



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

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 411**

**GEOLOGIA, PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E  
SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA DO GRANITO  
PALEOPROTEROZÓICO SÃO JOÃO, SUDESTE DO CRÁTON  
AMAZÔNICO, PROVÍNCIA CARAJÁS**

**Dissertação apresentada por:**

**PAULO HENRIQUE ARAÚJO LIMA**  
**Orientador: Prof. Cláudio Nery Lamarão (UFPA)**

---

**BELÉM-PA  
2013**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFPA

---

L732g Lima, Paulo Henrique Araújo

Geologia, petrografia e geoquímica e suscetibilidade magnética do Granito Paleoproterozoico São João, Sudeste do Cráton Amazônico, Província Carajás / Paulo Henrique Araújo Lima; Orientador: Claudio Nery Lamarão – 2013  
xii, 74 f.: il.

Dissertação (Mestrado em geoquímica e petrologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2013.

1. Geologia estratigráfica – Proterozóico. 2. Cráton Amazônico. 3. Granito - Pará. 4. Suscetibilidade magnética. 5. Geoquímica – Pará. I. Lamarão, Claudio Nery, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22<sup>a</sup> ed.: 551.715098115

---



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

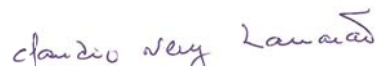
**GEOLOGIA, PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E  
SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA DO GRANITO  
PALEOPROTEROZÓICO SÃO JOÃO, SUDESTE DO  
CRÁTON AMAZÔNICO, PROVÍNCIA CARAJÁS**

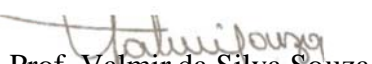
**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR  
PAULO HENRIQUE ARAÚJO LIMA**

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

**Data de Aprovação: 04 / 06 / 2013**

**Banca Examinadora:**

  
Prof. Cláudio Nery Lamarão  
(Orientador-UFPA)

  
Prof. Valmir da Silva Souza  
(Membro-UnB)

  
Prof. José de Arimatéia Costa de Almeida  
(Membro-UFPA)

A Ivete,  
porque uma boa mãe vale  
por cem professores.

## AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento desta dissertação contou com inúmeras colaborações, as quais não podem e nem devem deixar de ser enfatizadas. Por essa razão, o autor deseja expressar os seus sinceros agradecimentos:

- À Deus;
- Aos meus pais e irmãos por todo o amor, confiança e dedicação investidos a mim ao longo de todos esses anos;
- Aos meus avós, por sempre acreditarem que eu seria capaz de alcançar todos os meus objetivos;
- À minha tia Ivanete, por todo amor, incentivo e dedicação;
- Aos membros demais da minha família que sempre torceram por mim, mesmo estando longe;
- À Marcey, por todo amor, carinho, amizade e felicidade que trouxe para a minha vida;
- À CAPES pela concessão da bolsa de estudo durante o decorrer desta pesquisa;
- Ao INCT de Geociências da Amazônia (GEOCIAM), pelo apoio financeiro ao desenvolvimento deste trabalho;
- Ao Prof. Claudio Nery Lamarão pela orientação, dedicação e paciência prestada durante todas as fases deste trabalho;
- Ao grupo de professores e funcionários do Instituto de Geociências;
- Aos amigos geólogos Antônio Paiva Jr., Francisco Jr. (Latino), Jardel Mesquita, Max de Jesus e Joseanna Santos pelo auxílio prestado durante as etapas de campo;
- Aos amigos da sala de estudo 4, pela amizade, momentos de descontração, força e apoio durante todo o desenvolvimento desta pesquisa;
- A doutoranda Fabriciana Guimarães, assim como os demais amigos do GPPG (Patrick, Mayara, Daniel, Bhrenno, Chrystopher, Eleilson e Alice) pelas importantes sugestões e contribuições a este trabalho, bem como pelos momentos de descontrações;
- A todos os amigos de curso da turma de 2006, que ingressaram comigo na graduação. Em especial aos grandes companheiros Camila Alves, Cesar Cardoso, Cleber Rabelo, Débora Aguiar, Érika Lobato, Francisco Jr. (Latino), Hudson Santos, Ignácio Neto, Jardel Mesquita, Leonardo Aquino (Ciclope), Lucios Campos, Max de Jesus, Rafael Marques, Raquel Nogueira, Renan Feitosa, Rudson Negrão (Didi) e Verena Torres, pelos quais tenho grande amizade e consideração que levarei comigo pelo resto da vida.

Todos estamos matriculados  
na escola da vida, onde  
o mestre é o tempo.

Cora Coralina

## RESUMO

O Granito São João (GSJ) é um batólito anorogênico de formato circular, com aproximadamente 160 km<sup>2</sup> de área, que secciona unidades arqueanas pertencentes ao Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, sudeste do Cráton Amazônico. É constituído predominantemente por quatro fácies petrográficas distintas: biotita-anfibólio monzogranito (BAMG), biotita-anfibólio sienogranito (BASG), anfibólio-biotita monzogranito a sienogranito (ABMSG) e biotita monzogranito a sienogranito (BMSG). O GSJ possui natureza metaluminosa a fracamente peraluminosa, razões FeOt/(FeOt+MgO) entre 0,94 e 0,99 e K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O entre 1 e 2, mostra afinidades geoquímicas com granitos intraplaca do tipo A, subtipo A<sub>2</sub> e granitos ferrosos, sugerindo uma fonte crustal para sua origem. O GSJ possui conteúdos de ETRL mais elevados que os ETRP e um padrão sub-horizontalizado para esses últimos, além de anomalias negativas de Eu crescentes no sentido das rochas menos evoluídas para as mais evoluídas (BAMG → BASG → ABMSG → BMSG). Os dados de suscetibilidade magnética (SM) permitiram identificar seis populações com diferentes características magnéticas, onde os valores mais elevados de SM relacionam-se às fácies menos evoluídas e os mais baixos às mais evoluídas. O estudo comparativo entre o GSJ e as suítes graníticas da Província Carajás mostra que ele apresenta maiores semelhanças geológicas, petrográficas, geoquímicas e de SM com os granitos que formam a Suíte Serra dos Carajás, podendo ser enquadrado na mesma.

**Palavras-chave:** Paleoproterozóico, Cráton Amazônico, Granito São João, Suscetibilidade magnética, Granito tipo-A.

## ABSTRACT

The São João granite (SJG) is an anorogenic batholith of circular form, with an area of approximately 160 km<sup>2</sup>, which cuts Archean units of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrain, southeastern Amazonian Craton. It consists of four distinct petrographic facies: biotite-amphibole monzogranite (BAMG), biotite-amphibole syenogranite (BASG), amphibole-biotite monzogranite to syenogranite (ABMSG) and biotite monzogranite to syenogranite (BMSG). The SJG has a metaluminous to weakly peraluminous nature, FeO<sub>t</sub>/(FeO<sub>t</sub>+MgO) ratios varying from 0.94 to 0.99 and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O from 1 to 2, shows geochemical affinities with the intraplate granites, A-type granites of A2 subtype and ferrous granites, suggesting a crustal source for its origin. The SJG has higher contents of LREE compared to HREE and a sub-horizontal pattern for the latter. The negative anomalies of Eu rising from less evolved towards more evolved rocks (BAMG→ BASG→ ABMSG→ BMSG). Magnetic susceptibility data (MS) allowed the identification of six populations with different magnetic characteristics, where the highest values of MS relate to the less evolved facies and the lowest to the more evolved facies. The comparison between SJG and the granite suites of the Carajás Province shows that it displays strong geological, petrographic, geochemical and MS similarities with the granites of the Serra dos Carajás suite, and may be preliminarily included in the same.

**Keywords:** Paleoproterozoic, Amazonian Craton, São João Granite, Magnetic susceptibility, A-type granite.



## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

Figura 1	Mapa de localização e acesso a área de estudo (Granito São João) .....	2
Figura 2	Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico .....	5
Figura 3	Mapa geológico simplificado da Província Carajás .....	7
Figura 4	Mapa de localização das amostras na área do Granito São João .....	13

### CAPÍTULO 2

Figura 1	Mapa geológico simplificado da Província Carajás .....	27
Figura 2	Mapa de localização e acesso a área de estudo (Granito São João) .....	29
Figura 3	Mapa geológico do Granito São João .....	30
Figura 4	Diagramas modais para as fácies do Granito São João .....	32
Figura 5	Fotomicrografias das diversas fácies do Granito São João .....	34
Figura 6	Diagramas de Harker para os elementos maiores e menores .....	36
Figura 7	Diagramas geoquímicos para as diversas fácies do Granito São João .....	37
Figura 8	Diagramas de Harker para os elementos traço .....	38
Figura 9	Média dos padrões de distribuição dos ETR .....	40
Figura 10	Diagramas de elementos traço das rochas do Granito São João .....	42
Figura 11	Diagrama Y-Nb-Zr/4 de Eby (1992) .....	42
Figura 12	Diagramas discriminantes de granitos Tipo A e Cálculo-alcálicos .....	43
Figura 13	Gráficos de SM do Granito São João .....	48
Figura 14	Gráficos de relação entre valores de SM e dados geoquímicos .....	49
Figura 15	Diagramas geoquímicos de comparação entre o Granito São João e as suítes graníticas da Província Carajás .....	53
Figura 16	Polígono de frequência comparativo .....	53
Figura 17	Diagrama comparativo dos padrões de distribuição dos ETR .....	54

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

Tabela 1	Principais dados geocronológicos das rochas do Terreno Granito- <i>Greenstone</i> de Rio Maria .....	10
----------	--	----

### CAPÍTULO 2

Tabela 1	Composições modais médias das diferentes fácies do Granito São João .....	31
Tabela 2	Análises químicas para as diversas fácies do Granito São João .....	44
Tabela 3	Dados de SM do Granito São João .....	50

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA .....</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>v</b>
<b>EPÍGRAFE .....</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>ix</b>

## CAPÍTULO 1

<b>1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 - APRESENTAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA .....	1
1.2 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL .....	4
<b>1.2.1 - Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico.....</b>	<b>4</b>
1.2.1.1 - Província Amazônia Central.....	4
<b>1.2.2 - Terreno Granito-<i>Greenstone</i> de Rio Maria.....</b>	<b>6</b>
1.2.2.1 - Granitos Anorogênicos do TGGRM.....	9
1.3 - JUSTIFICATIVA.....	11
1.4 - OBJETIVOS.....	11
1.5 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
<b>1.5.1 - Pesquisa Bibliográfica.....</b>	<b>12</b>
<b>1.5.2 - Mapeamento Geológico.....</b>	<b>12</b>
<b>1.5.3 - Petrografia.....</b>	<b>12</b>
<b>1.5.4 - Geoquímica.....</b>	<b>13</b>
<b>1.5.5 - Suscetibilidade Magnética (SM).....</b>	<b>14</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>15</b>

## CAPÍTULO 2

<b>GEOLOGIA, PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA DO GRANITO PALEOPROTEROZÓICO SÃO JOÃO, SUDESTE DO CRÁTON AMAZÔNICO, PROVÍNCIA CARAJÁS .....</b>	24
<b>RESUMO .....</b>	24
<b>ABSTRACT .....</b>	25
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	25
<b>CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL .....</b>	26
<b>GEOLOGIA DO GRANITO SÃO JOÃO .....</b>	28
<b>PETROGRAFIA .....</b>	30
<b>Composição modal e classificação .....</b>	30
<b>Aspectos Texturais .....</b>	32
<b>GEOQUÍMICA .....</b>	35
<b>Elementos Maiores e Menores .....</b>	35
<b>Elementos Traço .....</b>	38
COMPORTAMENTO DE Rb, Sr E Ba .....	38
COMPORTAMENTO DE Zr, Y E Nb .....	39
COMPORTAMENTO DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS .....	39
<b>TIPOLOGIA E AMBIENTE TECTÔNICO .....</b>	40
<b>SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA .....</b>	46
<b>Relação entre SM e fácies petrográficas do GSJ .....</b>	46
<b>Relação entre SM e composições químicas .....</b>	47
<b>DISCUSSÃO .....</b>	51
<b>O Granito São João e as suítes graníticas da Província Carajás.....</b>	51
<b>Granito São João versus Granito Seringa .....</b>	54
<b>CONCLUSÕES .....</b>	55
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	56

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>56</b>
--------------------------	-----------

### **CAPÍTULO 3**

<b>3- CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>61</b>
--	-----------

<b>1-CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>61</b>
--	-----------

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>64</b>
--------------------------	-----------

### **ANEXOS**

<b>ANEXO A- Fotografias .....</b>	<b>65</b>
-----------------------------------	-----------

<b>ANEXO B- Coordenadas dos pontos estudados .....</b>	<b>66</b>
--	-----------

<b>ANEXO C- Composições modais das diferentes fácies do Granito São João .....</b>	<b>70</b>
--	-----------

<b>ANEXO D- Comprovante de submissão do artigo científico .....</b>	<b>74</b>
---	-----------

---

## CAPÍTULO 1

---

### 1 - INTRODUÇÃO

#### 1.1 – APRESENTAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

Durante o Paleoproterozóico o Cráton Amazônico foi palco de significativo magmatismo granítico anorogênico (Dall’Agnol *et al.* 1994). Na Província Carajás (PC) este evento foi marcado pela geração de três grandes suítes graníticas tipo-A, denominadas Jamon, Velho Guilherme e Serra dos Carajás (Dall’Agnol *et al.* 2005).

Localizada nos domínios do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM), a Suíte Jamon foi descrita por Dall’Agnol *et al.* (2005) como formada pelos plutons graníticos Jamon, Musa, Redenção, Bannach, Marajoara, Manda Saia, Gradaús, Seringa e São João. Embora os corpos Seringa e São João tenham sido incluídos preliminarmente na Suíte Jamon, levando em consideração principalmente sua ocorrência nos domínios do TGGRM, estudos posteriores mostram que esses granitos possuem maiores afinidades com as rochas da Suíte Serra dos Carajás (Paiva Jr. 2009, Lima 2011), tanto em termos petrográficos e geocronológicos quanto geoquímicos, no caso do Granito Seringa.

O Granito São João (GSJ) é um batólito anorogênico com aproximadamente 160 km<sup>2</sup> de área que secciona unidades TTG arqueanas do TGGRM (Oliveira 2001, Oliveira *et al.* 2002, Dall’Agnol *et al.* 2005, Dall’Agnol & Oliveira 2007). Está localizado entre as cidades de Água Azul do Norte e Bannach, sudeste do Estado do Pará, porção NW da folha Xinguará (SB.22-Z-C). A área do presente estudo se enquadra entre os paralelos 7°00’59” e 7°09’42”S e os meridianos 50°29’35” e 50°38’19”W (Figura 1).

O acesso à área de ocorrência do GSJ pode ser feito por via terrestre ou aérea até a cidade de Marabá, seguindo desta pela BR-155 (antiga PA-150) até a cidade de Xinguará, de onde se segue pela PA-279 até a cidade de Água Azul do Norte. O acesso ao corpo é feito através de estradas vicinais, razoavelmente trafegáveis, que conduzem a pequenos povoados, vilarejos e sedes de fazendas que ficam nas proximidades de encostas e afloramentos do granito.

Diferentemente de outros corpos que compõem as suítes graníticas Jamon, Velho Guilherme e Serra dos Carajás (Dall’Agnol *et al.* 2005), o GSJ não dispõe de estudos geoquímicos e de susceptibilidade magnética, o que dificulta sua correlação com corpos graníticos das suítes mencionadas acima. Os poucos estudos existentes sobre o GSJ não permitem definir sua tipologia e assinatura geoquímica, além de pouco contribuir para o conhecimento dos processos responsáveis por sua evolução magmática.

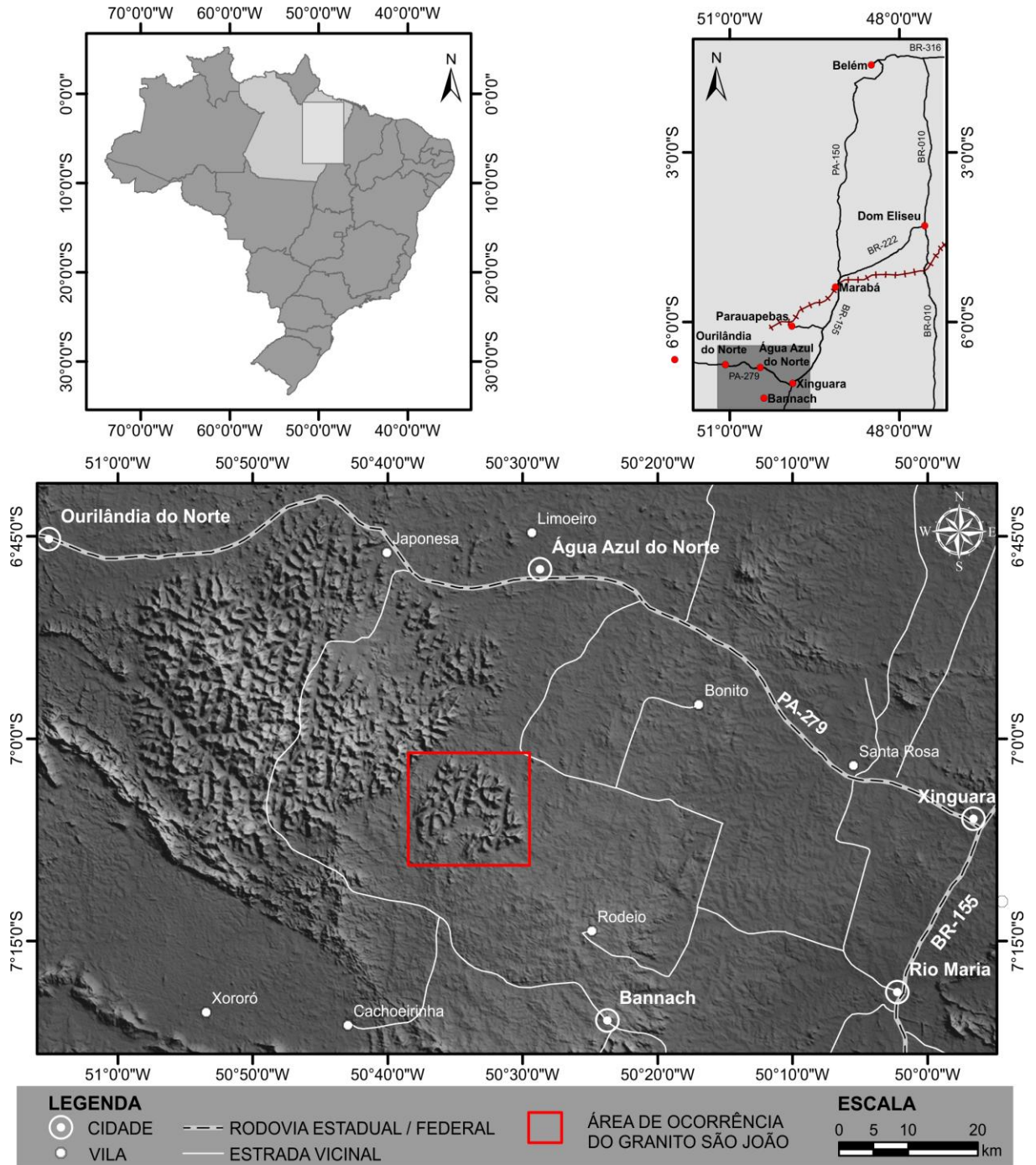


Figura 1 - Imagem SRTM mostrando localização e acesso ao Granito São João. À esquerda, batólito do Granito Seringa.

Com o objetivo de contribuir com o avanço do conhecimento do GSJ foi realizado um estudo, vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG) da Universidade Federal do Pará, que resultou na presente dissertação de mestrado, a qual foi estruturada na forma integrada de um artigo científico de acordo com as normas gerais definidas pela Comissão da Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará. O presente estudo aborda a geologia, petrografia, geoquímica e

suscetibilidade magnética do referido corpo, do qual se dispõem somente de levantamentos cartográficos e petrográficos preliminares acompanhados de uma datação geocronológica (Lima 2011).

A dissertação é composta de um capítulo introdutório (Capítulo 1), onde é abordado o contexto geológico regional, destacando-se os principais aspectos geológicos e geocronológicos da Província Carajás e a caracterização do magmatismo anorogênico paleoproterozóico. Neste capítulo também são definidos a problemática, os objetivos da pesquisa, e os procedimentos metodológicos. Os resultados obtidos são apresentados e discutidos na forma de um artigo científico (Capítulo 2) intitulado **“GEOLOGIA, PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA DO GRANITO PALEOPROTEROZÓICO SÃO JOÃO, SUDESTE DO CRÁTON AMAZÔNICO, PROVÍNCIA CARAJÁS”**, submetido ao Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências Naturais. O artigo apresenta dados de campo, petrográficos, geoquímicos e de suscetibilidade magnética (SM), bem como discute as relações entre as variedades faciológicas e os processos envolvidos na evolução magmática do GSJ. Os dados geoquímicos e de SM também foram utilizados na caracterização da ambiência tectônica, tipologia e estado de oxidação do GSJ para, assim, compará-lo com outros corpos graníticos tipo-A da Província Carajás.

No capítulo 3 é feita uma discussão integrada dos dados e são apresentadas as conclusões deste trabalho.

## 1.2 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O Cráton Amazônico (CA) corresponde a uma das maiores áreas pré-cambrianas do mundo, com cerca de 4.500.000 km<sup>2</sup>. Representa uma das principais unidades tectônicas da plataforma Sul-Americana, sendo formado pelos Escudos das Guianas e do Brasil Central, separados pelas Bacias Paleozóicas do Amazonas e Solimões (Tassinari & Macambira 1999). Este abrange grande parte do norte do Brasil, Guiana Francesa, Guiana, Suriname, Venezuela, Colômbia e Bolívia. É limitado a leste, a sul e a sudeste por unidades formadas durante o Ciclo Orogênico Brasileiro (930-540 Ma, Pimentel & Fuck 1992), respectivamente, Grupo Baixo Araguaia, e Grupos Alto Paraguai, Cuiabá e Corumbá.

### 1.2.1 - Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico

Tassinari & Macambira (1999, 2004), com base em dados geocronológicos, *trends* estruturais, proporções litológicas e evidências geofísicas, admitem a existência de seis Províncias Geocronológicas no Cráton Amazônico (Figura 2), as quais foram denominadas, da mais antiga para a mais nova de: Amazônia Central (>2,5 Ga), Maroni-Itacaiunas (2,2-1,95 Ga), Ventuari-Tapajós (1,95-1,8 Ga), Rio Negro-Juruena (1,8-1,55 Ga), Rondoniana-San Inácio (1,55-1,3 Ga) e Sunsas (1,3-1,0 Ga).

Em geral, a idade das províncias apresenta um intervalo de tempo muito amplo, em decorrência de grande parte da geologia do Cráton Amazônico ser ainda pouco conhecida. Algumas províncias podem incluir núcleos antigos mais preservados e porções com rochas metamórficas mais jovens, formadas em eventos posteriores (Tassinari & Macambira, 2004). O limite entre estas províncias é definido com base, principalmente, em dados geocronológicos, com apoio em dados geológicos e geofísicos. Entretanto em algumas áreas este limite ainda é pobremente conhecido.

Neste trabalho serão abordados apenas os aspectos geológicos regionais da Província Amazônia Central (PAC) e de suas subdivisões, uma vez que a área de ocorrência do GSJ está inserida no contexto desta Província.

#### 1.2.1.1 - Província Amazônia Central

A Província Amazônia Central (PAC) representa a porção mais antiga do Cráton Amazônico e corresponde a uma crosta continental mais antiga que 2,3 Ga que não foi afetada pela orogenia Transamazônica. Ela é separada em dois domínios pela Província Maroni-Itacaiúnas, o Bloco Carajás e o Bloco Roraima.

O Bloco Carajás (Tassinari & Macambira 2004) tem como características possuir



unidades com idades predominantemente arqueanas e ausência de rochas geradas durante o Ciclo Transamazônico. Corresponde, em linhas gerais, a Província Carajás (PC) de Santos *et al.* (2006). A PC (Figura 2) é limitada a leste, pelo Cinturão neoproterozóico Araguaia, a norte, pela província Maroni-Itacaiúnas, a sul e a oeste é parcialmente coberta pelas sequências sedimentares fanerozóicas da Bacia Parecis, e pelas rochas vulcânicas paleoproterozóicas do Supergrupo Uatumã (Tassinari & Macambira 2004).

Souza *et al.* (2001) distinguiram dois domínios tectônicos na atual PC, o Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM), a sul, e a Bacia Carajás (BC), a norte.

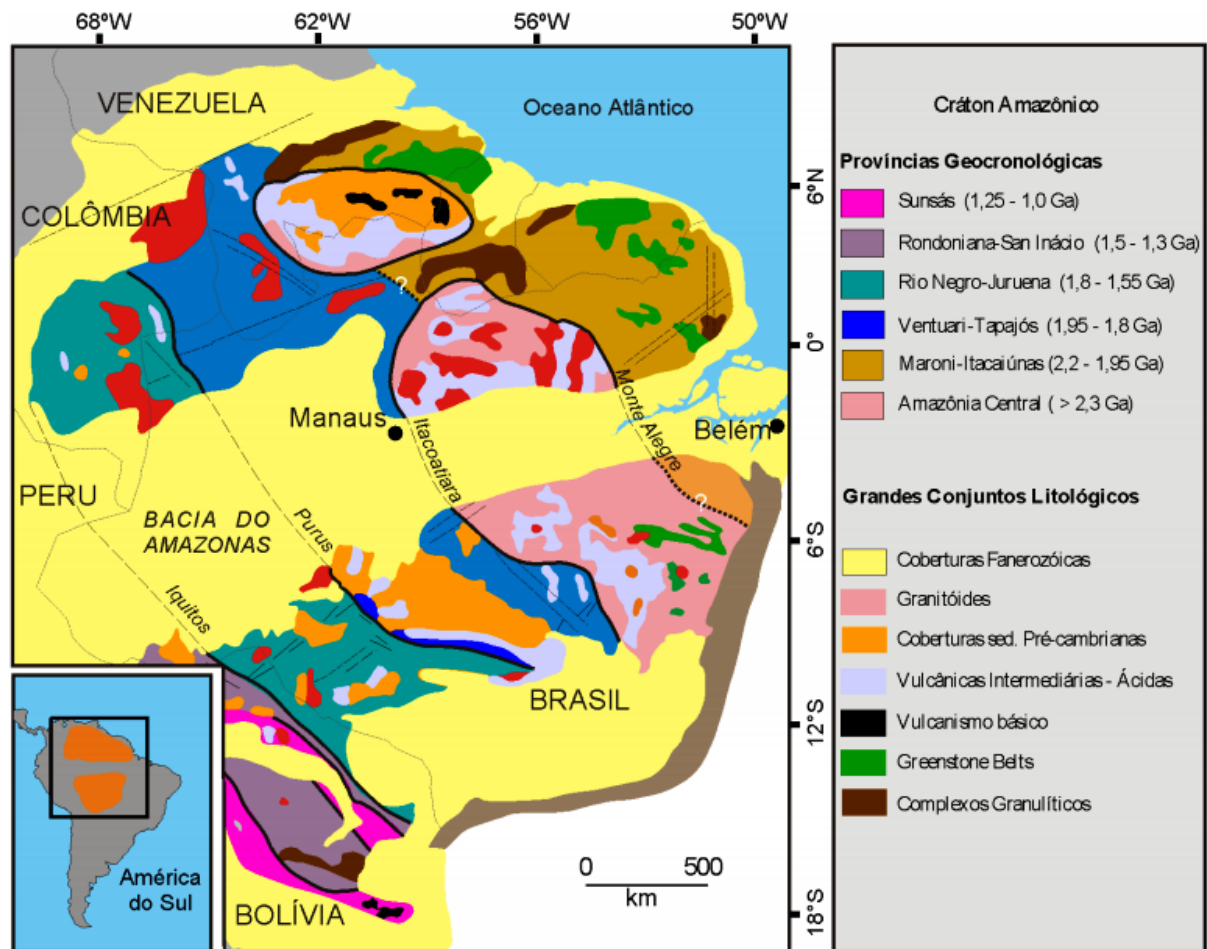


Figura 2 - Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico (modificado de Tassinari & Macambira 1999).

Anteriormente, Araújo & Maia (1991), Araújo *et al.* (1994) e Costa *et al.* (1995) distinguiram na porção leste do Bloco Carajás três domínios tectônicos: Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas (CCI) a norte, Cinturão de Cisalhamento Pau D'Arco (CCPD) a sul e o Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM) entre eles. Althoff *et al.* (1991, 1995), Dall'Agnol *et al.* (1996, 1997) e Rolando & Macambira (2002) não consideram o CCPD como um domínio individual e sim um prolongamento do TGGRM até a região de Redenção

e Serra do Inajá. DOCEGEO (1988) considera que a BC, na qual domina o Supergrupo Itacaiunas, formou-se em um rift continental sobre o TGGRM.

Entre a BC e o TGGRM está situado o Subdomínio de Transição (SDT), definido por Feio (2011). O SDT corresponde aproximadamente ao Domínio Imbricado do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas (Costa *et al.* 1995). O seu limite com o Domínio Rio Maria estaria situado a sul da cidade de Xinguara (Costa *et al.* 1995) ou a norte da faixa de *Greenstone-Belt* de Sapucaia (Souza *et al.* 1996, Dall’Agnol *et al.* 2006, Vasquez *et al.* 2008). Para alguns autores (Soares 2002, Gomes 2003, Oliveira *et al.* 2010) o SDT apresentaria similaridades com o Domínio Rio Maria, sendo, no entanto, intensamente afetado por eventos tectônicos e magmáticos relacionados à evolução da BC. Tal interpretação não foi confirmada pelos estudos recentes desenvolvidos na área de Canaã dos Carajás, situada na porção extremo norte do STD, em contato com a Bacia Carajás. Feio (2011) e Feio *et al.* (2011) consideram que aquela área teve uma evolução contrastante com a do Domínio Rio Maria e poderia, talvez, constituir um bloco arqueano distinto.

Além destes domínios, a PC apresenta diversas intrusões granitóides paleoproterozóicas e deposição sedimentar localizada. Os dados geocronológicos estabeleceram um período de tempo menor que 150 Ma para a formação da crosta continental no TGGRM (Macambira & Lancelot 1996). Os resultados de isótopos de Sm-Nd são compatíveis com as datações e sugerem uma crosta mais antiga que 3,04 Ga como a fonte dos granitóides arqueanos (Dall’Agnol *et al.* 1999).

### **1.2.2 - Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria**

O Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM), também chamado de Domínio Rio Maria por Vasquez *et al.* (2008, Figura 3), é caracterizado pela ocorrência de seqüências metavulcano-sedimentares do tipo *greenstone belt* (Supergrupo Andorinhas) e granitoides, ambos de idade arqueana, que são cortados por granitos anorogênicos proterozóicos e diques associados. Com base em aspectos petrográficos, geoquímicos e geocronológicos esses granitoides foram divididos em cinco grupos com idades entre 2,98 e 2,86 Ga (Tabela 1): 1) séries tonalito-trondhjemitó-granodioritos do tipo TTG com idades entre 2,98 e 2,92 Ga e representadas pelo Tonalito Arco Verde, Trondhjemitó Mogno, Complexo Tonalítico Caracol e Tonalito Mariazinha (Althoff *et al.* 2000, Leite *et al.* 2004, Almeida *et al.* 2011, Guimarães *et al.* 2009), 2) granitoides sanukitoides com alto Mg (Leite 2001, Oliveira 2006), representados pelas rochas da Suíte Rio Maria, com idades em torno de 2,87 Ga (Medeiros 1987, Macambira & Lancelot 1996, Althoff *et al.* 2000, Leite *et al.* 2004,

Oliveira *et al.* 2009), 3) leucogranodiorito-granitos, representados pela Suíte Guarantã, com idades em torno de 2,87 Ga (Almeida *et al.* 2011), 4) granitoides das séries TTGs jovens representados pelo Trondhjemito Água Fria com idade de 2,86 Ga (Huhn *et al.* 1988, Pimentel & Machado 1994, Leite *et al.* 2004) e 5) leucogranitos potássicos de afinidade cálcico-alcalina, representados pelos plutons Xinguara e Mata Surrão com idade ~2.87-2.86 Ga (Duarte 1992, Leite *et al.* 2004, Almeida *et al.* 2011).

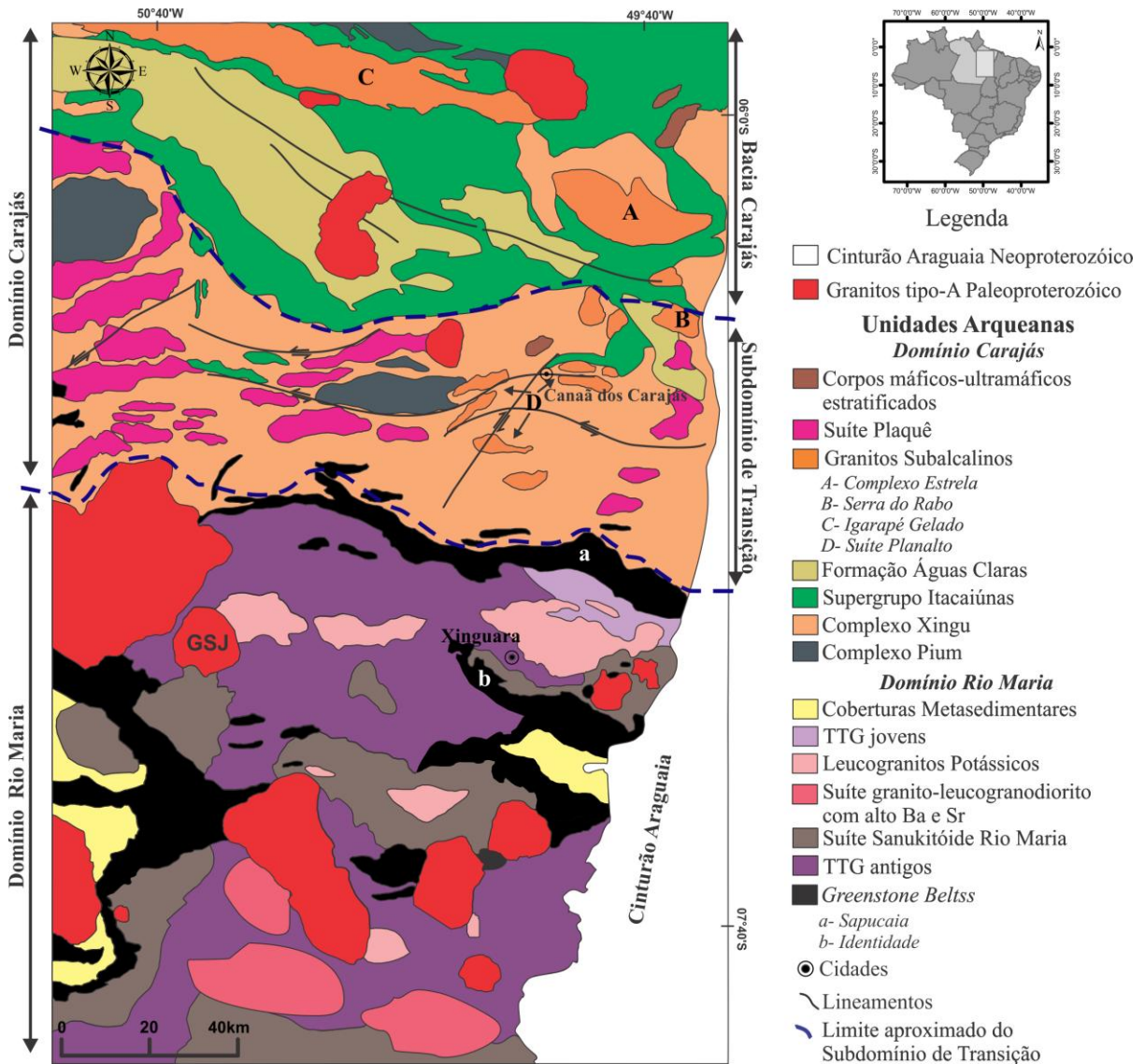


Figura 3 - Mapa geológico simplificado da Província Carajás, mostrando os limites aproximados entre os Domínios Rio Maria e Carajás e também entre o Subdomínio de Transição e a Bacia Carajás. (modificado de Feio 2011).

O Supergrupo Andorinhas corresponde à unidade mais antiga do TGGRM. Este é constituído por seqüências vulcano-sedimentares (Sapucaia, Identidade, Lagoa Seca, Babaçu, Seringa, Pedra Preta, entre outras) metamorfasadas em condições de fácies xisto-verde a

anfíbolito (Souza *et al.* 1997, 2001), onde predominam komatiítos e basaltos toleíticos, com idades que variam de 2,98 a 2,90 Ga (Macambira 1992, Pimentel & Machado 1994).

Contemporaneamente, entre 2,98 e 2,92 Ga foram originados corpos plutônicos da série TTG, representados pelos seguintes granitóides: Tonalito Arco Verde, com idades U-Pb em zircão e Pb-Pb por evaporação em zircão de 2,98 Ga a 2,93 Ga (Macambira 1992, Macambira & Lafon 1995, Rolando & Macambira 2002, 2003, Almeida *et al.* 2008), Trondhjemitó Mogno com idade U-Pb em zircão de 2,96 Ga (Almeida *et al.* 2011), Complexo Tonalítico Caracol, com idades de ~2,95 a 2,92 Ga (Leite 2001, Leite *et al.* 2004) e Tonalito Mariazinha com idade U-Pb em zircão de 2,92 Ga (Almeida *et al.* 2011).

Granitóides sanukitoides tipo Granodiorito Rio Maria e rochas associadas cobrem uma grande área do TGGRM e apresentam um padrão geocronológico bastante uniforme, com idades em torno de 2,87 Ga. São intrusivos nas rochas do Supergrupo Andorinhas (Souza *et al.* 2001, Leite 2001) e nos granitóides TTG antigos, sendo cortados pelo Trondhjemitó Água Fria e Granito Xinguara (Leite 2001).

As informações mais consistentes sobre a segunda geração de TTG provêm dos estudos do Trondhjemitó Água Fria, com idade de 2,86 Ga (Leite 2001, Leite *et al.* 2004). Relações de campo mostram que são intrusivos nos *greenstones-belts*, no Complexo Tonalítico Caracol, nos granitoides Sanukitoides e contemporâneos aos leucogranitos potássicos do tipo Xinguara. Este grupo é estratigraficamente posterior aos TTG antigos, porém mostra características petrográficas e geoquímicas muito similares.

A Suíte Guarantã é representada pelos corpos Guarantã, Azulona e Trairão, constituídos principalmente por leucogranodioritos e leucomonzogranitos que são enriquecidos em Ba e Sr, exibem graus variáveis de fracionamento de elementos terras raras pesados em relação aos leves e são, geralmente, desprovidos de anomalia significativa de Eu. Essas rochas apresentam razão  $K_2O/Na_2O < 1$  e altos conteúdos de Ba e Sr (Dias 2009, Almeida *et al.* 2010). As idades de cristalização obtidas para essa suíte se situam em torno de 2870 a 2860 Ma (Pb-Pb em zircão,  $2864 \pm 8$  Ma; e LA-MC-ICPMS U-Pb em zircão,  $2875 \pm 8$  Ma e  $2872 \pm 7$  Ma, Almeida *et al.* 2013).

Os Leucogranitos potássicos de afinidade cálcico-alcálica são representados pelos granitos Xinguara e Mata Surrão (Leite *et al.* 2004, Almeida *et al.* 2013). De acordo com Leite *et al.* (1999), o Granito Xinguara é intrusivo no Tonalito Caracol, Granodiorito Rio Maria e *greenstone belts*. Forneceu duas idades Pb-Pb em zircão de  $2865 \pm 1$  Ma, similares à do Trondhjemitó Água Fria, indicando que esses dois granitoides são contemporâneos e

efetivamente mais jovens que o Tonalito Caracol (Leite *et al.* 2004). O Granito Mata Surrão é intrusivo no Tonalito Arco Verde e apresenta idades de  $2872 \pm 10$  Ma (Pb-Pb em rocha total, Rodrigues *et al.* 1992) e  $2871 \pm 7$  Ma por (Pb-Pb em zircão, Althoff *et al.* 1998).

As diversas unidades do TGGRM são cobertas por metassedimentos de idade arqueana do Grupo Rio Fresco e cortados por granitos anorogênicos paleoproterozóicos (Huhn *et al.* 1988, Souza *et al.* 1990, Araújo *et al.* 1994).

#### 1.2.2.1 - Granitos Anorogênicos do TGGRM

No TGGRM, o extenso magmatismo granítico anorogênico que afetou o Cráton Amazônico durante o Paleoproterozóico é representado pela Suíte Jamon (Dall'Agnol *et al.* 2005) e engloba os granitos Jamon, Musa, Redenção, Bannach, Marajoara, Manda Saia, Gradaús, Seringa e São João (Figura 3). Datações de granitos da Suíte Jamon fornecem idades de cristalização próximas de 1,88 Ga (Machado *et al.* 1991, Barbosa *et al.* 1994, Dall'Agnol *et al.* 1999). Entretanto, os granitos Seringa e São João mostram-se um pouco mais antigos, apresentando idades de cristalização próximas de 1,89 Ga (Paiva Jr. *et al.* 2009, Lima 2011) como pode ser observado na Tabela 1.

Diversos trabalhos realizados nos granitos Jamon (Dall'Agnol *et al.* 1999), Musa (Gastal 1987), Marajoara (Rocha Junior 2004), Bannach (Almeida *et al.* 2006), Redenção (Montalvão *et al.* 1982, Vale & Neves 1994, Oliveira 2001, Oliveira *et al.* 2006, Oliveira 2005, 2009) e Manda Saia (Leite 2001) revelaram uma grande quantidade de dados geológicos, petrográficos, geoquímicos e de petrologia magnética, os quais contribuíram para a melhor caracterização desse magmatismo anorogênico do TGGRM. Tais trabalhos revelaram que esses granitos são isotrópicos, de ambiente intraplaca, de alto nível crustal, tendo sido colocados em uma crosta rígida, cortando discordantemente suas rochas encaixantes arqueanas. A distribuição espacial de suas fácies indica em geral um zoneamento aproximadamente concêntrico, com as fácies menos evoluídas situando-se na periferia e as mais evoluídas na porção central dos maciços.

De modo geral, a maior parte dos granitos paleoproterozoicos que cortam TGGRM pertence à Suíte Jamon. Esses granitos apresentam afinidades petrográficas, geoquímicas e de suscetibilidade magnética que os distinguem de outros granitos anorogênicos da Província Carajás (suítes Serra dos Carajás e Velho Guilherme). Os contrastes são ocasionados, provavelmente, pela natureza distinta de suas fontes, temperatura de fusão, conteúdo de água e fugacidade de oxigênio dos seus respectivos magmas (Dall'Agnol *et al.* 1997, Dall'Agnol *et al.* 2005).

Tabela 1 - Principais dados geocronológicos das rochas do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria. Modificado de Almeida (2005) e Guimarães (2009).

Unidade Estratigráfica	Tipo de rocha	Método	Material Analisado	Idade/Referência
<i>Proterozóico</i>				
Granito Musa	Monzogranito	U/Pb	Zircão	1883+5/-2 Ma (1)
Granito Velho Guilherme	Monzogranito	Pb/Pb	Rocha total	1873 ± 13 Ma (2)
Granito Marajoara	Monzogranito	Rb/Sr	Rocha total	1724 ± 50 Ma (3)
Granito Redenção	Monzogranito	Pb/Pb	Rocha total	1870 ± 68 Ma (4)
Granito Jamon	Monzogranito	Pb/Pb	Zircão	1885 ± 32 Ma (8)
Dique composto	Granito pórfiro	Pb/Pb	Zircão	1885 ± 4 Ma (9)
Granito São João	Monzogranito	Pb/Pb	Zircão	1890±2.2 Ma (7)
Granito Seringa	Monzogranito	Pb/Pb	Zircão	1892 ± 30 Ma (5)
	Monzogranito	Pb/Pb	Zircão	1895 ± 1 Ma (6)
<i>Arqueano</i>				
Granito Xinguara	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2865 ± 1 Ma (10)
Granito Mata Surrão	Leucogranito	Pb-Pb	Rocha total	2872 ± 10 Ma (11)
Granodiorito Cumaru	Granitóide	Pb-Pb	Zircão	2817 ± 4 Ma (12)
Quartzo-diorito Parazônia	Quartzo-diorito	Pb-Pb	Zircão	2876 ± 2 Ma (20)
Trondhjemitó Águas Fria	Trondhjemitó	Pb-Pb	Zircão	2864 ± 21 Ma (10, 14)
Suíte Guarantã	Granito Guarantã	U-Pb	Zircão	2875±8 Ma (20)
	Granodiorito Trairão	U-Pb	Zircão	2872±7Ma (20)
Granodiorito Rio Maria	Granodiorito	U-Pb	Zircão	2874 + 9/-10 Ma (3)
	Granodiorito	U-Pb	Zircão	2872 ± 5 Ma (15)
	Quartzo-diorito	Pb-Pb	Zircão	2878 ± 4 Ma (8)
	Granodiorito (S. Inajá)	Pb-Pb	Zircão	2879 ± 4 Ma (15)
	Granodiorito (S. Inajá)	Pb-Pb	Zircão	2877 ± 6 Ma (16)
	Diorito (S. Inajá)	Pb-Pb	Zircão	2880 ± 4 Ma (16)
Granodiorito (S. Inajá)	Pb-Pb	Zircão	2881 ± 8 Ma (16)	
Tonalito Mariazinha	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2925 ± 3 (13)
Trondhjemitó Mogno	Trondhjemitó	Pb-Pb	Zircão	2963 ± 6 Ma (13)
	Trondhjemitó	Pb-Pb	Zircão	2968 ± 2 (13)
	Trondhjemitó	Pb-Pb	Zircão	2959 ± 5 (13)
Granito Guarantã	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2930 Ma (17)
Complexo Tonalítico Caracol	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2948 ± 5 Ma (10)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2936 ± 3 Ma (10)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2924 ± 2 Ma (10)
Tonalito Arco Verde	Tonalito	U-Pb	Zircão	2957+25/-21 Ma (3)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2948 ± 7 Ma (18)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2981 ± 8 Ma (16)
	Saprólito	Pb-Pb	Zircão	2965 ± 1 Ma (16)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2988 ± 5 Ma (16)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2936 ± 4 Ma (19)
	Tonalito	U-Pb	Zircão	2948± 4 Ma (13)
Supergrupo Andorinhas (Gr. Lagoa Seca)	Metagrauvasas	U-Pb	Zircão	2971 ± 18 Ma (3)
	Metavulcânica Félsica	U-Pb	Zircão	2904+29/-22Ma(3)
	Metavulcânica Félsica	U-Pb	Zircão	2979 ± 5 Ma (15)

Fonte: (1)Machado *et al.* (1991), (2)Rodrigues *et al.*(1992), (3)Macambira (1992), (4)Barbosa *et al.* (1994), (5)Avelar (1996), (6)Paiva Jr. (2009), (7)Lima 2011, (8)Dall’Agnol *et al.*(1999), (9) Dall’Agnol *et al.* (2002), (10) Leite *et al.* (2004), (11) Lafon *et al.* (1994), (12) Lafon & Scheller (1994), (13) Almeida *et al.* 2011, (14) Macambira *et al.* (2000), (15) Pimentel & Machado (1994), (16) Rolando & Macambira (2003), (17) Althoff *et al.* (2000), (18) Rolando & Macambira (2002), (19) Almeida *et al.* (2008), (20) Almeida *et al.* 2013.

### 1.3 - JUSTIFICATIVA

Estudos geológicos sobre o GSJ são limitados e os limites do corpo ainda estão mal definidos, fornecendo um quadro não tão claro da sua geologia. Portanto, torna-se necessário equiparar o nível de conhecimento do GSJ ao dos outros corpos anorogênicos do TGGRM. Além disso, os poucos estudos sobre o GSJ não permitem definir sua tipologia e assinatura geoquímica, além de pouco contribuir para o conhecimento dos processos responsáveis por sua evolução magmática.

O GSJ necessita, portanto, de mapeamento geológico e amostragem sistemática, seguido de estudos petrográficos geoquímicos e de suscetibilidade magnética (SM) que permitam identificar e caracterizar as variedades composicionais e texturais presentes, bem como sua distribuição espacial. Além disso, a escassez de informações sobre o GSJ não permite comparações entre o mesmo e os demais granitos anorogênicos do Cráton Amazônico, tanto do ponto de vista petrográfico e geoquímico, quanto da sua evolução magmática e potencial metalogenético.

### 1.4 - OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo avançar na caracterização do GSJ sob seus aspectos petrográficos, geoquímicos e de SM, ampliando sua amostragem e refinando os dados petrográficos obtidos por Lima (2011). Para tanto, foram estabelecidos os seguintes objetivos:

- 1 – Melhorar o mapeamento geológico (1:100.000) e amostragem, identificando variações faciológicas e suas distribuições espaciais,
- 2 – Realizar o estudo petrográfico e classificar as diferentes fácies do GSJ, definindo suas variedades com base em análises modais e texturais utilizando-se os diagramas Q-A-P e Q-A+P-M (Streckeisen 1976, Le Maitre *et al.* 2002),
- 3 – Caracterizar a geoquímica das diferentes fácies do GSJ, discutindo suas afinidades geoquímicas, tipologia e os processos magmáticos que contribuíram para sua evolução,
- 4 – Determinar o comportamento magnético das diferentes fácies identificadas e caracterizar as suas associações de minerais óxidos de Fe e Ti,
- 5 – Comparar os dados obtidos no GSJ com os demais corpos graníticos proterozóicos que integram as suítes Jamon, Velho Guilherme e Serra dos Carajás.

## 1.5 - MATERIAIS E MÉTODOS

### 1.5.1 - Pesquisa Bibliográfica

Consistiu no levantamento bibliográfico referente à geologia da região enfocada, à evolução e origem de granitos anorogênicos, em particular os Proterozóicos, da região do TGGRM. Esta etapa foi continuamente atualizada à medida que novos dados foram publicados. Além disso, foram analisados artigos e livros sobre temas relacionados à geologia de granitos anorogênicos, com ênfase na sua evolução crustal, petrografia, geoquímica e SM.

### 1.5.2 - Mapeamento Geológico

Os trabalhos de cartografia geológica, com mapeamento na escala 1:100.000 da área, acompanhado de coleta sistemática de amostras para estudos petrográficos, geoquímicos e de SM foram realizados no período de 13 a 20 de Julho de 2011 e tiveram como sede a cidade de Água Azul do Norte. Na etapa de campo foram feitas descrições de afloramentos em seus aspectos litológicos e estruturais, buscando sempre enfatizar as relações de contato entre as fácies com as rochas encaixantes. Previamente, foi feito exame analógico e digital de folhas cartográficas planialtimétricas do IBGE (especialmente da folha Xinguará- SB.22-Z-C), mosaicos de radar (SRTM), levantamentos aereogeofísicos (radiometria em contagem total) e imagens de satélite (SAR), as últimas gentilmente cedidas pelo Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM). Para a localização dos pontos amostrados foi utilizado um aparelho GPS (*Global Position System*) com precisão de aproximadamente 3 m. Durante o levantamento de campo foram descritos cerca de 90 afloramentos, a maioria ao longo de dois grandes perfis que se estenderam até porções centrais e os demais nas bordas do corpo. A integração desses dados permitiu delimitar a distribuição das fácies e os limites do corpo. No entanto, a vegetação densa e a falta de estradas trafegáveis dificultaram o acesso à borda S do corpo, impossibilitando a amostragem e caracterização geológica e petrográfica detalhada desta área, fazendo com que seus contatos sejam inferidos. Os pontos de amostragem (Figura 4, Anexo 1) tiveram suas localizações definidas utilizando aparelho GPS (*Global Position System*) e foram locados em uma base cartográfica georeferenciada.

### 1.5.3 - Petrografia

Nesta etapa foi realizado o exame de 64 amostras de mão, seguido de estudo em microscópio petrográfico, envolvendo: a) identificação dos minerais (Kerr 1959, Deer *et al.* 1992) e descrição sistemática; b) caracterização das texturas magmáticas, deformacionais e de alteração (Bard 1980, Mackenzie *et al.* 1982, Hibbard 1995, Passchier & Trouw 1996);



c) definição da ordem de cristalização dos minerais (Dall’Agnol 1982, Hibbard 1995, Oliveira 2001); d) análise modal para obtenção de composições modais (Chayes 1956, Hutchison 1974) utilizando contador automático de pontos da marca Swift (1.800 pontos por amostra) e classificação das rochas conforme estabelecido pela IUGS (Streckeisen 1976, Le Maitre 2002).

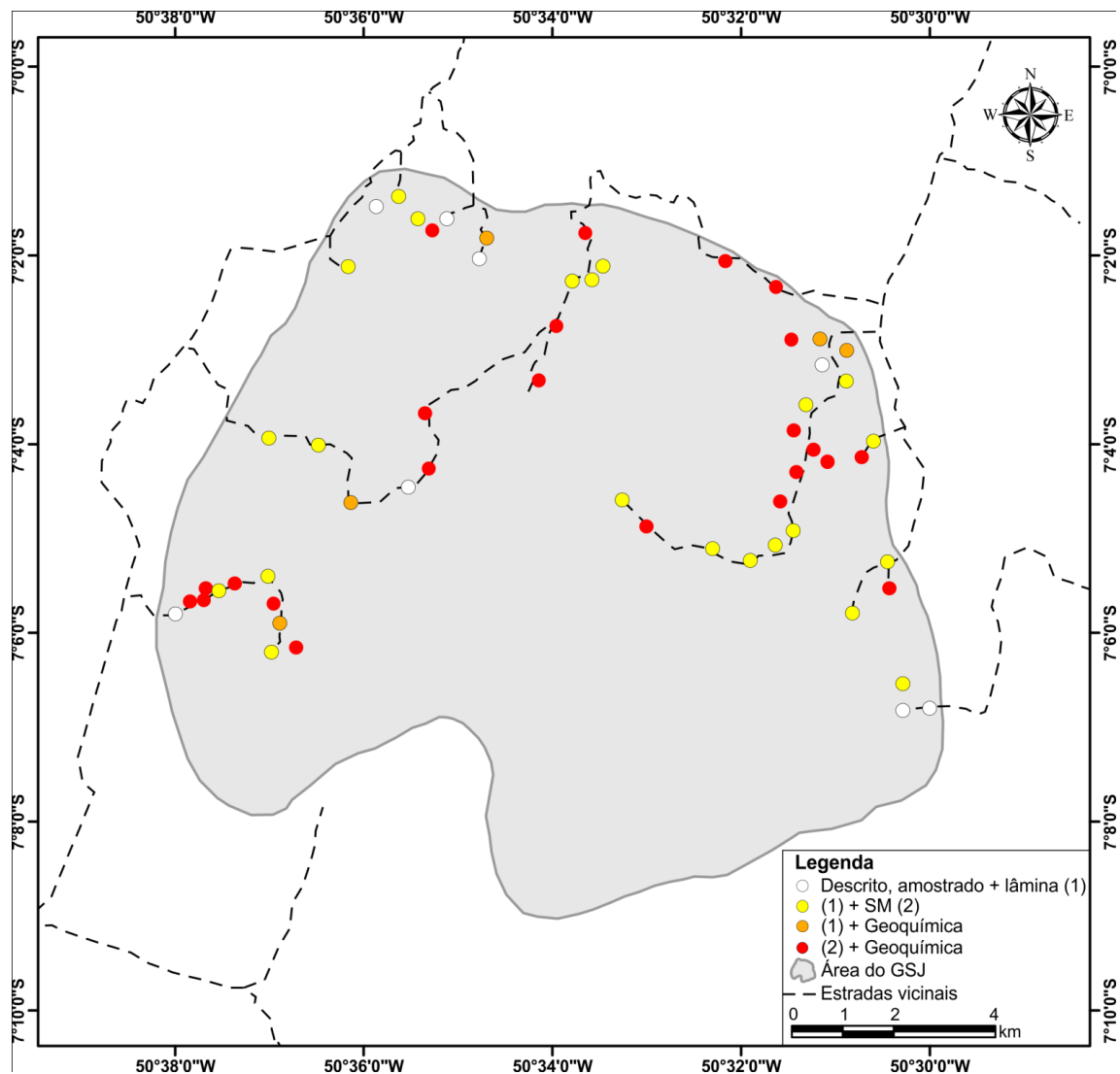


Figura 4 - Mapa de localização das amostras estudadas na área do Granito São João.

#### 1.5.4 - Geoquímica

As 23 amostras representativas das diferentes fácies identificadas no GSJ, foram selecionadas a partir dos estudos petrográficos e posteriormente foram quebradas, trituradas, quarteadas, pulverizadas e enviadas para análises químicas em rocha total. As análises químicas foram realizadas na ACME-Analytical Laboratories LTDA e envolveram a

determinação de elementos maiores e menores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), analisados por ICP-ES (*Inductively Coupled Plasma-Emission Spectrometry*), e de elementos traço (Rb, Sr, Ba, Ga, Y, Zr, Nb, U, Th, Cr, Ni, V), incluindo os Terras Raras (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Yb e Lu), analisados por ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*).

Os resultados das análises foram tratados e, consecutivamente, plotados em diagramas geoquímicos apropriados. A classificação geoquímica seguiu os procedimentos indicados em Rolisson (1993) e Henderson (1984), e foi baseada na avaliação do comportamento dos elementos maiores e menores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), traços (Rb, Sr, Ba, Ga, Y, Zr, Nb, U, Th, Cr, Ni, V), e Terras Raras (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Yb e Lu). Os elementos maiores e menores foram analisados por ICP-ES (*Inductively Coupled Plasma-Emission Spectrometry*) e os traços e Terras Raras por ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*). Para a análise dos dados foram utilizados diferentes diagramas geoquímicos, objetivando a classificação geoquímica, processos e séries magmáticas envolvidas, tipologia de rochas granitóides e assinatura geotectônica do GSJ, (cf. Shand 1950, La Roche *et al.* 1980, Pearce *et al.* 1984, Whalen *et al.* 1987, Dall'Agnol *et al.* 1999). Os dados obtidos permitiram discriminar e classificar com maior segurança as rochas do GSJ, bem como compará-las com outros granitos anorogênicos do TGGRM, principalmente com o Granito Seringa.

### **1.5.5 - Suscetibilidade Magnética (SM)**

Amostras de mão das 52 rochas estudadas foram submetidas a medidas de SM através do suscetibilímetro manual SM-30 fabricado pela ZH *instruments*, que pertence ao Laboratório de Petrologia Magnética do Instituto de Geociências da UFPA. Em cada amostra foram efetuadas várias medidas, e a média dessas medidas foi considerada representativa da sua SM. Foram evitadas amostras, ou porções de amostras, com alteração intempérica visível. Os dados obtidos foram tratados estatisticamente com o auxílio do programa “Minitab”, versão 16, através da elaboração de diagramas de probabilidade, histogramas e polígonos de frequência, os quais serviram de base para as interpretações.

## REFERÊNCIAS

- Almeida J.A.C. 2005. *Geologia, petrografia e geoquímica do granito anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, PA*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 171p.
- 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. *Rev. Bras. Geoc.*, **36**(2):282-295.
- Almeida J.A.C., Oliveira M.A., Dall'Agnol R., Althoff F.J., Borges R.M.K. 2008. *Relatório de mapeamento geológico na escala 1:100.000 da Folha Marajoara (SB-22-z-c v)*. Programa Geobrasil, CPRM - Serviço Geológico do Brasil., 147p.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Dias S.B., Althoff F.J. 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., Dall'Agnol R., Oliveira, M.A., Macambira, M.J.B., Pimentel, M.M., Leite, A.A.S. 2011. Zircon geochronology and geochemistry of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for growth of Archean crust of Carajás Province, Brazil. *Precambrian Research*, **187**:201-221.
- Althoff F.J., Dall'Agnol R., Souza, Z.S. 1991. Região de Marajoara - SE do Pará: prolongamento dos terrenos arqueanos de Rio Maria ou retrabalhamento. *In*: SBG, Simp. de Geol. da Amazônia, 3. Belém, Anais... Belém, p. 130-141.
- Althoff F.J., Barbey P., Boullier A.M., Dall'Agnol R. 1995. Composição e estrutura dos granitóides arqueanos da região de Marajoara. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Série Ciências da Terra*, **7**:5-26.
- Althoff F.J., Barbey P., Macambira M.J.B., Scheller T., Leterrier J., Dall'agnol R., Lafon J.M. 1998. La croissance du craton sud -amazonien (région de Rio Maria, Brésil). *In*: Réunion des Sciences de la Terre. Resumés. Brest, Societé Géologique de France, p. 62.
- 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. & 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., Macambira, E.M.B., Vale, A.G., Oliveira, J.R., Silva Neto, C.S, Costa, E.J.S., Santos, A., Pena Filho, J.J.C., Neves, A.P., Jorge João, X.S., Costa, J.B.S. 1994. Primeira integração das investigações geológicas do Programa Grande Carajás na região SSE do Estado do Pará. *In* SBG: Simp. de Geol. da Amazônia, 4, Belém. Boletim de resumos expandidos, p. 299-301.
- 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*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 199 p.
- Barbosa A.A., Lafon, J.M., Neves, A.P., Vale, A.G. 1994. O Granito Redenção (sul do Pará): novos dados geocronológicos Pb-Pb e Rb-Sr. *In*: SBG. Simp. de Geol. da Amazônia, 4, Belém. Boletim de resumos expandidos, p. 302-306.
- Bard J. P. 1980. *Microtextures of igneous and metamorphic rocks*. D. Reidel Publishing Company. Tokyo. 246p.
- Chayes F. 1956. *Petrographic modal analysis: an elementary statistical appraisal*. New York, John Wiley e Sons, 113 p.
- Costa J. B. S., Araújo, O. J. B., Santos, A., Jorge João, X. S., Macambira, M. J. B., Lafon, J. M., 1995. A província mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Ciências da Terra*, **7**: 199-235.
- Dall'Agnol R. 1982. Maciço Jamon: Evolução Petrológica de um granito da Amazônia Oriental. *In*: SBG, Simp. de Geol. da Amazônia, 1, Belém, Anais. v. 2, p.139-161.
- Dall'Agnol R., Lafon J.M., Macambira M.J.B. 1994. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian province, Amazonian Craton. Geochronological, Petrological and Geochemical aspects. *Mineralogy and Petrology*, **50**:113-138.
- Dall'Agnol R., Souza Z.S., Althoff F.J., Macambira M.J.B., Leite A.A.S. 1996. Geology and Geochemistry of the Archean Rio Maria Granite-Greenstone Terrain, Carajas Province, Amazonian Craton. *In*: SBG. Symposium-Archean Terranes of the South American Platform, p. 29-30.
- Dall'Agnol R., Souza Z.S., Althoff F.J., Barros C.E.M., Leite A.A.S., Jorge João X.S. 1997. General aspects of the granitogenesis of the Carajás metallogenic province. *In*: SGRM. International Symposium on Granites and Associated Mineralization, 2, Salvador. Excursions Guide. Salvador, p.135-161.

- Dall'Agnol R., Ramö O. T., Magalhães M. S., Macambira M. J. B. 1999. Petrology of the anorogenic, oxidised Jamon and Musa granites, Amazonian Craton: implications for the genesis of Proterozoic, A-type Granites. *Lithos*, **46**:431-462.
- Dall'Agnol R., Oliveira D.C., Macambira M.J.B., Lamarão C.N. 2002. Diques proterozóicos do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria: A descoberta de diques compostos e novos dados geocronológicos. *In: Simp. de Vulc. e Amb. Associados*, 2, Belém. Boletim de resumos e roteiros da excursão. Núcleo PRONEX Instituto de Geociências da UFPA, p.13.
- Dall'Agnol, R. Teixeira N.P., Rämö O.T., Moura C.A.V., Macambira M.J.B. Oliveira D.C. 2005. Petrogenesis of the Paleoproterozoic, rapakivi, A-type granites of the Archean Carajás Metallogenic Province, Brazil. *Lithos*, **80**:101-129.
- Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Almeida J.A.C., Althoff F.J., Leite A.A.S., Oliveira D.C., Barros C.E.M. 2006. Archean and paleoproterozoic granitoids of the Carajás Metallogenetic Province, eastern Amazonian craton. *In: Dall'Agnol R., Rosa-Costa L.T., Klein E.L. (eds.). Symposium on magmatism, crustal evolution, and metallogenesis of the Amazonian craton. Abstracts volume and field trips guide. Belém, PRONEX-UFPA/SBG - NO*, 99-150.
- Dall'Agnol R. Oliveira D. C. 2007. Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: implications for classification and petrogenesis of A-type granites. *Lithos*, **93**:215-233.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. 1992. *Rock-forming minerals*. London-Longmans (eds.), second edition, 696 p.
- 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 (Rio Doce Geologia e Mineração - Distrito Amazônia). 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás, Pará. *In: SBG. Cong. Bras. Geol.*, 35, Belém. Anexos. Província Mineral de Carajás - Litoestratigrafia e Principais Depósitos Minerais, p. 11-54.
- Duarte K.D. 1992. *Geologia e geoquímica do Granito Mata Surrão (SW de Rio Maria-PA): um exemplo de granito "stricto sensu" Arqueano*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 217 p.

- Feio G.R.L. 2011. *Magmatismo granitóide arqueano da área de Canaã dos Carajás: implicações para a evolução crustal da Província Carajás*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 199 p.
- Feio G.R.L., Dall'Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.B., Gomes A.C.B., Sardinha A.S., Santos P.A. 2012. Geochemistry, geochronology, and origin of the Neoproterozoic Planalto Granite suite, Carajás, Amazonian craton: A-type or hydrated charnockitic granites? *Lithos*, **151**:57-73.
- Gastal M.C.P. 1987. *Petrologia do Maciço Granítico Musa, Sudeste do Pará*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 316 p.
- Gomes A.C.B. 2003. *Geologia, Petrografia e Geoquímica dos granitóides de Canaã dos Carajás, SE do Estado do Pará*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 160 p.
- Guimarães F.V. 2009. *Geologia, Petrografia e Geoquímica do Trondhjemitótipo Mogno e rochas arqueanas associadas, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria - SE do Pará*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 102 p.
- Henderson P. 1984. *Rare Earth Element Geochemistry*. Amsterdam, Elsevier, 510 p.
- Hibbard M.J. 1995. *Petrography to Petrogenesis*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 587p.
- 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. Cong. Bras. Geol., 35, Belém. Anais, **3**:1438-1453.
- Hutchison C. S. 1974. *Laboratory handbook of petrography techniques*. London. John Wiley e Sons, 527 p.
- Kerr P. 1959. *Optical Mineralogy*. McGraw-Hill Book Co., New York, Third Edition, 492 p.
- Lafon J.M. & Scheller T. 1994. Geocronologia Pb/Pb em zircão do Granodiorito Cumaru, Serra dos Gradaús, PA. In: SBG/NO. Simp. de Geol. da Amazônia, 4, Belém. Boletim de resumos expandidos, p. 321-323.
- Lafon J.M., Rodrigues E., Duarte K.D. 1994. Le granite Mata Surrão: un magmatisme monzogranitique contemporain des associations tonalíques-trondhjemitiques-granodioritiques archéennes de la région de Rio Maria (Amazonie Orientale, Brésil). p. 642-649.

- La Roche H., Leterrier J., Grandclaude P., Marchal M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1 R2 - diagram and major-element analyses – its relationships with current nomenclature. *Chem. Geol.* **29**:183-210.
- Leite A.A.S., Dall'Agnol R., Althoff F.J. 1999. Geoquímica e aspectos petrogenéticos do granito Xinguara, Terreno granito - greenstone de Rio Maria – Cráton Amazônico. *Rev. Bras. Geoc.* **23**(3):429-436.
- Leite A.A.S. 2001. *Geoquímica, Petrogênese e Evolução Estrutural dos Granitóides Arqueanos da Região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 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. *Rev. Bras. Geoc.*, **34**:447-458.
- Le Maitre R.W. 2002. *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. 2nd Edition, London, 193 p.
- Lima P.H.A. 2011. *Geologia, Petrografia e Geocronologia do Granito São João, Província Carajás, SSE do Pará*. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 64 p.
- Macambira M.J.B. 1992. *Chronologie U/Pb, Rb/Sr, K/Ar et croissance de la croûte continentale dans L'Amazonie du sud-est, exemple de la région de Rio Maria, Province de Carajas, Brésil*. Tese de Doutorado, Université Montpellier II, France, 212p.
- 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. 1996. Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria crust, southeastern Amazonian Craton, Brazil. *International Geology Review*, **38**(12):1134-1142.
- Macambira M.J.B., Costa J.B.S., Althoff F.J., Lafon J.M., Melo J.C.V., Santos A. 2000. New geochronological data for the Rio Maria TTG terrane; implications for the time constraints of the crustal formation of the Carajás province, Brazil. *In*: SBG. International Geological Congress, 31st, Rio de Janeiro, CD-ROM.
- Machado N., Lindenmayer Z., Krogh T.E., Lindenmayer D. 1991. U/Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás Área, Amazon Shield, Brazil. *Precambrian Research*, **49**:329-354.

- Mackenzie W.S., Donaldson C.H., Guilford C. 1982. *Atlas of igneous rocks and their textures*. New York: Longman Scientific & Technical, John Wiley & Sons, 148p.
- Medeiros H. 1987. *Petrologia da porção leste do maciço granodiorítico Rio Maria, Sudeste do Pará*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 166p.
- Montalvão R.M.G., Bezerra P.E. L., Prado P., Fernandes C.A.C., Silva G.H., Brim R.J.P. 1982. Características petrográficas e geoquímicas do Granito Redenção e suas possibilidades metalogenéticas. *In: SBG. Congr. Bras. Geol.*, 32, Salvador. Anais, 2:520 - 548.
- Oliveira D.C. 2001. *Geologia, Geoquímica e Petrologia Magnética do Granito Paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 207p.
- Oliveira D.C., Dall’Agnol R., Barros C.E.M, Figueiredo M.A.B.M. 2002. Petrologia magnética do Granito Paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico. *In: SBG-NO. Klein E.L., Vasques M.L., Rosa Costa L.T. (Eds.) Contribuições a Geologia da Amazônia*, Belém, 3:115-132.
- Oliveira M.A. 2005. *Geologia, Petrografia e Geoquímica do Granodiorito Sanukitóide Arqueano Rio Maria e Rochas Máfica Associadas, Leste de Bannach*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 144p.
- Oliveira M.A., Dall’Agnol R., Althoff F.J. 2006. Petrografia e Geoquímica do Granodiorito Rio Maria da Região de Bannach e Comparações com as demais ocorrências no Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria - Pará, *Rev. Bras. Geoc.*, 36 (2):313-326.
- Oliveira M.A., Dall’Agnol R., Althoff F.J., Leite A.A.S. 2009. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 27:146-160.
- Oliveira D.C., Santos P.J.L., Gabriel E.O., Rodrigues D.S., Faresin A.C., Silva M.L.T., Sousa S.D., Santos R.V., Silva A.C., Souza M.C., Santos R.D., Macambira M.J.B. 2010. Aspectos geológicos e geocronológicos das rochas magmáticas e metamórficas da região entre os municípios de Água Azul do Norte e Canaã dos Carajás - Província Mineral de Carajás, *In: SBG. Congr. Bras. Geol.*, 45. Belém.
- Paiva Jr. A.L. 2009. *Geologia, Petrografia, Geocronologia e Geoquímica do Granito Anorogênico Seringa, Província Mineral de Carajás, SSE do Pará*. 2009. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 123p.



- Passchier C. W. & Trouw R. A. J., 1996. *Microtectonics*. Berlin, Springer-Verlag, 289p.
- Pearce J.A, Harris N.B.W, Tindle A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrology*, **25**: 956-983.
- Pimentel M. & Fuck R.A. 1992. Neoproterozoic crustal accretion in Central Brazil. *Geology*, **20**(4):375-379.
- Pimentel M.M. & Machado N., 1994. Geocronologia U-Pb do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. *In*: SBG. Congr. Bras. Geol., 38, Camboriú. Boletim de Resumos Expandidos, p. 390-391.
- Rocha Junior G.L.D. 2004. *Caracterização petrográfica do Granito Paleoproterozóico Marajoara, Terreno Granito- Greenstone de Rio Maria, SE do estado do Pará*. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 45p.
- Rodrigues E.M.S., Lafon J.M., Scheller T. 1992. Geocronologia Pb-Pb em rochas totais da Província Mineral de Carajás: primeiros resultados. *In*: SBG. Congr. Bras. Geol., 37, São Paulo. Boletim de Resumos Expandidos. **2**:183-184.
- Rolando A.A.P. & Macambira M.J.B. 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. Congr. Bras. Geol., 41, João Pessoa. Anais, p. 525.
- 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*: SBG South American Symposium on Isotope Geology, 4, Salvador. Extended Abstract, 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*: SBG. Simp. de Geol. da Amazônia., 9, Belém. Resumos Expandidos. CD-ROM.
- Shand S.J. 1950. *Eruptive rocks their genesis, composition, classification and their relation to ore deposit*. 4ed., London, 488p.
- Soares J.E.B. 2002. *Geologia, Petrografia e Geoquímica das rochas granitoides arqueanas da região de Serra Dourada, Canaã dos Carajás (PA)*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Exame de Qualificação ao Doutorado.

- Souza Z.S., Medeiros H., Althoff F.J., Dall'Agnol R. 1990. Geologia do Terreno Granito-Greenstone Arqueano da região de Rio Maria, Sudeste do Pará. *In: SBG. Congr. Bras. Geol.*, 36, Natal. Anais, **6**:2913-2928.
- 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 contrast on the Archean evolution of the Rio Maria Granito-Greenstone Terrain and the Carajás Block. *In: SBG. Symposium on Archean terrains of South America Platform, Brasília. Extended abstracts*, p. 31-32.
- Souza Z.S., Dall'Agnol R., Oliveira C.G, Huhn S.R.B. 1997. Geochemistry and Petrogenesis of metavolcanic rocks from Archean Greenstone Belts: Rio Maria Region (Southeast Pará, Brazil). *Rev. Bras. Geoc.*, **27**(2):169-180.
- Souza Z.S., Potrel A., Lafon J.M., Althoff F.J., Pimentel M.M., Dall'Agnol R., Oliveira C.G. 2001. Nd, Pb and Sr isotopes in the Identidade Belt, an Archean greenstone belt of Rio Maria region (Carajás Province, Brazil): implications for the geodynamic evolution of the Amazonian Craton. *Precambrian Research*, **109**:293-315.
- Streckeisen A.L. To each plutonic rock its proper name. 1976. *Earth Science Reviews*, **12**:1-33.
- Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 1999. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, **22**(3):174-182.
- Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. *In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito Neves, B.B. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, p. 471-485.
- Vale A.G. & Neves P.N., 1994. O Granito Redenção: Estado do Pará. *In: SBG. Congr. Bras. Geol.*, 38, Balneário Camboriú. Boletim de Resumos Expandidos. **1**:149-150.
- Vasquez L.V., Rosa-Costa L.R., Silva C.G., Ricci P.F., Barbosa J.O., Klein E.L., Lopes E.S., Macambira E.B., Chaves C.L., Carvalho J.M., Oliveira J.G., Anjos G.C., Silva H.R. 2008b. 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*, 328p.
- Whalen J.B., Currie K.L., Chappell B.W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **95**:407-419.

---

**CAPÍTULO 2**

---

**GEOLOGIA, PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E SUSCETIBILIDADE  
MAGNÉTICA DO GRANITO PALEOPROTEROZÓICO SÃO JOÃO, SUDESTE DO  
CRÁTON AMAZÔNICO, PROVÍNCIA CARAJÁS.**

Paulo Henrique Araújo Lima<sup>1,2</sup> (ph\_lima@live.com), Claudio Nery Lamarão<sup>1,2,3</sup> (lamarao@ufpa.br),  
Max de Jesus Pereira dos Santos<sup>1,2</sup> (mjps@ufpa.br).

<sup>1</sup> Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides (GPPG)-IG-UFPA

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG)-IG-UFPA.

<sup>3</sup> Instituto de Geociências IG-UFPA.

Submetido ao Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências Naturais.

**RESUMO**

O Granito São João (GSJ) é um batólito anorogênico de formato circular, com aproximadamente 160 km<sup>2</sup> de área, que secciona unidades arqueanas pertencentes ao Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, sudeste do Cráton Amazônico. É constituído predominantemente por quatro fácies petrográficas distintas: biotita-anfibólio monzogranito (BAMG), biotita-anfibólio sienogranito (BASG), anfibólio-biotita monzogranito a sienogranito (ABMSG) e biotita monzogranito a sienogranito (BMSG). O GSJ possui natureza metaluminosa a fracamente peraluminosa, razões FeOt/(FeOt+MgO) entre 0,94 e 0,99 e K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O entre 1 e 2, mostra afinidades geoquímicas com granitos intraplaca do tipo A, subtipo A<sub>2</sub> e granitos ferrosos, sugerindo uma fonte crustal para sua origem. O GSJ possui conteúdos de ETRL mais elevados que os ETRP e um padrão sub-horizontalizado para esses últimos, além de anomalias negativas de Eu crescentes no sentido das rochas menos evoluídas para as mais evoluídas (BAMG → BASG → ABMSG → BMSG). Os dados de suscetibilidade magnética (SM) permitiram identificar seis populações com diferentes características magnéticas, onde os valores mais elevados de SM relacionam-se às fácies menos evoluídas e os mais baixos às mais evoluídas. O estudo comparativo entre o GSJ e as suítes graníticas da Província Carajás mostra que ele apresenta maiores semelhanças geológicas, petrográficas, geoquímicas e de SM com os granitos que formam a Suíte Serra dos Carajás, podendo ser enquadrado na mesma.

**Palavras-chave:** Paleoproterozóico, Cráton Amazônico, Granito São João, Suscetibilidade magnética, Granito tipo-A.

## ABSTRACT

The São João granite (SJG) is an anorogenic batholith of circular form, with an area of approximately 160 km<sup>2</sup>, which cuts Archean units of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrain, southeastern Amazonian Craton. It consists of four distinct petrographic facies: biotite-amphibole monzogranite (BAMG), biotite-amphibole syenogranite (BASG), amphibole-biotite monzogranite to syenogranite (ABMSG) and biotite monzogranite to syenogranite (BMSG). The SJG has a metaluminous to weakly peraluminous nature, FeOt/(FeOt+MgO) ratios varying from 0.94 to 0.99 and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O from 1 to 2, shows geochemical affinities with the intraplate granites, A-type granites of A2 subtype and ferrous granites, suggesting a crustal source for its origin. The SJG has higher contents of LREE compared to HREE and a sub-horizontal pattern for the latter. The negative anomalies of Eu rising from less evolved towards more evolved rocks (BAMG→ BASG→ ABMSG→ BMSG). Magnetic susceptibility data (MS) allowed the identification of six populations with different magnetic characteristics, where the highest values of MS relate to the less evolved facies and the lowest to the more evolved facies. The comparison between SJG and the granite suites of the Carajás Province shows that it displays strong geological, petrographic, geochemical and MS similarities with the granites of the Serra dos Carajás suite, and may be included in the same.

**Keywords:** Paleoproterozoic, Amazonian Craton, São João Granite, Magnetic susceptibility, A-type granite.

## INTRODUÇÃO

Na Província Carajás, o magmatismo granítico paleoproterozoico foi marcado pela geração das suítes graníticas tipo-A Jamon, Velho Guilherme e Serra dos Carajás. Localizada nos domínios do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM), a Suíte Jamon foi descrita por Dall’Agnol *et al.* (2005) como formada pelos plutons graníticos Jamon, Musa, Redenção, Bannach, Marajoara, Manda Saia, Gradaús, Seringa e São João. Embora tais autores tenham incluído os corpos Seringa e São João de maneira subjetiva na Suíte Jamon, tomando como base principalmente sua ocorrência nos domínios do TGGRM, estes ainda carecem de trabalhos de detalhe. Estudos posteriores mostraram que esses dois granitos possuem maiores afinidades com os plutons que constituem a Suíte Serra dos Carajás (Paiva Jr. 2009; Paiva Jr. *et al.* 2011; Lima 2011), tanto em termos petrográficos e geocronológicos, quanto geoquímicos. Diferentemente da maioria dos corpos que compõem as suítes graníticas

Jamon, Velho Guilherme e Serra dos Carajás, o Granito São João (GSJ) dispõe apenas de levantamentos cartográficos e petrográficos preliminares, acompanhados de datação geocronológica pelo método de evaporação de  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  em Zircão ( $1890\pm 2$  Ma, Lima 2011). Não possuindo, ainda, estudos geoquímicos e de susceptibilidade magnética, o que dificulta sua correlação com corpos graníticos das suítes mencionadas acima. O principal objetivo desse estudo é, portanto, melhorar a caracterização geológica e petrográfica do GSJ, realizar estudos geoquímicos e de susceptibilidade magnética em suas diferentes fácies e avaliar de maneira mais clara o seu enquadramento na Suíte Serra dos Carajás.

### CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Província Amazônia Central (PAC) representa a porção mais antiga do Cráton Amazônico ( $>2,5$  Ga). É separada em dois domínios pela Província Maroni-Itacaiúnas, o Bloco Carajás e o Bloco Roraima. O Bloco Carajás (Tassinari & Macambira, 2004), ou Província Carajás (PC) de Santos *et al.* (2006), tem como características possuir unidades com idades predominantemente arqueanas e ausência de rochas geradas durante o Ciclo Transamazônico. A PC é limitada a leste pelo Cinturão Araguaia, de idade neoproterozóica, a norte pela província Maroni-Itacaiúnas, a sul e a oeste é parcialmente coberta pelas sequências sedimentares fanerozóicas da Bacia Parecis e pelas rochas vulcânicas paleoproterozóicas do Supergrupo Uatumã (Tassinari & Macambira 2004). Souza *et al.* (2001) distinguiram dois domínios tectônicos na atual PC, o Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria (TGGRM), a sul, e a Bacia Carajás (BC), a norte, estando entre eles o Subdomínio de Transição (SDT) definido por Feio (2011).

O TGGRM, ou Domínio Rio Maria (Vasquez *et al.* 2008), é caracterizado pela ocorrência *greenstone belts* e granitoides, ambos de idade arqueana (Figura 1). Esses granitoides foram divididos em cinco grupos com idades de 2,98 a 2,86 Ga, sendo definidos por: 1) séries tonalito-trondhjemito-granodioritos do tipo TTG com idades entre 2,98 e 2,92 Ga e representadas pelo Tonalito Arco Verde, Trondhjemito Mogno, Complexo Tonalítico Caracol e Tonalito Mariazinha (Althoff *et al.* 2000, Leite *et al.* 2004, Guimarães 2009, Almeida *et al.* 2011), 2) granodioritos com alto Mg (Leite 2001, Oliveira *et al.* 2006), representados pelas rochas da Suíte Sanukitóide Rio Maria, com idades em torno de 2,87 Ga (Medeiros 1987, Macambira & Lancelot 1996, Althoff *et al.* 2000, Leite *et al.* 2004, Oliveira *et al.* 2009), 3) Leucogranodiorito-granitos, representados pela Suíte Garantã, com idades em torno de 2,87 Ga (Almeida *et al.* 2010), 4) granitoides das séries TTG jovens representados pelo Trondhjemito Água Fria com idade de 2,86 Ga (Huhn *et al.* 1988,

Pimentel & Machado 1994, Leite *et al.* 2004) e 5) leucogranitos potássicos de afinidade cálcico-alcalina, representados pelos plutons Xinguara e Mata Surrão com idade entre 2,87-2,86 Ga (Leite *et al.* 2004, Almeida *et al.* 2011). As diversas unidades do TGGRM são cobertas por metassedimentos arqueanos do Grupo Rio Fresco e cortados por granitos paleoproterozóicos do tipo A.

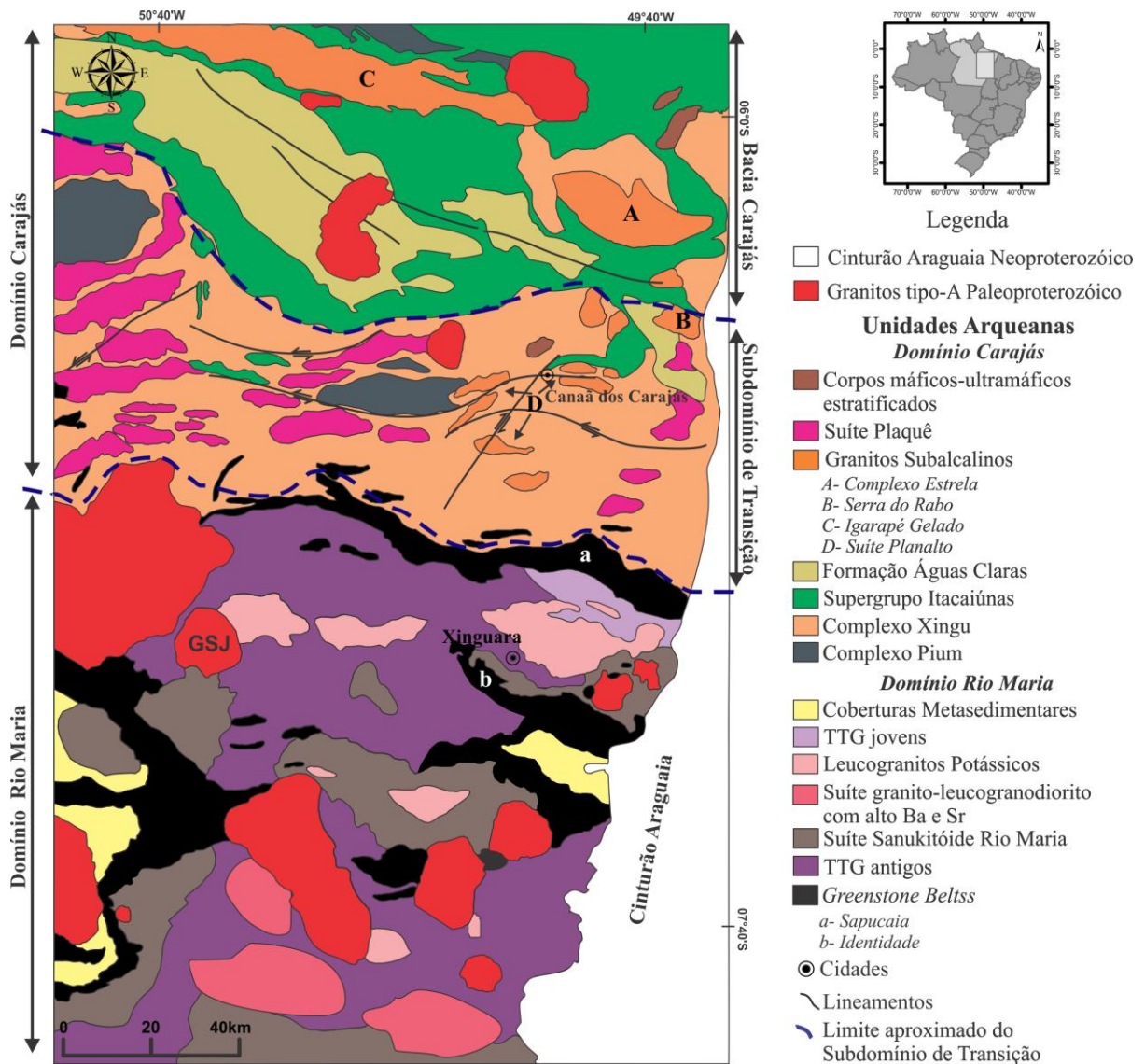


Figura 1 - Mapa geológico simplificado da Província Carajás, mostrando os limites aproximados entre os Domínios Rio Maria e Carajás e entre o Subdomínio de Transição e a Bacia Carajás (modificado de Feio 2011). GSJ= Granito São João.

## **GEOLOGIA DO GRANITO SÃO JOÃO**

O Granito São João (GSJ), localizado entre as cidades de Água Azul do Norte e Bannach (Figura 2), sudeste do Estado do Pará, é um batólito anorogênico com aproximadamente 160 km<sup>2</sup> de área que secciona trondhjemitos e leucogronodiorito-granitos arqueanos do TGGRM (Oliveira 2001, Oliveira *et al.* 2002, Leite *et al.* 2004, Dall’Agnol *et al.* 2005, Dall’Agnol & Oliveira 2007, Almeida *et al.* 2011). É formado por morros e serras de encostas íngremes, com até 600 m de altitude, constituindo um conjunto de cristas alinhadas na direção N-S, localmente E-W, ou compondo estruturas circulares sob a forma de anfiteatro. Seus contatos com as rochas encaixantes são, em geral, bruscos, registrando-se a presença de veios de microgranitos e diques aplíticos que cortam essas rochas nas proximidades do contato. Ao redor do corpo foram mapeados diversos diques de composições máficas a félsicas que cortam suas encaixantes geralmente na direção NW-SE. Tais diques ocorrem sob a forma de corpos verticais, tabulares e de pequena espessura, não tendo sido encontrada nenhuma relação de contato entre estes e o GSJ (Figura 3).

O GSJ é formado por rochas isotrópicas, essencialmente monzograníticas a sienograníticas, de granulação média a grossa dominante e coloração rosada e avermelhada. Os sinais de deformação estão restritos a presença de planos de fraturas que atravessam os lajedos e o alinhamento N-S preferencial das serras. Petrograficamente foram identificadas quatro fácies: biotita monzogranito a sienogranito (BMSG), anfibólio-biotita monzogranito a sienogranito (ABMSG), biotita-anfibólio sienogranito (BASG) e biotita-anfibólio monzogranito (BAMG).

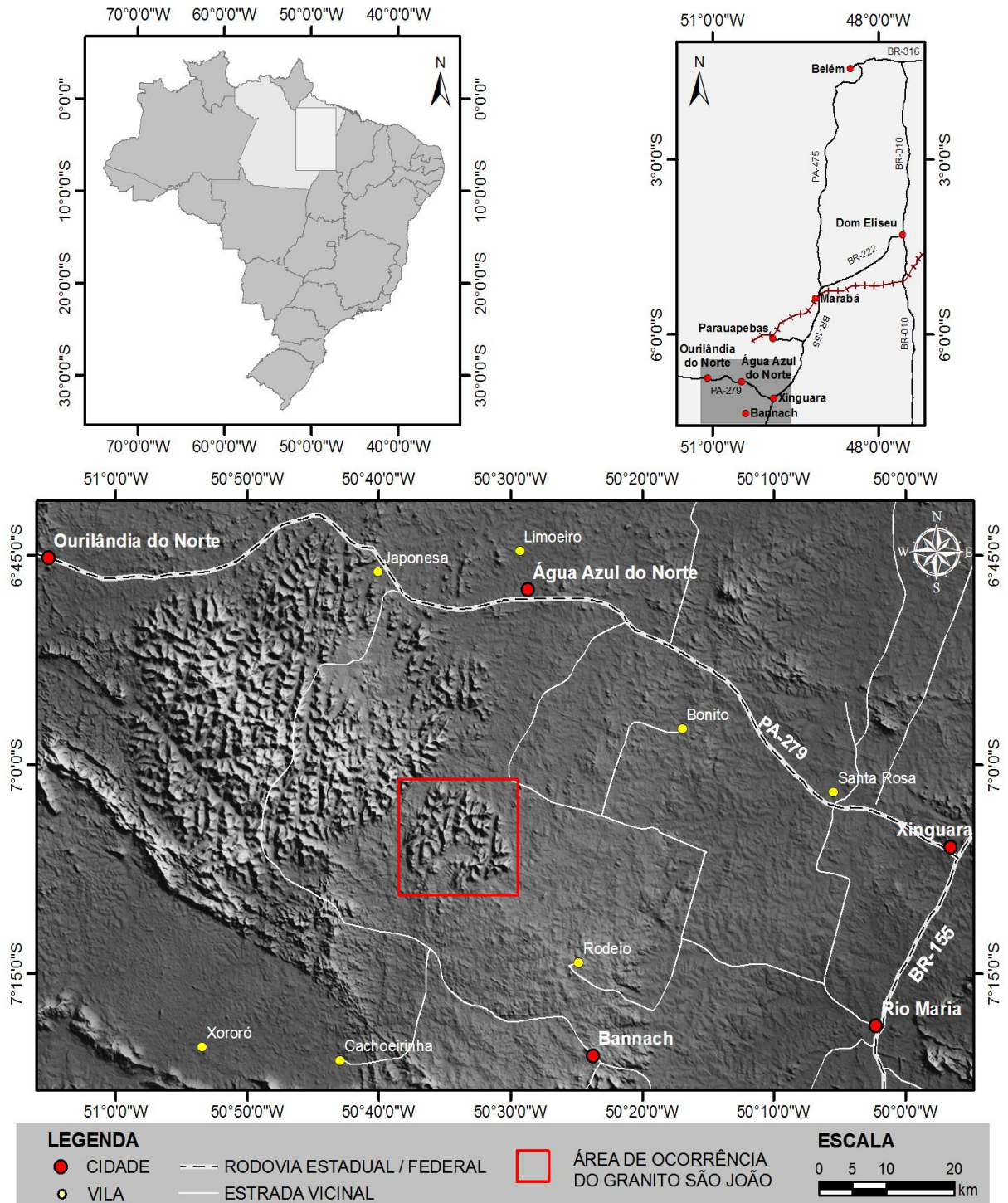


Figura 2 - Imagem SRTM mostrando localização e acesso ao Granito São João. À esquerda, batólito do Granito Seringa.

A integração dos dados de campo com imagens de sensoriamento remoto (SAR, SRTM e relevo sombreado) possibilitaram diferenciar o GSJ de suas encaixantes e estimar a distribuição geográfica de suas diferentes fácies (Figura 3). Os BMSG, distribuídos preferencialmente do centro-oeste ao extremo oeste do corpo, ocupam de 39% do mesmo; apresentam contato brusco com as rochas encaixantes situadas a oeste e com as fácies



ABMSG e BASG situadas a leste. Os ABMSG, com 36% de área, ocupam as bordas N, E e SE do granito, contornando quase por completo as rochas BASG. Ocorrem também como pequenas faixas de direção N-S, no interior dos BMSG. Os BASG perfazem 23% do corpo e afloram predominantemente em sua porção central, mostrando contato gradacional com os BAMG e brusco com BMSG e ABMSG. Os BAMG ocupam 2% do GSJ, ocorrendo de forma localizada nas porções N e NE; apresentam contato gradacional com os BASG e brusco com os ABMSG.

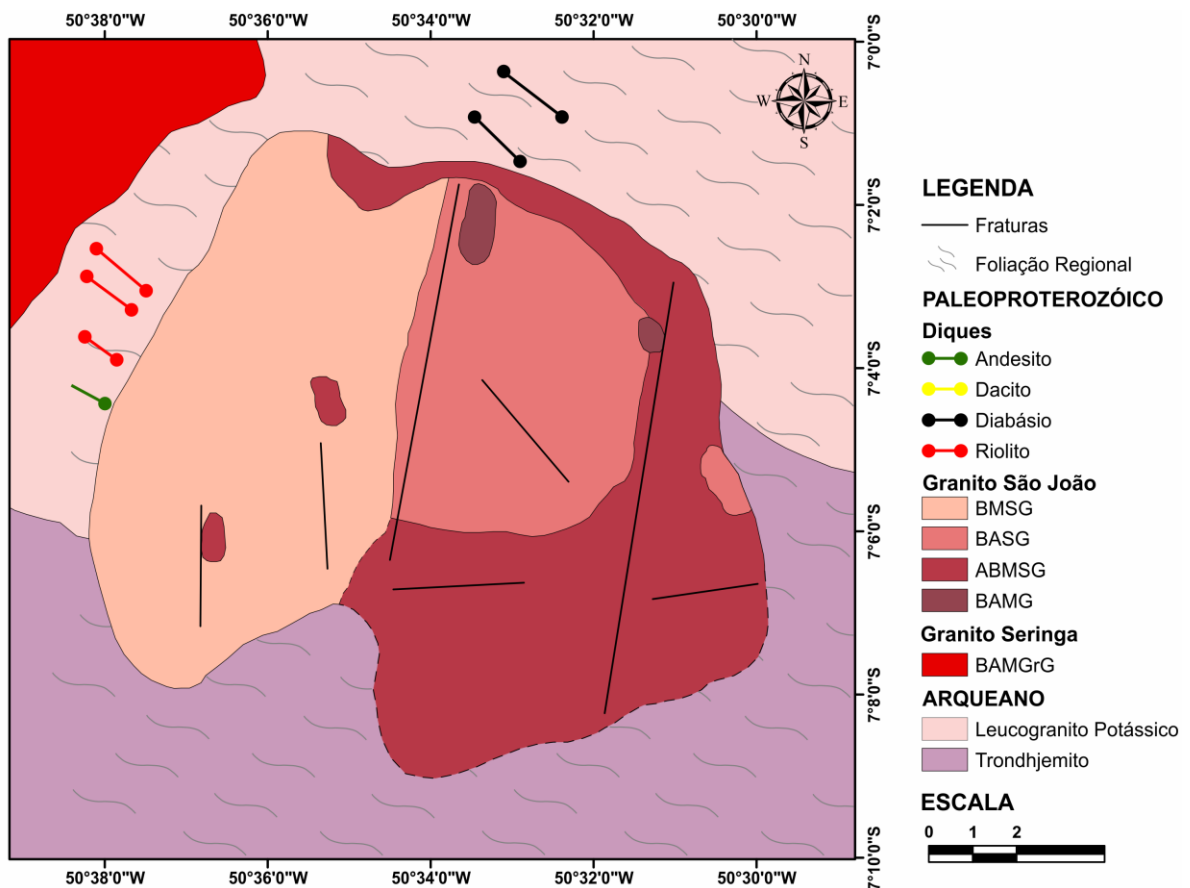


Figura 3 - Mapa geológico do Granito São João mostrando a distribuição espacial das suas diferentes fácies. BMSG: biotita monzogranito a sienogranito; ABMSG: anfíbólio-biotita monzogranito a sienogranito; BASG: biotita-anfíbólio sienogranito; BAMG: biotita-anfíbólio monzogranito.

## PETROGRAFIA

### Composição modal e classificação

A Tabela 1 mostra composições modais representativas de 64 amostras do GSJ, com base em 1800 pontos, e a Figura 4 a classificação dessas rochas nos diagramas Q-A-P e Q-A+P-M' (Streckeisen, 1976; Le Maitre *et al.*, 2002). O Anexo 3 apresenta as composições modais de todas as amostras estudadas.

Tabela 1 - Composições modais representativas das diferentes fácies do Granito São João.

Fácies Mineral (%)	BMSG				ABMSG				BASG				BAMG			
	PC-12	PCJ-39	PCJ-42	PCM-09	PC-03 B	PCJ-20B	PCJ-31A	PCM-44	PCM-19	PCM-20	PCM-54A	PCM-55	PCM-10	PCM-53	PCM-51	PCM-52
<b>Quartzo</b>	35,8	37,4	32,2	38,4	33,1	39,2	31,4	40,2	43,1	40,2	34,3	39,2	35,3	33,4	30,9	30,5
<b>K-Feldspato</b>	38,4	39,8	40,8	37,2	39,4	37,5	37,2	36,1	35,3	38,2	41,4	40,8	25,6	37,4	33,8	34,1
<b>Plagioclásio</b>	21,4	18,3	19,3	22,1	18,6	16,3	22,1	20,7	13,1	15	15	14,5	27,8	25	27,2	25,8
<b>Biotita</b>	3,8	3,4	5,4	1,1	4,4	3,6	5,1	1,3	2,2	1,8	3,1	1,4	3,8	1	2	3,1
<b>Anfibólio</b>	0	0	0	0	2,8	1,9	2,1	0,8	5,3	3,7	4,9	3	5,8	2,2	5,4	5,6
<b>Opacos</b>	0,1	0,5	1,6	0,7	0,9	0,8	1,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	0,4	0,4	0,5
<b>Apatita</b>	0,2	0,1	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1
<b>Zircão</b>	0,2	0,3	0,6	0,2	0,7	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,3	0,1	0,2
<b>Fluorita</b>	0,1	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Allanita</b>	0	0	0	0,2	0	0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0	0,1	0,1
<b>Félsicos</b>	95,6	95,5	92,3	97,7	91,1	93	90,7	97	91,5	93,4	90,7	94,5	88,7	95,8	91,9	90,4
<b>Máficos</b>	4,4	4,5	7,7	2,3	8,9	7	9,3	3	8,5	6,6	9,3	5,5	11,3	4,2	8,1	9,6
<b>Fk+Pl</b>	59,8	58,1	60,1	59,3	58	53,8	59,3	56,8	48,4	53,2	56,4	55,3	53,4	62,4	61	59,9
<b>Q+Fk</b>	74,2	77,2	73	75,6	72,5	76,7	68,6	76,3	78,4	78,4	75,7	80	60,9	70,8	64,7	64,6
<b>Anf/Bt</b>	-	-	-	-	0,6	0,5	0,4	0,6	2,4	2,1	1,6	2,1	1,5	2,2	2,7	1,8
<b>A 100%</b>																
<b>Quartzo</b>	37,4	39,2	34,9	39,3	36,3	42,2	34,6	41,4	47,1	43,0	37,8	41,5	39,8	34,9	33,6	33,7
<b>K-Feldspato</b>	40,2	41,7	44,2	38,1	43,2	40,3	41,0	37,2	38,6	40,9	45,6	43,2	28,9	39,0	36,8	37,7
<b>Plagioclásio</b>	22,4	19,2	20,9	22,6	20,4	17,5	24,4	21,3	14,3	16,1	16,5	15,3	31,3	26,1	29,6	28,5
<b>Pl/Fk</b>	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,4	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	1,1	0,7	0,8	0,8

Siglas: BMSG: biotita monzogranito a sienogranito; ABMSG: anfibólio-biotita monzogranito a sienogranito; BASG: biotita-anfibólio sienogranito; BAMG: biotita-anfibólio monzogranito. Anf= anfibólio, Bt= biotita, Fk=álcali-feldspato, Pl=plagioclásio.

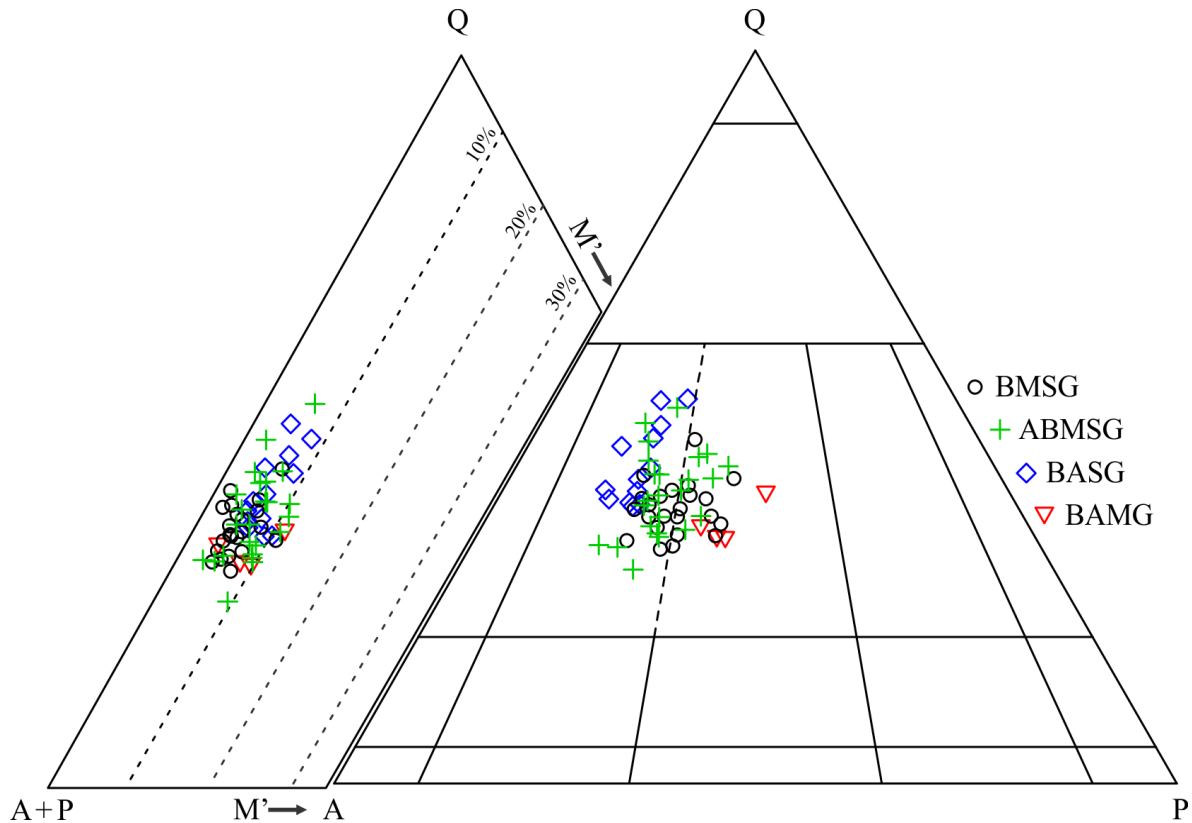


Figura 4 - Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M (Streckeisen 1976; Le Maitre *et al.*, 2002) para as fácies do GSJ. BMSG: biotita monzogranito a sienogranito; ABMSG: anfibólio-biotita monzogranito a sienogranito; BASG: biotita-anfibólio sienogranito; BAMG: biotita-anfibólio monzogranito.

A paragênese essencial das diferentes fácies do GSJ é representada por quartzo, k-feldspato e plagioclásio e as fases varietais por biotita e anfibólio. O diagrama Q-(A+P)-M' (Figura 4) mostra que as rochas do GSJ podem ser classificadas como leucocráticas ( $M \leq 10\%$ ). Os minerais acessórios mais frequentes são zircão, magnetita, ilmenita, apatita, e fluorita, e os secundários biotita (fruto de alteração do anfibólio), clorita, sericita, epidoto e argilominerais. A ausência de titanita magmática, fase acessória frequente nos granitos da Suíte Jamon (Dall'Agnol *et al.* 2005), é uma feição típica das rochas do GSJ, bem como do Granito Seringa (Paiva Jr. *et al.* 2011) e dos granitos da Suíte Serra dos Carajás (Javier *et al.* 1995; Barros *et al.* 1995).

### Aspectos Texturais

Em geral as rochas do GSJ são leucocráticas, faneríticas, heterogranulares, de granulação média a grossa, localmente fina, e coloração rosada a avermelhada. Mostram textura granular dominante, além de perítica e granofírica em algumas fácies (Figura 5A, B e C). O álcali-feldspato, do tipo microclina, é a fase dominante (exceto nos BASG, onde o quartzo é mais abundante), seguida de quartzo e plagioclásio, respectivamente. Ela ocorre

como cristais xenomórficos médios a grossos, com contatos predominantemente irregulares entre si e com os outros minerais, localmente retos com quartzo e plagioclásio. Por vezes, cristais médios encontram-se intercrescidos com o quartzo, caracterizando uma típica textura granofírica (Figura 5B). A maioria dos cristais de álcali-feldspato está fortemente substituído para argilominerais e mostra intercrescimento pertítico bem desenvolvido, chegando a formar pertitas dos tipos *string* (Figura 5C), em manchas e, localmente, mesopertitas. Algumas amostras dos BMSG apresentam albita intergranular com feições de “coroas trocadas” no contato entre cristais de álcali-feldspato (Figura 5D).

Em todas as fácies estudadas, o quartzo apresenta-se basicamente em três tipos morfológicos distintos (Figura 5 B e E): Qtz1, cristais subautomórficos a xenomórficos, de granulação média, com contatos predominantemente irregulares, por vezes retos, entre si e com os cristais de álcali-feldspato, plagioclásio e biotita. Qtz2, cristais de granulação fina inclusos em cristais de anfibólio e/ou biotita. Qtz3, finos cristais vermiculares intercrescidos com cristais de álcali-feldspato formando os intercrescimentos granofíricos.

O plagioclásio ocorre na forma de cristais subautomórficos, de hábito prismático a tabular, com maclamento albita, zoneamento normal e granulação fina a média. Mostra contatos irregulares, localmente retos, entre si e com cristais de quartzo, álcali-feldspato, biotita e anfibólio. A porção central de alguns cristais mostra-se alterada para sericita e epidoto, indicando composição mais cálcica. Em algumas rochas da fácies ABMSG é possível observar aglomerados de plagioclásio formando *synneusis* (Vance 1969; Figura 5F). Composições pelo método Michel-Levy revelaram conteúdos de An 29 a An 32 para os BMSG e BAMG, respectivamente.

A biotita ocorre na forma de lamelas subautomórficas a xenomórficas finas a médias, geralmente associadas a agregados de minerais máficos nos ABMSG, BASG e BAMG. Apresenta contatos irregulares, por vezes retos, entre si e com os demais minerais, além de inclusões de apatita, zircão, allanita e opacos. Mostra alteração nas bordas para clorita, leve corrosão e minerais opacos ao longo dos planos de clivagem. Nos ABMSG, BASG e BAMG o anfibólio do tipo hornblenda ocorre de duas formas: 1) como cristais subédricos médios a finos, alterados para biotita e associados ao plagioclásio (Figura 5G), por vezes inclusos no mesmo, evidenciando cristalização anterior ou concomitante a ele. 2) na forma de cristais subédricos a anédricos, médios a finos, com contatos retos e regulares com cristais de quartzo, onde comumente se amoldam e preenchem os espaços, sugerindo cristalização posterior ou contemporânea ao quartzo (Figura 5H). Dentre os acessórios primários, zircão, apatita,

allanita, magnetita e ilmenita são comuns em todas as fácies, ocorrendo geralmente associados ou sob a forma de inclusões nas fases máficas (biotita e/ou anfibólio). Fluorita é outro acessório comum, mas está presente apenas nos BMSG.

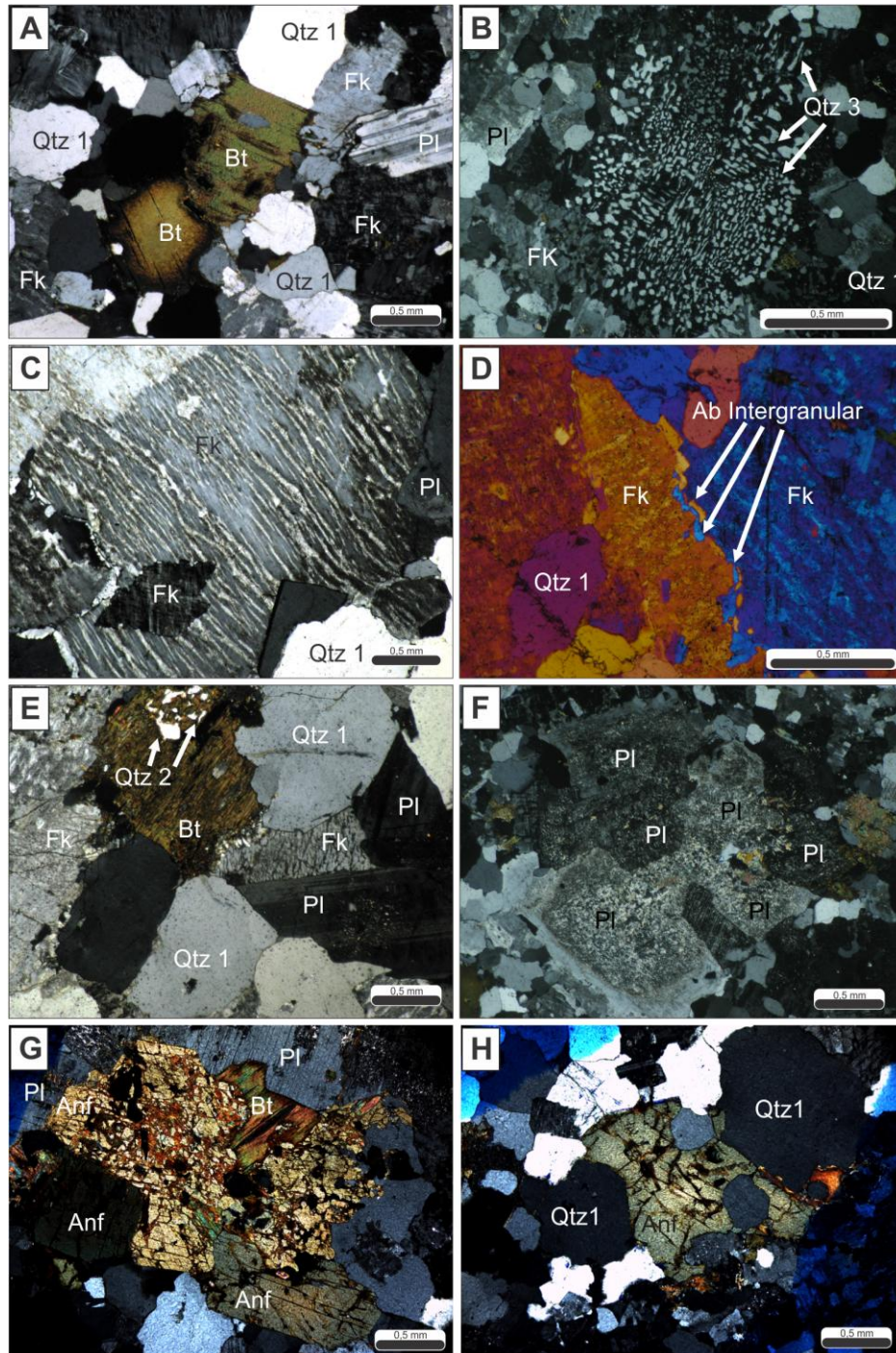


Figura 5- Textura xenomórfica (A), granofíbrica (B) e pertítica (C) presentes em todas as fácies do GSJ; (D) albita intergranular mostrando "coroas trocadas" no contato entre cristais de álcali-feldspato (Fk) no BMSG; (E) variedades morfológicas de quartzo (Qtz1 e Qtz2) e (B) Qtz3 presentes no GSJ; (F) cristais de plagioclásio em relação de *synneusis*; (G) anfibólio (anf) subédrico alterado para biotita (Bt) e associado a plagioclásio (Pl); (H) Anfibólio com inclusões e preenchendo espaços entre cristais de Qtz1.

## GEOQUÍMICA

### Procedimentos Analíticos

As análises químicas foram realizadas na ACME-Analytical Laboratories LTDA e envolveram a determinação de elementos maiores e menores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), analisados por ICP-ES (*Inductively Coupled Plasma-Emission Spectrometry*), e de elementos traço (Rb, Sr, Ba, Ga, Y, Zr, Nb, U, Th, Cr, Ni, V), incluindo os Terras Raras (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Yb e Lu), analisados por ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*) nos pacotes 4A e 4B.

### Elementos Maiores e Menores

A caracterização geoquímica do GSJ envolveu 23 amostras (Tabela 2), sendo oito dos BMSG, sete dos ABMSG, quatro dos BASG e quatro dos BAMG. A seleção das amostras levou em conta os dados petrográficos e a distribuição espacial das mesmas. Os conteúdos de  $\text{SiO}_2$  variam de 70,5 a 76,9%, média de 75,4%, com os BAMG apresentando os menores valores (70,0 a 73,0%). As variações de  $\text{SiO}_2$ , assim como dos outros elementos maiores e menores, pode ser melhor visualizada nos diagramas tipo Harker (Figura 6). A disposição das amostras nesses diagramas mostra um *trend* composicional contínuo e um pequeno “gap” em  $\text{SiO}_2$ , com BAMG ( $\text{SiO}_2 < 74\%$ ) e demais fácies ( $\text{SiO}_2 > 74\%$ ), ressaltado nos diagramas envolvendo correlações com  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{FeO}_t$ . Com o aumento de  $\text{SiO}_2$ , os teores de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  tendem a diminuir e os conteúdos de  $\text{K}_2\text{O}$  a aumentar no sentido BAMG-BASG-ABMSG-BMSG. Tal fato é coerente com as observações petrográficas que mostram que as razões plagioclásio/álcali-feldspato (Pl/Fk) e anfibólio/biotita (Anf/Bt), juntamente com os conteúdos modais de minerais ferromagnesianos, decrescem neste mesmo sentido. Os teores de  $\text{K}_2\text{O}$  variam de 3,8 a 5,3% e tendem a crescer paralelamente à  $\text{SiO}_2$ , o inverso do observado com o  $\text{Na}_2\text{O}$  (Figura 6). As razões  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  situam-se entre 1 e 2 (Figura 7A), o que caracteriza as diferentes fácies do GSJ como relativamente enriquecidas em  $\text{K}_2\text{O}$ .

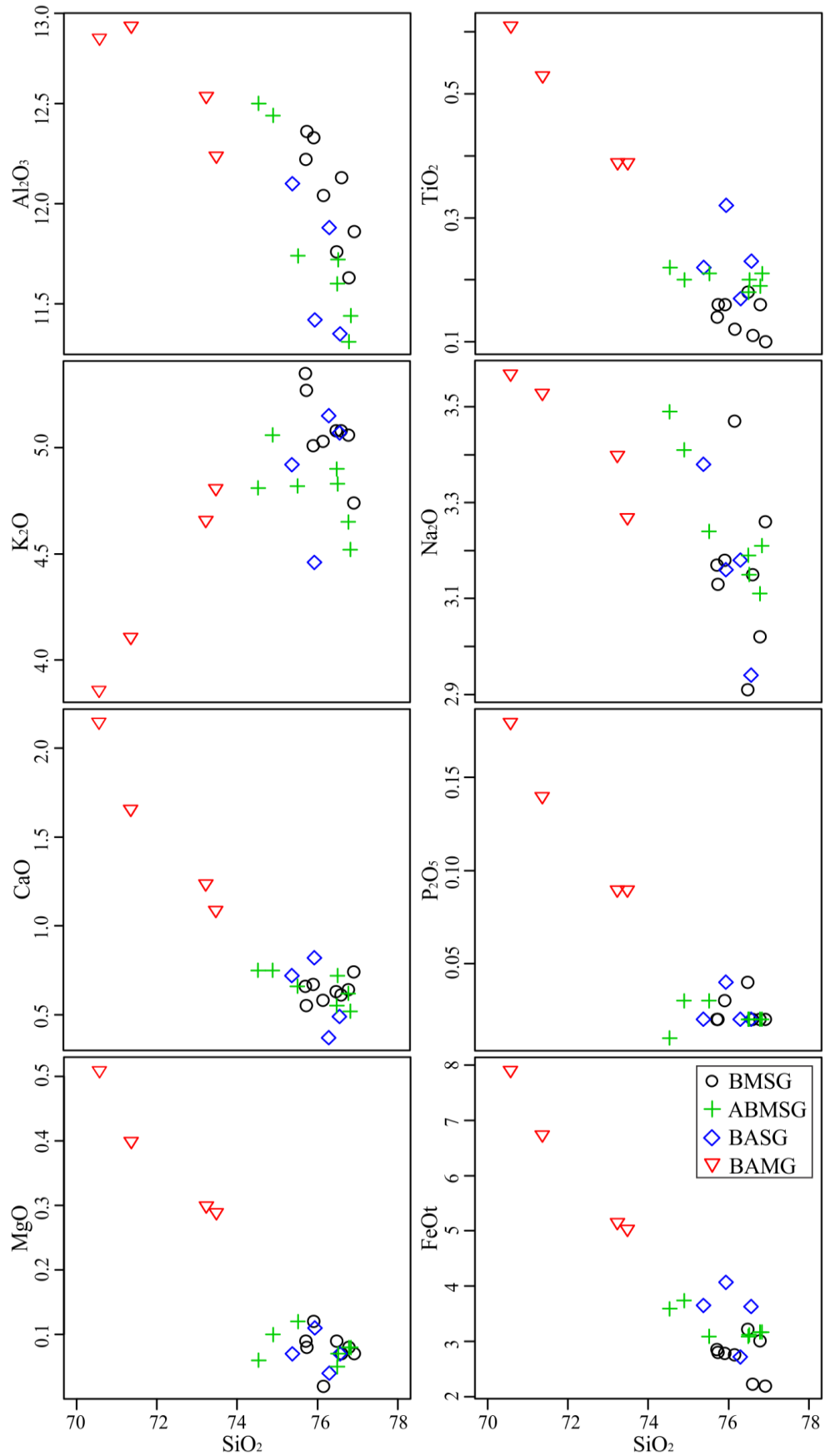


Figura 6- Diagramas de Harker para os elementos maiores e menores (% em peso) das diversas fácies do GSJ.

O GSJ possui natureza metaluminosa a fracamente peraluminosa conforme diagramas ANK *versus* ACNK (Figura 7B) e Fe+Mg+Ti *versus* Al-(K+Na+2Ca) (Figura 7C) onde, com a diminuição dos minerais máficos, as rochas passam de metaluminosas (campo IV-hornblenda + biotita) para peraluminosas (campo III- apenas biotita).

O diagrama R1 – R2 (De La Roche *et al.* 1980) mostra que as diversas fácies do GSJ (Figura 7 D) caem no campo dos granitos e tendem a se alinhar segundo o *trend* subalcalino (SUALK), afastando-se do *trend* cálcico-alcalino (CAA). Este comportamento é similar ao dos granitos proterozoicos tipo A da Província Amazônia Central (Dall’Agnol *et al.* 1994) e dos granitos Cigano e Serra dos Carajás (Barros *et al.* 1995).

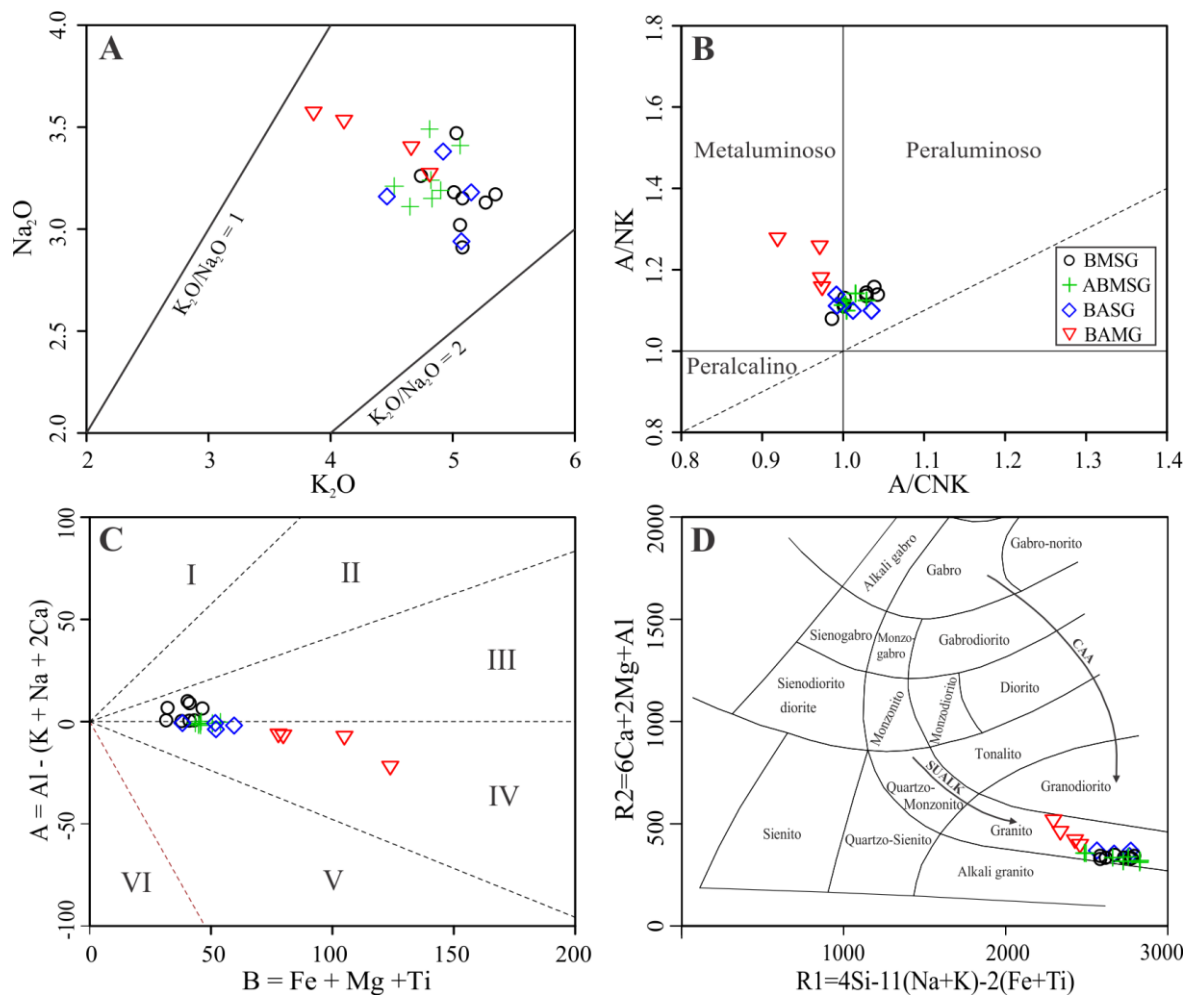


Figura 7- Diagramas geoquímicos para as diversas fácies do GSJ. A) diagrama  $\text{Na}_2\text{O}$  *versus*  $\text{K}_2\text{O}$ ; B) diagrama  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})_{\text{mol}}$  *versus*  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})_{\text{mol}}$  (Shand 1951); C) diagrama B *versus* A (Debon *et al.* 1988); Campos I – muscovita > biotita, II – biotita > muscovita, III - rochas somente com biotita, IV - rochas com biotita, anfibólio ± piroxênio, V - rochas com clinopiroxênio, VI - rochas ígneas excepcionais; D) diagrama R1 x R2 (De La Roche *et al.* 1980), indicando afinidade subalcalina para o GSJ. SUALK= subalcalino; CAA= cálcico-alcalino.



## Elementos Traço

### COMPORTAMENTO DE Rb, Sr e Ba

Os teores dos elementos traço das rochas do GSJ variam sistematicamente acompanhando a evolução das fácies petrográficas e pode auxiliar na compreensão dos processos envolvidos na mesma. Os diagramas de variação dos elementos traço (Figura 8) mostram que o Rb enriquece no sentido BAMG→BASG→ABMSG→BMSG, refletindo seu caráter incompatível, enquanto Sr e Ba diminuem e se comportam como elementos nitidamente compatíveis durante a evolução do corpo São João. Essa correlação mostra que em líquidos silicáticos o Sr se concentra preferencialmente nos plagioclásios de composições intermediárias (andesina a oligoclásio cálcico) e, subordinadamente, no feldspato potássico, indicando que o fracionamento desses dois minerais empobrece o líquido magmático em Sr (Wedepohl 1970). Por outro lado, o Ba é comum no feldspato potássico e nas micas, mas teores significativos podem ocorrer em plagioclásios intermediários (Wedepohl 1970). No GSJ a diminuição dos teores de Ba deve estar ligada ao fracionamento de feldspato potássico e biotita.

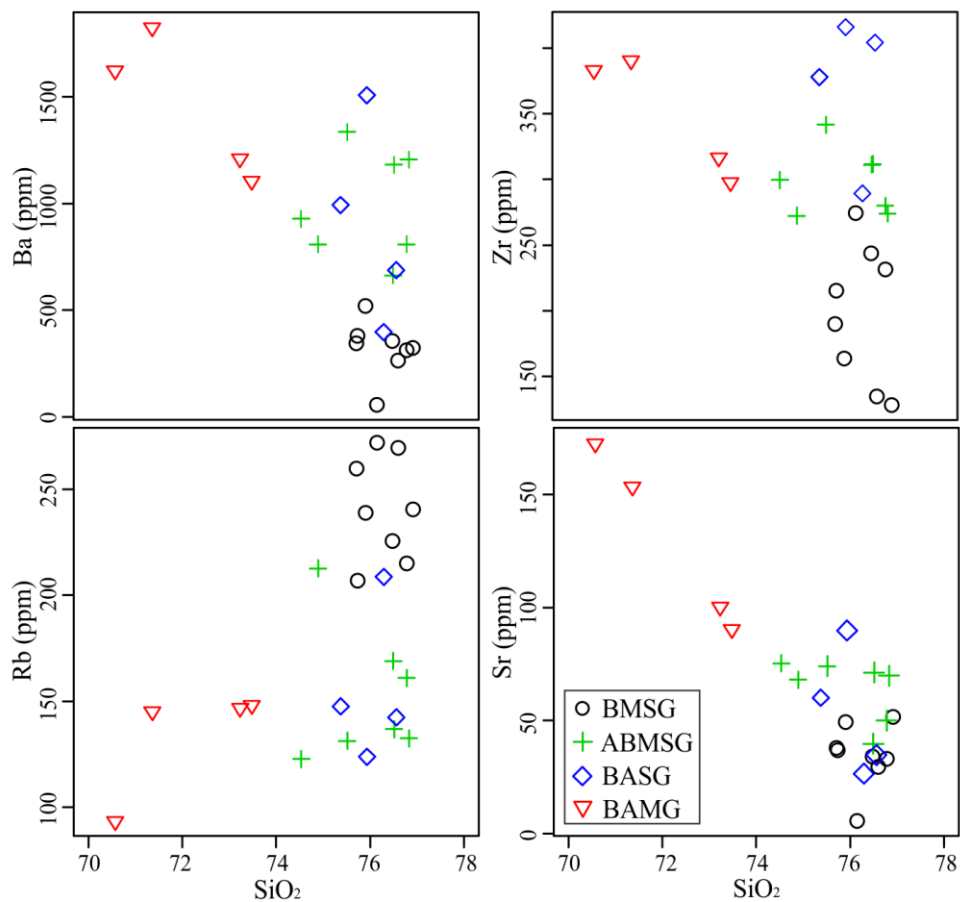


Figura 8- Diagramas de variação de elementos traço (ppm) das diversas fácies do GSJ.

## COMPORTAMENTO DE Zr, Y e Nb

O Zr mostra correlação negativa com SiO<sub>2</sub> (Figura 8), sendo mais elevado nos BAMG e BASG (416 a 289 ppm), diminuindo no sentido dos BMSG (274 a 128 ppm). A redução de Zr muito provavelmente está ligada ao fracionamento do zircão, fase mineral precoce nessas rochas. Y e Nb apresentam comportamento irregular, formando *trends* sub-horizontais (Y) a difusos (Nb) das rochas BAMG para as BMSG (não mostrados).

## COMPORTAMENTO DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS

Para o estudo dos elementos terras raras (ETR) os dados analíticos foram normalizados pelos valores condríticos de Nakamura (1974). As fácies do GSJ apresentam padrões de ETR semelhantes, com enriquecimento dos elementos terras raras leves (ETRL) em relação aos pesados (ETRP) e um leve fracionamento desses últimos, proporcionando um padrão sub-horizontal (Figura 9). As razões (La/Yb)<sub>n</sub> das fácies do GSJ são muito próximas, com valor máximo de 15,2 nos BASG e mínimo de 10,8 nos BMSG (Tabela 2). Todas as fácies exibem anomalia negativa de Eu, com razão Eu/Eu\* média de 0,51 nos BAMG e 0,17 nos BMSG.

O teor médio de ETR nos BAMG (420,3 ppm) é menor que nos BASG (509,1 ppm), porém estes últimos revelam um grau de fracionamento um pouco maior, com razão (La/Yb)<sub>n</sub> média igual a 15,2 contra 12,5 nos BAMG. A anomalia negativa média de Eu também é mais acentuada nos BASG (Eu/Eu\* = 0,26) em comparação aos BAMG (Eu/Eu\* = 0,51). Os ABMSG apresentam valores moderados de ETR (414,6 ppm) e padrão de fracionamento similar ao dos BAMG e BASG, diferindo destes, no entanto, por apresentar anomalia negativa média de Eu mais acentuada (Eu/Eu\* = 0,27) e fracionamento dos ETRL ligeiramente menos acentuado ((La/Sm)<sub>n</sub> = 5,2). Por outro lado, os BMSG apresentam os menores conteúdos de ETR (407,8 ppm) e a mais pronunciada anomalia negativa de Eu (Eu/Eu\* = 0,17) entre todas as fácies do GSJ, sugerindo que o líquido formador dessa fácies sofreu fracionamento expressivo de feldspatos. A pequena variação observada nas anomalias negativas de Eu sugere que as diferentes fácies derivaram, provavelmente, de um mesmo magma através de processo dominante de cristalização fracionada.

De modo geral, as diversas fácies do GSJ mostram teores mais elevados de ETRL em relação aos ETRP, um padrão sub-horizontalizado desses últimos, além de anomalias negativas de Eu mais acentuadas no sentido BAMG→BASG→ABMSG→BMSG. O padrão de fracionamento apresentado pelas fácies do GSJ mostra boa correlação com aquele dos granitos da suíte Jamon (Dall'Agnol *et al.* 2005), embora com menor fracionamento dos

ETRP, e difere daquele apresentado pelos granitos estaníferos da suíte Velho Guilherme (Teixeira *et al.* 2005), os quais apresentam anomalias negativas de Eu bem mais pronunciadas ( $Eu/Eu^* = 0,33$  a  $0,006$ ) e valores sistematicamente baixos da razão  $(Gd/Lu)_n$  (0,90 a 0,38), indicando enriquecimento dos ETRP (p.ex. granitos Velho Guilherme, Mocambo, Ubim/Sul).

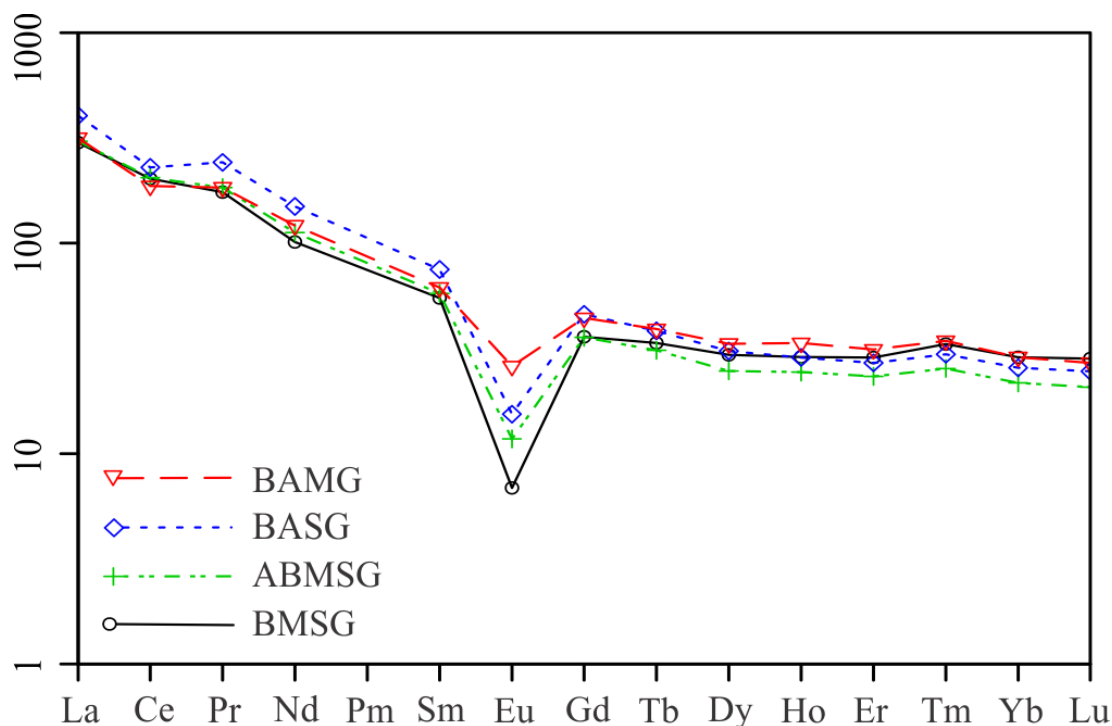


Figura 9- Média dos padrões de distribuição dos ETR para as amostras representativas das diversas fácies do GSJ.

### TIPOLOGIA E AMBIENTE TECTÔNICO

O GSJ mostra características compatíveis tanto com granitos tipo I (Chappel & White 1974) quanto com granitos tipo A (Whalen *et al.* 1987). No primeiro caso, destacam-se a presença de anfibólio e biotita, a tendência subalcalina e a assinatura metaluminosa a fracamente peraluminosa. Além disso, apresenta valores moderados de suscetibilidade magnética ( $1,26 \times 10^{-4}$  a  $5,95 \times 10^{-3}$ ), conteúdos modais de opacos superiores a 0,1 % e presença de magnetita em todas as fácies, o que permite classificá-lo, de acordo com Ishihara (1981), como granito da série magnetita. Entretanto, seus conteúdos elevados de  $SiO_2$  (70,5 a 76,9%),  $K_2O+Na_2O$ , Zr, Nb, Y e Ga e suas altas razões Ga/Al o colocam como granito tipo A, embora  $TiO_2$ , CaO, MgO, Sr e Ba sejam relativamente elevados quando comparados aos de granitos tipo A do cinturão australiano (Whalen *et al.* 1987, King *et al.* 1997).

Nos diagramas Zr versus Ga/Al e FeOt/MgO versus Zr+Nb+Ce+Y (Whalen *et al.* 1987), o GSJ plota no campo dos granitos tipo A (Figuras 10A, B), enquanto no diagrama Rb versus Y+Nb (Pearce *et al.* 1984) o GSJ mostra afinidades geoquímicas com granitos intraplaca do tipo A (Figura 10C). No diagrama FeOt/(FeOt+MgO) versus  $SiO_2$ , proposto por

Frost *et al.* (2001) para classificar granitoides com base nas condições de oxidação, as amostras do GSJ apresentam razões sempre  $>0,9$  e incidem no campo dos granitos ferrosos, mostrando comportamento semelhante ao de granitos tipo A (Figura 10D).

Granitos tipo A podem ser divididos geoquimicamente nos subtipos A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub> (Eby 1992). O tipo A<sub>1</sub> corresponderia aos diferenciados magmáticos derivados de uma fonte semelhante a basaltos de ilhas oceânicas (OIB), porém colocados em ambiente de *rift* continental ou de magmatismo intraplacas (*hot spot*). O tipo A<sub>2</sub> representaria magmas derivados parcial ou totalmente de fontes da crosta continental ou de magmatismo de arco de ilha (IAB). O GSJ se enquadra no subtipo A<sub>2</sub> (Figura 11), o que sugere fonte crustal para o mesmo. Além disso, as rochas do GSJ possuem razão Y/Nb entre 2,5 e 9,1, indicativas de rochas derivadas de fonte quimicamente similar a basaltos de margem continental ou de arco de ilhas (Eby 1992).

Dall'Agnol & Oliveira (2007) propuseram diagramas geoquímicos envolvendo óxidos de elementos maiores para distinguir granitos tipo A de granitos cálcico-alcálicos, bem como granitos oxidados de granitos reduzidos. Nos diagramas  $\text{CaO}+\text{Al}_2\text{O}_3$  *versus*  $\text{CaO}/(\text{FeO}_t+\text{MgO}+\text{TiO}_2)$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  *versus*  $\text{CaO}/(\text{FeO}_t+\text{MgO}+\text{TiO}_2)$  o GSJ se afasta do campo dos granitos cálcico-alcálicos e plota predominantemente no campo dos granitos tipo A (Figuras 12A e B). Nos diagramas  $\text{Al}_2\text{O}_3$  *versus*  $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO})$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O})$  *versus*  $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO})$  as amostras do GSJ incidem inteiramente no campo dos granitos tipo A reduzidos, com os BAMG ocorrendo no limite com o campo de granitos oxidados (Figuras 12C e D).

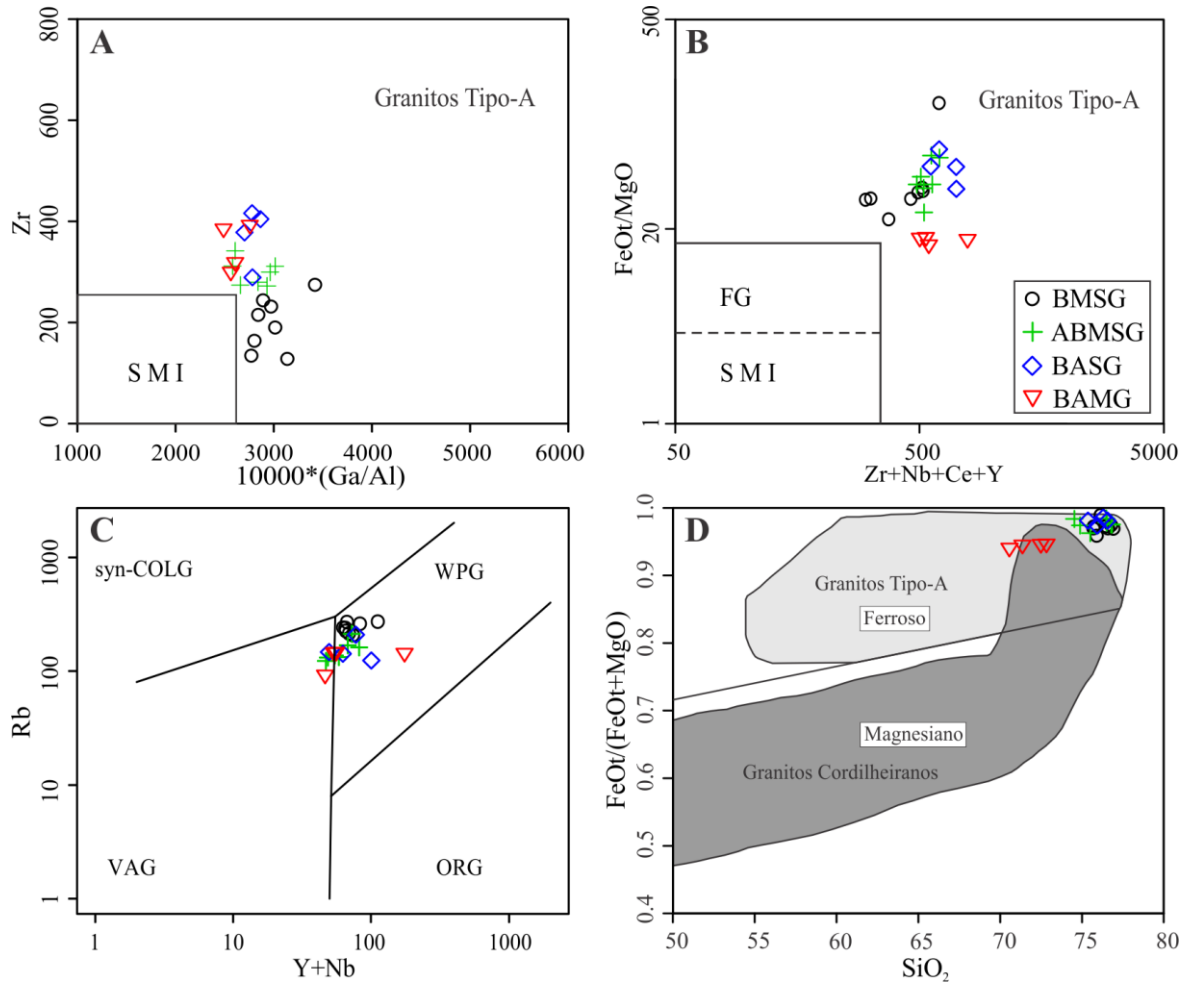


Figura 10- Diagramas geoquímicos para as rochas do GSJ. A) Zr versus Ga/Al (Whalen *et al.* 1987); B)  $FeO_t/MgO$  versus  $Zr+Nb+Ce+Y$  (Whalen *et al.*, 1987). M, I e S: média dos granitos tipo I, M e S; FG: granitos félsicos fracionados. C)  $Y+Nb$  versus Rb (Pearce *et al.* 1984). syn-COLG: granitoides sin-colisionais, VAG: granitoides de arcos vulcânicos, ORG: granitoides de cadeias oceânicas e WPG: Granitoides intraplacas; D)  $FeO_t/(FeO_t+MgO)$  versus  $SiO_2$  (Frost *et al.* 2001).

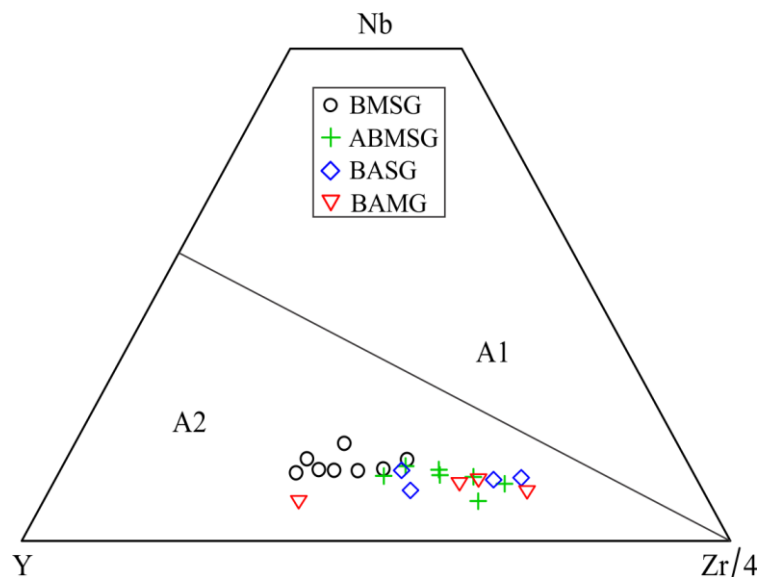


Figura 11- Diagrama Y-Nb-Zr/4 (Eby 1992) para as rochas do GSJ.

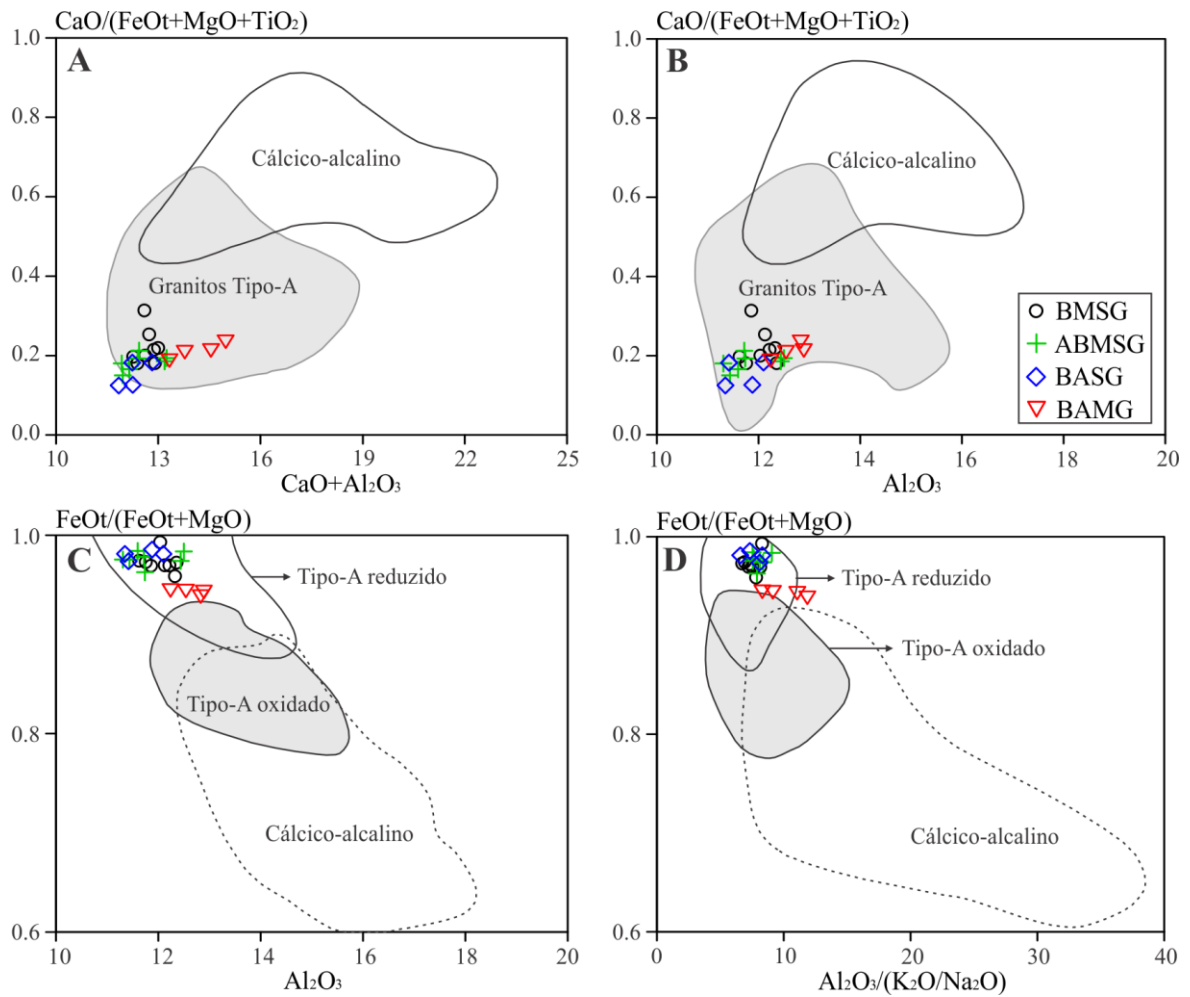


Figura 12- Diagramas geoquímicos (Dall'Agnol & Oliveira 2007) mostrando os campos composicionais de granitos tipo A e cálcico-alcálicos (A e B) e granitos tipo A oxidados/reduzidos e cálcico-alcálicos (C e D).

Tabela 2- Análises químicas para as diversas fácies do Granito São João.

(Continua)

Fácies	BMSG								ABMSG			
	Amostra	PC-13	PC-16B	PCJ-39	PCJ-46	PC-18	PC-21	PCJ-20C	PCJ-45B	PC-02A	PCJ-31A	PCM-21
SiO <sub>2</sub> (%peso)	76,48	76,78	76,15	75,71	76,60	75,91	75,73	76,92	74,53	76,49	74,89	76,83
TiO <sub>2</sub>	0,18	0,16	0,12	0,14	0,11	0,16	0,16	0,10	0,22	0,18	0,20	0,21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,76	11,63	12,04	12,22	12,13	12,33	12,36	11,86	12,50	11,60	12,44	11,44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,98	1,91	1,81	1,81	1,45	1,76	1,84	1,37	2,74	2,14	2,31	2,13
FeO	1,24	1,10	0,95	1,04	0,78	1,02	0,96	0,82	0,85	0,95	1,43	1,04
MnO	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	<0,01	0,03	0,02	0,04	0,04
MgO	0,09	0,08	0,02	0,09	0,07	0,12	0,08	0,07	0,06	0,05	0,10	0,08
CaO	0,63	0,64	0,58	0,66	0,61	0,67	0,55	0,74	0,75	0,55	0,75	0,52
Na <sub>2</sub> O	2,91	3,02	3,47	3,17	3,15	3,18	3,13	3,26	3,49	3,19	3,41	3,21
K <sub>2</sub> O	5,08	5,06	5,03	5,35	5,08	5,01	5,27	4,74	4,81	4,90	5,06	4,52
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	0,02	<0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02
LOI	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,6	0,7	0,6	0,8
Total	101,11	101,02	100,89	100,93	100,72	100,92	100,82	100,7	100,59	100,79	101,26	100,84
Ba (ppm)	356	313	57	344	264	520	379	323	928	663	808	1206
Rb	225,5	214,9	271,7	259,7	269,5	238,9	206,9	240,3	122,7	169,0	212,5	132,5
Sr	34,1	33,1	5,7	37,8	29,5	49,4	36,8	51,5	75,3	39,7	68,1	69,8
Zr	243,8	231,3	274,5	189,9	134,3	163,6	215,1	128,1	299,7	311,2	272,2	274,0
Nb	15,8	14,1	27,1	14,3	10,5	11,5	13,8	11,9	7,5	16,0	16,2	12,9
Y	49,8	55,1	84,8	68,5	56,2	53,4	60,3	50,4	39,7	51,9	56,3	45,6
Ga	18,0	18,3	21,8	19,5	17,8	18,3	18,6	19,7	19,6	18,5	19,3	16,1
Th	28,5	28,5	29,1	30,3	32,2	24,4	28,0	24,3	16,5	14,8	25,5	14,8
U	5,8	6,7	8,7	6,7	8,9	7,1	5,9	6,3	3,1	3,8	8,2	3,5
V	28	24	21	20	20	21	19	18	14	12	12	12
La	115,4	121,5	112,2	101,8	69,0	83,5	135,3	54,4	157,5	92,3	95,2	92,7
Ce	208,3	213,1	215,4	188,7	114,9	145,9	204,7	110,7	257,0	179,6	175,7	155,2
Pr	21,87	23,47	24,36	20,51	13,96	15,60	25,27	11,51	31,32	19,51	19,63	18,49
Nd	73,8	72,1	82,3	68,1	47,0	48,8	82,5	36,3	109,3	63,1	65,6	65,2
Sm	10,21	12,35	15,60	12,29	8,38	8,33	14,41	7,58	15,82	11,99	11,38	10,83
Eu	0,58	0,55	0,23	0,54	0,48	0,75	0,63	0,48	0,84	0,70	0,76	1,07
Gd	8,83	10,96	14,57	11,01	7,84	7,77	11,27	7,10	10,56	10,37	10,23	9,20
Tb	1,22	1,63	2,35	1,86	1,32	1,28	1,76	1,20	1,47	1,60	1,52	1,35
Dy	7,61	10,81	14,39	12,02	8,99	7,91	10,42	8,76	8,06	9,59	9,36	8,22
Ho	1,52	2,03	2,79	2,42	1,85	1,71	2,09	1,70	1,44	2,00	1,88	1,53
Er	4,99	6,15	8,71	7,94	5,95	5,90	6,40	5,42	4,11	6,37	5,77	4,87
Tm	0,79	0,89	1,37	1,20	0,95	0,89	0,91	0,95	0,58	0,87	0,89	0,67
Yb	4,79	5,90	8,29	7,13	6,44	5,91	5,60	6,41	3,83	5,29	5,66	4,39
Lu	0,83	0,88	1,25	1,08	1,00	0,86	0,88	0,91	0,53	0,79	0,82	0,67
FeO/(FeO <sub>1</sub> +MgO)	0,97	0,97	0,99	0,97	0,97	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,97	0,98
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	1,75	1,68	1,45	1,69	1,61	1,58	1,68	1,45	1,38	1,54	1,48	1,41
A/CNK	1,03	1,00	0,99	1,00	1,03	1,04	1,04	1,00	1,02	1,00	1,00	1,03
(La/Yb) <sub>n</sub>	16,06	13,73	9,02	9,52	7,14	9,42	16,11	5,66	27,42	11,63	11,21	14,08
(La/Sm) <sub>n</sub>	6,95	6,05	4,42	5,1	5,07	6,17	5,78	4,41	6,12	4,74	5,15	5,27
Eu/Eu*	0,19	0,15	0,05	0,14	0,18	0,29	0,15	0,2	0,2	0,19	0,22	0,33

Fácies	ABMSG			BASG				BAMG			
	PC-03B	PCJ-21	PCM-32	PCM-19	PCM-28	PCM-31	PCM-13	PCM-10	PCM-51	PCM-52	PCM-53
<b>SiO<sub>2</sub> (% peso)</b>	76,51	76,78	75,51	75,37	75,93	76,56	76,29	70,57	71,36	73,23	73,48
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,20	0,19	0,21	0,22	0,32	0,23	0,17	0,61	0,53	0,39	0,39
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	11,72	11,31	11,74	12,10	11,42	11,35	11,88	12,83	12,89	12,54	12,24
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	2,04	2,14	2,14	2,38	2,81	2,45	2,01	4,73	4,01	3,16	3,19
<b>FeO</b>	1,08	1,03	0,95	1,27	1,26	1,18	0,71	3,18	2,74	2,00	1,85
<b>MnO</b>	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02	0,07	0,06	0,05	0,05
<b>MgO</b>	0,07	0,08	0,12	0,07	0,11	0,07	0,04	0,51	0,40	0,30	0,29
<b>CaO</b>	0,72	0,62	0,66	0,72	0,82	0,49	0,37	2,15	1,66	1,24	1,09
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	3,15	3,11	3,24	3,38	3,16	2,94	3,18	3,57	3,53	3,40	3,27
<b>K<sub>2</sub>O</b>	4,83	4,65	4,82	4,92	4,46	5,07	5,15	3,86	4,11	4,66	4,81
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02	0,18	0,14	0,09	0,09
<b>LOI</b>	0,5	0,9	1,3	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,9	0,7	0,9
<b>Total</b>	100,87	100,86	100,75	101,09	100,97	100,99	100,54	102,96	102,33	101,76	101,65
<b>Ba (ppm)</b>	1181	808	1335	993	1507	687	398	1624	1826	1213	1108
<b>Rb</b>	136,8	160,9	131,3	147,5	123,8	142,4	208,7	93,7	145,3	147,0	148,4
<b>Sr</b>	71,2	50,0	74,1	60,1	89,8	34,8	26,5	172,8	153,6	100,5	90,6
<b>Zr</b>	311,8	279,9	341,7	378,1	416,2	404,4	289,3	383,6	391,0	317,1	298,3
<b>Nb</b>	13,1	15,2	11,8	14,0	15,9	15,4	16,3	11,2	17,3	12,9	11,9
<b>Y</b>	41,5	66,7	36,8	35,5	84,2	46,9	61,5	35,2	157,1	40,8	43,9
<b>Ga</b>	16,0	17,0	16,2	17,3	16,8	17,2	17,5	16,9	18,8	17,3	16,6
<b>Th</b>	12,5	17,2	12,7	12,1	12,5	14,9	20,6	10,4	14,1	13,7	16,2
<b>U</b>	3,4	4,1	3,2	3,0	3,1	2,8	4,8	2,1	4,7	2,7	2,1
<b>V</b>	12	12	8	10	11	<8	<8	26	17	14	14
<b>La</b>	80,4	113,9	71,2	71,1	225,8	108,7	126,3	63,5	159,4	71,5	122,7
<b>Ce</b>	140,2	201,8	131,4	128,3	190,7	239,3	234,2	116,4	221,5	131,3	177,1
<b>Pr</b>	16,77	23,17	14,89	14,48	42,72	24,66	26,49	13,31	31,77	14,99	22,19
<b>Nd</b>	58,1	81,0	53,2	48,5	151,7	83,5	92,7	47,6	128,4	53,2	76,4
<b>Sm</b>	9,64	13,71	8,58	8,82	23,43	13,94	14,71	8,00	21,77	9,40	10,79
<b>Eu</b>	1,05	0,91	1,01	0,92	2,54	0,83	0,45	1,80	3,72	1,22	1,27
<b>Gd</b>	8,37	12,52	7,61	7,94	18,85	10,88	13,03	7,26	23,87	8,05	9,47
<b>Tb</b>	1,28	1,87	1,09	1,17	2,57	1,59	1,87	1,08	3,66	1,23	1,37
<b>Dy</b>	7,12	10,56	6,45	7,24	14,42	9,54	10,98	6,55	23,40	7,56	8,12
<b>Ho</b>	1,43	2,33	1,35	1,32	2,70	1,73	2,27	1,34	5,01	1,51	1,52
<b>Er</b>	4,52	7,03	3,96	4,35	7,89	5,39	6,68	3,98	15,13	4,13	4,85
<b>Tm</b>	0,67	1,02	0,63	0,63	1,14	0,81	0,98	0,61	2,15	0,66	0,70
<b>Yb</b>	4,44	5,96	3,80	3,86	7,26	4,81	6,56	4,09	13,07	3,91	4,19
<b>Lu</b>	0,63	0,90	0,58	0,62	1,01	0,77	0,95	0,54	1,86	0,62	0,65
<b>FeO/(FeO<sub>1</sub>+MgO)</b>	0,98	0,98	0,96	0,98	0,97	0,98	0,99	0,94	0,94	0,95	0,95
<b>K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O</b>	1,53	1,50	1,49	1,46	1,41	1,72	1,62	1,08	1,16	1,37	1,47
<b>A/CNK</b>	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,01	1,04	0,92	0,97	0,97	0,97
<b>(La/Yb)<sub>n</sub></b>	12,07	12,74	12,49	12,28	20,73	15,07	12,84	10,35	8,13	12,19	19,52
<b>(La/Sm)<sub>n</sub></b>	5,13	5,11	5,1	4,96	5,93	4,8	5,28	4,88	4,5	4,68	7
<b>Eu/Eu*</b>	0,36	0,21	0,38	0,34	0,37	0,21	0,1	0,73	0,5	0,43	0,39

Siglas: BMSG: biotita monzogranito/sienogranito; ABMG: anfibólio-biotita monzogranito/sienogranito; BASG: biotita-anfibólio sienogranito; BAMG: biotita-anfibólio monzogranito.



## SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA

Foram realizadas medidas de suscetibilidade magnética (SM) em 52 amostras do GSJ, onde os valores variam de  $1,26 \times 10^{-4}$  a  $5,95 \times 10^{-3}$ , com média de  $1,80 \times 10^{-3}$ . Os dados de SM foram avaliados com base em histograma e polígono de frequência (Figuras 13A e B) e revelaram uma distribuição claramente bimodal do conjunto de amostras do corpo, observando-se dois picos distintos nos valores de log -3,0 e -2,40, com a maior parte das amostras (48%) concentrando-se entre log de -3,0 a -2,80. A utilização dos dados de SM em diagramas requer escala logarítmica, uma vez que a partir dos dados logaritmados há uma melhor estabilização da variância (Larsson 1977) e seus valores de SM são expressos em unidades de volume (SIv). A distribuição dos valores de SM logaritmados permitiu elaborar o gráfico de probabilidade normal (Figura 14C), o qual permitiu diferenciar seis populações magnéticas denominadas A, B, C, D, E e F com diferentes características magnéticas, as quais foram definidas a partir de segmentos de reta com diferentes inclinações que unem grupos de intervalos alinhados segundo esses mesmos segmentos, partindo dos menores para os maiores valores de SM.

### Relação entre SM e fácies petrográficas do GSJ

Apesar de algumas fácies mostrarem uma variação significativa nos dados de SM, é possível estabelecer uma correlação satisfatória entre estes e a provável evolução magmática do GSJ. No histograma de frequência (Figura 13A) os maiores valores de SM estão relacionados com as fácies que apresentam conteúdos modais mais expressivos de minerais opacos (BAMG e BASG), enquanto as outras duas (ABMSG e BMSG) tendem a apresentar valores de SM mais baixos.

As populações A e B são formadas exclusivamente por rochas da fácies BMSG e correspondem, respectivamente, por 5,7% e 9,6% do total de amostras analisadas. Tais populações apresentam os menores valores de SM do conjunto estudado (Tabela 3), com a população A variando de  $1,260 \times 10^{-4}$  a  $1,587 \times 10^{-4}$ , com média de  $1,400 \times 10^{-4}$ , e a população B de  $2,907 \times 10^{-4}$  a  $3,730 \times 10^{-4}$ , com média de  $3,253 \times 10^{-4}$ .

A população C, correspondendo a 15,3% do total analisado, engloba as amostras com valores intermediários de SM, os quais variam de  $5,253 \times 10^{-4}$  a  $9,733 \times 10^{-4}$ , com média de  $7,675 \times 10^{-4}$ . É formada principalmente por rochas da fácies ABMSG que se concentram caracteristicamente na parte superior da população. Rochas da fácies BMSG ocorrem de maneira subordinada ao longo desta população.

A população D representa 44,23% das amostras estudadas com valores de SM que variam de  $1,039 \times 10^{-3}$  a  $2,500 \times 10^{-3}$ , com média de  $1,724 \times 10^{-3}$ . Esta população é bastante

heterogênea em termos de litotipos, sendo formada principalmente por rochas das fácies BASG e ABMSG e, em menor número, da fácies BMSG.

A população E, correspondendo a 15,3% das medidas efetuadas, mostra pequena variação de SM, com valores entre  $3,147 \times 10^{-3}$  e  $3,657 \times 10^{-3}$  (média de  $3,408 \times 10^{-3}$ ). É uma população igualmente heterogênea e, assim como a população D, engloba rochas das fácies BASG, BMSG e ABMSG.

A população F reúne 9,6% do total de medidas realizadas e corresponde às amostras de maior SM do GSJ. É formada predominantemente por rochas da fácies mais enriquecida em minerais máfico (BAMG) e uma rocha da fácies BASG. Os valores SM apresentam variação limitada entre  $4,217 \times 10^{-3}$  e  $5,950 \times 10^{-3}$ , com média de  $4,808 \times 10^{-3}$ .

### **Relação entre SM e composição química**

Os valores de SM do GSJ mostram uma correlação positiva com  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , FeO, MgO, CaO (Figuras 14A, B, C, D), apesar de algumas superposições e um pequeno *gap* composicional entre as rochas das fácies BAMG e BASG. Os BAMG e BASG são as rochas mais precoces e enriquecidas naqueles óxidos, assumindo-se a cristalização fracionada como principal processo de evolução do GSJ. Por sua vez, os ABMSG e BMSG, mais evoluídos, possuem valores de SM comparativamente mais baixos. Esta característica é reforçada pela correlação negativa entre os valores de SM *versus*  $\text{SiO}_2$  e  $\text{K}_2\text{O}$  (Figuras 14E e F), mostrando que a diminuição nos valores de SM se dá paralelamente à evolução magmática do corpo. Em linhas gerais, as rochas do GSJ apresentam valores de SM que aumentam no sentido BMSG→ABMSG→BASG→BAMG, ou seja, dos termos mais evoluídos para os menos evoluídos.

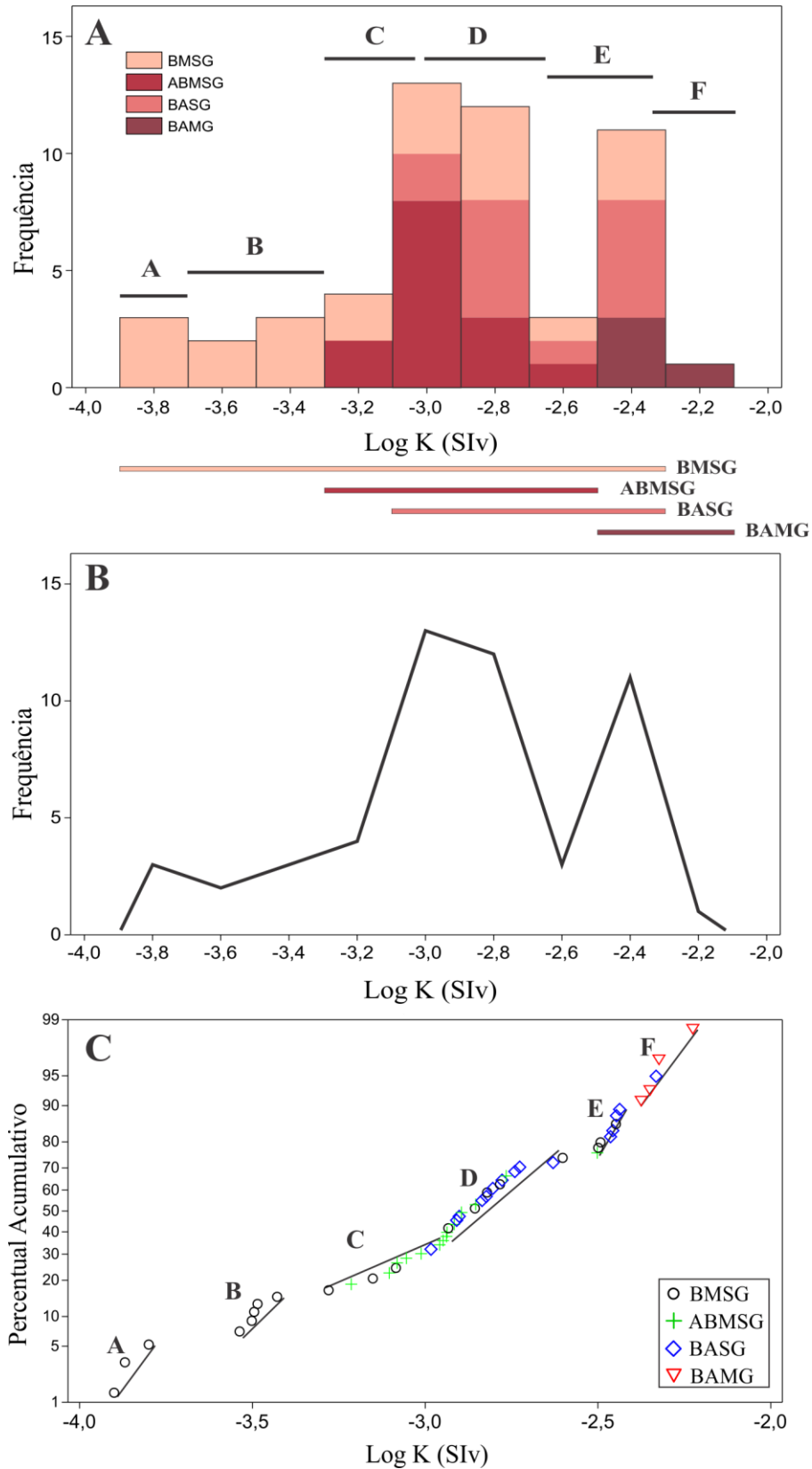


Figura 13- Gráficos de SM do GSJ. A) histograma de frequência mostrando a distribuição das diversas fácies do GSJ. B) polígono de frequência revelando dois picos principais. C) gráfico de probabilidade normal. Os segmentos indicam os valores de SM das seis populações magnéticas.

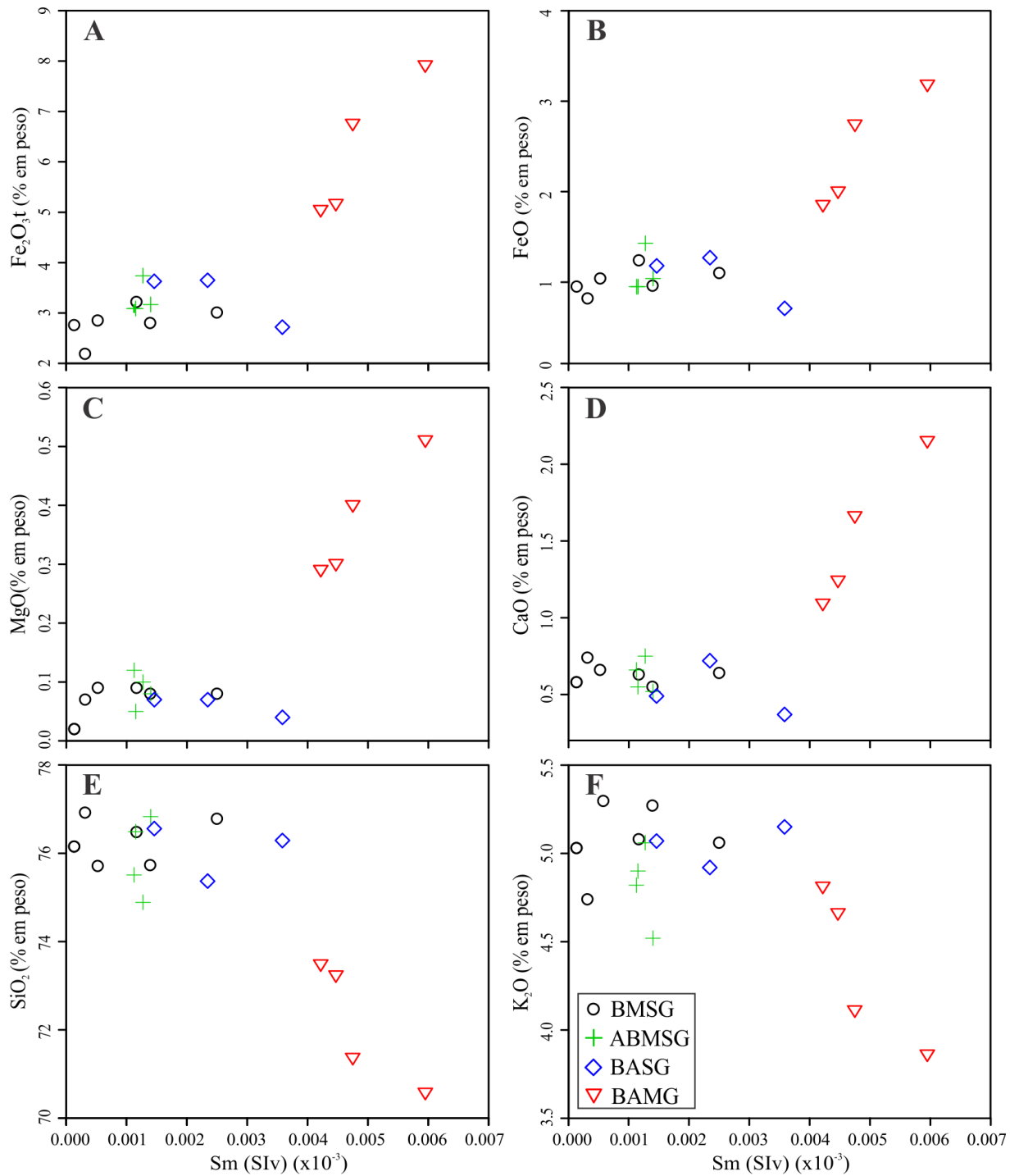


Figura 14- Diagramas mostrando as relações entre valores de SM e o conteúdo de: A)  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{t}$ . B) FeO. C) MgO. D) CaO. E)  $\text{SiO}_2$  e F)  $\text{K}_2\text{O}$ .

Tabela 3- Dados de SM do Granito São João. K - valor médio de SM em volume de cada amostra no sistema internacional.

População	Amostra	K (SIv)	Log K (SIv)	Fácies	
F	PCM-10	$5,950 \times 10^{-3}$	-2,22548	BAMG	
	PCM-51	$4,747 \times 10^{-3}$	-2,32361	BAMG	
	PCM-27	$4,657 \times 10^{-3}$	-2,33192	BASG	
	PCM-52	$4,470 \times 10^{-3}$	-2,34969	BAMG	
	PCM-53	$4,217 \times 10^{-3}$	-2,37503	BAMG	
E	PCM-54 A	$3,657 \times 10^{-3}$	-2,43691	BASG	
	PCM-13	$3,583 \times 10^{-3}$	-2,44571	BASG	
	PCJ-38	$3,563 \times 10^{-3}$	-2,44814	BMSG	
	PCM-55	$3,490 \times 10^{-3}$	-2,45717	BASG	
	PCM-54 B	$3,437 \times 10^{-3}$	-2,46386	BASG	
	PCM-24	$3,217 \times 10^{-3}$	-2,49259	BMSG	
	PCM-09	$3,167 \times 10^{-3}$	-2,49940	BMSG	
	PCM-46 A	$3,147 \times 10^{-3}$	-2,50215	ABSMG	
D	PC-16 B	$2,500 \times 10^{-3}$	-2,60206	BMSG	
	PCM-19	$2,343 \times 10^{-3}$	-2,63017	BASG	
	PCJ-37 A	$1,877 \times 10^{-3}$	-2,72661	BMSG	
	PCJ-42	$1,817 \times 10^{-3}$	-2,74072	BMSG	
	PCM-25	$1,717 \times 10^{-3}$	-2,76531	ABSMG	
	PCM-20	$1,670 \times 10^{-3}$	-2,77728	BASG	
	PCJ-37 B	$1,647 \times 10^{-3}$	-2,78339	BMSG	
	PCM-29	$1,570 \times 10^{-3}$	-2,80410	BASG	
	PCJ-37 C	$1,510 \times 10^{-3}$	-2,82102	BMSG	
	PCM-12	$1,503 \times 10^{-3}$	-2,82294	BASG	
D	PCM-31	$1,460 \times 10^{-3}$	-2,83565	BASG	
	PCM-30	$1,400 \times 10^{-3}$	-2,85387	ABSMG	
	PCJ-20 C	$1,393 \times 10^{-3}$	-2,85594	BMSG	
	D	PCM-21	$1,273 \times 10^{-3}$	-2,89506	ABSMG
		PCM-50	$1,254 \times 10^{-3}$	-2,90159	BASG
		PCM-54 C	$1,233 \times 10^{-3}$	-2,90904	BASG
		PCM-14 A	$1,213 \times 10^{-3}$	-2,91602	ABSMG
		PC-13	$1,167 \times 10^{-3}$	-2,93305	BMSG
		PCM-11	$1,157 \times 10^{-3}$	-2,93679	ABSMG
		PCJ-31 A	$1,152 \times 10^{-3}$	-2,93855	ABSMG
PCM-32		$1,127 \times 10^{-3}$	-2,94820	ABSMG	
PCM-44		$1,101 \times 10^{-3}$	-2,95808	ABSMG	
PCM-28		$1,039 \times 10^{-3}$	-2,98338	BASG	
C	PCM-49	$9,733 \times 10^{-4}$	-3,01174	ABSMG	
	PCJ-45 A	$8,823 \times 10^{-4}$	-3,05437	ABSMG	
	PC-20	$8,300 \times 10^{-4}$	-3,08092	ABSMG	
	PCJ-44	$8,233 \times 10^{-4}$	-3,08442	BMSG	
	PCM-14 B	$7,883 \times 10^{-4}$	-3,10329	ABSMG	
	PCM-46 B	$7,060 \times 10^{-4}$	-3,15120	BMSG	
	PCM-08	$6,113 \times 10^{-4}$	-3,21372	ABSMG	
	PCJ-46	$5,253 \times 10^{-4}$	-3,27957	BMSG	
B	PCJ-23	$3,730 \times 10^{-4}$	-3,42829	BMSG	
	PC-21	$3,273 \times 10^{-4}$	-3,48501	BMSG	
	PCJ-43	$3,203 \times 10^{-4}$	-3,49440	BMSG	
	PCJ-45 B	$3,150 \times 10^{-4}$	-3,50169	BMSG	
	PCJ-20 D	$2,907 \times 10^{-4}$	-3,53660	BMSG	
A	PC-17	$1,587 \times 10^{-4}$	-3,79951	BMSG	
	PCJ-39	$1,353 \times 10^{-4}$	-3,86860	BMSG	
	PC-18	$1,260 \times 10^{-4}$	-3,89963	BMSG	

## DISCUSSÃO

### O Granito São João e as suítes graníticas da Província Carajás

Apesar de ter sido enquadrado preliminarmente na Suíte Jamon (Dall'Agnol *et al.* 2005), o GSJ só foi estudado em detalhe recentemente (Lima 2011; Lima em preparação). Considerando sua similaridade e modo de ocorrência com os outros granitos anorogênicos que formam as suítes Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme, torna-se importante uma comparação entre eles com base nos dados petrográficos, geoquímicos e de SM aqui apresentados.

Em termos petrográficos, o GSJ é formado por rochas monzograníticas a sienograníticas com conteúdo de minerais máficos predominantemente <10%. Comportamento semelhante é observado na Suíte Serra dos Carajás, formada igualmente por monzogranitos e sienogranitos com conteúdo de máficos geralmente <15%. Por outro lado, na Suíte Jamon dominam monzogranitos, com sienogranitos subordinados, com máficos entre 15 e 5%, podendo chegar a 20% nas fácies menos evoluídas, enquanto na Suíte Velho Guilherme sienogranitos são mais abundantes que monzogranitos e álcali-feldspato granitos. A ausência de titanita magmática é uma feição característica em todas as fácies do GSJ, assim como nas rochas da Suíte Serra dos Carajás onde ela é rara ou ausente (Javier Rios *et al.* 1995; Barros *et al.* 1995). Na Suíte Jamon, titanita magmática é uma fase comum, juntamente com zircão, apatita, magnetita, ilmenita e allanita. Na Suíte Velho Guilherme os sienogranitos dominantes não contêm titanita ou magnetita e são enriquecidos em fluorita, com esporádica monazita e xenotímio, além de topázio e siderofilita (Dall'Agnol *et al.* 2005).

Em termos geoquímicos, todos os granitos são metaluminosos a fracamente peraluminosos (Figura 15A), possuem afinidades com granitos intraplaca do tipo A (Whalen *et al.* 1987, Pearce *et al.* 1984) e incidem no campo dos granitos do subtipo A2 (Eby 1992). No diagrama  $K_2O$  versus  $Na_2O$  (Figura 15B) as razões  $K_2O/Na_2O$  do GSJ apresentam valores entre 1 e 2, se superpõem àquelas dos granitos da Suíte Serra dos Carajás e aumentam gradualmente com a diferenciação magmática. No diagrama  $FeOt/(FeOt+MgO)$  versus  $SiO_2$  (Figura 15C), a distribuição das rochas do GSJ coincide inteiramente com àquelas dos granitos da Suíte Serra dos Carajás e apenas parcialmente com a das rochas das suítes Jamon e Velho Guilherme. No diagrama  $FeOt/(FeOt+MgO)$  versus  $Al_2O_3$  (Figura 15D), plotam no campo dos granitos tipo A reduzidos, juntamente com os granitos da Suíte Velho Guilherme e parte da Suíte Serra dos Carajás, afastando-se do campo dos granitos francamente oxidados, como os da Suíte Jamon. De modo geral, o GSJ mostra padrões de ETR (Figura 9) análogos

aos demais granitos anorogênicos que formam a Suíte Serra dos Carajás (Barros *et al.* 1995; Figura 17), com elevados teores de elementos terras raras leves (ETRL), padrão sub-horizontalizado dos elementos terras raras pesados (ETRP) e moderadas anomalias negativa de európio (Eu).

Magnetita e ilmenita (<1%) são os minerais óxido de Fe-Ti presentes nos granitos da Suíte Serra dos Carajás e São João, podendo ser considerados granitos da série magnetita, segundo a classificação de Ishihara (1981). Na Suíte Jamon, o conteúdo de minerais óxidos de Fe-Ti é mais elevado e varia de 0,5 a 2%, com a magnetita dominando sobre a ilmenita, correspondendo a típicos granitos da série magnetita. Por outro lado, na Suíte Velho Guilherme o conteúdo de minerais opacos geralmente é <0,1% e a magnetita está ausente nos sienogranitos, indicando que essas rochas pertencem à série ilmenita de Ishihara (1981).

Apesar de incidir completamente no campo dos granitos reduzidos (Figura 15D), o GSJ apresenta magnetita em todas suas fácies e valores de SM que variam de  $1,2 \times 10^{-4}$  a  $5,9 \times 10^{-3}$ , com média de  $1,80 \times 10^{-3}$ , diferente dos granitos da Suíte Velho Guilherme que tem a ilmenita como opaco dominante e valores de SM comparativamente mais baixos ( $<1,0 \times 10^{-3}$ ), sendo classificados como granitos tipicamente reduzidos (Dall'Agnol *et al.* 2005). No diagrama que relaciona log de SM *versus* número de amostras (Figura 16), foram plotados os dados do GSJ obtidos neste trabalho juntamente com os valores médios de SM dos granitos que formam as suítes Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme. O campo representativo do GSJ se sobrepõe parcialmente às rochas mais evoluídas da Suíte Jamon e coincide inteiramente com o campo formado pelos granitos da Suíte Serra dos Carajás, com valores de SM similar ( $1,0 \times 10^{-3}$  a  $5,0 \times 10^{-3}$ ). Este fato indica que as rochas do GSJ não são tão oxidadas quanto àquelas da Suíte Jamon, exceto sua fácies menos evoluída (BAMG), nem tão reduzida quanto às da Suíte Velho Guilherme, o que permite classificá-lo como um granito moderadamente reduzido (cf. Dall'Agnol & Oliveira 2007).

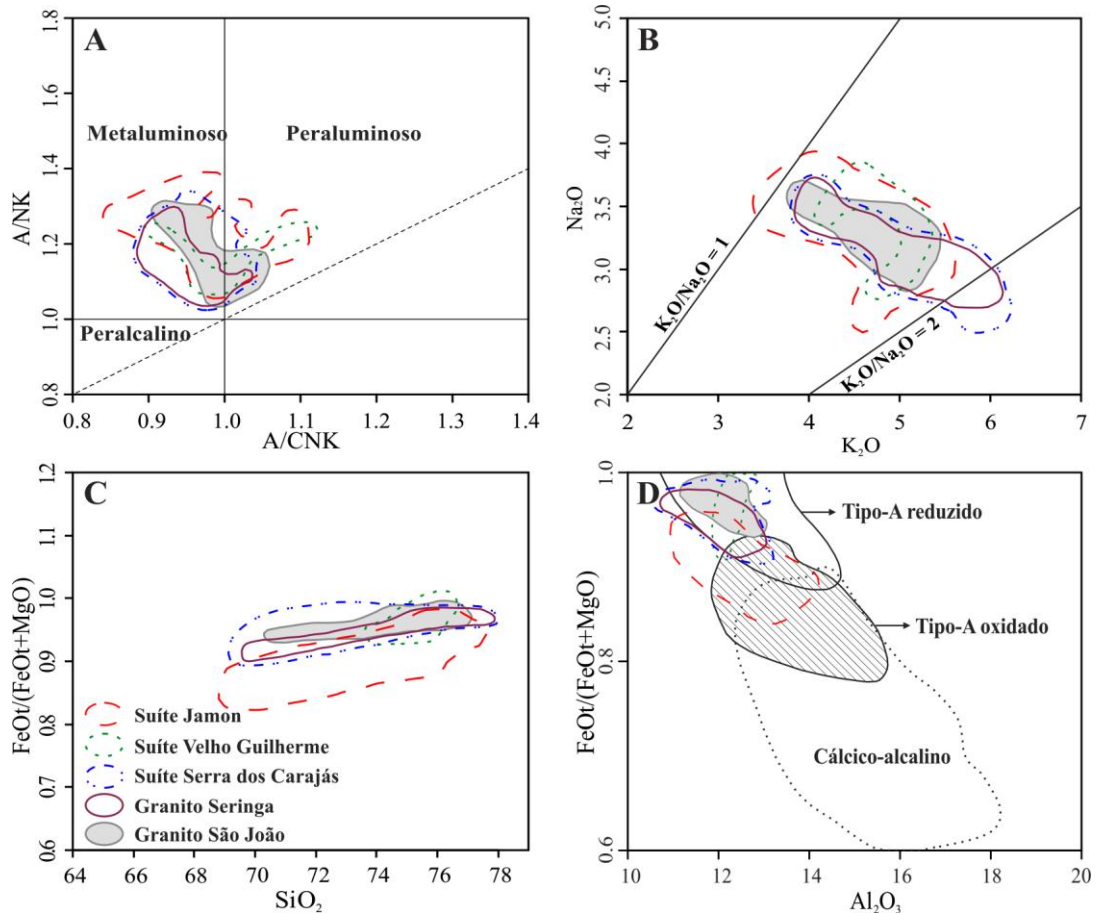


Figura 15- Diagramas geoquímicos comparativos entre o GSJ e as suítes graníticas da Província Carajás. A)  $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)_{mol}$  versus  $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)_{mol}$  de Shand (1951); B)  $Na_2O$  versus  $K_2O$ ; C)  $FeOt/(FeOt+MgO)$  versus  $SiO_2$ ; D)  $FeOt/(FeOt+MgO)$  versus  $Al_2O_3$  (Dall’Agnol *et al.* 2005).

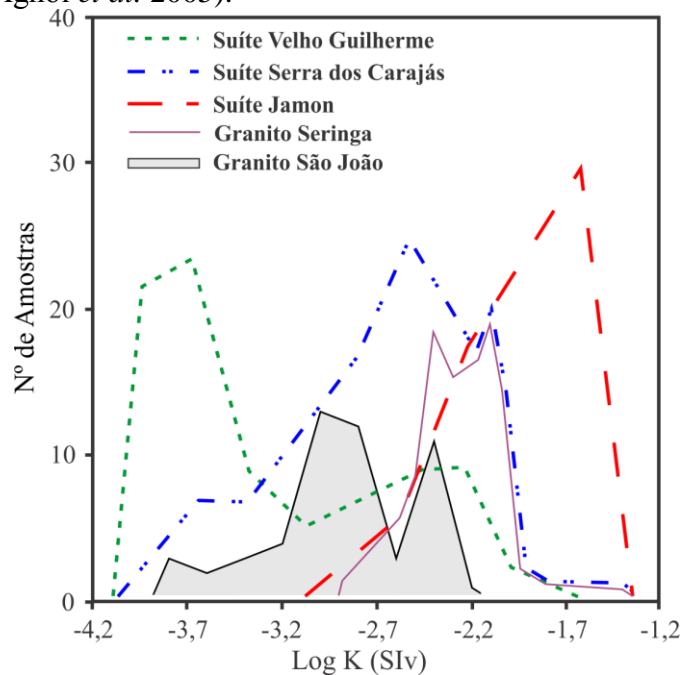


Figura 16- Polígono de frequência comparativo entre os valores de SM do GSJ e dos granitos das suítes Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme (modificado de Dall’Agnol *et al.* 2005).



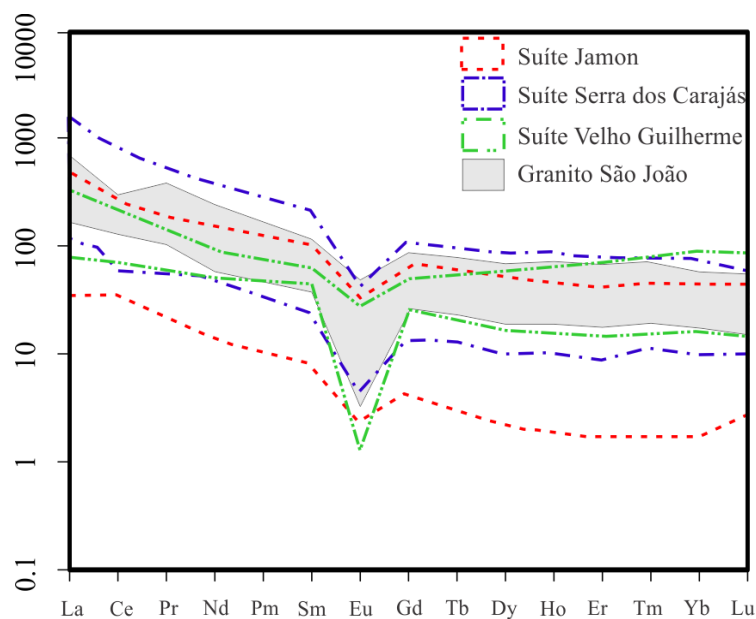


Figura 17- Diagrama comparativo dos padrões de distribuição dos ETR entre o GSJ e os granitos da Suíte Jamon (Redenção, Bannach, Jamon e Musa) e Suíte Serra dos Carajás (Cigano, Seringa e Serra dos Carajás).

### **Granito São João *versus* Granito Seringa**

O Granito Seringa (GS) é o maior batólito anorogênico da Província Carajás, com aproximadamente 50km de diâmetro. Está localizado entre as cidades de Água Azul do Norte e Ourilândia do Norte, sudeste do estado do Pará (Figura 3). De modo similar ao GSJ, o GS também foi incluído preliminarmente na Suíte Jamon (Dall’Agnol *et al.* 2005), embora só tenha sido estudado em maior detalhe por Paiva Jr. *et al.* (2009) que identificaram muitas similaridades entre ele e as rochas da Suíte Serra dos Carajás. O fato dos GSJ e GS ocorrerem muito próximos, separados apenas por uma estreita faixa de leucogranitos e trondhjemitos arqueanos correlacionáveis à Suíte Garantã (Almeida *et al.* 2013) e ao Trondhjemito Mogno (Pimentel & Machado 1994, Almeida *et al.* 2011), respectivamente, de acordo com Santos (em preparação), levantou a hipótese de o GSJ ser uma apófise do GS e não outro corpo petrográfica e composicionalmente distinto.

Datações geocronológicas por evaporação de Pb em zircão definiram idades de cristalização de  $1895 \pm 1$  Ma para o GS (Paiva Jr. 2009) e  $1890 \pm 2$  Ma para o GSJ (Lima 2011). Em sua porção central, O GS é formado por um conjunto de morros e serras íngremes com altitudes de até 700 m. De modo similar ao GSJ, é intrusivo em unidades arqueanas, sendo formado por monzogranitos e sienogranitos isentos de deformação, exceto a presença de planos de fraturas que o seccionam em diferentes direções. É constituído por quartzo, álcali-feldspato e plagioclásio, tendo a biotita e o anfibólio como fases máficas. O anfibólio não

apresenta, assim como no GSJ, evidências texturais de reações peritéticas entre ele e o líquido magmático para gerar biotita, titanita e quartzo, como frequentemente é observado nos granitos da Suíte Jamon (Dall'Agnol *et al.* 1999, Almeida *et al.* 2006). A ausência de titanita magmática nos granitos Seringa e São João também é observada nos granitos da Suíte Serra dos Carajás (Javier *et al.* 1995, Barros *et al.* 1995), contrariamente aos granitos da Suíte Jamon onde é uma fase acessória frequente (Dall'Agnol *et al.* 2005). Zircão, magnetita, ilmenita, apatita e allanita são os principais acessórios e clorita, sericita, muscovita, epidoto, fluorita e argilominerais os minerais de alteração em ambos os granitos. Geoquimicamente os granitos Seringa e São João são semelhantes e se superpõem na grande maioria dos diagramas mostrados. Magnetita e ilmenita são os minerais óxidos de Fe-Ti presentes nos dois granitos, porém no GS a magnetita ocorre em proporções >1% nas rochas monzograníticas, enquanto no GSJ o conteúdo de magnetita geralmente é <1%. Em decorrência disso, os valores de SM do GS são um pouco mais elevados e variam de  $1,3 \times 10^{-3}$  a  $20,0 \times 10^{-3}$ , com média de  $6,2801 \times 10^{-3}$ , contra  $1,2 \times 10^{-4}$  a  $5,9 \times 10^{-3}$ , com média de  $1,80 \times 10^{-3}$  do GSJ.

## CONCLUSÕES

O GSJ, localizado no município de Água Azul do Norte, sudeste do estado do Pará, é um plúton de formato circular com aproximadamente 160 km<sup>2</sup> de área que secciona trondhjemitos e leucogranodiorito-granitos arqueanos do TGGRM. Quatro fácies petrográficas foram identificadas: biotita-anfibólio monzogranito (BAMG), biotita-anfibólio sienogranito (BASG), anfibólio-biotita monzogranito a sienogranito (ABMSG) e biotita monzogranito a sienogranito (BMSG). Os dados geoquímicos mostram uma variação sistemática dos elementos maiores e menores, apesar de algumas sobreposições, no sentido das rochas BAMG para as BMSG, o que sugere que a cristalização fracionada comandou a evolução da fácies BAMG do GSJ. A diminuição, neste mesmo sentido, de minerais ferromagnesianos, das razões Pl/Fk e Anf/Bt e dos conteúdos de Sr e Ba, além de aumentos de quartzo e Rb corroboram esta interpretação. Por outro lado, diferentes graus de fusão parcial, assim como contrastes na temperatura de fusão, conteúdo de água e fugacidade de oxigênio, podem explicar as diferenças observadas entre as demais fácies encontradas no GSJ (ABMSG, BASG e BMSG).

O GSJ possui natureza subalcalina, características metaluminosas a levemente peraluminosas, razões K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O entre 1 e 2 e FeOt/(FeOt+MgO) entre 0,94 a 0,99, as quais tendem a aumentar no sentido dos BMSG. Mostra afinidades com granitos ferrosos, intraplaca do tipo A, incidindo totalmente no campo dos granitos do subtipo A2, o que lhe confere uma

fonte crustal. Mostra teores mais elevados de ETRL em relação aos ETRL e um padrão sub-horizontalizado desses últimos. As anomalias negativas de Eu variam de fracas nos BAMG, passando a moderadas nos BASG e acentuadas nos ABMSG e BMSG. O padrão de fracionamento dos ETR pode ser interpretado como resultante da cristalização fracionada que comandou a evolução do GSJ.

Os valores moderados de SM, a presença constante de magnetita em todas as fácies, bem como as razões  $Fe_2O_3/FeO$  próximas da unidade permitem enquadrar o GSJ como um granito da série a magnetita. Entretanto, ele apresenta características petrográficas, geoquímicas e de SM distintas daquelas dos granitos tipicamente oxidados da Suíte Jamon e reduzidos da Suíte Velho Guilherme, e mostra maiores similaridades com os granitos da Suíte Serra dos Carajás, considerados moderadamente reduzidos.

O GSJ é similar em inúmeros aspectos ao Granito Seringa, exceto em seu número de fácies mais reduzido, em decorrência, muito provavelmente, de sua área de ocorrência comparativamente menor, e conteúdos inferiores de magnetita, o que proporciona valores de SM mais baixos em relação aos do GS. Considerando-se os aspectos mencionados, pode-se admitir o GSJ como uma apófise do GS.

Os dados petrográficos, geoquímicos e de SM, juntamente com as relações de campo, indicam que o GSJ é diferente das rochas que formam as suítes Jamon e Velho Guilherme e mostra maiores similaridades com os granitos da Suíte Serra dos Carajás, podendo ser enquadrado, a semelhança do GS, nesta suíte granítica.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Instituto de Geociências (IG-UFPA) pelo suporte técnico e laboratorial, a Capes pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor, aos pesquisadores e alunos do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG) pelo apoio nas diversas etapas deste trabalho. Este trabalho é uma contribuição para o INCT de Geociências da Amazônia (CNPq/MCT/FAPESPA – Processo no 573733/2008-2).

## **REFERÊNCIAS**

Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Barriga S.D., Althoff F. J. 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., Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Macambira M.J.B., Pimentel M.M., Leite A.A.S. 2011. Zircon geochronology and geochemistry of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for growth of Archean crust of Carajás Province, Brazil. *Precambrian Research*, **187**:201-221.
- 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.
- Barros C.E.M., Dall'agnol R., Vieira E.A.P., Magalhães M.S. 1995. Granito Central da Serra dos Carajás: avaliação do potencial metalogenético para estanho com base em estudos da borda oeste do corpo. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra*, **7**: 93-123.
- Chappell B.W. & White A.J.R. 1974. Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, **8**: 173-174.
- Dall'Agnol R., Lafon J.M., Macambira M.J.B. 1994. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian province, Amazonian Craton. Geochronological, Petrological and Geochemical aspects. *Mineralogy and Petrology*, **50**:113-138.
- Dall'Agnol R., Souza Z.S., Althoff F.J., Barros C.E.M., Leite A.A.S., Jorge João X.S. 1997. General aspects of the granitogenesis of the Carajás metallogenic province. *In*: SGRM. International Symposium on Granites and Associated Mineralization, 2, Salvador. Excursions Guide. Salvador, p.135-161.
- Dall'Agnol, R. Teixeira N.P., Rämö O.T., Moura C.A.V., Macambira M.J.B. Oliveira D.C. 2005. Petrogenesis of the Paleoproterozoic, rapakivi, A-type granites of the Archean Carajás Metallogenic Province, Brazil. *Lithos*, **80**:101-129.
- Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Almeida J.A.C., Althoff F.J., Leite A.A.S., Oliveira D.C., Barros C.E.M. 2006. Archean and paleoproterozoic granitoids of the Carajás 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. Oliveira D. C. 2007. Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: implications for classification and petrogenesis of A-type granites. *Lithos*, **93**:215-233.

- Debon F., Le Fort P., Sabaté P. 1988. Uma classificação químico-mineralógica das rochas plutônicas comuns e suas associações, método e aplicações. *Rev. Bras. Geoc.*, **18**(2): 122-133.
- De 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 cipient nomenclature. *Chem. Geol.* **29**:183-210.
- Eby G.N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. *Geology*. **20**:641-644.
- Feio G.R.L. 2011. *Magmatismo granitoide arqueano da área de Canaã dos Carajás: implicações para a evolução crustal da Província Carajás*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 199 p.
- Frost B.R, Barnes C.G., Collins W.J., Arculus R.J, Ellis D.J, Frost C.D. 2001. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology* **40**:261-293.
- Guimarães F.V. 2009. *Geologia, Petrografia e Geoquímica do Trondhjemitó Mogno e rochas arqueanas associadas, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria - SE do Pará*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 102 p.
- 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, **3**:1438-1453.
- Ishihara S., 1981. The granitoid series and mineralization. In: SKINNER, B. J. (ed.) *Economic Geology*, 75th anniversary volume, p.458-484.
- Javier Rios F., Villas R.N., Dall'agnol R. 1995. O Granito Serra dos Carajás: fácies petrográficas e avaliação do potencial metalogenético para estanho no setor norte. *Rev. Bras. Geoc.*, **25**:20-31.
- King P.L., White A.J.R., Chapell B.W., Allen C.M. 1997. Characterization and origin of aluminous A-type granites from the Lachlan Fold Belt, southeastern Australia. *Journal of Petrology*, **38**:371-391.
- Larsson L.O. 1977. Statistical treatment of in-situ measurements of magnetic susceptibility. *Sveriges Geologiska Undersohing*, **C727**:3-22.
- Leite A.A.S. 2001. *Geoquímica, Petrogênese e Evolução Estrutural dos Granitóides Arqueanos da Região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 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. *Rev. Bras. Geoc.*, **34**:447-458.
- Le Maitre R.W. 2002. *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. 2nd Edition, London, 193 p.
- Lima P.H.A. 2011. *Geologia, Petrografia e Geocronologia do Granito São João, Província Carajás, SSE do Pará*. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 64 p.
- Macambira M.J.B. & Lancelot J. 1996. Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria crust, southeastern Amazonian Craton, Brazil. *International Geology Review*, **38**(12):1134-1142.
- Medeiros H. 1987. *Petrologia da porção leste do maciço granodiorítico Rio Maria, Sudeste do Pará*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 166p.
- Nakamura N. 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **38**:757-775.
- Oliveira D.C. 2001. *Geologia, Geoquímica e Petrologia Magnética do Granito Paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 207p.
- Oliveira M.A., Dall'Agnol R., Althoff F.J. 2006. Petrografia e Geoquímica do Granodiorito Rio Maria da Região de Bannach e Comparações com as demais ocorrências no Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria - Pará, *Rev. Bras. Geoc.*, **36** (2):313-326.
- Oliveira M.A., Dall'Agnol R., Althoff F.J., Leite A.A.S. 2009. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **27**:146-160.
- Paiva Jr. A.L. 2009. *Geologia, Petrografia, Geocronologia e Geoquímica do Granito Anorogênico Seringa, Província Mineral de Carajás, SSE do Pará*. 2009. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 123p.
- Paiva Jr. A.L., Lamarão C. N., Lima P.H.A., 2011. Geologia, petrografia e geoquímica do batólito Anorogênico Seringa, Província Mineral de Carajás, SSE do Pará. *Rev. Bras. Geoc.* **41**(2):185-202.
- 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**:956-983.

- Pimentel M.M. & Machado N., 1994. Geocronologia U-Pb do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. *In: SBG. Cong. Bras. Geol.*, 38, Camboriú. Boletim de Resumos Expandidos, p. 390-391.
- 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: SBG. Simp. de Geol. da Amazônia.*, 9, Belém. Resumos Expandidos. CD-ROM.
- Shand S.J. 1950. *Eruptive rocks their genesis, composition, classification and their relation to ore deposit*. 4ed., London, 488p.
- Souza Z.S., Potrel A., Lafon J.M., Althoff F.J., Pimentel M.M., Dall'Agnol R., Oliveira C.G. 2001. Nd, Pb and Sr isotopes in the Identidade Belt, an Archean greenstone belt of Rio Maria region (Carajás Province, Brazil): implications for the geodynamic evolution of the Amazonian Craton. *Precambrian Research*, **109**:293-315.
- Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. *In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito Neves B.B. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, p. 471-485.
- Taylor S.R. 1965. The application of trace element data to problems in petrology. *In: L.H. Ahrens, K. Rankama, S.K. Runcon (Editors), physics and chemistry of the Earth*. London, pergamon press, v. 6, 133-213.
- Vance J.A. 1969. "On synneusis". *Contrib. Mineral. Petrol.*, **24**:7-29.
- Vasquez L.V., Rosa-Costa L.R., Silva C.G., Ricci P.F., Barbosa J.O., Klein E.L., Lopes E.S., Macambira E.B., Chaves C.L., Carvalho J.M., Oliveira J.G., Anjos G.C., Silva H.R. 2008b. 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*, 328p.
- Wedepohl K.H. 1970. *Rubidium, handbook of geochemistry*. Berlin, Springer-Verlag, p. 37-B-37-N.
- Whalen J.B., Currie K.L., Chappell B.W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **95**:407-419.

---

## CAPÍTULO 3

---

### 1-CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Granito São João (GSJ) constitui um pluton subcircular, com cerca de 160 km<sup>2</sup> de área, que secciona trondhjemitos e leucogranodiorito-granitos arqueanos pertencentes ao Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria ou Domínio Carajás (Vasquez *et al.* 2008), formando contatos discordantes que truncam abruptamente as foliações regionais, evidenciando um alto contraste de viscosidade entre essas unidades.

A integração de dados geológicos, petrográficos e geoquímicos revelou a existência de quatro fácies petrográficas distintas, representadas por: bitotita-anfibólio monzogranito (BAMG), bitotita-anfibólio sienogranito (BASG), anfibólio-biotita monzogranito a sienogranito (ABMSG) e biotita monzogranito a sienogranito (BMSG). A distribuição espacial dessas fácies mostra que as rochas mais abundantes são os BMSG, com cerca de 39% do corpo, distribuídas em uma faixa N-S que vai do centro-oeste ao extremo oeste do corpo. Em seguida, ocorrem os ABMSG nas bordas N, E e S, contornando as rochas BASG e ocupando uma área de aproximadamente 36% do corpo. Os BASG estão presentes na porção central do corpo ocupando uma área de cerca de 23%, enquanto os BAMG, fácies menos evoluída, ocorrem de forma localizada nas porções N e NE do GSJ, representando apenas 2% de sua área.

Os conteúdos de SiO<sub>2</sub> do GSJ variam de 70,5 a 76,9%, com valor médio de 75,4%, podendo ser distinguidos dois conjuntos de rochas em função desses teores: (1) Rochas menos enriquecidas em sílica (70,57 a 73,48%), representas pela fácies BAMG; (2) Rochas mais enriquecidas em sílica (74,53 a 76,92%), representadas pelas fácies BMSG, ABMSG e BASG. As rochas do grupo 1 apresentam teores relativamente elevados de TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e mais baixos de K<sub>2</sub>O em relação às rochas do grupo 2. Apesar de algumas superposições, a variação sistemática dos elementos maiores e menores nos diagramas geoquímicos é coerente com os dados petrográficas, indicando que a diferenciação magmática que comandou a evolução do GSJ se deu no sentido BAMG – BASG – ABMSG – BMSG.

Geoquimicamente, o GSJ mostra assinatura metaluminosa a fracamente peraluminosa, razões K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O entre 1 e 2 e FeOt/(FeOt+MgO) acima de 0,9, as quais tendem a aumentar gradualmente com a evolução das fácies. Mostra afinidades com granitos ferrosos (Frost *et al.* 2001) e tipo A (Pearce *et al.* 1984, Whalen *et al.* 1987), incidindo completamente no campo dos granitos do subtipo A2 (Eby 1992), o que sugere fonte crustal para o mesmo. As variações dos teores de Rb são consideráveis e crescentes no sentido da diferenciação



magmática, apresentando correlação positiva com o aumento de sílica, enquanto Sr e Ba mostram comportamento inverso, característico de elementos compatíveis. Essa tendência sugere que em líquidos silicáticos o Sr se concentra principalmente nos plagioclásios de composições intermediárias (andesina a oligoclásio cálcico) e, subordinadamente, no feldspato potássico.

As diferentes fácies do GSJ apresentam padrões de fracionamento de ETR semelhantes entre si, com enriquecimento de ETRL em relação aos ETRP e um leve empobrecimento de ETRP, dando origem a um padrão sub-horizontalizado desses últimos. Todas as fácies exibem anomalias negativas de Eu, sendo, entretanto, menos acentuada nos BAMG (razão  $Eu/Eu^*$  média de 0,51) e mais nos BMSG (razão  $Eu/Eu^*$  média de 0,17). O padrão dos ETR, acompanhado de anomalias negativas de Eu crescentes no sentido das fácies menos evoluídas para as mais evoluídas, sugere que o magma formador do GSJ sofreu fracionamento expressivo dos feldspatos e que a cristalização fracionada foi um processo importante na formação dessas rochas.

Os valores de suscetibilidade magnética (SM) obtidos no GSJ variam de  $1,26 \times 10^{-4}$  a  $5,95 \times 10^{-3}$ , com média de  $1,80 \times 10^{-3}$ , e revelam uma distribuição bimodal do conjunto de amostras, dando origem a dois picos distintos nos valores de  $\log -3,0$  e  $-2,40$ , com a maior parte das amostras (48%) concentrando-se entre o  $\log$  de  $-3,0$  e  $-2,80$ . A análise dos dados de SM permitiu identificar seis populações (A, B, C, D, E e F), com diferentes características magnéticas, as quais se correlacionam moderadamente com as diferentes fácies petrográficas encontradas. Os valores mais altos de SM relacionam-se às fácies menos evoluídas, relativamente ricas em anfibólio, enquanto os valores mais baixos foram identificados nas fácies leucograníticas com maior conteúdo em sílica. De modo geral, as amostras das fácies enriquecidas em máficos concentram-se nas populações F e E de mais alta SM, as de valores intermediários de SM correspondem às populações D e C, e as de menores valores de SM às populações B e A, representadas pelas fácies mais leucocráticas. Em linhas gerais, as rochas do GSJ apresentam valores de SM crescentes dos termos geoquimicamente mais evoluídos para os menos evoluídos, ou seja, no sentido BMSG – ABMSG – BASG – BAMG. Os valores moderados de SM, os conteúdos modais de opacos  $> 0,1$  %, a presença constante de magnetita em todas as fácies, bem como as razões  $Fe_2O_3/FeO$  próximas a um permitem classificar o GSJ como um granito da série a magnetita, de acordo com a definição de Ishihara (1981).

Entretanto, apesar de ser um granito com magnetita o GSJ apresenta algumas características distintas dos granitos tipicamente oxidados, como os que compõem a Suíte Jamon:

- 1- No GSJ ocorrem monzogranitos e sienogranitos com conteúdos de máficos predominantemente  $< 10\%$ . Na Suíte Jamon dominam monzogranitos, com sienogranitos subordinados, com conteúdos de máficos entre 15 e 5%, podendo chegar a 20% nas rochas menos evoluídas;
- 2- No GSJ não foi identificada titanita magmática, fase acessória comum nas rochas da Suíte Jamon;
- 3- Magnetita e ilmenita são os minerais óxidos de Fe e Ti presentes nas rochas do GSJ, porém em quantidades  $< 1\%$ ; nas rochas da Suíte Jamon esses óxidos variam de 0,5 a 2%, com a magnetita predominando sobre a ilmenita;
- 4- As rochas do GSJ plotam no campo dos granitos reduzidos (Figura 12C e D), enquanto as da Suíte Jamon predominam no campo dos granitos tipicamente oxidados (Dall'Agnol & Davis 2007);
- 5- O GSJ apresenta valores de SM entre  $1,2 \times 10^{-4}$  e  $5,9 \times 10^{-3}$ , com média de  $1,80 \times 10^{-3}$ , enquanto a Suíte Jamon mostra valores mais elevados,  $1,05 \times 10^{-3}$  a  $54,73 \times 10^{-3}$ , com a maioria dos valores  $> 5 \times 10^{-3}$  (Dall'Agnol et al. 2005), ou seja, o GSJ se superpõe apenas às rochas mais evoluídas da Suíte Jamon;
- 6- As rochas do GSJ, assim como as da Suíte Serra dos Carajás, não apresentam características de granitos tipicamente oxidados com aquelas que compõem a Suíte Jamon, o que permite classificá-lo como um granito moderadamente reduzido.

Por outro lado, o GSJ mostra maiores similaridades petrográficas, geoquímicas e magnéticas com os granitos da Suíte Serra dos Carajás, conforme demonstrado nos diagramas anteriores. O trabalho realizado integrou dados de campo, petrográficos, geoquímicos e de suscetibilidade magnética do GSJ, possibilitando caracterizar suas diferentes fácies, tipologia, assinatura geoquímica, estado de oxidação relativo e correlacioná-lo com as suítes graníticas da Província Carajás, contribuindo para melhorar o entendimento geológico da região.

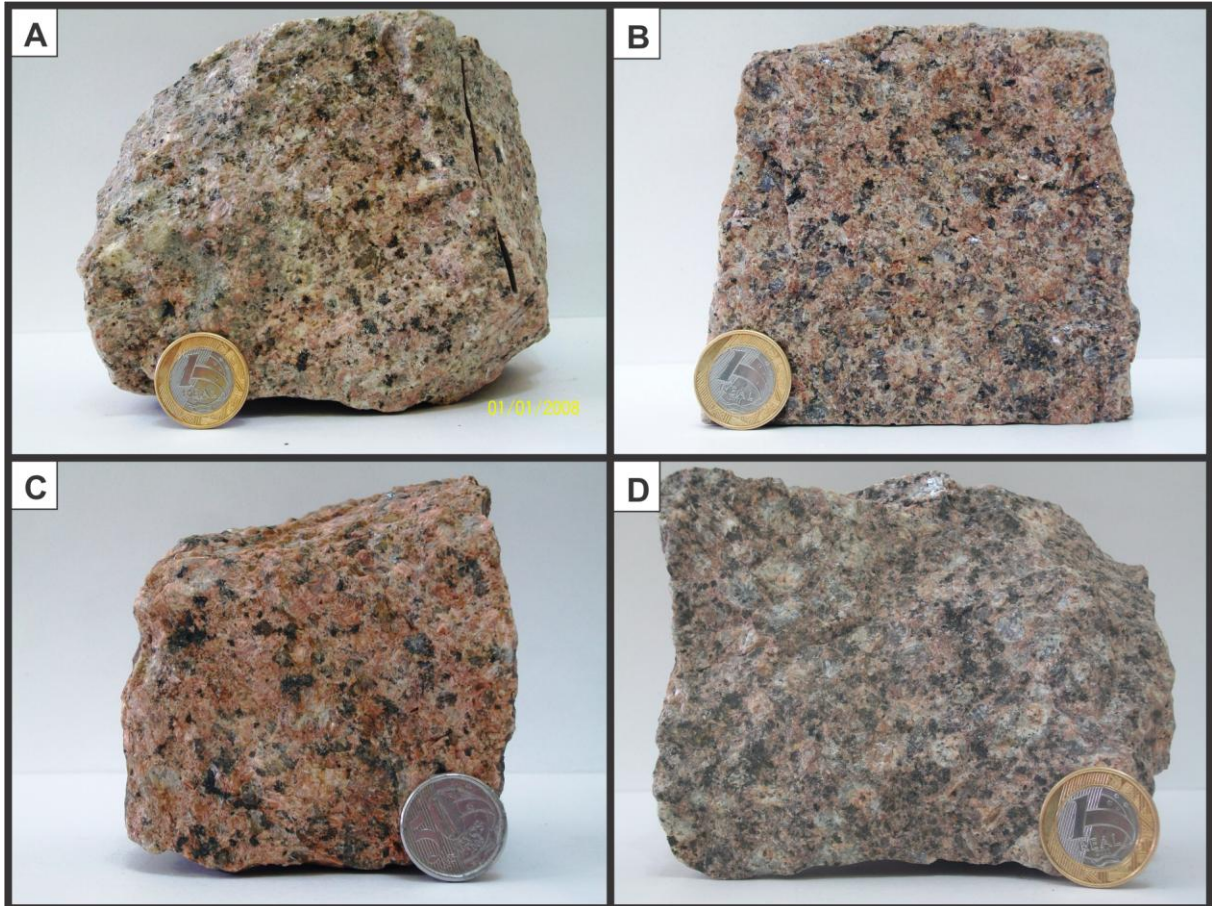
## REFERÊNCIAS

- Eby G.N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, **20**:641–644.
- Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J., Arculus R.J., Ellis D.J., Frost C.D. 2001. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology* **40**:261-293.
- Ishihara S., 1981. The granitoid series and mineralization. In: SKINNER, B. J. (ed.) *Economic Geology*, 75th anniversary volume, p.458-484.
- Pearce J.A, Harris N.B.W, Tindle A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrology*, **25**: 956-983.
- Vasquez L.V., Rosa-Costa L.R., Silva C.G., Ricci P.F., Barbosa J.O., Klein E.L., Lopes E.S., Macambira E.B., Chaves C.L., Carvalho J.M., Oliveira J.G., Anjos G.C., Silva H.R. 2008b. 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*, 328p.
- Whalen J.B., Currie K.L., Chappell B.W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **95**:407-419.

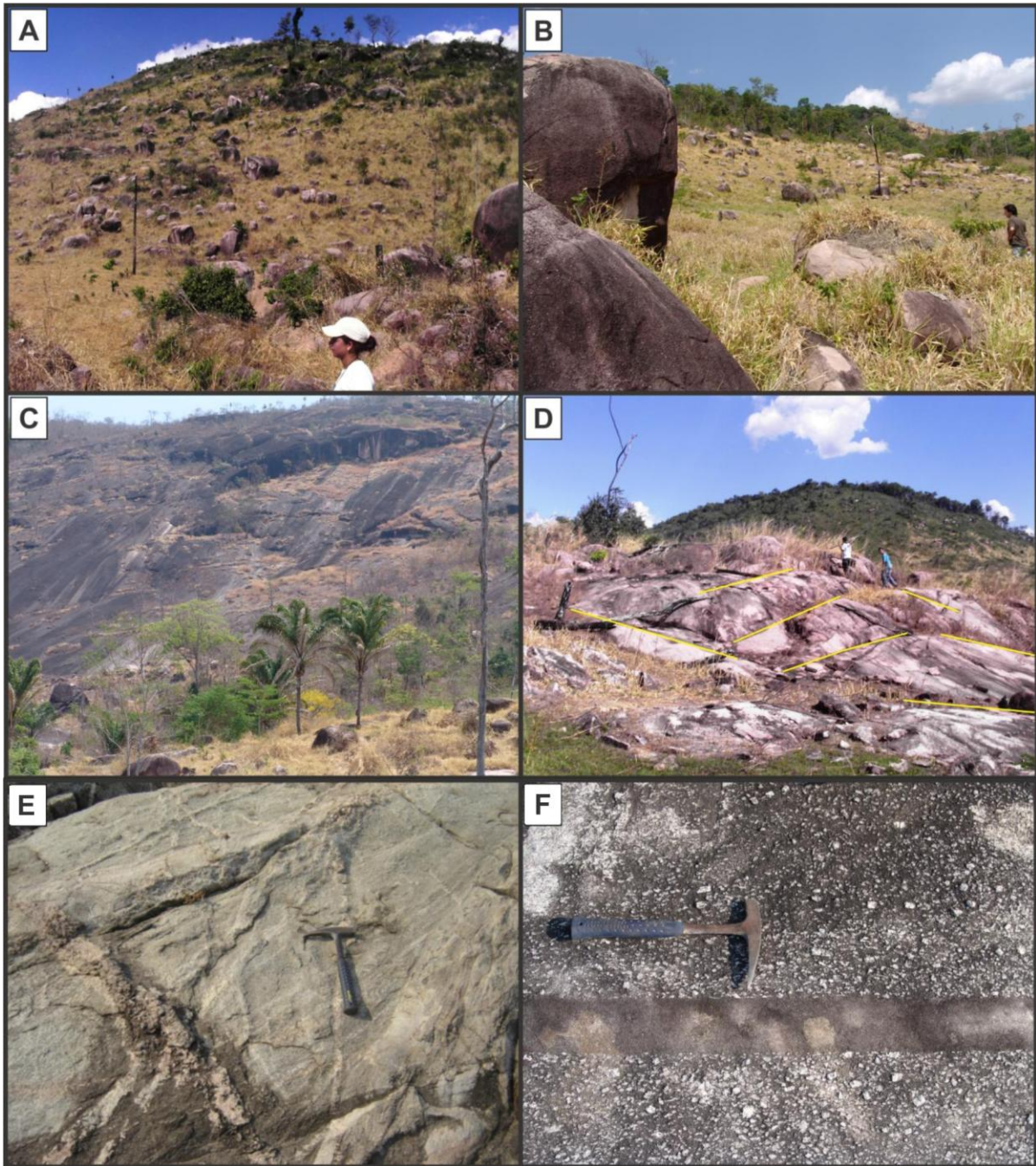
---

**ANEXO A**

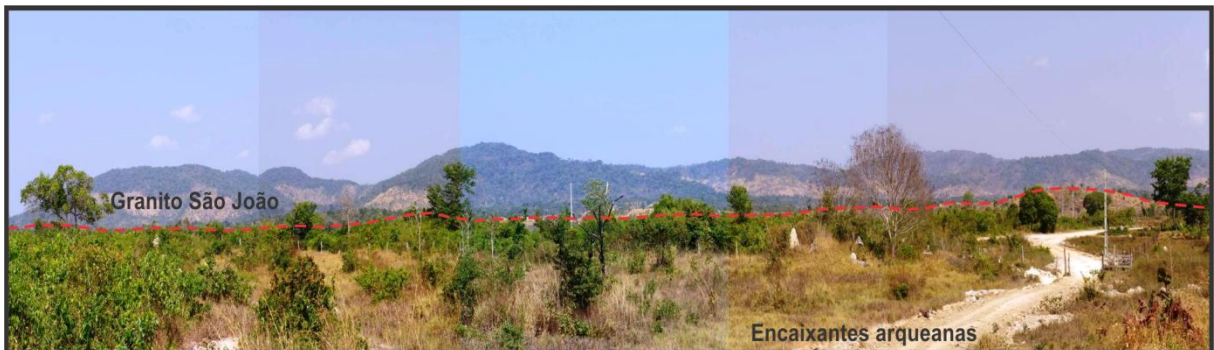
---



Anexo 1- Fotografias de amostras de mão das diferentes fácies do Granito São João. A) Biotita monzogranito a sienogranito (BMSG); B) Anfibólio-biotita monzogranito a sienogranito (ABMSG); C) Biotita-anfibólio sienogranito (BASG); D) Biotita-anfibólio monzogranito (BAMG).



Anexo 1- Modos de ocorrência do Granito São João. Em (A) e (B) as rochas afloram na forma de blocos dispostos ao longo de encostas de serras e morros. Em (C) e (D) afloram na forma de serras e lajeiros, respectivamente. (E) Veios de microgranitos e (F) diques aplíticos da fácies ABSG cortam as rochas encaixantes do Granito São João. As linhas amarelas em (D) ressaltam grande quantidade de fraturas.



Anexo 1- Foto panorâmica mostrando o contraste nos padrões geomorfológicos do Granito São João e de suas encaixantes arqueanas.



Anexo 1- Foto panorâmica mostrando a forma de ocorrência de um dos diversos diques, de direção NW-SW, que afloram nas proximidades do corpo.

## ANEXO B

Anexo 2- Coordenadas dos pontos estudados.

(Continua)

<b>PONTO</b>	<b>FÁCIAS</b>	<b>LATITUDE</b>	<b>LONGITUDE</b>	<b>ALTITUDE</b>
PC-02 A	ABMSG	-7,051533	-50,517297	342 m
PC-02 B	ABMSG	-7,051533	-50,517297	342 m
PC-03 B	ABMSG	-7,048524	-50,517766	344 m
PC-12	BMSG	-7,024758	-50,597770	357 m
PC-13	BMSG	-7,035287	-50,602731	405 m
PC-16	BMSG	-7,065574	-50,616735	423 m
PC-17	BMSG	-7,066887	-50,607947	433 m
PC-18	BMSG	-7,077052	-50,602285	458 m
PC-19	BMSG	-7,073694	-50,590301	486 m
PC-20	ABMSG	-7,070985	-50,588484	458 m
PC-21	BMSG	-7,061237	-50,589162	431 m
PCJ-20 B	ABMSG	-7,026886	-50,585309	398 m
PCJ-20 C	BMSG	-7,026886	-50,585309	398 m
PCJ-20 D	BMSG	-7,026886	-50,585309	398 m
PCJ-21	ABMSG	-7,030233	-50,578295	353 m
PCJ-22	ABMSG	-7,033893	-50,579547	360 m
PCJ-23	BMSG	-7,022937	-50,593784	384 m
PCJ-30	ABMSG	-7,113336	-50,500011	431 m
PCJ-31 A	ABMSG	-7,112802	-50,501259	450 m
PCJ-32	ABMSG	-7,110050	-50,503198	393 m
PCJ-36	ABMSG	-7,096697	-50,633258	377 m
PCJ-37 A	BMSG	-7,094450	-50,630686	388 m
PCJ-37 B	BMSG	-7,094450	-50,630686	388 m
PCJ-37 C	BMSG	-7,094450	-50,630686	388 m
PCJ-38	BMSG	-7,092114	-50,627890	398 m
PCJ-39	BMSG	-7,092598	-50,625579	404 m
PCJ-40	ABMSG	-7,091263	-50,622809	409 m
PCJ-42	BMSG	-7,094237	-50,628250	388 m
PCJ-43	BMSG	-7,090012	-50,616934	428 m
PCJ-44	BMSG	-7,094352	-50,614508	450 m
PCJ-45 A	ABMSG	-7,097665	-50,614724	419 m

## Anexo 2- Coordenadas dos pontos estudados.

(Conclusão)

<b>PONTO</b>	<b>FÁCIAS</b>	<b>LATITUDE</b>	<b>LONGITUDE</b>	<b>ALTITUDE</b>
PCJ-45 B	BMSG	-7,097665	-50,614724	419 m
PCJ-46	BMSG	-7,103388	-50,616284	404 m
PCM-08	ABMSG	-7,047990	-50,523220	358 m
PCM-09	BMSG	-7,052940	-50,516140	349 m
PCM-10	BAMG	-7,059980	-50,519880	370 m
PCM-11	ABMSG	-7,071590	-50,523530	383 m
PCM-12	BASG	-7,076950	-50,525000	381 m
PCM-13	BASG	-7,085760	-50,524400	387 m
PCM-14 A	ABMSG	-7,068600	-50,519530	394 m
PCM-14B	ABMSG	-7,068600	-50,519530	395 m
PCM-19	BASG	-7,087520	-50,509290	380 m
PCM-20	BASG	-7,087240	-50,509830	375 m
PCM-21	ABMSG	-7,087660	-50,510470	379 m
PCM-24	BMSG	-7,066190	-50,509950	389 m
PCM-25	ABMSG	-7,066380	-50,510690	399 m
PCM-27	BASG	-7,064200	-50,520980	374 m
PCM-28	BASG	-7,076540	-50,554330	439 m
PCM-29	BASG	-7,081220	-50,550060	429 m
PCM-30	ABMSG	-7,085170	-50,538350	408 m
PCM-31	BASG	-7,087180	-50,531710	409 m
PCM-32	ABMSG	-7,081960	-50,524130	392 m
PCM-44	ABMSG	-7,038900	-50,527160	341 m
PCM-46 A	ABMSG	-7,034320	-50,536090	345 m
PCM-46 B	BMSG	-7,034320	-50,536090	346 m
PCM-50	BASG	-7,027520	-50,559900	339 m
PCM-51	BAMG	-7,033450	-50,559740	361 m
PCM-52	BAMG	-7,035870	-50,560310	358 m
PCM-53	BAMG	-7,037880	-50,563200	379 m
PCM-54 A	BASG	-7,045800	-50,565990	380 m
PCM-54 B	BASG	-7,045800	-50,565990	381 m
PCM-54 C	BASG	-7,045800	-50,565990	382 m
PCM-55	BASG	-7,052380	-50,576820	406 m



## ANEXO C

Anexo 3- Composições modais das diferentes fácies do Granito são João.

(Continua)

Fácies	BMSG																		
	Mineral	PC-13	PC-16 B	PCJ-38	PCJ-39	PCJ-42	PCJ-44	PCJ-46	PCJ-37 A	PCJ-37 B	PCJ-37 C	PCM-46 B	PC-12	PC-17	PC-18	PC-19	PC-21	PCJ-20 C	PCJ-20 D
<b>Quartzo</b>	33,8	34,5	29,5	37,4	32,2	31,2	34,2	35	39,4	36,7	38,7	35,8	31,6	34,6	30,8	43,7	37,9	32,3	
<b>K-feldspato</b>	38,8	42,2	41,8	39,8	40,8	45,9	40	42,8	39,6	41,6	38,6	38,4	35,4	35,1	41,5	31,4	35,1	40,3	
<b>Plagioclásio</b>	16,4	18,2	21	18,3	19,3	17,2	19,7	15,9	14,8	16,2	19,5	21,4	26,6	25,2	22,9	18,1	20,3	22,7	
<b>Biotita</b>	8,5	4,5	4,7	3,4	5,4	5,4	5,1	3,7	3,6	3,3	2,5	3,8	6	4,8	4,4	5,7	5,1	4,4	
<b>Anfibólio</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Opacos</b>	1,5	0	2,2	0,5	1,6	0	0,4	1	1,1	0,9	0,4	0,1	0	0	0	0,6	0,8	0	
<b>Apatita</b>	0,1	0	0	0,1	0	0	0	0,1	0,2	0,1	0	0,2	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0
<b>Zircão</b>	0,5	0,4	0,6	0,3	0,6	0,2	0,4	0,8	0,7	0,7	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,4	0,6	0,1	
<b>Fluorita</b>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0,2	0,2	
<b>Allanita</b>	0,2	0	0	0	0	0	0,1	0,4	0,3	0,2	0	0	0,1	0,1	0,1	0	0	0	
<b>Félsicos</b>	89	94,9	92,3	95,5	92,3	94,3	93,9	93,7	93,8	94,5	96,8	95,6	93,6	94,9	95,2	93,2	93,3	95,3	
<b>Máficos</b>	11	5,1	7,7	4,5	7,7	5,7	6,1	6,3	6,2	5,5	3,2	4,4	6,4	5,1	4,8	6,8	6,7	4,7	
<b>Fk+Pl</b>	55,2	60,4	62,8	58,1	60,1	63,1	59,7	58,7	54,4	57,8	58,1	59,8	62	60,3	64,4	49,5	55,4	63	
<b>Q+Fk</b>	72,6	76,7	71,3	77,2	73	77,1	74,2	77,8	79	78,3	77,3	74,2	67	69,7	72,3	75,1	73	72,6	
<b>Anf/Bt</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>À 100%</b>																			
<b>Quartzo</b>	38,0	36,4	32,0	39,2	34,9	33,1	36,4	37,4	42,0	38,8	40,0	37,4	33,8	36,5	32,4	46,9	40,6	33,9	
<b>K-feldspato</b>	43,6	44,5	45,3	41,7	44,2	48,7	42,6	45,7	42,2	44,0	39,9	40,2	37,8	37,0	43,6	33,7	37,6	42,3	
<b>Plagioclásio</b>	18,4	19,2	22,8	19,2	20,9	18,2	21,0	17,0	15,8	17,1	20,1	22,4	28,4	26,6	24,1	19,4	21,8	23,8	
<b>Pl/Fk</b>	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	
<b>Nº de pontos</b>	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800

Siglas: BMSG: biotita monzogranito/sienogranito; ABMG: anfibólio-biotita monzogranito/sienogranito; BASG: biotita-anfibólio sienogranito; BAMG: biotita-anfibólio monzogranito. Abreviações: Ap = Apatita, K-feldspato = feldspato potássico, Pl = plagioclásio, Q = quartzo Zr = zircão

## Anexo 3

(Continua)

Fácies	BMSG					ABMSG										
	Mineral	PCJ-23	PCJ-43	PCJ-45 B	PCM-09	PCM-24	PC-02 A	PC-20	PCJ-31 A	PCJ-45 A	PCM-14 B	PCM-21	PCM-30	PCM-44	PC-02 B	PC-03 B
<b>Quartzo</b>	35,6	34,4	33,7	38,4	40,7	33,6	38,9	31,4	37,1	38,1	42	43,3	40,2	30,8	33,1	39,2
<b>K-feldspato</b>	33,4	38,9	34,7	37,2	31,1	35,2	28,4	37,2	30,5	37	32,5	32	36,1	40,3	39,4	37,5
<b>Plagioclásio</b>	22,7	21,4	26,9	22,1	26,1	23,3	22,6	22,1	21,5	20,2	19,8	21	20,7	19,2	18,6	16,3
<b>Biotita</b>	7,4	3,6	4,2	1,1	1,2	3	6,7	5,1	7,1	1,9	3,8	1,6	1,3	3,7	4,4	3,6
<b>Anfibólio</b>	0	0	0	0	0	2,1	2	2,1	1,8	1,4	1,1	0,8	0,8	3	2,8	1,9
<b>Opacos</b>	0,1	1,1	0	0,7	0,4	1,3	0,8	1,3	1,2	0,6	0,3	0,6	0,3	1,4	0,9	0,8
<b>Apatita</b>	0,1	0	0,2	0,1	0,1	0,5	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0	0,5	0,1	0,2
<b>Zircão</b>	0,5	0,4	0,2	0,2	0,2	0,7	0,4	0,5	0,6	0,4	0,2	0,2	0,4	1,1	0,7	0,5
<b>Fluorita</b>	0,1	0,2	0,1	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Allanita</b>	0,1	0	0	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0	0	0
<b>Félsicos</b>	91,7	94,7	95,3	97,7	97,9	92,1	89,9	90,7	89,1	95,3	94,3	96,3	97	90,3	91,1	93
<b>Máficos</b>	8,3	5,3	4,7	2,3	2,1	7,9	10,1	9,3	10,9	4,7	5,7	3,7	3	9,7	8,9	7
<b>Fk+Pl</b>	56,1	60,3	61,6	59,3	57,2	58,5	51	59,3	52	57,2	52,3	53	56,8	59,5	58	53,8
<b>Q+Fk</b>	69	73,3	68,4	75,6	71,8	68,8	67,3	68,6	67,6	75,1	74,5	75,3	76,3	71,1	72,5	76,7
<b>Anf/Bt</b>	-	-	-	-	-	0,7	0,3	0,4	0,3	0,7	0,3	0,5	0,6	0,8	0,6	0,5
<b>À 100%</b>																
<b>Quartzo</b>	38,8	36,3	35,4	39,3	41,6	36,5	43,3	34,6	41,6	40,0	44,5	45,0	41,4	34,1	36,3	42,2
<b>K-feldspato</b>	36,4	41,1	36,4	38,1	31,8	38,2	31,6	41,0	34,2	38,8	34,5	33,2	37,2	44,6	43,2	40,3
<b>Plagioclásio</b>	24,8	22,6	28,2	22,6	26,7	25,3	25,1	24,4	24,1	21,2	21,0	21,8	21,3	21,3	20,4	17,5
<b>Pl/Fk</b>	0,7	0,6	0,8	0,6	0,8	0,7	0,8	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4
<b>Nº de pontos</b>	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800

Siglas: BMSG: biotita monzogranito/sienogranito; ABMG: anfibólio-biotita monzogranito/sienogranito; BASG: biotita-anfibólio sienogranito; BAMG: biotita-anfibólio monzogranito. Abreviações: Ap = Apatita, K-feldspato = feldspato potássico, Pl = plagioclásio, Q = quartzo Zr = zircão

Fácies	ABMSG													BASG			
	Mineral	PCJ-21	PCJ-22	PCJ-30	PCJ-32	PCJ-36	PCJ-40	PCM-08	PCM-11	PCM-14 A	PCM-25	PCM-32	PCM-46 A	PCM-49	PCM-12	PCM-19	PCM-20
<b>Quartzo</b>	36	31,9	25,3	30,9	31,7	35	39,1	31,1	36	43,4	52,8	41,8	47,8	43,9	43,1	40,2	45,6
<b>K-feldspato</b>	40,6	40,8	45,8	49,7	42,1	37,3	37,9	48,5	42	36,6	29,2	38,6	37,4	40,9	35,3	38,2	34,3
<b>Plagioclásio</b>	16,7	18,2	19,5	14,4	20,5	16,8	15,7	16,9	16,9	13	11,8	14,5	12	10,6	13,1	15	13,4
<b>Biotita</b>	3	4,3	4,8	2,6	3	5,7	3,1	1,4	3	3,4	4	3	1,2	1,4	2,2	1,8	1,1
<b>Anfibólio</b>	2	3	2,6	1,4	1,7	3,1	3,1	0,8	1	2,4	1,6	1,1	0,8	1,9	5,3	3,7	4,5
<b>Opacos</b>	0,8	1	1,3	0,5	0,4	1,3	0,5	0,5	0,5	0,6	0,2	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6
<b>Apatita</b>	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Zircão</b>	0,6	0,6	0,4	0,3	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,4	0,3	0,3	0,2
<b>Fluorita</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Allanita</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,1	0,1	0,1
<b>Félsicos</b>	93,3	90,9	90,6	95	94,3	89,1	92,7	96,5	94,9	93	93,8	94,9	97,2	95,4	91,5	93,4	93,3
<b>Máficos</b>	6,7	9,1	9,4	5	5,7	10,9	7,3	3,5	5,1	7	6,2	5,1	2,8	4,6	8,5	6,6	6,7
<b>Fk+Pl</b>	57,3	59	65,3	64,1	62,6	54,1	53,6	65,4	58,9	49,6	41	53,1	49,4	51,5	48,4	53,2	47,7
<b>Q+Fk</b>	76,6	72,7	71,1	80,6	73,8	72,3	77	79,6	78	80	82	80,4	85,2	84,8	78,4	78,4	79,9
<b>Anf/Bt</b>	0,7	0,7	0,5	0,5	0,6	0,5	1,0	0,6	0,3	0,7	0,4	0,4	0,7	1,4	2,4	2,1	4,1
<b>À 100%</b>																	
<b>Quartzo</b>	38,6	35,1	27,9	32,5	33,6	39,3	42,2	32,2	37,9	46,7	56,3	44,0	49,2	46,0	47,1	43,0	48,9
<b>K-feldspato</b>	43,5	44,9	50,6	52,3	44,6	41,9	40,9	50,3	44,3	39,4	31,1	40,7	38,5	42,9	38,6	40,9	36,8
<b>Plagioclásio</b>	17,9	20,0	21,5	15,2	21,7	18,9	16,9	17,5	17,8	14,0	12,6	15,3	12,3	11,1	14,3	16,1	14,4
<b>Pl/Fk</b>	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
<b>Nº de pontos</b>	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800

Siglas: BMSG: biotita monzogranito/sienogranito; ABMG: anfibólio-biotita monzogranito/sienogranito; BASG: biotita-anfibólio sienogranito; BAMG: biotita-anfibólio monzogranito. Abreviações: Ap = Apatita, K-feldspato = feldspato potássico, Pl = plagioclásio, Q = quartzo Zr = zircão

## Anexo 3

(Conclusão)

Fácies	BASG									BAMG			
	Mineral	PCM-28	PCM-29	PCM-31	PCM-50	PCM-13	PCM-54 A	PCM-54 B	PCM-54 C	PCM-55	PCM-10	PCM-53	PCM-51
<b>Quartzo</b>	50	37,9	47,9	36,4	36,8	34,3	35,5	34,4	39,2	35,3	33,4	30,9	30,5
<b>K-feldspato</b>	30,3	45,2	32,2	45	40,7	41,4	41,7	41,1	40,8	25,6	37,4	33,8	34,1
<b>Plagioclásio</b>	15	11,5	11,6	12,4	14,8	15	16,1	14,3	14,5	27,8	25	27,2	25,8
<b>Biotita</b>	1	1,2	2,9	1,8	2,2	3,1	2	3,4	1,4	3,8	1	2	3,1
<b>Anfibólio</b>	2,5	3,4	4,3	3,2	4,4	4,9	3,7	5,6	3	5,8	2,2	5,4	5,6
<b>Opacos</b>	0,6	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7	0,6	0,8	0,4	0,4	0,5
<b>Apatita</b>	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1
<b>Zircão</b>	0,4	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,2	0,3	0,3	0,5	0,3	0,1	0,2
<b>Fluorita</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Allanita</b>	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0	0,1	0,1
<b>Félsicos</b>	95,3	94,6	91,7	93,8	92,3	90,7	93,3	89,8	94,5	88,7	95,8	91,9	90,4
<b>Máficos</b>	4,7	5,4	8,3	6,2	7,7	9,3	6,7	10,2	5,5	11,3	4,2	8,1	9,6
<b>Fk+Pl</b>	45,3	56,7	43,8	57,4	55,5	56,4	57,8	55,4	55,3	53,4	62,4	61	59,9
<b>Q+Fk</b>	80,3	83,1	80,1	81,4	77,5	75,7	77,2	75,5	80	60,9	70,8	64,7	64,6
<b>Anf/Bt</b>	2,5	2,8	1,5	1,8	2,0	1,6	1,9	1,6	2,1	1,5	2,2	2,7	1,8
<b>À 100%</b>													
<b>Quartzo</b>	52,5	40,1	52,2	38,8	39,9	37,8	38,0	38,3	41,5	39,8	34,9	33,6	33,7
<b>K-feldspato</b>	31,8	47,8	35,1	48,0	44,1	45,6	44,7	45,8	43,2	28,9	39,0	36,8	37,7
<b>Plagioclásio</b>	15,7	12,2	12,6	13,2	16,0	16,5	17,3	15,9	15,3	31,3	26,1	29,6	28,5
<b>Pl/Fk</b>	0,5	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	1,1	0,7	0,8	0,8
<b>Nº de pontos</b>	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800

Siglas: BMSG: biotita monzogranito/sienogranito; ABMG: anfibólio-biotita monzogranito/sienogranito; BASG: biotita-anfibólio sienogranito; BAMG: biotita-anfibólio monzogranito. Abreviações: Ap = Apatita, K-feldspato = feldspato potássico, Pl = plagioclásio, Q = quartzo Zr = zircão.

---

**ANEXO D**

---

**Assunto:**Re: figuras e legendas artigo  
**Data:**Fri, 26 Apr 2013 10:40:47 -0300  
**De:**Boletim MPEG Ciências Naturais  
**Para:**Claudio Nery Lamarão  
**CC:**Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi

Prezado sr. Claudio Nery Lamarão,

Recebemos, via email, os documentos de submissão do artigo intitulado "Geologia, petrografia, geoquímica e suscetibilidade magnética do granito paleoproterozóico São João, sudeste do Cráton Amazônico, Província Carajás", da autoria de Paulo Henrique Araújo Lima, em coautoria com o sr. e Max de Jesus Pereira dos Santos, encaminhado ao Editor do Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais (ISSN 1981-8114). Agradecemos o envio de sua contribuição.

O Boletim possui normas editoriais de normalização e apresentação de textos. Os manuscritos submetidos que atenderem às "instruções aos autores" e que se coadunem com a sua política editorial são encaminhados para avaliação do Editor Científico.

Para ser publicado, o manuscrito deve ser aprovado nas três seguintes fases:

Pré-análise: obedecendo a ordem de chegada, a avaliação é feita pelos Editores Científicos com base na originalidade, pertinência, qualidade acadêmica e relevância do manuscrito para o tema.

Avaliação por pares externos: os manuscritos selecionados na pré-análise são submetidos à avaliação de especialistas na temática abordada. O prazo para recepção desses pareceres fica condicionado ao número de páginas do manuscrito e disponibilidade do revisor. Em média, são necessários entre vinte e trinta dias. Os pareceres são analisados pelos editores de área, que propõem ao Editor Científico a aprovação ou não do manuscrito.

Redação/Estilo: A leitura técnica dos textos e a padronização ao estilo da Revista finalizam o processo de avaliação.

O anonimato é garantido durante todo o processo de julgamento.

A qualquer momento do processo de avaliação, o autor de correspondência pode solicitar informações quanto ao status do manuscrito.

Lembramos que o Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais publica apenas contribuições inéditas. Caso seu trabalho não se enquadre nesta categoria, pedimos que entre em contato conosco imediatamente.

Atenciosamente,

Rafaele Lima  
Assistente editorial

---

Núcleo Editorial Boletim  
Museu Paraense Emílio Goeldi/MCTI  
Av. Magalhães Barata, 376  
São Braz - 66040-170  
Belém,PA,Brasil  
Tel++55[91] 3182-3246  
Fax++55[91] 3246-6373  
[EMAIL:boletim@museu-goeldi.br](mailto:boletim@museu-goeldi.br)  
@BoletimNaturais

---

O Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG, Instituto de Pesquisa vinculado ao Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação, com regimento interno aprovado pela Portaria do MCT nº 803/2006, está enviando esta mensagem exclusivamente a seu destinatário e pode conter informações confidenciais, protegidas por sigilo profissional. Sua utilização desautorizada é ilegal e sujeita o infrator às penas da lei. Caso você a tenha recebido indevidamente, pedimos sua atenção em reenviá-la ao emitente, esclarecendo o equívoco.