos trabalhos citados entre parêntese, do Granito Mata Surrão (Duarte 1992), do Granito Guarantã de Althoff 1996 foram compilados 11 análises de elementos maiores nas quais apenas 5 possuem análises de elementos traços e ETR, 27 análises do Granito Xinguara (Leite 2001), sendo que deste total 5 análises correspondem aos corpos satélites associados ao granito Xinguara, e 11 análises do Granodiorito sanukitóide Rio Maria (Oliveira et al. 2009).

É importante estabelecer comparações entre esses tipos de rochas, uma vez que, com exceção do Granodiorito Rio Maria, as mesmas são representativas do magmatismo granítico arqueano ocorrido no TGGRM, o qual marca um importante estágio na evolução e estabilização da crosta arqueana. É também indispensável a investigação de possíveis vinculações genéticas entre as mesmas, sendo importante para atingir tal objetivo avaliar as similaridades e as diferenças existentes entre as rochas estudadas e os demais granitos do TGGRM.

5.2 – GEOLOGIA

Em termos da Suíte Guarantã, os corpos Guarantã e Azulona afloram como plutons subcirculares, intrusivos no Tonalito Arco Verde e no Granodiorito Rio Maria, enquanto que o Granodiorito Trairão é um pluton de forma elíptica. Tais corpos mostram um relevo peneplanizado atingindo cotas topográficas mais elevadas apenas na porção noroeste, área em que aflora o Granodiorito Trairão. Por sua vez, o Granito Mata Surrão forma geralmente um relevo constituído por morros com cotas inferiores apenas às dos corpos graníticos anorogênicos (Duarte 1992, Althoff 1996). Já o Granito Xinguara, morfologicamente constitui morros e serrotes nas porções centrais e oeste do maciço, mas também ocorre como grandes matacões ou lajedos em áreas de relevo dissecado (Leite 1995, 2001). No que se refere às áreas ocupadas pelas rochas do Granito Guarantã de Althoff 1996 e do Granodiorito Rio Maria, estas apresentam relevo bastante uniforme e peneplanizada, com ocorrências de

morrotes isolados (Oliveira 2005).

Os granitóides Guarantã e Azulona apresentam foliação de orientação E-W a NW-SW e mergulho subvertical e são seccionados ou limitados por zonas de cisalhamento com orientação próxima de E-W. Essas feições estruturais são similares às dos corpos satélites do Granito Xinguara, os quais possuem formas alongadas, são colocados paralelamente à foliação regional NW-SE, e apresentam foliação de orientação N15E com mergulho vertical, cortada por pequenas zonas de cisalhamento sinistrais de poucos centímetros de espessura orientadas na direção NW-SE (Leite 2001). Em amostras da porção sul do Granito Guarantã Althoff 1996 (amostras 92-4; F-4, 5, 78,76) apresenta uma lineação muito visível e sempre próxima do horizontal, e uma xistosidade subvertical E-W, tais feições estruturais são observadas no Granitóide Guarantã neste trabalho.

É muito comum à ocorrência de enclaves angulosos de rochas do Tonalito Arco Verde nos granitóides da Suíte Guarantã ao longo de zonas de contato, revelando um comportamento rígido das rochas encaixantes e um elevado contraste de viscosidade entre os granodioritos e essas rochas. Relações similares foram observadas entre o Granito Xinguara (Leite 2001) e o Granito Mata Surrão (Duarte 1992) e suas encaixantes tonalíticas, respectivamente, o Complexo Tonalítico Caracol e o Tonalito Arco Verde.

O pluton Rancho de Deus apresenta um acentuado contraste geomorfológico com corpos da Suíte Guarantã, tem forma amendoada e atinge na sua porção central cotas topográficas moderadas, sendo sua morfologia similar às descritas para os plutons Xinguara (Leite 2001) e Mata Surrão (Duarte 1992).

Os corpos leucograníticos ocorrem como pequenos *stocks* intrusos, ora no Granodiorito Rio Maria (porção sudoeste), ora no Tonalito Arco Verde, ou, por vezes, associados aos granodioritos da Suíte Guarantã. Esses corpos apresentam cotas topográficas relativamente elevadas e morfologia semelhante àquelas observadas no pluton principal do Granito Mata Surrão.

5.3 – PETROGRAFIA

As composições modais médias dos granitóides estudados e daqueles selecionados para comparações constam da Tabela 5.1. Foi elaborado igualmente um diagrama QAP, onde foram lançadas as composições modais de todas as amostras estudadas e os campos definidos pelos granitóides arqueanos selecionados para comparação (Figura 5.1).

Tabela 5.1 - Comparação da composição modal dos granitos arqueanos da Folha Marajoara com rochas similares do TGGRM.

Variedade	Granitos estudados (1)						Guarantã (2)		Mata Surrão (3)	Granito Xinguara (4)		Corpos Satélites (4)		Granodiorito Rio Maria (5)		
	Guarantã		Azulona		Trairão		R. de Deus	C. Leucog.		LMG1	LMZ2					
	Gd	MzG	Gd	MzG	Gd	MzG	MzG	MzG	MzG	MzG	Gd	MzG	MzG	MzG	Gd	Gd
Fácies/Amostra	{6}	{9}	{8}	{5}	{4}	{2}	{8}	{3}	{9}	{24}	{6}	{17}	{5}	{6}	{8}	{10}
Quatzo	28,38	26,87	29,7625	25,40	28,25	28,85	27,86	31,80	29,22	30,21	36,30	31,65	34,82	28,30	28,18	20,12
Microclina	14,62	23,10	14,5625	25,83	13,18	23,80	29,10	34,26	30,99	29,13	10,90	31,53	34,02	31,70	16,34	15,60
Plagioclásio	49,15	44,77	48,8588	43,86	47,90	39,90	36,82	31,26	34,66	34,06	45,22	33,82	27,46	34,50	46,71	43,35
Biotita	1,87	0,26	2,95	1,10	4,68	1,80	2,28	0,66	1,51	3,25	3,10	1,59	0,8	3,58	4,38	7,39
Anfibólio							0,43									9,41
Epidoto	3,28	2,51	1,325	2,18	4,08	3,65	1,71	0,70	1,95	2,56	3,42	0,26	0,56	0,08		2,30
Clorita	2,15	0,68	0,8625	1,10	1,03	0,85	1,71	1,93	0,82	0,25	0,15	0,41	0,54			
Muscovita	0,83	1,37	0,675	0,43	0,08	0,50	0,37	0,95	0,29	0,08	0,12	0,21	0,42	0,40	0,19	
Opacos	0,27	0,14	0,1375	0,33	0,05		0,21	0,20	0,27	0,10	0,53	0,24	0,48	0,37	0,16	0,17
Titanita	0,33	0,18	0,2375	0,10	0,35	0,40	0,22	0,06		0,13	0,03					0,65
Alanita												0,13	0,46	0,10		0,33
Total Acessórios	0,70	0,43	0,45	0,68	0,43	0,40	0,46	0,26	4,84	0,29	0,60	0,04	0,06	0,35	0,33	
M'	7,90	3,88	5,55	4,80	10,18	6,70	5,59	3,50	4,55	6,29	7,23	2,71	2,98	4,68	5,05	20,35
A+P	62,54	67,87	63,4213	69,68	61,08	63,70	65,92	65,53	65,66	63,19	56,12	65,31	61,6	66,80	63,05	58,95
Pl/A	3,68	2,08	3,89477	2,56	5,71	1,67	1,35	0,92	1,23	1,24	4,54	1,14	0,85	1,15	2,97	2,78
A	15,92	24,42	15,576	27,35	14,54	25,72	30,94	36,13	32,61	31,15	11,79	32,49	35,32	33,29	18,25	15,00
Q	30,48	28,28	31,9291	26,18	31,50	31,14	29,65	33,86	30,89	32,38	39,40	32,64	36,12	29,75	31,37	20,00
P	51,69	47,28	52,4949	45,71	53,95	43,14	39,38	29,99	36,50	36,47	48,81	34,85	28,57	36,84	50,38	65,00

Fontes dos dados: (1) Este trabalho; (2) Althoff (1996); (3) Duarte (1992); (4) Leite (2001); e (5) Oliveira et al. (2009)

Gd = Granodiorito; MzG = Monzogranito

{12}: Número de amostras

Os granitóides da Suíte Guarantã divergem em termos de composição modal do Granodiorito Rio Maria, pois embora este também apresente dominância de granodioritos e monzogranitos é muito mais rico em máficos e não possui o caráter hololeucocrático que caracteriza as rochas da Suíte Guarantã. Distinguem-se igualmente dos granitos Xinguara e Mata Surrão porque nestes dominam inteiramente as composições monzograníticas, o que não se verifica no caso da suíte estudada. Apresentam, porém, grande similaridade com as amostras dos corpos satélites do Granito Xinguara (Leite 2001) e com as amostras do Granito Guarantã (Althoff 1996; cabe aqui mencionar que esta última analogia composicional seria altamente previsível, uma vez que há uma ampla superposição entre o Granito Guarantã, tal como descrito pelo autor citado, e os granitóides da Suíte Guarantã) (Figura 5.1 e Tabela 5.1).

As composições modais médias dos granodioritos e monzogranitos da Guarantã (Tabela 5.1), confrontadas com as das rochas de mesma composição dos corpos satélites do Granito Xinguara, confirmam a similaridade sugerida pelo diagrama Q-A-P, exceto pelo fato que não há registro de epidoto em proporções significativas nos últimos, ao contrário do observado na Suíte Guarantã. A composição média dos monzogranitos do Granito Guarantã (Althoff 1996) também é muito similar a dos monzogranitos dos corpos da Suíte Guarantã, sendo registrada neste caso a ocorrência de epidoto. No que se refere ao Granito Rancho de Deus, embora este seja formado essencialmente por monzogranitos, tal como os granitos Xinguara e Mata Surrão, difere destes leucogranitos potássicos, por ser constituído por variedades monzograníticas que apresentam anfibólio como mineral varietal (Figura 5.1 e tabela 5.1). Além disso, as amostras do Granito Rancho de Deus possuem menores conteúdos modais de quartzo e razão relativamente elevada de PI/Mc , o que, associado à presença significativa de hornblenda e epidoto magmático nestas rochas, sugere semelhanças com o Granodiorito Rio Maria ou rochas sanukitóides afins, das quais poderia corresponder a um termo mais evoluído. Em termos texturais, o Granito Rancho de Deus é predominantemente porfirítico, o que não é observado nos sanukitóides do TGRRM que são formados predominantemente por rochas equigranulares de granulação grossa ou média (Oliveira et al. 2009). Contudo a hipótese do Granito Rancho de Deus estar relacionado à suíte sanukitóide não pode ser descartada, pois o pluton de Marajoara apresenta boa correspondência em termos de variedades texturais e composições com os granitóides arqueanos porfiríticos de alto potássio e magnésio que ocorrem no leste da Finlândia (Halla 2004). O granitóide Nilsjö, por exemplo, leste da Finlândia, é constituído por rochas porfiríticas de cor cinza escura, com megacristais eudrais de microclina ou ortoclásio de cor vermelha ou cinza claro, imersos em matriz de granulação fina, constituída por microclina, plagioclásio, quartzo, biotita, hornblenda, epidoto, e os

acessórios apatita, titanita, zircão e opacos (Halla 2004). Tais características sugerem grande similaridade com as rochas do Granito Rancho de Deus.

As composições modais das rochas presentes nos corpos leucograníticos de Marajoara (Tabela 5.1) indicam que tais corpos não possuem variações composicionais marcantes. Elas se sobrepõem às da variedade de leucomonzogranitos do tipo 1 do Granito Xinguara (Leite 2001) e às da variedade monzogranítica do Granito Mata Surrão (Tabela 5.1, Figura 5.1). Porém, as amostras dos corpos leucograníticos estudados possuem conteúdo de máficos (M') um pouco superior ao da variedade LMZ1 do Granito Xinguara, e um pouco menores que os do Granito Mata Surrão, sugerindo que os leucomonzogranitos de Marajoara possuem maiores afinidades com as rochas mais evoluídas do pluton Mata Surrão.

5.4 - GEOQUÍMICA

As composições médias das variedades granodioríticas e monzograníticas da Suíte Guarantã são muito semelhantes às das variedades análogas dos corpos satélites do Granito Xinguara (Tabela 5.2). A composição média do Granito Guarantã (Althoff 1996), conforme composições químicas de monzogranitos disponíveis na literatura (Althoff 1996), também se aproxima daquela dos monzogranitos da Suíte Guarantã, como seria de se esperar. As rochas da Suíte Guarantã divergem, porém, dos leucogranitos potássicos, representados pelos granitos Xinguara e Mata Surrão, por serem comparativamente mais pobres em sílica e mais ricas em Sr e Ba. As primeiras também apresentam diferenças composicionais expressivas em relação ao Granodiorito Rio Maria. Estes contrastes composicionais são mais evidentes em diagramas geoquímicos discutidos a seguir.

Os granitóides da Suíte Guarantã, assim como o Granito Guarantã de Althoff 1996, variam de metaluminosos a fortemente peraluminosos (Figura 5.2a), com as variedades menos evoluídas se concentrando no campo metaluminoso e as mais evoluídas no peraluminoso. No diagrama ACNK vs. ANK (Figura 5.2a), as amostras dos leucomonzogranitos do tipo 1 do pluton Xinguara e do Granito Rancho de Deus também variam de modo análogo, enquanto que às dos corpos satélites daquele pluton e do Granito Mata Surrão são unicamente peraluminosas. O Granodiorito Rio Maria se isola neste diagrama, em função de seu caráter metaluminoso muito acentuado.

No diagrama normativo An- Ab-Or (Figura 5.2b) as rochas da Suíte Guarantã plotam no campo dos granitos, porém próximo aos limites dos campos de granodioritos e trondhjemitos, e revelam ligeiro enriquecimento no componente anortita em relação aos

Tabela 5.2 - Composições químicas médias dos granitos estudados e dos demais granitos arqueanos do TGGRM.

Variedades	Guarantã ¹		Azulona ¹		Trairão ¹		Rancho	Corpos	Mata		Guarantã ²	Xinguara ³		Corpos		Granodiorito		
	Gd	MzG	Gd	MzG	Gd	MzG	de Deus ¹	leucogr. ¹	Gd	MzG	Surrao ²	MzG	LMZI	LMZ2	Gd	MzG	Gd	
Fácies	{4}	{7}	{4}	{5}	{2}	{7}		{3}	{12}		{11/5}	{15}	{5}	{4}	{2}		{8}	
Elementos																		
SiO ₂	72,12	71,43	71,78	72,00	69,14	70,61	70,81	73,63	75,79	74,73	72,66	73,58	73,01	71,09	72,86		64,1	
TiO ₂	0,255	0,18	0,21	0,14	0,34	0,23	0,26	0,08	0,16	0,16	0,21	0,13	0,13	0,19	0,12		0,4	
Al ₂ O ₃	14,72	15,10	15,13	14,92	15,35	15,13	14,58	14,02	14,31	14,46	14,11	13,79	13,47	15,21	14,35		14,8	
Fe ₂ O ₃	1,79	1,39	1,66	1,10	2,46	1,91	2,28	0,96	1,02	1,16	1,81	1,31	1,53	1,47	1,52		2,78	
MnO	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,01	0,02	0,01	0,04	0,01		0,06	
MgO	0,55	0,42	0,49	0,30	1,08	0,71	0,77	0,17	0,29	0,29	0,50	0,30	0,25	0,54	0,33		2,29	
CaO	2,19	1,67	2,13	1,41	2,66	2,06	1,67	0,97	1,30	1,24	1,31	1,29	1,00	1,83	1,33		3,98	
Na ₂ O	4,68	4,87	4,88	4,38	4,89	4,77	4,13	3,50	3,72	3,59	4,52	3,73	3,10	4,27	3,77		4,16	
K ₂ O	2,60	3,63	2,69	4,64	2,66	3,38	4,45	5,86	4,45	4,71	3,65	4,89	6,50	3,79	4,67		3,23	
P ₂ O ₅	0,09	0,07	0,07	0,06	0,13	0,09	0,09	0,04	0,05	0,06	0,14	0,13	0,16	0,10	0,11		0,15	
PF	0,875	0,97	0,78	0,83	1,00	0,85	0,78	0,70			0,79	0,49	0,54	0,56	0,43		1,68	
TOTAL	99,68	99,75	99,24	99,80	99,73	99,76	99,85	99,95	101,1	100,3	99,67	99,92	99,99	99	99		99,3	
Ba	1163,2	1502	980,9	1430,0	1186	1327	1239,7	885,9	203	167	1276	970	993	1347	1221		1085,4	
Sr	557,8	662,1	548,5	516,7	828	699	366,2	215,5	221,3	241,7	459,8	274,1	244,0	593,5	554,0		608,3	
Rb	75,05	89,44	75,52	174,47	78,6	102,8	151,31	184,6	146,0	165,3	139,7	165,1	193,2	132,3	156,5		109,3	
Zr	107,075	106,5	98,14	95,07	124,8	98,0	160,87	79,73	25,7	10,3	107,1	179,5	222,8	176,8	125,5		115,9	
Y	20,1	9,70	7,92	8,00	10,5	21,8	12,43	9,90	11,67	9,64	8,33	9,73	9,40	7,75	8,50		13,4	
Nb	5,5	5,56	5,24	4,73	5,55	5,25	7,60	6,33			8,88	5,54	5,20	6,50	5,00		8,8	
Ga	19,1	18,93	20,34	18,60	19,90	19,85	17,57	19,03			20,64	14,86	10,20	23,75	21,00		19,6	
Th	4,825	5,99	3,64	9,17	5,05	6,10	16,99	27,97			11,89	39,14	81,60	5,00	5,00		8,1	
Hf	3,1	2,97	3,16	2,83	4,15	3,60	4,99	2,87			3,13							
Ta	1,7	0,87	1,82	0,40	1,95	2,05	2,44	2,07			0,84							
Ni	5,4	5,34	6,92	3,30	14,60	10,25	8,69	4,77			15,56						28,50	
La	43,9	23,53	20,20	16,30	31,85	20,25	47,84	19,23			25,22	36,27	51,47	34,85	31,10		38,05	
Ce	56,35	40,83	35,80	35,23	55,70	36,85	81,67	36,20			47,91	71,35	90,48	69,53	63,26		65,73	
Pr	9,07	5,06	3,94	4,03	7,01	4,12	8,41	3,84			4,77				Nd		6,86	
Nd	34,9	18,30	12,82	15,13	25,65	14,05	27,44	13,20			16,21	29,87	30,69	22,83	17,99		25,7	
Sm	5,8	3,00	2,25	2,64	4,40	2,65	4,06	2,72			2,46	4,62	5,03	3,24	2,64		4,10	
Eu	1,6	0,74	0,59	0,66	1,08	0,73	0,82	0,41			0,72	0,40	0,49	0,54	0,51		1,15	
Gd	4,8	2,17	1,44	1,96	2,74	2,14	2,57	2,19			1,82	1,92	2,71	1,77	1,59		3,03	
Tb	0,7	0,29	0,26	0,27	0,39	0,36	0,40	0,37			0,24				Nd		0,46	
Dy	3,6	1,44	1,30	1,47	1,80	2,19	1,99	1,94			1,16	0,99	1,17	0,86	0,68		2,04	
Ho	0,7	0,27	0,25	0,26	0,28	0,51	0,37	0,33			0,28	0,18	0,18	0,15	0,12		0,41	
Er	1,8	0,76	0,75	0,77	0,85	1,77	1,02	0,93			0,72	0,49	0,45	0,27	0,26		1,07	
Tm	0,3	0,12	0,11	0,13	0,14	0,28	0,16	0,14			0,11				Nd		0,15	
Yb	1,45	0,70	0,62	0,78	0,72	1,48	0,89	0,93			0,80	0,47	0,32	0,20	0,25		0,94	
Lu	0,19	0,10	0,09	0,11	0,11	0,27	0,17	0,14			0,13	0,07	0,08	0,04	0,07		0,14	
K ₂ O/Na ₂ O	0,56	0,75	0,55	1,06	0,54	0,71	1,08	1,67	1,20	1,32	0,81	1,32	2,10	0,92	1,28		0,78	
Rb/Sr	0,14	0,14	0,15	0,46	0,10	0,15	0,52	0,91	0,66	0,69	0,64	0,64	0,82	0,24	0,39		0,18	
Sr/Ba	0,48	0,44	0,57	0,36	0,7	0,5	0,30	0,24	1,13	1,57	0,38	0,29	0,25	0,47	0,44		0,56	
Ba/Rb	16,43	17,28	13,81	8,25	15,17	13,99	8,57	4,97	1,40	1,05	10,51	6,09	5,19	10,31	8,47		10,0	
(La/Yb) _n	27,97	26,18	23,96	15,29	29,74	13,75	38,12	15,80			63,9	75,0	105,5	91,8	86,5		28,02	
(La/Sm) _n	5,75	5,14	5,55	4,11	4,46	5,24	7,80	4,22			5,86	4,89	6,50	7,47	7,44		5,9	
(Dy/Yb) _n	1,42	1,36	1,49	1,21	1,62	0,88	1,42	1,35			1,63	1,85	2,38	2,69	1,78		1,42	
Eu/Eu*	0,98	0,91	1,01	0,91	0,95	1,04	0,81	0,52			1,01	0,44	0,40	0,71	0,72		1,0	
Mg#	0,37	0,36	0,36	0,34	0,46	0,42	0,37	0,25	0,35	0,48	0,37	0,24	0,21	0,37	0,29		0,5	

Fonte dos dados: ¹ Este trabalho; ²Duarte 1992; ³ Althoff 1996; ⁴ Leite 2001; ⁵ Oliveira et al.2009

Gr: Granodiorito; MzG: Monzogranito

{13} : Número de amostras

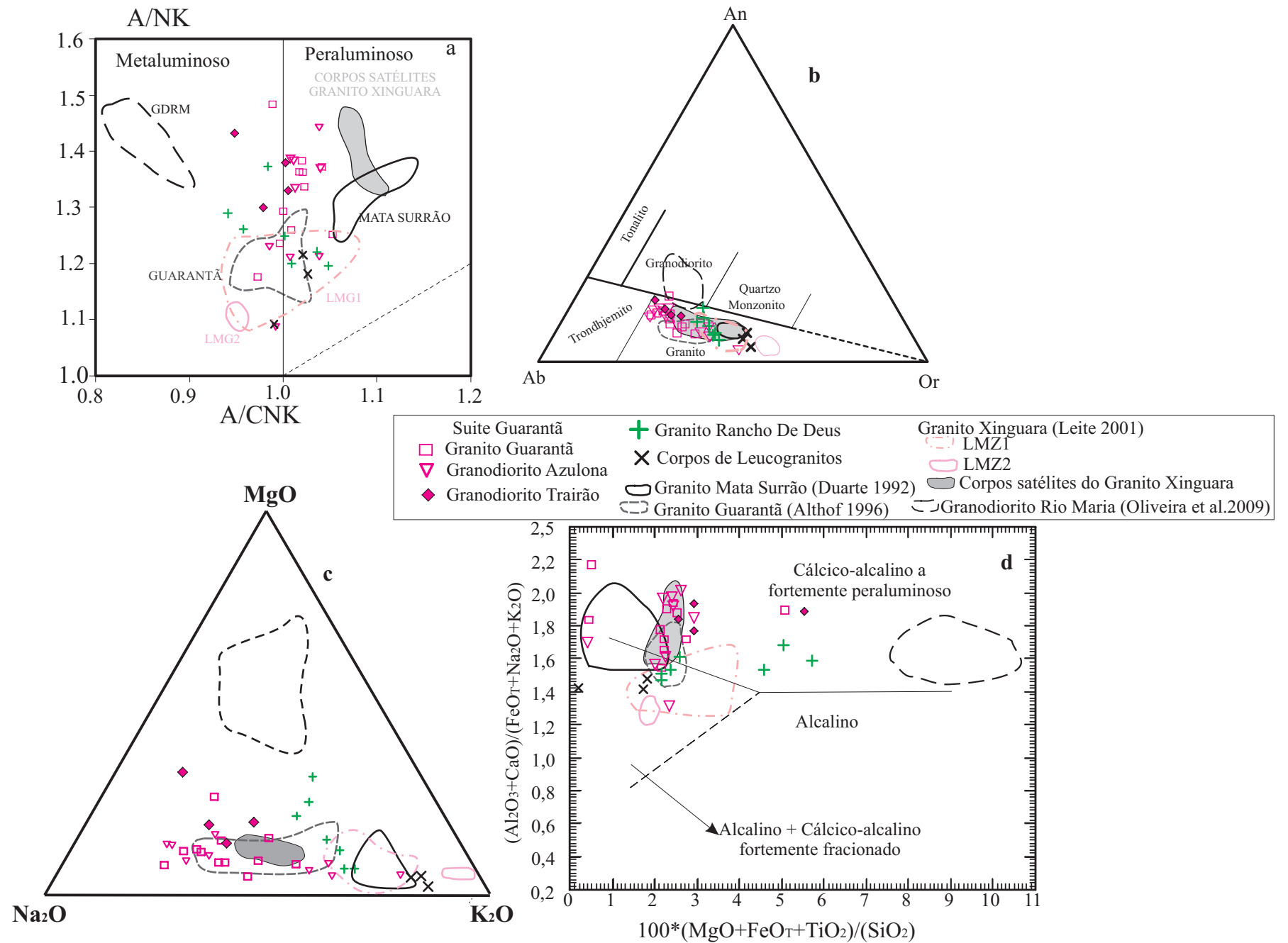


Figura 5.2 - (a) Diagramas geoquímicos mostrando o comportamento dos granitóides da Suíte Guarantã, Granito Rancho de Deus, Corpos leucograníticos e demais ocorrências de granitos do TGGRM. (a) Diagrama $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ mol vs. $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$ mol (Shand 1954); (b) Diagrama triangular Ab-An-Or normativo (O'Connor 1965); (c) Diagrama Na₂O-MgO-K₂O; (d) Diagrama $(Al_2O_3+CaO)/(FeO_T+Na_2O+K_2O)$ vs. $100(MgO+FeO_T+TiO_2)/SiO_2$ (Sylvester 1989).

demais granitos. O Granodiorito Rio Maria se concentra notavelmente no campo de granodioritos, por possuir conteúdo muito mais elevado de An normativa. As demais unidades selecionadas para comparação se distribuem todas no campo dos granitos, com os leucomonzogranitos tendendo a mostrar enriquecimento relativo em Or normativo.

O diagrama MgO–K₂O–Na₂O (Figura 5.2c) é um dos que melhor individualiza os diferentes granitos do TGGRM. Ele mostra que os granodioritos e monzogranitos da Suíte Guarantã, o Granito Guarantã estudado por Althoff 1996 e os corpos satélites do Granito Xinguara são enriquecidos em Na₂O e claramente mais empobrecidos em K₂O do que as rochas dos plutons Xinguara e Mata Surrão, e também do que os leucomonzogranitos da Folha Marajoara estudados neste trabalho. O diagrama mostra ainda que o Granodiorito Trairão tende a ser levemente mais enriquecido em MgO do que os demais corpos da suíte. O Granodiorito Rio Maria se particulariza por ser extremamente enriquecido em MgO, sendo acompanhado, em certa medida, pelo Granito Rancho de Deus, cujas amostras metaluminosas tendem a se dispor segundo *trend* inteiramente distinto daquele definido pelas rochas da Suíte Guarantã e que poderia corresponder ao de rochas evoluídas da série sanukitóide Rio Maria.

Em diagrama proposto por Sylvester (1989) para distinguir rochas das séries fortemente peraluminosa, cálcico-alcalina e alcalina, as amostras da Suíte Guarantã se superpõem novamente aos campos do Granito Guarantã (Althoff 1996) e dos Corpos Satélites de Xinguara (Figura 5.2d). Os granitos mencionados divergem do Granito Xinguara em função do enriquecimento relativo em álcalis deste último e do Granito Mata Surrão por ser este relativamente enriquecido em SiO₂. As rochas do Granito Rancho de Deus e, de modo ainda muito mais acentuado, às do Granodiorito Rio Maria, apresentam maior enriquecimento em constituintes ferromagnesianos altos valores de $[MgO+FeOt+TiO_2]/SiO_2$ do que as demais rochas (Figura 5.2d). Os leucogranitos da Folha Marajoara exibem neste diagrama maior afinidade com o Granito Xinguara.

O comportamento geoquímico similar mostrado por Suíte Guarantã, Granito Guarantã (Althoff 1996) e corpos satélites de Xinguara é também evidenciado pelas variações das razões Rb/Sr e Sr/Ba, assim como de Zr, em diagramas de Harker (Figura 5.3a, b, c). A superposição dos campos destes granitos no diagrama Sr/Ba vs. Rb/Sr (Figura 5.3d) é notável. É nítida também a separação geoquímica entre o primeiro grupo de granitos citado e os leucomonzogranitos do TGGRM, representados pelo Granito Xinguara e corpos de leucomonzogranitos da Folha Marajoara. O Granodiorito Rio Maria se separa dos diversos granitos em função de seu conteúdo relativamente baixo de SiO₂.

Deixando de lado algumas amostras com comportamento geoquímico particular, já

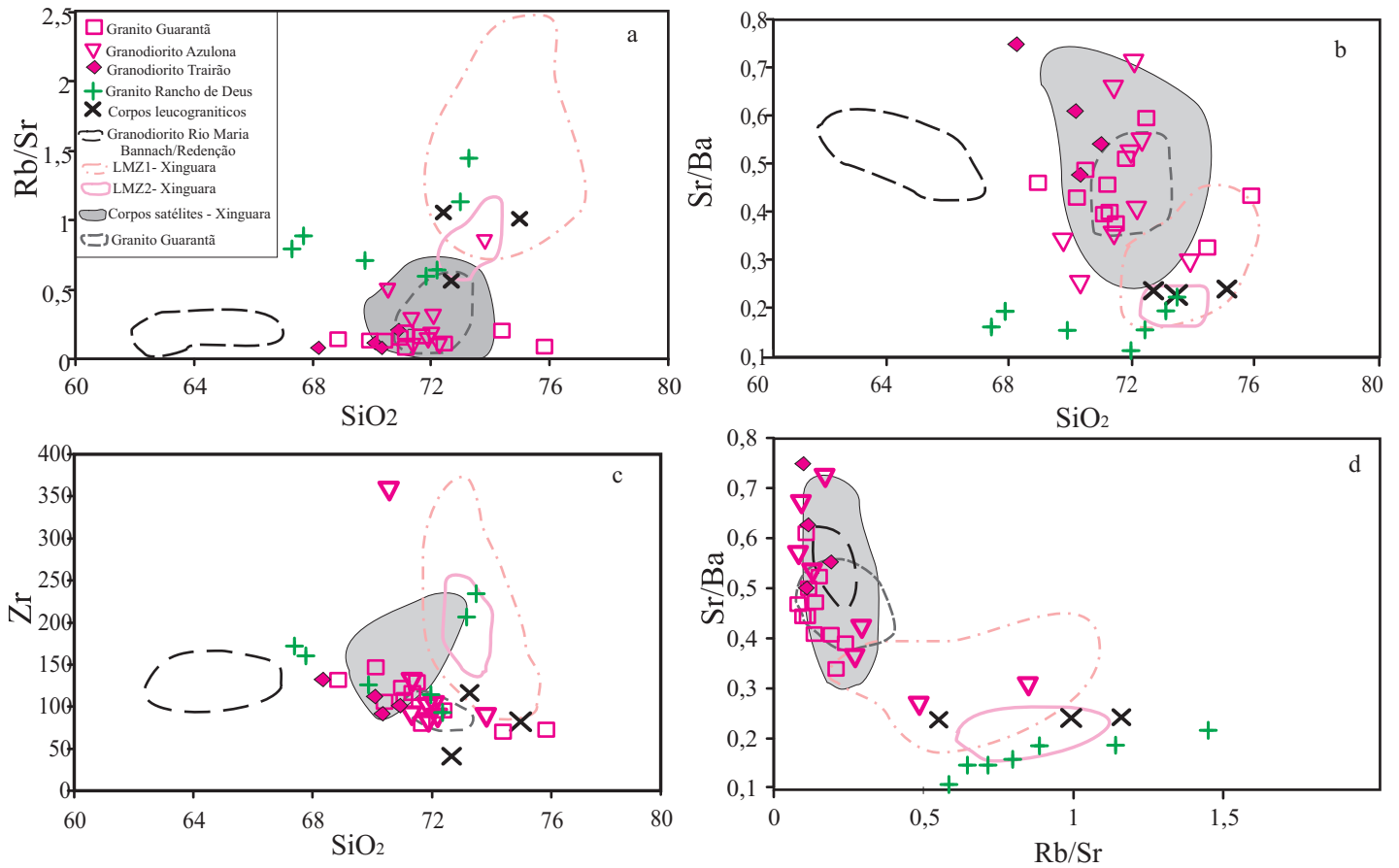


Figura 5.3 - Diagramas binários: (a) Rb/Sr vs. SiO₂; (b) Sr/Ba vs. SiO₂; (c) Zr vs SiO₂; (d) Sr/Ba vs. Rb/Sr, comparando os Granitos da Suíte Guarantã, Granito Rancho de Deus e corpos leucograníticos com os granitos potássicos do TGGRM e Granodiorito Rio Maria (Oliveira et al. 2009).

discutidas em detalhe (ver Capítulo 4), as amostras dos três corpos da Suíte Guarantã, Granito Guarantã e granodioritos Azulona e Trairão, seguem *trends* similares nos diagramas mencionados (Figura 5.3), embora aquelas dos granodioritos Azulona e Trairão tendam a mostrar razões Sr/Ba mais elevadas.

Procurou-se estabelecer comparações em diagramas multi-elementos entre os granodioritos e monzogranitos estudados e os demais granitos arqueanos do TGGRM selecionados com dois dos três grandes grupos de granitos arqueanos caracterizados por Sylvester (1994). A comparação com os granitos fortemente peraluminosos (Sylvester 1994) foi deixada de lado, porque nenhum dos granitóides estudados apresenta afinidades geoquímicas com este grupo (Ver Capítulo 4 e Figura 5.2a). No diagrama multi-elementos (Figura 5.4a), as rochas da suíte Guarantã, cujas composições foram normalizadas em relação à medida da crosta continental superior média (Taylor & McLennan 1985), apresentam um comportamento similar aqueles dos granitos cálcico–alcalinos tipo 2 e bem distinto daqueles dos tipos alcalinos de Sylvester (1994). As amostras da Suíte Guarantã divergem dos granitos alcalinos por apresentarem acentuadas anomalias negativas de Y e Nb, bem como enriquecimento em Ba e Sr e empobrecimento relativo em Th, Rb, La e Ce. Os padrões dos granitos CA1 e CA2 são bastante similares, mas o CA2 exhibe anomalias de Y, Ti, Nb e P mais acentuadas, verificando-se o mesmo para a Guarantã. Isto reforça as analogias geoquímicas entre as rochas desta suíte e os granitos CA2, já assinaladas anteriormente (Cf. Capítulo 4).

O diagrama multi-elementos comprova também que as características geoquímicas das rochas dos corpos satélites do pluton Xinguara e do Granito Guarantã (Althoff 1996) são muito similares às da Suíte Guarantã (Figura 5.4b) e, por extensão, às dos granitos cálcico–alcalinos CA2 (Sylvester 1994). Constata-se, apenas, um ligeiro enriquecimento em Nb e P nas rochas do Granito Guarantã estudadas por Althoff (1996).

No diagrama multi-elementos (Figura 5.4c), as amostras do Granito Rancho de Deus mostram, da mesma forma que as da Suíte Guarantã, comportamento análogo aos dos granitos cálcico–alcalinos e bem distinto daqueles dos alcalinos. Revelam, igualmente, maior afinidade geoquímica com os granitos CA2. O Granito Rancho de Deus também apresenta comportamento similar ao das amostras do Granito Guarantã (Althoff 1996), porém o primeiro exhibe ligeiro enriquecimento em La, Ce e Ti e empobrecimento relativo Zn e P (Figura 5.4d).

No diagrama multi-elementos (Figuras 5.2e), as amostras das rochas

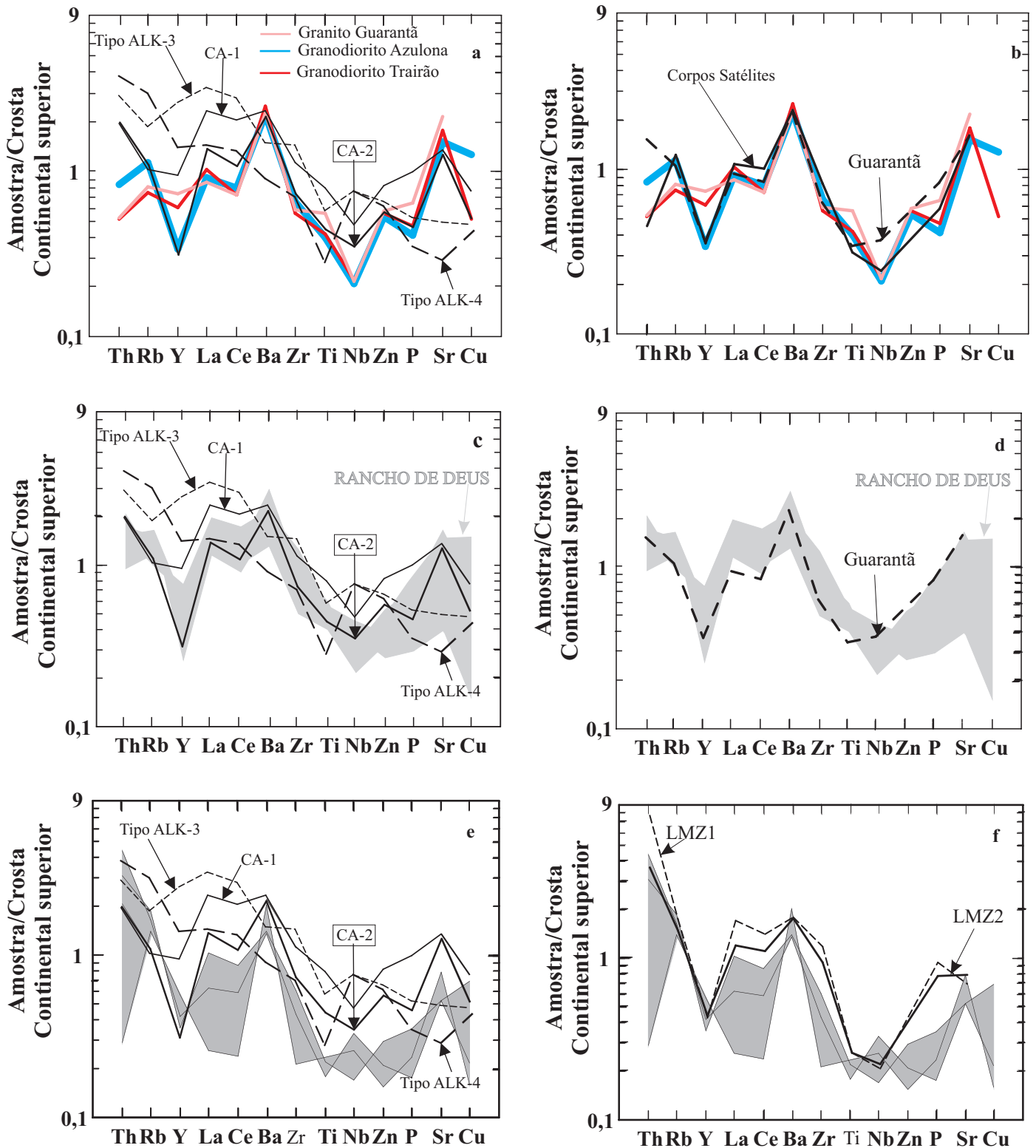


Figura 5.4 - Diagrama multi-elementos normalizados em relação à crosta superior de Taylor e McLennan (1985), comparando as composições dos granitos estudados com as de granitos arqueanos (Sylvester 1994). (A) Suite granítica Guarantã, (b) Corpos satélites do *pluton* Xinguara e Granito Guarantã; (c) Granito Rancho de Deus; (d) Comparação entre o Granito Rancho de Deus e o Granito Guarantã (Althoff 1996); (e) Corpos leucograníticos estudados; (f) Comparação entre os corpos leucograníticos e os Leucomonzogranitos do tipo 1 e 2 do corpo Xinguara (Leite 2001).

leucomonzograníticas estudadas também mostram padrões que revelam fortes similaridades geoquímicas com os granitos cálcico-alcalinos arqueanos do tipo CA2 (Sylvester 1994). Porém, mostram-se em relação aos granitos CA2, relativamente empobrecidas em muitos dos elementos considerados, o que pode ser explicado pelo caráter hololeucocrático e fortemente evoluído dos leucogranitos estudados. Estes exibem fortes analogias com os leucogranitos do corpo Xinguara, porém os últimos tendem a apresentar leve enriquecimento em La, Ce e P (Figura 5.4f).

Os padrões de ETR normalizados em relação ao condrito (Nakamura 1974) das variedades da Suíte Guarantã (Figura 5.5) deixam bastante evidente a existência de notáveis analogias entre estas e as rochas presentes nos corpos satélites do pluton Xinguara, com as amostras do Granito Guarantã (Althoff 1996), bem como com os granitos tipo CA2 (Sylvester 1994), reforçando o que foi sugerido pelos demais dados petrográficos e geoquímicos. Dentre as principais semelhanças destacam-se: 1) O comportamento do európio, que apresenta anomalias ausentes ou muito discretas, ora negativas, ora positivas; 2) o acentuado enriquecimento em elementos terras raras leves em relação aos elementos terras raras pesados, indicando que houve expressivo fracionamento dos elementos terras raras pesados. Apesar das similaridades, algumas particularidades das rochas Suíte Guarantã devem ser destacadas: a) Como mostram as razões $(La/Yb)_N$ (Tabela 5.2), o fracionamento de ETRP foi menos expressivo nas rochas da suíte estudada, quando comparadas com as rochas do Granito Guarantã (Althoff 1996) e Corpos satélites do pluton Xinguara; b) O fracionamento interno dos ETR leves e pesados tende a ser menos pronunciado nos granitos da suíte Guarantã do que naqueles estudados por Althoff (1996) e Leite (2001); c) as anomalias de Eu ausentes ou discretas, ora negativas, ora positivas, (razões Eu/Eu^* médias entre 1,01 e 0,93; Tabela 5.2), registradas na Suíte Guarantã, implicando fracionamento pouco expressivo de plagioclásio nessas rochas, são muito similares às razões do Granito Guarantã (Eu/Eu^* média de 1,01), mas bem distintas das razões das rochas dos corpos satélites do pluton Xinguara (Eu/Eu^* médias de 0,71 e 0,72; Tabela 5.2).

Os padrões de ETR do Granito Rancho de Deus (Figura 5.6) mostram notável semelhança com aqueles do Granodiorito Rio Maria das áreas Bannach e Redenção (Althoff et al. 2000, Oliveira et al. 2009), com enriquecimento dos ETR leves em relação aos pesados, e fracionamento moderado a acentuado dos ETRP, como mostram as razões $(La/Yb)_N$ (38,12 e 28,02, respectivamente, no Granito Rancho de Deus e Granodiorito Rio Maria; Tabela 5.2). As razões $(La/Sm)_N$ médias são de 7,80 e 5,9 e as razões $(Dy/Yb)_N$ médias de 1,42 e 1,42, respectivamente, nos dois granitóides citados. Portanto, o fracionamento dos ETR pesados

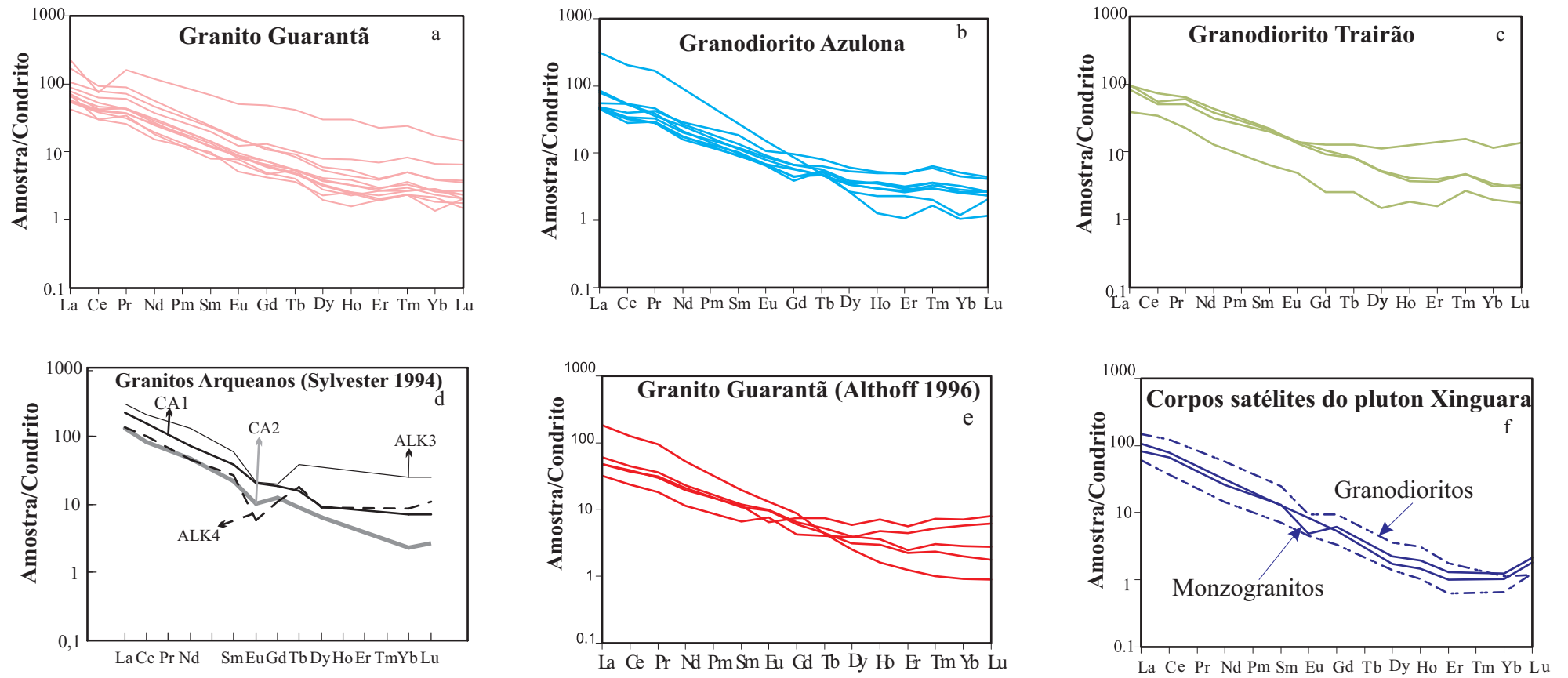


Figura 5.5 - Padrões de elementos terras raras normalizados em relação ao condrito (Nakamura 1978), comparando os granitos da Suite Guarantã com as variedades dos corpos satélites do *pluton* Xinguara, Granito Guarantã, e granitos cálcico-alcalinos e alcalinos arqueanos (Sylvester 1994).

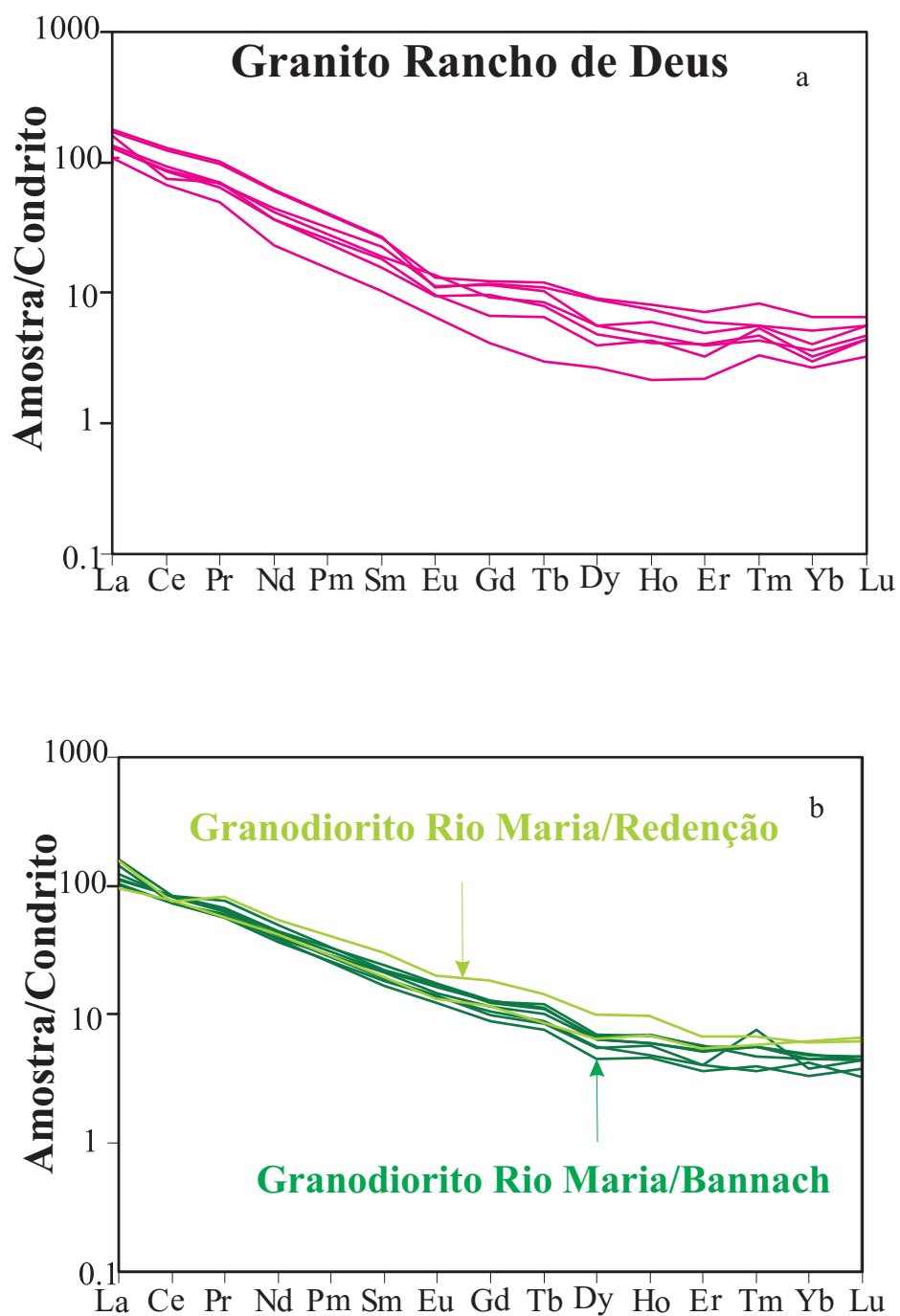


Figura 5.6 - Padrões de elementos terras raras normalizados em relação ao condrito (Nakamura 1974), comparando (a) Granito Rancho de Deus e (b) Granodiorito Rio Maria (Oliveira et al. 2009).

não foi muito pronunciado nestes granitóides e o comportamento dos ETR fortalece a hipótese de afinidade do pluton Rancho de Deus com o GDRM, sugerindo que o granito em questão pode ter sido gerado a partir de fontes ou processos similares aos que originaram o GDRM.

Os padrões de ETR exibidos pelos leucomonzogranitos estudados mostram muita semelhança com os dos leucomonzogranitos do Granito Xinguara (Leite et al. 1999, Leite 2001). Entretanto, algumas diferenças merecem ser destacadas: as rochas de Marajoara apresentam menor conteúdo de ETRL e fracionamento menos acentuado de ETRP do que os leucogranitos de Xinguara (Figura 5.7), o que se reflete nas razões $(La/Yb)_N$ que são muito mais elevadas nos últimos do que nos primeiros (Tabela 5.2) e no padrão subhorizontal de ETRP apresentados pelos leucomonzogranitos estudados (Figura 5.7a). As anomalias médias de Eu são negativas e similares em ambos os granitos mencionados (razões Eu/Eu^* 0,52 nos leucomonzogranitos de Marajoara e 0,44 e 0,40 nos de Xinguara; Tabela 5.2).

Considerando as analogias geoquímicas observadas entre o Granito Rancho de Deus e as rochas sanukitóides do Granodiorito Rio Maria, procurou-se aprofundar a comparação entre os mesmos. Para atingir tal objetivo, foram selecionados com base em estudo recente das associações sanukitóides do TGGRM (Oliveira et al. 2006, 2009), os diagramas geoquímicos TiO_2 vs. K/Na, A/CNK vs. K/Na, A/CNK vs. Mg# e Mg# vs K/Na (Figura 5.8), elaborados originalmente por Moyen et al. (2003) e utilizados também por Oliveira et al. (2009) no estudo dos Granodiorito Rio Maria. As rochas representativas do Granodiorito Rio Maria selecionadas ocorrem na região de Bannach (Oliveira et al. 2006). Também consta dos diagramas um campo definido pelos granitos cálcico-alcálicos arqueanos do TGGRM para comparações (vide Oliveira et al. 2009). Os diagramas mencionados revelam que as amostras do Granito Rancho de Deus tendem a se concentrar no prolongamento do campo definido pelas rochas sanukitóides do Granodiorito Rio Maria em direção ao campo dos granitos cálcico-alcálicos do TGGRM. Apenas as duas amostras do pequeno corpo situado a sul da Folha Marajoara (Figura 2.1) destoam de modo marcante da associação sanukitóide, em função de seu baixo Mg#. Portanto, os dados geoquímicos indicam que o Granito Rancho de Deus, embora distinto do Granodiorito Rio Maria, apresenta afinidades com as associações sanukitóides, podendo corresponder a um monzogranito geneticamente afim das mesmas, ainda que mais evoluído. Para aprofundar esta discussão seria indispensável comparar o Granito Rancho de Deus com as ocorrências de rochas sanukitóides que ocorrem na Folha Marajoara, porém isto extrapola os objetivos do presente trabalho.

Retornando à Suíte Guarantã, os dados geoquímicos aqui apresentados revelam que as rochas que a compõem apresentam maior similaridade com os granodioritos e monzogranitos

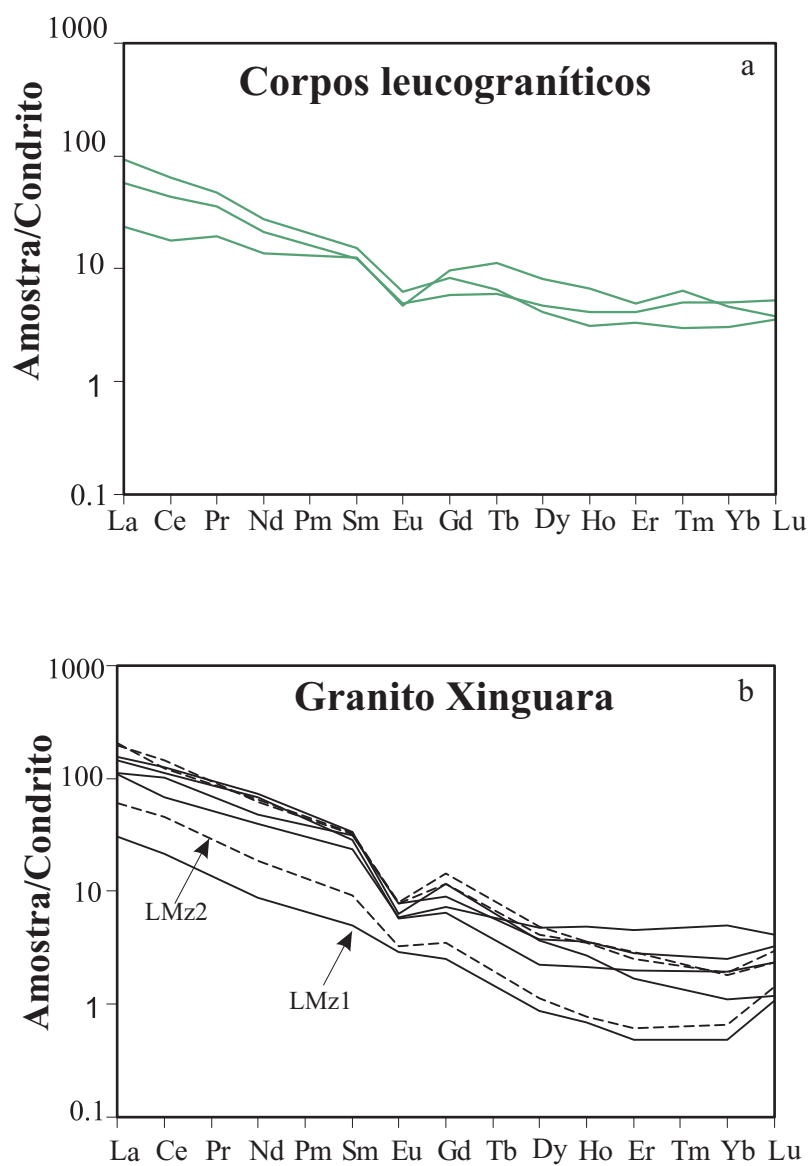
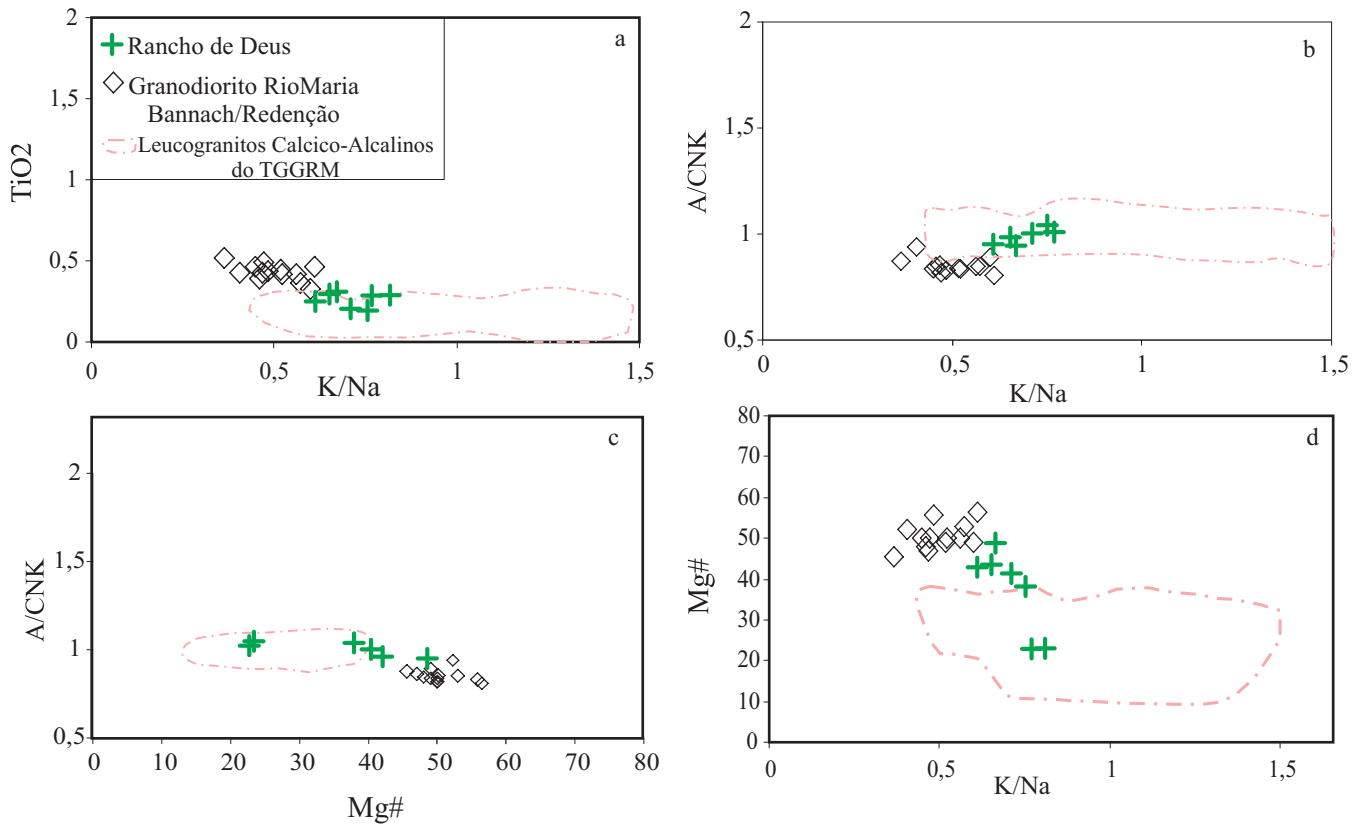


Figura 5.7 - Padrões de Elementos Terras Raras normalizados em relação ao condrito (Nakamura 1974) comparando (a) os corpos leucograníticos estudados e (b) os leucogranitos do *pluton* Xinguara (Leite 2001).



Figuras 5.8 - Diagramas binários comparando o Granito Rancho de Deus e o Granodiorito Rio Maria: (a) TiO_2 vs. K/Na , (b) A/CNK vs. K/Na , (c) A/CNK vs. $Mg\#$, (d) $Mg\#$ vs. K/Na . Diagramas baseados em Oliveira et al. (2009), onde foram obtidos os dados sobre o Granodiorito Rio Maria e os campos dos granitos potássicos do TGGRM.

dos corpos satélites do corpo de Xinguara. Os granodioritos da Suíte Guarantã podem representar igualmente termos menos evoluídos do Granito Guarantã, tal como descrito por Althoff (1996) e Althoff et al. (2000), ou essas rochas podem corresponder a uma nova ocorrência de granodioritos a monzogranitos do TGGRM. Ficou claro nesta discussão que a Suíte Guarantã não pode ser correlacionada com os granitos potássicos Xinguara e Mata Surrão, nem tampouco com o Granodiorito Rio Maria, devendo, portanto, ser considerada como uma unidade distinta.

Por mais que as comparações químicas tenham se restringido em grande parte ao Granito Xinguara, do qual se dispõe de maior volume de dados, os corpos de leucomonzogranitos de Marajoara afloram nas cercanias da área-tipo do Granito Mata Surrão, que também apresenta características similares ao Granito Xinguara. Conclui-se, portanto, que os corpos de leucogranitos estudados possuem da mesma forma afinidade geoquímica com as rochas do Granito Mata Surrão.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES

Foram distinguidos na Folha Marajoara três grupos de granitos arqueanos: Suíte Guarantã, Granito Rancho de Deus e corpos leucograníticos.

O primeiro grupo é formado por três corpos graníticos, afins do Granito Guarantã, conforme originalmente definido por Althoff (1996). Os três corpos receberam a denominação de Granito Guarantã (Gg), Granodiorito Azulona (GDaz) e Granodiorito Trairão (GDt), sendo formados por epidoto-biotita monzogranitos a granodioritos muito similares em termos geológicos, petrográficos e geoquímicos. Estas evidências, associadas a datações geocronológicas efetuadas por J.A.C. Almeida (Almeida em preparação), permitiram concluir que estes corpos são cogenéticos e levaram à proposição no presente trabalho de mudança de nomenclatura estratigráfica, associando-se os três corpos a uma mesma suíte que recebeu a denominação de Suíte Guarantã. Esta proposição implica abandonar a designação de Granito Guarantã para os corpos graníticos, expostos na estrada que liga a PA-150 com Floresta, possivelmente mais antigos, que haviam sido designados como Granito Guarantã por Althoff et al. (2000).

Os corpos Guarantã, Azulona e Trairão se orientam nas direções E-W, WNW-ESE e NNW, respectivamente, e são intrusivos no Tonalito Arco Verde (TAV), com o qual mostram contato brusco, marcado pela presença de enclaves angulosos do TAV, demonstrando a existência de elevado contraste de viscosidade entre este e o magma formador da suíte Guarantã.

O Granito Rancho de Deus, exposto na porção sudeste da Folha Marajoara, orientado segundo a direção E-W, apresenta contato a sul com o GDRM, e a norte com o Granito Guarantã, porém as relações de contato entre os mesmos não foram observadas. Seu contato com o Granito Guarantã é controlado por uma extensa zona de cisalhamento. Este pluton apresenta em imagens aeroradiométricas anomalias positivas que contrastam vivamente com o mostrado pelas encaixantes.

Pequenos corpos leucograníticos alongados nas direções E-W a NW-SE foram identificados a sudoeste e noroeste da folha. São intrusivos no TAV e no Granodiorito Rio Maria e possivelmente no Granodiorito Trairão. As feições de campo, associadas com a petrografia e a geoquímica, sugerem que estes corpos graníticos sejam contemporâneos e relacionados ao magmatismo formador do Granito Mata Surrão.

A Suíte Guarantã é formada por rochas que variam de granodioritos a monzogranitos apresentam textura porfírica, com fenocristais grossos (5 a 20 mm) de feldspato potássico

imersos em matriz equigranular média, hipidiomórfica. A transição entre as variedades da suíte é comandada pelos seguintes fatores: (1) decréscimo no conteúdo modal de minerais máficos (M'); (2) aumento do quartzo modal; (3) aumento das razões feldspato alcalino/plagioclásio (A/Pl). Muito provavelmente, essas variações também foram acompanhadas pelo decréscimo no teor de anortita do plagioclásio. Em linhas gerais as razões Pl/Mc e os valores de M' tendem a exibir valores decrescentes no sentido GDtr \rightarrow GDaz \rightarrow Gg. As feições texturais indicam que os minerais acessórios foram as primeiras fases a cristalizar, seguidos de plagioclásio e biotita; os constituintes félsicos iniciam a sua formação pouco após a biotita e a titanita é tardia comparada aos demais acessórios. O estágio subsolidus é marcado pela saussuritização do plagioclásio com formação expressiva de epidoto. A textura porfirítica presente nas rochas da suíte se formou em dois estágios: (1º) ascensão rápida do magma gerador destas rochas com conseqüente liberação de voláteis, o que imprimiria altas taxas de nucleação e baixa taxa de crescimento dos cristais (Smith & Brown 1988), e seria responsável pela formação da matriz; (2º) posteriormente, após a ascensão do magma e sua parada na crosta superior, menores taxas de resfriamento permitiriam uma baixa taxa de nucleação e maior taxa de crescimento, favorecendo, juntamente com a condição saturada em H_2O do líquido residual, a formação dos fenocristais de microclina.

O Granito Rancho de Deus (Gdr) é formado por rochas de composição monzogranítica, com textura porfirítica, apresentando fenocristais grossos (5 a 30 mm) de feldspato potássico em matriz equigranular média. A presença de anfibólio modal, ainda que em baixas proporções não fortalece a hipótese de vinculação genética entre o Granito Rancho de Deus e os granodioritos da Suíte Guarantã. Aponta, porém, no sentido de possível ligação genética com o Granodiorito Rio Maria. De acordo com diversos estudos experimentais a hornblenda cristaliza em líquidos graníticos contendo apreciáveis conteúdos de água (> 4 %). Tais evidências indicam que o magma gerador do Granito Rancho de Deus seria bastante rico em água. Oliveira et al. (2009) concluíram que o Granodiorito Rio Maria também derivou de magmas com conteúdos de água relativamente elevados e tais analogias apontam no sentido de vinculação genética entre o Granito Rancho de Deus e o Granodiorito Rio Maria.

As amostras da Suíte Guarantã são enriquecidas em Al_2O_3 , CaO, Na_2O , Ba, Sr e Ga e empobrecidas em Fe_2O_3 , K_2O , MgO, Rb e Th comparativamente ao Granito Rancho de Deus. Já os corpos leucograníticos, comparados aos dois grupos anteriores, são mais enriquecidos em SiO_2 e K_2O e empobrecidos em Fe_2O_3 , MgO, Na_2O , CaO, P_2O_5 , Ba, Sr, Zr. A suíte Guarantã e os corpos leucograníticos possuem características predominantemente peraluminosas,

enquanto que o Granito Rancho de Deus varia de metaluminoso a peraluminoso, sendo que todos os três grupos de granitos apresentam afinidade com as séries cálcico-alcálicas.

O comportamento dos elementos litófilos (Rb, Sr, Ba) sugere que o fracionamento do plagioclásio foi determinante na evolução da suíte Guarantã, enquanto que no Granito Rancho de Deus e nos leucogranitos o fracionamento de feldspato alcalino teria sido mais efetivo. Por outro lado, os padrões de ETR mostram que os granodioritos e monzogranitos da Suíte Guarantã são desprovidos de anomalias de Eu ou apresentam anomalias discretas, ora positivas, ora negativas, como é evidenciado por suas razões Eu/Eu^* que oscilam em torno da unidade. Já as amostras do Granito Rancho de Deus tendem a apresentar discretas anomalias negativas de Eu e os leucogranitos anomalias negativas marcantes. Os padrões apresentados pelas rochas da Suíte Guarantã e do Granito Rancho de Deus mostram em geral uma concavidade nos ETR intermediários e pesados que aponta para possível fracionamento de anfíbólio durante a evolução destas rochas.

Os granitóides da suíte Guarantã não apresentam homogeneidade composicional marcante, pois dados petrográficos e geoquímicos indicam variações expressivas dentro do mesmo corpo. Tal fato aponta para derivação das rochas da suíte a partir de magmas afins, mas não de um único líquido magmático.

As rochas do Granito Rancho de Deus e da Suíte Guarantã são análogas geoquimicamente aos granitos arqueanos cálcico-alcálicos do tipo CA2 (Sylvester 1994). Porém, apresentam contrastes acentuados em termos do comportamento dos elementos litófilos e moderados nos ETR, sugerindo que estes dois grupos não se formaram a partir de um mesmo magma parental, apesar da sua associação no espaço. A hipótese assumida é que estas rochas se originaram de fontes ou por processos distintos e que seus magmas evoluíram independentemente.

Comparações entre os três grupos de granitos estudados e corpos afins do TGGRM revelaram que as rochas da suíte Guarantã apresentam maior similaridade com os granodioritos e monzogranitos dos corpos satélites do pluton Xinguara, podendo também representar termos menos evoluídos do Granito Guarantã, tal como originalmente definido (Althoff 1996). O Granito Rancho de Deus apresenta maiores afinidades petrográficas e geoquímicas com o Granodiorito Rio Maria e rochas sanukitóides afins, podendo corresponder a um termo mais evoluído da associação sanukitóide. Os corpos leucograníticos, por sua vez, possuem afinidade petrográfica e geoquímica com o Granito Mata Surrão.

O estudo realizado demonstra que, além dos leucogranitos cálcico-alcálicos ricos em potássio, representados pelos granitos Xinguara e Mata Surrão, leucogranodioritos e

monzogranitos menos evoluídos, aqui definidos como Suíte Guarantã, tiveram um papel importante na evolução do TGGRM. Esta suíte encontra-se melhor exposta na Folha Marajoara, mas corpos com características similares, tais como os corpos satélites do pluton Xinguara, já foram identificados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ALMEIDA, J.A.C. 2005. Geologia, Petrografia e Geoquímica do Granito Anorogênico Bannach, Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria-Pará. Universidade Federal do Pará. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. (Dissertação de Mestrado).
- ALMEIDA, J.A.C.; DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, D.C. 2006. Geologia, Petrografia e Geoquímica do Granito Anorogênico Bannach, Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **36**: 282 - 295.
- ALMEIDA, J.A.; OLIVEIRA, M.A; DALL'AGNOL, R.; MUNHOZ, R. 2008. Mapeamento geológico da folha Marajoará, SB – 22 –ZCV. Estado do Pará. Escala 1:100 000. Programa GEOBRASIL.
- ALMEIDA, J.A.C., em preparação, Evolução Geológica do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria. Universidade Federal do Pará. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. (Tese de Doutorado).
- ALTHOFF, F.J.; DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z.S.,1991. Região de Marajoara - SE do Pará: prolongamento dos terrenos arqueanos de Rio Maria ou retrabalhamento. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 3, Belém, 1991. Anais... Belém, SBG, p. 130 - 141.
- ALTHOFF, F.J.; BARBEY, P.; BOULLIER, A.M.; DALL'AGNOL, R., 1995. Composição e estrutura dos granitóides arqueanos da região de Marajoara. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Série Ciências da Terra, 7:p. 5-26.
- ALTHOFF, F.J. 1996. *Etude pétrologique et structurale des granitoïdes de Marajoara (Pará, Brésil): leur rôle dans l'évolution archéenne du craton Amazonien (2,7-3,2 Ga)*. Université Henri Poincaré, Nancy I – France. p. 296. (Tese de Doutorado).
- ALTHOFF, F.J.; BARBEY, P.; MACAMBIRA, M.J.B.; SCHELLER, T.; LETERRIER, J.; DALL'AGNOL, R.; LAFON, J.M. 1998. La croissance du craton sud-amazonien (région de Rio Maria, Brésil). In: RÉUNION DES SCIENCES DE LA TERRE. *Resumés*. Brest, Société Géologique de France, p. 62.
- ALTHOFF, F.J.; BARBEY, P.; BOULLIER, A.M.; DALL'AGNOL, R. 1999. Plutonismo e deformação entre 3,0 e 2,8 Ga no Cráton Amazônico os granitóides arqueanos de Marajoara – SE do PA. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6, Manaus. *Anais...*Manaus: SBG p. 547-550.

- ALTHOFF, F. J.; BARBEY, P.; BOULLIER., 2000. 2,8-3,0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral Province, Brazil) - *Precambrian Research* 104 (2104): p. 187-206.
- ALTHOFF, F.J.; MACAMBIRA, M.J.B.; BARBEY, P.; DALL'AGNOL, R. 2005. Granito Guarantã: Evidência de um ciclo precoce de geração de monzogranitos no Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, Cráton do Amazonas. In: *Semana de Geoquímica*, 14., Portugal. Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa. 7., p. 455-458.
- ARAÚJO, O.J.B.; MACAMBIRA, E.M.B.; VALE, A.G.; OLIVEIRA, J.R.; SILVA NETO, C.S.; COSTA, E.J.S.; SANTOS, A.; PENA FILHO, J.J.C.; NEVES, A.P.; JORGE JOÃO, X.S.; COSTA, J.B.S., 1994. Primeira integração das investigações geológicas do Programa Grande Carajás na região SSE do Estado do Pará. In: *SIMP. GEOL. AMAZ.*, 4., Belém, 1994. *Boletim de Resumos Expandidos*. Belém. SBG. p. 299-301.
- AVELAR, V.G. 1996. Geocrologia Pb-Pb por evaporação em monocristal de zircão, do magmatismo da região de Tucumã, SE do Estado do Pará, Amazônia Oriental. Belém, Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. p.199. (Dissertação de Mestrado).
- AVELAR, V.G.; LAFON, J.M.; CORREIA J.R.F.C.; MACAMBIRA, E.M.B., 1999. O magmatismo arqueano da região de Tucumã – Província Mineral de Carajás: Novos dados geocronológicos. *Revista Brasileira de Geociências*, 29(4): 453-460.
- BARBOSA, A. A.; LAFON, J. M.; NEVES, A. P.; VALE, A. G., 1994. O Granito Redenção (sul do Pará): novos dados geocronológicos Pb-Pb e Rb-Sr. In: *SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA*. *Boletim de Resumos Expandidos*. Belém, SBG. p. 302-306.
- BARROS, C.E.M.; MACAMBIRA, M.J.B.; BARBEY, P.; SCHELLER, T., 2004. Dados isotópicos Pb-Pb em zircão (evaporação) e Sm-Nd do Complexo Granítico Estrela, Província Mineral de Carajás, Brasil: Implicações petrológicas e tectônicas. *Revista Brasileira de Geociências*. 34:531-538.
- BITENCOURT, M.F.; NARDI, L.V.S.; 1986. Metamorfismo e deformação dúctil de rochas graníticas. *Acta Geológica. Leopoldensia*, 23: 33-56.
- CASSIDY, K.F.; BARLEY, M.E.; GROVES, D.I.; PERNG; C.S.; HALLBERG, J.A. 1991. An overview of the nature, distribution and inferred tectonic setting of granitoids in the Late Archean Norseman-Wiluna Belt. *Precambrian Research*. 51:51-83.
- CHAYES, F. 1956. Petrographic modal analysis: an elementary statistical appraisal. New York, John Wiley e Sons. p.113.

- CONDIE, K.C., 1993. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: Contrasting results from surface samples and shales. *Chemical Geology*, **104**: 1-37.
- CONDIE, K.C.; HUNTER, D.R., 1976. Trace elements geochemistry of Archean granitic rocks from Barberton region, South Africa. *Earth and Planetary Science Letters*, **29**:389-400.
- COSTA, J.B.S.; TEIXEIRA, N.P.; PINHEIRO, R.V.L.; BEMERGUY, R.L., 1990. Os sistemas estruturais transcorrentes do Cinturão Itacaiúnas na região de Curionópolis, leste do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal. *Anais...* Natal: SBG. v.5, p.2345-2357.
- COSTA, J.B.S.; ARAÚJO, O.J.B.; SANTOS, A.; JORGE JOÃO, X.S.; MACAMBIRA, M.J.B.; LAFON, J.M., 1995. A província mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Ciências da Terra*, **7**:199-235.
- COSTA, C.M.A., 2009. Petrografia e Geoquímica de rochas tonalíticas-trondhjemíticas-granodioríticas da faixa central (EW) da Folha Marajoara, sudeste do Pará. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. Trabalho de Conclusão de curso.
- CPRM. 2000. Xinguara, Folha SB.22-Z-C. Estado do Pará. Escala 1:250.000. Brasília. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.
- CPRM. 2004. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Escala 1:1000.000. Mapa Geológico do Brasil - 41 mapas. Brasília, CPRM-MME. (em CD-ROM).
- DALL'AGNOL, R.; LAFON, J.M.; MACAMBIRA, M.J.B.; 1994. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian province, Amazonian Craton. *Geochronological, Petrological and Geochemical aspects. Mineralogy and Petrology*. **50**: p. 113-138.
- DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z.S.; ALTHOFF, F.J.; MACAMBIRA, M.J.B.; LEITE, A.A.S. 1996. Geology and geochemistry of the Archean Rio Maria Granite-greenstone Terrain, Carajás province, Amazonian craton. In: SYMP. ARCHEAN TERRAIN SOUTH AMERICAN PLATFORM. Brasília. *Extended abstracts*. SBG. p. 29-30.
- DALL'AGNOL, R.; COSTI, H.T.; LEITE, A.A.S., 1997. Rapakivi granites from Brazil and adjacent countries. In: INTERN. SYMP. ON GRAN. AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS. Superintendência de Geologia e Recursos Minerais-SGM, Salvador. p. 185.

- DALL'AGNOL, R.; RAMÖ, O.T.; MAGALHÃES, M.S.; MACAMBIRA, M.J.B., 1999a. Petrology of the anorogenic, oxidised Jamon and Musa granites, Amazonian Craton: implications for the genesis of Proterozoic, A-type Granites. *Lithos*. **46**: 431-462.
- DALL'AGNOL, R.; TEIXEIRA, N.P.; BETTENCOURT, J.S.; RÄMÖ, O.T.; MACAMBIRA, M.J.B., 1999b. Contrasts Between Paleoproterozoic, A- type granites of the Archean Carajas Province, southeastern Amazonian craton, Brazil: metallogenic and petrogenetic implications. In: BRGM (Editor). THE ORIGIN OF GRANITES AND RELATED ROCKS, IVTH HUTTON SYMPOSIUM ABSTRACTS. *Géologie régionale et générale*. Clermont-Ferrand, France, pp. 141.
- DALL'AGNOL, R.; LAFON, J.M.; FRAGA, L.M.; SCANDOLARA, J.; BARROS, C.E.M. 2000. The Precambrian Evolution of the Amazonian Craton: one of the last Unknown Precambrian Terranes in the World. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31. Rio de Janeiro. *Abstracts*. Rio de Janeiro: CPRM. (CD ROM). K.4
- DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, D.C.; MACAMBIRA, M.J.B.; LAMARÃO, C.N., 2002. Diques proterozóicos do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria: A descoberta de Diques Compostos e novos dados geocronológicos. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 2., Belém. *Boletim de resumos*. Belém.p. 13.
- DALL'AGNOL, R.; TEIXEIRA, N. P.; RÄMO, O.T.; MOURA, C.A.V.; MACAMBIRA, M.J.B.; OLIVEIRA, D.C. 2005. Petrogenesis of the Paleoproterozoic rapakivi A-type granites of the Archean Carajás metallogenic province, Brazil. *Lithos*, **80**: 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., 2006. 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. Abstracts Volume and Field Trips Guide. Belém, PRONEX-UFPA/SBG-NO, 97-150.
- DAVIS, W.J.; FRYER, B.J.; KING, J.E. 1994. Geochemistry and evolution of late Archean plutonism and its significance to the tectonic development of the Slave Craton. *Precambrian Research*. **67**:207-241.
- DEBON, F. & LE FORT, P. 1988. A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations: principles, method, applications. *Bull. Mineral.* 111: 493-510.
- DIAS, S. B. 2007. Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica de leucogranitos aflorantes na porção leste de Bannach, SE-Pa. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências (Trabalho de Conclusão de curso).

- DOCEGEO (Rio doce Geologia e Mineração - Distrito Amazônia) 1988. Revisãolitoestratigráfica da província Mineral de Carajás, Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35., Belém. Anexos. Belém, SBG. Vol. Província Mineral de Carajás-Litoestratigrafia e Principais Depósitos Minerais. p. 11-54.
- DUARTE, K.D. 1992. Geologia e geoquímica do Granito Mata Surrão (SW de Rio Maria-Pa): um exemplo de granito “stricto sensu” Arqueano. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 217 p. (Dissertação de Mestrado).
- DUARTE, K.D.; PEREIRA, E.D.; DALL’AGNOL, R.; LAFON, J.M. 1991. Geologia e geocronologia do Granito Mata Surrão – sudoeste de Rio Maria (Pa). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA.3., Belém. *Anais...* Belém. SBG. p. 7-20.
- DAVIS, W.J.; FRYER, B.J.; KING, J.E. 1994. Geochemistry and evolution of late Archean plutonism and its significance to the tectonic development of the Slave Craton. *Precambrian Research*. **67**:207-241.
- FERREIRA, A.T.R. 2009. Petrografia, Geoquímica e Geocronologia dos diques da área de Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, SE do Pará. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. (Trabalho de Conclusão de curso).
- FÖRSTER, H.J.; TISCHENDORF, G.; TRUMBULL, R.B., 1997. An evaluation of the Rb vs. (Y+ Nb) discrimination diagram to infer tectonic setting of silicic igneous rocks. *Lithos* **40**, 261-293.
- GALARZA-TORO, M.A.; MACAMBIRA, M.J.B.; VILLAS, R.N.N., 2002. Geocronologia e geoquímica isotópica (Pb, S, C e O) do depósito de Cu-Au do Igarapé Bahia, Província Mineral de Carajás (PA), Brasil. In: Congresso Brasileiro Geologia. João Pessoa. 41., *Anais ...* João Pessoa: SBG. p.493.
- GASTAL, M.C.P. 1987. Petrologia do Maço Granítico Musa. Sudeste do Pará. Belém, Universidade federal do Pará. Instituto de Geociências. Dissertação de Mestrado. p.316.
- GROMET, L.P. & SILVER, L.T. 1983. Rare earth element distribution among minerals in a granodiorite and their petrogenetic implications. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **47**: 925-939.

- GUIMARÃES, F.V., DALL'AGNOL R., ALMEIDA, J.A.C, OLIVEIRA., M.A. Submetido. Caracterização Geológica, Petrográfica e Geoquímica do Trondhjemitó Mogno e Tonalito Mariazinha, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria – Pará. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. (Dissertação de Mestrado).
- HALLA, J., 2004. Late Archean high-Mg granitoids (sanukitoids) in the southern Karelian domain, eastern Finland: Pb and Nd isotopic constraints on crust–mantle interactions. *Lithos* 79, 161–178.
- HANSON, G.N. 1978. The application of trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition. *Earth and Planetary Science Letters*, **38**: 26-43.
- HANSON, G.N. 1989. An Approach to Trace Element Modeling Using a Simple Igneous System as an Example. In: B.R. LIPIN & G.A. McKAY (Editors), *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements*. Washington, D.C., Mineralogical Society of America, p. 79-97. (Reviews in Mineralogy, 21).
- HART, S. R., AND ALDRICH, L.T. 1967. Fractionation of potassium/rubidium by amphiboles: Implications regarding mantle composition. *Science* 155: 325-327.
- HARKER, A. 1965. *The natural history of igneous rocks*. New York. Macmillan, 384p.
- HEIER, K. S. & TAYLOR S. R (1959) Distribution of Ca, Sr, and Ba in southern Norwegian Pre-Cambrian alkali feldspars . *Geochim' Cosmochim. Acta* 17,28G304.
- HIBBARD, M.J. 1995. Mixed magma rocks. In: *PETROGRAPHY to petrogenesis*. New Jersey, Prentice-Hall, Inc. p. 242-260.
- HIRATA, W.K.; RIGON, J.C.; KADEKARU, K.; CORDEIRO, A.A.C.; MEIRELES, E.A. 1982. Geologia Regional da Província Mineral de Carajás. In: SIMP. GEOL. AMAZ. Belém. *anais...* Belém. SBG, v.1, p. 100-110.
- HUHN, S.R.B.; SANTOS, A.B.S.; AMARAL, A.F.; LEDSHAM, E.J.; GOUVEIA, J.L., MARTINS, L.B.P.; MONTALVÃO, R.M.G.; COSTA, V.G., 1988. O terreno granito-greenstone da região de Rio Maria - Sul do Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Belém. *Anais...* Belém, SBG. 3:1438-1453.
- KLIMM, K.; HOLTZ, F.; JOHANNES, W.; KING, P. L., 2003. Fractionation of metaluminous A-type granites: an experimental study of the Wangrah Suite, Lachlan Fold Belt, Australia. *Precambrian Research*, **124**: 327-341.

- KRÖNER, A.; LAYER, P.W., 1992. Crust formation and plate motion in the early Archean. *Science*, **256**:1405-1410.
- KRÖNER, A. 1991. Tectonic evolution in the Archean and Proterozoic. *Tectonophysics*, 87:393-410.
- LAFON, J.M.; RODRIGUES, E.; DUARTE, K.D., 1994. Le granite Mata Surrão: un magmatisme monzogranitique contemporain des associations tonalitiques-trondhjemitiques-granodioritiques archéennes de la région de Rio Maria (Amazonie Orientale, Brésil). *Comptes Rendues de la Academie de Sciences de Paris*, t. 318, serie II, p. 642-649.
- LAFON, J. M. & SCHELLER, T. 1994. Geocronologia Pb/Pb em zircão do Granodiorito Cumaru, Serra dos Gradaús, PA. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA.4., Belém. *Boletim de Resumos Expandidos*. Belém, SBG/NO. p. 321-323.
- LA ROCHE, H.; LETERRIER, J.; GRANDCLAUDE, P.; MARCHAL, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1 R2- diagram and major-element analyses its relationships with current nomenclature. *Chem. Geol.* 29:183-210.
- LE MAITRE, R.W. 2002. *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. 2nd Edition, London, 193 p.
- LEITE, A.A.S. 1995. *Geologia e geoquímica do maciço granítico Arqueano Xinguara – sudeste do Estado do Pará*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Pós-Graduação em Geoquímica e Petrologia. Dissertação de Mestrado, 201p.
- LEITE, A.A.S.; DALL'AGNOL, R. 1997. Geologia e petrografia do maciço granítico Arqueano Xinguara e de suas encaixantes - SE do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Série Ciência da Terra*. **9**:43-81.
- LEITE, A. A. S.; DALL'AGNOL, R.; ALTHOFF, F.J.; 1999. Geoquímica e aspectos petrogenéticos do granito Xinguara, Terreno granito-greenstone de Rio Maria – Cráton. *Revista Brasileira de Geociências*.
- LEITE, A. A. S. 2001. 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.

- LEITE, A.A.S.; DALL'AGNOL, R.; MACAMBIRA, M.J.B.; ALTHOFF, F.J., 2004. 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*. **34**, 447-458.
- MACAMBIRA, M.J.B.; LANCELOT, J. 1991. História arqueana da região de Rio Maria, SE do Estado do Pará, registrada em zircões detríticos de "greenstone belts" e de cobertura plataformal. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA.3., Belém. *Anais...* Belém.SBG. p. 59-69.
- MACAMBIRA, M.J.B.; LANCELOT, J.R., 1996. Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria crust, Southeastern Amazonian craton, Brazil. *Intern. Geol. Rev.* **38**, 1134–1142.
- MACAMBIRA, M.J.B. 1992. *Chronologie U/Pb, Rb/Sr, K/Ar et croissance de la croûte continentale dans l'Amazonie du sud-est; exemple de la région de Rio Maria, Province de Carajás, Brésil*. Montpellier, Université Montpellier II-France.(Tese de Doutorado). p. 212
- MACAMBIRA, M. J. B. & LAFON, J. M. 1995. Geocronologia da Província Mineral de Carajás; Síntese dos dados e novos desafios. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Ciências da Terra*, Belém, (7): 263-287.
- MACHADO, N.; LINDENMAYER, Z.; KROGH, T.E.; LINDENMAYER, D., 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás área, Amazon Shield, Brazil. *Precambrian Research* **49**, 329-354.
- MARRE, J. 1982. Méthodes d'analyse structurale des granitoïdes. BRGM, Orléans, 126p.
- MARTIN, H. ; SMITHIES, R. H. ; RAPP, R., MOYEN, J. F.; CHAMPION, D. 2005. An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG) and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution. *Lithos*, **79**: 1-24p.
- MEDEIROS, H.; GASTAL, M.C.P.; DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z.S. 1987. Geology of the Rio Maria area (Eastern Amazonian Region - Brasil): an example of Archean granite-greenstone terrane intruded by anorogenic granites of Middle Proterozoic ages. In: IGCP-IUGS. Precambrian Evolution of the Amazonian Region, Carajás. Project 204. Final Meeting of the Working Group. *Extended Abstract*. Carajás. p. 7-105.
- MEDEIROS, H. & DALL'AGNOL, R. 1988. Petrologia da porção leste do Batólito Granodiorítico Rio Maria, sudeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA.35., Belém. *Anais...* Belém. SBG. v 3, p.1488-1499.

- MONTALVÃO, R.M.G.; BEZZERRA, P.E. L.; PRADO, P.; FERNADES, C.A.C.; SILVA, G.H.; BRIM, R.J.P. 1982. Características petrográficas e geoquímicas do Granito Redenção e suas possibilidades metalogenéticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGICO. 32., Salvador. SBG, vol. 2, p. 520 - 548.
- MOYEN J. F., STEVENS G. 2005: Experimental constraints on TTG petrogenesis: Implications for Archaean geodynamics. In Benn, Condie, Mareschal eds., "Archean Geodynamic Processes", AGU monographs, in press. In: Benn, K.C. Condie and Mareschal (Editors), Archean Geodynamic Processes. AGU monographs, pp. in press.
- NANEY, M.T., 1983. Phase equilibria of rock-forming ferromagnesian silicates in granitic systems. *American Journal of Science* 283, 993–1033.
- NAKAMURA, N. 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 38:757-775.
- O'CONNOR J.T. 1965. A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios. *US Geological Survey Professional Papers*, 525B: 79-84.
- OLIVEIRA, D.C. 2001. Geologia, geoquímica e petrologia magnética do granito paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico. Belém. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. Dissertação de Mestrado. 207 p.
- OLIVEIRA, M.A. 2005 Geologia, Petrografia e Geoquímica do Granodiorito Sanukitóide Arqueano Rio Maria e Rochas máficas associadas, leste de Bannach – Belém, Universidade Federal do Para. Instituto de Geociências. Dissertação de Mestrado.
- OLIVEIRA, D.C., 2006. Modelos de evolução e colocação dos granitos paleoproterozóicos da Suíte Jamon, SE do Cráton Amazônico. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências.
- OLIVEIRA, M. A.; DALL'AGNOL, R.; ALTHOFF, F. J., 2006. 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*. 36 (2), 313-326.
- OLIVEIRA, M. A.; DALL'AGNOL, R.; ALTHOFF, F. J., 2009. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. (27) 146–160.

- OLIVEIRA, M. A., em prep. Petrogênese e Evolução Magmática do Granodiorito Sanukitóide Arqueano Rio Maria e Rochas Máficas Associadas, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Cráton Amazônico. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências.
- PEARCE, J.A.; HARRIS, N.B.W.; TINDLE, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrology*, **25**: 956-983.
- PITCHER, W.S. & BERGER, A.R. 1972. The controls of contact metamorphism. In: W.S. PITCHER & A.R. BEGER (Editors), *The geology of Donegal: a study of granite emplacement and unroofing*. New York, John Wiley & Sons. pp. 302-327.
- PIMENTEL, M. M. & MACHADO, N. 1994. Geocronologia U-Pb dos Terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia.38.,Camboriú. Boletim de Resumos Expandidos. Camboriú. p. 390-391.
- RAMBERG, H., 1962, Intergranular precipitation of albite formed by unmixing of alkali feldspar: *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*, v. 98.
- RAGLAND, P.C., 1989. *Basic analytical Petrology*. **2**. New York,Oxford University Press.
- RIDLEY, J.R. 1992. The tectonic causes and effects of voluminous, late Archaean: terrains, processes and metallogeny. *Geology Dept. & University Extension, The University of Western Australia Publications*, **22**:275-285.
- RIVALENTI, G.; MAZZUCHELLI, M.; GIRARDI, V.A.V.; CAVAZZINI, G.; FINATTI, C., BARBIERI, M.A.; TEIXEIRA, W. 1998. Petrogenesis of the Paleoproterozoic basaltic-andesite-rhyolite dyke association in the Carajás region, Amazonian craton. *Lithos*, **43**: 235-265.
- RHODES, J. M. 1969. On the chemistry of potassium feldspars in granite rocks. *Chemical Geol.* **4**: 373.
- ROCHA Jr., G.L.D. 2004. *Caracterização petrográfica do Granito Paleoproterozóico Marajoara, Terreno Granito- Greenstone de Rio Maria, SE do estado do Pará. Belém*. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 45p. Trabalho de Conclusão de Curso.
- ROLANDO, A.P.; MACAMBIRA, M.J.B. 2003. Archean crust formation in Inajá range área, SSE of Amazonian Craton, Brazil, baseado n zircon ages and Nd isotopes. Simpósio de Geologia Isotópica Sulamerinaco 4.

- ROLLINSON, H., 1993. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*, Zimbabwe, pp. 1-344.
- SANTOS & PENA FILHO 2000. Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil, Região de Xinguara, folha Xinguara (SB-22-Z-C), Estado do Pará. Texto explicativo, Brasília, DNPM/CPRM. p.120.
- SANTOS, J.O.S.; REIS, N.J.; CHEMALE, F.; HARTMANN, L.A.; PINHEIRO, S.S.; McNAUGHTON, N. J. 2003. Paleoproterozoic Evolution of Northwestern Roraima state – absence of Archean Crust, based on U-Pb and Sm-Nd Isotopic evidence. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 4, 24-27. p. 278-281.
- SEN, N., NOCKOLDS, S. R., ALLEN, R. 1959. *Traces elements in minerals from rocks of the southern Californian batholith*. Contrib. Mineral. Petrol., Acta, 16: 58-78.
- SHAND, S.J. - 1951 - *Eruptive Rocks*. New York, John Wiley & Sons. 488p.
- SIAL, A. N. 1990. Epidote-bearing calc-alkalic granitoids in northeast Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 20:88-100.
- SILVA Jr., R. O. 1996. Geologia, petrografia e geoquímica dos diques da região de Rio Maria, SE-Pará. Belém, Universidade Federal do Pará. Dissertação de Mestrado - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Instituto de Geociências, UFPA. p.123.
- SILVA Jr, R.O.; DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, E.P. 1999. Geologia, petrografia e geoquímica dos diques proterozóicos da região de Rio Maria, sudeste do Pará. *Geoquímica Brasiliensis*, 13:122-123.
- SOUZA, Z.S. 1994. Geologia e petrogênese do Greenstone Belt Identidade: implicações sobre a evolução geodinâmica do terreno granito-greenstone de Rio Maria, SE do Pará. Universidade Federal do Pará. Tese de Doutorado. 1 e 2:624p.
- SOUZA, Z.S.; MEDEIROS, H.; ALTHOFF, F.J.; DALL'AGNOL, R. 1990. Geologia do terreno granito-greenstone Arqueano da região de Rio Maria, Sudeste do Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia.36., Natal. Anais... Natal, SBG.6: p. 2913-2928.
- SOUZA, Z.S.; DALL'AGNOL, R.; ALTHOFF, F.J.; LEITE, A.A.S. 1996. Carajás mineral province: geological, geochronological and tectonic constrast on the archean evolution of the Rio Maria granite-greenstone terrain and the Carajás block. SYMPOSIUM. ARCHEAN TERRAIN SOUTH AMERICAN. Plataform. SBG. p. 31-32.

- SOUZA, Z.S.; POTREL, P.; LAFON, J. M.; ALTHOFF, F.J.; PIMENTEL, M.M.; DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, C. G. 2001. Isótopos de Nd, Pb e Sr de greenstone belt arqueano da região de Rio Maria, SE do Pará: implicações na evolução geodinâmica do Cráton Amazônico. In: Simpósio Geologia Amazônia, 7., Belém. *Boletim de resumos expandidos*. Belém. SBG/NO. (CD-ROM).
- SPEAR, F.S., 1981. An experimental study of hornblende stability and compositional variability in amphibolite. *American Journal Science* 281, 697e734.
- SMITH, J. V. 1974. *Feldspar Minerals*. New York, Springer-Verlag. 690 p.
- SMITH, J.V. & BROWN, W.L. 1988. *Feldspar Minerals*. 1. Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag. 828 p.
- STRECKEISEN, A. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews*, 12:1-33.
- SYLVESTER, P.J. 1989. Post-collisional alkaline granites. *J. Geol.* 97, 261-280.
- SYLVESTER, P.J. 1994. Archean granite plutons. In: Condie, K. C. (ed.) *Developments in precambrian geology 11*. Archean crustal evolution. Amsterdam, Elsevier. p. 261-314.
- S WANSON, S.E. 1977. Relation of nucleation and crystal growth rates to the development of granitic textures. *Amer. Mineral.* 62 (9 e 10): 966-978.
- VALE, A.G.; NEVES, P.N.O., 1994. Granito Redenção: estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA.38., Balneário Camboriú. Resumos. Balneário Camboriú: SBG. v. 1, p.149-150.
- 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. 2008a. 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.
- TASSINARI, C.C.G. & MACAMBIRA, M. 2004. A evolução tectônica do Craton Amazonico. In: MANTESSO – NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO NEVES, B.B. (Eds.), *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques Almeida*. São Paulo, p. 471-486.

TAYLOR, S.R.; MCLENNAN, S.M. 1985. *The continental crust: Its composition and evolution*. Backwell Scientific, Oxford, 321p.

WEDEPOHL, K.H., 1970. *Rubidium*, *Handbook of geochemistry*. Berlin, Springer-Verlag, pp. 37-B - 37-N.

WEDEPOHL, K.H., 1972. *Barium*, *Handbook of geochemistry*. Berlin, Springer-Verlag, pp. 56-D - 56-N.

WEDEPOHL, K.H., 1974. *Strontium*, *Handbook of geochemistry*. Berlin, Springer-Verlag, pp. 38-A - 38-N.

WHALEN, J.W.; CURRIE, K.L.; CHAPPEL, B.W., 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petrol.* **95**: 407-419

ANEXOS

Anexo A - Lista de amostras estudadas neste trabalho.

AMOSTRA	LITOTIPO	LÂMINA	A_M	QUIMICA	AMOSTRA	X_COORD	Y_COORD	X_COORDX	Y_COORDY	X_COORDI	Y_COORDI
MAR-06B	suíte Guarantã (Gg)				X	602073	9135942	-50,07419	-7,81588		
MAR-07	suíte Guarantã(Gg)	X			X	601914	9136034	-50,07563	-7,81508		
MAR-08	suíte Guarantã(Gg)	X			X	599627	9136610	-50,09639	-7,80991		
MAR-08B	suíte Guarantã(Gg)				X	599627	9136610	-50,09639	-7,80988		
MAR-09	suíte Guarantã(Gg)	X	X	X	X	598240	9137060	-50,10897	-7,80587		
MAR-10	suíte Guarantã(Gg)	X	X	X	X	596897	9137060	-50,12115	-7,80589		
MAR-11	suíte Guarantã				X	596103	9136440	-50,12834	-7,81152		
MAR-13	C.Lueucograníticos	X		X	X	595130	9135530	-50,13715	-7,81976		
MAR-14	suíte Guarantã(Gg)	X		X	X	595078	9135266	-50,13762	-7,82213		
MAR-19B	suíte Guarantã(Gdaz)				X	573691	9118652	-50,33135	-7,97275		
MAR-21	suíte Guarantã(Gdaz)				X	571887	9119672	-50,34773	-7,96358		
MAR-21C	suíte Guarantã(Gdaz)				X	571887	9119672	-50,34774	-7,96355		
MAR-26	suíte Guarantã(Gdaz)				X	567455	9122146	-50,38798	-7,94126		
MAR_31	suíte Guarantã(Gdaz)	X	X		X	568831	9121906	-50,37549	-7,94339		
MAR-36	suíte Guarantã(Gdaz)				X	568828	9131752	-50,37565	-7,85436		
MAR-37	suíte Guarantã(Gdaz)	X			X	568755	9132564	-50,37633	-7,84701		
MAR-38	suíte Guarantã(Gdaz)	X	X	X	X	568324	9136768	-50,38029	-7,80899		
MAR-40	suíte Guarantã(Gdaz)	X			X	566187	9137100	-50,39968	-7,80602		
MAR_41	suíte Guarantã(Gdaz)					566187	9137100				
MAR_42	suíte Guarantã(Gdaz)					565133	9138176				
MAR-46	suíte Guarantã(Gdaz)				X	568811	9137414	-50,37588	-7,80314		
MAR-49	suíte Guarantã(Gdaz)	X	X		X	576078	9139852	-50,31001	-7,78099		
MAR-50	suíte Guarantã(Gdaz)	X	X	X	X	575225	9138710	-50,31773	-7,79133		
MAR-51	suíte Guarantã(Gdaz)	X			X	575239	9137786	-50,31759	-7,79969		
MAR_52	suíte Guarantã(Gdaz)				X	574159	9131632	-50,32730	-7,85534		
MAR-63A	suíte Guarantã(Gg)				X	597110	9137678	-50,11923	-7,80030		
MAR-63E	suíte Guarantã(Gg)	X			X	597110	9137678	-50,11924	-7,80027		
MAR-64	suíte Guarantã(Gg)	X	X	X	X	597196	9138420	-50,11847	-7,79359		
MAR-65B	suíte Guarantã(Gg)				X	597288	9139438	-50,11766	-7,78435		
MAR-70	suíte Guarantã(Gg)	X	X	X	X	595176	9136636	-50,13675	-7,80976		
MAR-71	suíte Guarantã(Gg)	X			X	594186	9138480	-50,14577	-7,79310		
MAR-72	suíte Guarantã(Gg)	X	X	X	X	593026	9137634	-50,15627	-7,80077		
MAR_76	suíte Guarantã(Gdaz)				X	562170	9124934	-50,43597	-7,91608		
MAR-84	C.Lueucograníticos				X	558818	9123626	-50,46636	-7,92798		
MAR_93	suíte Guarantã(Gdaz)	X	X	X	X	558969	9134064				
MAR-95	suíte Guarantã(Gdaz)	X			X	558101	9134468	-50,47299	-7,82992		
MAR_97	suíte Guarantã(Gdaz)	X	X	X	X	561928	9134094				
MAR-96	suíte Guarantã(Gdaz)				X	558000	9134782	-50,47391	-7,82708		
MAR-101	suíte Guarantã(Gdaz)	X	X	X	X	562225	9136954	-50,43561	-7,80739		
MAR-104	suíte Guarantã(Gdaz)	X			X	561492	9144330	-50,44235	-7,74068		
MAR-109	suíte Guarantã(Gdaz)	X		X	X	557750	9150166	-50,47635	-7,68793		
MAR-114	suíte Guarantã(Gdt)	X	X	X	X	564137	9150038	-50,41843	-7,68902		
MAR-115	suíte Guarantã(Gdt)				X	565207	9151540	-50,40875	-7,67539		
MAR-116	suíte Guarantã(Gdt)	X			X	566047	9152812	-50,40115	-7,66390		
MAR-118	suíte Guarantã(Gdt)	X	X		X	566763	9154504	-50,39468	-7,64859		
MAR-120	suíte Guarantã(Gdt)	X			X	554166	9162040	-50,50897	-7,58057		
MAR-121	suíte Guarantã(Gdt)	X	X	X	X	557750	9160348	-50,47646	-7,59583		
MAR-123	suíte Guarantã(Gdt)	X	X	X	X	559750	9159588	-50,45832	-7,60269		
MAR-124	suíte Guarantã(Gdt)	X	X		X	560783	9159022	-50,44895	-7,60779		
MAR-125	G.Rancho de Deus				X	603716	9123330	-50,05904	-7,92991		
MAR-126	G.Rancho de Deus	X		X	X	603536	9123376	-50,06067	-7,92953		
MAR-127	G.Rancho de Deus	X			X	601965	9123534	-50,07492	-7,92813		
MAR-128	G.Rancho de Deus	X			X	601091	9123522	-50,08285	-7,92826		
MAR-129	G.Rancho de Deus	X		X	X	600313	9123504	-50,08991	-7,92843		
MAR-130A	G.Rancho de Deus	X			X	599574	9123500	-50,09661	-7,92846		
Mar-130B	G.Rancho de Deus				X	599574	9123500	-50,09661	-7,92846		
MAR-131	G.Rancho de Deus				X	598421	9123486	-50,10707	-7,92861		
MAR-132	G.Rancho de Deus	X		X	X	597728	9123516	-50,11336	-7,92835		
MAR-133	G.Rancho de Deus				X	596922	9123540	-50,12067	-7,92817		
MAR-141	G.Rancho de Deus	X		X	X	589866	9123034	-50,18467	-7,93288		
MAR-144	G.Rancho de Deus	X		X	X	589725	9125574	-50,18600	-7,90991		
MAR-143	G.Rancho de Deus				X	589770	9125200	-50,18558	-7,91327		

Anexo 1 - (Cont.) Lista de amostras estudadas neste trabalho.

AMOSTRA	LITOTIPO	LÂMINA	A.M	QUIMICA	AMOSTRA X	COORD Y	COORDX	COORD Y	COORD X
MAR-146	suíte Garantã(Gdt)	X	X	X	X	562098	9158472	-50,43702	-7,61275
MAR-147	suíte Garantã(Gdt)	X			X	563556	9157700	-50,42379	-7,61972
MAR-151	C.Lueucograníticos	X			X	568955	9153848	-50,37480	-7,65449
MAR-155	C.Lueucograníticos	X		X	X	572537	9149686	-50,34226	-7,69209
MAR-164	suíte Garantã(Gg)	X	X	X	X	588437	9139050	-50,19791	-7,78805
MAR-165	suíte Garantã(Gg)	X	X		X	588015	9138270	-50,20173	-7,79511
MAR-167	suíte Garantã(Gg)	X	X	X		587098	9134140	-50,20997	-7,83248
MAF-11	C.Lueucograníticos	X		X	X	556571	9117872	-50,48668	-7,98005
MAF-11B	C.Lueucograníticos				X	556571	9117872	-50,48668	-7,98005
MAF-12	C.Lueucograníticos	X		X	X	555946	9117860	-50,49235	-7,98017
MAF-13	C.Lueucograníticos	X			X	555727	9117660	-50,49434	-7,98198
MAF-15A	C.Lueucograníticos	X			X	555022	9116134		
MAF-16	C.Lueucograníticos				X	558183	9121644	-50,47210	-7,94592
MAF-22	G.Rancho de Deus	X		X		598702	9117524	-50,10441	-7,98252
MAF-24	G.Rancho de Deus			X		598667	9116998	-50,10471	-7,98728
MAF-28	G.Rancho de Deus				X	561456	9146282	-50,44270	-7,72302
MAF-29	G.Rancho de Deus				X	561569	9146388	-50,44167	-7,72206
MAF-31	suíte Garantã(Gg)	X			X	605096	9128662	-50,04662	-7,88169
MAF-32	suíte Garantã(Gg)				X	604109	9127586	-50,05555	-7,89144
MAF-32B	suíte Garantã(Gg)	X			X	604109	9127586	-50,05556	-7,89141
MAF-33A	suíte Garantã(Gg)	X	X	X		603345	9127440	-50,06248	-7,89277
MAF-33B	suíte Garantã(Gg)	X				603345	9127440	-50,06248	-7,89277
MAF-34	suíte Garantã(Gg)				X	602242	9127461	-50,07249	-7,89258
MAF-35	suíte Garantã(Gg)	X				601378	9127794	-50,08033	-7,88961
MAF-38	suíte Garantã(Gg)	X			X	598217	9128428	-50,10902	-7,88394
MAF-40	suíte Garantã(Gg)	X	X	X	X	596405	9128546	-50,12546	-7,88291
MAF-42	suíte Garantã(Gg)	X			X	596456	9129564	-50,12501	-7,87370
MAF-44	suíte Garantã(Gg)	X	X		X	598130	9127638	-50,10979	-7,89109
MAF-46	suíte Garantã(Gg)	X		X	X	598274	9130296	-50,10854	-7,86704
MAF-57	suíte Garantã(Gg)2	X			X	623549	9157666	-49,87994	-7,61896
MAF-58	suíte Garantã(Gg)3	X	X		X	620290	9157142	-49,90947	-7,62378
MAF-61	C.Lueucograníticos				X	561820	9141928	-50,43934	-7,76240
MAF-62	C.Lueucograníticos	X			X	561486	9141726	-50,44237	-7,76423
MAF-64	C.Lueucograníticos	X	X	X	X	560522	9141926	-50,45112	-7,76244
MAF-68	C.Lueucograníticos	X			X	562545	9147774	-50,43284	-7,70951

A.M = Análise Modal; X : Com análise; Gg = Granito Garantã; Gdaz =Granodiorito Azulona; Gdt = Granodiorito Trairão