



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

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 426**

**GEOLOGIA, GEOQUÍMICA, E GEOCRONOLOGIA DO  
GRANITO BOA SORTE, MUNICÍPIO DE ÁGUA AZUL DO  
NORTE (PA) – PROVÍNCIA CARAJÁS**

**Dissertação apresentada por:**

**DANIEL SILVESTRE RODRIGUES**

**Orientador: Prof. Davis Carvalho de Oliveira (UFPA)**

---

**BELÉM-PA  
2013**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

---

Rodrigues, Daniel Silvestre, 1986-  
Geologia, geoquímica e geocronologia do  
granito Boa Sorte, Município de Água Azul do  
Norte (PA), Província Carajás / Daniel  
Silvestre Rodrigues. - 2013.

Orientador: Davis Carvalho de Oliveira.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal  
do Pará, Instituto de Geociências, Programa de  
Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém,  
2013.

1. Granito - Água Azul do Norte (PA). 2.  
Geologia - Água Azul do Norte (PA). 3. Geologia  
histórica - Água Azul do Norte (PA). I. Título.

CDD 22. ed. 553.52

---



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

**GEOLOGIA, GEOQUÍMICA, E GEOCRONOLOGIA DO  
GRANITO BOA SORTE, MUNICÍPIO DE ÁGUA AZUL DO  
NORTE (PA) – PROVÍNCIA CARAJÁS**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR**

**DANIEL SILVESTRE RODRIGUES**

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

**Data de Aprovação: 30 / 08 / 2013**

**Banca Examinadora:**

**Prof. Davis Carvalho de Oliveira**  
**(Orientador-UFPA)**

**Prof. Roberto Dall'Agnol**  
**(Membro-UFPA)**

**Prof. Elton Luiz Dantas**  
**(Membro-UnB)**

*Para Ana.*

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão de bolsa de mestrado;

À FAPESPA (Processo nº 133/2008-0), ao convênio Vale-FAPESPA (Edital 001/2010 – ICAAF 053/2011) e INCT/Geociam (Processo nº 573733/2008-2) pelo apoio financeiro;

Ao professor Davis pela oportunidade, orientação e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho;

Ao Instituto de Geociências (IG-UFPA) pela infraestrutura e suporte técnico;

Ao professor da FAGEO de Marabá José de Arimatéia C. Almeida pela assistência na etapa de campo, além das críticas e sugestões;

Aos técnicos responsáveis pela Oficina de Preparação de Amostras (OPA) e pela Oficina de laminação do IG-UFPA;

Aos pesquisadores Marco A. Galarza Toro e Moacir Macambira pela colaboração na obtenção e interpretação dos dados geocronológicos (evaporação de Pb) no Laboratório de Geologia Isotópica do IG-UFPA (Pará-Iso);

Ao pesquisador Cláudio N. Lamarão e à técnica Ana Paula do Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LABMEV-UFPA), pelo total apoio na obtenção das imagens de catodoluminescência;

Aos técnicos do Laboratório de Geocronologia da UnB pela realização das análises por LA-ICP-MS;

A todos os demais pesquisadores do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides, aqui representados pelos amigos Bhrenno, Chrystophe, Eleilson, Fabriciana, Max e PH, que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho;

Em especial aos professores Roberto Dall’Agnol (UFPA) e Elton L. Dantas (UNB) pelas críticas e sugestões indispensáveis ao aperfeiçoamento e finalização desta dissertação;

Agradeço ainda a equipe TC Geologia, principalmente aos geólogos Fabrício, Robertinho, PH (*again*), Elias, Felipe e Marcos, pela compreensão e apoio na etapa final deste trabalho; e

À Alice, que nesta fase de nossas vidas me deu o mais belo dos presentes.

## RESUMO

O Granito Boa Sorte ocorre na região sudeste do estado do Pará, no contexto geológico do Domínio Carajás ou, mais precisamente, no Subdomínio de Transição entre o Domínio Rio Maria e a Bacia Carajás. Forma um batólito alongado na direção E-W, constituído por biotita leucomonzogranitos, com granodioritos e sienogranitos subordinados, que apresentam variados graus de deformação. As texturas observadas nas rochas com foliação dúctil mais pronunciada sugerem condições de médio grau (450°C - 600°C e 6±1 kbar) durante a deformação do Granito Boa Sorte. Este faz contato a sul com o Granodiorito Água Limpa, é intrusivo em TTGs e *Greenstone belts*, sendo ainda intrudido por plútons de composição máfica a intermediária do Diopsídio-Norito Pium, granitos da Suíte Planalto e por diques máficos. Geoquimicamente ocorrem quatro grupos distinguidos pelos diferentes padrões de ETR: (1) é o grupo predominante, sendo caracterizado pelas altas razões  $(La/Yb)_N$ , moderadas anomalias negativas de Eu e padrão côncavo dos ETR pesados; (2) possui baixas razões  $(La/Yb)_N$  e acentuadas anomalias negativas de Eu; (3) é empobrecido em ETR leves, com razões  $(Gd/Yb)_N$  próximas da unidade e anomalias negativas de Eu moderadas; e (4) caracteriza-se pelo baixo conteúdo total de ETR, com razões  $(La/Yb)_N$  altas a moderadas. Tais grupos possuem características compatíveis com as de granitos tipo-I, cálcico-alcálicos e fracamente peraluminosos. São rochas com alto conteúdo de  $K_2O$ , baixo de elementos ferromagnesianos, moderado de  $CaO$  e  $Na_2O$  e moderado a alto de  $Al_2O_3$ . As razões  $K_2O/Na_2O$  variam entre 1 e 2. Apesar da grande superposição, em média existe um aumento no conteúdo de  $SiO_2$  entre os grupos de alta razão  $(La/Yb)_N$  (1), baixa razão  $(La/Yb)_N$  (2) e baixa razão  $(Gd/Yb)_N$  (3). Em diagramas de Harker, o primeiro e o segundo grupo tendem a se alinhar em *trends* bem definidos, com o terceiro, em média, mostrando valores mais altos de  $Na_2O$  e mais baixos de  $K_2O$ , Zr e Hf, e o quarto grupo, que, além destas diferenças, apresenta conteúdos em média mais elevados de  $CaO$ , Ba e Sr e menores de Rb e da razão  $FeO_t/(FeO_t+MgO)$ . A colocação do Granito Boa Sorte se deu ainda no Mesoarqueano, com idade mínima de  $2857\pm 2$  Ma, e por diferentes processos de fusão de protólitos crustais, cujas idades mais antigas são de ~ 3,00 Ga. Distingue-se do grupo de Leucogranodioritos-granitos do Domínio Rio Maria, mostrando maior afinidade com os Leucogranitos Potássicos tipo Xinguara e Mata Surrão. Na região de Canaã dos Carajás, os grupos de alta e baixa razão  $(La/Yb)_N$  apresentam boa correspondência com as rochas do Granito Cruzadão e, em alguns aspectos, com aquelas do Granito Bom Jesus. Já o grupo de baixa razão  $(Gd/Yb)_N$  se

assemelha ao Granito Serra Dourada, enquanto que o grupo com baixo conteúdo de ETR possui maior afinidade com o Granito Canaã dos Carajás. Tais correspondências sugerem que toda a região localizada entre a cidade de Canaã dos Carajás e a porção nordeste do município de Água Azul do norte, tenha sido afetada por processos similares durante a evolução mesoarqueana do Domínio Carajás, sendo posteriormente modificada pela tectônica neoarqueana responsável pelo fechamento da Bacia Carajás.

**Palavras-chave:** Província Carajás, Mesoarqueano, Leucogranito, ETR, Geocronologia.

## ABSTRACT

The Boa Sorte granite occurs in the southeastern region of the Pará state, northern Brazil, in the geological context of the Carajás Domain or, more precisely, in the Transition subdomain between the Rio Maria domain and the Carajás basin. It corresponds to an E-W elongated batholith, formed of biotite leucomonzogranites with subordinate granodiorites and syenogranites, with varying degrees of deformation. The textures observed in rocks with more pronounced ductile foliation suggest middle degree conditions (450°C - 600°C and 6±1 kbar) during the Boa Sorte granite deformation. To the south it makes contact with Água Limpa granodiorite, it is intrusive into TTGs and Greenstone belts, and is intruded by plutons of mafic to intermediate composition of the Diopside Norite Pium, granites of the Planalto suite and mafic dykes. Four granite groups were distinguished on the basis of their different REE patterns: (1) this is the predominant group and it is characterized by high  $(La/Yb)_N$  ratios, moderate negative Eu anomalies and concave pattern of heavy REE; (2) this group show low  $(La/Yb)_N$  ratios and strong negative Eu anomalies; (3) the third group is depleted in light REE elements, with  $(Gd/Yb)_N$  ratios close to unity, and shows moderate negative Eu anomalies; and (4) the fourth group is characterized by low REE contents, with high to moderate  $(La/Yb)_N$  ratios. The geochemical characteristics of these groups are compatible with those of weakly peraluminous calc-alkaline I-type Archean granites. These rocks have high  $K_2O$ , low contents of ferromagnesian elements, moderate  $CaO$  and  $Na_2O$  and moderate to high  $Al_2O_3$ .  $K_2O/Na_2O$  ratios vary between 1 and 2. Despite the large compositional overlap between these groups, on average there is an increase in the  $SiO_2$  content from the high  $(La/Yb)_N$  group (1) towards the low  $(La/Yb)_N$  (2) and low  $(Gd/Yb)_N$  ratios (3) groups. In Harker diagrams, the first and second groups tend to line up in well-defined trends, with the third showing on average higher  $Na_2O$  and lower  $K_2O$ , Zr and Hf. In addition to these differences, the fourth group has on average higher contents of  $CaO$ , Ba, and Sr and lower  $FeO_t/(FeO_t+MgO)$  and Rb. The Boa Sorte granite was formed more probably in the Mesoarchean, at  $2857\pm 2$  Ma, and resulted from partial melting processes of crustal protoliths, whose oldest ages are around 3.00 Ga. Despite some geochemical affinity with the Potassic leucogranites represented by the Xinguara and Mata Surrão plutons, this granite differs from the Leucogranodiorite-granite group of the Rio Maria Domain. On the other hand, the groups with high and low  $(La/Yb)_N$  ratio show good correspondence with the Cruzadão and in some respects Bom Jesus granites of the Canaã dos Carajás area. In its turn, the low  $(Gd/Yb)_N$  ratio



group resembles the Serra Dourada granite, while the group with low REE contents has more affinity with the Canaã dos Carajás granite. Such evidences suggest that the region comprising the Canaã dos Carajás area and the northeastern portion of the Água Azul do Norte municipality have been affected by similar processes during the Mesoarchean evolution of the Carajás Domain. That area was subsequently affected by the Neoproterozoic tectonic related to the closing of the Carajás Basin.

**Keywords:** Carajás province, Mesoarchean, leucogranite, REE, Geochronology.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Mapa de localização da área de trabalho.....	2
Figura 1.2 – Modelos de províncias geocronológicas do Cráton Amazônico: a) Tassinari & Macambira (2004); b) Santos <i>et al.</i> (2006).....	3
Figura 1.3 – Mapa Geológico da Província Carajás mostrando a localização da área de estudo no Subdomínio de Transição entre o Domínio Rio Maria e a Bacia Carajás.....	6
Figura 1.4 – Mapa de Pontos da área estudada. ....	17
Figura 2.1 – Mapa Geológico da Província Carajás mostrando a localização da área de estudo no Subdomínio de Transição entre o Domínio Rio Maria e a Bacia Carajás.....	22
Figura 2.2 – Mapa geológico da área de ocorrência do Granito Boa Sorte, mostrando a localização das amostras analisadas dos seus diferentes grupos geoquímicos, com destaque para as amostras utilizadas também no estudo geocronológico. ....	26
Figura 2.3 – Modo de ocorrência e relações de campo do GBS. a) Afloramento na forma de grandes blocos de biotita leucogranito; b) aspecto macroscópico da variedade litológica predominante no corpo máfico a intermediário intrusivo no GBS; c) <i>enclave</i> de biotita tonalito bandado em biotita granito pouco deformado; d) intercalações de biotita leucogranito com tonalitos associados ao Granodiorito Água Limpa, próximo ao contato sul do GBS; e) vista panorâmica da porção leste da área de ocorrência do GBS.....	28
Figura 2.4 – Diagramas de classificação modal Q-A-P e Q-(A+P)-M' destacando os grupos identificados no estudo geoquímico. ....	29
Figura 2.5 – Aspectos texturais do GBS. a) Macroscópico e b) microscópico da variedade pouco deformada; c) cristal de plagioclásio intensamente saussuritizado; d) cristais de biotita intensamente cloritizados e associados a allanita e zircão; e) aspecto geral macroscópico de amostra do grupo de rochas foliadas; f) aspecto microscópico onde são observados porfiroclastos de plagioclásio e microclina e <i>ribbons</i> de quartzo em meio aos agregados de neogrãos; g) mirmequita em bulbo invadindo a microclina no contato com o plagioclásio; h) cristais de biotita e muscovita subautomórficos e sem sinais de deformação, em meio aos subgrãos poligonalizados de feldspatos.....	33
Figura 2.6 – Diagramas de Harker para os elementos maiores e menores do GBS.....	38
Figura 2.7 – Diagramas de Harker para os elementos traços do Granito Boa Sorte. Campos dos grupos de leucogranitos do Domínio Rio Maria e dos corpos leucograníticos do subdomínio de transição são apresentados para comparação.....	40
Figura 2.8 – Padrões de ETR do Granito Boa Sorte. São apresentados os campos referentes aos padrões dos corpos leucograníticos da região de Canaã dos Carajás para comparação.....	41
Figura 2.9 – Diagramas binários de elementos traços do GBS. a) $Yb_N$ vs. $(Gd/Yb)_N$ ; b) $Eu/Eu^*$ vs. $(Gd/Yb)_N$ ; c) $(La/Yb)_N$ vs. $Sr/Y$ ; e d) $Zr$ vs. $Rb/Sr$ . Campos dos grupos de	

leucogranitos do Domínio Rio Maria e dos corpos leucograníticos do subdomínio de transição foram lançados em b, c e d ..... 42

Figura 2.10 – Diagramas de classificação geoquímica para o GBS: a) P-Q; b) K/Na vs. A/CNK; c)  $100(\text{MgO}+\text{FeO}_t+\text{TiO}_2)/\text{SiO}_2$  vs.  $(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO})/(\text{FeO}_t+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ ; d) A/CNK vs. A/NK; e) K-Na-Ca. Os campos dos grupos de leucogranitos do Domínio Rio Maria e dos corpos leucograníticos do subdomínio de transição foram lançados para comparação. .... 44

Figura 2.11 – Diagramas de idade por evaporação de Pb em zircão: a) idades calculadas a partir das etapas de mais alta temperatura; e b) patamares de idade onde não foi possível o cálculo..... 47

Figura 2.12 – Diagramas concórdia U-Pb por LA-ICP-MS: a) discórdia obtida a partir das vinte análises apresentadas na Tabela 5. As imagens mostram cristais de zircão com núcleos herdados; b) discórdia obtida a partir das mesmas análises excetuando as seis análises de núcleos herdados. A imagem mostra um cristal sem núcleo herdado, onde foram obtidas idades coincidentes em dois pontos..... 48

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 2.1 – Sumário dos dados geocronológicos disponíveis na literatura sobre os biotita leucogranitos mesoarqueanos da Província Carajás.....	24
Tabela 2.2 – Composições modais das amostras do Granito Boa Sorte selecionadas para estudo geoquímico.....	32
Tabela 2.3 – Composições químicas de amostras representativas dos grupos do Granito Boa Sorte.....	35
Tabela 2.4 – Resumo dos dados isotópicos por evaporação de Pb em zircão do Granito Boa Sorte.....	46
Tabela 2.5 – Resumo dos dados isotópicos de U-Pb obtidos por LA-ICP-MS para os cristais de zircão da amostra DDA-17 do Granito Boa Sorte. ....	48

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA .....	iv
AGRADECIMENTOS .....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT .....	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....	x
LISTA DE TABELAS .....	xii
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 APRESENTAÇÃO .....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....	2
1.3 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL .....	2
1.3.1 <b>Domínio Rio Maria</b> .....	4
1.3.2 <b>Domínio Carajás</b> .....	7
1.4 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	11
1.5 OBJETIVOS .....	12
1.6 MATERIAIS E MÉTODOS .....	13
1.6.1 <b>Pesquisa Bibliográfica</b> .....	13
1.6.2 <b>Mapeamento Geológico</b> .....	13
1.6.3 <b>Petrografia</b> .....	13
1.6.4 <b>Geoquímica</b> .....	14
1.6.5 <b>Geocronologia</b> .....	14
<b>CAPÍTULO 2 – GEOLOGIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DO GRANITO BOA SORTE, MUNICÍPIO DE ÁGUA AZUL DO NORTE (PA) – PROVÍNCIA CARAJÁS .....</b>	<b>18</b>
RESUMO.....	19
ABSTRACT.....	19
INTRODUÇÃO .....	20
CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL .....	21
<b>Biotita leucogranitos mesoarqueanos da Província Carajás</b> .....	23
CARACTERIZAÇÃO DO GRANITO BOA SORTE .....	25
<b>Geologia da Área</b> .....	25
<b>Petrografia</b> .....	28
Minerais essenciais .....	30
Mineral varietal .....	31
Minerais acessórios .....	31
Breves considerações sobre microtectônica .....	34
<b>Geoquímica</b> .....	34
Elementos maiores e menores .....	37
Elementos Traços .....	37
Classificação e Série Magmática.....	43
<b>Geocronologia</b> .....	45
Pb-Pb por evaporação em monocristais de zircão.....	45

U-Pb por LA-ICP-MS em zircão.....	47
COMPARAÇÕES COM OUTROS GRANITOIDES DA PROVÍNCIA CARAJÁS .....	49
<b>Domínio Rio Maria</b> .....	49
<b>Região de Canaã dos Carajás / Domínio Carajás</b> .....	50
DISCUSSÕES E CONCLUSÕES .....	51
AGRADECIMENTOS .....	53
REFERÊNCIAS.....	53
<b>CAPÍTULO 3 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	61
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	64

---

# CAPÍTULO 1

---

## INTRODUÇÃO

### 1.1 APRESENTAÇÃO

A Província Carajás, de idade arqueana (Santos *et al.* 2000), representa uma das mais importantes províncias metalogenéticas do mundo, o que motivou a realização de diversos estudos, em sua maioria de caráter prospectivo e restritos às áreas de ocorrência das mineralizações, em especial aquelas de Fe, Ni e Cu. Além destes, foram realizados diversos levantamentos geológicos, principalmente em escala regional (Docege 1988, Hunh *et al.* 1988, Araújo & Maia 1991, Vasquez *et al.* 2008), responsáveis pela individualização das grandes unidades geológicas presentes na região. Nas duas últimas décadas estas unidades têm sido estudadas em escala de detalhe em diversos trabalhos, com uma importante contribuição de grupos de pesquisa ligados ao Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará (UFPA), bem como de outras instituições (UNB, UNICAMP, USP, UFMG e UNISINOS).

A presente dissertação faz parte das atividades de pesquisa desenvolvidas pelo Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG) do IG-UFPA. Os dados apresentados objetivam principalmente a caracterização de um corpo granítico (*stricto sensu*) mesoarqueano, localizado na região norte-nordeste do município de Água Azul do Norte - PA, bem como a realização de um estudo comparativo do mesmo com os demais corpos graníticos da Província Carajás. Este corpo de dimensões batolíticas foi primeiramente correlacionado à Suíte Plaquê (Araújo & Maia 1991, Vasquez *et al.* 2008), tendo sido estudado em escala de detalhe por Rodrigues (2011), que o caracterizou, identificou como uma nova unidade e denominou informalmente de Granito Boa Sorte.

Este documento foi elaborado seguindo o modelo de dissertação contendo manuscrito (s) de artigo(s). Desta forma, o corpo central da dissertação apresenta um manuscrito de artigo científico a ser submetido para o Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, onde está sendo editado um volume especial sobre a geologia arqueana da Província Carajás. O capítulo com o manuscrito do artigo (CAPÍTULO 2) é precedido por um texto integrador (CAPÍTULO 1), que inclui a apresentação da pesquisa, localização da área de estudo, contexto geológico e tectônico regional, bem como a apresentação da problemática. Com base nesta são apresentados os objetivos traçados e materiais e métodos usados para alcançá-los. O capítulo final (CAPÍTULO 3) sumariza as principais discussões e as conclusões alcançadas.

## 1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de ocorrência do Granito Boa Sorte é localizada na região sudeste do estado do Pará, no limite entre os municípios de Água Azul do Norte e Canaã dos Carajás, a cerca de 60 km a sul-sudeste do Núcleo Urbano de Carajás. Está inserida na Folha Rio Parauapebas (SB-22-Z-A-5), sendo limitada pelas coordenadas geográficas  $50^{\circ}26'00''\text{W}/06^{\circ}36'00''\text{S}$  e  $50^{\circ}10'00''\text{W}/06^{\circ}42'00''\text{S}$ . O acesso à área, a partir da cidade de Marabá, se dá por via terrestre através das rodovias BR-155, PA-275 e PA-160, até o município de Canaã dos Carajás, de onde se segue por vicinais em direção às vilas existentes na região. Uma alternativa seria a partir da cidade de Xinguara pela PA-279 em direção à Água Azul do Norte, seguindo-se para norte através de vicinais que levam a Vila Cedere III (Figura 1.1).

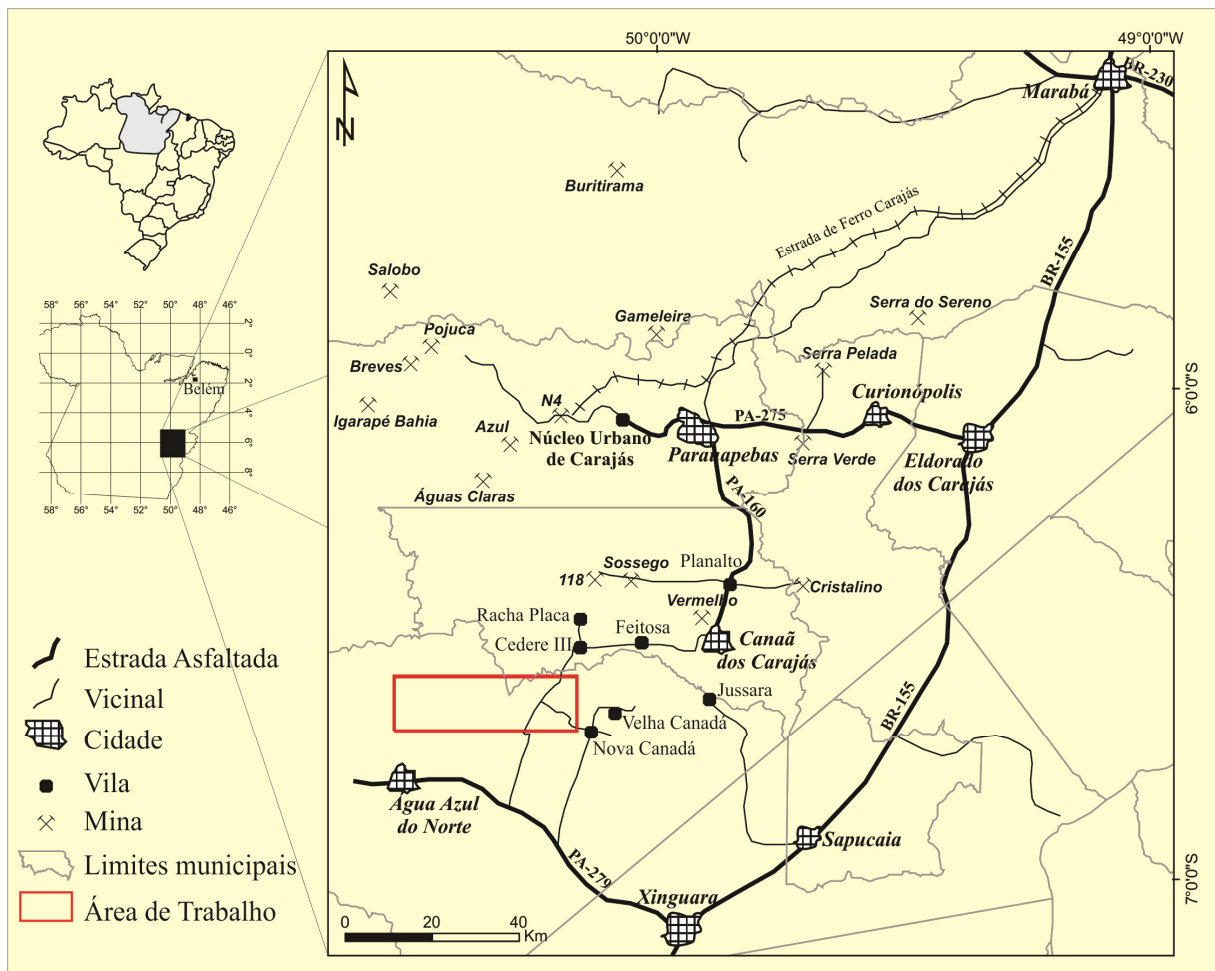


Figura 1.1 – Mapa de localização da área de trabalho.

## 1.3 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Localizado na região Norte do Brasil, no contexto geológico da Plataforma Sul-Americana, o Cráton Amazônico se estende por aproximadamente  $4,3 \times 10^5 \text{ km}^2$ , sendo uma das maiores áreas cratônicas do mundo (Almeida *et al.* 1976, Cordani *et al.* 1988). Este cráton



é dividido geograficamente em dois blocos pelas Bacias do Amazonas e Solimões: Escudo das Guianas, a norte, e Escudo Brasil-Central, a sul (Figura 1.2). É limitado por cinturões orogênicos proterozóicos (Tucavaca, na Bolívia, Araguaia-Cuiabá e Tocantins, no Brasil) e tem permanecido estável desde 1,0 Ga (Sato & Tassinari 1997). Diversos modelos geotectônicos foram propostos para este Cráton (Cordani & Sato 1999, Santos *et al.* 2000, 2006, Tassinari & Macambira 1999, 2004), onde este é dividido em províncias geocronológicas.

Segundo esses modelos, a evolução geotectônica que conduziu à cratonização da região amazônica resultou de um processo de acreção crustal progressivo a partir de um núcleo mais antigo, estabilizado ao final do Arqueano e envolvido por faixas móveis que se sucederam no tempo e no espaço. Com base nesta concepção, o Cráton Amazônico foi dividido em seis (Tassinari & Macambira 2004, Figura 1.2a), ou em sete (Santos *et al.* 2006, Figura 1.2b) províncias geocronológicas, cujos limites e intervalos de idade variam consideravelmente nas duas proposições. Porém, existe um consenso de que a região de Carajás representa o principal núcleo arqueano do Cráton Amazônico.

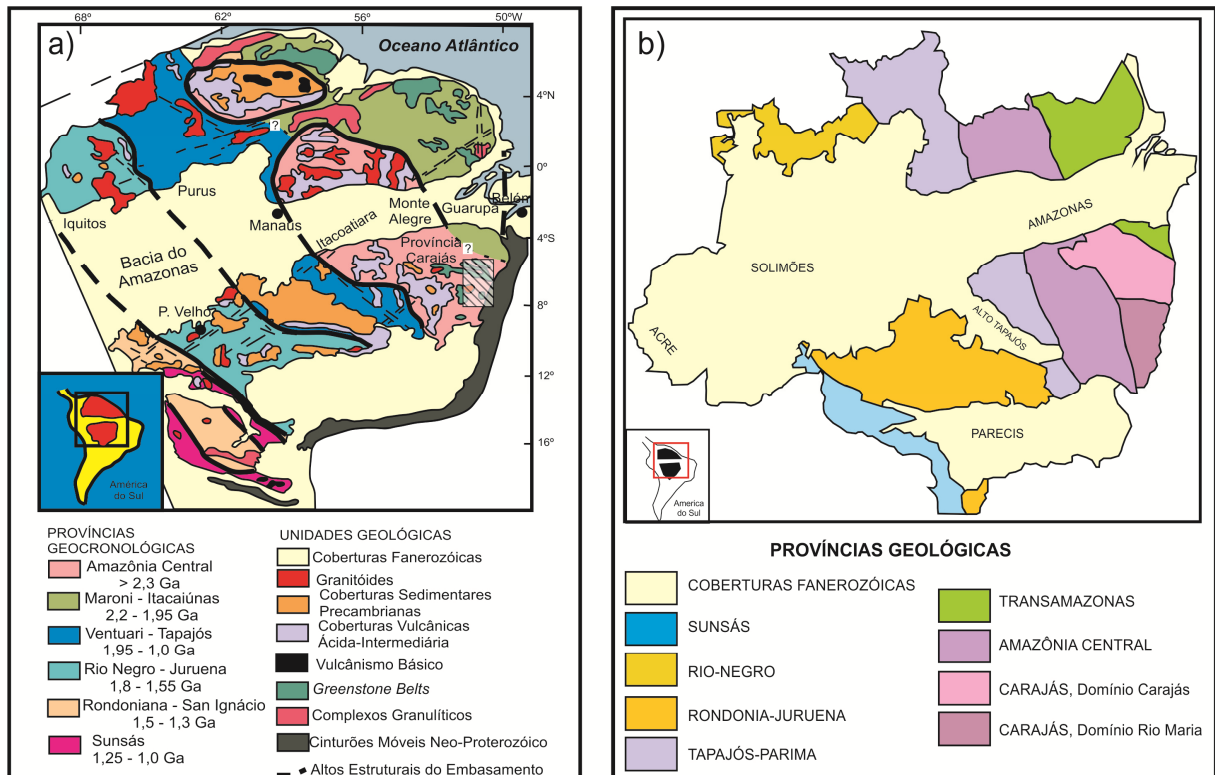


Figura 1.2 – Modelos de províncias geocronológicas do Cráton Amazônico: a) Tassinari & Macambira (2004); b) Santos *et al.* (2006).

A Província Carajás apresenta as seqüências arqueanas melhor preservadas do Cráton Amazônico (Almeida *et al.* 1981), sendo situada na parte sudeste do mesmo, mais exatamente

na Província Amazônia Central de Tassinari & Macambira (2004, Figura 1.2a). Ela é considerada por Santos *et al.* (2006) como uma província independente (Figura 1.2b), pois apresenta características geológicas singulares, tendo sido gerada, reativada e tectonicamente estabilizada no Arqueano. No Paleoproterozóico, foi afetada por evento magmático distensivo, marcado por intrusões graníticas anorogênicas e por diques associados (Macambira & Lafon 1995). É limitada a leste pelo Cinturão Neoproterozóico Araguaia, a norte pelas províncias Maroni-Itacaiúnas (Tassinari & Macambira 2004), ou Transamazonas (Santos *et al.* 2006), e a oeste por granitóides e assembléias vulcano-piroclásticas paleoproterozóicas do Grupo Uatumã.

Souza *et al.* (1996), Althoff *et al.* (2000) e Dall’Agnol *et al.* (2000) consideraram a existência de dois blocos distintos na PC, denominados de Rio Maria, a sul, e Carajás, a norte. Esta proposta tem sido fortalecida ao longo do tempo (Dall’Agnol *et al.* 2006, Santos *et al.* 2006, Figura 1.2b), tendo sido assumida a existência dos dois domínios no recente mapa geológico do estado do Pará (Vasquez *et al.* 2008). O limite entre estes ainda não está estabelecido, podendo estar situado imediatamente a sul do Granito Xinguara (Costa *et al.* 1995) ou a norte do *Greenstone belt* de Sapucaia (Souza *et al.* 1996, 2001, Figura 1.3).

Para Dall’Agnol *et al.* (2006), a região compreendida entre o norte da cidade de Xinguara e a porção sul da Serra dos Carajás é provavelmente um terreno similar ao Domínio Rio Maria que foi afetado pelos eventos magmáticos e tectônicos registrados na Bacia Carajás (Soares 2002, Gomes 2003, Gomes *et al.* 2004, Sardinha *et al.* 2004, Sardinha 2005), sendo considerada a existência de um Domínio de Transição entre o Domínio Rio Maria e a Bacia Carajás. Para evitar maiores confusões na literatura, tendo em vista a subdivisão da Província Carajás em Domínio Rio Maria e Domínio Carajás (Vasquez *et al.* 2008), foi introduzido o termo Subdomínio de Transição (Feio & Dall’Agnol 2012, Figura 1.3). No entanto, para estes autores, o Subdomínio de Transição não representaria uma simples extensão do Domínio Rio Maria, pois, pelo menos na região de Canaã dos Carajás, que foi estudada em detalhe, há evidências de uma evolução distinta daquela do Domínio Rio Maria. Feio *et al.* (2012) defendem que a crosta arqueana de Canaã dos Carajás não mostra caráter juvenil e seria provavelmente um pouco mais antiga do que aquela do Domínio Rio Maria.

### **1.3.1 Domínio Rio Maria**

As unidades geológicas descritas neste Domínio compreendem as seqüências de *greenstone belts* do Supergrupo Andorinhas, composta por rochas metaultramáficas e

metamáficas, inclusive metabasaltos com estrutura em *pillow*, metavulcânicas intermediárias e ácidas intercaladas com rochas metassedimentares clásticas e químicas, com idades de  $3046\pm 32$  Ma a  $2904\pm 5$  Ma (Macambira & Lancelot 1992, Pimentel & Machado 1994, Avelar 1996, Souza *et al.* 2001, Rolando & Macambira 2003). Estas foram intrudidas por uma variedade de granitóides arqueanos originados entre 2,98 e 2,86 Ga, que foram separados com base em seus aspectos petrográficos, geoquímicos e geocronológicos em quatro grupos (Dall’Agnol *et al.* 2006): 1- Série TTG mais antiga (2,98 a 2,92 Ga), representada pelo Tonalito Arco Verde e pelo Complexo Tonalítico Caracol, sendo recentemente incluídas neste grupo as unidades Tonalito Mariazinha (Guimarães 2009) e Trondhjemitóide Mogno, que teve idade e posicionamento estratigráfico redefinidos por Almeida *et al.* (2011); 2- Granitóides de alto Mg que compõem a Suíte Sanukitóide Rio Maria (2,87 Ga), representada pelo Granodiorito Rio Maria e rochas associadas (Oliveira 2009); 3- Série TTG mais jovem (2,86 Ga), representada pelo Trondhjemitóide Água Fria; e 4- Leucogranitos Potássicos de Afinidade Cálculo-alcálica (2,87-2,86 Ga). Posteriormente a estes granitóides formaram-se as rochas sedimentares do Grupo Rio Fresco e, por fim, deu-se a intrusão de granitos anorogênicos representados pela suíte Jamon (~ 1,88 Ga; Dall’Agnol *et al.* 1999, Oliveira, D.C. *et al.* 2009)

Os leucogranitos potássicos são representados pelos granitos Mata Surrão (Duarte *et al.* 1991, Duarte 1992, Althoff *et al.* 2000), Xinguara (Leite 1995, 2001, Leite *et al.* 2004) e por *stocks* e *apófises* graníticas encontrados em contato com o *Greenstone belt* de Identidade (Souza 1994), a sudoeste do Granito Bannach, a sudeste da cidade de Bannach e sudoeste da Agrovila Mata Geral (Almeida *et al.* 2008), entre outros (Araújo *et al.* 1994). O Granito Mata Surrão consiste de monzogranitos cinza, equigranulares médios, fracamente deformados, compostos por plagioclásio, feldspato potássico, quartzo, biotita e acessórios (Althoff *et al.* 2000). É intrusivo no Tonalito Arco Verde (Duarte 1992, Althoff *et al.* 2000) e cortado na sua porção oeste pelo Granito Anorogênico Bannach (Almeida *et al.* 2006). Em sua área tipo, forneceu idade de  $2872\pm 10$  Ma (Lafon *et al.* 1994, Macambira & Lafon 1995). O Granito Xinguara é considerado por Leite (1995) como um granito deformado, cuja colocação foi controlada por zonas de cisalhamento E-W ou WNW-ESE, sendo intrusivo no Complexo Tonalítico Caracol e no Granodiorito Rio Maria e contemporâneo ao Trondhjemitóide Água Fria, tendo fornecido uma idade de  $2865\pm 1$  Ma (Pb por evaporação em zircão; Leite *et al.* 2004).

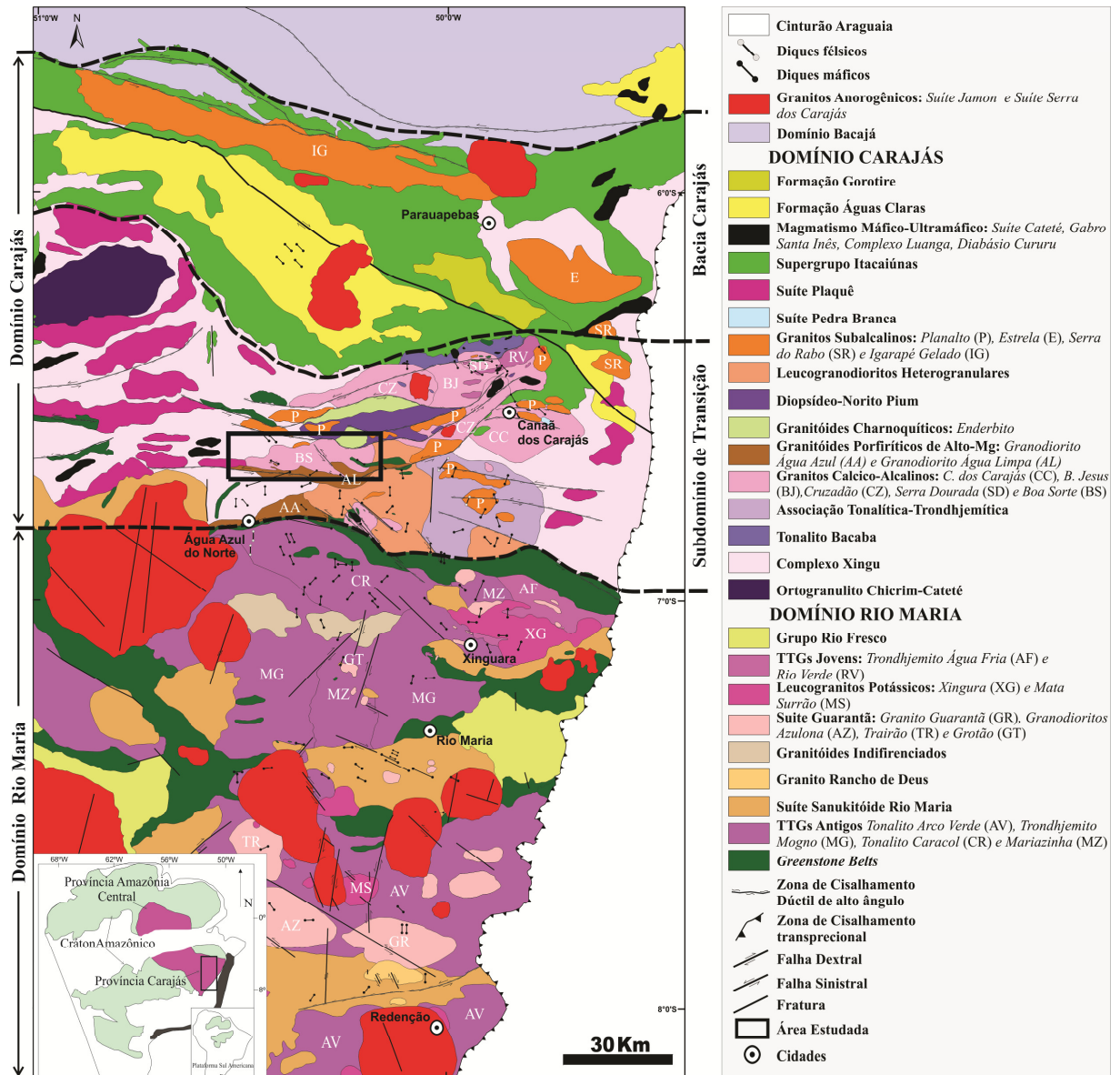


Figura 1.3 – Mapa Geológico da Província Carajás mostrando a localização da área de estudo no Subdomínio de Transição entre o Domínio Rio Maria e a Bacia Carajás. Modificado de Vasquez *et al.* (2008), Oliveira *et al.* (2010), Almeida *et al.* (2011) e Feio *et al.* (2012).

Trabalhos mais recentes (Almeida *et al.* 2008, Dias 2009, Almeida *et al.* 2013) permitiram individualizar dois novos grupos de leucogranitos arqueanos no Domínio Rio Maria. O primeiro grupo é constituído predominantemente por biotita leucogranodioritos e biotita leucomonzogranitos porfíricos, porém termos equigranulares ocorrem de modo subordinado (Almeida *et al.* 2011). Esse grupo aflora predominantemente na área de Pau D'Arco e é representado pelos plutons Guarantã, Azulona e Trairão, agrupados na Suíte Guarantã (Dias 2009, Almeida *et al.* 2011). Stocks e apófises mapeados nas áreas de Xinguara e Bannach e o Granodiorito Grotão, exposto a sudoeste de Xinguara, apresentam características petrográficas e geoquímicas similares às das da Suíte Guarantã. O Granodiorito Grotão é

composto por leucogranodioritos que possuem biotita e epidoto como principais minerais ferromagnesianos e não apresentam ligação genética com o Granodiorito Rio Maria. Possuem ainda *enclaves* de rochas de composições tonalíticas ou trondhjemiticas, deduzindo-se que seja intrusivo no Tonalito Mariazinha, sendo cortado por veios de leucogranitos, no geral, com uma foliação NE-SW (Guimarães 2009).

O segundo grupo de leucogranitos é representado pelo Granito Rancho de Deus (Almeida *et al.* 2008, Dias 2009, Almeida *et al.* 2013) que aflora a sudoeste da cidade de Pau D'Arco, sendo composto por rochas monzograníticas porfiríticas e tendo como principal diferença em relação aos outros grupos de leucogranitos a constante presença de anfibólio modal. As características petrográficas e geoquímicas deste granito se aproximam daquelas da Suíte Sanukitóide Rio Maria (Oliveira 2009).

### 1.3.2 Domínio Carajás

Com base no conhecimento atual sobre a geologia da região, as unidades mesoarqueanas deste domínio ocorrem predominantemente no Subdomínio de Transição (Figura 1.3). Entre estas podem ser destacadas: 1) pequenas ocorrências de metavulcânicas máficas afins dos *greenstone belts* (Oliveira *et al.* 2011, Feio & Dall'Agnol 2012); 2) ortognaisses e granitoides do Complexo Xingu com idades variáveis de 2,97 a 2,85 Ga (DOCEGEO 1988, Machado *et al.* 1991, Avelar *et al.* 1999); 3) Ortogranulito Chicrim-Cateté (Vasquez *et al.* 2008) que, junto com o antigo Complexo Pium (Hirata *et al.* 1982.), datado em *ca.* de 3,0 Ga, com metamorfismo em 2,85 Ga (Pidgeon *et al.* 2000), seriam representantes do embasamento granulítico. Porém, a natureza metamórfica do Complexo Pium foi contestada (Ricci & Carvalho 2006), o que levou Vasquez *et al.* (2008) a considerarem o mesmo como sendo formado por associação charnockítica redenominada de Diopsídio-norito Pium. Posteriormente, Santos *et al.* (2012) e Galarza *et al.* (2012) apresentaram idades de cristalização de cerca de 2,74 Ga para o Diopsídio-norito Pium, sugerindo a formação simultânea entre esta unidade e as suítes neoarqueanas do Domínio Carajás. Com base nessas evidências, restaria apenas o Ortogranulito Chicrim-Cateté como representante do embasamento granulítico mesoarqueano; 4) granitoides de Alto-Mg, tipo Água Azul e Água Limpa, com 2,88 Ga (Gabriel *et al.* 2010, Gabriel 2012); 5) tonalitos e trondhjemitos mesoarqueanos (2,96 a 2,85 Ga; Feio *et al.* 2013, Gabriel 2012, Silva 2012) que podem ser afins das suítes TTG (trondhjemitos Rio Verde, Colorado e outra ocorrência a NE de Água Azul do Norte) ou não (tonalitos Bacaba, São Carlos e complexo tonalítico Campina Verde);

e 6) biotita leucogranitos (Canaã dos Carajás, Bom Jesus, Cruzadão, Serra Dourada e Boa Sorte (Feio & Dall'Agnol 2012; este trabalho).

O Complexo Xingu foi descrito como uma associação litológica heterogênea, que incluía gnaisses, migmatitos, granitoides diversos, granulitos, faixas de *greenstone belts*, e complexos básicos e ultrabásicos (Silva *et al.* 1974, Medeiros Filho & Meireles 1985, DOCEGEO 1988, Araújo & Maia 1991). Avelar *et al.* (1999) obtiveram na região de Tucumã idade de  $2972\pm 16$  Ma (Pb-Pb em zircão) para um gnaiss de composição granodiorítica pertencente a este complexo. Machado *et al.* (1991), nos arredores da cidade de Curionópolis, obtiveram uma idade de  $2859\pm 2$  Ma (U-Pb em Zircão) para o que eles interpretaram como sendo um leucossoma granítico atribuído ao último episódio de migmatização que teria afetado as rochas do Complexo Xingu da região da Serra Leste. Porém, com base em dados texturais e estruturais, Barros *et al.* (2010) reinterpretaram essa idade como sendo relacionada a evento de cristalização de biotita leucogranitos não pertencentes necessariamente ao Complexo Xingu e não de migmatização deste, como fora proposto anteriormente.

Feio *et al.* (2013) descreveram quatro unidades compostas de biotita leucogranitos mesoarqueanos na região de Canaã dos Carajás:

1) O Granito Canaã dos Carajás, consiste de rochas hololeucocráticas fortemente deformadas, dobradas e milonitizadas, exibindo foliação penetrativa E-W de mergulho vertical e fortemente afetadas por zonas de cisalhamentos E-W e NE-SW. Estes leucogranitos mostram assinatura cálcico-alcalina e idade de cristalização de  $2959\pm 6$  Ma (U-Pb em zircão por LA-MC-ICP-MS, Feio *et al.* 2013);

2) O Granito Cruzadão ocorre em duas áreas distintas, uma nas proximidades da borda sul da Bacia Carajás e a norte da área-tipo do Diopsídio-Norito Pium, e outra mais a sul, entre o Granito Bom Jesus e o Granito Canaã dos Carajás, mantendo contato tectônico com este último. É seccionado pelo granito anorogênico Rio Branco e exhibe foliação dominante na direção NW-SE a E-W, sendo localmente afetado por zonas de cisalhamento. Esta unidade constitui-se de rochas hololeucocráticas de assinatura geoquímica transicional entre as séries cálcico-alcalinas e alcalinas. Os dados geocronológicos exibem larga variação de idades para este granito, indicando provavelmente que o mesmo teve uma complexa evolução durante sua história de cristalização. Em razão disso, a idade U-Pb em zircão de  $2845\pm 15$  Ma (LA-MC-ICPMS, Feio *et al.* 2013) foi interpretada como sendo a idade mínima de cristalização destas rochas;

3) O Granito gnáissico Bom Jesus consiste de monzogranitos e sienogranitos essencialmente cálcico-alcálicos, bandados e foliados, de orientação NE-SW a E-W e mergulhos fortes a verticalizados, afetados por zonas de cisalhamento miloníticas que aparentemente controlam a orientação das estruturas maiores do batólito. Uma idade U-Pb em zircão de  $2833\pm 6$  Ma (SHRIMP, Feio *et al.* 2013) foi interpretada como idade mínima de cristalização desta unidade; e

4) O Granito Serra Dourada é um *stock* subcircular intrusivo no Tonalito Bacaba e no Complexo Tonalítico Campina Verde (Nascimento 2006, Moreto *et al.* 2011, Feio *et al.* 2013). É composto principalmente por leucomonzogranitos de granulação média a grossa, coloração rosada e assinatura cálcico-alcálica, sendo grande parte do *stock* formado por rochas pouco deformadas com foliação vertical não penetrativa de direção E-W. São encontrados envolvidos pelo granito remanescentes de *greenstone belts* e também associados a ele, pequenos e abundantes corpos de gabros aparentemente intrusivos. Idades U-Pb em zircão (LA-MC-ICPMS) indicaram para este granito idades de  $2860\pm 22$  Ma (Moreto *et al.* 2011) e  $2831\pm 6$  Ma (Feio *et al.* 2013).

A história neoarqueana deste domínio foi marcada pela tectônica que levou à formação da Bacia Carajás e foi seguida do fechamento da bacia.

O Supergrupo Itacaiúnas engloba uma sequência de rochas metavulcanossedimentares pertencentes aos grupos Igarapé Salobo, Grão-Pará, Igarapé Bahia, Igarapé Pojuca, Rio Novo e Buritirama (DOCEGEO 1988). A natureza do vulcanismo deste supergrupo varia desde máfico a ácido e as assinaturas geoquímicas de suas rochas podem ser toleíticas ou cálcico-alcálicas, sobrepostas por metassedimentares de natureza clástica a química, especialmente formações ferríferas bandadas. Machado *et al.* (1991) admitem que o Supergrupo Itacaiúnas apresenta idades em torno de 2,76 Ga.

Segundo Pinheiro & Holdsworth (2000), as rochas da Formação Águas Claras são de idade arqueana, fazendo parte do topo do Grupo Grão Pará. Segundo Nogueira *et al.* (1995), aquela unidade é constituída por: 1) membro inferior: pelitos, siltitos e arenitos, apresentando características deposicionais de plataforma marinha; 2) membro superior: arenitos depositados sob condições litorâneas (parte inferior) e fluviais (parte superior).

Granitos subalcalinos de idade neoarqueana ocorrem exclusivamente no Domínio Carajás, sendo relativamente abundantes e representados pelo Complexo Granítico Estrela, Suíte Planalto, granitos Serra do Rabo e Igarapé Gelado, todos sintectônicos. Além destes,

foram recentemente descritos os granitos Vila Jussara, que são ora correlacionados à Suíte Planalto (Oliveira *et al.* 2010), ora considerados como outra unidade (Silva 2012).

O Complexo Granítico Estrela é formado predominantemente por monzogranitos, cuja idade Pb-Pb por evaporação de zircão é de  $2763\pm 7$  Ma, atribuída à cristalização destas rochas (Barros *et al.* 2001, Barros *et al.* 2009). Segundo Huhn *et al.* (1999), o Granito Planalto é um *stock* de composição granítica, milonitizado nas bordas, aflorando próximo à Vila Planalto. Estes autores obtiveram idade Pb-Pb em zircão de  $2747\pm 2$  Ma, interpretada como a idade de cristalização/colocação deste granito. Vários corpos similares ao da área tipo deste granito foram identificados no Subdomínio de Transição (Gomes 2003, Oliveira *et al.* 2011, Feio *et al.* 2012), tendo sido englobados na Suíte Planalto. Foram desmembrados recentemente desta suíte os granitos Vila Jussara, que se diferenciam daqueles da Suíte Planalto pelo caráter predominantemente oxidado e pela presença expressiva de rochas granodioríticas e tonalíticas com anfibólio modal (Silva 2012). O Granito Serra do Rabo é formado por dois stocks sintectônicos localizados próximo à terminação leste da Falha Carajás, sendo constituído predominantemente por álcali-feldspato granitos, com sienogranitos subordinados e idade U-Pb em zircão de  $2743\pm 2$  Ma (TIMS, Sardinha 2002, Barros *et al.* 2009). O Granito Igarapé Gelado está localizado no extremo norte do Domínio Carajás (Barbosa 2004), sendo formado por granodioritos e monzogranitos, com tonalitos, leucomonzogranitos e sienogranitos subordinados. A datação de um monzogranito desta unidade forneceu idade de  $2731\pm 26$  Ma, pelo método Pb-Pb em zircão (Barbosa 2004), a qual foi interpretada como idade mínima de cristalização.

A Suíte Plaquê, segundo Araújo *et al.* (1988), é composta por muscovita-biotita leucogranitos peraluminosos que ocorrem como corpos alongados na direção E-W paralelos a subparalelos à estruturação dos gnaisses do Complexo Xingu, que segundo Jorge João & Araújo (1992) são a fonte destes granitos estratoides. Datações Pb-Pb em rocha total forneceram idades de  $2727\pm 29$  Ma para estes granitos (Avelar 1996). No entanto, mapeamentos em escala de semi-detalhe realizados nesta última década na região de Canaã dos Carajás, área de ocorrência da Suíte Plaquê, indicaram ausência nos corpos de granitos atribuídos para esta suíte de duas micas, sendo constatada, porém, a presença de anfibólio-biotita granitos subalcalinos correlacionados à Suíte Planalto ou aos granitos Vila Jussara (Gomes 2003, Oliveira *et al.* 2011, Feio *et al.* 2012, Silva 2013). Isto fez com que fosse posto em cheque o real significado da Suíte Plaquê e reduzida substancialmente sua área de ocorrência.



Já a Formação Gorotire é composta por arenitos e conglomerados depositados em um gráben assimétrico relacionado com a história cinemática da Falha Carajás e teria sido formada, provavelmente, durante uma reativação mesoproterózoica sob cinemática dextral (Lima & Pinheiro 2001).

Neste domínio, os granitos anorogênicos de 1,88 Ga são representados pela Suíte Serra dos Carajás (Dall’Agnol *et al.* 2005), composta pelos Granitos Central de Carajás, Cigano, Pojuca e Rio Branco (Santos *et al.* 2013).

#### 1.4 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

A região compreendida entre os municípios de Canaã dos Carajás e Água Azul do Norte localiza-se no Domínio Carajás, ou no denominado Subdomínio de Transição entre o Domínio Rio Maria e a Bacia Carajás (Feio *et al.* 2012, Figura 1.3). Os trabalhos de mapeamento geológico em escala regional (1:250.000) desenvolvidos nesta área permitiram a individualização dos complexos Pium e Xingu e dos granitos da Suíte Plaquê e daqueles do tipo Planalto, além de ocorrências localizadas de rochas tonalíticas e trondhjemíticas associadas ao Complexo Xingu e sequências supracrustais do Grupo Sapucaia (Araújo *et al.* 1994, Araújo & Maia 1991, Dall’Agnol *et al.* 2006). Dentro desse contexto a Suíte Plaquê ainda está muito pobremente caracterizada.

Alguns *stocks* graníticos aflorantes no Subdomínio de Transição que foram originalmente incluídos na Suíte Plaquê, foram recentemente caracterizados como granitos subalcalinos e do tipo-A (Gomes *et al.* 2004, Sardinha 2005, Feio *et al.* 2012) e correlacionados aos granitos do tipo Planalto (Huhn *et al.* 1999, Oliveira 2003, Silva 2009, Souza 2009). Acredita-se ainda que corpos graníticos mesoarqueanos, como é o caso do plúton estudado, também tenham sido incluídos indiscriminadamente no contexto geológico da Suíte Plaquê, que possui idade neoarqueana (Avelar 1996). Os resultados obtidos no Trabalho de Conclusão de Curso do autor do presente trabalho (Rodrigues 2011), mostraram que este corpo, denominado de Granito Boa Sorte, possui afinidade com granitos cálcico-alcalinos fortemente fracionados e fracamente peraluminosos, de idade mesoarqueana ( $2857 \pm 2$  Ma - Pb-Pb em zircão), com diferentes gerações de cristais herdados ( $2895 \pm 4$  Ma, 2.92 Ga e 3.0 Ga).

A partir deste contexto são levantados os seguintes questionamentos:

- I. A Suíte Plaquê realmente existe no Subdomínio de Transição entre o Domínio Rio Maria e a Bacia Carajás?

- II. Qual o significado deste subdomínio na história evolutiva da Província Carajás como um todo?
- III. O Granito Boa Sorte se assemelha a algum grupo de leucogranitos da Província Carajás?
- IV. Os granitóides existentes no Subdomínio de Transição, particularmente os leucogranitos mesoarqueanos, podem ser correlacionados àqueles do Domínio Rio Maria, o que corroboraria a hipótese de o primeiro ser um terreno similar ao segundo e que, no neoarqueano, teria sido afetado pelos eventos magmáticos e tectônicos registrados na Bacia Carajás (Dall’Agnol *et al.* 2006)?
- V. A idade de cristalização obtida pelo método Pb-Pb em zircão para o Granito Boa Sorte (Rodrigues 2011) poderia refletir uma reabertura do sistema isotópico?

### 1.5 OBJETIVOS

A meta geral deste trabalho é a caracterização geológica, geoquímica e geocronológica do Granito Boa Sorte, bem como a realização de um estudo comparativo entre ele e os demais granitóides arqueanos da Província Carajás, buscando com isso contribuir para a compreensão da evolução crustal deste segmento da Província Carajás. Para tanto foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- a) Delimitar espacialmente a área de ocorrência do Granito Boa Sorte, bem como definir as suas relações de contato com as rochas encaixantes e identificar suas principais feições estruturais;
- b) Caracterizar suas possíveis variedades petrográficas com base em composições modais e análises texturais, além de discutir as transformações pós-magmáticas e feições deformacionais presentes nas mesmas;
- c) Caracterizar geoquimicamente e identificar as séries e/ou tipologias deste granito, bem como discutir os processos magmáticos que controlaram sua evolução;
- d) Refinar os dados geocronológicos Pb-Pb por evaporação em zircão já existentes e buscar definir a idade de formação do Granito Boa Sorte (Rodrigues 2011), utilizando para isso o método U-Pb por LA-MC-ICP-MS em zircão;
- e) Comparar as características petrográficas, geoquímicas e geocronológicas do granito Boa Sorte com as dos demais granitóides arqueanos da Província Carajás já estudados, para avaliar as possíveis afinidades existentes.

## 1.6 MATERIAIS E MÉTODOS

### 1.6.1 Pesquisa Bibliográfica

Consistiu no levantamento bibliográfico referente à geologia da região estudada, principalmente sobre os granitóides arqueanos da Província Carajás. Além disso, foram analisados artigos científicos, dissertações de mestrado e teses de doutorado, com temas específicos concernentes à evolução, gênese, geoquímica e deformação de granitos arqueanos.

### 1.6.2 Mapeamento Geológico

Na fase pré-campo foram realizados trabalhos de cartografia geológica da área, em escala 1:50.000, com exame analógico e digital de imagens de satélite (Landsat 7 e TM), mosaicos de RADAR (SRTM – *Shuttle RADAR Topography Mission*) e de cartas aeroradiométricas, de onde foram retirados os principais dados estruturais de escala regional e mapas de logística. Na etapa de campo foram realizados perfis em estradas principais, vicinais, em limites de fazendas, etc, com a descrição de afloramentos em seus aspectos litológicos e estruturais, enfatizando-se as relações de contato. Nesta etapa, foi realizada também a coleta sistemática de amostras para estudos petrográficos, geoquímicos e geocronológicos. Para a localização dos pontos foi utilizado um GPS (*Global Position System*) com precisão de aproximadamente 5 m, sendo estes pontos locados posteriormente em uma base georreferenciada para a geração do mapa de amostragem.

A área estudada foi mapeada preliminarmente, em suas porções leste e central, por Rodrigues (2011), onde foram descritos e coletadas amostras em 80 afloramentos. Outras duas etapas de campo foram realizadas durante o desenvolvimento da dissertação de forma a cobrir toda a área estudada (siglas DDA e EDC). Daí resultaram a descrição e amostragem de mais 71 afloramentos situados na porção centro-oeste da área (Figura 1.4).

### 1.6.3 Petrografia

Na caracterização petrográfica foi realizado um estudo macroscópico prévio que serviu de base para a seleção de amostras visando à confecção de lâminas delgadas, somando um total de 58 lâminas. Posteriormente foram feitas descrições e a classificação das diversas amostras utilizando-se um microscópio petrográfico para caracterização mineralógica e textural das variedades identificadas. Além disso, foram realizadas análises modais em 43 amostras, representativas das variedades descritas no corpo granítico, em um contador de

pontos da marca *Swift*, onde foram contados 1.500 a 2.000 pontos por amostra. Os dados assim obtidos foram posteriormente plotados nos diagramas Q-A-P e Q-(A+P)-M' (Streckeisen 1976, Le Maitre 2002), permitindo assim classificar adequadamente as rochas estudadas, conforme estabelecido pela IUGS.

#### **1.6.4 Geoquímica**

Foram realizadas análises químicas de rocha total em 32 amostras representativas das diferentes variedades do corpo estudado, previamente selecionadas no estudo petrográfico. Estas amostras foram preparadas na Oficina de Preparação de Amostras (OPA) da UFPA, onde as mesmas foram trituradas em um britador de mandíbulas, pulverizadas e quarteadas utilizando-se de um “Chatterbox” de aço, no intuito de se obter uma boa representatividade do material. As análises foram feitas no Laboratório *Acme Analytical Laboratories Ltd.* (Vancouver, CANADÁ), onde foram determinados por ICP-ES os elementos maiores e menores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), e por ICP-MS os elementos traços (Ba, Rb, Sr, Zr, Nb, Y, Ga, Sc, Th, U e V), incluindo os terras raras (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Yb, Lu).

Os dados obtidos permitiram discriminar e classificar com maior segurança as rochas, bem como compará-las com outros granitóides. A caracterização é baseada em princípios gerais discutidos por Ragland (1989) e Rollinson (1993), sendo utilizados diagramas de variação clássicos e vários diagramas de classificação propostos na literatura (Shand 1950, La Roche *et al.* 1980, Pearce *et al.* 1984, Whalen *et al.* 1987, Debon & Lefort 1988, entre outros), com o intuito de definir a série magmática e a tipologia do granito. Os processos responsáveis pela evolução magmática foram avaliados através do comportamento dos elementos litófilos (Rb, Sr, Ba; cf. Hanson 1978, Dall’Agnol *et al.* 1999 e referências indicadas neste último trabalho), bem como pelas suas assinaturas de elementos terras raras (Henderson 1984, Rollinson 1993).

#### **1.6.5 Geocronologia**

Para este estudo foram utilizadas duas amostras, sendo uma datada pelo método Pb-Pb por Evaporação e outra pelo método U-Pb por LA-MC-ICP-MS, ambas em cristais de zircão. A concentração dos cristais analisados foi feita a partir de aproximadamente 10 kg de amostra triturada, por técnicas convencionais de separação de minerais pesados em rotina no Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso) do Instituto de Geociências da UFPA. Este

utiliza uma combinação de métodos gravimétricos e magnético e separação manual com o auxílio de uma lupa binocular.

No método Pb-Pb por Evaporação em Monocristais de Zircão (Kober 1986), colocado em rotina no laboratório Pará-Iso por Gaudette *et al.* (1998), o cristal selecionado é depositado em um filamento de rênio em forma de canoa, sendo colocadas doze canoas mais um padrão NBS-982 por vez em um “tambor”. As razões isotópicas são medidas em um espectrômetro de massa da marca FINNIGAN, modelo MAT 262, onde o Pb é extraído em pelo menos três etapas de evaporação dos cristais a temperaturas de 1450°, 1500° e 1550 °C. Os dados obtidos são tratados estatisticamente segundo critérios metodológicos estabelecidos no Pará-Iso (Gaudette *et al.* 1998). Entre eles destacam-se os seguintes: os blocos com razões isotópicas  $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  superiores a 0,0004 são desprezados, para tornar mínima a correção de Pb de contaminação ou inicial; são eliminados blocos com desvios superiores a  $2\sigma$  em relação à média da idade do zircão analisado; faz-se, além disso, uma eliminação subjetiva, onde são desprezados blocos, etapas de evaporação, ou cristais de zircão que apresentem idades discordantes da média das idades obtidas nas temperaturas mais altas da maioria dos cristais de zircão.

Já no método U-Pb por LA-MC-ICP-MS (*laser ablation multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry*) em zircão foi utilizado o equipamento *Thermo Finnigan Neptune multi-collector* do Laboratório de Geocronologia da Universidade de Brasília (UNB). A princípio os cristais selecionados são montados em uma fita adesiva, embebidos em resina epoxy e, após sua secagem, é feito o polimento da montagem com lixa e pasta de diamante (3  $\mu\text{m}$ ) até os cristais ficarem expostos e com seus tamanhos reduzidos aproximadamente pela metade, mostrando uma superfície límpida. Na sequência, como forma de investigar a estrutura interna dos cristais a serem analisados, são obtidas imagens dos mesmos por catodoluminescência, neste caso no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do IG-UFGA. Antes da realização das análises, as amostras são limpas em ultrassom com  $\text{HNO}_3$  diluído a 3% e depois lavadas com água destilada. A mesmas são então colocadas no equipamento junto com os padrões, sendo analisados conforme rotina do laboratório (Buhn *et al.* 2009). O método se baseia em análises por espectrômetro de massa multi-coletor com ionização por plasma acoplada e ablação a laser e utiliza feixe de laser de diâmetro de 30 micrômetros (*spot analyses*) para ionização da superfície de amostra. Padrões são analisados em paralelo para controle e a precisão analítica fica entre 1,9 e 3,7% ( $2\sigma$  de desvio padrão) com uma exatidão de 0,6 a 3,8% ( $2\sigma$  de desvio padrão). A interferência de chumbo comum

( $^{204}\text{Pb}$ ) é corrigida pelo monitoramento das massas de  $^{202}\text{Hg}$  e  $^{204}\text{Pb}$  ( $^{204}\text{Hg}+^{204}\text{Pb}$ ) durante as análises, usando o modelo de composição do Pb (Stacey & Kramers 1975).

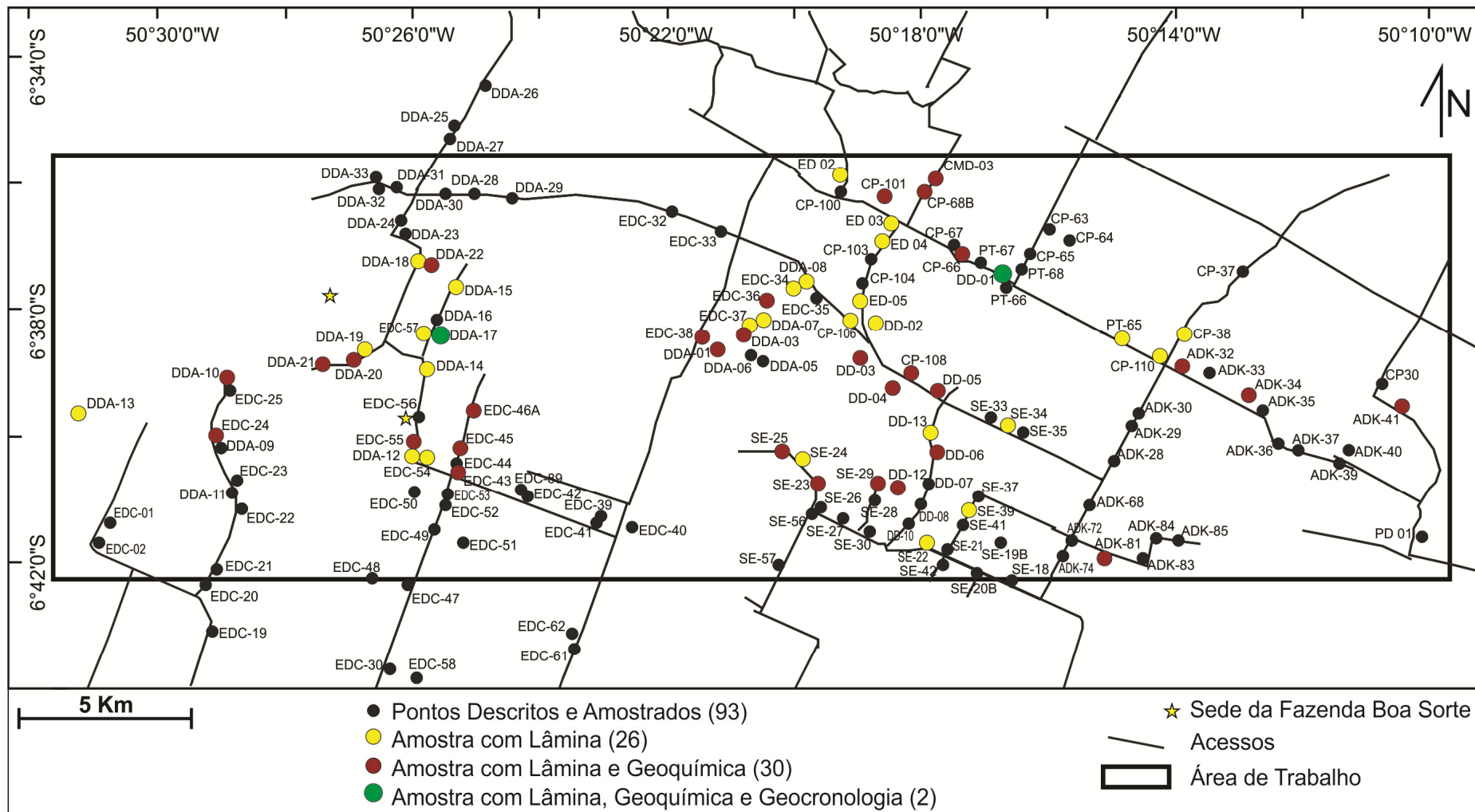


Figura 1.4 – Mapa de Pontos da área estudada.

---

## CAPÍTULO 2

---

### **Geologia, Geoquímica e Geocronologia do Granito Boa Sorte, Município de Água Azul do Norte (PA) – Província Carajás**

*Geology, Geochemistry and Geochronology of the Boa Sorte Granite, Água Azul do Norte Municipality – Carajás Province*

Daniel Silvestre Rodrigues<sup>1,2</sup>, Davis Carvalho de Oliveira<sup>1,2</sup>

1 - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG), Instituto de Geociências (IG), Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém (PA), Brasil.

2 - Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG) IG-UFPA, Belém (PA), Brasil.

E-mail: danielsilvestre.geo@gmail.com, davis@ufpa.br.

#### **Endereço para correspondência:**

Instituto de Geociências - UFPA

Caixa Postal 8608

CEP - 66075-100 - Belém - PA – Brasil



## RESUMO

O Granito Boa Sorte ocorre no Domínio Carajás, ou no Subdomínio de Transição entre o Domínio Rio Maria e a Bacia Carajás. É um batólito alongado na direção E-W, composto predominantemente por biotita leucomonzogranitos, com granodioritos e sienogranitos subordinados, os quais apresentam graus de deformação variados. Faz contato a sul com o Granodiorito Água Limpa, é intrusivo em TTGs e *Greenstone belts* e intrudido por corpos de composição máfica a intermediária com enderbitos associados do Diopsídio-Norito Pium e por granitos da Suíte Planalto. Geoquimicamente foram distinguidas quatro variedades de granitos com base em contrastes no comportamento dos elementos terras raras (ETR): (1) Grupo predominante, caracterizado pelas altas razões  $(La/Yb)_N$  e moderadas anomalias negativas de Eu; (2) Grupo com baixas razões  $(La/Yb)_N$  e fortes anomalias negativas de Eu; (3) Grupo empobrecido em ETR leves, com razões  $(Gd/Yb)_N$  próximas da unidade e anomalias negativas de Eu moderadas; e (4) Grupo caracterizado pelo baixo conteúdo total de ETR, com razões  $(La/Yb)_N$  altas a moderadas. A colocação do corpo se deu no Mesoarqueano, sendo  $2857 \pm 2$  Ma sua idade mínima de cristalização. Pode ter sido gerado por magmas derivados de diferentes processos de fusão de protólitos crustais, cujas idades mais antigas se situariam por volta de 3,00 Ga. Se distingue geoquimicamente dos Leucogranodioritos-granitos (Suíte Guarantã e afins) e mostra mais afinidade com os Leucogranitos Potássicos (Xinguara e Mata Surrão) do Domínio Rio Maria. Os grupos (1) e (2) apresentam boa correspondência com o Granito Cruzadão e, em alguns aspectos, com o Granito Bom Jesus, ambos da área de Canaã dos Carajás, no Subdomínio de Transição. Já o grupo (3) se assemelha ao Granito Serra Dourada, enquanto que o grupo (4) possui maior afinidade com o Granito Canaã dos Carajás. Tais correspondências sugerem que toda a região localizada entre a cidade de Canaã dos Carajás e a porção nordeste do município de Água Azul do norte, tenha sido afetada por processos similares durante a evolução mesoarqueana do Domínio Carajás.

**Palavras-chave:** Província Carajás, Mesoarqueano, Leucogranito, ETR e Geocronologia.

## ABSTRACT

The Boa Sorte granite occurs in the Carajás Domain of the Archean Carajás province. It is exposed in the Transition subdomain between the Rio Maria domain and the Carajás basin, and constitutes a E-W elongated batholith, mainly composed of biotite leucomonzogranites with subordinate granodiorites, showing varying degrees of deformation. It makes contact with the Água Limpa granodiorite to the south, is intrusive into TTGs and

greenstone belts, and is intruded by plutons of mafic to intermediate composition, with associated enderbites, of the Pium diopside-norite and by granites of the Planalto suite. On the basis of contrasts in rare earth elements (REE) behavior, four geochemical groups were identified: (1) It is the predominant group, characterized by high  $(La/Yb)_N$  ratios and moderate negative Eu anomalies; (2) This group displays low  $(La/Yb)_N$  ratios and strong negative Eu anomalies; (3) The third group is depleted in light REE contents, with  $(Gd/Yb)_N$  ratios close to unity, and shows moderate negative Eu anomalies; and (4) The fourth group is characterized by low total REE contents, with high to moderate  $(La/Yb)_N$  ratios. The emplacement of the body occurred in the Mesoarchean and a minimum crystallization age of  $2857 \pm 2$  Ma is assumed. The contrasts between the different groups could be explained by partial melting of variable crustal protoliths, whose oldest ages are around 3.00 Ga. The Boa Sorte granites differs from the Leucogranodiorite-granite group (Guarantã suite and similar rocks) and shows more affinity with the Potassic leucogranites (Xinguara, Mata Surrão) of the Rio Maria domain. The groups of high and low  $(La/Yb)_N$  ratio show good correspondence with the Cruzadão granite and in some respects, with the Bom Jesus granite of the Canaã dos Carajás area of the Transition subdomain. In its turn the low  $(Gd/Yb)_N$  ratio group resembles the Serra Dourada granite, while the fourth group has some geochemical affinity with the Canaã dos Carajás granite. The strong geochemical similarities between the Boa Sorte granite and the Mesoarchean granites described in the Canaã dos Carajás area suggest that that area and the studied area near Água Azul do Norte were affected by similar processes during the Mesoarchean evolution of the Carajás Domain. Both area were subsequently affected by the Neoproterozoic tectonic related to the closing of the Carajás Basin.

**Keywords:** Carajás province, Mesoarchean, leucogranite, REE and Geochronology

## INTRODUÇÃO

Os terrenos arqueanos são amplamente distribuídos por todo o globo terrestre (Martin 1994) e plutons graníticos são responsáveis por cerca de 20% das rochas expostas nessas áreas (Condie 1993). Segundo Sylvester (1994), estes plútons são colocados quase que sincronicamente em grandes áreas de regiões cratônicas, sendo geralmente mais novos que as associações TTG e as vulcânicas félsicas presentes nos *greenstones belts*. Além disso, seriam formados em eventos magmáticos distintos dos que geraram estes últimos. Muitos autores defendem que os granitos arqueanos são gerados por fusão parcial de fontes ígneas ou sedimentares situadas na crosta inferior ou intermediária, o que sugere a existência de placas rígidas no éon Arqueano, quando já operaria uma tectônica de placas semelhante à moderna

(Sylvester 1994, Hawkesworth & Kemp 2006). Os TTGs são comumente admitidos como prováveis fontes dos magmas graníticos arqueanos (Champion & Sheraton 1997, Moyen *et al.* 2003, Sylvester 1994), porém rochas máficas à intermediárias e granulitos empobrecidos foram propostos como fontes alternativas (Champion & Sheraton 1997, Jayananda *et al.* 2006, Feio & Dall’Agnol 2012).

Apesar das suas restritas variações mineralógicas, os granitos arqueanos formam um grupo geoquímico complexo, com contrastes importantes no comportamento dos seus elementos traços. Tais diferenças podem ser o reflexo de variações composicionais da fonte (Moyen 2009), ou dos processos responsáveis pela origem dos magmas, como diferentes graus de fusão parcial, acumulação, magma *mixing* (Almeida *et al.* 2010, Mikkola *et al.* 2012) e/ou reequilíbrio sub-*solidus* através de fluidos deutéricos (Putnis *et al.* 2007). Para fontes similares, mudanças na pressão reinante durante a fusão podem ser responsáveis por variações significativas na assinatura geoquímica do magma gerado (Chappell *et al.* 2012, Feio & Dall’Agnol 2012).

No Subdomínio de Transição entre a Bacia Carajás e o Domínio Rio Maria ocorrem diversos corpos leucograníticos de idade mesoarqueana (Feio *et al.* 2013), entre eles o Granito Boa Sorte (GBS), localizado cerca de 15 km a norte-nordeste da cidade de Água Azul do Norte-PA (Figura 2.1). O presente artigo tem como objetivo a caracterização geológica, geoquímica e geocronológica deste corpo, bem como a realização de um estudo comparativo com os demais granitóides arqueanos da Província Carajás, buscando com isso contribuir para a discussão sobre a evolução deste segmento crustal.

## CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Província Carajás está situada na porção sudeste do Cráton Amazônico (Almeida *et al.* 1981), sendo o maior segmento arqueano identificado na região. É limitada a norte e a sul, respetivamente, pela província Maroni-Itacaiúnas (Tassinari & Macambira 2004) e pelo Domínio Santana do Araguaia, ambos formados no evento Transamazônico entre 2,2 – 2,1 Ga (Vasquez *et al.* 2008); a oeste por granitóides e assembléias vulcano-piroclásticas do Supergrupo Uatumã (Proterozóico) e a leste pelo Cinturão Neoproterozóico Araguaia, relacionado ao evento Brasileiro (Pan-africano). Na Província Carajás, existem dois blocos distintos separados por extensas zonas de cisalhamento de direção E-W (Althoff *et al.* 2000, Dall’Agnol *et al.* 2000, 2006, Santos *et al.* 2006, Vasquez *et al.* 2008). O Domínio Rio Maria, a sul, é formado por rochas mesoarqueanas (3,0 – 2,87 Ga), enquanto o Domínio Carajás, a norte, possui uma evolução meso a neoarqueana (3,0 – 2,76 Ga; Machado *et al.* 1991,

Macambira & Lafon 1995, Barros *et al.* 2001, Oliveira *et al.* 2011, Feio & Dall’Agnol 2012, Feio *et al.* 2012, 2013). Segundo Dall’Agnol *et al.* (2006), a porção sul do Domínio Carajás poderia corresponder a um segmento do Bloco Rio Maria intensamente retrabalhado no neoarqueano, durante a fase compressional da evolução tectônica da Bacia Carajás. Essa porção foi denominada de Subdomínio de Transição (Feio & Dall’Agnol 2012). A compartimentação atual da Província Carajás é mostrada na Figura 2.1.

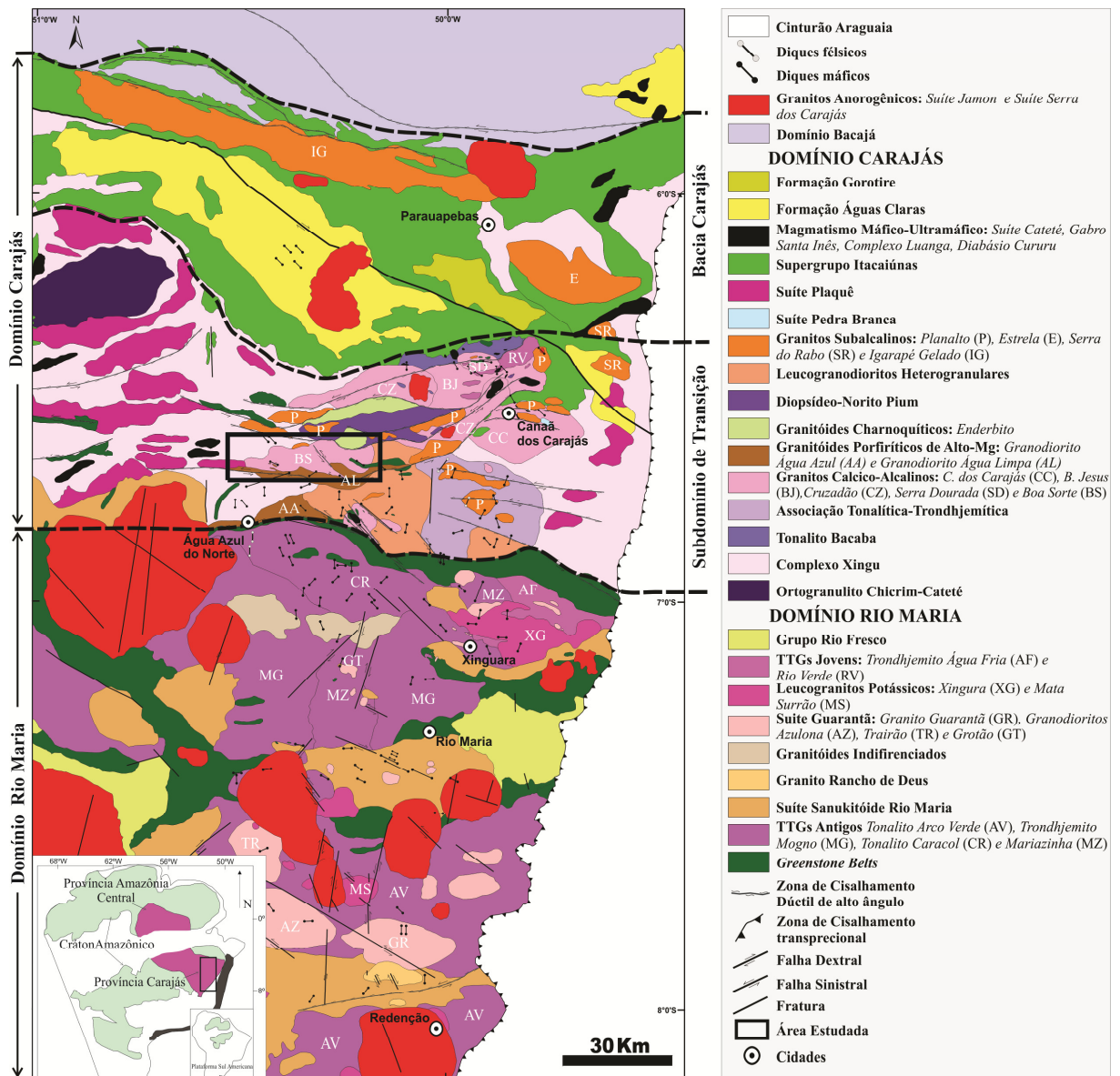


Figura 2.1 – Mapa Geológico da Província Carajás mostrando a localização da área de estudo no Subdomínio de Transição entre o Domínio Rio Maria e a Bacia Carajás. Modificado de Vasquez *et al.* (2008), Oliveira *et al.* (2011), Almeida *et al.* (2011) e Feio *et al.* (2013).

Com base no conhecimento atual sobre a geologia da região, o Subdomínio de Transição é formado pelas seguintes unidades: 1) pequenas ocorrências de metavulcânicas máficas afins dos *greenstone belts* (Oliveira *et al.* 2011, Feio & Dall’Agnol 2012, Marangoanha & Oliveira submetido); 2) ortognaisses e granitoides do Complexo Xingu com

idades variáveis de 2,97 a 2,85 Ga (DOCEGEO 1988, Machado *et al.* 1991, Avelar *et al.* 1999); 3) Ortogranulito Chicrim-Cateté (Vasquez *et al.* 2008) que, junto com o antigo Complexo Pium (Hirata *et al.* 1982,), datado em *ca.* de 3,0 Ga, com metamorfismo em 2,85 Ga (Pidgeon *et al.* 2000), seriam representantes do embasamento granulítico. Porém, a natureza metamórfica do Complexo Pium foi contestada (Ricci & Carvalho 2006), o que levou Vasquez *et al.* (2008) a considerarem o mesmo como sendo formado por uma associação charnockítica redenominada de Diopsídio-norito Pium. Posteriormente, Santos *et al.* (2012) e Galarza *et al.* (2012) apresentaram idades de cristalização de cerca de 2,74 Ga para o Diopsídio-norito Pium, sugerindo a formação simultânea entre esta unidade e as suítes neoarqueanas do Domínio Carajás. Com base nessas evidências, restaria apenas o Ortogranulito Chicrim-Cateté como representante do embasamento granulítico mesoarqueano; 4) granitoides de Alto-Mg, tipo Água Azul e Água Limpa, com idade de 2,88 Ga (Gabriel *et al.* 2010a, Gabriel & Oliveira submetido); 5) tonalitos e trondhjemitos mesoarqueanos (2,96 – 2,85 Ga) que podem (trondhjemitos Rio Verde, Colorado e outra ocorrência à NE de Água Azul do Norte) ou não (tonalitos Bacaba, São Carlos e complexo tonalítico Campina Verde) ser afins das suítes TTG (Feio *et al.* 2013, Gabriel 2012, Silva *et al.* submetido); e 6) biotita leucogranitos.

As unidades mesoarqueanas foram intrudidas por uma série de granitoides neoarqueanos (~2,76 Ga): 1) Suíte Plaquê, composta por granitos supostamente peraluminosos e sin-colisionais (Araújo *et al.* 1988, Avelar *et al.* 1999); 2) Suíte Pedra Branca (Sardinha *et al.* 2004, Gomes & Dall’Agnol 2007, Feio *et al.* 2012, 2013); 3) granitoides da série charnockítica associados ao Diopsídio-norito Pium, como enderbitos e hiperstênio-quartzo gabros (Gabriel *et al.* 2010b, Feio *et al.* 2012); e 4) Suíte Planalto (Huhn *et al.* 1999, Gomes 2003, Oliveira *et al.* 2011), que foi interpretada por Feio *et al.* (2012) como composta de granitos hidratados da série charnockítica, devido às relações de coexistência (*magma mingling*) entre esses grupos rochas (Santos *et al.*, submetido). Ocorrem ainda complexos máfico-ultramáficos estratificados da Suíte Cateté (Macambira & Vale 1997, Lafon *et al.* 2000), granitos anorogênicos paleoproterozóicos da suíte Serra dos Carajás (Santos *et al.* 2013) e, por fim, enxames de diques de composição predominantemente máfica.

## BIOTITA LEUCOGRANITOS MESOARQUEANOS DA PROVÍNCIA CARAJÁS

São apresentadas a seguir apenas as informações mais relevantes a respeito dos grupos de leucogranitos da Província Carajás, que foram utilizados no estudo comparativo com o GBS. Os principais dados geocronológicos estão resumidos na Tabela 2.1.

No Domínio Rio Maria, os dados referentes a estas unidades foram sumariados por Almeida *et al.* (2013), que distinguiu com base em dados petrográficos e geoquímicos, um grupo de leucogranitos Potássicos (granitos Xinguara e Mata Surrão) similar aos Bt granitos do cráton Dharwar (Moyen *et al.* 2003), ou aos granitos de Baixo-Ca do cráton Yilgarn (Champion & Sheraton 1997), e comparado ao subgrupo CA2 de granitos cálcico-alcálicos arqueanos (Sylvester 1994). Individualizou ainda um segundo grupo de Leucogranodioritos-granitos (suíte Guarantã e granitos similares), relativamente enriquecidos em Ba e Sr, equivalente aos TTG's Transicionais ou granitos de Alto-Ca do cráton Yilgarn (Champion & Sheraton 1997) e mais afim ao subgrupo CA1 de Sylvester (1994).

Tabela 2.1 – Sumário dos dados geocronológicos disponíveis na literatura sobre os biotita leucogranitos mesoarqueanos da Província Carajás.

	Unidade	Tipo de Rocha	Método	Idade (Ma)	Ref.
DOMÍNIO CARAJÁS	Granito Boa Sorte	Bt leucogranito (DD-01)	Pb-Pb (evaporação)	2857±2	9
				2895±4	9
				~2,92 Ga <sup>c</sup>	9
				~3,00 Ga <sup>a</sup>	9
		Bt leucogranito (DDA-17)	U-Pb (LA-ICP-MS)	2885±26	9
				2964±42 <sup>c</sup>	9
	Granito Serra Dourada	Bt leucogranito	U-Pb (LA-ICP-MS)	2860±22	6
		Leucomonzogranito	U-Pb (LA-ICP-MS)	2831±6	7
	Granito Cruzadão	Bt sienogranito	U-Pb (LA-ICP-MS)	2845±15	7
				2857±8	7
				2785±16 <sup>b</sup>	7
				2675±26 <sup>b</sup>	7
		Bt leucosienogranito	U-Pb (LA-ICP-MS)	2875±12	7
				3053±8 <sup>a</sup>	7
	Granito Bom Jesus	Bt leucosienogranito	U-Pb (SHRIMP)	2833±6	7
3017±5 <sup>a</sup>				7	
3074±6 <sup>a</sup>				7	
Granito Canaã dos Carajás	Bt leucomonzogranito	Pb-Pb (evaporação)	2928±1	5	
	Bt leucomonzogranito	U-Pb (LA-ICP-MS)	2959±6	7	
			3030±15 <sup>a</sup>	7	
			2864±12 <sup>b</sup>	7	
Complexo Xingu	Leucossoma granítico	U-Pb	2859±2	1	
DOMÍNIO RIO MARIA	Granito Xinguara	Bt leucogranito	Pb-Pb (evaporação)	2865±1	3
	Granito Mata Surrão	Bt granito	Pb-Pb em rocha total	2872±10	2
		Bt leucogranito	Pb-Pb (evaporação)	2875±11	5
	Granito Guarantã	Leucogranito	Pb-Pb (evaporação)	2870±5	4
		Bt leucogranodiorito	Pb-Pb (evaporação)	2864±8	8
		Bt leucogranodiorito	U-Pb (LA-ICP-MS)	2870±16	8

Bt = biotita; Fonte dos dados: 1) Machado *et al.* (1991); 2) Lafon *et al.* (1994); 3) Leite *et al.* (2004); 4) Althoff *et al.* (2000); 5) Rolando & Macambira (2002) 6) Moreto *et al.* (2011); 7) Feio *et al.* (2013); 8) Almeida *et al.* (2013); 9) este trabalho.

<sup>a</sup> Cristal herdado;

<sup>b</sup> Abertura do sistema isotópico;

<sup>c</sup> Idade híbrida.

Na área de Canaã dos Carajás (Figura 2.1), Feio & Dall'Agnol (2012) individualizaram quatro unidades mesoarqueanas compostas por biotita granitos. Os granitos Canaã dos Carajás e Bom Jesus são geoquimicamente afins dos granitos cálcico-alcálicos dos tipos CA1 e CA2, respectivamente, e dos granitos de Alto-Ca do cráton Yilgarn (Champion &

Sheraton 1997). O Granito Cruzadão apresenta uma variedade com alta razão  $(La/Yb)_N$  de afinidade também cálcico-alcalina (CA2) e outras duas variedade com moderada e baixa razão  $(La/Yb)_N$  (Figura 2.8), semelhantes aos granitos alcalinos dos tipos ALK4 e ALK3, respectivamente, de Sylvester (1994). Já o Granito Serra Dourada possui padrões de elementos terras raras (ETR; Figura 2.8), semelhante ao dos granitos fortemente peraluminosos do tipo SP3 de Sylvester (1994). Ainda segundo Feio & Dall’Agnol (2012), os dois últimos (Cruzadão e Serra Dourada) são mais afins dos granitos de Baixo-Ca do cráton Yilgarn (Champion & Sheraton 1997) e todos os quatro apresentam características geoquímicas similares as do grupo de biotita granitos do cráton Dharwar (Moyen *et al.* 2003), apesar deste último ser enriquecido em elementos de alto campo de força (HFSE) e ETR pesados em comparação aos granitos de Canaã dos Carajás.

## **CARACTERIZAÇÃO DO GRANITO BOA SORTE**

### **GEOLOGIA DA ÁREA**

Como mostrado no mapa geológico (Figura 2.2), o GBS é representado por um batólito que compreende uma área de aproximadamente 220 km<sup>2</sup> e mostra alongamento na direção E-W, concordante com a estruturação regional dominante, medindo 37 km em seu eixo maior. Aflora na forma de blocos *in situ* (Figura 2.3a) ou rolados, com cotas variando entre 240 e 440 m (Figura 2.3e). Apresenta em imagens de levantamentos aerogeofísicos anomalias positivas no canal do tório, o que facilita a sua delimitação em mapa. É delimitado e cortado por extensas zonas de cisalhamento dúcteis de direção E-W, com inflexões para NW-SE e mergulhos moderados a fortes (40° a 89°), em geral para norte. A deformação associada imprimiu uma foliação milonítica penetrativa que evolui localmente para um bandamento composicional centimétrico, onde ocorrem bandas quartzo-feldspáticas intercaladas com bandas enriquecidas em biotita e minerais acessórios. Uma cinemática transpressiva sinistral é sugerida pela forma sigmoidal da trajetória da foliação na porção central do corpo. A distribuição da foliação no corpo (Figura 2.2) demonstra ainda a existência de porções onde a deformação dúctil foi menos intensa (áreas com baixa densidade de traços). Nestas ocorrem rochas que se comportaram de forma mais rígida e ainda preservam a textura magmática original.

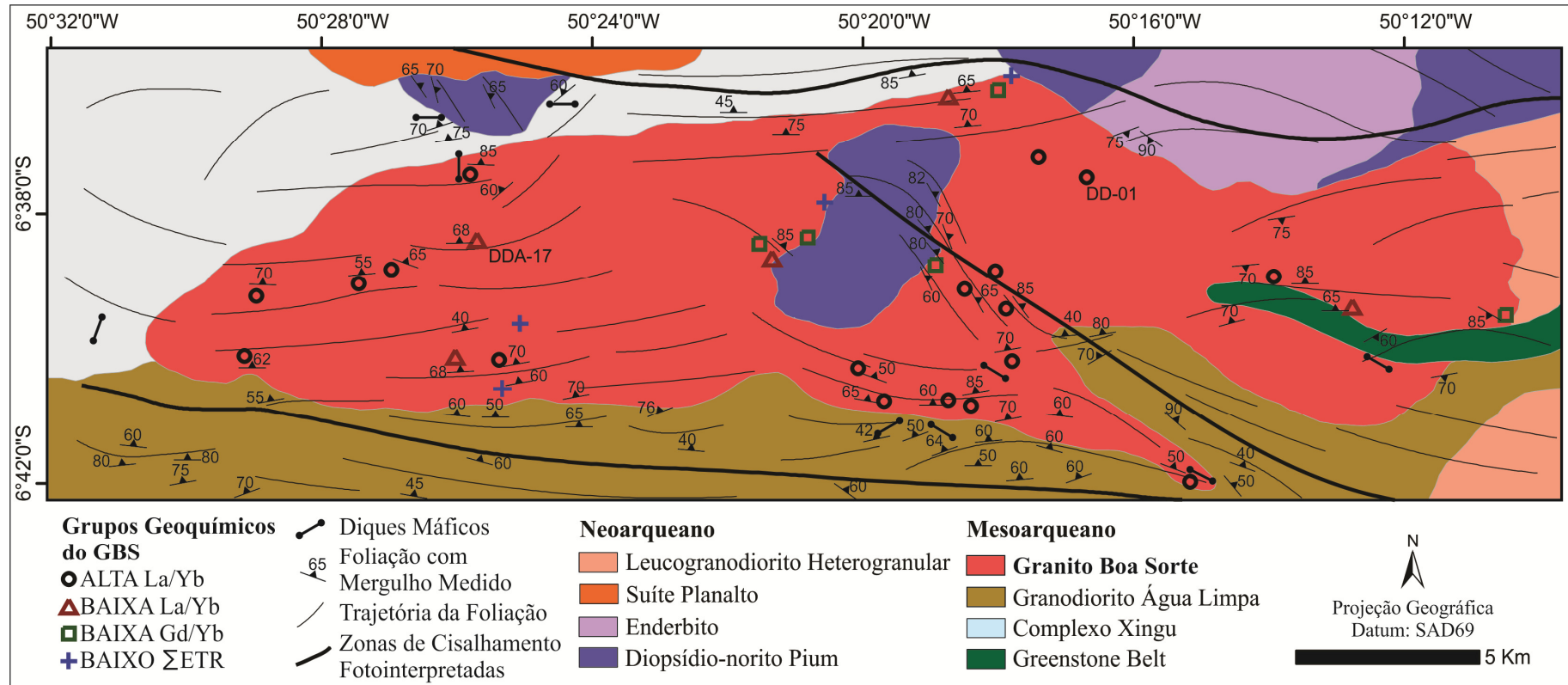


Figura 2.2 – Mapa geológico da área de ocorrência do Granito Boa Sorte, mostrando a localização das amostras analisadas dos seus diferentes grupos geoquímicos, com destaque para aquelas utilizadas também no estudo geocronológico (DD-01 e DD-17).



Apesar das relações de contato com as demais unidades arqueanas presentes na área não serem facilmente observadas no campo, é possível posicionar estratigraficamente o GBS em relação às unidades adjacentes com base: 1) nos dados geocronológicos disponíveis na literatura; 2) nas informações estruturais obtidas em campo e através de sensores remotos; e 3) na disposição das unidades no mapa geológico da área (Figura 2.2).

Os raros *enclaves* encontrados no GBS são pertencentes a pelo menos duas unidades mesoarqueanas: (i) TTGs bandados (Figura 2.3c), que foram observados com formas angulares e parcialmente digeridos, estando associados aos granitoides ainda indiferenciados do Complexo Xingu que ocorrem a noroeste da área (3,0 – 2,87 Ga; Oliveira *et al.* 2011); e (ii) anfíbolitos, em geral estirados segundo o plano da foliação dúctil e que são correlacionados às sequências de *greenstone belts* (Oliveira *et al.* 2011, Feio & Dall’Agnol 2012, Marangoanha & Oliveira submetido), como a que ocorre na porção leste da área de estudo do presente trabalho, em uma faixa relativamente estreita de direção geral E-W (Figuras 2.2 e 2.3e) e que pode ter sido englobada durante a intrusão do GBS, ou represente uma lasca colocada tectonicamente e mesclada com o granito durante o evento de deformação dúctil, possivelmente no neoarqueano. Ao sul o GBS faz contato com as rochas de alto Mg do Granodiorito Água Limpa (2,88 Ga; Oliveira *et al.* 2011, Gabriel & Oliveira submetido), onde pode ser observada uma interdigitação entre os dois corpos, tanto a nível de afloramento (Figura 2.3d), quanto em mapa (Figura 2.2). Tais relações indicam que o GBS é intrusivo nos granitoides do Complexo Xingu e nas sequências de *greenstone belts* e sugerem contemporaneidade com o Granodiorito Água Limpa.

Adicionalmente, gabros e quartzo-dioritos formam um corpo intrusivo na porção central do GBS e alongado na direção NNE-SSW (Figura 2.2), com predomínio de rochas isotrópicas em sua porção centro-sul, de textura equigranular média, comumente apresentando autólitos máficos (Figura 2.3b) e associados com pequenas ocorrências de granitos ricos em anfíbólio do tipo Planalto. Em sua porção norte este segue o mesmo padrão deformacional do GBS, com uma foliação milonítica penetrativa, tendo ambos sido truncados pela mesma zona de cisalhamento de direção NW-SE e mergulho forte para NE. Tais rochas são correlacionadas aquelas de idade neoarqueana da série charnoquítica que formam o Dipsídio-Norito Pium (~2,74 Ga; Feio *et al.* 2012, Santos *et al.* submetido), cuja área tipo se situa imediatamente a NE do GBS (Figura 2.1). Tal correlação indica que a deformação neoarqueana relacionada a inverção da Bacia Carajás afetou consideravelmente as rochas mesoarqueanas do GBS.

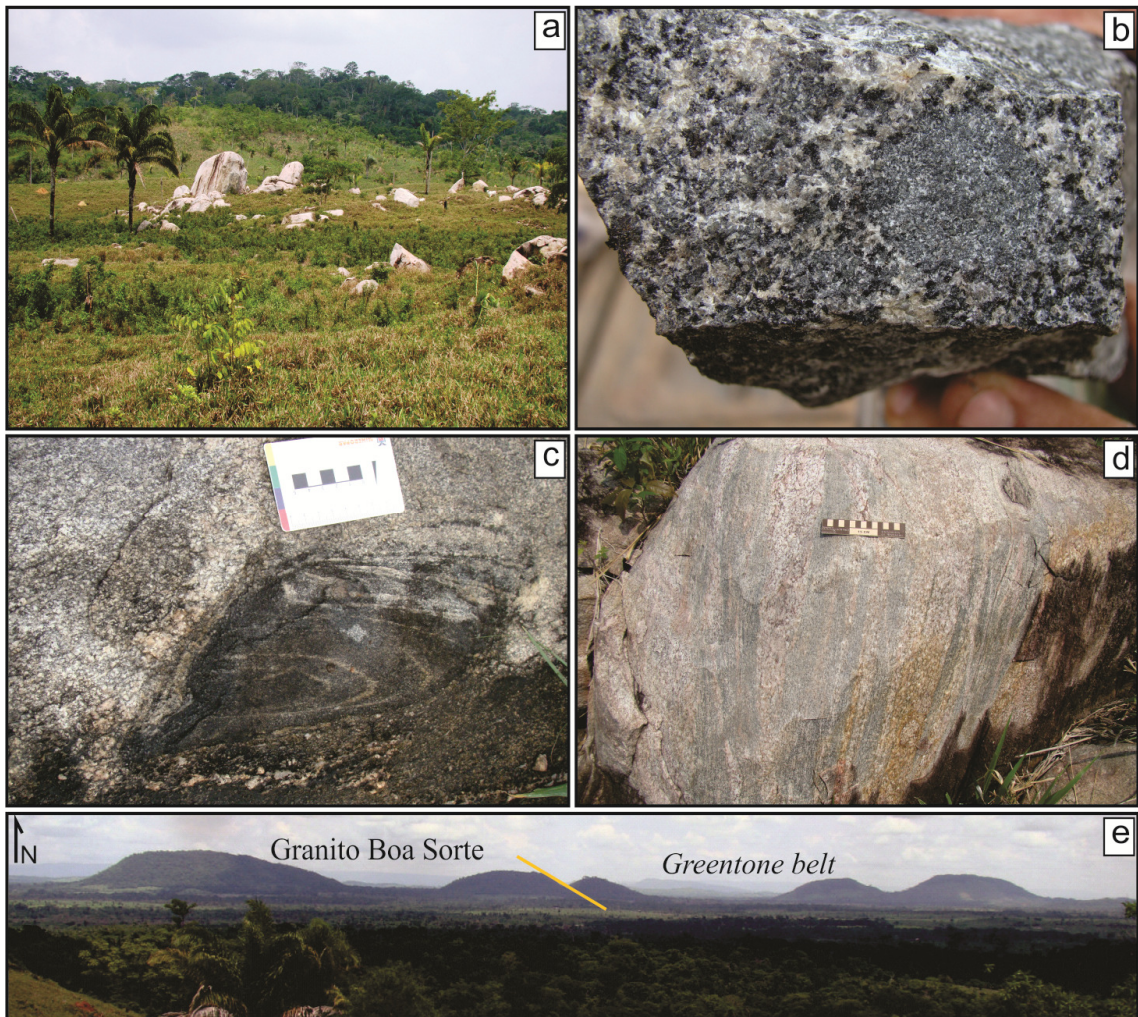


Figura 2.3 – Modo de ocorrência e relações de campo do GBS. a) Afloramento na forma de grandes blocos de biotita leucogranito; b) aspecto macroscópico da variedade litológica predominante no corpo máfico a intermediário intrusivo no GBS; c) *enclave* de biotita tonalito bandado em biotita granito pouco deformado; d) intercalações de biotita leucogranito com tonalitos associados ao granodiorito Água Limpa, próximo ao contato sul do GBS; e) vista panorâmica da porção leste da área de ocorrência do GBS, mostrando um conjunto de serras alinhadas na direção E-W e o contato (linha amarela) com a sequência de *greenstone belts*.

## PETROGRAFIA

Foram realizadas análises modais em 43 amostras do GBS e, de acordo com o esquema de classificação da Subcomissão de Nomenclatura de Rochas ígneas da IUGS (Le Maitre 2002), estas incluem principalmente monzogranitos, com granodioritos subordinados e raros sienogranitos, como mostra o diagrama Q-A-P (Figura 2.4). Em geral possuem menos que 10% de minerais máficos, podendo ser classificadas como rochas leucograníticas ( $M' < 5\%$ , Figura 2.4). A biotita é o principal mineral ferromagnesiano, os minerais acessórios são allanita, magnetita, zircão, apatita e titanita e as fases secundárias clorita, sericita-muscovita, epidoto, titanita, martita e, por vezes, escapolita, carbonatos e minerais opacos. Como consequência da monótona variação composicional do GBS, são apresentados neste trabalho



### Minerais essenciais

(i) *Plagioclásio* – são cristais subautomórficos, intensamente saussuritizados (Figuras 2.5b,c), de granulação fina a média (<1 a 5 mm), com contornos regulares e contatos retos com o quartzo e microclina, sendo que nos contatos com esta última comumente é observado o desenvolvimento de bordas albíticas. Os tipos mais deformados apresentam formas ocelares e sombras de pressão (porfiroclastos), extinção ondulante, fraturas e *kink bands*, além de maclas de crescimento (lei da Albita) e de deformação (que se adelgaçam em direção ao centro dos cristais). Foram obtidas medidas através do método do ângulo de extinção em relação às clivagens em cortes (100) com extinções simétricas dos planos de macla albita, que indicaram composições de oligoclásio cálcico (An<sub>25</sub> e An<sub>24</sub>);

(ii) *Microclina* – são cristais subautomórficos, de granulação média (~3 mm), com contornos regulares, que exibem contatos retilíneos com o quartzo e plagioclásio (Figura 2.5b) ou, por vezes, irregulares com este último devido à presença de mirmequitas em bulbo ou de borda planar (Figura 2.5g). São observadas lamelas de exsolução peritítica do tipo *string* e localmente do tipo *rod* (Alling 1938). Exibem, por vezes, duplas maclas albita-periclina ou segundo a lei *Carlsbad* e, comumente, um aspecto ‘empoeirado’ devido muito possivelmente à presença de inclusões nanométricas de hematita (Putnis *et al.* 2007). Os cristais de feldspato alcalino mostram extinção ondulante fraca a moderada, fraturas preenchidas por quartzo e há cristais neoformados (recristalizados), feições estas ligadas à deformação sofrida pela rocha;

(iii) *Quartzo* – neste mineral, as feições deformacionais mais importantes são a ocorrência de subgrãos estirados na forma de *ribbons* formando agregados entre si, muitas vezes com extinção ondulante e bandas de deformação (Figura 2.5f). Nos tipos menos deformados, tais agregados ainda preservam os contornos dos cristais magmáticos, que cresceram de forma a preencher os espaços existentes entre os feldspatos cristalizados precocemente (Figuras 2.5b,c). Este mineral ocorre ainda como inclusões xenomórficas, preenchendo fraturas nos feldspatos ou alongado segundo os planos de macla do plagioclásio. Os neogrãos de feldspatos e quartzo muitas vezes apresentam limites retos e junções tríplexes (Figuras 2.5g,h), o que evidencia recristalização estática (Passchier & Trouw 2005). O quartzo responde mais prontamente à deformação do que os feldspatos (Barros & Dall’Agnol 1994, Passchier & Trouw 2005, Vernon 2004) e por isso apresenta evidências de deformação mesmo nas rochas pouco deformadas.

### **Mineral varietal**

*Biotita* – nas rochas menos deformadas, este mineral apresenta alteração parcial e muitas vezes total para clorita, além de titanita e epidoto, que ocorrem ao longo de seus planos de clivagem. Apresenta inclusões de zircão e forma agregados máficos com opacos, titanita e allanita (Figura 2.5d). Já nas rochas foliadas, estes cristais ocorrem fracamente alterados, com um pleocroísmo forte a moderado, variando de marrom avermelhado (z=y) a verde oliva pálido (x). Orientam-se segundo o plano de foliação da rocha, podendo ocupar os interstícios ou preencher microfraturas nos feldspatos ou associar-se aos subgrãos e neogrãos de feldspatos e quartzo, porém sem apresentar feições de deformação, sugerindo que os cristais de mica se formaram ou se reestabilizaram durante e após o último evento deformacional.

### **Minerais acessórios**

- (i) *Magnetita* – apresenta formas subautomórficas a automórficas e granulação fina (< 1mm), podendo ocorrer como inclusões em biotita, feldspatos e quartzo. Em geral, acha-se substituída parcial ou totalmente por hematita (martita);
- (ii) *Allanita* – são cristais subautomórficos, de granulação fina (< 1mm), intensamente metamictizados e geralmente associados aos agregados máficos (Figura 2.5d), podendo ainda ocorrer como inclusões na biotita;
- (iii) *Zircão* – forma cristais automórficos e zonados, que ocorrem associados aos agregados máficos (Figura 2.5d), em geral inclusos em biotita, na qual desenvolvem halos pleocróicos, ou ainda em titanita, allanita e minerais opacos;
- (iv) *Apatita* – são cristais de granulação muito fina (< 0,5 mm), prismáticos, em geral com partição basal característica;
- (v) *Titanita* – ocorre com formas subautomórficas a xenomórficas, de granulação fina a média (0,2 a 1,5 mm), ou como produto de alteração da biotita;
- (vi) *Muscovita* – Sua ocorrência é restrita às rochas mais deformadas onde ocorre como cristais finos (< 0,2 mm), normalmente associados à biotita e em meio aos agregados de neogrãos poligonalizados de feldspatos e quartzo. Assim como a biotita, não apresenta sinais de deformação (Figura 2.5h). Tais feições sugerem que este mineral teve origem relacionada à reestabilização (recristalização); e
- (vii) *Escapolita* – este mineral forma cristais de granulação fina, geralmente associados aos feldspatos. Foi observado de maneira mais expressiva em duas amostras (ADK-32 e EDC-38, Tabela 2.2).

Tabela 2.2 – Composições modais de amostras representativas das diferentes variedades do Granito Boa Sorte.

Gr. Geoquímico	ALTA La/Yb																	
	Amostra	SE-29	DD-01*	DD-05	SE-25	DDA-22	ADK-81	DDA-20	CP-66*	DD-12	ADK-32*	EDC-24	DD-06	DDA-21	DD-04	CP-108*	SE-23	DDA-10
<b>Quartzo</b>	29,3	30,1	27,9	27,1	36,8	36	26,5	31,1	37,8	37,4	31,5	31	29,3	26,2	27,8	33,1	31,2	27,5
<b>Microclina</b>	26,1	15,3	25,5	37,1	34	19,1	30,3	38,7	25,9	31,9	30,5	28	34,6	21,6	39,8	34,7	32,4	43,8
<b>Plagioclásio</b>	37,2	49,9	40,2	31	26,1	31,5	38,2	27,4	29,1	24,3	32,4	32,9	32,1	45,7	29,9	28,6	28,6	23,9
<b>Biotita</b>	6,7	0,3	5,8	3,6	3	10,5	4,4	-	6,4	tr	4,1	7,9	3,9	5,6	0,9	2,5	5,9	4,3
<b>Opacos</b>	0,1	-	0,1	0,1	0,1	1,1	0,3	0,1	0,4	0,2	0,6	0,2	tr	0,4	0,1	0,1	0,7	0,3
<b>Zircão</b>	tr	tr	tr	0,2	tr	0,1	0,1	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
<b>Apatita</b>	tr	-	-	tr	-	tr	-	-	tr	-	-	-	-	tr	tr	-	-	-
<b>Allanita</b>	0,3	0,1	0,4	0,2	-	0,3	0,1	0,1	tr	0,2	tr	tr	0,1	0,1	tr	tr	-	0,1
<b>Titanita</b>	-	-	tr	tr	-	tr	-	-	0,1	tr	-	tr	-	-	tr	-	-	-
<b>Muscovita</b>	0,2	-	-	0,5	tr	1,4	0,1	-	0,3	tr	0,7	tr	-	tr	tr	0,2	1,2	0,1
<b>Clorita</b>	tr	3,2	tr	0,2	tr	tr	tr	2	tr	2	0,2	tr	-	0,4	1,5	0,3	-	tr
<b>Epidoto</b>	tr	0,6	0,1	tr	tr	tr	-	0,4	tr	2,2	tr	tr	-	tr	tr	tr	tr	-
<b>Clinozoisita</b>	tr	0,3	-	-	-	tr	-	-	tr	tr	-	-	-	-	tr	-	-	-
<b>Escapolita</b>	0,1	0,2	-	-	-	tr	-	0,2	tr	1,8	-	-	-	-	-	0,5	-	-
<b>Máficos</b>	7,1	3,6	6,3	4,3	3,1	12,0	4,9	2,2	6,9	2,4	4,9	8,1	4,0	6,5	2,5	2,9	6,6	4,7
<b>A+P</b>	63,3	65,2	65,7	68,1	60,1	50,6	68,5	66,1	55	56,2	62,9	60,9	66,7	67,3	69,7	63,3	61	67,7

Gr. Geoquímico	BAIXA La/Yb					BAIXA Gd/Yb					BAIXO ΣETR			
	Amostra	CP-101	DDA-01*	DDA-17	ADK-34	EDC-55	CP-68B	DDA-03	DD-03	EDC-38*	ADK-41*	EDC-36A	CMD-03	EDC-46A
<b>Quartzo</b>	25,9	34,2	28,8	30,8	34,3	25,3	26,8	34,6	37,2	30,9	36,4	29,2	46,2	30,6
<b>Microclina</b>	32,2	24,5	43,9	30,7	38,1	40,8	12,6	25,3	4,9	16,4	22,9	30,3	38,6	40,7
<b>Plagioclásio</b>	34,8	39,2	22,9	33,9	24,1	28,9	57,3	34,9	48,3	51,3	39,3	35,4	14,2	25,7
<b>Biotita</b>	5,3	0,7	3,9	3,9	2,2	4,9	2,7	3,7	6,6	0,5	0,9	4,9	0,2	2,9
<b>Opacos</b>	0,4	0,3	0,5	tr	0,4	0,1	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	-	0,1
<b>Zircão</b>	tr	tr	tr	0,1	-	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	-	tr
<b>Apatita</b>	-	-	-	-	-	-	-	tr	-	-	-	-	-	-
<b>Allanita</b>	0,1	tr	-	0,2	tr	tr	-	tr	0,1	-	-	tr	-	tr
<b>Titanita</b>	0,4	-	-	tr	-	tr	-	0,1	-	tr	-	-	-	tr
<b>Muscovita</b>	0,3	-	tr	0,1	-	tr	tr	1	tr	0,7	0,3	tr	-	-
<b>Clorita</b>	0,6	1	-	0,1	0,9	tr	-	tr	-	tr	0,1	tr	0,8	-
<b>Epidoto</b>	-	-	tr	0,2	-	tr	-	tr	tr	0,1	tr	tr	-	tr
<b>Clinozoisita</b>	-	-	-	-	-	-	-	tr	-	-	-	-	-	-
<b>Escapolita</b>	-	0,1	-	-	-	-	-	0,3	2,8	tr	-	-	-	-
<b>Máficos</b>	6,8	2,0	4,4	4,3	3,5	5,0	3,3	3,9	6,8	0,6	1,1	5,1	1,0	3,0
<b>A+P</b>	67	63,7	66,8	64,6	62,2	69,7	69,9	60,2	53,2	67,7	62,2	65,7	52,8	66,4

\*Amostras de rochas pouco deformadas; tr = mineral com contagem modal < 0,1%; - = mineral não observado. O n° de pontos variou entre 1500 e 2000.

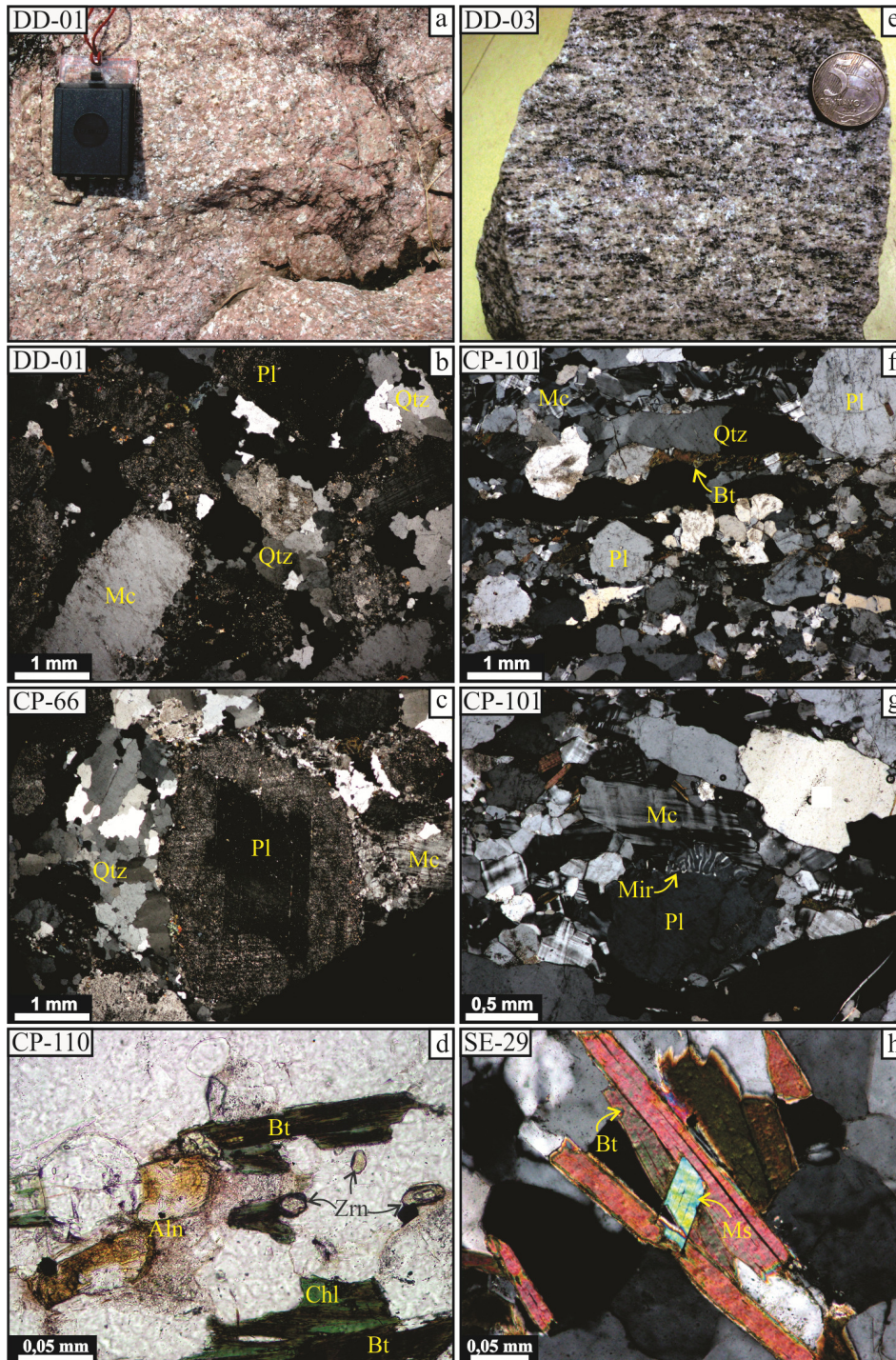


Figura 2.5 – Aspectos texturais do Granito Boa Sorte. Rochas pouco deformadas: a) Aspecto macroscópico; b, c e d) fotomicrografias em microscópio petrográfico em nicóis cruzados (b, c) ou paralelos (d). b) Notar o aspecto isotrópico, a forma subautomórfica da microclina (Mc), a intensa saussuritização do plagioclásio (Pl) e os subgrãos de quartzo (Qtz); c) cristal de plagioclásio intensamente saussuritizado; d) cristais de biotita intensamente cloritizados, associados a allanita (Aln) e zircão (Zrn). Rochas foliadas: e) aspecto geral macroscópico; f, g e h) fotomicrografias em microscópio petrográfico em nicóis cruzados. f) porfiroclastos de plagioclásio (Pl) e microclina (Mc) e *ribbons* de quartzo (Qtz) em meio aos agregados de neogrãos; g) mirmequita (Mir) em bulbo invadindo a microclina (Mc) no contato com o plagioclásio (Pl). Notar os neogrãos poligonalizados de Mc na porção esquerda da fotomicrografia; h) cristais de biotita (Bt) e muscovita (Ms) subautomórficos e sem sinais de deformação, em meio a subgrãos poligonalizados de feldspatos. Símbolos conforme Kretz (1983).

### Breves considerações sobre microtectônica

No que tange às condições de temperatura atuantes durante a deformação das rochas do Granito Boa Sorte, os feldspatos se comportam ductilmente, desenvolvendo feições como extinção ondulante, *kink bands* e neogrãos, em condições de médio grau e temperaturas entre 450°C e 600°C (Passchier & Trouw 2005). Segundo estes mesmos autores, se a temperatura continua relativamente elevada ao fim da deformação, mecanismos de recuperação, recristalização e redução de limites de grãos podem continuar atuando no sentido de reduzir a energia interna do sistema. A combinação desses processos é conhecida como recristalização estática (Evans *et al.* 2001). Nas rochas estudadas, há evidências deste processo, conforme indicado pelos agregados de neogrãos poligonalizados de feldspatos e quartzo associados às micas orientadas (Figura 2.5h), cujas formas são resultantes dos diferentes graus de anisotropia em relação à energia nos limites dos cristais (Vernon 1976). Já com relação às condições de pressão exercida durante a deformação de granitos, os limites são menos precisos, porém, segundo Scholz (1988) os feldspatos assumem um comportamento dúctil a profundidades de 15 a 21 km, sob pressão de  $6\pm 1$  kbar.

### GEOQUÍMICA

Foram realizadas análises químicas de rocha total em 32 amostras representativas do GBS. As análises foram realizadas no laboratório *Acme Analytical Laboratories Ltd.*, por ICP-ES para os elementos maiores e menores e ICP-MS para os elementos traços, incluindo os ETR, sendo utilizados os pacotes analíticos 4A e 4B. Os métodos empregados e os limites de detecção podem ser encontrados no site do laboratório ([www.acmelab.com](http://www.acmelab.com)).

Com base nesses dados foi possível identificar quatro grupos de rochas separados, a princípio, pelos seus diferentes padrões de ETR e nomeados ALTA La/Yb, BAIXA La/Yb, BAIXA Gd/Yb e BAIXO  $\Sigma$ ETR (Tabela 2.3). Estes grupos não apresentam uma correlação direta com as variações texturais descritas devidas à deformação, sendo que a distribuição dos mesmos no corpo pode ser observada no mapa da Figura 2.2. A seguir será apresentado e descrito o comportamento dos elementos maiores, menores e traços destes grupos.



Tabela 2. 3 – Composições químicas de amostras representativas dos diferentes grupos do Granito Boa Sorte.

Grupo	ALTA La/Yb																		Média	
	SE-29	DD-01	DD-05	SE-25	DDA-22	ADK-81	DDA-20	CP-66	DD-12	ADK-32	EDC-24	DD-06	DDA-21	DD-04	CP-108	SE-23	DDA-10	EDC-45		
Amostra	MzG	MzG	SG	SG	MzG	SG	SG	SG	SG	SG	SG	SG	SG	SG	SG	SG	SG	SG	SG	
<b>Classificação P-Q</b>																				
SiO <sub>2</sub> (%)	69,01	69,87	70,74	71,38	71,79	71,92	72,06	72,35	72,68	72,87	72,89	72,97	73,24	73,30	73,33	73,61	73,82	73,94	72,32	
TiO <sub>2</sub>	0,17	0,20	0,18	0,21	0,21	0,25	0,25	0,17	0,15	0,11	0,15	0,14	0,16	0,16	0,15	0,09	0,13	0,15	0,17	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,86	15,35	14,53	14,10	14,65	13,97	14,46	14,08	14,03	13,89	14,40	13,78	13,89	13,80	13,74	13,56	14,06	13,83	14,22	
FeO <sub>t</sub>	1,91	2,19	2,11	2,05	1,66	2,06	1,76	1,73	1,74	1,24	1,47	1,62	1,32	1,53	1,37	1,40	1,36	1,42	1,66	
MnO	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	
MgO	0,61	0,48	0,64	0,41	0,51	0,45	0,37	0,42	0,46	0,27	0,37	0,38	0,27	0,26	0,27	0,26	0,28	0,26	0,39	
CaO	1,79	1,97	1,63	1,45	1,68	1,27	1,28	1,46	1,41	1,07	1,10	1,40	1,13	1,21	1,02	1,12	1,22	0,96	1,34	
Na <sub>2</sub> O	4,15	4,11	3,50	3,30	3,75	3,12	3,58	3,49	3,44	3,32	3,66	3,36	3,29	3,43	3,18	3,01	3,48	3,46	3,48	
K <sub>2</sub> O	4,96	4,25	5,22	5,49	4,56	5,60	5,34	4,90	4,94	5,73	5,11	5,09	5,47	5,25	5,73	5,69	4,92	5,34	5,20	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,09	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,01	0,06	0,06	0,03	0,06	0,06	0,03	0,05	0,04	0,05	0,03	0,05	0,05	
PF	0,90	1,00	0,90	1,00	0,60	0,70	0,40	0,90	0,60	1,10	0,40	0,70	0,80	0,60	0,80	0,80	0,30	0,20	0,71	
<b>Total</b>	<b>99,47</b>	<b>99,49</b>	<b>99,55</b>	<b>99,48</b>	<b>99,48</b>	<b>99,44</b>	<b>99,55</b>	<b>99,57</b>	<b>99,53</b>	<b>99,64</b>	<b>99,62</b>	<b>99,52</b>	<b>99,63</b>	<b>99,63</b>	<b>99,65</b>	<b>99,61</b>	<b>99,62</b>	<b>99,64</b>	<b>99,56</b>	
<b>Ba (ppm)</b>	<b>1236,0</b>	<b>1141,0</b>	<b>945,0</b>	<b>1001,0</b>	<b>1730,0</b>	<b>1609,0</b>	<b>894,0</b>	<b>1502,0</b>	<b>1236,0</b>	<b>1802,0</b>	<b>990,0</b>	<b>988,0</b>	<b>785,0</b>	<b>930,0</b>	<b>910,0</b>	<b>1157,0</b>	<b>1034,0</b>	<b>798,0</b>	<b>1149,3</b>	
<b>Sr</b>	<b>457,6</b>	<b>341,3</b>	<b>364,1</b>	<b>208,2</b>	<b>324,2</b>	<b>217,6</b>	<b>219,0</b>	<b>295,8</b>	<b>335,7</b>	<b>260,2</b>	<b>196,5</b>	<b>221,9</b>	<b>189,9</b>	<b>169,2</b>	<b>164,3</b>	<b>329,5</b>	<b>211,8</b>	<b>127,9</b>	<b>257,5</b>	
<b>Rb</b>	<b>150,5</b>	<b>116,4</b>	<b>161,1</b>	<b>143,2</b>	<b>109,0</b>	<b>141,5</b>	<b>175,1</b>	<b>125,9</b>	<b>104,2</b>	<b>113,4</b>	<b>161,1</b>	<b>110,9</b>	<b>201,2</b>	<b>202,3</b>	<b>172,8</b>	<b>134,3</b>	<b>153,8</b>	<b>243,3</b>	<b>151,1</b>	
<b>Zr</b>	<b>251,4</b>	<b>162,3</b>	<b>216,1</b>	<b>203,1</b>	<b>193,6</b>	<b>259,9</b>	<b>213,3</b>	<b>157,4</b>	<b>217,9</b>	<b>156,3</b>	<b>178,7</b>	<b>206,1</b>	<b>159,2</b>	<b>173,1</b>	<b>154,8</b>	<b>164,4</b>	<b>157,7</b>	<b>158,6</b>	<b>188,0</b>	
<b>Y</b>	<b>8,9</b>	<b>4,7</b>	<b>5,3</b>	<b>4,7</b>	<b>3,7</b>	<b>4,9</b>	<b>13,6</b>	<b>4,5</b>	<b>2,8</b>	<b>5,9</b>	<b>4,7</b>	<b>6,9</b>	<b>8,2</b>	<b>5,9</b>	<b>7,2</b>	<b>6,1</b>	<b>7,2</b>	<b>11,5</b>	<b>6,5</b>	
<b>Nb</b>	<b>3,1</b>	<b>6,4</b>	<b>5,0</b>	<b>3,4</b>	<b>3,1</b>	<b>2,5</b>	<b>8,5</b>	<b>5,4</b>	<b>2,4</b>	<b>2,4</b>	<b>3,1</b>	<b>2,2</b>	<b>7,1</b>	<b>6,7</b>	<b>6,0</b>	<b>3,3</b>	<b>7,0</b>	<b>5,2</b>	<b>4,6</b>	
<b>Hf</b>	<b>7,1</b>	<b>4,5</b>	<b>6,1</b>	<b>5,5</b>	<b>5,4</b>	<b>8,1</b>	<b>6,9</b>	<b>4,7</b>	<b>5,9</b>	<b>5,2</b>	<b>5,5</b>	<b>6,4</b>	<b>4,7</b>	<b>5,3</b>	<b>4,8</b>	<b>5,1</b>	<b>4,1</b>	<b>5,0</b>	<b>5,6</b>	
<b>Ta</b>	<b>0,2</b>	<b>2,0</b>	<b>0,6</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>2,6</b>	<b>1,0</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>0,5</b>	<b>0,3</b>	<b>0,7</b>	<b>0,4</b>	<b>0,7</b>	
<b>Ni</b>	<b>6,5</b>	<b>5,3</b>	<b>10,4</b>	<b>5,8</b>	<b>5,9</b>	<b>5,6</b>	<b>3,1</b>	<b>6,5</b>	<b>5,2</b>	<b>3,9</b>	<b>3,4</b>	<b>5,2</b>	<b>2,7</b>	<b>2,7</b>	<b>2,9</b>	<b>5,0</b>	<b>2,9</b>	<b>3,4</b>	<b>4,8</b>	
<b>Cu</b>	<b>60,0</b>	<b>57,2</b>	<b>65,1</b>	<b>8,4</b>	<b>8,1</b>	<b>12,7</b>	<b>8,5</b>	<b>33,3</b>	<b>15,8</b>	<b>9,3</b>	<b>5,0</b>	<b>14,5</b>	<b>5,0</b>	<b>9,8</b>	<b>14,9</b>	<b>5,5</b>	<b>3,1</b>	<b>8,2</b>	<b>19,1</b>	
<b>U</b>	<b>1,1</b>	<b>3,1</b>	<b>3,9</b>	<b>1,4</b>	<b>1,1</b>	<b>1,9</b>	<b>9,6</b>	<b>3,5</b>	<b>1,1</b>	<b>4,0</b>	<b>1,9</b>	<b>1,6</b>	<b>9,0</b>	<b>3,5</b>	<b>7,5</b>	<b>2,1</b>	<b>4,7</b>	<b>5,9</b>	<b>3,7</b>	
<b>Th</b>	<b>30,5</b>	<b>32,7</b>	<b>39,3</b>	<b>36,3</b>	<b>35,8</b>	<b>39,2</b>	<b>85,9</b>	<b>39,6</b>	<b>19,0</b>	<b>43,2</b>	<b>51,2</b>	<b>29,7</b>	<b>41,3</b>	<b>23,1</b>	<b>43,0</b>	<b>39,1</b>	<b>47,7</b>	<b>34,2</b>	<b>39,5</b>	
<b>Pb</b>	<b>8,0</b>	<b>16,6</b>	<b>12,1</b>	<b>10,2</b>	<b>9,7</b>	<b>7,9</b>	<b>25,3</b>	<b>17,3</b>	<b>6,5</b>	<b>5,1</b>	<b>17,2</b>	<b>8,1</b>	<b>15,5</b>	<b>14,2</b>	<b>16,4</b>	<b>12,5</b>	<b>12,8</b>	<b>11,7</b>	<b>12,6</b>	
<b>Ga</b>	<b>17,3</b>	<b>17,4</b>	<b>16,1</b>	<b>15,6</b>	<b>15,7</b>	<b>14,9</b>	<b>15,5</b>	<b>14,2</b>	<b>15,1</b>	<b>14,2</b>	<b>15,5</b>	<b>14,8</b>	<b>14,4</b>	<b>15,9</b>	<b>15,5</b>	<b>13,8</b>	<b>15,9</b>	<b>16,1</b>	<b>15,4</b>	
<b>La (ppm)</b>	<b>132,00</b>	<b>57,70</b>	<b>54,80</b>	<b>67,90</b>	<b>63,20</b>	<b>117,60</b>	<b>172,70</b>	<b>61,70</b>	<b>60,40</b>	<b>65,50</b>	<b>64,60</b>	<b>229,10</b>	<b>55,70</b>	<b>54,90</b>	<b>71,80</b>	<b>68,30</b>	<b>52,50</b>	<b>95,80</b>	<b>85,90</b>	
<b>Ce</b>	<b>221,70</b>	<b>110,30</b>	<b>114,70</b>	<b>140,60</b>	<b>110,70</b>	<b>179,40</b>	<b>171,50</b>	<b>113,20</b>	<b>118,00</b>	<b>106,20</b>	<b>121,60</b>	<b>206,60</b>	<b>95,00</b>	<b>110,20</b>	<b>146,90</b>	<b>115,60</b>	<b>101,80</b>	<b>151,30</b>	<b>135,29</b>	
<b>Pr</b>	<b>22,86</b>	<b>10,90</b>	<b>11,20</b>	<b>13,52</b>	<b>10,73</b>	<b>20,83</b>	<b>29,65</b>	<b>11,57</b>	<b>11,24</b>	<b>12,64</b>	<b>11,50</b>	<b>42,88</b>	<b>8,94</b>	<b>11,10</b>	<b>14,74</b>	<b>12,49</b>	<b>9,70</b>	<b>16,75</b>	<b>15,74</b>	
<b>Nd</b>	<b>72,10</b>	<b>35,40</b>	<b>35,90</b>	<b>45,20</b>	<b>32,70</b>	<b>66,30</b>	<b>88,20</b>	<b>36,70</b>	<b>36,60</b>	<b>41,80</b>	<b>35,60</b>	<b>134,60</b>	<b>27,80</b>	<b>34,90</b>	<b>48,70</b>	<b>41,00</b>	<b>26,90</b>	<b>53,30</b>	<b>49,65</b>	
<b>Sm</b>	<b>7,40</b>	<b>4,12</b>	<b>4,56</b>	<b>5,51</b>	<b>4,31</b>	<b>6,93</b>	<b>11,07</b>	<b>4,53</b>	<b>3,73</b>	<b>4,79</b>	<b>4,61</b>	<b>12,60</b>	<b>3,98</b>	<b>4,96</b>	<b>6,51</b>	<b>4,49</b>	<b>4,49</b>	<b>7,14</b>	<b>5,87</b>	
<b>Eu</b>	<b>0,79</b>	<b>0,59</b>	<b>0,51</b>	<b>0,55</b>	<b>0,52</b>	<b>0,80</b>	<b>1,02</b>	<b>0,63</b>	<b>0,58</b>	<b>0,61</b>	<b>0,43</b>	<b>1,51</b>	<b>0,42</b>	<b>0,60</b>	<b>0,57</b>	<b>0,50</b>	<b>0,48</b>	<b>0,58</b>	<b>0,65</b>	
<b>Gd</b>	<b>3,42</b>	<b>2,16</b>	<b>2,30</b>	<b>2,73</b>	<b>2,85</b>	<b>3,11</b>	<b>5,70</b>	<b>2,25</b>	<b>1,86</b>	<b>2,40</b>	<b>3,17</b>	<b>5,15</b>	<b>3,01</b>	<b>2,89</b>	<b>3,88</b>	<b>2,49</b>	<b>3,11</b>	<b>5,17</b>	<b>3,20</b>	
<b>Tb</b>	<b>0,38</b>	<b>0,25</b>	<b>0,27</b>	<b>0,31</b>	<b>0,26</b>	<b>0,31</b>	<b>0,58</b>	<b>0,24</b>	<b>0,17</b>	<b>0,23</b>	<b>0,26</b>	<b>0,49</b>	<b>0,36</b>	<b>0,35</b>	<b>0,42</b>	<b>0,27</b>	<b>0,38</b>	<b>0,56</b>	<b>0,34</b>	
<b>Dy</b>	<b>1,50</b>	<b>1,00</b>	<b>1,08</b>	<b>1,21</b>	<b>0,94</b>	<b>1,12</b>	<b>2,46</b>	<b>0,97</b>	<b>0,60</b>	<b>0,91</b>	<b>0,78</b>	<b>1,82</b>	<b>1,54</b>	<b>1,30</b>	<b>1,70</b>	<b>0,94</b>	<b>1,56</b>	<b>2,36</b>	<b>1,32</b>	
<b>Ho</b>	<b>0,26</b>	<b>0,15</b>	<b>0,19</b>	<b>0,18</b>	<b>0,13</b>	<b>0,14</b>	<b>0,43</b>	<b>0,15</b>	<b>0,11</b>	<b>0,13</b>	<b>0,10</b>	<b>0,26</b>	<b>0,30</b>	<b>0,20</b>	<b>0,24</b>	<b>0,18</b>	<b>0,28</b>	<b>0,44</b>	<b>0,22</b>	
<b>Er</b>	<b>0,69</b>	<b>0,42</b>	<b>0,52</b>	<b>0,45</b>	<b>0,36</b>	<b>0,42</b>	<b>1,12</b>	<b>0,36</b>	<b>0,27</b>	<b>0,34</b>	<b>0,37</b>	<b>0,63</b>	<b>0,66</b>	<b>0,53</b>	<b>0,60</b>	<b>0,51</b>	<b>0,77</b>	<b>0,95</b>	<b>0,55</b>	
<b>Tm</b>	<b>0,10</b>	<b>0,06</b>	<b>0,08</b>	<b>0,07</b>	<b>0,04</b>	<b>0,08</b>	<b>0,18</b>	<b>0,05</b>	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	<b>0,04</b>	<b>0,09</b>	<b>0,12</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,10</b>	<b>0,13</b>	<b>0,08</b>	
<b>Yb</b>	<b>0,56</b>	<b>0,37</b>	<b>0,50</b>	<b>0,44</b>	<b>0,37</b>	<b>0,45</b>	<b>1,01</b>	<b>0,33</b>	<b>0,28</b>	<b>0,32</b>	<b>0,39</b>	<b>0,59</b>	<b>0,77</b>	<b>0,40</b>	<b>0,55</b>	<b>0,49</b>	<b>0,83</b>	<b>0,78</b>	<b>0,52</b>	
<b>Lu</b>	<b>0,10</b>	<b>0,06</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,05</b>	<b>0,08</b>	<b>0,19</b>	<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<b>0,07</b>	<b>0,10</b>	<b>0,13</b>	<b>0,07</b>	<b>0,09</b>	<b>0,08</b>	<b>0,13</b>	<b>0,15</b>	<b>0,09</b>	
<b>ΣETR</b>	<b>463,86</b>	<b>223,48</b>	<b>226,69</b>	<b>278,75</b>	<b>227,16</b>	<b>397,57</b>	<b>485,81</b>	<b>232,74</b>	<b>233,94</b>	<b>235,98</b>	<b>243,52</b>	<b>636,42</b>	<b>198,73</b>	<b>222,48</b>	<b>296,78</b>	<b>247,42</b>	<b>203,03</b>	<b>335,41</b>	<b>299,43</b>	
<b>ACNK</b>	<b>1,03</b>	<b>1,03</b>	<b>1,01</b>	<b>1,01</b>	<b>1,04</b>	<b>1,04</b>	<b>1,03</b>	<b>1,03</b>	<b>1,03</b>	<b>1,02</b>	<b>1,06</b>	<b>1,02</b>	<b>1,04</b>	<b>1,02</b>	<b>1,03</b>	<b>1,03</b>	<b>1,06</b>	<b>1,05</b>	<b>1,03</b>	
<b>K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O</b>	<b>1,20</b>	<b>1,03</b>	<b>1,49</b>	<b>1,66</b>	<b>1,22</b>	<b>1,79</b>	<b>1,49</b>	<b>1,40</b>	<b>1,44</b>	<b>1,73</b>	<b>1,40</b>	<b>1,51</b>	<b>1,66</b>	<b>1,53</b>	<b>1,80</b>	<b>1,89</b>	<b>1,41</b>	<b>1,54</b>	<b>1,51</b>	
<b>#Mg</b>	<b>0,36</b>	<b>0,28</b>	<b>0,35</b>	<b>0,26</b>	<b>0,36</b>	<b>0,28</b>	<b>0,27</b>	<b>0,30</b>	<b>0,32</b>	<b>0,28</b>	<b>0,31</b>	<b>0,30</b>	<b>0,27</b>	<b>0,23</b>	<b>0,26</b>	<b>0,25</b>	<b>0,27</b>	<b>0,25</b>	<b>0,29</b>	
<b>FeO<sub>t</sub>+MgO+MnO+TiO<sub>2</sub></b>	<b>2,71</b>	<b>2,88</b>	<b>2,95</b>	<b>2,70</b>	<b>2,39</b>	<b>2,78</b>	<b>2,42</b>	<b>2,33</b>	<b>2,37</b>	<b>1,63</b>	<b>2,00</b>	<b>2,16</b>	<b>1,78</b>	<b>1,99</b>	<b>1,81</b>	<b>1,77</b>	<b>1,79</b>	<b>1,86</b>	<b>2,24</b>	
<b>FeO<sub>t</sub>/(FeO<sub>t</sub>+MgO)</b>	<b>0,76</b>	<b>0,82</b>	<b>0,77</b>	<b>0,83</b>	<b>0,76</b>	<b>0,82</b>	<b>0,83</b>	<b>0,80</b>	<b>0,79</b>	<b>0,82</b>	<b>0,80</b>	<b>0,81</b>	<b>0,83</b>	<b>0,85</b>	<b>0,84</b>	<b>0,84</b>	<b>0,83</b>	<b>0,85</b>	<b>0,81</b>	
<b>Rb/Sr</b>	<b>0,33</b>	<b>0,34</b>	<b>0,44</b>	<b>0,69</b>	<b>0,34</b>	<b>0,65</b>	<b>0,80</b>	<b>0,43</b>												

Cont.

Grupo	BAIXA La/Yb						BAIXA Gd/Yb						BAIXO $\Sigma$ ETR				
	CP-101 MzG	DDA-01 MzG	DDA-17 SG	ADK-34 SG	EDC-55 SG	Média	CP-68B SG	DDA-03 Grd	DD-03 MzG	EDC-38 MzG	ADK-41 MzG	Média	EDC-36A Ton	CMD-03 MzG	EDC-46A SG	EDC-43 Grd	Média
<b>SiO<sub>2</sub> (%)</b>	72,51	73,48	73,91	73,94	75,28	73,82	73,23	74,53	74,63	75,71	75,83	74,79	72,41	73,49	75,54	76,73	74,54
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,26	0,12	0,16	0,17	0,17	0,18	0,12	0,13	0,09	0,07	0,05	0,09	0,20	0,15	0,08	0,13	0,14
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	14,13	14,30	13,79	13,56	12,75	13,71	13,96	14,19	13,49	13,32	13,09	13,61	15,10	13,93	12,99	13,05	13,77
<b>FeO<sub>t</sub></b>	1,76	1,41	1,38	1,23	1,42	1,44	0,96	1,40	1,10	0,89	1,01	1,07	1,71	1,25	0,86	0,90	1,18
<b>MnO</b>	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,05	0,03	0,02	<0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02
<b>MgO</b>	0,44	0,28	0,29	0,30	0,20	0,30	0,22	0,29	0,18	0,10	0,08	0,17	0,53	0,30	0,14	0,21	0,30
<b>CaO</b>	1,50	1,22	1,02	0,99	0,79	1,10	0,82	1,47	1,06	1,05	0,53	0,99	2,34	1,40	0,82	1,32	1,47
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	3,77	3,63	3,31	3,16	3,16	3,41	3,20	4,61	3,92	3,88	3,76	3,87	4,84	3,61	2,74	4,14	3,83
<b>K<sub>2</sub>O</b>	4,56	4,88	5,42	5,62	5,41	5,18	6,11	2,91	4,24	4,25	4,67	4,44	2,27	4,63	6,08	3,17	4,04
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,08	0,02	0,03	0,04	0,01	0,04	0,09	<0,01	0,03	0,01	<0,01	0,04	0,05	0,07	<0,01	0,01	0,04
<b>PF</b>	0,50	0,30	0,30	0,60	0,50	0,44	1,00	0,10	0,90	0,50	0,60	0,62	0,20	0,70	0,50	0,10	0,38
<b>Total</b>	99,53	99,65	99,63	99,63	99,72	99,63	99,73	99,67	99,67	99,80	99,62	99,70	99,66	99,56	99,76	99,78	99,69
<b>Ba (ppm)</b>	1177,0	741,0	642,0	836,0	259,0	731,0	1135,0	710,0	449,0	447,0	774,0	703,0	518,0	1284,0	947,0	397,0	786,5
<b>Sr</b>	322,1	168,2	199,3	210,9	72,7	194,6	173,0	142,9	107,8	79,4	94,7	119,6	344,2	291,4	264,1	164,4	266,0
<b>Rb</b>	172,5	199,8	226,9	236,5	283,5	223,8	308,0	208,7	324,8	164,3	133,3	227,8	95,6	139,2	151,1	111,6	124,4
<b>Zr</b>	191,5	138,8	160,7	157,6	130,7	155,9	109,3	93,3	94,6	60,4	50,3	81,6	92,6	128,1	36,4	88,5	86,4
<b>Y</b>	22,1	16,4	13,3	26,5	19,4	19,5	14,0	15,6	14,7	14,4	20,3	15,8	5,7	2,8	2,4	4,5	3,9
<b>Nb</b>	12,4	14,2	9,9	13,8	17,9	13,6	9,8	10,4	17,2	7,8	5,7	10,2	6,1	2,1	1,9	4,4	3,6
<b>Hf</b>	5,1	4,6	4,9	5,4	5,5	5,1	3,3	2,8	3,4	2,2	1,7	2,7	3,0	4,1	1,2	3,6	3,0
<b>Ta</b>	2,2	2,5	1,0	3,0	0,9	1,9	0,8	1,4	2,5	1,3	0,5	1,3	1,1	0,1	0,3	0,3	0,5
<b>Ni</b>	5,6	4,4	3,0	3,7	4,7	4,3	2,0	6,1	4,4	2,4	4,8	3,9	8,6	4,3	2,1	4,4	4,9
<b>Cu</b>	21,8	19,0	12,6	6,5	6,5	13,3	1,7	10,9	9,7	14,1	34,5	14,2	10,7	9,7	4,2	9,2	8,5
<b>U</b>	4,7	14,3	9,2	25,9	6,9	12,2	9,0	10,6	9,6	4,8	35,7	13,9	1,1	2,3	2,7	7,0	3,3
<b>Th</b>	18,1	50,8	44,2	42,0	61,8	43,4	29,2	16,3	29,0	13,8	16,0	20,9	5,9	27,5	39,6	44,7	29,4
<b>Pb</b>	8,9	23,9	10,4	14,2	28,5	17,2	8,3	10,8	15,1	8,2	16,5	11,8	4,1	6,5	12,5	10,0	8,3
<b>Ga</b>	17,1	19,5	15,8	14,8	17,7	17,0	18,0	18,0	17,2	14,3	14,6	16,4	18,7	15,2	12,5	16,0	15,6
<b>La (ppm)</b>	53,40	61,10	66,10	43,00	119,90	68,70	37,70	27,00	31,60	13,10	36,40	29,16	17,00	34,60	10,40	26,40	22,10
<b>Ce</b>	104,00	115,30	108,60	140,40	206,40	134,94	66,90	51,20	66,30	26,60	80,30	58,26	32,40	74,00	19,10	42,00	41,88
<b>Pr</b>	10,63	11,91	11,41	10,83	18,77	12,71	6,65	5,31	6,78	2,88	8,45	6,01	3,29	6,47	1,89	5,08	4,18
<b>Nd</b>	37,10	33,30	35,90	40,60	54,30	40,24	22,30	19,70	21,70	9,00	29,80	20,50	12,10	21,20	4,80	16,10	13,55
<b>Sm</b>	6,53	6,32	5,31	8,72	7,99	6,97	2,84	3,13	3,77	2,16	5,51	3,48	1,68	2,68	1,18	2,30	1,96
<b>Eu</b>	0,86	0,51	0,44	0,60	0,36	0,55	0,45	0,45	0,30	0,33	1,08	0,52	0,36	0,57	0,35	0,44	0,43
<b>Gd</b>	5,33	4,82	4,02	7,03	6,32	5,50	2,07	2,83	2,90	2,23	4,18	2,84	1,35	1,34	0,77	1,61	1,27
<b>Tb</b>	0,88	0,66	0,54	1,15	0,81	0,81	0,36	0,45	0,48	0,40	0,77	0,49	0,19	0,15	0,10	0,17	0,15
<b>Dy</b>	4,40	2,81	2,63	6,13	3,91	3,98	2,02	2,59	2,59	2,28	4,16	2,73	0,98	0,71	0,52	0,76	0,74
<b>Ho</b>	0,79	0,60	0,45	1,02	0,74	0,72	0,40	0,60	0,44	0,48	0,79	0,54	0,19	0,08	0,11	0,15	0,13
<b>Er</b>	2,01	1,41	1,50	2,62	1,96	1,90	1,11	1,51	1,35	1,54	2,27	1,56	0,52	0,34	0,23	0,39	0,37
<b>Tm</b>	0,27	0,25	0,18	0,41	0,31	0,28	0,19	0,25	0,22	0,26	0,39	0,26	0,08	0,06	0,02	0,05	0,05
<b>Yb</b>	1,51	1,77	1,37	2,23	1,90	1,76	1,15	1,93	1,39	1,56	2,43	1,69	0,42	0,32	0,25	0,37	0,34
<b>Lu</b>	0,17	0,26	0,19	0,28	0,27	0,23	0,16	0,28	0,20	0,22	0,38	0,25	0,08	0,04	0,03	0,06	0,05
<b><math>\Sigma</math>ETR</b>	227,88	241,02	238,64	265,02	423,94	279,30	144,30	117,23	140,02	63,04	176,91	128,30	70,64	142,56	39,75	95,88	87,21
<b>ACNK</b>	1,02	1,06	1,05	1,04	1,02	1,04	1,04	1,06	1,04	1,03	1,07	1,05	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
<b>K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O</b>	1,21	1,34	1,64	1,78	1,71	1,54	1,91	0,63	1,08	1,10	1,24	1,19	0,47	1,28	2,22	0,77	1,18
<b>#Mg</b>	0,31	0,26	0,27	0,30	0,20	0,27	0,29	0,26	0,23	0,17	0,12	0,21	0,36	0,30	0,23	0,29	0,29
<b>FeO<sub>t</sub>+MgO+MnO+TiO<sub>2</sub></b>	2,48	1,82	1,85	1,72	1,82	1,94	1,32	1,86	1,40	1,08	1,14	1,36	2,45	1,73	1,09	1,26	1,63
<b>FeO<sub>t</sub>/(FeO<sub>t</sub>+MgO)</b>	0,80	0,83	0,83	0,80	0,88	0,83	0,81	0,83	0,86	0,90	0,93	0,87	0,76	0,81	0,86	0,81	0,81
<b>Rb/Sr</b>	0,54	1,19	1,14	1,12	3,90	1,58	1,78	1,46	3,01	2,07	1,41	1,95	0,28	0,48	0,57	0,68	0,50
<b>Sr/Y</b>	14,57	10,26	14,98	7,96	3,75	10,30	12,36	9,16	7,33	5,51	4,67	7,81	60,39	104,07	110,04	36,53	77,76
<b>Eu/Eu*</b>	0,43	0,27	0,28	0,23	0,15	0,27	0,54	0,45	0,27	0,46	0,66	0,48	0,71	0,82	1,06	0,66	0,81
<b>(La/Yb)<sub>N</sub></b>	23,90	23,33	32,60	13,03	42,64	27,10	22,15	9,45	15,36	5,67	10,12	12,55	27,35	73,07	28,11	48,22	44,19
<b>(Gd/Yb)<sub>N</sub></b>	2,86	2,21	2,38	2,55	2,70	2,54	1,46	1,19	1,69	1,16	1,39	1,38	2,61	3,39	2,50	3,53	3,01

FeO<sub>t</sub> = ferro total recalculado como FeO; PF = perda ao fogo; A/CNK = razão molecular Al/(Ca+Na+K); #Mg = razão molecular Mg/(Mg+Fe); <sub>N</sub> = ETR normalizado segundo (Evensen *et al.* 1978); Eu/Eu\* = Eu<sub>N</sub>/[(Sm<sub>N</sub>+Gd<sub>N</sub>)\*0,5].

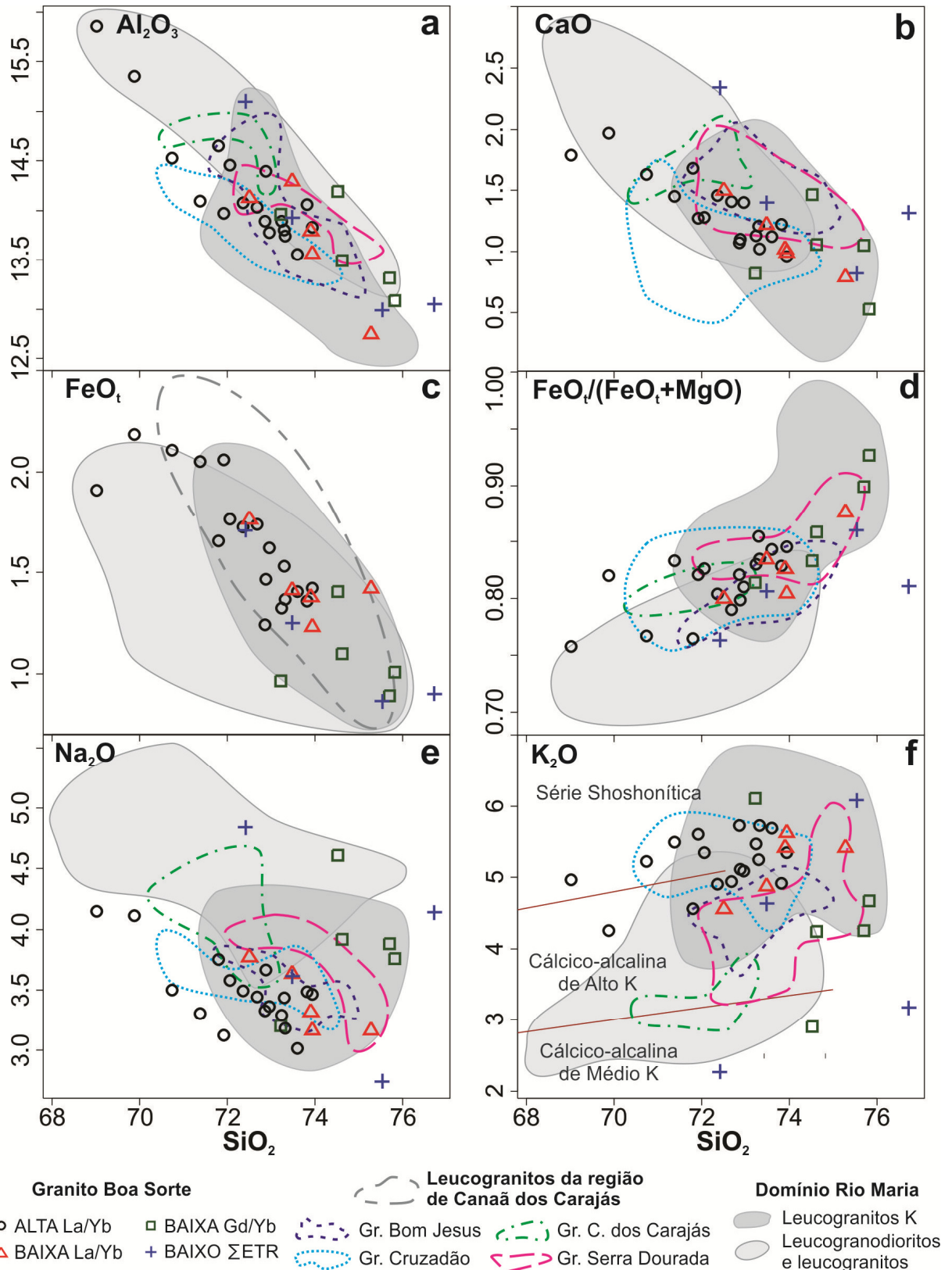
### Elementos maiores e menores

O conteúdo em sílica do conjunto de amostras varia entre 69 e 77%, sendo que, apesar da forte superposição, existe em média um aumento deste óxido entre os grupos ALTA La/Yb (69,01-73,94%; média 72,32%), BAIXA La/Yb (72,5-75,28%; média 73,82) e BAIXA Gd/Yb (73,23-75,83%; média 74,79%). O grupo BAIXO  $\Sigma$ ETR apresenta maior variação de SiO<sub>2</sub> (72,41-76,73%; média 74,54) e se superpõe amplamente com o grupo precedente. As rochas do GBS possuem alto conteúdo de K<sub>2</sub>O (apenas três amostras possuem conteúdo de K<sub>2</sub>O inferior a 4% e o grupo dominante apresenta valor médio de 5,2%; Tabela 2.2), moderado a alto de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (variações em geral entre 13,5% e 15,86% e conteúdo médio de 14,22% no grupo dominante), baixo conteúdo de elementos ferromagnesianos (FeO<sub>t</sub>+MgO+MnO+TiO<sub>2</sub> situado no intervalo 1,08 a 2,95%), moderados de CaO (0,53-2,34%) e Na<sub>2</sub>O (2,74-4,84%, com valores médios inferiores a 4% em todos os grupos). Excetuando três amostras, as razões K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O são maiores que 1, com valor médio em torno de 1,5 no grupo dominante. As razões FeO<sub>t</sub>/(FeO<sub>t</sub>+MgO) se situam no intervalo entre 0,76 e 0,86, com apenas duas amostras mostrando valores superiores a 0,90 (Tabela 2.3).

Em diagramas de Harker (Figura 2.6), os grupos ALTA e BAIXA La/Yb tendem a se alinhar em *trends* bem definidos, onde são observadas correlações negativas para CaO, Na<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, FeO<sub>t</sub> e TiO<sub>2</sub>, e positivas para K<sub>2</sub>O e razões K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O e FeO<sub>t</sub>/(FeO<sub>t</sub>+MgO). O grupo de BAIXA Gd/Yb, além de mostrar-se, em geral, mais enriquecido em SiO<sub>2</sub>, se diferencia dos demais grupos por possuir, em média, valores mais baixos de K<sub>2</sub>O (4,44%), CaO (0,99%), MgO (0,17%), FeO<sub>t</sub> (1,07%) e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13,61%), e mais altos de Na<sub>2</sub>O (3,87%) e da razão FeO<sub>t</sub>/(FeO<sub>t</sub>+MgO). Já o grupo com BAIXO  $\Sigma$ ETR, apesar de possuir duas amostras (EDC-46A e EDC-43) com conteúdos de SiO<sub>2</sub> coincidentes com aqueles das amostras do grupo de BAIXA Gd/Yb, apresenta, sobre tudo, valores de seus óxidos bastante dispersos ao longo do *trend* principal definido pelas amostras dos grupos de ALTA e BAIXA La/Yb.

### Elementos Traços

Em relação aos elementos traços, são observados conteúdos moderados a altos de Ba (259-1802 ppm; média = 955 ppm) e Rb (95-325 ppm), moderados de Sr (72-458 ppm; média = 225 ppm) e bastante variáveis da razão Rb/Sr (0,28-3,90; média = 1,00) nas amostras do GBS. Apresentam ainda conteúdos baixos dos elementos de alto campo de força (HFSE; Tabela 2.3), como Hf (1,2-8,1 ppm; média = 4,7 ppm), Y (2,4-26,5 ppm; média = 9,8 ppm) e Nb (1,9-17,9 ppm; média = 6,9 ppm), com exceção do Zr, cujos teores são moderados (36,4-259,9 ppm; média = 151,2 ppm).



Apesar da grande dispersão, os valores de Ba, Sr, Zr e Hf, em geral, diminuem, enquanto os de Rb, Y, Nb e da razão Rb/Sr aumentam paralelamente ao aumento da sílica (Figura 2.7a-h). Neste sentido, os conteúdos de Y e Nb tendem a acompanhar o comportamento dos ETR pesados, sendo, em média, nitidamente mais elevados para os grupos BAIXA La/Yb (19,5 e 13,6 ppm) e BAIXA Gd/Yb (15,8 e 10,2 ppm) e menores para os grupos ALTA La/Yb (6,48 e 4,6 ppm) e BAIXO  $\Sigma$ ETR (3,8 e 3,6 ppm; Tabela 2.3). Além disso, o BAIXA Gd/Yb se diferencia dos demais grupos de rocha pelos valores, em média, mais altos da razão Rb/Sr (1,95) e mais baixos de Ba (703 ppm), Zr (81,6 ppm) e Hf (2,7 ppm; Figuras 2.7a,e,f, 2.9d). Já o grupo BAIXO  $\Sigma$ ETR apresenta comportamento similar aquele do grupo BAIXA Gd/Yb para esses elementos, divergindo claramente no que diz respeito à razão Rb/Sr, pois os valores de Sr (266,0 ppm) são mais elevados e os de Rb (124,4 ppm) mais baixos nos primeiros (Figuras 2.7b-d).

Os grupos de rochas distinguidos mostram diferenças expressivas no comportamento dos ETR (Tabela 2.3 e Figura 2.8): (i) o grupo com ALTA La/Yb possui  $\Sigma$ ETR variando entre 198 e 636 ppm (média = 299 ppm) e é caracterizado pelas altas razões  $(La/Yb)_N$ , que variam entre 42,74 e 262,40 (média = 115,84), elevado fracionamento entre os ETR pesados [ $(Gd/Yb)_N = 3,04 - 7,07$ ; média = 5,15], com forma côncava no padrão dos mesmos, e por uma moderada a forte anomalia negativa de Eu, com  $Eu/Eu^*$  variando entre 0,28 a 0,60 (média = 0,42); (ii) o grupo com BAIXA La/Yb possui  $\Sigma$ ETR variando entre 227 e 424 ppm (média = 279 ppm) e se diferencia por apresentar baixas razões  $(La/Yb)_N$ , entre 13,03 e 42,64 (média = 27,10), devido ao seu maior conteúdo em ETR pesados em relação ao grupo anterior, com um fracionamento moderado entre os últimos [ $(Gd/Yb)_N = 2,21 - 2,86$ ; média = 2,54], além de acentuadas anomalias negativas de Eu ( $Eu/Eu^* = 0,15 - 0,43$ ; média = 0,27); (iii) as rochas do grupo com BAIXA Gd/Yb mostram  $\Sigma$ ETR entre 63 e 177 (média = 128) e são caracterizadas por apresentar menores conteúdos de ETR leves, baixas razões  $(La/Yb)_N$ , variando entre 5,67 e 22,15 (média = 12,55), padrões horizontalizados dos ETR pesados [ $(Gd/Yb)_N = 1,16 - 1,69$ ; média = 1,38], além de anomalias negativas de Eu moderadas a fortes [ $Eu/Eu^* = 0,27$  a  $0,66$  (média = 0,48)], e (iv) o grupo com BAIXO  $\Sigma$ ETR é caracterizado pelo menor conteúdo de ETR (39-143 ppm; média = 87 ppm), com razões  $(La/Yb)_N$  moderadas a altas (27,35 - 73,07; média = 44,19) e anomalias de Eu fracas ( $Eu/Eu^* = 0,66 - 1,06$ ; média = 0,81).

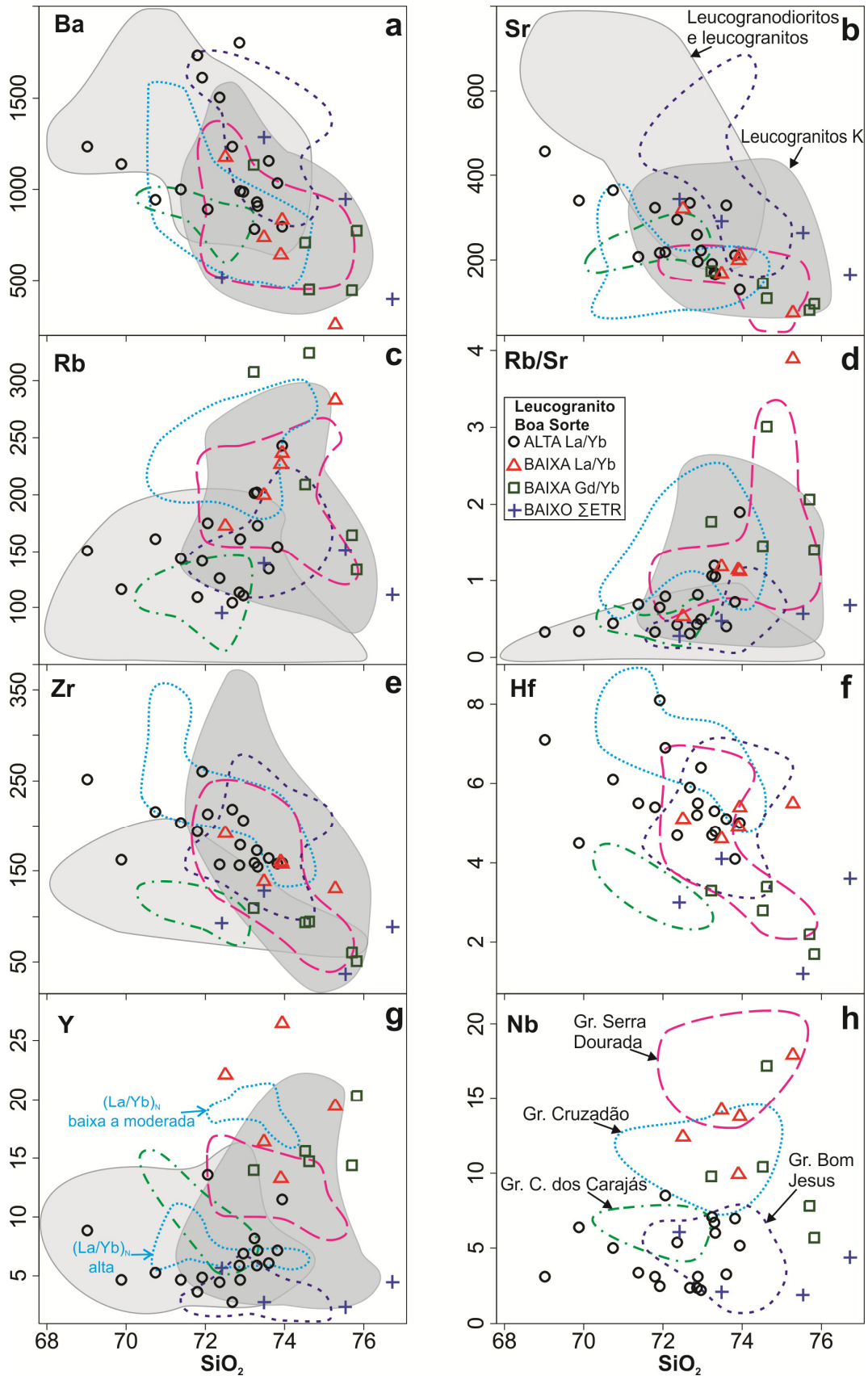


Figura 2.7 – Diagramas de Harker para os elementos traços do Granito Boa Sorte. São apresentados para comparação os campos dos grupos de leucogranitos do Domínio Rio Maria (Almeida *et al.* 2013) e dos corpos leucograníticos do subdomínio de transição (região de Canaã dos Carajás; Feio & Dall’Agnol 2012). Símbolos conforme a legenda da Figura 2.6.

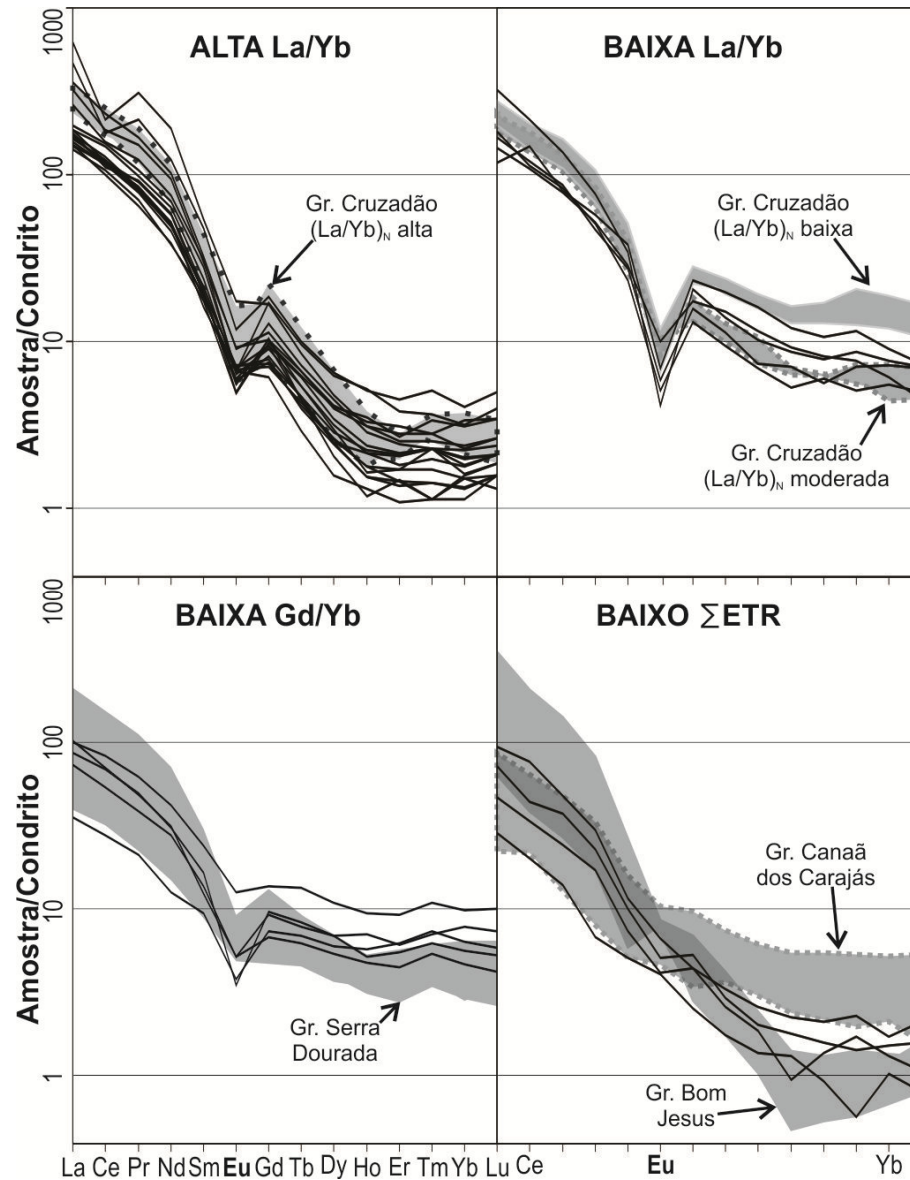


Figura 2.8 – Padrões de Elementos Terras Raras do Granito Boa Sorte. São apresentados para comparação os campos referentes aos padrões dos corpos leucograníticos da região de Canaã dos Carajás (Feio & Dall’Agnol 2012). Condrito conforme Evensen *et al.* (1978).

Nos diagramas binários da Figura 2.9a, b, c, que confrontam variáveis que indicam o grau de fracionamento e o conteúdo dos ETR, os quatro grupos tendem a ocupar campos claramente distintos. No diagrama  $Yb_N$  vs.  $(Gd/Yb)_N$  (Figura 2.9a), os grupos mais empobrecidos em ETR pesados (ALTA La/Yb e BAIXO  $\Sigma ETR$ ) apresentam os menores valores de  $Yb_N$ , com o ALTA La/Yb mostrando razão  $(Gd/Yb)_N$  ligeiramente mais elevada, enquanto que os grupos com maiores conteúdos de ETR pesados (BAIXA La/Yb e BAIXA Gd/Yb) possuem valores similares de  $Yb_N$ , com o último apresentando os menores valores da razão Gd/Yb.

No diagrama  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  vs.  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$  (Figura 2.9b), constata-se que os grupos BAIXO  $\Sigma\text{ETR}$  e BAIXA  $\text{La}/\text{Yb}$  possuem os maiores e menores valores da razão  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$ , respectivamente. Ao passo que no diagrama  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  vs.  $\text{Sr}/\text{Y}$  (Figura 2.9c), é observada uma correlação positiva entre os grupos BAIXA  $\text{Gd}/\text{Yb}$ , BAIXA  $\text{La}/\text{Yb}$  e ALTA  $\text{La}/\text{Yb}$ , sendo os valores das razões entre os eixos Y e X do diagrama normalmente inferiores a 1. Já o grupo com BAIXO  $\Sigma\text{ETR}$  tende a fugir deste *trend* por mostrar valores mais elevados de  $\text{Sr}/\text{Y}$  para valores similares da razão  $(\text{La}/\text{Yb})_N$ . Finalmente, no diagrama  $\text{Zr}$  vs.  $\text{Rb}/\text{Sr}$  (Figura 2.9d), a correlação para os três grupos citados anteriormente passa a ser negativa, sendo que as amostras do grupo com BAIXO  $\Sigma\text{ETR}$  mostram, ao mesmo tempo, os menores valores para estas duas variáveis, o que as afasta do *trend* definido pelos demais grupos.

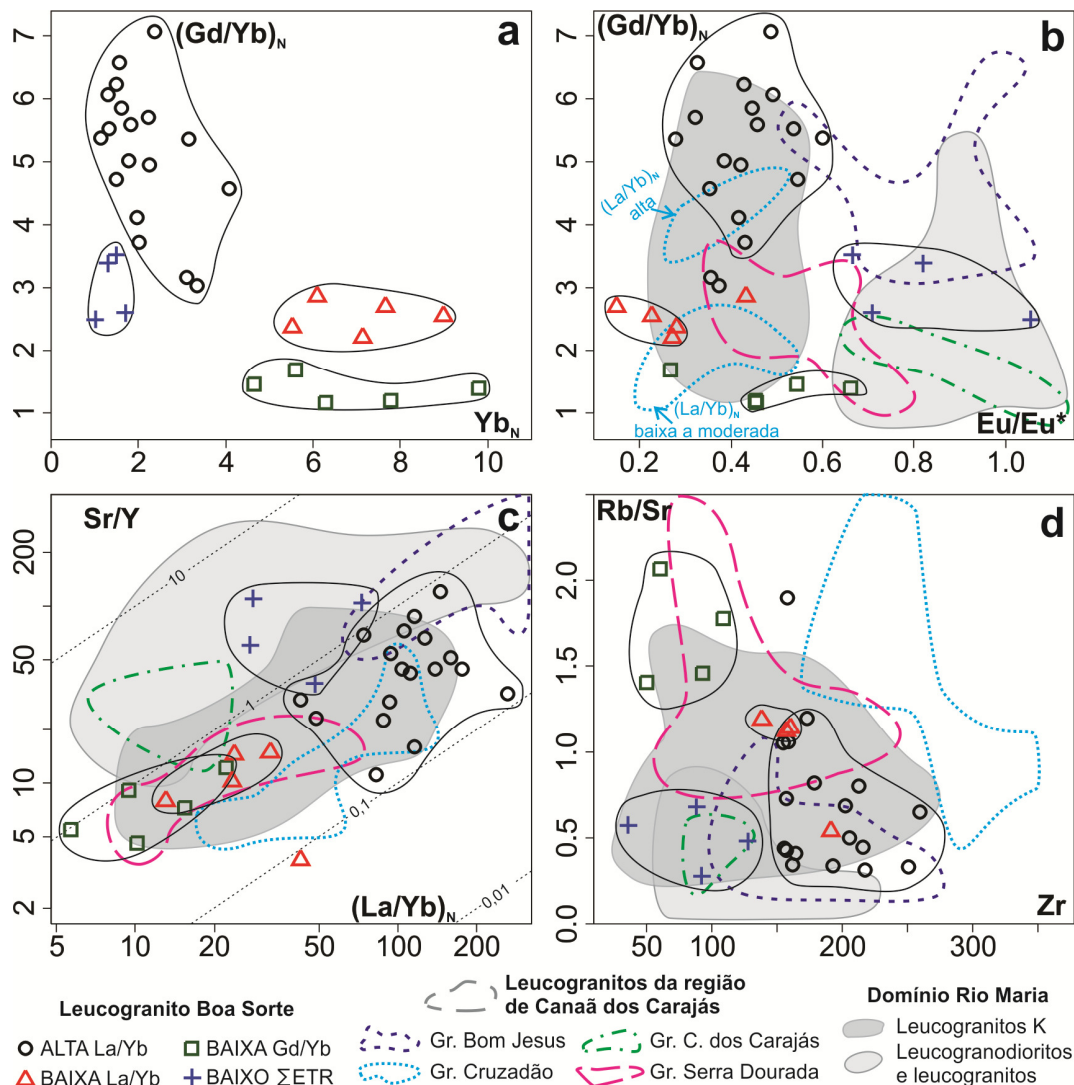


Figura 2.9 – Diagramas binários de elementos traços do Granito Boa Sorte. a)  $\text{Yb}_N$  vs.  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ ; b)  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  vs.  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ ; c)  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  vs.  $\text{Sr}/\text{Y}$ ; e d)  $\text{Zr}$  vs.  $\text{Rb}/\text{Sr}$ . São apresentados em b, c e d os campos dos grupos de leucogranitos do Domínio Rio Maria (Almeida *et al.* 2013) e dos corpos leucograníticos do subdomínio de transição (região de Canaã dos Carajás; Feio & Dall’Agnol 2012) para comparação.



### Classificação e Série Magmática

No diagrama P-Q de Debon & Le Fort (1988; Figura 2.10a), são observadas composições monzo e sienograníticas para os grupos ALTA e BAIXA La/Yb, os quais aparentemente definem um *trend* cálcico-alcalino. Por outro lado, as amostras dos grupos BAIXA Gd/Yb e BAIXO  $\Sigma$ ETR não seguem qualquer um dos *trends* indicados no gráfico. Já no diagrama K/Na vs. A/CNK (Moyen *et al.* 2003; Figura 2.10b), utilizado para distinguir os granitoides neoarqueanos do craton Dharwar, a maioria das amostras do GBS plotam no campo dos granitos originados a partir da fusão de crosta TTG.

O diagrama  $100(\text{MgO}+\text{FeO}+\text{TiO}_2)/\text{SiO}_2$  vs.  $(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO})/(\text{FeO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  (Sylvester 1989; Figura 2.10c), que separa granitos cálcico-alcalinos e fortemente peraluminosos de granitos alcalinos, mostra que parte das amostras com conteúdos de  $\text{SiO}_2$  mais baixos plotam no campo cálcico-alcalino e fortemente peraluminoso, evoluindo, de acordo com o aumento daquele óxido, para o campo de convergência de rochas alcalinas e cálcico-alcalinas fortemente fracionadas. Isto, aliado ao baixo ou moderado conteúdo de elementos HFS, como Zr, Hf, Y e Nb, sugere que o leucogranito estudado não possui características de um granito tipo-A ou alcalino (Whalen *et al.* 1987, Eby 1992, Sylvester 1994). Tal hipótese é reforçada pelo fato de os granitos estudados diferirem em termos geoquímicos dos granitos da Suíte Planalto que apresentam afinidade com granitos tipo A (Feio *et al.* 2012).

De acordo com o diagrama de Shand (1950; Figura 2.10d), as rochas formadoras do GBS são levemente peraluminosas, com razões A/CNK variando entre 1,007 e 1,073 (Tabela 2.3). Apesar da presença ocasional de pequenas quantidades modais de muscovita (Tabela 2.2), a ausência de outros minerais aluminosos de origem magmática, como alumino-silicatos, granada e/ou cordierita nestas rochas indica que o Granito Boa Sorte não é tampouco um granito tipo-S ou fortemente peraluminoso (Chappell & White 1974, Miller 1985, Sylvester 1994). Neste sentido, Chappell *et al.* (2012) mostraram que muitos granitos tipo-I são levemente peraluminosos, apesar de possuírem fontes tipicamente metaluminosas. Isto estaria relacionado ao fato de o processo de fusão parcial por desidratação da fonte geradora do magma, se situar em pressões abaixo do campo de estabilidade da granada. Nestas condições, rochas metaígneas contendo biotita e anfibólio fundiriam incongruentemente gerando piroxênio e um líquido félsico peraluminoso. Em temperaturas mais elevadas, Ca e outros componentes do clinopiroxênio seriam adicionados ao líquido, que eventualmente se tornaria metaluminoso (Chappell *et al.* 2012).

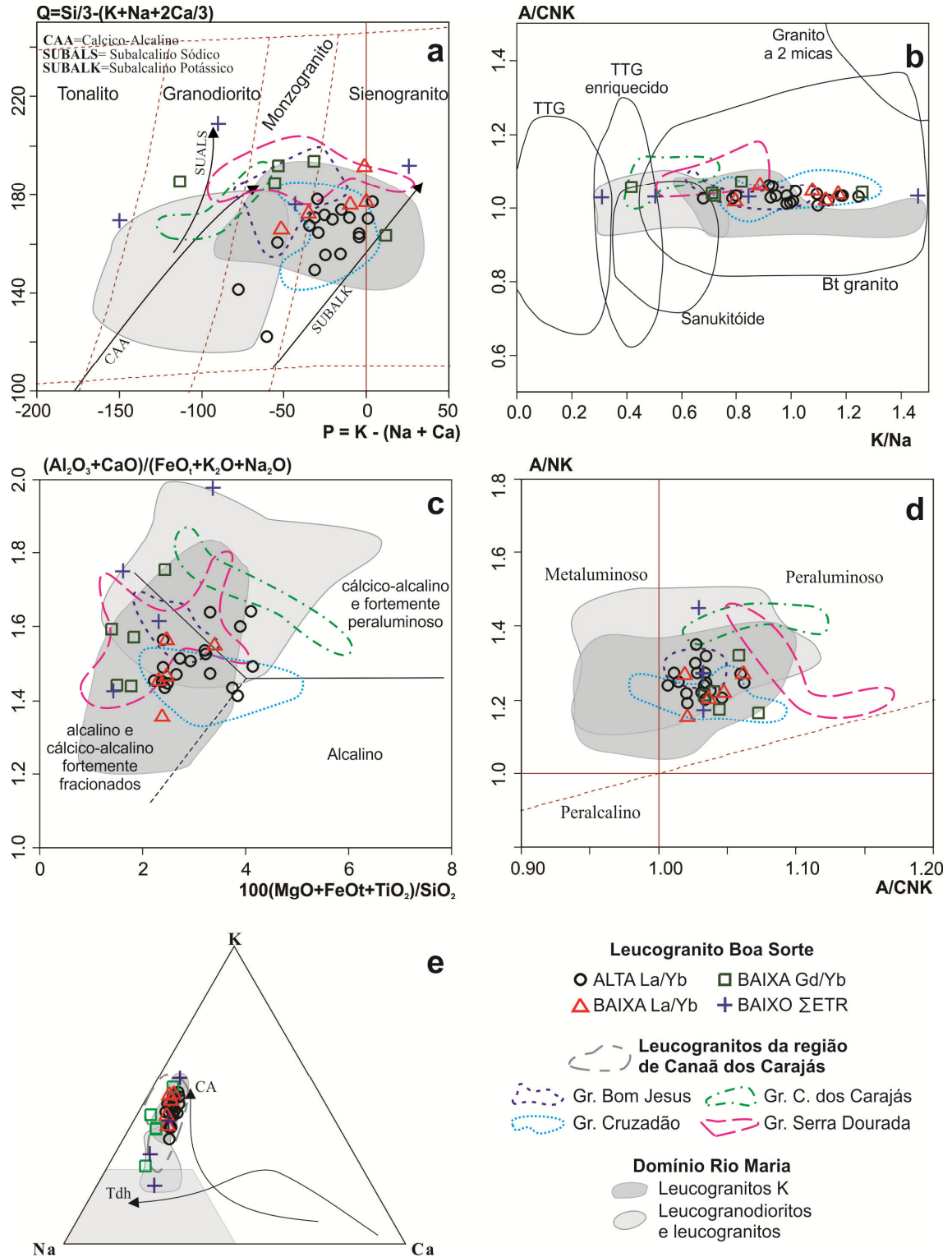


Figura 2.10 – Diagramas de classificação geoquímica para o Granito Boa Sorte: a) P-Q (Debon & Le Fort 1988); b) K/Na vs. A/CNK (campos de Moyen *et al.* 2003); c)  $100(\text{MgO} + \text{FeOt} + \text{TiO}_2)/\text{SiO}_2$  vs.  $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})/(\text{FeO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  (Sylvester 1989); d) A/CNK vs. A/NK (Shand 1950); e) K-Na-Ca com os *trends* (Barker & Arth 1976) para as séries cálcico-alkalinas (CA) e trondhjemítica (Tdh). São indicados os campos dos grupos de leucogranitos do Domínio Rio Maria (Almeida *et al.* 2013) e dos corpos leucograníticos do subdomínio de transição (região de Canaã dos Carajás, Feio & Dall’Agnol 2012) para comparação.

O GBS é, portanto, classificado como cálcico-alcálico de acordo com Sylvester (1989). No diagrama triangular K-Na-Ca as amostras também seguem o *trend* cálcico-alcálico, como definido por Barker & Arth (1976; Figura 2.10e). Plotam ainda próximas ao limite entre os campos das séries cálcico-alcálica de alto potássio e shoshonítica de Peccerillo e Taylor (1976), com as amostras mais empobrecidas em K<sub>2</sub>O dos grupos de BAIXA Gd/Yb e BAIXO  $\Sigma$ ETR caindo no campo cálcico-alcálico de médio potássio (Figura 2.6h).

## GEOCRONOLOGIA

Os dados geocronológicos do GBS foram obtidos pelos métodos Pb-Pb por evaporação e U-Pb por LA-ICP-MS em zircão. As análises por evaporação de Pb foram efetuadas no Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso) do Instituto de Geociências da UFPA de acordo os métodos descritos por Kober (1986) e Gaudette *et al.* (1998) e os dados U-Pb por LA-ICP-MS foram obtidos no Laboratório de Geocronologia da Universidade de Brasília, conforme rotina estabelecida por Buhn *et al.* (2009). A localização das amostras estudadas pode ser vista na Figura 2.2 e um sumário dos resultados isotópicos é apresentado nas Tabelas 2.4 e 2.5.

Os cristais de zircão das amostras analisadas são prismáticos, com formas alongadas (razões comprimento/largura entre 1,5:1 e 3:1) e muitas vezes com faces bem formadas (Figura 2.11). Em imagens de catodoluminescência, os mesmos mostram um zoneamento oscilatório, com coloração cinza escura (Figura 2.12b), algumas vezes apresentando núcleos com formas arredondadas, ou irregulares e com feições de reabsorção, que se destacam pela coloração mais clara em relação às bordas (núcleos herdados; Figura 2.12a). A presença destes núcleos é uma limitação para datações pelo método Pb-Pb por evaporação, pois pode ocasionar uma grande dispersão dos resultados devido a idades híbridas fornecidas por análises com contribuições parciais do núcleo e da borda dos cristais. Daí a importância do método U-Pb por LA-ICP-MS, que com a análise pontual pode tornar nula a influência dos núcleos herdados sobre o resultado analítico.

### **Pb-Pb por evaporação em monocristais de zircão**

Por este método foram analisados 56 cristais da amostra DD-01 (monzogranito do grupo dominante com alta razão La/Yb; tabela 2.2), sendo que apenas 15 foram considerados adequados para a interpretação dos resultados, tendo estes se distribuído em quatro patamares de idades. Os cristais 17, 18, 24 e 30 apresentaram uma idade média de 2857±2 Ma (MSWD = 0,58) e os cristais 8, 29, 36, 42 e 53 uma idade de 2895±4 Ma (MSWD = 5,3). Para os

outros dois patamares não foram calculadas idades médias, pois estas resultariam em valores de MSWD muito elevados. Um patamar foi definido pelos cristais 3, 5, e 25, com idades próximas de 2,92 Ga, e outro pelos cristais 13, 20 e 23, com idades de aproximadamente 3,0 Ga (Tabela 2.4; Figura 2.11).

Tabela 2. 4 – Resumo dos dados isotópicos por evaporação de Pb em zircão do Granito Boa Sorte.

Amostra	Zircão	Número de Razões	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2s	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}^*$	2s	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}^*$	2s	Idade (Ma)
DD-01	17	38/42	0,000144	0,000025	0,10774	0,01303	0,20393	0,00044	2858±4
	18	16/68	0,00037	0,000024	0,09788	0,00314	0,20378	0,00063	2857±5
	24	44/60	0,00041	0,000004	0,04349	0,00094	0,2037	0,00026	2856±2
	30	30/30	0,00054	0,000013	0,06029	0,00148	0,2034	0,00062	2854±5
	<b>Média</b>	<b>128/200</b>							<b>2857±2</b>
									<b>(MSWD= 0,58)</b>
DD-01	8	38/76	0,000335	0,000027	0,05674	0,00065	0,20877	0,00188	2896±15
	29	38/70	0,000125	0,000015	0,07732	0,00058	0,20824	0,00037	2892±3
	36	32/48	0,000241	0,000012	0,07867	0,00089	0,20837	0,00057	2893±4
	42	38/86	0,000145	0,000006	0,06242	0,0002	0,20947	0,0005	2902±4
	53	32/46	0,00012	0,000015	0,06257	0,00162	0,20735	0,00133	2885±10
	<b>Média</b>	<b>178/326</b>							<b>2895±4</b>
									<b>(MSWD= 5,3)</b>
DD-01	3	16/16	0,000062	0,00001	0,04726	0,0004	0,20956	0,00119	2903±9
	5	30/44	0,000314	0,000023	0,10052	0,00125	0,21209	0,00069	2922±5
	25	18/18	0,000369	0,000006	0,04613	0,00042	0,21178	0,00035	2920±3
DD-01	13	12/12	0,000162	0,000027	0,15026	0,00112	0,22032	0,00088	2984±6
	20	30/32	0,000104	0,000004	0,16015	0,001	0,22212	0,00094	2997±7
	23	34/38	0,000337	0,000019	0,15334	0,00453	0,22493	0,00074	3017±5

\* Razões corrigidas do Pb comum

As idades obtidas são de difícil interpretação, indicando uma origem complexa para as rochas do GBS. Os cristais com idades mais antigas, cerca de 3.0 Ga, seriam provenientes de rochas contemporâneas daquela datada por Pidgeon *et al.* (2000), em 3002±14 Ma (SHRIMP) e correlacionadas ao Ortogranulito Chicrim-Cateté. As idades em torno de 2.92 Ga e aquela de 2895±4 Ma podem ser o resultado de diferentes contribuições do núcleo e da borda dos cristais e, portanto, não teriam significado geológico. Já a idade de 2857±2 Ma poderia ser correlacionada à obtida por Machado *et al.* (1991; 2859±2 Ma; Tabela 2.1), para o que eles interpretaram como sendo um leucossoma granítico pertencente ao Complexo Xingu da região da Serra Leste, porção norte do Domínio Carajás. Porém, com base em dados texturais e estruturais, Barros *et al.* (2010) reinterpretaram aquela idade e a atribuíram à cristalização de biotita granitos até então não individualizados do Complexo Xingu e não a migmatização, daquele complexo. Outra interpretação possível seria considerar a idade de 2895±4 Ma como de cristalização, com a mais nova sendo o resultado de perda de Pb. Dessa forma, a idade de

2857±2 Ma (Pb-Pb) poderia ser considerada como uma idade mínima de cristalização para o GBS.

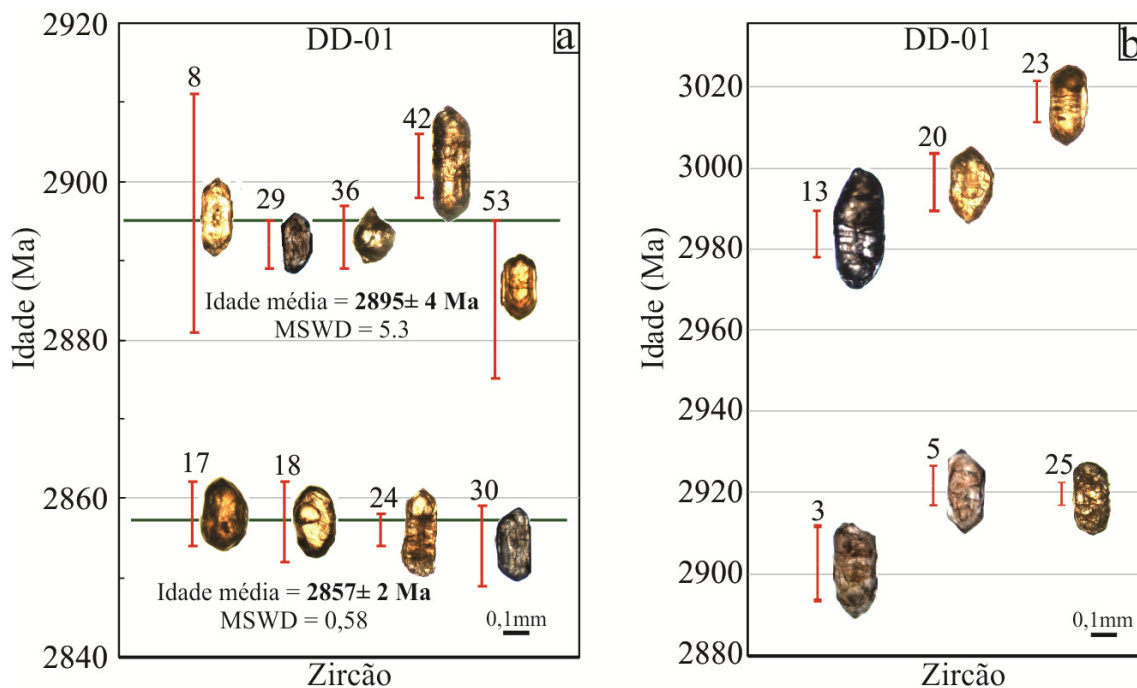


Figura 2.5 – Diagramas de idade por evaporação de Pb em zircão da amostra DD-01: a) idades calculadas a partir das etapas de mais alta temperatura, representadas pelas linhas horizontais mais grossas; e b) patamares de idade onde não foi possível o cálculo. As linhas verticais representam o erro analítico de cada cristal.

### U-Pb por LA-ICP-MS em zircão

Foram realizadas 30 análises em 26 cristais de zircão da amostra DDA-17 (Sienogranito do grupo com baixa razão La/Yb; tabela 2.3). Para a exclusão de pontos do cálculo da idade foram usados os seguintes critérios gerais: 1) Conteúdo de Pb comum (a razão  $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  não pode ser menor que 1000); 2) Grau de discordância (este deve ser menor que 10%); e 3) Precisão analítica (não foram utilizados dados onde as razões isotópicas apresentavam erro maior que 3,2%). Seguindo esses critérios, os 20 pontos restantes definem uma linha discórdia (MSWD = 11) com intercepto superior em 2964±42 Ma (Figura 2.12a), que é derivada tanto de cristais desprovidos de núcleos, quanto daqueles que apresentam núcleos e bordas bem definidos. Com a exclusão de 6 pontos referentes a análises obtidas em núcleos de cristais, que foram interpretados como sendo herdados (Tabela 2.5), tem-se uma linha discórdia (MSWD = 3,3) com intercepto superior em 2885±26 Ma (Figura 2.12b). Como esta idade é resultado da análise de cristais sem núcleos herdados, ou das bordas de cristais que os apresentam (Tabela 2.5), será aqui considerada como de cristalização do GBS. Porém, esta possui um erro analítico alto, que acaba superpondo os valores obtido por evaporação de Pb (2857±2 e 2895±4 Ma). A correspondência destas idades com as de outras

unidades geológicas já mapeadas na porção sul do Domínio Carajás, com aquelas obtidas por Gabriel *et al.* (2010a) para os granodioritos Água Azul e Água Limpa ( $2880 \pm 1$  Ma; Pb-Pb em zircão), reforçam a hipótese de que estas sejam de formação do GBS.

Tabela 5 – Resumo dos resultados U-Pb por LA-ICP-MS para os cristais de zircão da amostra DDA-17.

Ponto	Razões isotópicas									Idades (Ma)						
	Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s (%)	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s (%)	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s (%)	Rho	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s (%)	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s (%)	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s (%)	Conc. (%)
43-1	0,507	4835	0,1412	1,70	3,3656	2,39	0,1729	1,68	0,83	2242	29,1	1496	18,6	1028	16,0	45,8
58-3	0,481	20904	0,1570	1,95	4,1949	2,41	0,1938	1,42	0,75	2423	33,1	1673	19,8	1142	14,8	47,1
04-1	0,624	1412	0,1553	1,46	4,4014	2,38	0,2056	1,86	0,78	2405	24,6	1713	19,5	1205	20,7	50,1
14-1	0,448	38436	0,1615	1,93	5,5429	2,36	0,2489	1,36	0,72	2472	32,5	1907	20,3	1433	17,5	58,0
31-1	0,629	6154	0,1670	1,32	6,1638	2,38	0,2677	1,98	0,83	2528	22,0	1999	20,6	1529	26,9	60,5
36-1	0,418	56196	0,1784	1,18	7,2302	2,15	0,2940	1,80	0,83	2638	19,6	2140	19,2	1661	26,4	63,0
26-1	0,796	8760	0,1783	1,07	7,5402	1,81	0,3067	1,46	0,80	2637	17,6	2178	16,1	1724	22,1	65,4
24-1	0,516	45011	0,1921	1,24	9,7751	2,65	0,3690	2,35	0,88	2761	20,3	2414	24,4	2025	40,8	73,3
30-1	0,286	5121	0,1841	1,33	9,9850	3,63	0,3933	3,37	0,93	2690	21,8	2433	33,0	2138	61,2	79,5
45-1	0,336	9587	0,1910	1,11	10,7513	1,81	0,4081	1,43	0,78	2751	18,2	2502	16,8	2206	26,7	80,2
42-2*	0,371	6279	0,2066	0,85	10,8878	1,75	0,3823	1,53	0,87	2879	13,7	2514	16,1	2087	27,2	72,5
25-2*	0,105	17643	0,2133	1,02	12,2801	1,97	0,4176	1,68	0,85	2931	16,5	2626	18,5	2249	32,0	76,8
32-1	0,346	674818	0,2034	1,20	15,0403	1,75	0,5362	1,27	0,71	2854	19,6	2818	16,6	2768	28,5	97,0
15N-1	0,327	241283	0,2089	1,73	15,9032	2,39	0,5520	1,66	0,76	2897	28,0	2871	22,9	2834	38,0	97,8
15-1	0,348	230799	0,2091	1,31	16,1016	2,11	0,5585	1,65	0,78	2899	21,3	2883	20,1	2860	38,0	98,7
03-2*	0,304	16435	0,2238	1,98	16,7818	3,07	0,5438	2,35	0,76	3008	31,8	2922	29,5	2799	53,5	93,1
08-1	0,354	94444	0,2113	1,34	17,1325	2,53	0,5879	2,15	0,85	2916	21,7	2942	24,3	2981	51,3	102,2
22-2*	0,324	429622	0,2212	1,63	17,8277	2,67	0,5844	2,12	0,79	2990	26,2	2980	25,7	2967	50,5	99,2
70-2*	0,529	92668	0,2240	0,99	17,9969	1,55	0,5828	1,20	0,76	3009	15,8	2990	14,9	2960	28,4	98,4
21-2*	0,637	18776	0,2297	1,46	18,1100	2,12	0,5719	1,53	0,72	3050	23,4	2996	20,4	2916	35,9	95,6

(-1 - cristal homogêneo; -2 - núcleo; -3 - borda); \* = Pontos excluídos na concórdia da Figura 2.12b; Conc. (%) denota o grau de concordância.

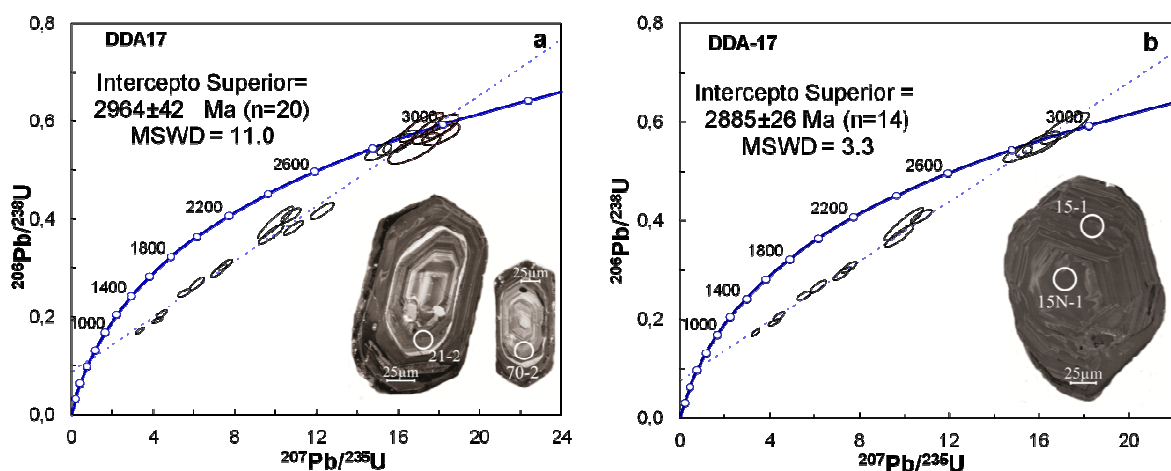


Figura 2.6 – Diagramas concórdia U-Pb por LA-ICP-MS da amostra DDA-17: a) discórdia obtida a partir das vinte análises apresentadas na Tabela 5. As imagens mostram cristais de zircão com núcleos herdados onde foram feitos os pontos 21-2 e 70-2; b) discórdia obtida a partir das mesmas análises excetuando seis análises de núcleos interpretados como sendo herdados. A imagem mostra um cristal sem núcleo herçado, onde foram efetuados dois pontos de mesma idade: 15N-1, na porção central, e 15-1, na borda do cristal.

## COMPARAÇÕES COM OUTROS GRANITOIDES DA PROVÍNCIA CARAJÁS

As composições modais apresentadas neste trabalho (Figura 2.4; Tabela 2.2), permitem distinguir o GBS dos seguintes granitoides que ocorrem na Província Carajás: (i) associações TTG e demais grupos de tonalitos-trondhjemitos, pela ocorrência restrita de granitos stricto sensu nas mesmas (Almeida *et al.* 2011, Feio *et al.* 2013); (ii) Granitóides tipo sanukitóides, por apresentarem composições granodioríticas amplamente dominantes e conteúdos expressivos de minerais máficos, com destaque para anfibólio e epidoto magmático (Oliveira *et al.* 2011, Gabriel *et al.* submetido); e (iii) Suíte Planalto, formada igualmente por rochas monzograníticas a sienograníticas, que se distinguem, porém, do granito estudado devido ao conteúdo elevado de minerais ferromagnesianos e presença expressiva de anfibólio (Feio *et al.* 2012). Por outro lado, como a mineralogia e as proporções relativas de cada fase do GBS, são muito similares aquelas identificadas nos grupos de leucogranitos individualizados no Domínio Rio Maria (Almeida *et al.* 2013) e na região de Canaã dos Carajás (Feio *et al.* 2013), torna-se evidente a importância de aprofundar a comparação entre esses granitos utilizando dados geoquímicos que podem revelar as principais diferenças e similaridades existentes entre estas rochas.

### DOMÍNIO RIO MARIA

Os grupos individualizados no GBS apresentam maior afinidade com o grupo de leucogranitos potássicos, em especial as amostras dos grupos ALTA e BAIXA La/Yb com teor de SiO<sub>2</sub> superior a 71,5%, já que aqueles do Domínio Rio Maria apresentam menor variação no conteúdo deste óxido e os grupos BAIXA Gd/Yb e BAIXO  $\Sigma$ ETR mostram uma considerável dispersão de suas amostras (Figuras 2.6 e 2.7). Esta afinidade também é observada no diagrama de classificação P-Q (Figura 2.10a). Por outro lado, o GBS se diferencia do grupo de leucogranodioritos-granitos do Domínio Rio Maria por apresentar um caráter mais evoluído, com maior enriquecimento em SiO<sub>2</sub> e também conteúdos significativamente mais baixos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Na<sub>2</sub>O, Ba, Sr (Figuras 2.6a,b,e, 2.7a,b), relação (Sr/Y)/(La/Yb)<sub>N</sub> < 1 (Figura 2.9c) e valores mais elevados de K<sub>2</sub>O, Rb e das razões FeO<sub>T</sub>/(FeO<sub>T</sub>+MgO) e Rb/Sr (Figuras 2.6d,f, 2.7c,d), assim como anomalias negativas de Eu mais acentuadas (Eu/Eu\* < 0,6; Figura 2.9b). Apesar da clara distinção entre estes conjuntos de leucogranitos, o grupo BAIXO  $\Sigma$ ETR mostra certas afinidades com o grupo de leucogranodioritos-granitos de alto Ba-Sr, principalmente no que diz respeito à relação (Sr/Y)/(La/Yb)<sub>N</sub> > 1 e as fracas anomalias negativas de Eu (Eu/Eu\* > 0,6) de suas amostras (Figuras 2.9b,c). Por fim, o GBS se distingue dos grupos de leucogranitos do Domínio Rio

Maria por apresentar um caráter essencialmente peraluminoso, enquanto que os últimos possuem um comportamento transicional de meta a peraluminosos (Figura 2.10d).

## REGIÃO DE CANAÃ DOS CARAJÁS / DOMÍNIO CARAJÁS

Nota-se em diagramas de variação (Figuras 2.6 e 2.7), uma forte superposição entre os campos definidos pela amostra do GBS com aqueles dos conjuntos de leucogranitos mesoarqueanos individualizados por Feio & Dall’Agnol (2012) na região de Canaã dos Carajás. Dentro desse contexto, as amostras dos grupos ALTA La/Yb e BAIXO  $\Sigma$ ETR do GBS mostram maiores afinidades com aquelas de alta razão  $(La/Yb)_N$  do Granito Cruzadão e do Granito Bom Jesus, respectivamente. Entretanto, o Granito Cruzadão tende a ser mais empobrecido em CaO e Sr e enriquecido em Rb, Nb, Hf e Zr (Figuras 2.6, 2.7 e 2.9d), o que lhe confere um caráter mais alcalino (Feio & Dall’Agnol 2012) quando comparado com o Granito Boa Sorte, e o Granito Bom Jesus mostra um enriquecimento marcante em Sr e discreto de CaO e Ba, em relação às rochas do GBS. Apesar destas diferenças, há notáveis semelhanças entre estas rochas, começando pelo acentuado fracionamento de ETR pesados e, em decorrência, altas razões La/Yb observadas nas mesmas, até as acentuadas anomalias negativas de Eu ( $Eu/Eu^*$  entre 0,2 – 0,6) presentes tanto nas amostras do Granito Cruzadão, quanto naquelas do grupo ALTA La/Yb. Por sua vez, as rochas do Granito Bom Jesus e do grupo BAIXO  $\Sigma$ ETR exibem anomalias negativas de Eu discretas ( $Eu/Eu^* > 0,6$ ). No entanto, o grupo BAIXO  $\Sigma$ ETR também mostra algumas semelhanças com o Granito Canaã dos Carajás, como os baixos conteúdos de  $K_2O$ , Zr e Hf, e as baixas razões Rb/Sr, além das relações  $(Sr/Y)/(La/Yb)_N$  maiores que 1 e as discretas anomalias de Eu (Figuras 2.8, 2.9b,c).

Os grupos BAIXA Gd/Yb e BAIXA La/Yb se aproximam do Granito Serra Dourada e das amostras com baixas e moderadas razões  $(La/Yb)_N$  do Granito Cruzadão, devido aos seus conteúdos, abaixo da média em  $K_2O$ , Sr, Ba, Zr, Hf, e Sr/Y, moderados de  $Na_2O$  e elevados de Y, Nb e das razões Rb/Sr (Figuras 2.7d e 2.9d).

O grupo BAIXA La/Yb mostra maior afinidade com as rochas de moderadas razões  $(La/Yb)_N$  do Granito Cruzadão devido às suas acentuadas anomalias negativas de Eu ( $Eu/Eu^* < 0,5$ , Figuras 2.8 e 2.9b), enquanto que o grupo BAIXA Gd/Yb se aproxima do Granito Serra Dourada devido às suas moderadas anomalias negativas de Eu ( $Eu/Eu^*$  entre 0,4 – 0,7), ao seu baixo conteúdo de ETR leves e à disposição subhorizontalizada do ramo de ETR pesadas (Figura 2.8).

Nos diagramas P-Q (Debon & Le Fort 1988; Figura 2.10a) e  $100(MgO+FeOt+TiO_2)/SiO_2$  vs.  $(Al_2O_3+CaO)/(FeOt+Na_2O+K_2O)$  de Sylvester (1989; Figura



2.10c) a maioria das amostras dos grupos ALTA e BAIXA La/Yb, principalmente as mais enriquecidas em SiO<sub>2</sub>, se situam no campo definido pelo Granito Cruzadão, e as do grupo BAIXA Gd/Yb no campo do Granito Serra Dourada. Já o diagrama de Shand (1950; Figura 2.10d), mostra que, similarmente às amostras do GBS, os leucogranitos de Canaã dos Carajás são essencialmente peraluminosos. Naquele diagrama, as amostras do GBS ocupam principalmente os campos dos granitos Bom Jesus e Cruzadão, uma vez que os granitos Serra Dourada e Canaã dos Carajás possuem valores de A/CNK levemente superiores.

## DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Os dados de campo e petrográficos mostram que o GBS é composto predominantemente por biotita leucomonzogranitos, mostrando diferentes níveis de recristalização de seus minerais essenciais, como resposta à deformação neoarqueana relacionada à inversão da Bacia Carajás (Pinheiro & Holdsworth, 1997). Este corpo é intrusivo em TTGs e sequências *greenstone belts* e intrudido por corpos máficos relacionados ao Diopsídio-Norito Pium, mantendo ainda relações de contemporaneidade em seu limite sul com granodioritos relacionados aqueles de alto-Mg.

O GBS é caracterizado pela ocorrência de rochas pertencentes a quatro grupos geoquímicos distintos, distinguidos sobretudo pelas variações nas razões La/Yb e na amplitude da anomalia negativa de Eu. Os seus principais aspectos podem ser sumarizados da seguinte forma:

(i) os grupos ALTA La/Yb e BAIXO  $\Sigma$ ETR mostram um acentuado fracionamento de ETR pesados, com padrão côncavo dos mesmos e anomalias negativas de Eu acentuadas no caso do primeiro, enquanto que o segundo exhibe anomalias de Eu discretas ou inexpressivas. Os padrões de ETR apresentados por estes grupos sugerem que fases com alta afinidade por ETR pesados, como anfibólio e/ou granada foram fracionadas, podendo ter sido retidas no resíduo da fusão ou separadas durante a evolução magmática. Além disso, o plagioclásio deve ter sido uma importante fase fracionante durante a evolução magmática das rochas do grupo ALTA La/Yb, dada a intensidade das anomalias negativas de Eu, enquanto que teria tido participação limitada entre as fases fracionantes no grupo BAIXO  $\Sigma$ ETR, para explicar as suas anomalias de Eu nulas ou discretas (cf. Ragland 1989, Rollinson 1993, Feio & Dall'Agnol 2012). Vários autores atribuem a presença ou ausência desses minerais no resíduo a diferentes condições de pressão atuantes durante a fusão de protólitos crustais (Rapp *et al.* 1991, Rapp & Watson 1995, Almeida *et al.* 2010, Chappell *et al.* 2012);

(ii) Os grupos BAIXA Gd/Yb e BAIXA La/Yb apresentam um discreto fracionamento de ETR pesados, indicando ausência de anfibólio e granada no resíduo da fusão, sobretudo durante a geração do magma formador das rochas pertencentes ao grupo de BAIXA Gd/Yb. Similarmente ao que se observa para o grupo ALTA La/Yb, o plagioclásio também foi intensamente fracionado durante a geração dessas rochas, sendo que naquelas do grupo de BAIXA La/Yb, este processo foi mais marcante, resultando nas suas anomalias negativas de Eu extremamente acentuadas.

Outras diferenças marcantes podem ainda ser observadas dentre estes grupos. Aqueles que possuem altas razões La/Yb são mais enriquecidos em  $Al_2O_3$ , CaO,  $FeO_t$ , Ba, Sr, Hf, Zr e nas razões Sr/Y e Gd/Yb, enquanto que as rochas com moderadas a baixas razões La/Yb ou Gd/Yb, apresentam valores mais elevados de Rb, Y e Nb, assim como das razões Rb/Sr e  $FeO_t/(FeO_t+MgO)$ . O baixo conteúdo de minerais acessórios, como allanita e zircão, reflete-se diretamente no comportamento dos elementos traços das rochas com baixas razões La/Yb (Rollinson 1993). A grande dispersão das amostras em diagramas de variação, em especial aquelas dos grupos de BAIXA Gd/Yb e BAIXO  $\Sigma$ ETR em relação ao  $Na_2O$ , pode ser devida à atuação de processos de escapolitização e albitização dessas amostras (metassomatismo sódico).

Os grupos geoquímicos distinguidos para o GBS se assemelham sob diversos aspectos aos diferentes corpos de biotita granito mesoarqueanos da região de Canaã dos Carajás identificados por Feio & Dall'Agnol (2012). Aqueles de ALTA e BAIXA La/Yb possuem maior afinidade com as variedades distinguidas no Granito Cruzadão, enquanto que o grupo BAIXO  $\Sigma$ ETR se aproxima das rochas dos granitos Bom Jesus e Canaã dos Carajás, e o BAIXA Gd/Yb, daquelas formadoras do Granito Serra Dourada. Dentre as rochas do Domínio Rio Maria, o GBS possui maior afinidade geoquímica com o leucogranitos potássicos, sendo claramente distinguidos daqueles de alto Ba-Sr, por possuírem caráter mais evoluído (alto K e Rb). Apresenta ainda similaridades geoquímicas com os biotita granitos do Cráton Dharwar (Jayananda et al. 2006) e com os granitos de baixo-Ca do Cráton Yilgarn (Champion & Sheraton 1997), bem como com os subgrupos CA2 (ALTA La/Yb e BAIXO  $\Sigma$ ETR) e CA1 (BAIXA Gd/Yb e BAIXA La/Yb) de granitos cálcico-alcálicos de Sylvester (1994) e dos tipo-I peraluminosos do Lachlan Fold Belt de Chappell *et al.* (2012).

A idade aqui considerada como mínima de cristalização ( $2857 \pm 2$  Ma), se aproxima daquelas obtidas para os leucogranitos potássicos de afinidade cálcico-alcálica do Domínio Rio Maria, exemplificados pelos granitos Xinguara e Mata Surrão, de  $\sim 2,87$  Ga (Tabela 2.1). Na região de Canaã dos Carajás, esta é similar às idades obtidas para os granitos Cruzadão

(2857±8 Ma) e Serra Dourada (2860±22 Ma), sendo também comum a presença de cristais herdados com idades superiores a 3,0 Ga nos granitos Cruzadão, Bom Jesus e Canaã dos Carajás. Este último mostra ainda idades interpretadas como sendo de cristalização (2928±1 e 2959±6 Ma), similares àquelas consideradas como híbridas (núcleos herdados + bordas de cristais) para o GBS (~2,92 Ga e 2964±42 Ma, Tabela 1).

De acordo com os dados geocronológicos apresentados, a formação do GBS se deu no Mesoarqueano – há pelo menos 2857±2 Ma, ligada a diferentes processos de fusão de protólitos crustais (evolução policíclica), como sugerido pelos sobrecrecimentos em cristais de zircão e pelos diferentes patamares de idades apresentadas (até ~3,00 Ga). A correlação dos diferentes grupos geoquímicos do GBS e de seus dados geocronológicos com os corpos graníticos discutidos acima sugere que toda a região localizada desde as proximidades da cidade de Canaã dos Carajás até o norte-nordeste do município de Água Azul do norte (Figura 2.1) tenha passado por processos similares durante a evolução mesoarqueana do Domínio Carajás.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor e de produtividade em pesquisa ao segundo autor. Os autores agradecem ainda pela assistência de J. A. C. Almeida na etapa de campo; M. A. Galarza Toro e M. J. B. Macambira na obtenção dos dados Pb-Pb por evaporação; C. N. Lamarão na obtenção das imagens de catodoluminescência; e E. L. Dantas nas análises por LA-ICP-MS. Aos pesquisadores do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides (GPPG-IG-UFGA) pelo apoio nas diversas etapas deste trabalho; aos revisores pelas críticas que levaram ao aperfeiçoamento do artigo; ao Instituto de Geociências (IG-UFGA) pelo suporte técnico. Por fim à FAPESPA (Processo nº 133/2008 0); ao convênio Vale-FAPESPA (Edital 001/2010 – ICAAF 053/2011); e INCT/Geociam (Processo nº 573733/2008-2) pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- ALLING, H., 1938. Plutonic perthites. **Journal Geology** 46(2): 142-195.
- ALMEIDA, F. F. M., Y. HASUI, B. B. NEVES, R. A. FUCK, 1981. Brazilian Structural Provinces: an introduction. **Earth-Science Reviews** 17: 1-29.
- ALMEIDA, J. A. C., R. DALL'AGNOL, S. B. DIAS, F. J. ALTHOFF, 2010. Origin of the Archean leucogranodiorite–granite suites: Evidence from the Rio Maria terrane and implications for granite magmatism in the Archean. **Lithos** 120: 235-257.

- ALMEIDA, J. A. C., R. DALL'AGNOL, M. A. OLIVEIRA, M. J. B. MACAMBIRA, M. M. PIMENTEL, O. T. RÄMÖ, F. V. GUIMARÃES, A. A. S. LEITE, 2011. Zircon geochronology, geochemistry and origin of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for the growth of the Archean crust of the Carajás province, Brazil. **Precambrian Research** 187: 201–221.
- ALMEIDA, J. A. C., R. DALL'AGNOL, A. A. S. LEITE, 2013. Geochemistry and zircon geochronology of the Archean granite suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane, Carajás Province, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences** 42: 103-126.
- ALTHOFF, F. J., P. BARBEY, A. M. 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: 187-206.
- ARAÚJO, O. J. B., R. G. N. MAIA, X. S. JORGE JOÃO, J. B. S. COSTA, 1988. A megaestruturação arqueana da Folha Serra dos Carajás. In: Congresso Latino-americano de Geologia, 7. Belém. ANAIS. SBG-NO, v.1, p. 324-338.
- AVELAR, V. G., J. M. LAFON, F. C. CORREIA JR, E. M. B. MACAMBIRA, 1999. O magmatismo arqueano da região de Tucumã-Província Mineral de Carajás: novos resultados geocronológicos. **Revista Brasileira de Geociências** 29(2): 454-460.
- BARKER, F. & J. G. ARTH, 1976. Generation of trondhjemitic-tonalitic liquids and Archean bimodal trondhjemitic-basalt suites. **Geology** 4: 596-600.
- BARROS, C. E. M., R. DALL'AGNOL, 1994. Deformação de rochas granitóides em regime dúctil: o exemplo do Gnaiss Estrela, região de Carajás. **Revista Brasileira de Geociências** 23:315-332.
- BARROS, C. E. M., P. BARBEY, A. M. BOULLIER, 2001. Role of magma pressure, tectonic stress and crystallization progress in the emplacement of the syntectonic A-type Estrela Granite Complex (Carajás Mineral Province, Brazil). **Tectonophysics** 343: 93-109.
- BARROS C. E. M., V. M. NASCIMENTO, C. A. MEDEIROS FILHO, 2010. Revisão da Estratigrafia das Rochas da Serra Leste, Província Mineral de Carajás. **Revista Brasileira de Geociências** 40(2): 167-174.
- BUHN, B., M. M. PIMENTEL, M. MATTEINI, E. L. DANTAS, 2009. High spatial resolution analysis of Pb and U isotopes for geochronology by laser ablation multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-MC-ICP-MS). **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 81: 1–16.

- CHAMPION, D. C., J. W. SHERATON, 1997. Geochemistry and Nd isotope systematics of Archean granites of the Eastern Goldfields, Yilgarn Craton, Australia: implications for crustal growth processes. **Precambrian Research** 83: 109-132.
- CHAPPELL, B. W., A. J. R. WHITE, 1974. Two contrasting granite types. **Pacific Geology** 8: 173-174.
- CHAPPELL, B. W., C. J. BRYANT, D. WYBORN, 2012. Peraluminous I-type granites. **Lithos** 153: 142-153.
- 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.
- DALL'AGNOL, R., J. M. LAFON, L. M. FRAGA, J. SCANDOLARA, C. E. M. BARROS, 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. CPRM. (CDROM).
- DALL'AGNOL, R., M. A. OLIVEIRA, J. A. C. ALMEIDA, F. J. ALTHOFF, A. A. S. LEITE, D. C. OLIVEIRA, C. E. M. BARROS, 2006. Archean and Paleoproterozoic granitoids of the Carajás Metallogenic 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**. Belém, PRONEX-UFPA-SBGNO, 99-150 (Volume and Field Trip Guide).
- DEBON, F., P. LE FORT, 1988. A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations: principles, method, applications. **Bulletin of Mineralogy** 111: 493-510.
- DOCEGEO, 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. *In*: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Província Mineral de Carajás-Litoestratigrafia e principais depósitos minerais, Anexo aos anais, CVRD, Belém, p.11-59.
- EBY, G. N., 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. **Geology** 20: 641-644.
- EVANS B., J. RENNER, G. HIRTH, 2001. A few remarks on the kinetics of static grain growth in rocks. **Int J Earth Sciences** 90:88-103.
- EVENSEN, N. M., P. T. HAMILTON, R. K. O'NIONS, 1978. Rare earth abundances in chondritic meteorites. **Geochimica et Cosmochimica Acta** 39, 55-64.
- FEIO, G. R. L., R. DALL'AGNOL, 2012. Geochemistry and petrogenesis of the granites from the Canaã dos Carajás area, Carajás province, Brazil: implications for the origin of Archean granites. **Lithos** 154: 33-52.

- FEIO, G. R. L., R. DALL'AGNOL, E. L. DANTAS, M. J. B. MACAMBIRA, J. O. S. SANTOS, F. J. ALTHOFF, J. E. B. SOARES, 2013. Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: implications for crustal evolution of the Carajás Province, Amazonian craton, Brazil. **Precambrian Research** 227: 157-185.
- FEIO, G. R. L., R. DALL'AGNOL, E. L. DANTAS, M. J. B. MACAMBIRA, A. C. B. GOMES, A. S. SARDINHA, D. C. OLIVEIRA, R. D. SANTOS, P. A. SANTOS, 2012. Geochemistry, geochronology, and origin of the Neoproterozoic Planalto Granite suite, Carajás, Amazonian craton: A-type or hydrated charnockitic granite? **Lithos** 151: 57-73.
- GABRIEL, E. O., 2012. Geologia, geoquímica e petrologia magnética dos granitoides Arqueanos da Porção Nordeste de Água Azul do Norte – Província Carajás. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 117p.
- GABRIEL, E. O., D. C. OLIVEIRA, submetido. Geologia, petrografia e geoquímica dos granitoides arqueanos de alto magnésio da região de Água Azul do Norte – Província Carajás (PA). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém.
- GABRIEL, E. O., D. C. OLIVEIRA, M. A. GALARZA, 2010a. **Geologia, petrografia e geocronologia de granitoides do Complexo Xingu da região nordeste de Água Azul do Norte-PA, Província Mineral de Carajás**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 45. Anais. CDROM.
- GABRIEL E. O., OLIVEIRA, D. C., MACAMBIRA, M. J. B. 2010b. **Caracterização geológica, petrográfica e geocronológica de ortopiroxênio-trondhjemitos (leucoenderbitos) da região de Vila Cedere III, Canaã dos Carajás-PA, Província Mineral de Carajás**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 45. Anais, CDROM.
- GAUDETTE, H. E., J. M. Lafon, M. J. B. MACAMBIRA, C. A. V. MOURA, T. SCHELLER, 1998. Comparison of single filament Pb evaporation/ionization zircon ages with conventional U–Pb results: examples from the Precambrian of Brazil. **Journal of South American Earth Sciences** 11 (4) 351–363.
- GOMES, A. C. B., 2003. Geologia, Petrografia e Geoquímica dos granitoides de Canaã dos Carajás, SE do Estado do Pará. Dissertação de Mestrado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 160p.
- GOMES, A. C. B., R. DALL'AGNOL, 2007. Nova associação tonalítica-trondhjemítica Neoproterozoica na região de Canaã dos Carajás: TTG com altos conteúdos de Ti, Zr e Y. **Revista Brasileira de Geociências** 37: 182–193.
- HAWKESWORTH, C. J., A. I. S. KEMP, 2006. Evolution of the continental crust. **Nature** 443: 811-817.

- HIRATA, W. K., J. C. RIGON, K. KADEKARU, A. A. C. CORDEIRO, E. M. MEIRELES, 1982. **Geologia regional da Província Mineral de Carajás**. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 1., Belém. ANAIS. SBG. 1: 100–110.
- HUHN, S. B., M. J. B. MACAMBIRA, R. DALL'AGNOL, 1999. **Geologia e geocronologia Pb/Pb do granito alcalino arqueano Planalto, região da Serra do Rabo, Carajás-PA**. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 6: 463–466.
- JAYANANDA, M., D. CHARDON, J.-J. PEUCAT, R. CAPDEVILA, 2006. 2.61 Ga potassic granites and crustal reworking in the western Dharwar craton, southern India: tectonic, geochronologic and geochemical constraints. **Precambrian Research** 150: 1–26.
- KOBER, B., 1986. Whole-grain evaporation for  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -age-investigations on single zircons using a double-filament thermal ion source. **Contributions to Mineralogy and Petrology** 93: 482–490.
- KRETZ, R., 1983. Symbols for rock-forming minerals. **American Mineralogist** 68: 277–279.
- LAFON, J. M., E. RODRIGUES, K. D. DUARTE, 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, 642- 649.
- LAFON, J. M., M. J. B. MACAMBIRA, R. T. PIDGEON, 2000. **Zircon U-Pb SHRIMP dating of Neoproterozoic magmatism in the southwestern part of the Carajás Province (eastern Amazonian Craton, Brazil)**. In: International Geological Congress, 31, Rio de Janeiro. Abstracts. CD-ROM.
- LE MAITRE, R. W., 2002. **A classification of igneous rocks and glossary of terms**. 193 p. 2nd Edition, London.
- LEITE, A. A. S., R. DALL'AGNOL, M. J. B. MACAMBIRA, F. J. ALTHOFF, 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., J. M. LAFON, 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.
- MACAMBIRA, E. M. B., A. G. VALE, 1997. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. São Felix do Xingu. Folha SB.22-Y-B. Estado do Pará. DNPM/CPRM. Brasília. 384p.

- MACHADO, N., Z. LINDENMAYER, T. E. KROGH, D. LINDENMAYER, 1991. U/Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás Área, Amazon Shield, Brazil. **Precambrian Research** 49: 329-354.
- MARANGOANHA, B., D. C. OLIVEIRA, submetido. Geologia, geoquímica e química mineral do magmatismo básico da área de Nova Canadá (PA) – Província Carajás. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém.
- MARTIN, H. 1994. The Archean grey gneisses and the gneisses of continental crust. In: K. C. CONDIE (ed.): **Archean Crustal Evolution**: 205-259. ELSEVIER, Amsterdam.
- MIKKOLA, P., L. S. LAURI, A. KÄPYAHO, 2012. Neoproterozoic leucogranitoids of the Kianta Complex, Karelian Province, Finland: Source characteristics and processes responsible for the observed heterogeneity. **Precambrian Research** 206–207: 72–86.
- MILLER, C. F. 1985. Are strongly peraluminous magmatism derived from pelitic sedimentary sources? **Journal Geology** 93: 673-689.
- MORETO, C. P. N., L. V. S. MONTEIRO, R. P. XAVIER, W. S. AMARAL, T. J. S. SANTOS, C. JULIANI, C. R. SOUZA FILHO, 2011. Mesoarchean (3.0 and 2.86 Ga) host rocks of the iron oxide–Cu–Au Bacaba deposit, Carajás Mineral Province: U–Pb geochronology and metallogenetic implications. **Mineralium Deposita** 46:789–811.
- MOYEN, J. F., H. MARTIN, M. JAYANANDA, B. AUVRAY, 2003. Late Archean granites: A typology based on the Dharwar Craton (India). **Precambrian Research** 127:103-123.
- OLIVEIRA, D. C., M. J. B. MACAMBIRA, P. J. L. SANTOS, E. O. GABRIEL, D. S. RODRIGUES, A. C. SILVA, M. L. T. SILVA, S. D. SOUSA, R. D. SANTOS, M. A. T. GALARZA, 2011. **Archean Granitoids of the Transition Domain – Carajás Province (Brazil): Geological, Geochemical and Geochronological Aspects**, In: Colloquium African Geology, 23, Abstract Volume, Johannesburg: University of Johannesburg, v.1. p.320-320.
- PASSCHIER, C.W., R. A. J. TROUW, 2005. **Microtectonics**: 1-366. Springer-Verlag, Berlin.
- PECCERILLO, A., S. R. TAYLOR, 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. **Contributions to Mineralogy and Petrology** 58:63–81.
- PIDGEON, R. T., M. J. B. MACAMBIRA, J. M. LAFON, 2000. Th-U-Pb isotopic systems and internal structures of complex zircons from an enderbite from the Pium Complex, Carajás Province, Brazil: evidence for the ages of granulites facies metamorphism and the protolith of the enderbite. **Chemical Geology** 166:159-171.



- PINHEIRO, R. V. L., R. E. HOLDSWORTH, 1997. Reactivation of Archean strike-slip fault systems, Amazon region, Brazil. **Journal of the Geological Society** 154: 99–103.
- PUTNIS, A., R. HINRICHS, C. V. PUTNIS, U. GOLLA-SCHINDLER, L. G. COLLINS, 2007. Hematite in porous red-clouded feldspars: evidence of large-scale crustal fluid–rock interaction. **Lithos** 95: 10–18.
- RAGLAND P. C. 1989. **Basic Analytical Petrology**. Oxford University Press, Oxford. 369p.
- RAPP, R., E. B. WATSON, 1995. Dehydration melting of metabasalt at 8–32kbar: implications for continental growth and crust–mantle recycling. **Journal of Petrology** 36: 891–931.
- RAPP, R., E. B. WATSON, C. F. MILLER, 1991. Partial melting of amphibolite/eclogite and the origin of Archean trondhjemites and tonalites. **Precambrian Research** 51: 1–25.
- RICCI, P. S. F., M. A. CARVALHO, 2006. **Rocks of the Pium-Area, Carajás Block, Brazil – A Deep seated High-T Gabbroic Pluton (Charnokitoid-Like) with Xenoliths of Enderbitic Gneisses Dated at 3002 Ma – The Basement Problem Revisited**. In: Simpósio de Geologia da Amazônia 8, CD-ROM.
- ROLANDO A. P., M. J. B. MACAMBIRA, 2002. **Geocronologia dos granitóides arqueanos da região da Serra do Inajá, novas evidências sobre a formação da crosta continental no sudeste do Cráton Amazônico, SSE Pará**. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 41, João Pessoa, *Anais*, p. 525.
- ROLLINSON, H.R., 1993. A terrane interpretation of the Archean Limpopo Belt. **Geological Magazine** 130: 755–765.
- SANTOS J. S. O., L. A. HARTMANN, M. S. FARIA, S. R. RIKER, M. M. SOUZA, M. E. ALMEIDA, N. J. MCNAUGHTON, 2006. **A compartimentação do Cráton Amazonas em províncias: avanços ocorridos no período 2000–2006**. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, vol. 9. Belém. RESUMOS EXPANDIDOS. SBG (CD-ROM).
- SANTOS P. A., G. R. L. FEIO, R. DALL’AGNOL, H. T. COSTI, C. N. LAMARÃO, M. A. GALARZA, 2013. Petrography, magnetic susceptibility and geochemistry of the Rio Branco Granite, Carajás Province, southeast of Pará, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências** 43(1): 2–15.
- SANTOS R. D., M. A. GALARZA, D. C. OLIVEIRA, submetido. Geologia, geoquímica e geocronologia do diopsídio-norito pium, Província Carajás. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém.

- SANTOS P. J. L., 2009. Geologia, petrografia e geocronologia dos granitoides do Complexo Xingu da região de Vila Nova Canadá, porção NE do município de Água Azul do Norte - Província Mineral de Carajás. Trabalho de Conclusão do Curso. FAGEO. Marabá: Universidade Federal do Pará, 130p.
- SARDINHA, A. S., R. DALL'AGNOL, A. C. B. GOMES, M. J. B. MACAMBIRA, M. A. GALARZA, 2004. **Geocronologia Pb-Pb e U-Pb em zircão de granitóides arqueanos da região de Canaã dos Carajás, Província Mineral de Carajás.** In: Congresso Brasileiro de Geologia, 42.
- SCHÖLZ, C. H., 1988. The brittle-plastic transition and the depth of seismic faulting. **Geol. Rundsch.**, 77(1):319-328.
- SHAND, S. J., 1950. **Eruptive rocks, their genesis, composition, classification and their relation to ore deposit.** 4th ed., London, 488 pp.
- SILVA, A. C., R. DALL'AGNOL, F. V. GUIMARÃES, D. C. OLIVEIRA submetido. Geologia, petrografia e geoquímica de associações tonalíticas e trondhjemíticas arqueanas de Vila Jussara, Província Carajás, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém.
- SYLVESTER, P. J., 1989. Post-collisional alkaline granites. **Journal of Geology** 97, 261–280.
- SYLVESTER, P. J., 1994. Archean granite plutons. In: K. CONDIE (ed.): **Archean Crustal Evolution**: 261-314. ELSEVIER, Amsterdam.
- TASSINARI, C. C. G., M. J. B. MACAMBIRA, 2004. Evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: V. MANTESSO-NETO, A. BARTORELLI, C. D. R. CARNEIRO, B. B. de BRITO NEVES (Org.): **Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de F.F.M. de Almeida**: 471-486. BECA, São Paulo.
- VASQUEZ M. L., L. T. ROSA-COSTA, C. G. SILVA, P. F. RICCI, J. O. BARBOSA, E. L. KLEIN, E. S. LOPES, E. B. MACAMBIRA, C. L. CHAVES, J. M. CARVALHO, J. G. OLIVEIRA, G. C. ANJOS, H. R. SILVA, 2008. **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, 328p.
- VERNON RH (1976) Metamorphic processes. **Allen and Unwin**, London
- WHALEN, J. W., K. L. CURRIE, B. W. CHAPPEL, 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. **Contribution to Mineralogy and Petrology** 95: 407-419.

---

## CAPÍTULO 3

---

### CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados de campo e petrográficos mostram que o GBS é composto predominantemente por biotita leucomonzogranitos, mostrando diferentes níveis de recristalização de seus minerais essenciais, como resposta à deformação neoarquena relacionada à inversão da Bacia Carajás (Pinheiro & Holdsworth, 1997). Este corpo é intrusivo em TTGs e *greenstone belts* e intrudido por corpos máficos relacionados ao Diopsídio-Norito Pium, mantendo ainda relações de contemporaneidade em seu limite sul com granodioritos relacionados aqueles de alto-Mg.

O GBS é caracterizado pela ocorrência de rochas pertencentes a quatro grupos geoquímicos distintos, distinguidos, sobretudo, pelas variações nas razões La/Yb e na amplitude da anomalia negativa de Eu. Os seus principais aspectos podem ser sumarizados da seguinte forma:

- (i) Os grupos ALTA La/Yb e BAIXO  $\Sigma$ ETR mostram um acentuado fracionamento de ETR pesados, com padrão côncavo dos mesmos e anomalias negativas de Eu acentuadas no caso do primeiro, enquanto que o segundo exibe anomalias de Eu discretas ou inexpressivas. Os padrões de ETR apresentados por estes grupos sugerem que fases com alta afinidade por ETR pesados, como anfibólio e/ou granada foram fracionadas, podendo ter sido retidas no resíduo da fusão ou separadas durante a evolução magmática. Além disso, o plagioclásio deve ter sido uma importante fase fracionante durante a evolução magmática das rochas do grupo ALTA La/Yb, dada a intensidade das anomalias negativas de Eu, enquanto que teria tido participação limitada entre as fases fracionantes no grupo BAIXO  $\Sigma$ ETR, para explicar as suas anomalias de Eu nulas ou discretas (cf. Ragland 1989, Rollinson 1993, Feio & Dall’Agnol 2012). Vários autores atribuem a presença ou ausência desses minerais no resíduo a diferentes condições de pressão atuantes durante a fusão de protólitos crustais (Rapp *et al.* 1991, Rapp & Watson 1995, Almeida *et al.* 2010, Chappell *et al.* 2012);
- (ii) Os grupos BAIXA Gd/Yb e BAIXA La/Yb apresentam um discreto fracionamento de ETR pesados, indicando ausência de anfibólio e granada no resíduo da fusão, sobretudo durante a geração do magma formador das rochas pertencentes ao grupo de BAIXA Gd/Yb. Similarmente ao que se observa para o grupo ALTA La/Yb, o plagioclásio também foi intensamente fracionado durante a geração dessas rochas, sendo que naquelas do grupo de BAIXA La/Yb, este processo foi mais marcante, resultando nas suas anomalias negativas de Eu extremamente acentuadas.

Outras diferenças marcantes podem ainda ser observadas dentre estes grupos. Aqueles que possuem altas razões La/Yb são mais enriquecidos em Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, FeO<sub>t</sub>, Ba, Sr, Hf, Zr e nas razões Sr/Y e Gd/Yb, enquanto que as rochas com moderadas a baixas razões La/Yb ou Gd/Yb, apresentam valores mais elevados de Rb, Y e Nb, assim como das razões Rb/Sr e FeO<sub>t</sub>/(FeO<sub>t</sub>+MgO). O baixo conteúdo de minerais acessórios, como allanita e zircão, reflete-se diretamente no comportamento dos elementos traços das rochas com baixas razões La/Yb (Rollinson 1993). A grande dispersão das amostras em diagramas de variação, em especial aquelas dos grupos de BAIXA Gd/Yb e BAIXO  $\Sigma$ ETR em relação ao Na<sub>2</sub>O, pode ser devida à atuação de processos de escapolitização e albitização dessas amostras (metassomatismo sódico).

Os grupos geoquímicos distinguidos para o GBS se assemelham sob diversos aspectos aos diferentes corpos de biotita granito mesoarqueanos da região de Canaã dos Carajás identificados por Feio & Dall'Agnol (2012). Aqueles de ALTA e BAIXA La/Yb possuem maior afinidade com as variedades distinguidas no Granito Cruzadão, enquanto que o grupo BAIXO  $\Sigma$ ETR se aproxima das rochas dos granitos Bom Jesus e Canaã dos Carajás, e o BAIXA Gd/Yb, daquelas formadoras do Granito Serra Dourada. Dentre as rochas do Domínio Rio Maria, o GBS possui maior afinidade geoquímica com o leucogranitos potássicos, sendo claramente distinguidos daqueles de alto Ba-Sr, por possuírem caráter mais evoluído (alto K e Rb). Apresenta ainda similaridades geoquímicas com os biotita granitos do Cráton Dharwar (Jayananda et al. 2006) e com os granitos de baixo-Ca do Cráton Yilgarn (Champion & Sheraton 1997), bem como com os subgrupos CA2 (ALTA La/Yb e BAIXO  $\Sigma$ ETR) e CA1 (BAIXA Gd/Yb e BAIXA La/Yb) de granitos cálcico-alcálicos de Sylvester (1994) e dos tipo-I peraluminosos do Lachlan Fold Belt de Chappell *et al.* (2012).

A idade aqui considerada como mínima de cristalização (2857±2 Ma), se aproxima daquelas obtidas para os leucogranitos potássicos de afinidade cálcico-alcálica do Domínio Rio Maria, exemplificados pelos granitos Xinguara e Mata Surrão, de ~2,87 Ga (Tabela 2.1). Na região de Canaã dos Carajás, esta é similar às idades obtidas para os granitos Cruzadão (2857±8 Ma) e Serra Dourada (2860±22 Ma), sendo também comum a presença de cristais herdados com idades superiores a 3,0 Ga nos granitos Cruzadão, Bom Jesus e Canaã dos Carajás. Este último mostra ainda idades interpretadas como sendo de cristalização (2928±1 e 2959±6 Ma), similares àquelas consideradas como híbridas (núcleos herdados + bordas de cristais) para o GBS (~2,92 Ga e 2964±42 Ma, Tabela 1).

De acordo com os dados geocronológicos apresentados, a formação do GBS se deu no Mesoarqueano – há pelo menos 2857±2 Ma, ligada a diferentes processos de fusão de

protólitos crustais (evolução policíclica), como sugerido pelos sobrecrecimentos em cristais de zircão e pelos diferentes patamares de idades apresentadas (até ~3,00 Ga). A correlação dos diferentes grupos geoquímicos do GBS e de seus dados geocronológicos com os corpos graníticos discutidos acima sugere que toda a região localizada desde as proximidades da cidade de Canaã dos Carajás até o norte-nordeste do município de Água Azul do norte (Figura 2.1) tenha passado por processos similares durante a evolução mesoarqueana do Domínio Carajás.

## REFERÊNCIAS

- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B. 1976. The Upper Precambrian of South America. *Bol. IG/USP*. **7**:45-80.
- Almeida F. F. M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1981. Brazilian Structural Provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, **17**: 1-29.
- 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.C., Oliveira M.A., Dall’Agnol R., Althoff F.J., Borges R.M.K. 2008. Geologia da Folha Marajoara (SB-22-ZC V) - Programa Geobrasil. Belém, CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 147p. (Relatório técnico).
- Almeida J.A.C., Dall’Agnol R., Oliveira M.A., Macambira M.J.B., Pimentel M.M., Rämö O.T., Guimarães F.V., Leite A.A.S. 2011. Zircon geochronology and geochemistry of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for the growth of the Archean crust of Carajás Province, Brazil. *Precambrian Research*. **187**:201-221.
- Almeida J.A.C., Dall’Agnol R., Leite A.A.S. 2013. Geochemistry and zircon geochronology of the Archean granite suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane, Carajás Province, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. **42**: 103-126.
- Althoff F.J., Barbey P., Boullier A.M. 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**:187-206.
- 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.I.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: Simpósio de Geologia da Amazônia, 4, Belém. *Boletim de Resumos Expandidos...* SBG p. 299-301.
- Araújo O.J.B., Maia R.G.N., 1991. Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil, Serra dos Carajás, folha SB-22-Z-A, Estado do Pará. Texto explicativo, Brasília, DNPM/CPRM. 164p.
- Araújo O.J.B., Maia R.G.N., Jorge João X.S., Costa J.B.S. 1988. A megaestrutura arqueana da Folha Serra dos Carajás. In: Congresso Latino-Americano de Geologia, 7. Belém. Anais, Belém: SBG, p.324-338.
- Avelar V.G. 1996. Geocronologia 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. CG. 199 p. (Dissertação de Mestrado).
- Avelar V.G., Lafon J.M., Correia JR. 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 J.P.O. 2004. Geologia Estrutural, Geoquímica, Petrografia e Geocronologia de granitóides da região do Igarapé Gelado, norte da Província Mineral de Carajás. Universidade Federal do Pará, 96p. (Dissertação de Mestrado).

- Barros C.E.M., Barbey P., Boullier A.M. 2001. Role of magma pressure, tectonic stress and crystallization progress in the emplacement of the syntectonic A-type Estrela Granite Complex (Carajás Mineral Province, Brazil). *Tectonophysics*. **343**: 93-109.
- Barros C.E.M., Sardinha A.S., Barbosa J.P.O., Macambira M.J.B. 2009. Structure, Petrology, Geochemistry and zircon U/Pb and Pb/Pb geochronology of the synkinematic Archean (2.7 Ga) A-type granites from the Carajás Metallogenic Province, northern Brazil, *Canadian Mineralogist* **47**: 1423-1440.
- Barros C.E.M., Nascimento V.M., Medeiros Filho C.A. 2010. Revisão da Estratigrafia das Rochas da Serra Leste, Província Mineral de Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*. **40**(2):167-174.
- Buhn B., Pimentel M.M., Matteini M., Dantas E.L. 2009. High spatial resolution analysis of Pb and U isotopes for geochronology by laser ablation multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-MC-ICP-MS). *Anais Acad. Brasil. Ciências*. **81**(1): 1-16.
- Cordani U.G., Sato K. 1999. Crustal evolution of the South America Platform, based on Nd isotopic systematics on granitoids rocks. *Episodes*. **22**(3): 167-173.
- Cordani U.G., Teixeira W., Tassinari C.C.G., Kawashita K., Sato K. 1988. The growth of the Brazilian Shield. *Episodes*. **11**(3): 163-167.
- 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* **7**: 199-235.
- Dall'Agnol R., Lafon J.M., Fraga L.M., Scandolaro 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. (CDROM).
- 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 Metallogenic 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, 99-150.*
- Dall'Agnol R., Teixeira N.P., Bettencourt J.S., Rämö O.T., Macambira M.J.B. 1999. Contrasts Between Paleoproterozoic, A- type granites of the Archean Carajas Province, southeastern Amazonian craton, Brazil: metallogenic and petrogenetic implications. *In: Hutton Symposium, 4. Clermont-Ferrand, BRGM. The origin of granites and related rocks: abstracts. Clermont-Ferrand, BRGM. p. 141.*
- Debon F., Le Fort P. 1988. A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations: principles, method, application. *Bull. Mineral.* **111**: 493-510.
- Dias S.B. 2009. Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica de granitos Arqueanos da Folha Marajoara, terreno granito-greenstone de Rio Maria, sudeste do Pará. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 129 p.
- DOCEGEO 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Província Mineral de Carajás-Litoestratigrafia e principais depósitos minerais, Anexo aos anais, CVRD, Belém, p.11-59.*
- Duarte K.D. 1992. Mapeamento e petrologia do granito Mata Surrão: um exemplo de granito "stricto sensu" arqueano. Belém. Universidade Federal do Pará. 217p. (Tese 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, SBG, Anais...* p. 7-20.

- Feio G.R.L., Dall'Agnol R., 2012. Geochemistry and petrogenesis of the granites from the Canaã dos Carajás area, Carajás province, Brazil: implications for the origin of Archean granites. *Lithos*, **154**: 33-52.
- Feio G.R.L., Dall'Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.J.B., Santos J.O.S., Althoff F.J., Soares J.E.B. 2013. Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: Implications for crustal evolution of the Carajás province, Amazonian craton, Brazil. *Precambrian Research*, **227**: 157-185.
- Gabriel E.O., D.C. Oliveira M.A. Galarza. 2010. Geologia, petrografia e geocronologia de granitóides do Complexo Xingu da região nordeste de Água Azul do Norte-PA, Província Mineral de Carajás. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 45. Anais. CDRROM.
- Gabriel E.O. 2012. Geologia, geoquímica e petrologia magnética dos granitoides Arqueanos da Porção Nordeste de Água Azul do Norte – Província Carajás. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 117p.
- Gaudette H.E., Lafon J.M., Macambira M.J.B., Moura C.A.V., Scheller T. 1998. Comparison of single filament Pb evaporation/ionization zircon ages with conventional U-Pb results: examples from the Precambrian of Brazil. *J. South. Amer. Earth Sci.*, **11**: 351-363.
- Gomes A.C.B. 2003. Geologia, petrografia e geoquímica dos granitoides de Canaã dos Carajás, SE do Estado do Pará. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 160p.
- Gomes A.C.B., Dall'Agnol R., Oliveira M.A. 2004. Granitos arqueanos cálcico-alcalinos e do tipo-A da região a leste de Canaã dos Carajás. In: Congresso Brasileiro Geologia, 42, Araxá. Anais... Araxá: SBG/NSE (CD-ROM).
- Guimarães F.V. 2009. Geologia, Petrografia e Geoquímica do Thondhjemito Mogno e rochas arqueanas associadas, terreno Granito-Greestone de Rio Maria – SE do Pará. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 102p.
- Hanson N.G. 1978. Rare earth elements in petrogenetic studies of igneous systems. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **38**: 26-43.
- Henderson P. 1984. Rare Earth Element Geochemistry. *Elsevier*. Amsterdam. 510 pp.
- Hirata W.K., Rigon J.C., Kadekaru K., Cordeiro A.A.C., Meireles E.M. 1982. Geologia regional da Província Mineral de Carajás. In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, 1, Anais, Belém, 1: 100-110.
- Huhn S.B., Macambira, M.J.B., Dall'Agnol, R. 1999. Geologia e geocronologia Pb/Pb do granito alcalino arqueano Planalto, região da Serra do Rabo, Carajás-PA. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, **6**: 463-466.
- 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: SBG, Congr. Bras.Geol. 35. Belém. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia. Belém, SBG. 3: 1438-1453.
- Jorge João X.S. & Araújo J.B., 1992. Magmatismo granítico sin-cisalhamento Itacaiúnas no SW do Estado do Pará. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 37, Resumos expandidos, São Paulo, **2**: 36-38.
- Kober B. 1986. Whole-grain evaporation for  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -age-investigations on single zircons using a double-filament thermal ion source. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **93**: 482-490.
- 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. *Chemical Geology*, **29**: 183-210.



- 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). p. 642- 649.
- 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. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 209p.
- Leite A.S.S. 2001. Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitóides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico. Tese de Doutorado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 330p.
- 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.
- Lima F.D. & Pinheiro R.V.L., 2001. Formação Gorotire: Consideração sobre uma unidade siliciclástica particular da Serra dos Carajás-PA. *In: Reis, N.J & Monteiro, M.A.S. Contribuição à Geologia da Amazônia. SBG, Núcleo Norte, Manaus, v.2, p.205-229.*
- 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*, **7**: 263-287.
- Macambira M.J.B. & Lancelot J. 1992. Idade U-Pb em zircões de metavulcânica do *greenstone* do Supergrupo Andorinhas, delimitante da estratigrafia de Carajás, Estado do Pará. *In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo. Resumos Expandidos... São Paulo: SBG. v.2, p. 188-189.*
- Machado N., Lindenmayer Z.G., Krogh T.E., Lindenmayer D. 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research*, **49**: 329-354.
- Medeiros Filho C.A., Meirelles E.M. 1985. Dados preliminares sobre a ocorrência de cromita na área Luanga. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2., Belém. Anais... Belém: SBG-Núcleo Norte, v. 3, p. 90-96.*
- Moreto C.P.N., Monteiro L.V.S. Xavier R.P., Amaral W.S., Santos T.J.S., Juliani C., Souza Filho C.R. 2011. Mesoarchean (3.0 and 2.86 Ga) host rocks of the iron oxide–Cu–Au Bacaba deposit, Carajás Mineral Province: U–Pb geochronology and metallogenetic implications. *Mineralium Deposita*, **46**:789–811.
- Nascimento F.G.C. 2006. Petrologia magnética das associações magmáticas arqueanas da Região de Canaã dos Carajás – PA. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 177p.
- Nogueira A.C.R., Truckenbrodt W., Pinheiro R.V.L. 1995. Formação Águas Claras, Pré-Cambriano da Serra dos Carajás: redescrição e redefinição litoestratigráfica. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, **7**: 177-277.
- Oliveira D.C., Macambira M.J.B., Santos P.J.L., Gabriel E.O., Rodrigues D.S., Silva A.C., Silva M.L.T., Sousa S.D., Santos R.D., Galarza M.A.T. 2011. Archean Granitoids of the Transition Domain – Carajás Province (Brazil): Geological, Geochemical and Geochronological Aspects, *In: Colloquium African Geology, 23, Abstract Volume, Johannesburg: University of Johannesburg, v.1. p.320-320.*
- Oliveira M.A. 2003. Caracterização petrográfica, estudo de susceptibilidade magnética e natureza dos minerais óxidos de Fe e Ti do Granito Planalto, Serra dos Carajás-PA. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 47p.

- Oliveira M.A. 2009. Petrogênese e evolução magmática da suíte Sanukitóide Rio Maria, terreno granito-greenstone de Rio Maria, Cráton Amazônico. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 160p.
- Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, **25** (4): 956-983.
- Pidgeon R.T., Macambira M.J.B., Lafon J.M. 2000. Th-U-Pb isotopic systems and internal structures of complex zircons from an enderbite from the Pium Complex, Carajás Province, Brazil: evidence for the ages of granulites facies metamorphism and the protolith of the enderbite. *Chemical Geology*, **166**:159-171.
- Pimentel M.M. & Machado N. 1994. Geocronologia U-Pb dos terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. In: CONGR. BRAS. GEOL., 38., São Paulo. *Boletim de Resumos Expandidos*, Camboriú, SBG, **1**: 390-391.
- Pinheiro R.V. & Holdsworth R.E. 2000. Evolução tectonoestratigráfica dos sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento, Cinturão Itacaiúnas, na borda leste do Craton Amazônico, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**: 597-606.
- Ragland P.C. 1989. Basic Analytical Petrology. Oxford University Press, Oxford. 369p.
- Ricci P.S.F., Carvalho M.A. 2006. Rocks of the Pium-Area, Carajás Block, Brazil – A Deep seated High-T Gabbroic Pluton (Charnockitoid-Like) with Xenoliths of Enderbitic Gneisses Dated at 3002 Ma – The Basement Problem Revisited. In: Simpósio de Geologia da Amazônia 8, CDroom.
- Rodrigues D.S. 2011. Petrografia, Geoquímica e Geocronologia do Granito Boa Sorte, Município de Água Azul do Norte – Província Carajás. Trabalho de Conclusão do Curso, FAGEO de Marabá, Universidade Federal do Pará, Marabá, 88p.
- Rolando A.P. & Macambira M.J.B. 2003. Archean crust formation in Inajá range area, SSE of Amazonian Craton, Brazil, based on zircon ages and Nd isotopes. In: South American Symposium on Isotope Geology, 4, Salvador. Expanded Abstracts. Salvador: CD-ROM.
- Rollinson H.R. 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. New York, Longman, 352 p.
- Santos J.S.O., Hartmann L.A., Faria M.S., Riker S.R., Souza M.M., Almeida M.E., McNaughton N.J. 2006. A compartimentação do Cráton Amazonas em províncias: avanços ocorridos no período 2000–2006. In: Simpósio de geologia da Amazônia, vol. 9. Belém. *Resumos Expandidos*, Belém, SBG (CD-ROM).
- Santos J.O.S., Hartmann L.A., Gaudette H.E., Groves D.I., McNaughton N.J., Fletcher I.R. 2000. A new understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on integration of field and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, **3**: 453-488.
- Santos P.A., Feio G.R.L., Dall’Agnol R., Costi H.T., Lamarão C.N., Galarza M.A. 2013. Petrography, magnetic susceptibility and geochemistry of the Rio Branco Granite, Carajás Province, southeast of Pará, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **43**(1): 2–15.
- Santos R.D. 2012. Geologia, geoquímica e geocronologia do diopsídio-norito Pium, Canaã dos Carajás, Província Carajás. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 82p.
- Sardinha A.S. 2002. Geologia, geoquímica e geocronologia do Granito Serra do Rabo, Província Mineral de Carajás. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 118p.

- Sardinha A.S. 2005. Geocronologia das séries magmáticas e evolução crustal da região de Canaã dos Carajás, Província Mineral de Carajás-PA. Exame de Qualificação (Tese de Doutorado), Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Sardinha A.S., Dall'Agnol R., Gomes A.C.B., Macambira M.J.B., Galarza M.A. 2004. Geocronologia Pb-Pb e U-Pb em zircão de granitóides arqueanos da região de Canaã dos Carajás, Província Mineral de Carajás. *In*: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 42, CDrom.
- Sato K., Tassinari C.C.G. 1997. Principais eventos de acreção continental no Cráton Amazônico, baseados em idade modelo Sm-Nd, calculada em evoluções de estágio único e estágio duplo. *In*: Costa M.L.; Angélica R.S. (Coord.). Contribuições à geologia da Amazônia. Belém: SBG, v. 1:91-142.
- Shand S.J. 1950. Eruptive rocks their genesis, composition, classification and their relation to ore deposit. 4th ed., London, 488p.
- Silva M.L.T. 2009. Geologia, petrografia e geocronologia do magmatismo de alto K da região de Vila Jussara, NE do município de água Azul do Norte - Província Mineral de Carajás. Trabalho de Conclusão do Curso, FAGEO de Marabá, Universidade Federal do Pará, Marabá, 103p.
- Silva A.C. 2013. Geologia, petrografia e geoquímica dos granitóides arqueanos da área de Vila Jussara, Província Carajás. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 113p.
- Silva G.C., Lima M.I.C., Andrade A.R.F., Issler R.S., Guimarães G. 1974. Geologia das folhas SB-22 Araguaia e parte da SC-22 Tocantins. Belém, DNPM, v.4, p.1-143.
- Soares J.E.B. 2002. Geologia, Petrografia, Geoquímica das rochas granitóides Arqueanas da Região de Serra Dourada, Canaã dos Carajás-PA. Exame de Qualificação (Tese de Doutorado), Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 47p
- Souza M.C. 2009. Geologia, petrografia e geocronologia do magmatismo de alto K da região de Velha Canadá, NE do município de Água Azul do Norte - Província Mineral de Carajás. Trabalho de Conclusão do Curso, FAGEO de Marabá, Universidade Federal do Pará, Marabá, 120p.
- 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. Tese de Doutorado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Souza Z.S., Dall'Agnol R., Althoff F.J., Leite A.A.S., Barros C.E.M. 1996. Carajás mineral province: geological, geochronological and tectonic constrasts on the Archean evolution of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrain and the Carajás block. *In*: SYMPOSIUM ON ARCHEAN TERRANES OF SOUTH AMERICA PLATFORM, Brasília, *Extended abstracts...* SBG. p. 31-32.
- Souza Z.S., Potrel H., Lafon J.M., Althoff F.J., Pimentel M.M., Dall'Agnol R., Oliveira C.G. 2001. Nd, Pb and Sr isotopes of the Identidade Belt, an Archaean greenstone belt of the Rio Maria region (Carajas Province, Brazil): Implications for the Archaean geodynamic evolution of the Amazonian Craton. *Precambrian Research*, **109**:293–315.
- Stacey J.S., Kramers J.D. 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth Planet. Sci. Lett*, **26**: 207–221.
- Streckeisen A.L. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Review*, **12**: 1-33.
- Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 1999. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, **22**:174-182.

- Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 2004. Evolução tectônica do Cráton Amazônico. *In*: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C. D. R., Brito Neves B. B. de. (Org.). Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de F.F.M. de Almeida. São Paulo, pp. 471–485.
- Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T., 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. 2008. 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, 328p.
- Whalen J.B., Currie K.L., Chappell B.W. 1987. A-types granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petrol.* **95**: 407–419.