



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

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº514**

**PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E SUSCETIBILIDADE  
MAGNÉTICA DO GRANITO GRADAÚS, PROVÍNCIA  
CARAJÁS, SE DO PARÁ**

**Dissertação apresentada por:**

**THIAGO ANDRADE DE CARVALHO**

**Orientador: Prof. Dr. Claudio Nery Lamarão (UFPA)**

---

**BELÉM  
2017**

---

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Carvalho, Thiago Andrade de 1992 -

Petrografia, geoquímica e suscetibilidade magnética do granito Gradaús, Província Carajás, SE do Pará. / Thiago Andrade de Carvalho. – 2017.

xi, 61 f : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Claudio Nery Lamarão

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2017.

1. Petrologia - Pará. 2. Suscetibilidade magnética. 3. Granito - Pará. 4. Crátons - Pará. 5. Pará, Sudeste. I. Título.

---

CDD 22. ed.: 552.0098115

Elaborado por  
Lucia de Fátima Imbiriba de Sousa  
CRB-2/652



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

**PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E SUSCETIBILIDADE  
MAGNÉTICA DO GRANITO GRADAÚS, PROVÍNCIA  
CARAJÁS, SE DO PARÁ**

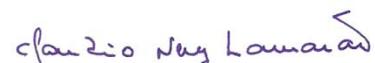
**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR:**

**THIAGO ANDRADE DE CARVALHO**

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

**Data de Aprovação: 31 / 10 / 2017**

**Banca Examinadora:**

  
Prof. Dr. Cláudio Nery Lamarão  
Orientador - UFPA

  
Prof. Dr. Amarildo Salina Ruiz  
Membro- UFMT

  
Prof. Dr. Davis Carvalho de Oliveira  
Membro - UFPA

À minha família.

## AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo apoio e suporte durante esta etapa.

À Universidade Federal do Pará (UFPA) e ao Instituto de Geociências (IG), pela infraestrutura.

Ao CNPq, pela disponibilização da bolsa de mestrado.

Ao meu orientador, Dr. Cláudio Nery Lamarão pelos ensinamentos ao longo deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG), pelo conhecimento transmitido, aos técnicos e responsáveis pelos laboratórios do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará (UFPA), especialmente Ana Paula (Laboratório de Microanálises) e Joelma Lobo (Laboratório de Laminação).

Aos componentes do Grupo de Pesquisa de Petrologia de Granitoides (GPPG), em especial: Msc. Gisele Marques, Prof. Dr. Davis Oliveira.

A todos que de alguma forma contribuíram ou ajudaram no desenvolvimento do presente trabalho.

## RESUMO

O Granito Gradaús (1882±9 Ma), localizado no Estado do Pará, a oeste da cidade de Bannach e a norte de Cumaru do Norte, porção sudeste do Cráton Amazônico, é um batólito anorogênico com formato subcircular e cerca de 800 km<sup>2</sup> de área aflorante, integrante do intenso magmatismo granítico que ocorreu durante o Paleoproterozoico na Província Carajás. É intrusivo em metassedimentos do Grupo Rio Fresco, os quais recobrem unidades arqueanas pertencentes ao Domínio Rio Maria. É constituído por dois conjuntos petrográficos distintas: rochas monzograníticas, compostas basicamente por biotita-monzogranitos e biotita-monzogranitos-porfiríticos, e por rochas sienograníticas formadas por biotita-anfibólio-sienogranitos, biotita-sienogranitos e biotita-sienogranitos-porfiríticos. Os dados de suscetibilidade magnética (SM) permitiram identificar três populações com diferentes características magnéticas; seus valores de SM moderados a baixos ( $< 3,53 \times 10^{-3}$  SIv) permitem classificá-lo como um granito moderadamente reduzido. O Granito Gradaús apresenta conteúdos de SiO<sub>2</sub> >75%, MgO <0,2%, CaO <1%, FeO<sub>t</sub> entre 1-2% e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> entre 11,3 e 12,9%, caráter metaluminoso a peraluminoso, razões FeO<sub>t</sub>/(FeO<sub>t</sub>+MgO) entre 0,94 e 0,97, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O entre 1 e 2 e conteúdos de ETRL mais elevados que os ETRP. Os ETRL mostram padrão de fracionamento moderado ((La/Sm)<sub>n</sub>=4,61) e os ETRP sub-horizontalizado ((Gd/Yb)<sub>n</sub>=1,40). As anomalias negativas de Eu são moderadas a acentuadas nas rochas monzograníticas e sienograníticas (Eu/Eu\* 0,43-0,02) e levemente mais pronunciadas nas rochas porfiríticas (Eu/Eu\* 0,25-0,03). Mostra afinidades geoquímicas com granitos do tipo A intraplaca, do subtipo A<sub>2</sub> e granitos ferrosos. Apresenta semelhanças petrográficas, geoquímicas, geocronológicas e de SM com os granitos São João e Seringa, ainda não enquadrados em nenhuma das três suítes graníticas da Província Carajás. O estudo comparativo entre esses granitos com aqueles que compõem as suítes Jamon, Velho Guilherme e Serra dos Carajás mostra que eles apresentam maiores semelhanças com os granitos que integram a Suíte Serra dos Carajás.

Palavras-chave: Petrografia. Suscetibilidade magnética. Granito tipo A. Cráton Amazônico. Domínio Rio Maria. Granito Gradaús.

## ABSTRACT

The Gradaús Granite (1882±9 M.y.), located in Pará State, to the West of Bannach city and to the North of Cumaru do Norte, southeastern portion of Amazonian Craton, it is an anorogenic batholith with an area approximately 800 km<sup>2</sup>, it is part of an intense granitic magmatism event that occurred during the Paleoproterozoic in the Carajás Province. It outcrops metasedimentary rocks of Rio Fresco Group, which lays on archean units of Rio Maria Domain. It compreends two distinct petrographic group: monzogranitics, composed by biotite-monzogranite and porfiritic-biotite-monzogranite, and syenogranitics, composed by biotite-anfibole-syenogranite, biotite-syenogranite and porfiritic-biotite-syenogranite. The magnetic suscetibility (MS) data allowed to identify three populations with differents magnetic characteristics, moderate to low MS values ( $< 3.53 \times 10^{-3}$  SIv) classify it as a moderately reduced granite. The Gradaús Granite shows contents of SiO<sub>2</sub> >75%, MgO <0,2%, CaO <1%, FeOt between 1-2% and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> between 11,3 e 12,9%, metaluminous to peraluminous nature, 0.94 to 0.97 FeOt/(FeOt+MgO) ratios, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratios between 1 and 2 and higher LREE contents than HREE ((La/Yb)<sub>n</sub>=9.40). The LREE shows a moderate fractionation pattern ((La/Sm)<sub>n</sub>=4.61), while the HREE shows a subhorizontalized pattern ((Gd/Yb)<sub>n</sub>=1.40). The Eu anomalies are moderate to accentuated in the monzogranitic and syenogranitic rocks (Eu/Eu\* 0.43-0.02), and slightly accentuated in the porfiritic ones (Eu/Eu\* 0.25-0.03). It shows geochemical affinity to intraplate A-type granites, A<sub>2</sub> subtype and ferroan granites. It shows petrografic, geochemical, geochronological and MS similarities to São João and Seringa granites, not yet placed in none of the three granitic suites of Carajás Province. The comparative study between these three granites to those which compreends the Jamon, Velho Guilherme and Serra dos Carajás granitic suites shows that these granites presente greater similarities to the granites that integrate the Serra dos Carajás Suite.

**Keywords:** Petrography. Magnetic susceptibility. A type granite. Amazonian Craton. Rio Maria Domain. Gradaús Granite.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização do Granito Gradaús mostrando as principais vias de acesso. ...	2
Figura 2 - Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico. ....	4
Figura 3 - Mapa geológico de parte da Província Carajás e adjacências, destacando as principais unidades litoestratigráficas e o Granito Gradaús estudado. ....	5
Figura 4 - Mapa de localização dos pontos estudados na área leste do Granito Gradaús. ....	20
Figura 5 - Mapa geológico de parte do Domínio Rio Maria, Província Carajás, destacando o Granito Gradaús e suas encaixantes. ....	22
Figura 6 - Mapa geológico do Granito Gradaús, mostrando a distribuição espacial de suas fácies. BASG: biotita-anfibólio-sienogranito; BMG: biotita-monzogranito; BSG: biotita-sienogranito; BMGP e BSGP: biotita-monzogranito porfirítico e biotita-sienogranito porfirítico. ....	23
Figura 7 - Aspectos de campo e aspectos macroscópicos em amostras de mão do Granito Gradaús. ....	24
Figura 9 - Principais texturas presentes em escala microscópica no Granito Gradaús. ....	28
Figura 10 - Aspectos texturais dos minerais máficos presentes nas rochas do Granito Gradaús. ....	29
Figura 11 - Diagramas de SM do Granito Gradaús. ....	32
Figura 12 - Imagens de elétrons retroespalhados dos principais minerais óxidos de Fe-Ti encontrados no Granito Gradaús. ....	33
Figura 13 - Diagramas geoquímicos para as diversas fácies do Granito Gradaús. ....	35
Figura 14 - Diagramas envolvendo elementos traços para as variedades do Granito Gradaús e granitos Seringa e São João. ....	36
Figura 15 - Padrões de distribuição de ETR para as rochas do Granito Gradaús, granitos Seringa e São João e as suítes Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme. ....	40
Figura 16 - Diagramas geoquímicos para as rochas do Granito Gradaús. ....	42
Figura 17 - Diagramas geoquímicos mostrando campos composicionais de granitos tipo A e cálcico-alcálicos; granitos tipo A oxidados/reduzidos e cálcico-alcálicos. ....	43
Figura 18 - Polígono de frequência, intervalo de ocorrência e médias para dados de suscetibilidade magnética normalizados dos granitos Gradaús, Seringa e São João e das suítes Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme. ....	45

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Dados geocronológicos dos granitoides do Domínio Rio Maria. ....	8
Tabela 2 - Dados geocronológicos dos granitos paleoproterozoicos da Província Carajás. ....	16
Tabela 3 - Composições modais representativas das diferentes fácies do Granito Gradaús. ....	25
Tabela 4 - Dados de SM do Granito Gradaús.....	31
Tabela 5 - Composições químicas das amostras do Granito Gradaús. ....	37
Tabela 6 - Tabela comparativa de minerais opacos, Suscetibilidade Magnética e razão FeOt/(FeOt+MgO). ....	48

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	v
<b>RESUMO</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	viii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	ix
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 APRESENTAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DO CORPO ESTUDADO .....	1
1.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL .....	2
1.2.1 <b>Domínio Rio Maria</b> .....	5
1.2.2 <b>Domínio Sapucaia</b> .....	9
1.2.3 <b>Domínio Canaã dos Carajás</b> .....	10
1.2.4 <b>Bacia Carajás</b> .....	12
1.2.5 <b>Suítes Graníticas Paleoproterozóicas</b> .....	14
1.3 JUSTIFICATIVA .....	16
1.4 OBJETIVOS .....	17
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS .....	18
1.5.1 <b>Pesquisa Bibliográfica</b> .....	18
1.5.2 <b>Mapeamento Geológico</b> .....	18
1.5.3 <b>Petrografia</b> .....	19
1.5.4 <b>Geoquímica</b> .....	20
1.5.5 <b>Suscetibilidade Magnética</b> .....	21
<b>2 RESULTADOS</b> .....	22
2.1 GEOLOGIA DO GRANITO GRADAÚS .....	22
2.2 PETROGRAFIA .....	24
2.3 SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA .....	30
2.4 GEOQUÍMICA .....	34
2.4.1 <b>Elementos Maiores</b> .....	34
2.4.2 <b>Elementos Traço</b> .....	35
2.4.3 <b>Elementos Terras Raras</b> .....	39
<b>3 DISCUSSÃO</b> .....	41
3.1 AMBIENTE TECTÔNICO E TIPOLOGIA .....	41

3.2 GRANITO GRADAÚS <i>VERSUS</i> GRANITOS SERINGA E SÃO JOÃO .....	43
3.3 GRANITO GRADAÚS <i>VERSUS</i> SUÍTES GRANÍTIAS .....	45
4 <b>CONCLUSÕES</b> .....	47
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	49

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DO CORPO ESTUDADO

O Cráton Amazônico (CA) foi palco de um intenso magmatismo granítico anorogênico durante o Paleoproterozóico (Dall'Agnol *et al.* 1994) representado por rochas plutônicas e vulcânicas diversas. Na sua porção sudeste está localizada a Província arqueana de Carajás. Nesta área, o evento magmático paleoproterozóico foi marcado pela geração de três suítes graníticas tipo-A (Dall'Agnol *et al.* 2005): Suítes Jamon e Velho Guilherme, inseridas no Domínio Rio Maria (DRM), e Serra dos Carajás, pertencente ao Domínio Carajás (Vasquez *et al.* 2008).

A Suíte Jamon é formada pelos plutons Jamon, Musa, Redenção, Bannach, Marajoara, Manda Saia, Gradaús, Seringa e São João. Os granitos São João, Seringa e Gradaús foram incluídos preliminarmente na Suíte Jamon levando em consideração principalmente sua localização geográfica nos limites do Domínio Rio Maria; no entanto, estudos mais recentes mostraram que os corpos São João e Seringa possuem maior afinidade petrográfica, geoquímica e de suscetibilidade magnética com as rochas da Suíte Serra dos Carajás (Paiva Jr. *et al.* 2011, Lima *et al.* 2014).

O Granito Gradaús (idade Pb-Pb em zircão de  $1882 \pm 9$  Ma; Abrantes Jr. 2011), ao contrário dos corpos Seringa e São João, ainda é geologicamente pouco conhecido. Diferente dos outros corpos que compõem as suítes graníticas definidas por Dall'Agnol *et al.* (2005), o Granito Gradaús ainda não possui estudos petrográficos, geoquímicos e de susceptibilidade magnética (SM), o que dificulta sua correlação com os demais corpos e seu posicionamento em uma dessas suítes graníticas. Está localizado no centro-sul do Estado do Pará, a oeste da cidade de Bannach e a norte da cidade de Cumarú do Norte, no limite entre as Folhas Rio Fresco (SB-22-Y-D) e Xinguara (SB-22-Z-C). É intrusivo em metassedimentos do Grupo Rio Fresco (Cunha *et al.* 1984). Possui formato subarredondado e dimensões batolíticas (~25 km de diâmetro). A área do presente estudo se enquadra entre os paralelos  $7^{\circ}20'00''$  e  $7^{\circ}45'00''$ S e os meridianos  $50^{\circ}45'00''$  e  $51^{\circ}10'00''$  W (Figura 01).

O acesso à área pode ser realizado a partir das rodovias PA-150 (Belém-Marabá-Redenção) e PA-287 (Redenção-Cumarú do Norte). O acesso ao corpo é feito através de estradas vicinais, que conduzem a povoados e sedes de fazenda.

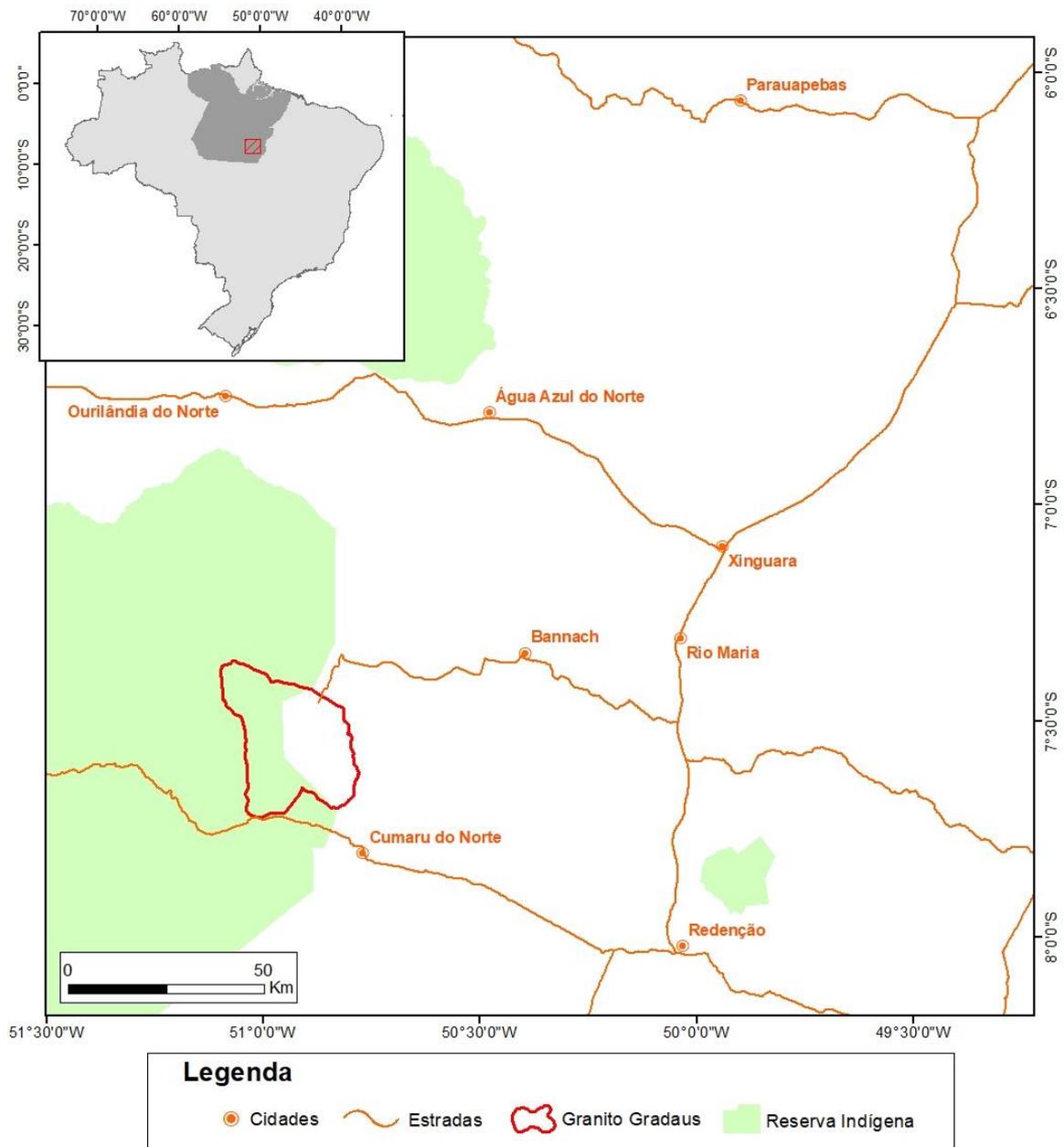


Figura 1 - Mapa de localização e vias de acesso da área de estudo.

## 1.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

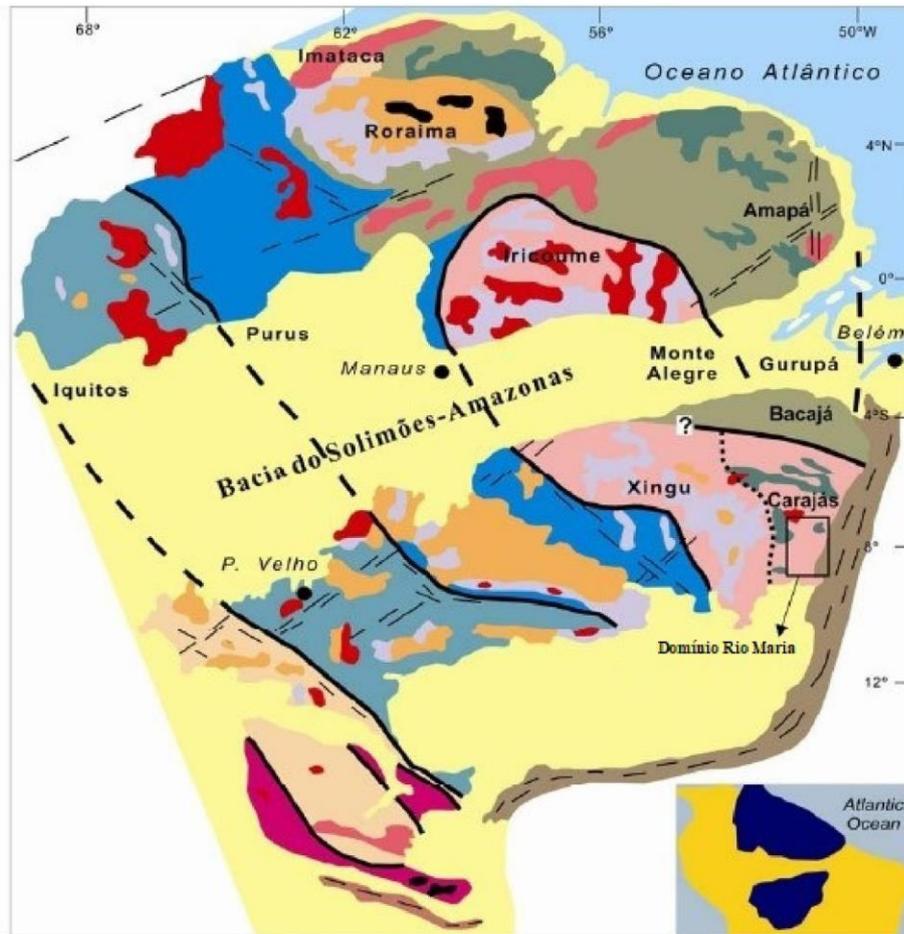
O Cráton Amazônico é uma das principais unidades tectônicas da Plataforma Sulamericana, com cerca de 4.500.000 km<sup>2</sup> de extensão, sendo assim, uma das maiores áreas pré-cambrianas existentes, ocupando parte do Brasil, Guiana Francesa, Venezuela, Guiana, Suriname, Colômbia e Bolívia. É formado pelos Escudos das Guianas e do Brasil Central, separados pelas Bacias do Amazonas e Solimões (Tassinari & Macambira 1999). É limitado pelos Grupos Baixo Araguaia a leste, Alto Paraguai a sul e Cuiabá e Corumbá a sudeste, sendo

estas bacias formadas durante o Ciclo Orogênico Brasileiro (930-540 Ma; Pimentel & Fuck 1992).

Segundo Tassinari & Macambira (2004), o Cráton Amazônico (Figura 2), pode ser dividido em seis diferentes províncias geocronológicas: Amazônia Central (>2,2 Ga), Maroni-Itacaiúnas (2,2-1,95 Ga), Ventuari-Tapajós (1,95-1,88 Ga), Rio-Negro-Juruema (1,8-1,55 Ga), Rondoniana-San Ignácio (1,55-1,3 Ga) e Sunsás (1,3-1,0 Ga). O limite entre estas províncias foi definido principalmente com base em dados geocronológicos, com apoio de dados geológicos e geofísicos. A idade entre as províncias apresenta um intervalo muito amplo e, em algumas áreas, os seus limites ainda são pobremente conhecidos em decorrência, sobretudo, do pouco conhecimento da geologia do Cráton Amazônico.

A Província Carajás, inserida na Província Amazônia Central (Tassinari & Macambira 2004), está localizada na porção sudeste do Cráton Amazônico. Estes autores consideram a Província Amazônia Central como o segmento mais antigo do Cráton Amazônico, separada em dois blocos principais: Carajás e Xingu-Iricoumé. Santos *et al.* (2000) consideram o Bloco Arqueano de Carajás como uma província independente (Província Mineral de Carajás). No entanto, os diferentes autores admitem que foram episódios de acreção crustal sequenciais durante o Paleoproterozoico e Mesoproterozoico em torno de um núcleo mais antigo, estabilizado no fim do Arqueano, os responsáveis pela evolução do Cráton Amazônico.

A Província Carajás é dividida em dois blocos tectônicos distintos (Souza *et al.* 2001, Santos 2003, Dall'Agnol *et al.* 2006, Vasquez *et al.* 2008): o Domínio Rio Maria, localizado a sul e com idade mesoarqueana, corresponde ao Terreno Granito-*Greenstone* Rio Maria (Santos *et al.* 2000, Tassinari & Macambira 2004, Dall'Agnol *et al.* 2005, Vasquez *et al.* 2008, Feio 2011), e o Domínio Carajás, localizado a norte, com evolução do final do neoarqueano. Entre estes dois domínios citados acima, existem os chamados Domínio Canaã dos Carajás (DCC) e Domínio Sapucaia (DS), que representam as porções norte e sul, respectivamente, do anteriormente chamado Subdomínio de Transição (Feio *et al.* 2012).



### Províncias Geocronológicas

- Sunsás (1,25-1,0 Ga)
- Rondoniana-San Ignacio (1,55-1,3 Ga)
- Rio Negro-Juruena (1,8-1,55 Ga)
- Ventuari-Tapajós (1,9-1,8 Ga)
- Maroni-Itacaiúnas (2,2-1,9 Ga)
- Amazônia Central (>2,5 Ga)
- Área de estudo (DRM)

### Unidades Geológicas

- Coberturas Fanerozóicas
- Granitóides
- Cobertura Pré-Cambriana
- Vulcanismo Ácido intermediário
- Vulcanismo Máfico
- Greenstone belts
- Complexos Granulíticos
- Cinturões Móveis Neoproterozóicos
- Cinturões Móveis Neoproterozóicos

Figura 2 - Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico.  
Fonte: Tassinari & Macambira (2004).

### 1.2.1 Domínio Rio Maria

O Domínio Rio Maria (Vasquez *et al.* 2008; Figura 3), denominado anteriormente de Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM), é o domínio com evolução geológica melhor estudada no contexto da Província Carajás. É formado por *greenstone belts* (Supergrupo Andorinhas) e granitoides (Pimentel & Machado 1994, Macambira & Lafon 1995, Althoff *et al.* 2000, Leite 2001, Leite *et al.* 2004, Dall'Agnol *et al.* 2006), todos com idades arqueanas (Tabela 1), cortados por granitos anorogênicos proterozoicos e diques associados. Sua divisão é feita com base em características petrográficas, geoquímicas e geocronológicas:

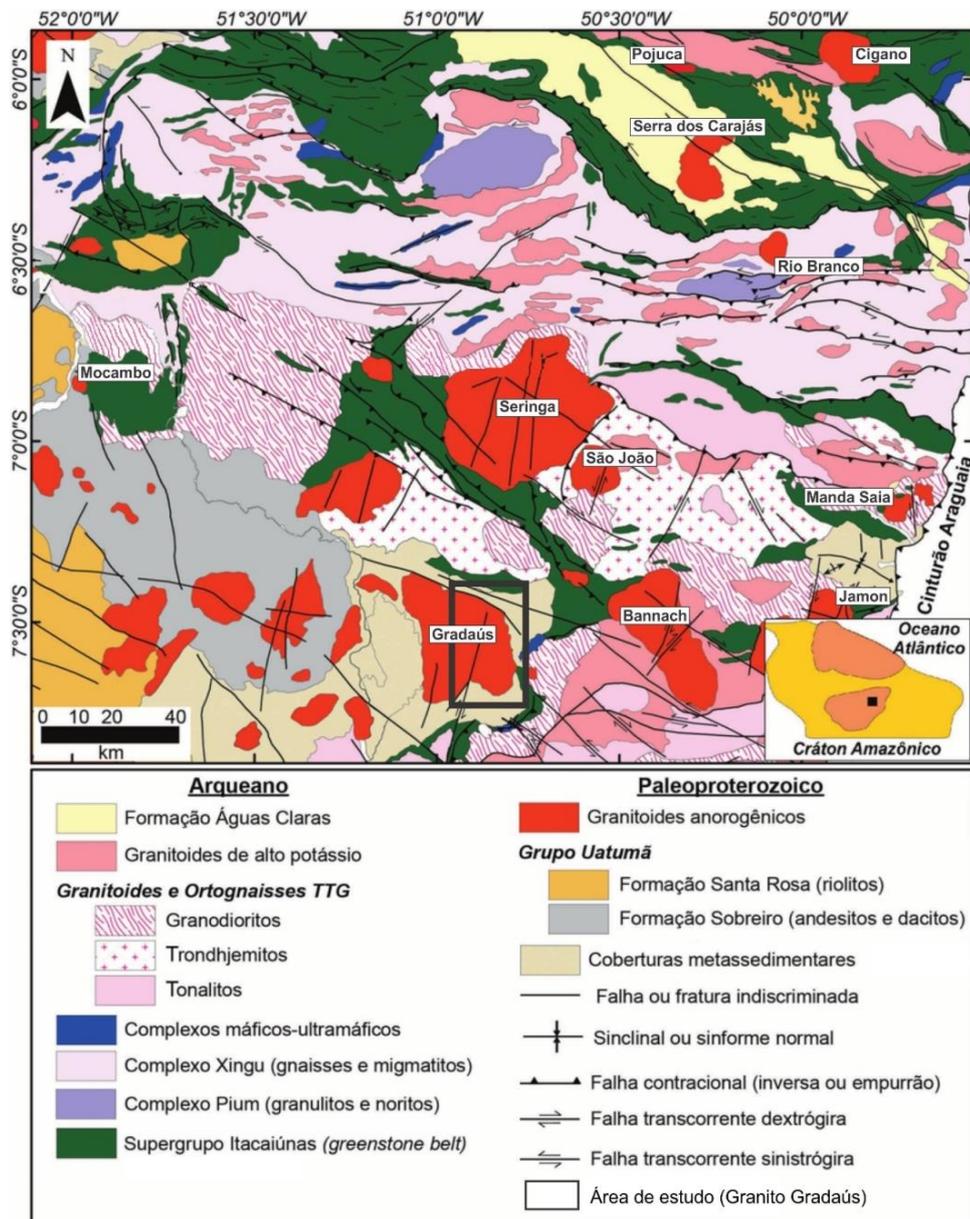


Figura 3 - Mapa geológico da porção norte da Província Carajás e adjacências, destacando as principais unidades litoestratigráficas e o Granito Gradaús estudado.

Fonte: modificado de Vasquez *et al.* (2008).

O Supergrupo Andorinhas engloba as rochas dos Grupos Babaçu, Lagoa Seca, Serra do Inajá, Gradaús, Sapucaia, Identidade e Tucumã, incluídos no Supergrupo Andorinhas (DOCEGEO 1988), metamorfasadas em condições de fácies xisto-verde a anfíbolito (Souza *et al.* 1996, 1997, 2001), onde predominam komatiítos e basaltos toleíticos, com idades que variam de 2,98 a 2,90 Ga (Macambira 1992, Pimentel & Machado 1994). Ocorrem como faixas orientadas nas direções E-W, NW-SE e NE-SW, compõem estruturas sinformais estreitas e alongadas, circundadas por rochas gnáissicas e cortadas por granitoides arqueanos (DOCEGEO 1988, Huhn *et al.* 1988, Souza *et al.* 1990). O Grupo Babaçu constitui a unidade inferior e o Grupo Lagoa Seca a unidade superior. O primeiro é composto predominantemente por rochas máficas e ultramáficas e o segundo por rochas metassedimentares clásticas e metavulcânicas félsicas.

Os granitoides da série TTG antiga do Domínio Rio Maria (2,98-2,92 Ga) são compostos pelo Tonalito Arco Verde (Macambira & Lancelot 1996, Althoff *et al.* 1995, 2000), Trondhjemitó Mogno (Cordeiro & Saueressig 1980, Huhn *et al.* 1988 e DOCEGEO 1988) e Tonalito Mariazinha (Guimarães 2009, Almeida *et al.* 2011). Esses granitoides possuem idades de cristalização diferenciadas, possuindo, no entanto, características petrográficas e geoquímicas semelhantes. O Tonalito Arco Verde apresentou idades U-Pb em zircões de  $2957 \pm 25$  Ma (Macambira 1992), posteriormente confirmadas por datações Pb/Pb em zircão efetuadas na região de Inajá ( $2948 \pm 7$  Ma,  $2981 \pm 8$  Ma,  $2965 \pm 1$  Ma e  $2988 \pm 5$  Ma, Rolando & Macambira 2002, 2003;  $2964 \pm 2$  Ma, Vasquez *et al.* 2008), e corresponde, junto ao Tonalito Caracol, com idades de  $2948 \pm 5$  a  $2924 \pm 2$  (Leite 2001), aos granitoides mais antigos datados no Domínio Rio Maria. O Trondhjemitó Mogno, com idade U-Pb em titanita de  $2871 \pm 7$  Ma (Pimentel & Machado 1994), é intrusivo no *Greenstone Belt* de Identidade (Huhn *et al.* 1988, Souza 1994). O Tonalito Mariazinha apresenta idade U-Pb em zircão de 2,92 Ga (Almeida *et al.* 2011).

Os granitoides predominantemente granodioríticos com alto magnésio são representados pela Suíte Sanukitoide Rio Maria (Oliveira *et al.* 2009), correspondem às variedades petrográficas que constituem o Granodiorito Rio Maria, além daquelas de composição diorítica (Quartzo-diorito Parazônia; Guimarães 2009). Apresentam um padrão geocronológico uniforme, com idades em torno de 2,87 Ga. São intrusivas nos *greenstone belts* do Supergrupo Andorinhas (Leite 2001, Souza *et al.* 2001), nos Tonalitos Arco Verde, Mariazinha e Caracol, e no Trondhjemitó Mogno, sendo cortadas pelo Trondhjemitó Água Fria e Granito Xinguara (Leite 2001). Possuem características geoquímicas coincidentes com as da série cálcico-alcalina (Medeiros & Dall'Agnol 1988); no entanto, se enquadram na série de granitoides arqueanos

ricos em Mg por apresentar conteúdos relativamente baixos de  $Al_2O_3$  para rochas da série cálcico-alcalina, além de serem enriquecidas em Cr e Ni (Althoff 1996, Althoff *et al.* 1995, 2000, Leite 2001, Oliveira *et al.* 2006, 2009).

A Suíte Guarantã é formada pelo Granito Guarantã, Granodiorito Azulona e Granodiorito Trairão, com idades em torno de 2,87 Ga (Pb-Pb em zircão,  $2864 \pm 8$  Ma; LA-MC-ICPMS U-Pb em zircão,  $2875 \pm 8$  Ma e  $2872 \pm 7$  Ma; Almeida *et al.* 2013). São rochas enriquecidas em Ba e Sr, apresentam razões  $K_2O/Na_2O < 1$  (Dias 2009, Almeida *et al.* 2010) e graus variáveis de fracionamento de elementos terras raras pesadas.

A geração mais jovem de TTG descrita no Domínio Rio Maria corresponde ao Trondhjemitito Água Fria ( $\sim 2,86$  Ga), definido por Leite (2001) como um corpo alongado na direção NW-SE, intrusivo no Grupo Sapucaia, no Tonalito Caracol e nas rochas sanukitoides, sendo contemporâneo aos leucogranitos potássicos do tipo Xinguara. É constituído predominantemente de trondhjemitos com subordinados granodioritos foliados e com bandamento composicional regular a levemente ondulado. Segundo Leite (2001), corresponde às séries cálcio-alcalinas trondhjemiticas de baixo potássio (Lameyre & Bowden 1982) ou cálcio-alcalinas tonalíticas-trondhjemiticas (Bowden *et al.* 1984).

Os leucogranitos potássicos de afinidade cálcico-alcalina são representados pelos granitos Xinguara e Mata Surrão (Leite *et al.* 2004, Almeida *et al.* 2013). Definido por Leite (1995), o Granito Xinguara ( $\sim 2,86$  Ga) é um corpo textural e composicionalmente homogêneo, formando essencialmente por leucomonzogranitos metaluminosos a levemente peraluminosos com teor de sílica, álcalis e razões  $K_2O/Na_2O$  elevadas, teores de MgO baixos e CaO moderados. É intrusivo no Tonalito Caracol, Granodiorito Rio Maria e *greenstone belts* (Leite *et al.* 1999). Sua idade similar ao Trondhjemitito Água Fria indica contemporaneidade entre estes e, conseqüentemente, mais jovens que o Tonalito Caracol (Leite *et al.* 2004). O Granito Mata Surrão (Pb/Pb em rocha total de 2,87 Ga; Gibbs *et al.* 1986) é composto por um conjunto heterogêneo de rochas monzograníticas (Dall'Agnol *et al.* 2006) e intrusivo no Tonalito Arco Verde.

As coberturas metassedimentares, representadas pelo Grupo Rio Fresco, são compostas pelas Formações Tocandeira e Rio Naja (Santos & Pena Filho 2000), é composto por sedimentos clásticos grossos a finos, pelíticos, químicos e formação ferrífera bandada, anquimetamorfisados. Os sedimentos grossos estão dispostos na base do grupo e gradam para mais finos e químicos no seu topo (Hirata *et al.* 1982, DOCEGEO 1988). Sua idade de deposição foi como de 2,76 Ga por Macambira (1992).

Tabela 1 - Dados geocronológicos dos granitoides do Domínio Rio Maria.

Unidades Estratigráficas	Rocha	Método	Material analisado	Idade (Ma)
<b>Leucogranitos Potássicos</b>				
Granito Mata Surrão	Leucogranito	Pb-Pb	Rocha Total	2872±10 (1)
	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2875±11 (7)
	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2881±2 (7)
Granito Xinguara	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2865±1 (8)
<b>Leucogranodiorito-granitos</b>				
Suíte Guarantã	Granodiorito	Pb-Pb	Zircão	2868±5 (9)
	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2864±8 (13)
	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2870±5 (5)
<b>Séries TTGs Jovens</b>				
Trondhjemito Água Fria	Trondhjemito	Pb-Pb	Zircão	2864±21 (8)
<b>Suíte Sanukitoide Rio Maria</b>				
Granodiorito Rio Maria e rochas relacionadas	Granodiorito	U-Pb	Zircão	2874+9/-10 (3)
	Granodiorito	U-Pb	Zircão, Titanita	2872±5 (2)
	Quartzo-diorito	Pb-Pb	Zircão	2878±4 (4)
	Diorito	Pb-Pb	Zircão	2880±4 (7)
	Granodiorito	Pb-Pb	Zircão	2877±6 (7)
Tonalito Parazônia	Quartzo-diorito	Pb-Pb	Zircão	2876±2 (11)
	Tonalito	U-Pb	Titanita	2858 (2)
<b>Séries TTGs Antigos</b>				
Tonalito Caracol (Tonalito Mariazinha)	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2948±5 (8)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2936±3 (8)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2924±2 (12)
Trondhjemito Mogno	Trondhjemito	U-Pb	Zircão	2871±7 (2)
	Trondhjemito	Pb-Pb	Zircão	2857±13 (6)
	Trondhjemito	Pb-Pb	Zircão	2900±21 (6)
	Trondhjemito	Pb-Pb	Zircão	2962±8 (12)
	Trondhjemito	Pb-Pb	Zircão	2968±2 (12)
	Trondhjemito	Pb-Pb	Zircão	2959±2 (12)
Tonalito Arco Verde	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2964±4 (10)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2948±7 (7)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2981±8 (7)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2988±5 (7)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2952±2 (12)
	Tonalito	U-Pb	Zircão	2948±2 (12)
<b>Greenstone Belts</b>				
Supergrupo Andorinhas	Rocha			
	Metavulcânica félsica	U-Pb	Zircão	2904+29-22 (3)
	Metagrauvaca Rocha	U-Pb	Zircão	2971±18 (3)
	Metavulcânica félsica	U-Pb	Zircão	2972±5 (2)

Fonte: modificado de Almeida *et al.* (2011). (1) Lafon *et al.* (1994), (2) Pimentel & Machado (1994), (3) Macambira & Lancelot (1996), (4) Dall'Agnol *et al.* (1999), (5) Althoff *et al.* (2000), (6) Macambira *et al.* (2000), (7) Rolando & Macambira (2003), (8) Leite *et al.* (2004), (9) Almeida *et al.* (2008), (10) Vasquez *et al.* (2008), (11) Guimarães *et al.* (2010), (12) Almeida *et al.* (2011), (13) Almeida *et al.* (2013).

### 1.2.2 Domínio Sapucaia

O Domínio Sapucaia (DS; Dall’Agnol *et al.* 2013), localizado na parte central da Província Carajás, é composto por *greenstone belts* do Grupo Sapucaia, rochas TTG do Tonalito Caracol (Almeida *et al.* 2011), rochas afins do Tonalito Mariazinha (Almeida *et al.* 2011), Trondhjemitó Colorado e afins (Santos *et al.* 2013, Leite-Santos & Oliveira 2014, Silva *et al.* 2014), Trondhjemitó Água Fria (Leite *et al.* 2004), granodioritos sanukitoides tipo Água Azul (Gabriel *et al.* 2010) e Água Limpa (Sousa *et al.* 2010), granitoides alto Ba-Sr como o Leucogranodiorito Pantanal (Teixeira *et al.* 2013), e granitos potássicos como o Granito Xinguara (Leite *et al.* 2004). As rochas do DS são similares às pertencentes ao DRM, porém afetadas por eventos neoarqueanos relacionados à instalação do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas.

O *Greenstone Belt* Sapucaia (Araújo & Maia 1991) é uma unidade mesoarqueana que ocorre no limite entre os domínios Rio Maria e Carajás; compreende rochas metaltramáficas de afinidade komatiítica, metamáficas, metadacitos e metassedimentares alongadas e adelgadas na direção E-W (Costa *et al.* 1995, Sousa *et al.* 1997), metamorfizadas na fácies xisto verde a anfífolito. Embora não existam dados geocronológicos, tais rochas são correlacionáveis aos *greenstone belts* do DRM, com idades de 3,0 Ga ou 2,87 Ga (Vasquez *et al.* 2008).

O Tonalito Caracol (Leite *et al.* 2004), associado ao Tonalito Mariazinha, corresponde a granitoides de composição tonalítica e trondhjemitica, com foliação marcante definida por bandamento composicional, sendo incluídos na geração de TTG antigos (2,93 Ga; Almeida *et al.* 2011, Leite *et al.* 2004).

As rochas do Tonalito São Carlos, ocorrendo como três *stocks*, apresentam foliação de modo pouco marcante e forte recristalização. São metaluminosos e cálcio-alcalinos, similares às rochas do Complexo Campina Verde, porém mais antigos (2,93 Ga; Silva *et al.* 2014).

O Trondhjemitó Colorado, com idade de 2,87 Ga (Silva *et al.* 2010), é semelhante aos TTGs arqueanos (Silva *et al.* 2014). O Trondhjemitó Água Fria (~2,86 Ga) foi definido por Leite (2001) como um corpo alongado de direção NW-SE, intrusivo no Grupo Sapucaia, no Tonalito Caracol e nas rochas sanukitoides, sendo contemporâneo aos leucogranitos potássicos do tipo Xinguara. É constituído predominantemente de trondhjemitos com subordinados granodioritos foliados e com bandamento composicional regular a levemente ondulado. Segundo Leite (2001) correspondem às séries cálcio-alcalinas trondhjemiticas de baixo potássio (Lameyre & Bowden 1982) ou cálcio-alcalinas tonalíticas-trondhjemiticas (Bowden *et al.*

1984). Os granodioritos Água Azul e Água Limpa são rochas porfiríticas afetadas fortemente por zonas de cisalhamento e recristalização; possuem enclaves máficos e apresentam idades mínimas de cristalização de 2,88-2,87 Ga (Sousa *et al.* 2010, Gabriel & Oliveira 2014).

O Granito Xinguara, definido por Leite (1995), é um termo utilizado por Vasquez *et al.* (2008) para designar um corpo próximo ao município de Xinguara e outros corpos correlatos no DRM. Estudado por diversos autores (Dall’Agnol 1997, Neves & Vale 1999, Santos & Pena Filho 2000, Leite 2001), é composto por leucomonzogranitos, granitos pegmatoides, leucosienogranitos e subordinadamente termos granodioríticos e tonalíticos, intrusivos no Complexo Tonalítico Caracol e no Granodiorito Rio Maria. Geralmente isotrópico, apresenta foliação de fluxo e bandamento magmático. Possui idade de cristalização de  $2865 \pm 1$  Ma (Leite 2001).

O Leucogranodiorito Pantanal possui textura porfirítica e ocorre próximo à cidade de Sapucaia, a norte e nordeste da mesma; está moderadamente recristalizado e não apresenta relações de contato aparente com as encaixantes (Teixeira *et al.* 2013). O Leucogranodiorito Nova Canadá é formado por leucogranodioritos de textura seriada, com moderado grau de recristalização, fortemente foliados (Santos & Oliveira 2012, Leite-Santos & Oliveira 2016); O Leucogranito Velha Canadá é caracterizado por granodioritos e monzogranitos ricos em quartzo modal, textura equigranular com foliação pronunciada e concentrações de titanita relativamente elevadas. Dados geocronológicos preliminares apresentam idade de  $2895 \pm 2$  Ma para o Leucogranodiorito Nova Canadá (Oliveira *et al.* 2010) e  $2747 \pm 2$  Ma para o Leucogranito Velha Canadá (Santos *et al.* 2010)

### 1.2.3 Domínio Canaã dos Carajás

O Domínio Canaã dos Carajás (DCC), localizado ao norte do Domínio Sapucaia, é interpretado como o embasamento da Bacia Carajás. É representado pelas rochas de alto grau do Ortogranulito Chicrim-Cateté, ortognaisses e granitoides do Complexo Xingu, granitoides mesoarqueanos como Tonalito Bacaba, Trondhjemitó Rio Verde, granitos Bom Jesus, Cruzadão, Boa Sorte e Serra Dourada, rochas do Complexo Tonalítico Campina Verde, rochas gabroicas da série charnockítica do Diopsídio-Norito Pium, granitoides neoarqueanos das suítes Plaquê, Planalto e Pedra Branca.

O Tonalito Bacaba ocorre em contato com o Supergrupo Itacaiúnas ao sul da Bacia de Carajás. É a rocha hospedeira do depósito de ouro e cobre de Bacaba (Moreto *et al.* 2011).

Possui granulação fina com hornblenda e biotita como máficos presentes e alteração hidrotermal. Sua idade de cristalização é de 3,0 Ga (Moreto *et al.* 2011).

O Ortogranulito Chicrim-Cateté, é definido por Vasquez *et al.* (2008) como ortogranulitos chanockíticos a enderbíticos com pequenos corpos de granulitos máficos associados. Apesar de não possuir idade confiável em sua área-tipo, Pidgeon *et al.* (2000) dataram um gnaisse enderbítico, pelo método U-Pb em zircão, que é considerado um possível xenólito do Ortogranulito Chicrim-Cateté hospedado nas rochas gabróicas do Diopsídio Norito Pium (Vasquez *et al.* 2008), e obtiveram a idade de  $3002\pm 4$  Ma para o protólito ígneo e  $2859\pm 9$  Ma (em bordas sobrecrecidas de zircões) para o metamorfismo granulítico.

O Complexo Xingu, na redefinição proposta por Vasquez *et al.* (2008), estende-se a norte até o Lineamento Cinzento (Ricci *et al.* 2003). Se constitui no embasamento mesoarqueano composto por ortognaisses, fortemente bimodais. Predominam composições tonalíticas e exibe intensa migmatização (Araújo *et al.* 1991). A idade de cristalização do protólito é de  $2974\pm 15$  Ma (Pb-Pb em zircão; Avelar *et al.* 1999) e a idade da última magmatização é de  $2859\pm 2$  Ma (U-Pb em zircão; Machado *et al.* 1991).

O Trondhjemito Rio Verde apresenta forte foliação e suas rochas predominantemente trondhjemíticas variam para rochas bandadas com alternância de camadas de trondhjemitos e biotita-tonalitos. Sua idade situa-se entre 2,93 e 2,87 Ga, apesar de não existirem dados conclusivos sobre sua idade de cristalização (Feio *et al.* 2013)

O Granito Canaã dos Carajás é composto de rochas hololeucocráticas, com forte deformação, incluindo dobras e milonitização; localmente ocorrem enclaves métricos de anfibólitos. Mostra foliação penetrativa e suas rochas são afetadas por zonas de cisalhamento. Possui idade de cristalização de 2,96 Ga (Feio *et al.* 2013). As rochas do Granito Bom Jesus são compostas por monzogranitos e sienogranitos gnáissicos, bandados e foliados, também afetados por zonas de cisalhamento que controlam a orientação das estruturas maiores do batólito. Sua idade mínima de cristalização é de 2,83 Ga (Feio *et al.* 2013). O Granito Boa Sorte, ocorrendo próximo ao município de Água Azul do Norte, é composto por biotita monzogranitos e leucogranitos fortemente fracionados e com idade de cristalização 2,85 Ga (Rodrigues *et al.* 2010, 2015). O Granito Serra Dourada, formado em sua maior parte por rochas deformadas, está localizado próximo a Vila de Serra Dourada. É intrusivo no Complexo Tonalítico Campina Verde e composto principalmente por rochas leucomonzograníticas de granulação média a grossa. Suas rochas são cortadas por pegmatitos e veios aplíticos. Datações U-Pb em zircão forneceram idades entre 2,86 e 2,83 Ga (Moreto *et al.* 2011, Feio *et al.* 2013).

Segundo Feio *et al.* (2013), o Granito Cruzadão apresenta forte foliação, localmente afetado por zonas de cisalhamento. Localmente está associado a hornblenda tonalitos; estas rochas definem estruturas bandadas e dobradas, sugerindo uma colocação associada e submetidas a processos deformacionais similares.

O Complexo Tonalítico Campina Verde compreende uma série magmática de afinidade cálcio-alcálica formada por duas associações: a primeira representada por biotita-tonalitos a granodioritos, predominantes na porção norte do corpo, e a segunda por biotita-hornblenda-tonalitos. Possuem foliação magmática e idade de formação de 2,87 a 2,85 Ga (Feio *et al.* 2013).

A Suíte Planalto define um grupo de granitos similares (Gomes 2003), próximos àquele inicialmente descrito por Huhn *et al.* (1999) na região de Serra do Rabo. São sienogranitos, monzogranitos e álcali-feldspato granitos com anfibólio e biotita. As idades de cristalização desse corpo foram identificadas como  $2747 \pm 2$  Ma e  $2734 \pm 4$  Ma (Pb-Pb em zircão; Huhn *et al.* 1999, Sardinha *et al.* 2004). O Diopsídio-Norito Pium é composto por rochas gabróicas (noritos, gabronoritos, hornblenda-gabronoritos, e hornblenda-gabros) da série charnockítica, com deformação variável, com características ígneas bem preservadas, alongado na direção E-W. Possui idades de cristalização de 2,75 Ga (Ricci & Carvalho 2006, Santos *et al.* 2013). A Suíte Pedra Branca é representada principalmente por tonalitos e trondhjemitos, fortemente deformados e com bandamento magmático (Gomes & Dall'Agnol 2007). São granitoides sódicos de assinatura toleítica, normalmente associados com granitos da Suíte Planalto. Sua idade de cristalização é de 2,76-2,75 Ga (U-Pb; Sardinha *et al.* 2004, Feio *et al.* 2013). A Suíte Plaquê é composta predominantemente por granitos de granulação média a grossa, com foliação presente. Possui um caráter cálcio-alcálico a alcálico com características típicas de granitos sin-colisionais (Jorge João & Araújo 1992, Macambira *et al.* 1996, Macambira & Vale 1997). Sua idade de cristalização é de  $2736 \pm 24$  Ma (Pb-Pb em zircão; Avelar *et al.* 1999).

#### 1.2.4 **Bacia Carajás**

Localizado na porção norte da Província Carajás, o Supergrupo Itacaiunas (2,76 Ga; Machado *et al.* 1991) representa grande parte das rochas presentes na Bacia Carajás. É formado predominantemente por rochas metavulcano-sedimentares arqueanas com diferentes graus de metamorfismo associado. Inclui os Grupos Grão Pará, Igarapé Salobo, Igarapé Bahia, Igarapé Pojuca e Rio Novo. O Complexo Luanga, de natureza máfica-ultramáfica, intrusões de granitos

subalcalinos e a sedimentação composta pela Formação Águas Claras, completam as rochas presentes na Bacia Carajás.

O Grupo Grão Pará (CVRD 1972) constitui uma sequência de rochas vulcânicas pertencentes à Formação Parauapebas (Meireles *et al.* 1984, Araújo & Maia 1991), de idade entre  $2757\pm 7$  Ma e  $2760\pm 11$  Ma (Wirth *et al.* 1986, Machado *et al.* 1991, Trendall *et al.* 1998), obtidas em metariolitos intercalados com metabasaltos inferiores do grupo, e em jaspilitos com minério de ferro da Formação Carajás (CVRD 1972, Beisiegel *et al.* 1973), com idade de deposição inferida pela datação de metavulcânicas concordantes ao acamamentos dos jaspilitos de  $2740\pm 8$  e  $2757\pm 18$  Ma (Trendall *et al.* 1998, Macambira *et al.* 1996; Krymsky *et al.* 2002).

O Grupo Igarapé Salobo foi formalizado por DOCEGEO (1988) a partir da Sequência Salobo (Farias & Saueressig 1982) como rochas metavulcano-sedimentares ocorrentes no limite do Domínio Carajás. Segundo a proposta de Vasquez *et al.* (2008), o Grupo Igarapé Salobo passa a incorporar somente rochas metavulcano-sedimentares expostas na região da Serra do Salobo. Nessa definição, as rochas predominantes neste Grupo seriam metaclásticas, xistos e formações ferríferas, com rochas metavulcânicas subordinadas, com idade U-Pb em zircão obtida em anfibolitos de  $2761\pm 3$  Ma (Machado *et al.* 1991).

O Grupo Igarapé Bahia (DOCEGEO 1988, Soares *et al.* 1999, Ronzê *et al.* 2000) compreende um pacote metavulcano-sedimentar de idade arqueana, com metamorfismo na fácies xisto verde, de direção geral NNW subverticalizado, aflorando na forma de janela estrutural na Formação Águas Claras. As idades para este Grupo, obtidas em rochas metavulcânicas e metavulcanoclásticas, variam entre  $2745\pm 1$  Ma e  $2776\pm 12$  Ma (Galarza 2002, Galarza & Macambira 2002, Santos 2002, Tallarico *et al.* 2005).

O Grupo Igarapé Pojuca (DOCEGEO 1988) é formado por uma sequência metavulcano-sedimentar arqueana, metamorfizada na fácies xisto verde alto a anfibolito baixo. Uma idade de  $2732\pm 3$  Ma (U-Pb em zircão), obtida por Machado *et al.* (1991), foi interpretada como idade de formação do Grupo Igarapé Pojuca.

O Complexo Máfico-Ultramáfico Luanga (DOCEGEO 1988) é representado por rochas ultramáficas e máficas acamadadas ocorrentes no extremo nordeste do Domínio Carajás. São intrusivas nas rochas supracrustais do Supergrupo Itacaiunas; apresenta condições metamórficas de fácies xisto verde (Ferreira Filho *et al.* 2007) e idade de cristalização U-Pb de  $2763\pm 6$  Ma (Machado *et al.* 1991).

O Complexo Granítico Estrela ocorre entre os municípios de Parauapebas e Curionópolis; suas rochas são constituídas predominantemente por monzogranitos com idade de cristalização  $2763\pm 7$  Ma (Pb-Pb em zircão; Barros *et al.* 2001). O Granito Serra do Rabo aflora

nas proximidades da Serra do Rabo e é composto por álcali-feldspato granitos, com sienogranitos subordinados, com idade de  $2743 \pm 1,6$  Ma (Sardinha *et al.* 2006).

O Granito Igarapé Gelado (Barbosa 2004) ocorre no extremo norte da Bacia Carajás, formado por granodioritos e monzogranitos, apresentando tonalitos, leucomonzogranitos e sienogranitos de forma subordinada. Barbosa (2004) identificou uma idade de mínima de cristalização de  $2731 \pm 26$  Ma (Pb-Pb em zircão) em um monzogranito desta unidade.

O Granito Velho Salobo aflora nos domínios do depósito Salobo, apresenta sinais de deformação, colocado em condições crustais mesozonais (Lindenmayer 1990). Possui assinatura moderadamente alcalina (Lindenmayer *et al.* 1994) e idade de colocação de  $2573 \pm 3$  Ma (U-Pb em zircão; Machado *et al.* 1991).

A Formação Águas Claras compreende rochas siliciclásticas arqueanas não metamorfizadas. Definida inicialmente por Araújo *et al.* (1988) e posteriormente redefinida por Nogueira *et al.* (1995), é composta por duas unidades litoestratigráficas, com contatos gradacionais. A unidade inferior é constituída por siltitos, pelitos e arenitos finos, enquanto a superior é representada por arenitos finos a grossos e ortoconglomerados (Nogueira *et al.* 1995). De acordo com Mougeot *et al.* (1996) a deposição desta unidade ocorreu entre 2708 e 2778 Ma.

### 1.2.5 Suítes Graníticas Paleoproterozóicas

O evento magmático relacionado à geração dos granitos anorogênicos do Domínio Rio Maria se constitui em um dos mais importantes registrados no Cráton Amazônico (Dall'Agnol *et al.* 1994). Estes granitos formam batólitos ou stocks com formas subcirculares, possuem representação em toda a Província Mineral de Carajás e estão divididos em três suítes graníticas, baseadas em suas características geológicas, petroquímicas, geocronológicas (Tabela 2), isotópicas (Dall'Agnol *et al.* 2005) e aspectos morfológicos e composicionais de zircão (Lamarão *et al.* 2014).

A Suíte Jamon (SJ), representada pelos plutons Jamon (Dall'Agnol 1982, Dall'Agnol *et al.* 1999 a, b), Musa (Gastal 1987), Redenção (Montalvão *et al.* 1982, Vale & Neves 1994, Barbosa *et al.* 1995, Oliveira 2001, Oliveira *et al.* 2002, 2005, 2008, 2009), Bannach (Almeida 2005, Almeida *et al.* 2006), Marajoara (Rocha Jr. 2004) e Manda Saia, é formada por rochas isotrópicas, de nível crustal elevado, afinidades intraplaca, tendo sido colocados em uma crosta rígida, cortando discordantemente suas rochas encaixantes; é possível observar xenólitos das encaixantes de forma comum, assim como efeitos de metamorfismo de contato da fácies hornblenda-hornfels nas mesmas (Dall'Agnol *et al.* 1985, Soares 1996).

Dominam monzogranitos com ocorrência subordinada de sienogranitos. As principais fases acessórias presentes são apatita, zircão, allanita, magnetita e ilmenita, com fluorita aparecendo apenas em fácies mais evoluídas (Dall’Agnol *et al.* 1999, Oliveira *et al.* 2009). Apresentam zoneamento de fácies aproximadamente concêntrico, com as fácies mais evoluídas tendendo para a porção central dos corpos. São metaluminosos a peraluminosos e possuem afinidades com os granitos tipo-A (Whalen *et al.* 1987), do subtipo A2 (Eby 1992).

Suíte Serra dos Carajás (SSC), localizada na Bacia de Carajás, é representada pelos granitos Central, Cigano e Pojuca. As principais rochas são monzogranitos e sienogranitos com conteúdo moderado de minerais máficos ( $M < 15\%$ ); as fases acessórias são similares às da Suíte Jamon, no entanto titanita está geralmente ausente e fluorita e topázio são comuns (Barros *et al.* 1995, Rios *et al.* 1995, Villas 1999).

A Suíte Velho Guilherme (SVG) ocorre na Região do Xingu e é representada pelos granitos Antônio Vicente, Velho Guilherme, Mocambo, Serra da Queimada, Bom Jardim, Rio Xingu, Benedita, Ubim Norte e Ubim Sul. Na Suíte Velho Guilherme os sienogranitos são dominantes sobre os monzogranitos, e álcali-feldspato granitos e greisens mineralizados em cassiterita e wolframita ocorrem associados com as rochas mais evoluídas. Monazita, thorita, xenotímio, fluorita e columbita são acessórios comuns (Teixeira *et al.* 2002, 2005, Lamarão *et al.* 2012).

Os valores de Suscetibilidade Magnética (SM) são maiores nos plutons da Suíte Jamon e comparativamente menores nos granitos da Suíte Velho Guilherme; na Suíte Serra dos Carajás são mais variáveis e intermediários aos das outras duas suítes. De acordo com Dall’Agnol *et al.* (2005), as três suítes exibem características geoquímicas de granito tipo-A, com conteúdo de  $\text{SiO}_2 > 65\%$  em peso e razões  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  entre 1,0 e 2,0, com as maiores razões no sentido Suíte Jamon-Velho Guilherme-Serra dos Carajás. As rochas que constituem estas suítes são metaluminosas a fracamente peraluminosas. Suas razões  $\text{FeO}_t/(\text{MgO}+\text{FeO}_t)$  são sempre maiores que 0,8 e crescem na mesma direção que as razões  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ , e dentro da mesma suíte cresce das rochas menos diferenciadas para as mais evoluídas. Os padrões de elementos terra rara mostraram anomalias de Eu moderadas a forte, com um particular padrão de anomalia “gaivota” comum em granitos estaníferos da Suíte Velho Guilherme e leucogranitos da Suíte Serra dos Carajás. As idades TDM das três suítes variam significativamente (de 3,35 a 2,60 Ga), onde os valores de  $\epsilon\text{Nd}$  das Suítes Jamon e Serra dos Carajás são similares (-10,5 a -8,1 e -9,7 a -7,9, respectivamente) e maiores que aqueles da Suíte Velho Guilherme (-12,1 a -12,2). Tais valores são consistentes com uma derivação de magmas formados a partir de uma fonte crustal Arqueana (Rämö *et al.* 2002).

Tabela 2 - Dados geocronológicos dos granitos paleoproterozoicos da Província Carajás.

<b>Unidades Estratigráficas</b>	<b>Método</b>	<b>Material Analisado</b>	<b>Idade</b>
<b>Suíte Serra dos Carajás</b>			
Granito Cigano	U-Pb	Zircão	1883±2 Ma (1)
Granito Serra dos Carajás	U-Pb	Zircão	1880±2 Ma (1)
Granito Pojuca	U-Pb	Zircão	1874±2Ma (1)
<b>Suíte Jamon</b>			
Granito Musa	U-Pb	Zircão	1883+5/-2 Ma (1)
Granito Jamon	Pb-Pb	Zircão	1885±32 Ma (5)
Granito Redenção	Pb-Pb	Rocha total	1870±68 Ma (4)
Granito Marajoara	Rb-Sr	Rocha total	1724±50 Ma (2)
Granito Seringa	Pb-Pb	Zircão	1895±1 Ma (8)
Granito São João	Pb-Pb	Zircão	1890±2 (9)
<b>Suíte Velho Guilherme</b>			
Granito Velho Guilherme	Pb-Pb	Rocha total	1873±13 Ma (3)
Granito Antonio Vicente	Pb-Pb	Zircão	1867±4 Ma (6)
Granito Mocambo	Pb-Pb	Zircão	1865±2 Ma (6)
Granito Rio Xingu	Pb-Pb	Zircão	1866±2 Ma (6)
Granito Serra da Queimada	Pb-Pb	Zircão	1882±12 Ma (7)
Granito Bom Jardim	Pb-Pb	Zircão	1884±4 Ma (7)

Fonte: (1) Machado *et al.* (1991), (2) Macambira (1992), (3) Rodrigues *et al.* (1992), (4) Barbosa *et al.* (1995), (5) Dall’Agnol *et al.* (1999b), (6) Teixeira (1999), (7) Pinho (2009), (8) Paiva Jr. *et al.* (2011), (9) Lima *et al.* (2014).

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Granitos tipo-A vem sendo foco de debates e discussões desde a década de 1970 (Loiselle & Wones 1979; Collins *et al.* 1982; Anderson 1983; Whalen *et al.* 1987; Anderson & Bender 1989; Haapala & Ramo 1990; Eby 1990, 1992; Anderson & Smith 1995; Dall’Agnol *et al.* 1999a,b, 2005; Ramo *et al.* 2002; Dall’Agnol & Oliveira 2007; Almeida *et al.* 2006; Oliveira *et al.* 2008, 2009; Paiva Jr. *et al.* 2011; Lamarão *et al.* 2012; Lima *et al.* 2014). Possuem variação composicional de metaluminosos a peralcalinos, podendo ser levemente peraluminosos, conter elevados conteúdos de álcalis e halogênios. Podem ser formados em condições oxidantes, relativamente redutoras e redutoras.

O atual estágio do conhecimento sobre os corpos graníticos anorogênicos paleoproterozoicos da Província Carajás deve-se aos estudos realizados em maciços que constituem as Suítes Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme, principalmente envolvendo mapeamentos geológicos, estudos petrográficos, geoquímicos, geocronológicos, de petrologia magnética e isótopos de Nd, Sr e Pb.

Dall’Agnol *et al.* (2005) inseriram preliminarmente os granitos São João, Seringa e Gradaús na Suíte Jamon. Estudos posteriores mostraram que os granitos Seringa (Paiva Jr. *et al.* 2011) e São João (Lima *et al.* 2014) possuem maiores afinidades com os corpos da Suíte

Serra dos Carajás, tanto em termos petrográficos, geoquímicos e geocronológicos, quanto de SM.

Estudos geológicos sobre o Granito Gradaús ainda são muito limitados (Abrantes Jr. & Lamarão 2011), definindo um cenário pouco claro sobre sua geologia, assim como não permitem definir sua assinatura geoquímica, além de pouco contribuir para o conhecimento dos processos responsáveis por sua evolução magmática. A escassez de informações sobre o Granito Gradaús não permite, ainda, comparações claras entre este e os demais granitos anorogênicos do Domínio Rio Maria (Dall’Agnol *et al.* 2005, Vasquez *et al.* 2008). Desta forma, se faz necessário equiparar o nível de conhecimento do Granito Gradaús ao dos demais corpos anorogênicos do DRM. Dessa forma, o grande questionamento deste trabalho é saber se é possível, com os dados obtidos, confirmar a inclusão do Granito Gradaús na Suíte Jamon ou se este granito possuiria maior afinidade com uma das outras duas suítes definidas por Dall’Agnol *et al.* (2005).

#### 1.4 OBJETIVOS

Este trabalho tem como principal objetivo contribuir para o avanço do conhecimento geológico do Granito Gradaús através de estudos petrográficos, geoquímicos e de SM. Como objetivos específicos têm-se:

- Delimitar os limites das fácies do corpo através de mapeamento geológico;
- Identificar e caracterizar a mineralogia essencial, acessória e secundária presente nas diferentes fácies do Granito Gradaús com o auxílio de microscopia ótica e de varredura (MEV), e classificar as diferentes fácies do Granito Gradaús, 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);
- Discutir suas afinidades geoquímicas, tipologia e os processos magmáticos que contribuíram para sua evolução através da geoquímica de elementos maiores, menores e traços de suas diferentes fácies;
- Determinar o comportamento magnético das diferentes fácies identificadas e caracterizar as suas associações de minerais óxidos de Fe e Ti, bem como a forma e textura dos mesmos;
- Comparar o Granito Gradaús com outros corpos graníticos paleoproterozoicos que integram as suítes Jamon, Velho Guilherme e Serra dos Carajás;
- Posicionar o Granito Gradaús em uma das Suítes graníticas da Província Carajás.

## 1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 1.5.1 Pesquisa Bibliográfica

Consistiu no levantamento bibliográfico referente à geologia da região foco de trabalho deste estudo, temas específicos relacionados à petrografia, geoquímica, evolução e origem de granitos anorogênicos, em especial do Proterozoico, na região do DRM, assim como de temas abordagem de minerais de óxidos de Fe e Ti, suas relações com o estudo de suscetibilidade magnética. Esta etapa foi continuamente atualizada durante todo o período de trabalho.

### 1.5.2 Mapeamento Geológico

O trabalho de mapeamento geológico do Granito Gradaús, na escala 1:100.000 da área, acompanhado de coleta sistemática de amostras para estudos petrográficos, geoquímicos e de SM, foi realizado em duas etapas, a primeira durante o trabalho de iniciação científica (PIBIC – CNPq) de F.R. Abrantes Júnior em julho de 2009 e, a segunda no período de 28 de setembro a 07 de outubro de 2015, referente ao presente trabalho de dissertação de mestrado deste autor, possuindo como sede de trabalho a cidade de Bannach.

Foram realizados levantamentos de três grandes perfis, ao longo dos quais foram marcados aproximadamente 30 pontos, com descrição de afloramentos e realização de coleta sistemática de amostras; a coleta de amostras realizada no trabalho anterior complementou a distribuição de pontos na área de estudo com um total de 39 pontos marcados, os quais estão indicados na Figura 02. A distância da sede de trabalho, somado às condições das estradas de acesso ao corpo e a ausência de estradas trafegáveis dificultou o trabalho e impediu o acesso à borda sul do corpo. A porção oeste do Granito Gradaús encontra-se dentro de uma área de reserva indígena, o que impossibilitou o acesso e coleta de amostras na mesma.

O mapeamento utilizou os métodos convencionais de trabalho de campo, baseando-se em imagens de satélite e interpretação de imagens aéreas. Os pontos de amostragem (Figura 4) foram posicionados através de um GPS e plotados em uma base georeferenciada. A partir destes temas foram confeccionados os mapas de logística e geológico, digitalizados na suíte de programas ArcGis 10.0.

### 1.5.3 Petrografia

Foram descritas 60 amostras de mão e confeccionadas 55 lâminas polidas para estudo petrográfico que envolveu identificação e descrição sistemática dos minerais (Kerr 1959, Deer *et al.* 1992), interpretação de feições texturais e transformações tardi a pós-magmáticas.

Foram realizadas análises modais em 41 amostras (1800 pontos por amostra) representativas das diferentes fácies identificadas no corpo utilizando um contador de pontos automático do *software* Hardledge (fabricante Endeeper) e classificação conforme estabelecido pela IUGS (Streckeisen 1976, Le Maitre *et al.* 2002). As abreviações de minerais utilizadas no trabalho seguem o modelo de Whitney & Evans (2010).

Com a finalidade de complementar a caracterização mineralógica do Granito Gradaús, foram realizadas análises químicas semiquantitativas por espectrometria de dispersão de energia (EDS) e obtenção de imagens de elétrons retroespalhados utilizando o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) Leo-Zeiss, modelo 1430, do Laboratório de Microanálises do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará (UFPA). As condições para obtenção de imagens por ERE e análises por EDS foram: corrente do feixe de elétrons = 90  $\mu$ a, voltagem de aceleração constante = 20 KV, distância de trabalho = 15 mm, tempo de contagem = 30s com 4000 a 5000 c/s para cada análise. As análises de EDS utilizaram o padrão ZAF (Z=nº atômico, A=absorção atômica, F=fluorescência de Raios-X), que faz correções entre pico e background do elemento. Os dados geoquímicos foram tratados e interpretados em diagramas específicos utilizando-se o *software* GCDkit 4.0.

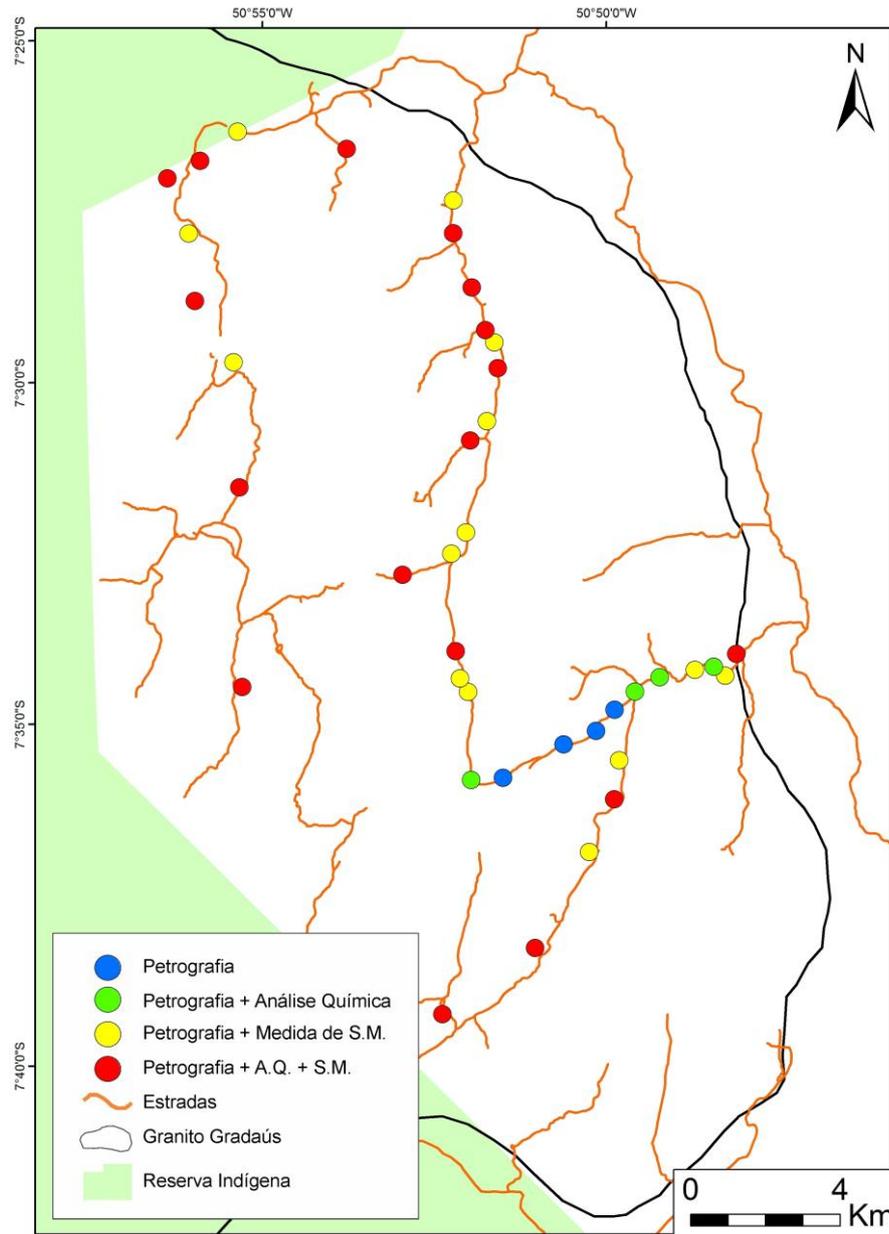


Figura 4 - Mapa de localização dos afloramentos estudados na área leste do Granito Gradaús.

#### 1.5.4 Geoquímica

Com base nas etapas anteriores, 24 amostras representativas de diferentes fácies foram selecionadas para análise química em rocha total. Todas as etapas de preparação (trituração, pulverização, quarteamento) foram realizadas na Oficina de Preparação de Amostras (OPA) e Laboratório de Sedimentologia (LABSED) do IG-UFPA.

As análises químicas foram realizadas no laboratório *ALS Geochemistry* 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 elementos traço (Rb, Sr, Ba, Ga, Y, Zr, Nb, U, Th, Cr, Ni, V), incluindo Terras Raras (La, Ce, Pd, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Ho, Yb e Lu), analisados por ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*).

A classificação geoquímica seguiu os procedimentos indicados por Rolisson (1993) e Henderson (1984), sendo utilizados diferentes diagramas geoquímicos, tendo em vista a classificação geoquímica, processos envolvidos, série magmática, tipologia, ambiência e assinatura geotectônica do Granito Gradaús (Shand 1951, La Roche *et al.* 1980, Pearce *et al.* 1984, Whalen *et al.* 1987, Eby 1992, Dall’Agnol *et al.* 1999b, Dall’Agnol & Oliveira 2007).

#### 1.5.5 Suscetibilidade Magnética

Amostras das rochas estudadas foram selecionadas para medidas de SM, obtidas a partir de um susceptímetro modelo SM-30 de fabricação da ZH *Instruments*, pertencente ao Laboratório de Petrologia Magnética (LPM) do IG-UFGA. Neste estudo, foram realizadas medidas de SM em 39 amostras, várias medidas foram feitas em cada uma, utilizando somente faces aproximadamente planas, nas quais não havia espaços vazios entre o aparelho e a amostra; posteriormente as amostras foram serradas e medidas novamente para confirmação da escala do valor; a média dos valores medidos em cada amostra foi considerada como seu valor de SM. Foram evitadas amostras ou porções de amostras com alteração intempérica visível. A visualização dos dados de SM, apresentados em unidade volumétrica ( $\text{emu}/\text{cm}^3$ ) do Sistema Internacional (SI), em diagramas passaram por uma normalização logarítmica, promovendo uma melhor estabilização da variância (Larsson 1977), e então utilizados como base para interpretações.

## 2 RESULTADOS

### 2.1 GEOLOGIA DO GRANITO GRADAÚS

O Granito Gradaús, com idade Pb-Pb em zircão de  $1882 \pm 9$  Ma (Abrantes Jr. 2011), é um batólito com forma aproximadamente subcircular e área em torno de 800 km<sup>2</sup>. Entretanto, sua porção centro-oeste, aproximadamente metade do corpo, se encontra dentro da reserva indígena kayapó, o que impossibilitou o mapeamento da mesma. É intrusivo em rochas sedimentares e metassedimentares pertencentes às Formações Rio Naja (Grupo Rio Fresco) e Gorotire. É constituído por um conjunto de cristas alinhadas aproximadamente na direção N-S (Figura 5), formado por morros e serras de encostas suaves, de 80 a 200 m de altura (Figura 7A). Seus contatos com as rochas encaixantes, bem definidos em imagens de satélite, não foram encontrados durante o mapeamento geológico.

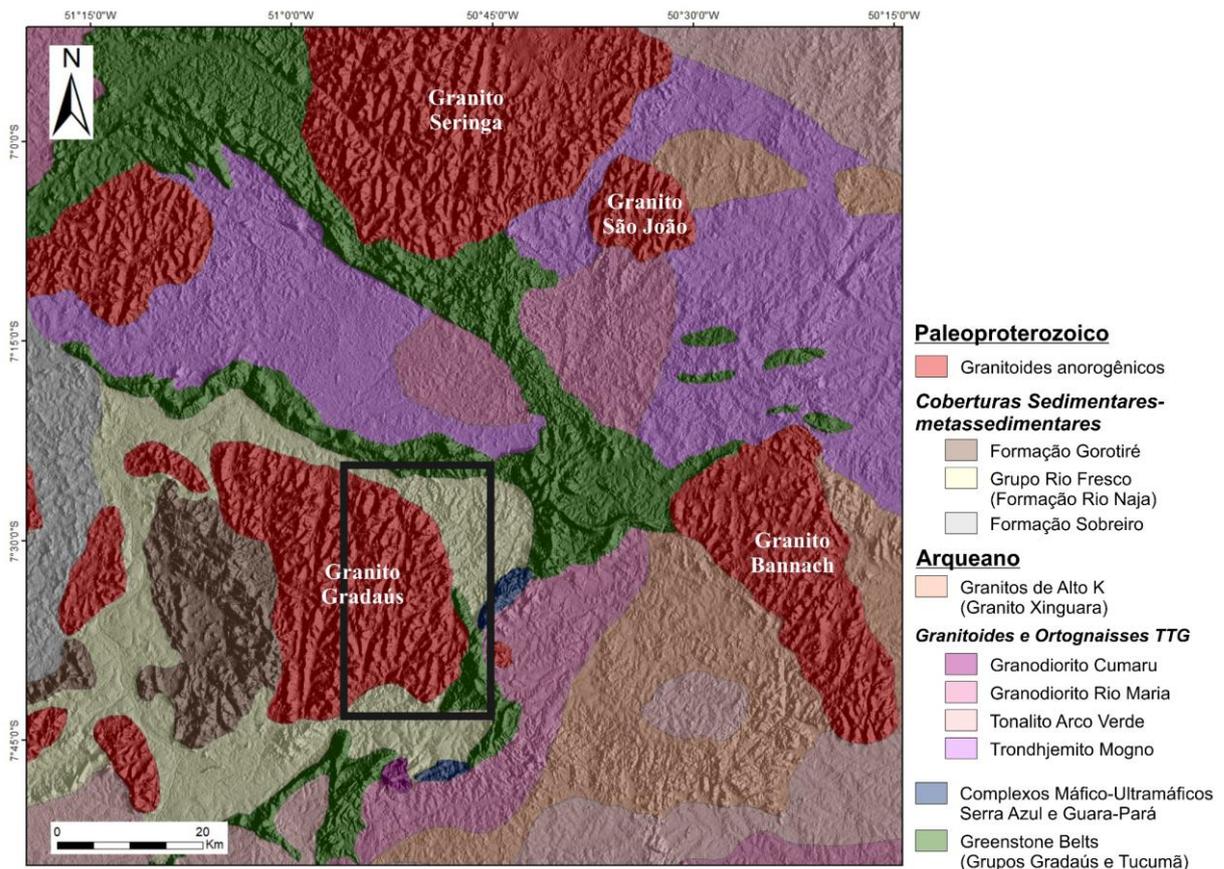


Figura 5 - Mapa de relevo de parte do Domínio Rio Maria, Província Carajás, marcando o Granito Gradaús e suas encaixantes.

Fonte: baseado em Vasquez *et al.* (2008).

A integração dos dados de campo com imagens de sensoriamento remoto (imagens de satélite, SRTM, relevo sombreado) possibilitaram diferenciar o Granito Gradaús de suas encaixantes, refinando a qualidade de seus limites, e estimar a distribuição geográfica de suas diferentes fácies. O Granito Gradaús é formado por rochas monzograníticas a sienograníticas isotrópicas que afloram como lajedos ou blocos métricos (Figura 7B), de granulação fina a média dominante, coloração rosada a acinzentada e baixos conteúdos de minerais máficos (Figuras 7C-F), o que permitiu classificá-las como hololeucocráticas. A Figura 6 apresenta o mapa geológico do Granito Gradaús com a distribuição das fácies petrográficas identificadas.

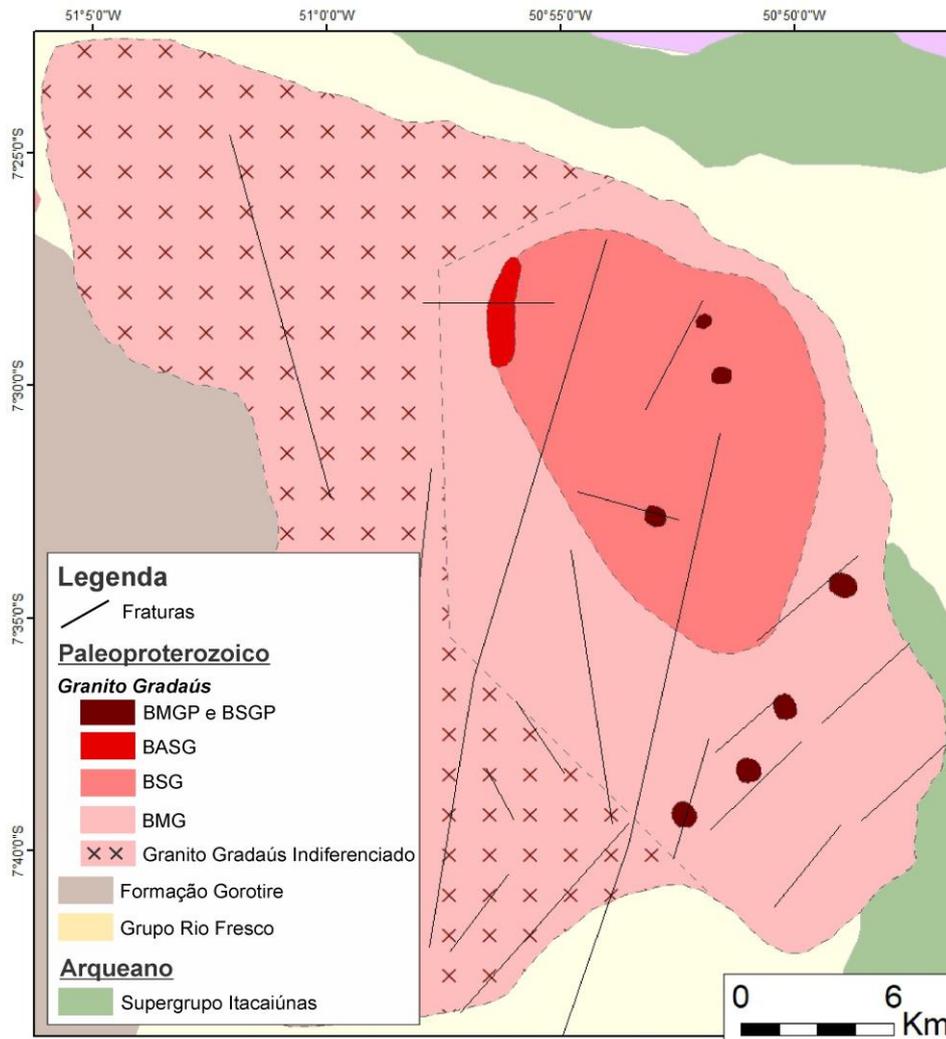


Figura 6 - Mapa geológico do Granito Gradaús, mostrando a distribuição espacial de suas fácies. BASG: biotita-anfíbólio-sienogranito; BMG: biotita-monzogranito; BSG: biotita-sienogranito; BMGP e BSGP: biotita-monzogranito porfirítico e biotita-sienogranito porfirítico.

## 2.2 PETROGRAFIA

A Tabela 3 apresenta as composições modais representativas de 40 amostras das diferentes fácies petrográficas do Granito Gradaús, com base em 1800 pontos. A Figura 8 apresenta a classificação dessas rochas nos diagramas Q-A-P e Q-(A+P)-M' (Streckeisen 1976, Le Maitre *et al.* 2002), com as mesmas sendo representadas por monzogranitos a sienogranitos hololeucocráticos, com conteúdo de minerais máficos de até 5,6%.

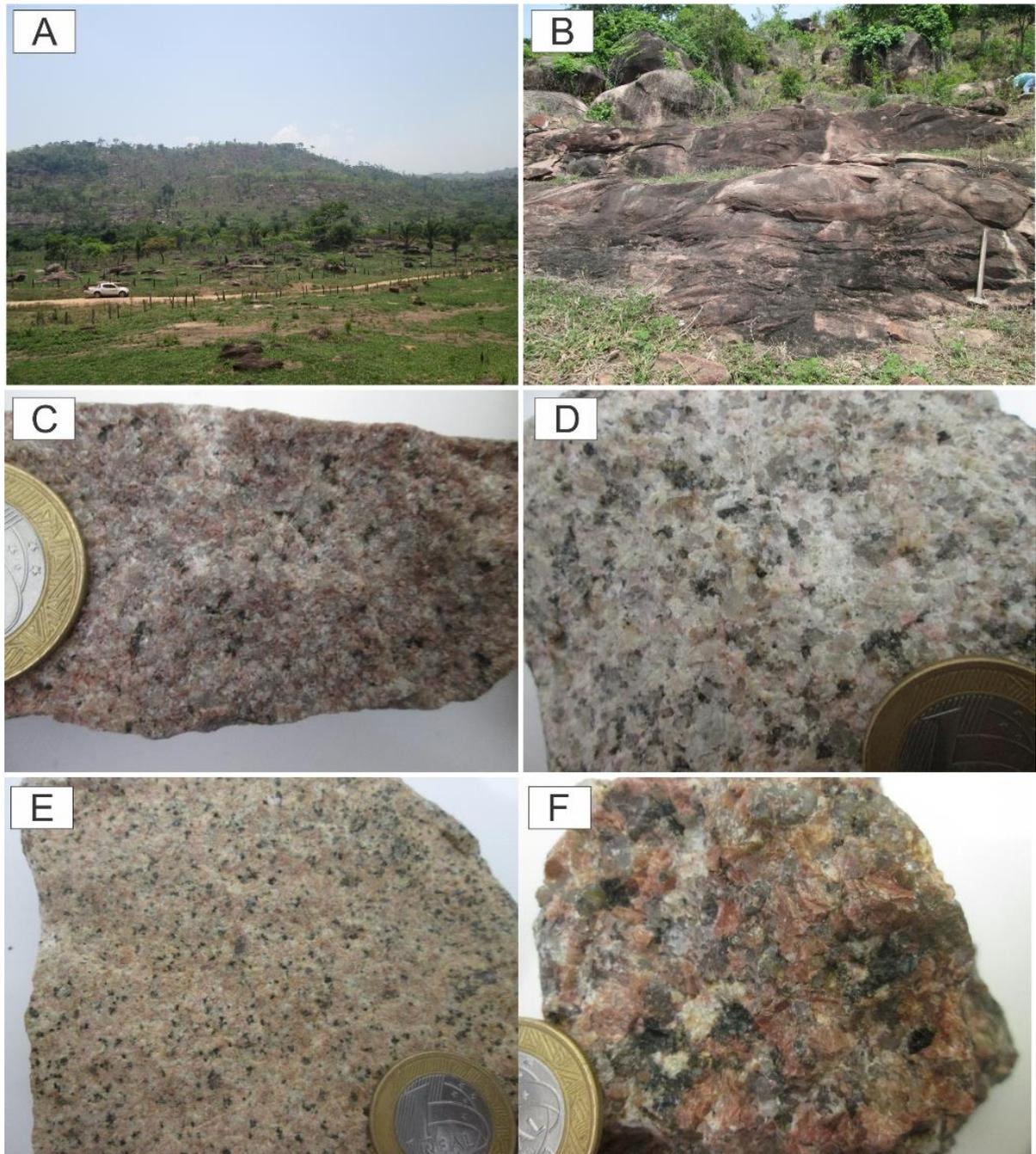


Figura 7 - Aspectos de campo (A: serra pertencente ao Granito Gradaús, B: afloramentos em lajedo e blocos métricos) e aspectos macroscópicos em amostras de mão do Granito Gradaús (C: biotita-anfibólio-sienogranito, D: biotita-monzogranito, E: biotita-sienogranito, F: biotita-monzogranito porfirítico).

Tabela 3 - Composições modais representativas das diferentes fácies do Granito Gradaús.

Fácies/ Mineral (%)	BASG			BMG			BSG			BMGP e BSGP		
	FC 13	TL 09A	TL 20	FC 18	TL 08	TL 23A	TL 04	TL 11	TL 22	TL 06	TL 30	TL 12
<b>Quartzo</b>	33,61	45,00	23,83	41,17	45,17	42,94	42,17	42,33	43,94	46,28	43,89	42,00
<b>Plagioclásio</b>	14,61	13,28	22,17	22,67	21,22	19,50	17,22	12,00	14,33	4,28	18,39	26,28
<b>K-Feldspato</b>	47,11	36,50	49,11	35,44	31,39	36,06	39,56	43,78	41,72	47,56	35,61	30,89
<b>Biotita</b>	2,06	2,17	2,00	0,72	1,72	1,39	0,61	0,39	Tr	1,56	1,50	0,50
<b>Anfibólio</b>	2,61	3,00	2,11	Tr	0,39	Tr	0,44	1,44	Tr	0,28	0,44	0,33
<b>Opacos</b>	Tr	0,06	0,78	Tr	0,11	0,11	Tr	0,06	Tr	0,06	0,17	Tr
<b>Apatita</b>	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
<b>Zircão</b>	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
<b>Fluorita</b>	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
<b>Allanita</b>	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
<b>Félsicos</b>	95,33	94,78	95,11	99,28	97,78	98,50	98,95	98,11	99,99	98,12	97,89	99,17
<b>Máficos</b>	4,67	5,23	4,89	0,72	2,22	1,50	1,05	1,89	0,00	1,90	2,11	0,83
<b>Fk+Pl</b>	61,72	49,78	71,28	58,11	52,61	55,56	56,78	55,78	56,05	51,84	54,00	57,17
<b>Q+Fk</b>	80,72	81,50	72,94	76,61	76,56	79,00	81,73	86,11	85,66	93,84	79,50	72,89
<b>Anf+Bt</b>	4,67	5,17	4,11	0,72	2,11	1,39	1,05	1,83	~0,00	1,84	1,94	0,83
<b>Anf/Bt</b>	1,27	1,38	1,05	~0,00	0,23	~0,00	0,72	3,69	~0,00	0,18	0,29	0,66
<b>A 100%</b>												
<b>Q</b>	35,26	47,48	25,06	41,47	46,20	43,59	42,62	43,15	43,94	47,17	44,84	42,35
<b>A</b>	49,42	38,51	51,63	35,70	32,10	36,61	39,98	44,62	41,72	48,47	36,38	31,15
<b>P</b>	15,33	14,01	23,31	22,83	21,70	19,80	17,40	12,23	14,33	4,36	18,79	26,50
<b>A+P</b>	61,72	49,78	71,28	58,11	52,61	55,56	56,78	55,78	56,05	51,84	54,00	57,17
<b>M</b>	4,67	5,17	4,11	0,72	2,11	1,39	1,05	1,83	0,00	1,84	1,94	0,83

BASG: biotita-anfibólio-sienogranito, BMG: biotita-monzogranito, BSG: biotita-sienogranito, BMGP: biotita-monzogranito porfirítico, BSGP: biotita-sienogranito porfirítico, Fk: álcali-feldspato, Pl: plagioclásio, Q: quartzo, Anf: anfibólio, Bt: biotita

As diversas fácies são equigranulares a localmente heterogranulares, hololeucocráticas ( $M < 6,0\%$ ) e com granulação fina a grossa. Apresentam assembleia mineralógica essencial similar, embora com proporções variadas: álcali feldspato (16-49%), quartzo (23-54%) e plagioclásio (12-40%). Petrograficamente foram identificadas quatro diferentes fácies no Granito Gradaús:



mineralogia essencial é representada por quartzo, álcali-feldspato e plagioclásio. O plagioclásio apresenta hábito prismático a tabular e encontra-se intensamente sericitizado, principalmente no centro. Apresenta contatos irregulares com o álcali-feldspato pertítico intensamente argilizado. O quartzo mostra-se como cristais subautomórficos bem preservados com contatos retilíneos e regulares entre si e outros minerais.

A biotita é o máfico dominante e o anfibólio aparece em quantidades mínimas (<1%, Figura 10B, C); apresenta-se como lamelas xenomórficas a subautomórficas intensamente corroídas e alteradas para clorita; inclusões de quartzo fino são comuns. Os minerais acessórios são zircão, allanita, magnetita, ilmenita, pirolusita, apatita e monazita. Intercrescimentos granofíricos (Figura 9D), assim como textura porfirítica localizada, também estão presentes.

### **Biotita-sienogranito (BSG)**

Rochas com grande expressão areal no granito ocorrendo preferencialmente na porção centro-norte; compreende aproximadamente 36% do granito, com cerca de 153 km<sup>2</sup>. Mostram granulação média, localmente fina, e textura hipidiomórfica equigranular (Figuras 9C). Sua mineralogia essencial é a mesma das outras fácies, com o álcali-feldspato como fase dominante e o plagioclásio significativamente inferior.

O máfico dominante é a biotita com o anfibólio associado a ela ocorrendo em quantidades muito reduzidas (Figura 10D). Os acessórios são zircão, magnetita, ilmenita, apatita e fluorita. Intercrescimentos do tipo granofírico, micrográfico e mirmequítico são comuns. Pertitas (Figura 9G) são mais recorrentes nesta fácies, assim como a textura porfirítica.

### **Biotita-monzogranito porfirítico e biotita-sienogranito porfirítico (BMGP e BSGP)**

Ocorrem de forma localizada em diversas partes do corpo, cortando os BMG e BSG; correspondem a 1% da área de trabalho, com aproximadamente 4 km<sup>2</sup>. A textura porfirítica (Figura 9H) é marcada por cristais hipidiomórficos de quartzo e álcali-feldspato com até 7 mm dispersos em matriz de granulação fina com bordas irregulares e corroídas. O álcali-feldspato intensamente argilizado exhibe comumente inclusões de quartzo fino.

A biotita é o principal mineral máfico, com o anfibólio ocorrendo em quantidades reduzidas (Figura 10E, F); forma lamelas subautomórficas finas mais preservadas quando comparadas às biotitas das demais fácies. Os acessórios são zircão, magnetita, ilmenita, allanita, apatita e monazita. Intercrescimentos granofíricos e mirmequíticos são comuns em meio à matriz.

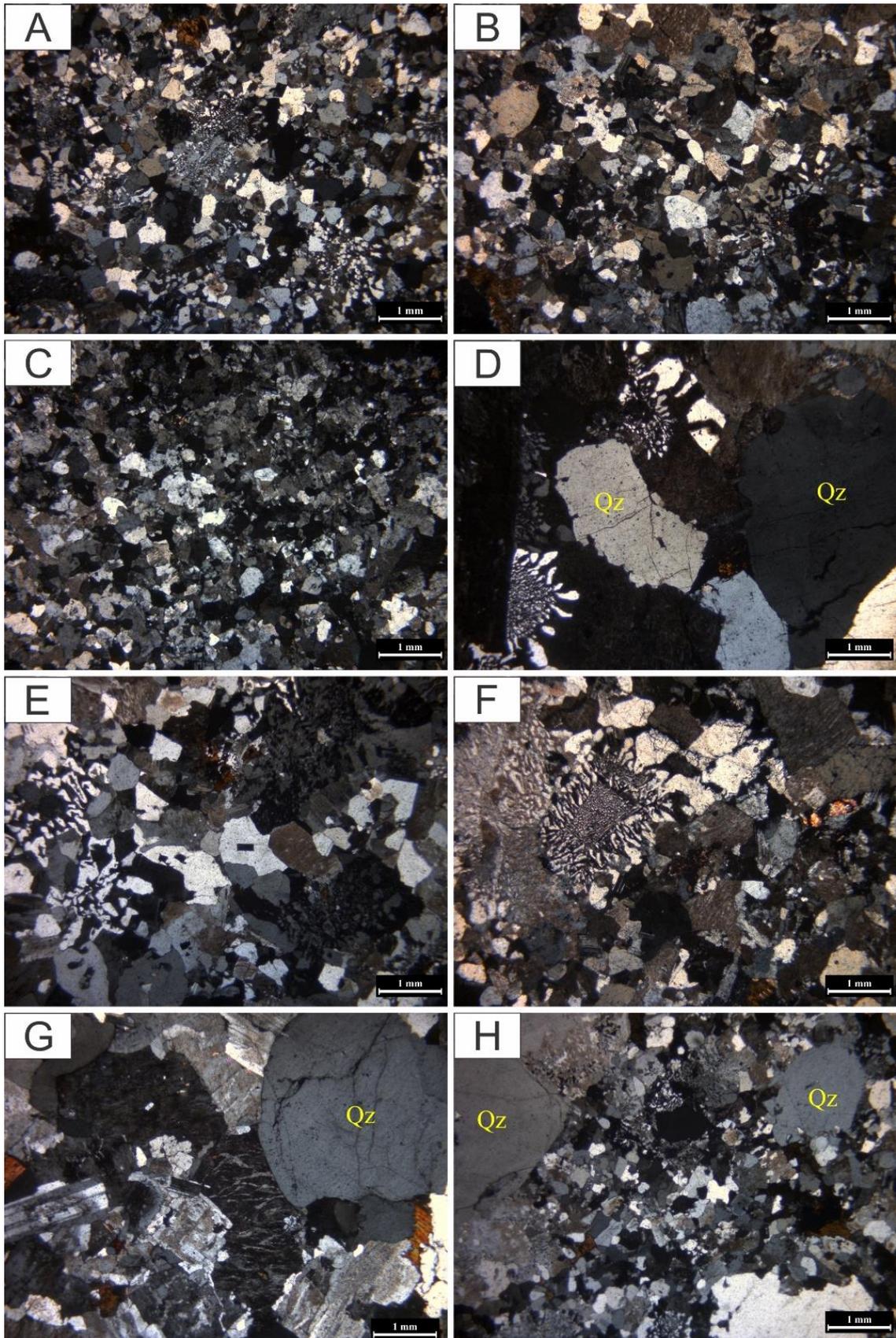


Figura 9 - Principais texturas presentes em escala microscópica no Granito Gradaús. (A), (B) e (C) Textura granular subautomórfica comum às diversas fácies. Intercrescimentos granofírico (D), micrográfico (E), mirmequítico (F), perfítico (G), comuns às fácies do Granito Gradaús. (H) Textura porfirítica dos BMGP e BSGP.

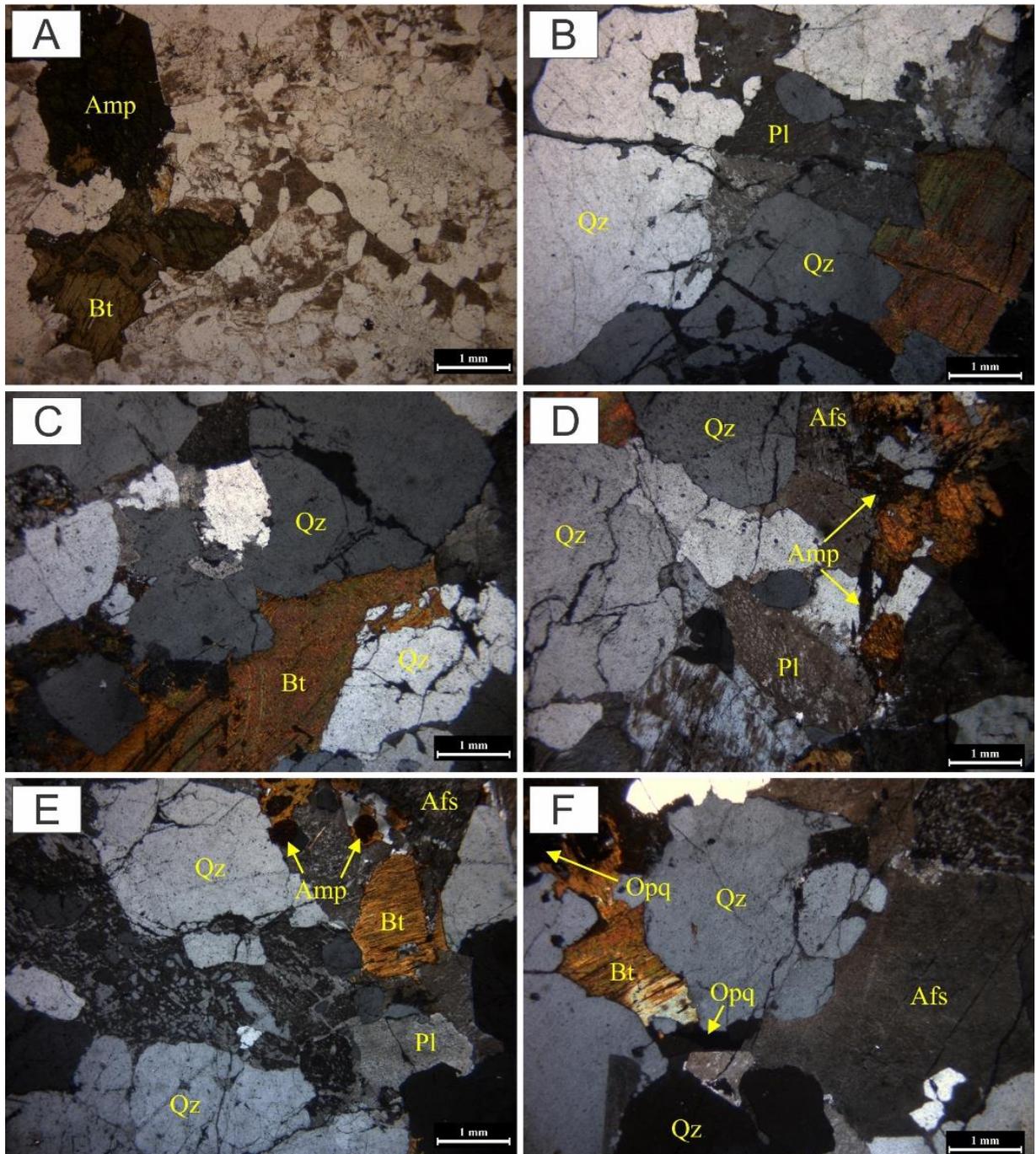


Figura 10 - Aspectos texturais dos minerais máficos presentes nas rochas do Granito Gradaús. (A) Anfibólio e biotita subautomórficos apresentando bordas corroídas; (B) e (C) cristais de biotita moderadamente preservados; (D), (E) e (F) cristais de biotita de tamanho reduzido associados a restos de anfibólio e minerais opacos, apresentando bordas corroídas e inclusões de quartzo.

### 2.3 SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA

Dentre os diversos métodos empregados para comparar os granitos paleoproterozóicos da região da Província Carajás, destaca-se a caracterização dos minerais opacos e o estudo de Suscetibilidade Magnética (SM), que, em conjunto, separam de maneira notável as três suítes graníticas da região (Dall'Agnol *et al.* 2005). Os valores medidos oscilaram entre  $3,75 \times 10^{-5}$  SIv e  $3,53 \times 10^{-3}$  SIv, com média de  $9,8 \times 10^{-4}$  SIv.

Os dados normalizados (Tabela 4), avaliados de acordo com projeção em histograma (Figura 11A) e polígono de frequência (Figura 11B), situam-se entre os valores de -4,42 e -2,45, revelando uma distribuição das amostras com concentração elevada em -3,0. Apesar dos diferentes intervalos de SM não mostrarem clara correlação com as fácies (Figura 11C), a distribuição dos valores logaritmados permitiu diferenciar 3 populações com características magnéticas diferentes no diagrama de probabilidade normal (Figura 11C). Estas populações foram definidas a partir de segmentos de reta que englobaram o maior número de amostras no diagrama de probabilidade normal.

A população A é formada por cerca de 20% das amostras analisadas (Tabela 4). Esta população é a que apresenta os menores valores de SM do conjunto estudado, variando de  $3,75 \times 10^{-5}$  SIv a  $8,22 \times 10^{-5}$  SIv, com média de  $5,85 \times 10^{-5}$  SIv. É composta por amostras com conteúdo extremamente baixo de magnetita xenomórfica a subautomórfica, com tamanhos de até 20  $\mu\text{m}$  (Figura 12F). Cristais de ilmenita subautomórficos a automórficos de até 100  $\mu\text{m}$  (Figura 12A) estão presentes, além de cristais de pirita xenomórfica com 100  $\mu\text{m}$ .

A população B corresponde a aproximadamente 30% do total analisado e abrange amostras com valores intermediários de SM, os quais variam de  $1,21 \times 10^{-4}$  SIv a  $9,97 \times 10^{-4}$  SIv, com média de  $4,79 \times 10^{-4}$  SIv. Este conjunto compreende amostras com conteúdo de magnetita mais elevado em relação ao da população A. Em geral são cristais subautomorfos com tamanhos entre 200 e 500  $\mu\text{m}$ . Mostra ilmenitas em manchas (Figura 12C) e individual (Figura 12D), com tamanho entre 50 e 400  $\mu\text{m}$ . Algumas amostras apresentam cristais de pirita subautomorfa com tamanho em torno de 20  $\mu\text{m}$ .

Tabela 4 - Dados de SM do Granito Gradaús.

Pop.	Amostra	K (Siv)	Log K (Siv)	Fácies	Pop.	Amostra	K (Siv)	Log K (Siv)	Fácies
A	FC-12	3,75x10 <sup>-5</sup>	-4,42597	BSG		TL-08	1,00x10 <sup>-3</sup>	-2,99762	BMG
	TL-09	5,10x10 <sup>-5</sup>	-4,29243	BMG		TL-10	1,01x10 <sup>-3</sup>	-2,99579	BSGP
	TL-18B	5,33x10 <sup>-5</sup>	-4,27368	BMG		FC-14	1,01x10 <sup>-3</sup>	-2,99247	BSGP
	TL-28B	5,43x10 <sup>-5</sup>	-4,26493	BMGP		TL-12	1,06x10 <sup>-3</sup>	-2,97241	BMGP
	TL-15	5,86x10 <sup>-5</sup>	-4,2321	BMG		TL-11B	1,11x10 <sup>-3</sup>	-2,95156	BSG
	TL-17	6,00x10 <sup>-5</sup>	-4,22185	BMG		TL-21	1,12x10 <sup>-3</sup>	-2,94916	BASG
	TL-29	7,08x10 <sup>-5</sup>	-4,14997	BSGP		TL-04	1,14x10 <sup>-3</sup>	-2,94006	BSG
	TL-28A	8,22x10 <sup>-5</sup>	-4,08513	BSGP		TL-06A	1,24x10 <sup>-3</sup>	-2,90651	BSGP
B	TL-18A	1,21x10 <sup>-4</sup>	-3,91578	BSG		TL-01A	1,29x10 <sup>-3</sup>	-2,88829	BMG
	TL-26	1,43x10 <sup>-4</sup>	-3,84466	BMG	C	TL-01	1,41x10 <sup>-3</sup>	-2,85055	BMG
	TL-27	1,53x10 <sup>-4</sup>	-3,81626	BMG		TL-13	1,44x10 <sup>-3</sup>	-2,83923	BSG
	TL-05	2,06x10 <sup>-4</sup>	-3,68655	BSG		TL-11	1,71x10 <sup>-3</sup>	-2,76700	BSG
	TL-16	2,60x10 <sup>-4</sup>	-3,58503	BSG		TL-25	1,90x10 <sup>-3</sup>	-2,72042	BMG
	TL-30	4,67x10 <sup>-4</sup>	-3,33106	BSGP		TL-10A	1,92x10 <sup>-3</sup>	-2,71656	BSGP
	TL-03	4,90x10 <sup>-4</sup>	-3,31010	BMG		TL-06	2,04x10 <sup>-3</sup>	-2,69037	BSGP
	TL-16B	5,21x10 <sup>-4</sup>	-3,28337	BSG		TL-20	2,10x10 <sup>-3</sup>	-2,67726	BASG
	TL-07	7,13x10 <sup>-4</sup>	-3,14679	BSG		TL-23B	3,01x10 <sup>-3</sup>	-2,52143	BMG
	TL-09A	7,45x10 <sup>-4</sup>	-3,12814	BASG		TL-23A	3,05x10 <sup>-3</sup>	-2,51463	BMG
	TL-22	9,31x10 <sup>-4</sup>	-3,03093	BSG		TL-02	3,53x10 <sup>-3</sup>	-2,45173	BSGP
TL-19	9,97x10 <sup>-4</sup>	-3,00145	BMG						

K: Valor de SM em valores em unidade volumétrica (emu/cm<sup>3</sup>) do Sistema Internacional (SI); LogK: valores de SM normalizados para visualização em diagramas. BASG: biotita-anfibólio-sienogranito; BMG: biotita-monzogranito; BSG: biotita-sienogranito; BMGP e BSGP: biotita-monzogranito porfirítico e biotita-sienogranito porfirítico.

A população C representa 50% das amostras estudadas, constituindo a maior população e aquela com os valores de SM mais elevados, variando de 1,00x10<sup>-3</sup> Siv a 3,53x10<sup>-3</sup> Siv, com média de 1,69x10<sup>-3</sup> Siv. As amostras desta população apresentam os cristais mais desenvolvidos, com até 800 µm. Cristais de magnetita e ilmenita individual mostram formas subautomorfa a automorfa, apresentam textura em mancha localizada e, em vários cristais de magnetita, há ocorrência de ilmenita treliça (Figuras 12B, E).

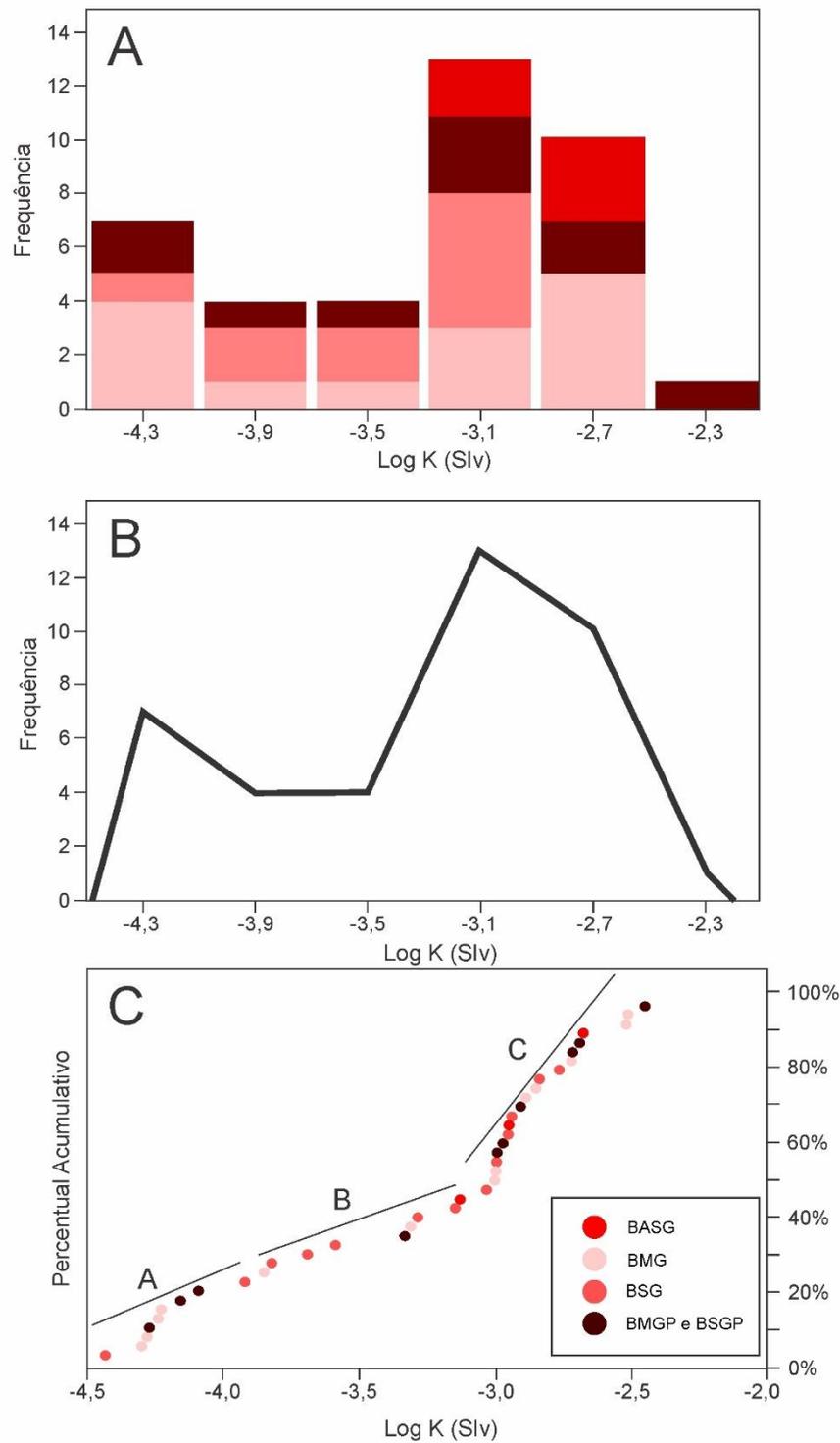


Figura 11 - Diagramas de SM do Granito Gradaús. (A) histograma de frequência das fácies do Granito Gradaús; (B) polígono de frequência acentuando a existência de dois picos principais de valores de SM; (C) gráfico de probabilidade normal, onde os segmentos de reta indicam as populações magnéticas identificadas. BASG: biotita-anfibólio-sienogranito; BMG: biotita-monzogranito; BSG: biotita-sienogranito; BMGP e BSGP: biotita-monzogranito porfirítico e biotita-sienogranito porfirítico.

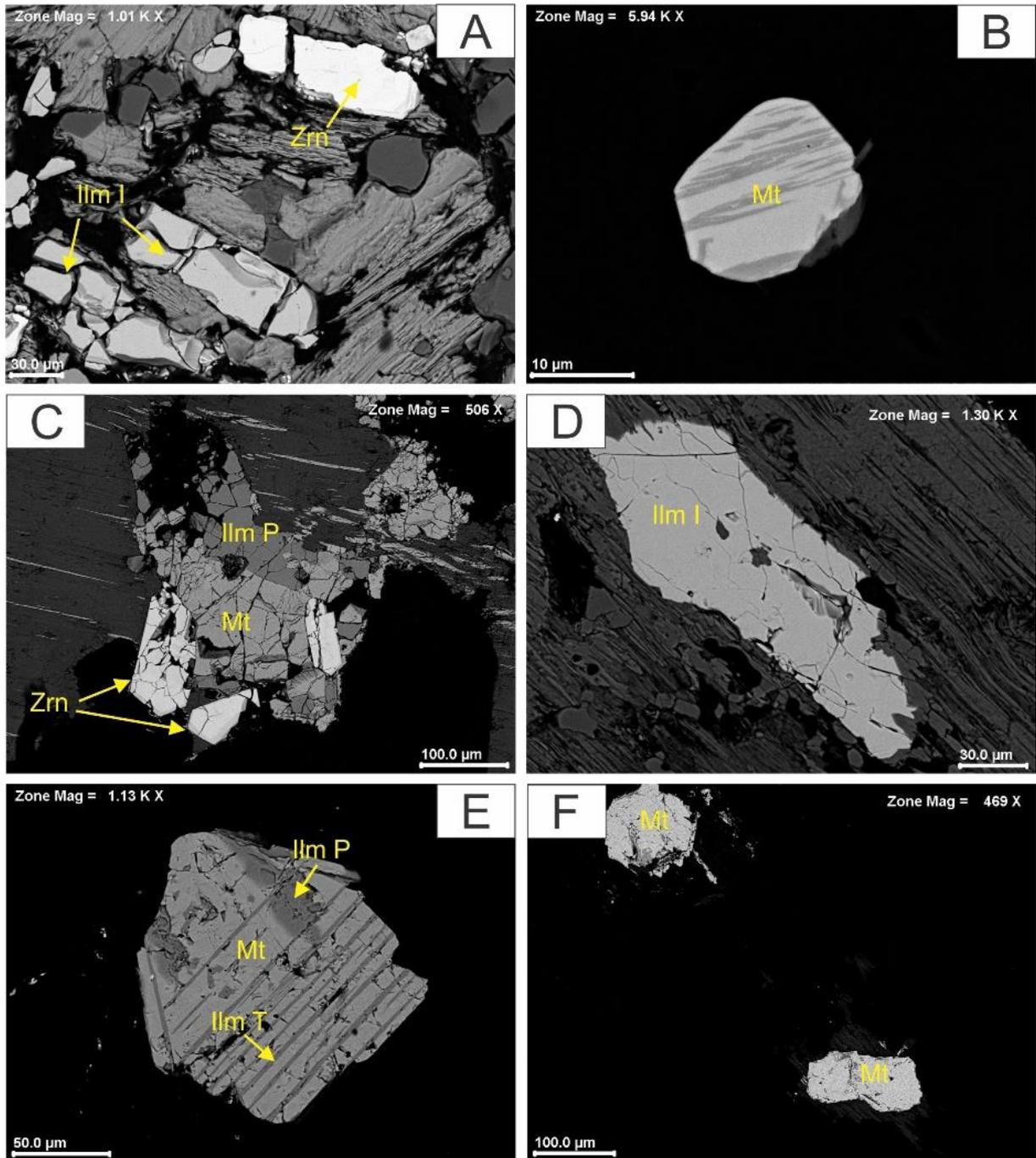


Figura 12 - Imagens de elétrons retroespalhados dos principais minerais óxidos de Fe-Ti encontrados no Granito Gradaús. (A) e (D) cristais de ilmenita individual (Ilm I); (B) cristal de magnetita com ilmenita treliça (Ilm T); (C) cristal de magnetita apresentando ilmenita em manchas (Ilm P); (E) cristal de magnetita com ilmenita treliça (Ilm T) e ilmenita em manchas (Ilm P); (F) cristais anédricos de magnetita pura (Mt).

## 2.4 GEOQUÍMICA

### 2.4.1 Elementos Maiores

A caracterização geoquímica do Granito Gradaús envolveu 24 amostras distribuídas da seguinte forma entre as fácies: BASG (2); BMG (8); BSG (7); BMGP e BSGP (7). Suas rochas são ricas em SiO<sub>2</sub>, com conteúdos variando de 76,1% a 81,4%. Por ser um intervalo de variação restrito e por se tratar de rochas muito evoluídas, não é possível ver claras correlações entre a sílica e os demais óxidos. O Granito Gradaús apresenta baixos conteúdos de TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeOt, CaO, MgO e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e elevados de K<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>O (Tabela 5).

As rochas do Granito Gradaús são levemente metaluminosas a predominantemente peraluminosas, como observado nos diagramas ACNK *versus* ANK (Shand 1951; Figura 13A) e Fe+Mg+Ti *versus* Al-(K+Na+2Ca) (Debon & Le Fort 1988; Figura 13B), onde tendem a acompanhar o *trend* subalcalino. São enriquecidas em álcalis, com K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O entre 7,46% e 8,88% e suas razões K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O se mantêm com valores entre 1 e 2 (Figura 13C).

No diagrama R1-R2 (La Roche *et al.* 1980; Figura 13D) as rochas das diversas fácies do Granito Gradaús caem no limite do campo dos granitos e álcali-granitos, tendendo a se alinhar com o *trend* subalcalino (SUBALK), e diferenciando do *trend* cálcico-alcalino (CAA). Suas razões FeOt/(FeOt+MgO) são elevadas (0,94 a 0,97), permitindo classificá-lo como granito ferroso, de acordo com Frost *et al.* (2001).

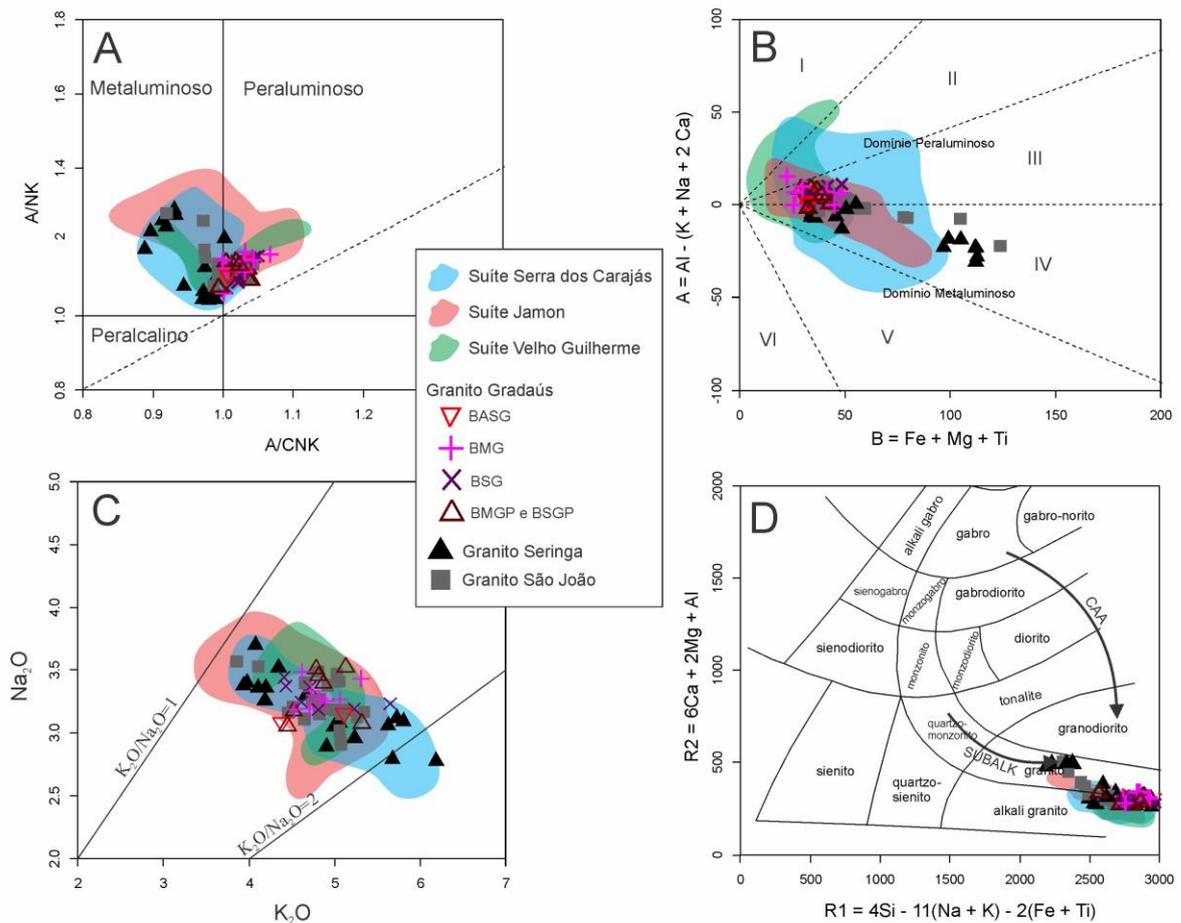


Figura 13 - Diagramas geoquímicos para as diversas fácies do Granito Gradaús. (A) diagrama  $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$  versus  $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$  (Shand 1951); (B) diagrama B-A (Debon & Le Fort 1988); Campos I – muscovita > biotita, II – biotita > muscovita, III - rochas somente com biotita, IV - rochas com biotita, anfibólio ± piroxênio, V - rochas com clinopiroxênio, VI - rochas ígneas excepcionais; (C) diagrama  $Na_2O$  versus  $K_2O$ ; (D) diagrama R1-R2 (La Roche *et al.* 1980), indicando afinidade subcalina. SUBALK= subcalino; CAA= cálcico-alcalino. BASG: biotita-anfibólio-sienogranito; BMG: biotita-monzogranito; BSG: biotita-sienogranito; BMGP e BSGP: biotita-monzogranito porfirítico e biotita-sienogranito porfirítico.

Fonte: dados das suítes Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme compilados de Dall’Agnol *et al.* (2005); dados dos granitos Seringa e São João de Paiva Jr. *et al.* (2011) e Lima *et al.* (2014), respectivamente.

#### 2.4.2 Elementos Traço

As variações no conteúdo de elementos como Rb, Sr e Ba são de grande importância na compreensão do fracionamento de minerais como feldspatos e anfibólios e de qual processo (p. ex. cristalização fracionada, fusão parcial ou uma combinação destes) foi mais atuante na evolução magmática (Hanson 1989).

Nas rochas estudadas, Rb, Ba e Sr não possuem um padrão claro de comportamento em diagramas relacionados a  $SiO_2$ , os quais mostram distribuições irregulares e difusas (não mostrado). Em diagramas envolvendo esses elementos e suas razões (Figura 14), este

comportamento é mais claro. Na Figura 14A, os teores de Rb (BASG: 213-241 ppm; BMG: 176-369 ppm; BSG: 181-330 ppm; BMGP e BSGP: 185,5-366 ppm) e Sr (BASG: 37,5-95,7 ppm; BMG: 7,3-102,5 ppm; BSG: 13,7-89,1 ppm; BMGP e BSGP: 7,9-95 ppm) denotam um leve *trend* negativo. Na Figura 14B, Sr e Ba mostram enriquecimento nítido das rochas sienograníticas para as monzograníticas. No diagrama Ba/Rb x Rb/Sr (Figura 14C) as rochas do Granito Gradaús mostram *trend* negativo no sentido das rochas monzograníticas para as sienograníticas, com exceção do BMG TL-23A (Tabela 5) muito pobre em Ba (28 ppm) que se comporta como uma rocha sienogranítica.

O Zr apresenta uma leve correlação negativa com SiO<sub>2</sub> (Figura 14D), sendo desta forma o único elemento traço que apresenta um comportamento compatível, mostrando uma diminuição contínua das rochas BMG para as BSG (~400 a 100-200 ppm).

Y (BASG: 37,5-56,6 ppm; BMG: 42,8-92,9 ppm; BSG: 39,7-105,0 ppm; BMGP e BSGP: 34,8-92,3 ppm) e Nb (BASG: 9-14,5 ppm; BMG: 10,5-24,6 ppm; BSG: 11,2-22,5 ppm; BMGP e BSGP: 8,9-17,4 ppm) possuem uma variação mais restrita e apresentam um comportamento irregular, formando *trends* sub-horizontais (não mostrado).

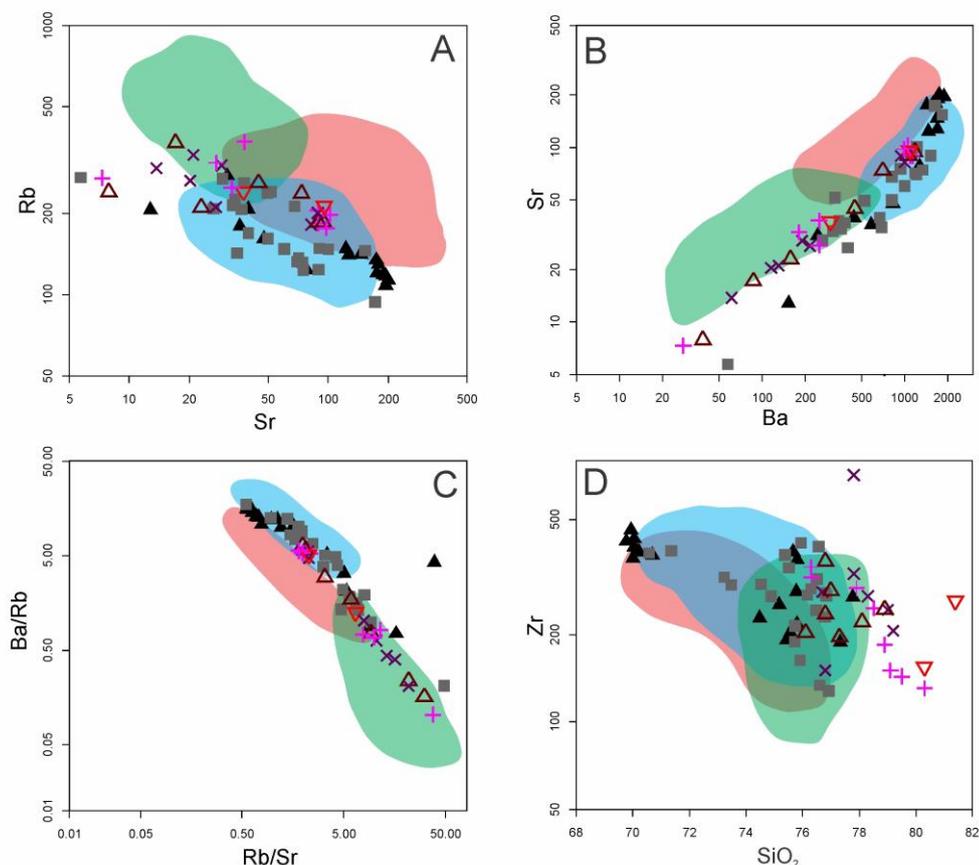


Figura 14 - Diagramas de elementos traços para as variedades do Granito Gradaús e granitos Seringa e São João. (A) Sr versus Rb (ppm), (B) Ba versus Sr (ppm), (C) Rb/Sr versus Ba/Rb e (D) SiO<sub>2</sub> (% peso) versus Zr (ppm). Símbolos e campos conforme Figura 13.

Tabela 5 - Composição química das amostras do Granito Gradaús.

(continua)

Óxidos (%Peso)	BASG		BMG								BSG	
	FC-13	TL-21	FC-21	TL-08	TL-19	TL-25	TL-23A	TL-27	TL-18B	TL-15	TL-04	FC-16A
<b>SiO<sub>2</sub></b>	80,30	81,40	76,30	76,30	77,90	78,50	78,90	79,10	79,50	80,30	76,70	76,80
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,12	0,14	0,19	0,21	0,21	0,18	0,10	0,11	0,09	0,10	0,21	0,09
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	11,25	11,90	11,95	11,90	12,20	12,60	12,10	12,25	12,65	11,35	11,85	11,60
<b>FeOt</b>	1,51	1,51	1,80	2,23	2,05	1,90	1,27	1,42	1,06	1,27	1,93	1,53
<b>MnO</b>	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03
<b>MgO</b>	0,06	0,06	0,09	0,10	0,10	0,09	0,01	0,05	0,04	0,04	0,10	0,05
<b>CaO</b>	0,58	0,61	0,72	0,67	0,89	0,82	0,39	0,61	0,56	0,48	0,72	0,58
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	3,08	3,15	3,27	3,19	3,33	3,48	3,43	3,25	3,26	3,18	3,24	3,37
<b>K<sub>2</sub>O</b>	4,38	5,11	4,82	4,71	4,73	4,62	5,31	4,89	5,06	4,53	4,61	4,43
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	<0,01
<b>P.F.</b>	0,44	0,68	1,36	0,84	0,69	0,65	0,57	0,59	0,52	0,54	0,55	0,39
<b>Total</b>	101,75	104,60	100,55	100,20	102,17	102,90	102,11	102,32	102,78	101,82	99,96	98,87
<b>Traços (ppm)</b>												
<b>Ba</b>	300,00	1085,00	1125,00	1085,00	1050,00	988,00	28,00	250,00	250,00	180,50	1000,00	189,50
<b>Rb</b>	241,00	213,00	184,00	206,00	198,00	176,00	271,00	369,00	309,00	249,00	181,50	302,00
<b>Sr</b>	37,50	95,70	89,00	89,10	102,50	98,20	7,30	37,90	27,40	32,70	82,40	29,10
<b>Zr</b>	155,00	262,00	316,00	343,00	290,00	247,00	185,00	151,00	144,00	131,00	282,00	151,00
<b>Nb</b>	14,50	9,00	10,50	11,20	12,20	11,30	11,30	17,90	14,30	24,60	11,20	15,80
<b>Y</b>	56,60	37,50	45,20	46,20	42,80	49,90	57,30	66,90	92,90	44,90	39,70	64,20
<b>Ga</b>	20,20	21,90	21,20	23,20	20,80	22,40	22,80	24,80	22,40	19,50	21,10	23,10
<b>Th</b>	24,50	17,15	14,45	14,90	11,40	15,40	17,10	31,20	30,50	21,90	14,45	34,00
<b>U</b>	6,42	2,80	2,70	4,68	4,49	3,85	4,88	7,88	8,69	6,37	3,85	8,85
<b>V</b>	10,00	9,00	11,00	6,00	12,00	13,00	10,00	14,00	8,00	6,00	8,00	6,00
<b>La</b>	54,80	73,70	81,20	49,80	49,20	63,50	64,10	47,30	55,10	48,00	59,40	47,50
<b>Ce</b>	108,50	143,50	120,00	95,60	97,20	111,00	132,50	100,00	95,80	102,00	112,00	101,00
<b>Pr</b>	11,60	15,35	15,90	10,70	11,05	13,80	14,70	11,20	12,25	10,65	12,00	11,40
<b>Nd</b>	41,90	53,10	56,00	38,10	39,80	46,90	50,90	39,40	42,70	35,60	43,20	41,10
<b>Sm</b>	7,25	8,39	9,98	7,15	7,13	8,62	10,85	8,35	9,59	7,28	7,78	8,26
<b>Eu</b>	0,51	0,88	0,99	0,97	1,03	1,00	0,20	0,51	0,30	0,35	0,86	0,35
<b>Gd</b>	7,62	7,61	8,67	6,78	7,48	9,27	10,45	8,86	11,55	6,46	6,76	8,23
<b>Tb</b>	1,25	1,28	1,32	1,10	1,27	1,53	1,78	1,77	2,22	1,11	1,16	1,33
<b>Dy</b>	8,47	6,61	7,39	7,48	7,38	8,06	10,70	10,25	14,45	7,29	6,53	9,43
<b>Ho</b>	1,85	1,38	1,48	1,66	1,47	1,63	2,06	2,16	3,13	1,57	1,46	2,19
<b>Er</b>	5,66	4,07	4,38	4,71	4,62	4,66	6,12	6,81	8,90	4,87	3,98	6,11
<b>Tm</b>	0,89	0,60	0,70	0,63	0,69	0,67	0,83	1,22	1,34	0,74	0,58	1,06
<b>Yb</b>	5,75	3,62	4,02	4,67	4,65	4,02	5,87	7,56	8,69	5,47	3,71	6,68
<b>Lu</b>	0,73	0,43	0,58	0,68	0,59	0,57	0,68	1,05	1,13	0,73	0,51	1,05
<b>K<sub>2</sub>O/ Na<sub>2</sub>O</b>	1,42	1,62	1,47	1,48	1,42	1,33	1,55	1,50	1,55	1,42	1,42	1,31
<b>FeOt</b>	1,36	1,36	1,62	2,01	1,85	1,71	1,14	1,28	0,96	1,14	1,74	1,38
<b>Fe/Mg</b>	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,99	0,96	0,96	0,97	0,95	0,96
<b>Rb/Sr</b>	6,43	2,23	2,07	2,31	1,93	1,79	37,12	9,74	11,28	7,61	2,20	10,38
<b>Ba/Rb</b>	1,24	5,09	6,11	5,27	5,30	5,61	0,10	0,68	0,81	0,72	5,51	0,63
<b>Ga/Al</b>	3,39	3,48	3,35	3,68	3,22	3,36	3,56	3,82	3,34	3,25	3,36	3,76
<b>(La/Yb)n</b>	6,43	13,73	13,62	7,19	7,13	10,65	7,36	4,22	4,27	5,92	10,79	4,79
<b>(La/Sm)n</b>	4,75	5,53	5,12	4,38	4,34	4,63	3,72	3,56	3,61	4,15	4,80	3,62
<b>Eu/Eu*</b>	0,21	0,34	0,33	0,43	0,43	0,34	0,06	0,18	0,09	0,16	0,36	0,13
<b>ΣETR</b>	256,78	320,52	312,61	230,03	233,56	275,23	311,74	246,44	267,15	232,12	259,93	245,69

(conclusão)

Óxidos (%Peso)	BSG					BMGP a BSGP						
	TL-16B	TL-18A	TL-11B	TL-13	TL-16A	TL-29	TL-06A	TL-10A	TL-12	FC-15	TL-06	TL-30
SiO <sub>2</sub>	77,80	77,80	78,30	79,00	79,20	76,10	76,80	76,80	77,00	77,30	78,10	78,90
TiO <sub>2</sub>	0,24	0,21	0,13	0,12	0,14	0,15	0,20	0,12	0,19	0,09	0,14	0,14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,35	12,10	11,90	12,30	11,50	12,90	11,30	11,95	11,60	12,35	11,85	11,70
FeOt	2,24	2,00	1,63	1,61	1,58	1,75	1,85	1,66	1,93	1,46	1,78	1,57
MnO	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
MgO	0,09	0,04	0,05	0,03	0,04	0,12	0,11	0,03	0,12	0,03	0,04	0,04
CaO	0,63	0,63	0,41	0,45	0,47	0,70	0,70	0,34	0,80	0,54	0,34	0,51
Na <sub>2</sub> O	3,36	3,44	3,19	3,23	3,18	3,52	3,05	3,45	3,17	3,51	3,07	3,39
K <sub>2</sub> O	4,71	4,41	5,23	5,65	4,81	5,13	4,45	4,81	4,52	4,78	5,32	4,87
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03	0,01	0,02	<0,01	0,01	0,02	0,03	<0,01	0,02	<0,01	0,01	0,01
LOI	0,79	0,70	0,68	0,52	0,86	0,50	0,64	0,48	2,60	0,58	0,59	0,54
<b>Total</b>	<b>102,28</b>	<b>101,37</b>	<b>101,57</b>	<b>102,93</b>	<b>101,81</b>	<b>100,92</b>	<b>99,16</b>	<b>99,67</b>	<b>101,98</b>	<b>100,67</b>	<b>101,27</b>	<b>101,69</b>
<b>Traços (ppm)</b>												
Ba	935,00	61,00	115,50	130,00	216,00	699,00	1170,00	38,40	1060,00	86,40	158,00	445,00
Rb	201,00	295,00	265,00	330,00	211,00	237,00	185,50	241,00	185,50	366,00	211,00	260,00
Sr	89,10	13,70	20,30	21,00	27,20	73,50	95,00	7,90	89,40	17,10	23,00	44,70
Zr	326,00	714,00	272,00	244,00	207,00	204,00	360,00	236,00	285,00	197,00	222,00	245,00
Nb	22,40	22,50	16,20	14,70	15,20	11,40	9,40	12,20	10,80	17,40	8,90	14,10
Y	48,90	105,00	74,90	92,00	52,90	45,40	34,80	80,10	37,70	92,30	45,40	79,70
Ga	21,70	26,60	23,70	26,50	19,00	22,60	21,20	23,20	21,00	24,90	21,50	23,20
Th	13,05	57,90	35,70	35,40	17,45	18,50	15,05	33,70	12,10	36,50	23,50	20,90
U	4,04	20,30	8,05	8,97	6,06	4,39	3,24	9,32	3,62	10,80	4,33	5,99
V	14,00	11,00	5,00	9,00	5,00	11,00	10,00	5,00	12,00	5,00	5,00	11,00
La	61,40	199,50	142,50	143,00	81,20	61,10	67,20	171,00	40,30	61,30	99,50	98,90
Ce	127,00	391,00	267,00	266,00	154,00	118,00	121,50	281,00	77,30	122,50	197,50	184,50
Pr	14,25	42,80	28,40	30,10	16,85	13,15	13,60	31,20	8,43	13,60	20,50	20,70
Nd	49,90	139,50	93,90	99,10	59,70	44,70	45,60	98,00	31,10	48,90	69,20	70,00
Sm	10,10	25,00	15,70	18,40	11,50	7,95	7,34	16,95	6,14	10,60	12,10	13,25
Eu	1,05	0,17	0,36	0,45	0,36	0,66	1,22	0,13	0,92	0,27	0,35	0,54
Gd	9,66	22,60	12,80	18,35	9,84	8,03	6,04	14,00	5,76	10,50	9,07	13,85
Tb	1,65	3,58	2,10	3,00	1,55	1,43	1,03	2,20	1,02	1,86	1,48	2,23
Dy	9,93	19,70	12,10	16,30	9,27	8,25	5,99	12,90	6,24	11,65	8,58	13,10
Ho	1,74	4,03	2,67	3,32	1,70	1,65	1,13	2,82	1,32	2,74	1,64	2,77
Er	5,18	12,30	7,55	9,83	5,26	4,70	3,53	7,83	3,48	8,86	4,60	8,00
Tm	0,80	1,79	1,11	1,41	0,78	0,69	0,52	1,15	0,62	1,37	0,63	1,17
Yb	5,12	12,05	7,30	8,87	5,15	4,49	3,49	7,60	3,92	8,77	3,94	6,90
Lu	0,66	1,71	1,05	1,13	0,74	0,62	0,51	1,11	0,58	1,36	0,54	0,97
<b>K<sub>2</sub>O/ Na<sub>2</sub>O</b>	<b>1,40</b>	<b>1,28</b>	<b>1,64</b>	<b>1,75</b>	<b>1,51</b>	<b>1,46</b>	<b>1,46</b>	<b>1,39</b>	<b>1,43</b>	<b>1,36</b>	<b>1,73</b>	<b>1,44</b>
<b>FeOt</b>	<b>2,02</b>	<b>1,80</b>	<b>1,47</b>	<b>1,45</b>	<b>1,43</b>	<b>1,57</b>	<b>1,67</b>	<b>1,50</b>	<b>1,73</b>	<b>1,31</b>	<b>1,60</b>	<b>1,42</b>
<b>Fe/Mg</b>	<b>0,96</b>	<b>0,98</b>	<b>0,97</b>	<b>0,98</b>	<b>0,97</b>	<b>0,93</b>	<b>0,94</b>	<b>0,98</b>	<b>0,94</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>	<b>0,97</b>
<b>Rb/Sr</b>	<b>2,26</b>	<b>21,53</b>	<b>13,05</b>	<b>15,71</b>	<b>7,76</b>	<b>3,22</b>	<b>1,95</b>	<b>30,51</b>	<b>2,07</b>	<b>21,40</b>	<b>9,17</b>	<b>5,82</b>
<b>Ba/Rb</b>	<b>4,65</b>	<b>0,21</b>	<b>0,44</b>	<b>0,39</b>	<b>1,02</b>	<b>2,95</b>	<b>6,31</b>	<b>0,16</b>	<b>5,71</b>	<b>0,24</b>	<b>0,75</b>	<b>1,71</b>
<b>Ga/Al</b>	<b>3,32</b>	<b>4,15</b>	<b>3,76</b>	<b>4,07</b>	<b>3,12</b>	<b>3,31</b>	<b>3,54</b>	<b>3,67</b>	<b>3,42</b>	<b>3,81</b>	<b>3,43</b>	<b>3,75</b>
<b>(La/Yb)n</b>	<b>8,09</b>	<b>11,16</b>	<b>13,16</b>	<b>10,87</b>	<b>10,63</b>	<b>9,17</b>	<b>12,98</b>	<b>15,17</b>	<b>6,93</b>	<b>4,71</b>	<b>17,03</b>	<b>9,66</b>
<b>(La/Sm)n</b>	<b>3,82</b>	<b>5,02</b>	<b>5,71</b>	<b>4,89</b>	<b>4,44</b>	<b>4,83</b>	<b>5,76</b>	<b>6,35</b>	<b>4,13</b>	<b>3,64</b>	<b>5,17</b>	<b>4,70</b>
<b>Eu/Eu*</b>	<b>0,33</b>	<b>0,02</b>	<b>0,08</b>	<b>0,07</b>	<b>0,10</b>	<b>0,25</b>	<b>0,56</b>	<b>0,03</b>	<b>0,47</b>	<b>0,08</b>	<b>0,10</b>	<b>0,12</b>
<b>ΣETR</b>	<b>298,44</b>	<b>875,73</b>	<b>594,54</b>	<b>619,26</b>	<b>357,90</b>	<b>275,42</b>	<b>278,70</b>	<b>647,89</b>	<b>187,13</b>	<b>304,28</b>	<b>429,63</b>	<b>436,88</b>

Fe/Mg=FeO<sub>v</sub>/(FeO<sub>v</sub>+MgO), Ga/Al=Ga/Al x 10.000 BASG: biotita-anfibólio-sienogranito; BMG: biotita-monzogranito; BSG: biotita-sienogranito; BMGP e BSGP: biotita-monzogranito porfírico e biotita-sienogranito porfírico.

### 2.4.3 Elementos Terras Raras

Os padrões de elementos terras raras (ETR; Tabela 5) foram normalizados em relação aos condritos (Nakamura 1974; Figura 15A). Todas as fácies do Granito Gradaús apresentam padrões de ETR similares, com enriquecimento dos ETRL em relação aos ETRP.

As razões  $(La/Yb)_n$  são próximas nas rochas do Granito Gradaús, nos BASG variam de 6,43-13,73, nos BMG de 4,22-13,62, nos BSG de 4,79-13,16, e nos BMGP e BSGP de 4,71-15,17 (Tabela 5). Mostram padrão de fracionamento moderado dos ETRL  $((La/Sm)_n$  BASG: 4,75-5,53; BMG: 3,56-5,12; BSG: 3,62-5,71; BMGP e BSGP: 3,64-6,35) e sub-horizontal de ETRP  $((Gd/Yb)_n$  BASG: 1,07-1,70; BMG: 0,95-1,86; BSG: 0,99-1,67; BMGP e BSGP: 0,95-1,86).

A maior diferença entre as fácies ocorre com relação às anomalias negativas de Eu que são mais suaves nos BASG ( $Eu/Eu^* = 0,21-0,34$ ) e mais pronunciadas nas demais rochas ( $Eu/Eu^* -$  BMG: 0,43-0,06; BSG: 0,36-0,02; BMGP e BSGP: 0,56-0,03). O conteúdo total de ETR varia de 256 a 320 ppm nos BASG, de 230 a 312 ppm nos BMG, de 245 a 875 ppm nos BSG e de 187 a 648 ppm nos BMGP e BSGP (Tabela 5).

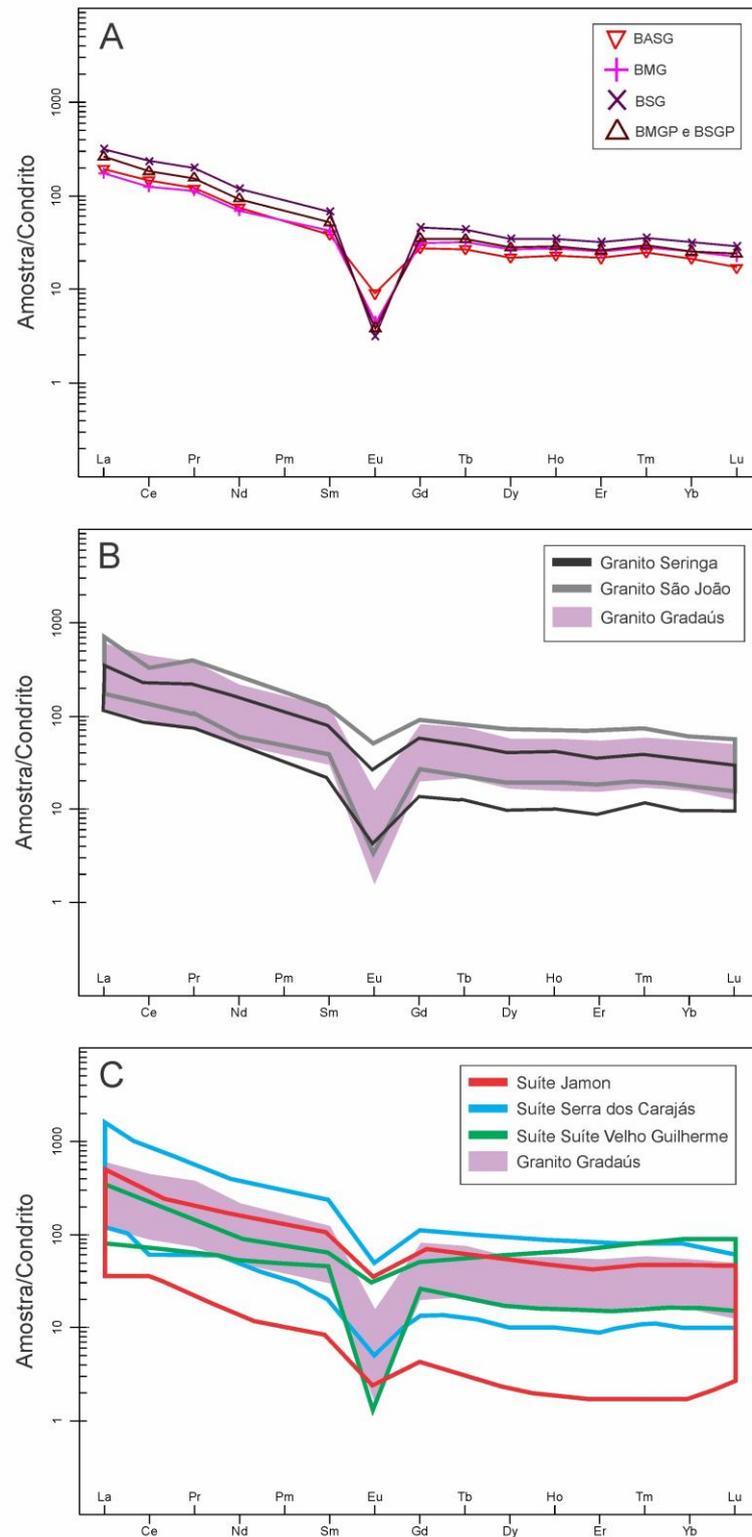


Figura 15 - Padrões de distribuição de ETR para as rochas do Granito Gradaús (A), para os granitos Gradaús, Seringa e São João (B) e para o Granito Gradaús e as suítes Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme (C). Normalizado segundo Nakamura (1974). BASG: biotita-anfibólio-sienogranito; BMG: biotita-monzogranito; BSG: biotita-sienogranito; BMGP e BSGP: biotita-monzogranito porfírico e biotita-sienogranito porfírico

Fonte: dados das suítes Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme compilados de Dall'Agnol *et al.* (2005); dados dos granitos Seringa e São João de Paiva Jr. *et al.* (2011) e Lima *et al.* (2014), respectivamente.

### 3 DISCUSSÃO

#### 3.1 AMBIENTE TECTÔNICO E TIPOLOGIA

O Granito Gradaús possui tendência subalcalina (Figura 13D), caráter metaluminoso a peraluminoso (Figuras 13A, 13B), conteúdos elevados de SiO<sub>2</sub> (76,1-86,4%), K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O (7,5-8,9%), FeO/(FeO+MgO) (0,9-1,0), Zr (131-714 ppm), Nb (8,9-24,6 ppm), Y (34,8-105,0 ppm), Ga (19,0-26,6 ppm) e ETR (exceto Eu), e baixos de CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, TiO<sub>2</sub>, características típicas de granitos tipo A (Whalen *et al.* 1987, Eby 1992).

De acordo com Whalen *et al.* (1987), suítes graníticas com associações peralcalinas raras ou ausentes exibem pouca variação na razão Ga/Al; tais valores diferenciam de forma mais clara os granitos tipo A de outros tipos graníticos. No Granito Gradaús, os valores elevados de Ga (19,0-26,6 ppm) e baixos de Al (11,2-12,9%) resultam em razões Ga/Al similares às encontradas em granitos tipo A (Figura 16A). Pearce *et al.* (1984) utilizaram os elementos traço Rb, Y, Nb, Ta e Yb para identificar ambientes tectônicos de rochas graníticas. No diagrama Rb *versus* (Y+Nb), um dos mais conhecidos, o Granito Gradaús apresenta afinidade geoquímica com granitos intraplaca (Figura 16B).

Segundo Eby (1992), granitos tipo A podem ser subdivididos nos tipos A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub>. Granitos do tipo A<sub>1</sub> apresentam características geoquímicas de magmas derivados do fracionamento de basaltos de ilhas oceânicas. Granitos do tipo A<sub>2</sub>, sempre referidos como pós-colisional ou pós-orogênico, representam magmas derivados da crosta continental, com características de rochas geradas a partir de anatexia litosférica ou de magmatismo de arco de ilha. Na Figura 16C, as rochas do Granito Gradaús plotam predominantemente no subtipo A<sub>2</sub>.

As rochas do Granito Gradaús apresentam altas razões FeOt/(FeOt+MgO) (0,94-0,99) e quando plotadas no diagrama FeOt/(FeOt+MgO) *versus* SiO<sub>2</sub> (Frost *et al.* 2001) incidem no campo de granitos ferrosos (Figura 16D), usualmente ocupado por granitos tipo A.

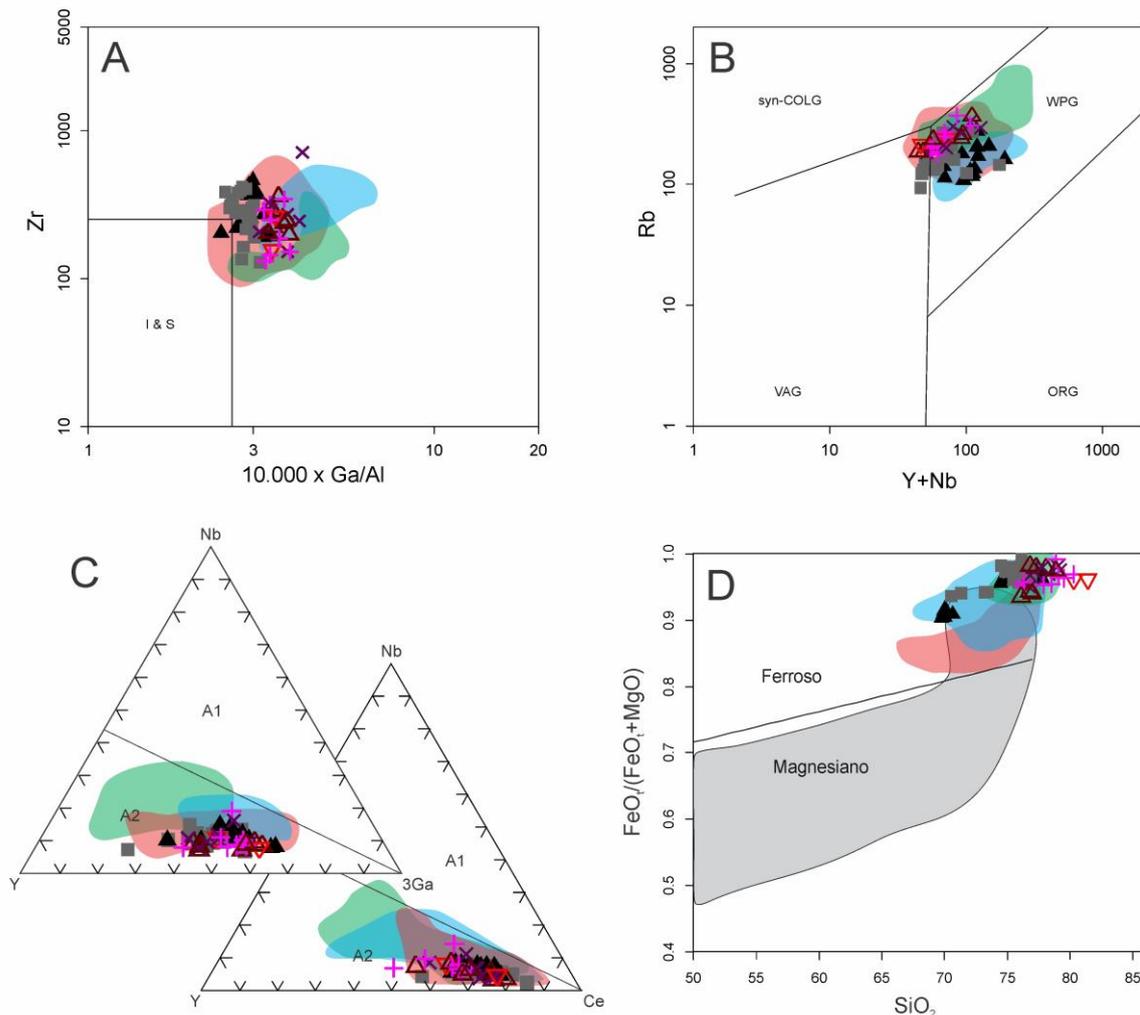


Figura 16 - Diagramas geoquímicos para as rochas do Granito Gradaús. A) Zr versus  $10,000 \times \text{Ga/Al}$  (Whalen *et al.* 1987). I e S: média dos granitos tipo I e S; B) Y+Nb versus Rb (Pearce *et al.* 1984), syn-COLG: granitoides sin-colisionais, VAG: granitoides de arcos vulcânicos, ORG: granitoides de cadeias oceânicas e WPG: Granitoides intraplacas, post-COLG: granitoides pós-colisionais; C) Y-Nb-Ce e Y-Nb-3Ga (Eby 1992); D)  $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$  versus  $\text{SiO}_2$  (Frost *et al.* 2001). Símbolos e campos conforme Figura 13.

Os diagramas geoquímicos de Dall'Agnol & Oliveira (2007) distinguem granitos tipo A de granitos cálcico-alcálicos, assim como separaram granitos oxidados de granitos reduzidos. No diagrama  $\text{CaO}+\text{Al}_2\text{O}_3$  versus  $\text{CaO}/(\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2)$  (Figura 17A), as amostras do Granito Gradaús posicionam-se predominantemente no campo dos granitos tipo A, se afastando do campo dos granitos cálcico-alcálicos, assim como no diagrama R1-R2 (La Roche *et al.* 1980; Figura 13D), onde as amostras do granito Gradaús se diferenciam do *trend* cálcico-alcálico (CAA) e tendem a se alinhar com o *trend* subalcálico (SUBALK), comportamento similar aos granitos proterozoicos tipo A da Província Amazônia Central (Dall'Agnol *et al.* 1994). No diagrama  $\text{Al}_2\text{O}_3$  versus  $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$  (Figura 17B) plotam no campo dos granitos tipo A reduzidos.

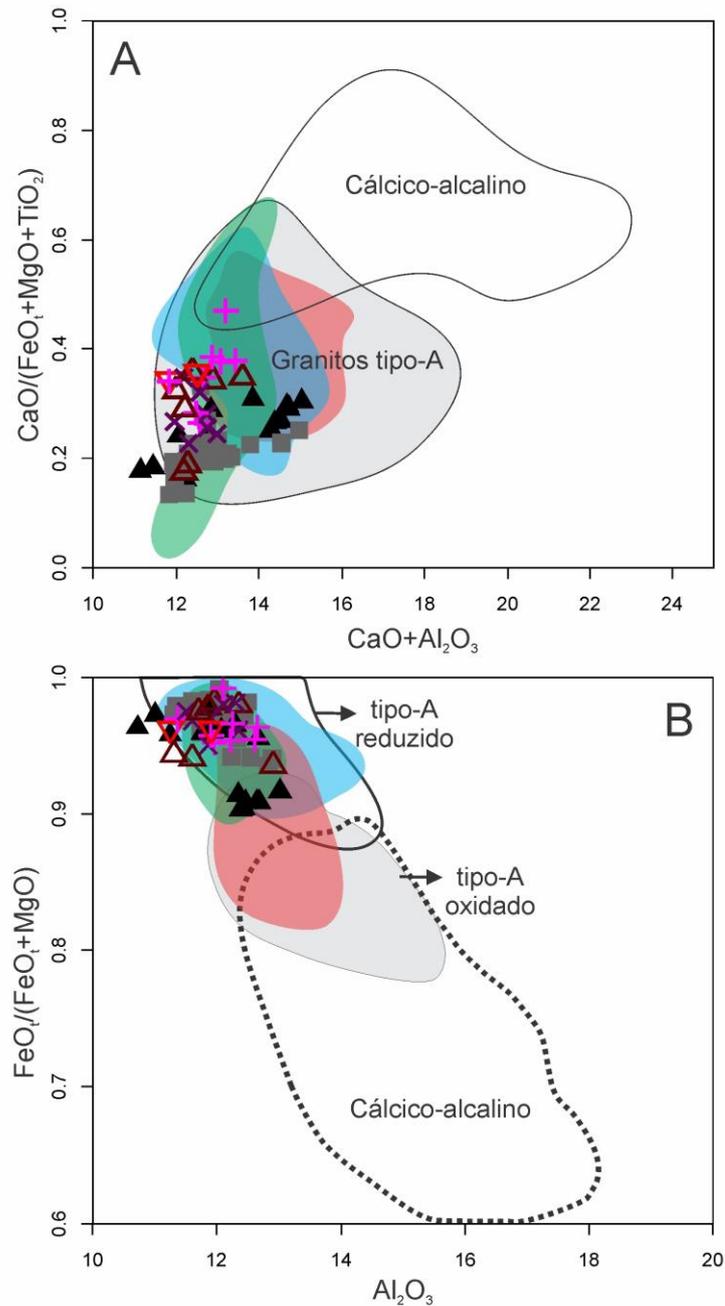


Figura 17 - Diagramas geoquímicos (Dall'Agnol & Oliveira 2007) mostrando: A) campos composicionais de granitos tipo A e cálcico-alkalinos; B) granitos tipo A oxidados, reduzidos e cálcico-alkalinos. Símbolos e campos conforme Figura 13.

### 3.2 GRANITO GRADAÚS *VERSUS* GRANITOS SERINGA E SÃO JOÃO

O Granito Seringa (GS; Paiva Jr. *et al.* 2011; Figuras 3 e 5), localizado entre as cidades de Água Azul do Norte e Ourilândia do Norte, é o batólito anorogênico de maior área aflorante na Província Carajás (2250 km<sup>2</sup>). Adjacente a ele ocorre o Granito São João (GSJ; Lima *et al.* 2014; Figuras 3 e 5), com uma área aflorante comparativamente menor (160 km<sup>2</sup>). De maneira

similar a eles, o Granito Gradaús também foi incluído preliminarmente na Suíte Jamon (Dall'Agnol *et al.* 2005).

O Granito Gradaús possui idade de cristalização ( $1882\pm 9$  Ma; Abrantes Jr. 2010) muito próxima às idades do GS ( $1895\pm 1$  Ma; Paiva Jr. *et al.* 2011) e do GSJ ( $1890\pm 2$  Ma; Lima *et al.* 2014). É intrusivo, de modo similar ao GS e GSJ, em unidades arqueanas. É formado por monzogranitos e sienogranitos isotrópicos, com deformações apenas rúpteis na forma de planos de fraturas que seccionam o corpo em diversas direções. O conteúdo de minerais máficos (biotita e anfibólio) também é similar entre esses granitos, com o GS atingindo conteúdos de no máximo 15%. Os principais minerais acessórios presentes nesses corpos são magnetita, ilmenita, zircão, apatita e allanita, tendo clorita, sericita, epidoto e argilominerais como minerais de alteração. A ausência de titanita magmática é uma feição característica nos três corpos que, somada aos conteúdos moderados de magnetita, indicam cristalização em  $fO_2$  relativamente baixa (Wones 1989).

Magnetita e ilmenita são os minerais óxidos de Fe-Ti presentes que definem seu padrão de suscetibilidade magnética (SM). Nos corpos São João e Gradaús, a magnetita ocorre em proporções  $< 1\%$ , enquanto no corpo Seringa ela ocorre em proporções  $> 1\%$ . Mesmo com intervalos diferentes de SM, os picos dos valores normalizados desses três granitos são muito próximos (Figura 18). Apesar de se posicionar completamente no campo dos granitos reduzidos, o Granito Gradaús apresenta magnetita em todas as suas fácies e valores de SM entre  $3,75 \times 10^{-5}$  SIv e  $3,53 \times 10^{-3}$  SIv, com média de  $9,8 \times 10^{-4}$  SIv. Os valores de SM do GSJ variam de  $1,20 \times 10^{-4}$  SIv a  $5,90 \times 10^{-3}$  SIv, com média de  $1,80 \times 10^{-3}$  SIv, enquanto no GS são levemente mais elevadas e variam de  $1,30 \times 10^{-3}$  SIv a  $20,0 \times 10^{-3}$  SIv, com média de  $6,2 \times 10^{-3}$  SIv; tal fato permite caracterizá-los como granitos de moderada SM.

Geoquimicamente os três granitos são muito similares e se sobrepõem na maioria dos diagramas apresentados. Todos são metaluminosos a peraluminosos (Figura 13A, 13B), possuem razões  $K_2O/Na_2O$  entre 1 e 2 (Figura 13C), apresentam afinidades com granitos tipo A intraplaca (Figura 16A, B), do subtipo A<sub>2</sub> (Figura 16C) e se posicionam no campo dos granitos ferrosos (Figura 16D) e tipo A reduzidos (Figura 17).

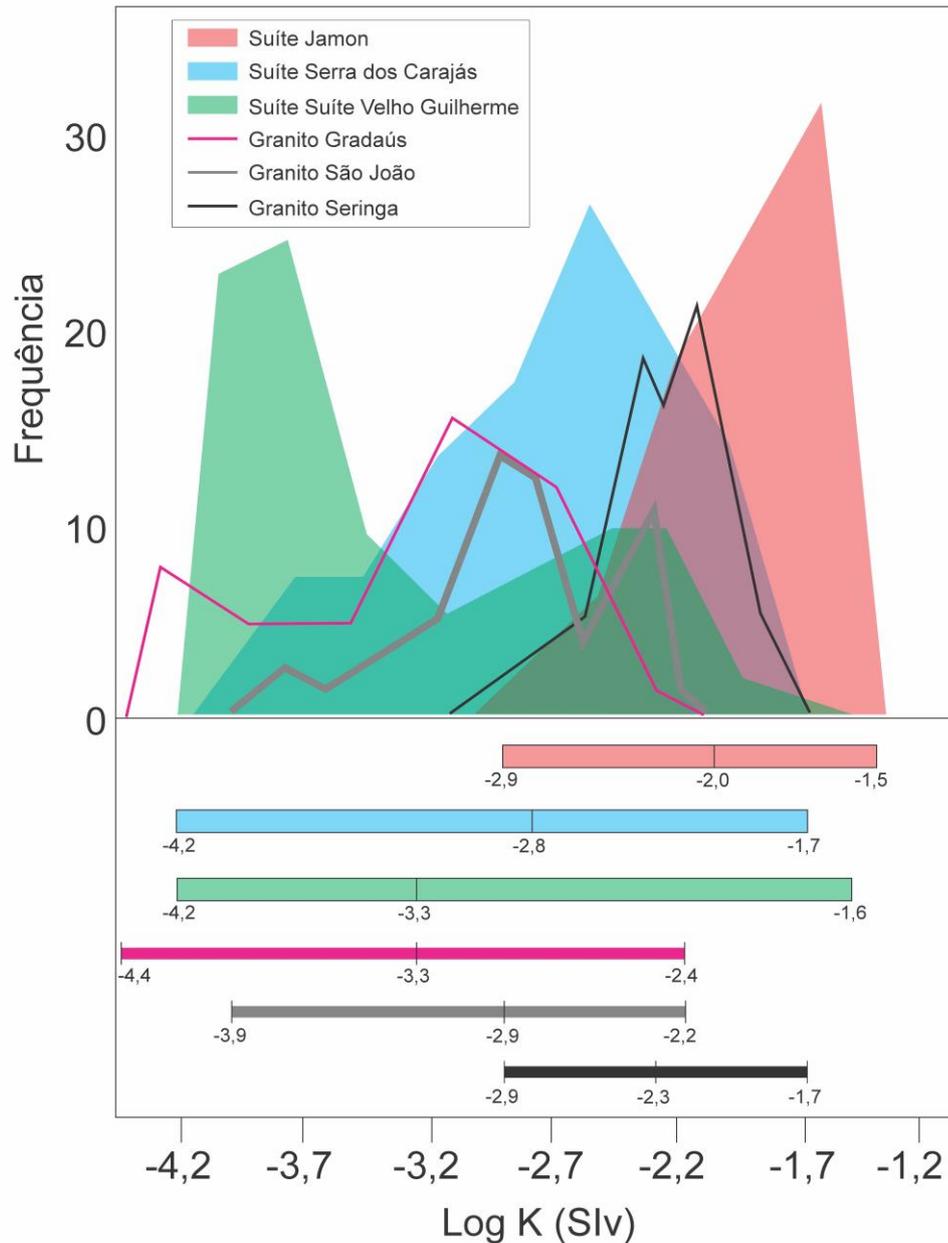


Figura 18 - Polígono de frequência, intervalo de ocorrência e médias para dados de suscetibilidade magnética normalizados dos granitos Gradaús, Seringa e São João, bem como das suítes Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme.

Fonte: dados das suítes Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme compilados de Dall'Agnol *et al.* (2005); dados dos granitos Seringa e São João de Paiva Jr. *et al.* (2011) e Lima *et al.* (2014), respectivamente.

### 3.3 GRANITO GRADAÚS *VERSUS* SUÍTES GRANÍTICAS

O Granito Gradaús é formado por rochas monzograníticas a sienograníticas com conteúdo de máficos <6%. Na Suíte Jamon dominam monzogranitos, com sienogranitos subordinados, com conteúdos de máficos entre 15 e 5%, podendo chegar a pouco mais que 20% nas fácies menos evoluídas. Na Suíte Serra dos Carajás, formada igualmente por monzogranitos e sienogranitos, o conteúdo de máficos geralmente é <15%. Na Suíte Velho Guilherme os

granitos são mais leucocráticos que nas outras duas suítes (Dall'Agnol *et al.* 2005). No Granito Gradaús, assim como nas três suítes, biotita e anfibólio são as fases máficas dominantes.

Na Suíte Jamon os minerais acessórios principais são zircão, apatita, magnetita, ilmenita, allanita e titanita (Dall'Agnol *et al.* 1999 a,b, Oliveira 2001), enquanto na Suíte Velho Guilherme a titanita está presente nas rochas menos evoluídas e é rara a ausente nas mais evoluídas; nos sienogranitos, a fluorita é comum e há ocorrência de monazita e xenotímio (Dall'Agnol *et al.* 2005). Com uma assembleia de minerais acessórios representada por magnetita, ilmenita, zircão, apatita e allanita, o Granito Gradaús se assemelha mais à Suíte Serra dos Carajás, onde a titanita primária também é rara ou ausente (Rios *et al.* 1995, Barros *et al.* 1995).

O Granito Gradaús apresenta conteúdos de magnetita e ilmenita <1% e valores moderados a baixos de SM (<1,00-3,53 x10<sup>-3</sup> SIv), se diferenciando claramente dos granitos da Suíte Jamon, onde a magnetita é o mineral óxido de Fe-Ti dominante (>1%) e os valores de SM são elevados (>5,0 x10<sup>-3</sup> SIv). Embora as rochas da Suíte Velho Guilherme possuam conteúdos de óxidos de Fe-Ti <1% e baixos valores de SM (<1,0 x10<sup>-3</sup> SIv), o Granito Gradaús apresenta uma maior concentração de valores moderados de SM e se aproxima mais dos valores obtidos nas rochas da Suíte Serra dos Carajás (1,0-5,0 x10<sup>-3</sup> SIv; Figura 18).

Com relação aos padrões de ETR do Granito Gradaús, os mesmos são, de forma geral, similares aos das três suítes graníticas. Entretanto, os conteúdos de ETR se assemelham mais aos encontrados na Suíte Serra dos Carajás, porém com anomalias negativas de Eu mais pronunciadas (Eu/Eu\* 0,43-0,02), similares ao padrão apresentado pelas rochas da Suíte Velho Guilherme.

## 4 CONCLUSÕES

O Granito Gradaús é um plúton de forma subcircular de cerca de 800 km<sup>2</sup> intrusivo em rochas sedimentares e metassedimentares arqueanas, constituído por monzogranitos a sienogranitos, com biotita e anfibólio como máficos dominantes. Foram identificadas quatro fácies petrográficas: biotita-anfibólio sienogranito (BASG), biotita-monzogranito (BMG), biotita-sienogranito (BSG) e biotita-monzogranito porfirítico e biotita-sienogranito porfirítico (BMGP e BSGP). Não é possível observar de modo claro, baseado nas suas caracterizações petrográficas, geoquímicas e de SM, uma sequência de evolução magmática das fácies do granito.

O Granito Gradaús possui características típicas de granitos tipo A como, por exemplo, sua tendência subalcalina, carácter metaluminoso a peraluminoso, conteúdos elevados de SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O, FeO/(FeO+MgO), Zr, Nb, Y e Ga, além de ETR, com exceção do Eu que mostra anomalias negativas pronunciadas. O Granito Gradaús é classificado como granito tipo A nos diagramas de Whalen *et al.* (1987) e Dall’Agnol & Oliveira (2007). Apresenta afinidade geoquímica com granitos intraplaca (Pearce *et al.* 1984), ferrosos (Frost *et al.* 2001) e do subtipo A<sub>2</sub> (Eby 1992), o que indicaria fonte crustal para o mesmo.

A ausência de titanita magmática e os baixos conteúdos de magnetita (<1%) indicam que o Granito Gradaús cristalizou em condições de baixa *f*O<sub>2</sub>. Tal fato é corroborado no diagrama Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> *versus* FeO<sub>t</sub>/(FeO<sub>t</sub>+MgO) de Dall’Agnol & Oliveira (2007), onde este granito plota no campo de granitos tipo-A reduzidos. No entanto, a presença de magnetita em todas as suas fácies e valores de SM moderados a baixos (< 3,53 x 10<sup>-3</sup> Siv), permitem classificá-lo como um granito moderadamente reduzido.

Os ETR das diferentes fácies do Granito Gradaús apresentam um padrão fracionado, do tipo “em gaivota”, com enriquecimento de ETRL em relação aos ETRP e uma marcante anomalia negativa de Eu (~0,40-0,02), o que indica que seu magma parental sofreu forte fracionamento de feldspatos.

Em termos comparativos, o Granito Gradaús se assemelha aos granitos Seringa e São João, formados por monzogranitos a sienogranitos isotrópicos pobres em máficos, isentos de titanita magmática, com padrões de SM similares e moderadamente reduzidos. O corpo estudado difere dos granitos da Suíte Jamon, os quais possuem conteúdos mais elevados de magnetita e carácter claramente oxidado, além de titanita magmática e valores de SM comparativamente mais elevados, se assemelhando, portanto, aos granitos das Suítes Serra dos Carajás e Velho Guilherme (Tabela 6). No entanto, os granitos da Suíte Velho Guilherme são

fortemente reduzidos e mineralizados em cassiterita e wolframita, o que não acontece com o Granito Gradaús.

Tabela 6 - Tabela comparativa de minerais opacos, Suscetibilidade Magnética e razão FeOt/(FeOt+MgO).

	Magnetita primária	Ilmenita			Titanita primária	SM (x 10 <sup>-3</sup> SI)	FeOt/(FeOt+MgO)
		I	C T	S			
<b>Suíte Jamon</b>	Abundante	Mais abundante nos monzogranitos		Rara ou ausente	Comum	1,05 – 54,73	0,82 – 0,96
<b>Suíte Serra dos Carajás</b>	Variável	ABMG, ABMP, MT	Comum em todas as fácies	Rara ou ausente	Rara ou ausente	1,0 – 5,0	0,85 – 0,99
<b>Suíte Velho Guilherme</b>	Comum nas fácies com anfibólio	Comum em todas as fácies	Fácies com anfibólio	BSG	Rara ou ausente	< 1,0	0,85 – 0,99
<b>Granito Seringa</b>	Abundante	Mais abundante nos monzogranitos		Rara	Ausente	1,31 – 20,03	0,90 – 0,97
<b>Granito São João</b>	Comum em todas as fácies	Variável	–	–	Ausente	0,12 – 5,95	0,93 – 0,99
<b>Granito Gradaús</b>	Comum em todas as fácies	Comum em todas as fácies	Variável, variedade C ausente	Ausente	Ausente	< 1,0 – 3,53	0,94 – 0,99

ABMG: Anfibólio-biotita-monzogranito; ABMP: Anfibólio-biotita-monzogranito porfirítico; MT: monzogranito modificado; Tipos de ilmenita: I – Individual; C – Composta; T – Treliça; S – Sanduíche. Fonte: baseado em Magalhães *et al.* (1994) e Dall’Agnol *et al.* (2005).

O Granito Gradaús, assim como os granitos Seringa e São João, apresenta comportamento petrográfico, geoquímico e de SM intermediário entre as rochas das suítes Jamon, formada por granitos tipicamente oxidados, e Velho Guilherme, representada por corpos reduzidos e especializados, mostrando comportamento muito similar ao dos granitos que compõem a Suíte Serra dos Carajás, podendo ser agrupado preliminarmente nesta importante suíte granítica. Estudos e química mineral de anfibólio, biotita, magnetita e ilmenita dos granitos Gradaús, Seringa e São João permitiriam uma comparação mais definitiva com os granitos das suítes Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme.

## REFERÊNCIAS

- Abrantes Jr. F.R. & Lamarão C.N. 2011. Petrografia e variação composicional de zircão do Granito Gradaús, Província Carajás, Centro-Sul do Pará. *In: SBGq, 13º Congresso Brasileiro de Geoquímica & 3º Simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul, Gramado. Anais...* p. 713-716.
- Almeida J.A.C. 2005. *Geologia, petrografia e geoquímica do granito anorogênico Bannach, terreno granito-Greenstone de Rio Maria, PA*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 171 p.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Oliveira D.C. 2006. Geologia, petrografia e geoquímica do granito anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, **36**: 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. 147 p.
- 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**(1-2): 201-221.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Leite A.A.S., 2013. Geochemistry and zircon geochronology of the Archean granite suites of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Carajás Province, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **42**: 103-126.
- Althoff F.J. 1996. *Etude pétrologique et structurale des granitoïdes de Marajoara (Pará, Brésil): leur rôle dans l'évolution archéenne du Craton Amazonien (2,7-3,2 Ga)*. PhD Thesis, Université Henri Poincaré, Nancy I, France, 296 p.
- Althoff F.J., Barbey P., Boullier A.M., Dall'Agnol R. 1995. Regime tectônico e composição dos granitoïdes arqueanos da região de Marajoara. *In: SBG, 4º Simpósio Geologia da Amazônia, Belém. Anais...* p. 291-294.
- Althoff F.J., Barbey, P., Boullier, A.M. 2000. 2.8-3.0 Ga plútonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral province, Brazil). *Precambrian Research*, **104**(3-4): 187-206.
- Anderson J.L. 1983. Proterozoic anorogenic granite plutonism of North America. *Geological Society of America Memoirs*, **161**: 133-154.
- Anderson J.L. & Bender E.E. 1989. Nature and origin of proterozoic A-Type granitic magmatism in the Southwestern United States of America. *Lithos*, **23** (1-2): 19-52.

Anderson J.L. & Smith D.R. 1995. The effects of temperature and  $fO_2$  on the Al-in-hornblende barometer. *American Mineralogist*, **80**: 549-559.

Araújo O.J.B., Maia R.G.N., Jorge João X.S., Costa J.B.S. 1988. A megaestruturação arqueana da folha Serra dos Carajás. In: SBG, 7º Congresso Latino-Americano de Geologia, Belém. *Anais...* p. 324-338.

Araújo O.J.B. & Maia R.G.N. 1991. *Serra dos Carajás, folha SB.22-Z-A, estado do Pará*. Texto explicativo. Brasília, DF, DNPM; CPRM, 136 p. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos Do Brasil).

Araújo O.J.B., Maia R.G.N., Jorge João X.S. 1991. Trabalhos anteriores e contexto geológico regional. In: Araújo O.J.B. & Maia R.G.N. 1991. *Serra dos Carajás, folha SB.22-Z-A, estado do Pará*. Texto explicativo. Brasília,DF, DNPM; CPRM. p. 17-50. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).

Avelar V.G., Lafon J.M., Correia Jr. F.C., Macambira E.M.B. 1999. O magmatismo arqueano da região de Tucumã-Província Mineral de Carajás: novos resultados geocronológicos. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, **29**(4): 453-460.

Barbosa A.B., Lafon J.M., Neves A.P., Vale A.G. 1995. Geocronologia Rb-Sr e Pb-Pb do Granito Redenção, SE do Pará: implicações para a evolução do magmatismo proterozoico da região de Redenção. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*. Série Ciências da Terra, Belém, **7**: 147-164.

Barbosa J.P.O. 2004. *Geologia estrutural, geoquímica, petrografia e geocronologia de granitoides da região do Igarapé Gelado, Norte da Província Mineral de Carajás*. MS Dissertation, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 96 p.

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, Belém, **7**: 93-123.

Barros C.E.M., Macambira M.J.B., Barbey P. 2001. Idade de zircões do complexo granítico estrela: relações entre magmatismo, deformação e metamorfismo na Província Metalogenética de Carajás. In: SBG, 7º Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém. *Resumos expandidos*. 1 CD-ROM.

Beisiegel V.R., Bernadelli A.L., Drummond N.F., Ruff A.W., Tremaine J.W. 1973. Geologia e recursos minerais da Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, **3**(4): 215-242.

Bowden, P., Batchelor, R.A., Chappell, B.W., Didier J., Lameyre J. 1984. Petrological geochemical and source criteria for the classification of granitic rocks: a discussion. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **35**: 1-11.

Collins, W.J., Beams, S. D., White, A. J. R., Chappell, B. W. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to Southeastern Australia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **80**: 189-200.

Companhia Vale do Rio Doce. 1972. Distrito ferrífero da Serra dos Carajás. *In: SBG, 26º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. Resumos das Comunicações...* v. 2, p. 78-80.

Cordeiro A.A.C. & Saueressig R. 1980. Serra das Andorinhas: geologia e principais ocorrências de ouro. *In: SBG, 31º Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú. Resumos das comunicações...* p. 344.

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, Belém, 7: 199–235.*

Cunha B.C.C., Santos D.B., Prado P. 1984. Contribuição ao estudo da estratigrafia da região dos Gradaús com ênfase no Grupo Rio Fresco. *In: SBG, 33º Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro. Anais...* v. 2, p. 873-885.

Dall'Agnol R. 1982. Maciço Jamon: evolução petrológica de um granito da Amazônia Oriental. *In: SBG, 1º Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém. Anais...* v. 2, p. 139-161.

Dall'Agnol R., Schenato C.A., Cordeiro A.A., Scheller T. 1985. Efeitos de contato do maciço granítico Jamon na sequência Lagoa Seca (Sudeste do Pará). *In: SBG, 2º Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém. Anais...* p. 33-52.

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, Viena, 50(1-3): 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, 2<sup>nd</sup> International Symposium on Granites and Associated Mineralizations, Salvador. Extended abstract...* p. 135-161.

Dall'Agnol R., Scillet B., Pichavant M. 1999a. Evolution of A-type granite magmas: an experimental study of the Lower Proterozoic Jamon Granite, Eastern Amazonian craton, Brazil. *Journal of Petrology, 40(11): 1673-1698.*

Dall'Agnol R., Ramö O.T., Magalhães M.S., Macambira M.J.B., 1999b. Petrology of the anorogenic oxidised Jamon and Musa granites, Amazonian Craton: implications for the genesis of Proterozoic, A-type Granites. *Lithos, 46: 431-462.*

Dall'Agnol R., Teixeira N.P., Ramö O.T., Moura C.A.V., Macambira M.J.B., Oliveira D.C., 2005. Petrogenesis of the paleoproterozoic rapakivi A-type granites of the archaic 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. Geological setting and field trip program. *In: SBG, Symposium on Magmatism, Crustal Evolution, and Metallogenesis of the Amazonian Craton, Belém. Abstract volume and field trip guide. v. 1, p. 50-102.*

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.*

- Dall'agnol R., Oliveira D.C., Lamarão C.N. 2013. Magmatismo granitoide arqueano e evolução geológica do Subdomínio de Transição da Província Carajás, Sudeste do Cráton Amazônico, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências Naturais*, Belém, **8**: 251-256.
- Debon F., Le Fort P., Sabaté P. 1988. Uma classificação químico-mineralógica das rochas plutônicas comuns e suas associações, método e aplicações. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, **18**(2): 122-133.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. (ed.). 1992. *An introduction to the Rock-forming Minerals*. Second edition. New York, Longman Scientific and Technical, 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*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 129 p.
- Eby G.N. 1990. The A-type granitoids: a review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. *Lithos*, **26**: 115-134.
- Eby G.N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, **20**: 641-644.
- Farias N.F. & Saueressig R. 1982. Pesquisa geológica da jazida de cobre Salobo 3A. In: SBG, 1º Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém. *Anais...* v. 2, p. 39-45.
- Feio G.R.L. 2011. *Magmatismo granitoide arqueano da área de Canaã dos Carajás: implicações para a evolução crustal da Província Carajás*. PhD Thesis, 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.
- Feio G.R.L., Dall'Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.J.B., Santos J.O.S., Althoff F.J. Soares J.E.B. 2013. Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: implications for crustal evolution of the Carajás province, Amazonian craton, Brazil. *Precambrian Research*, **227**: 157-185.
- Ferreira Filho C.F., Cançado F., Correa C., Macambira E.M.B., Siepierski L., Junqueira-Brod T.C. 2007. Mineralizações estratiformes de EGP-Ni associadas a complexos acamadados em Carajás: os exemplos de Luanga e Serra da Onça. *Contribuições à geologia da Amazônia*. Belém, SBG-NO, p. 01-14.
- 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*, **42**: 2033-2048.
- Gabriel E.O. & Oliveira D.C. 2014. Geologia, petrografia e geoquímica dos granitoides arqueanos de alto magnésio da região de Água Azul do Norte, porção Sul do Domínio Carajás, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências Naturais*, Belém, **9**(3): 533-564.

Gabriel E.O., Oliveira D.C., Macambira M.J.B. 2010. Caracterização geológica, petrográfica e geocronológica de ortopiroxênio-trondhjemitos (leucoenderbitos) da região de Vila Cedere III, Canaã dos Carajás-PA, Província Mineral de Carajás. *In: SBG, 45º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. Anais...* 1 CD-ROM.

Galarza M.A. 2002. *Geocronologia e geoquímica isotópica dos depósitos de Cu-Au Igarapé Bahia e Gameleira, Província Mineral de Carajás, Brasil*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 214 p.

Galarza M.A. & Macambira M.J.B. 2002. Petrologia e geocronologia das rochas encaixantes do depósito de Cu-Au Igarapé Bahia, Província Mineral de Carajás, Pará, Brasil. *In: Klein E.L., Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T. (ed.). Contribuições à geologia da Amazônia, Belém, SBG-Núcleo Norte, v. 3, p. 53-168.*

Gastal M.C.P. 1987. *Petrologia do maciço granítico Musa, Sudeste do Pará*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 316 p.

Gibbs A.K., Wirth K.R., Hirata W.K., Olszewski W.J. 1986. Age and composition of the Grão Para Group Volcanics, Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, 16(2): 201-211.*

Gomes A.C.B. 2003. *Geologia, petrografia e geoquímica dos granitoides de Canaã dos Carajás, SE do estado do Pará*. MS Dissertation, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 160 p.

Gomes A.C.B. & Dall'Agnol R. 2007. Nova associação tonalítica-trondhjemitica Neoarqueana na região de Canaã dos Carajás: TTG com altos conteúdos de Ti, Zr e Y. *Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, 37: 182-193.*

Guimarães F.V. 2009. *Geologia, petrografia e geoquímica do Trondhjemitito Mogno e rochas arqueanas associadas, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria - SE do Pará*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 102 p.

Guimarães F.V., Dall'Agnol R., Almeida J.A.C., Oliveira M.A. 2010. Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica do Trondhjemitito Mogno e Tonalito Mariazinha, Terreno Granito-Greenstone mesoarqueano de Rio Maria, SE do Pará. *Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, 40(2): 196-211.*

Haapala I. & Rämö O.T. 1990. Petrogenesis of the proterozoic rapakivi granites of Finland. *In: Stein H.J. & Hannah J.L. (ed.). Ore-bearing granite systems; petrogenesis and mineralizing processes. Geology Society of America, p. 275-286. (Spec. Pap., 246).*

Hanson G.N. 1989. An approach to trace element modeling using a simple igneous system as an example. *In: Lipin B.R. & McKay G.A. (ed.). Geochemistry and mineralogy of rare earth elements. Washington, D.C., Mineralogical Society of America, p. 79-97.*

Henderson H. 1984. *Rare earth element geochemistry*. Amsterdam, Elsevier, v. 2, p. 1-9.

Hirata W.K., Rigon J.C., Kadkaru K., Cordeiro A.A.C., Meireles E.M. 1982. Geologia regional da Província Mineral de Carajás. *In: SBG, 1º Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém. Anais...* v. 1, p. 100-110.

Huhn S.R.B., Santos A.B.S., Amaral A.F., Ledsham E.J., Gouveia J.L., Martins L.B.P., Montalvão R.M.G., Costa V.G. 1988. O terreno granito-greenstone da região de Rio Maria - Sul do Pará. *In: SBG, 35º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. Anais...* v. 3, p. 1438-1453.

Huhn S.B., Macambira M.J.B, Dall'Agnol R. 1999. Geologia e geocronologia Pb/Pb do granito alcalino arqueano Planalto, região da Serra do Rabo, Carajás – PA. *In: SBG, 6º Simpósio de Geologia da Amazônia, Manaus. Anais...* v. 1, p. 463-466.

Jorge João X.S. & Araújo J.B. 1992. Magmatismo granítico sin-cisalhamento Itacaiúnas no SW do Estado do Pará. *In: SBG, 37º Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo. Resumos expandidos...* v. 2, p. 36-38.

Kerr P. 1959. *Optical Mineralogy*. Third Edition. New York, McGraw-Hill Book Co. 492 p.

Krymsky R.S., Macambira J.B., Macambira M.J.B. 2002. Geocronologia U-Pb em zircão de rochas vulcânicas da Formação Carajás, Estado do Pará. *In: SBG, 2º Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados, Belém. Resumos...* p. 41.

La Roche H., Leterrier J., Grandclaude P., Marchal M. 1980. A classification of volcanic and plútonic rocks using R1-R2 diagram and major-element analyses – its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology*, **29**:183-210.

Lafon J.M., Rodrigues E., Duarte K.D. 1994. Le granite Mata Surrão: um magmatisme monzogranitique contemporain des associations tonalitiques-trondhjemitiques-granodioritiques archéennes de la région de Rio Maria (Amazonie Orientale, Brésil). *Comptes Rendues de la Academie de Sciences de Paris*, t. 318, serie II, p. 642-649.

Lamarão C.N., Pinho S.C.C., Paiva Junior A.L., Toro M.A.G. 2012. Mineralogy and geochemistry of the Paleoproterozoic, tinmineralized Bom Jardim Granite of the Velho Guilherme Suite, eastern Amazonian Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, **38**: 159-173.

Lamarão C.N., Silva, J.S., Borges R.M.K., Dall'Agnol R. 2014. Morphological and compositional variations of zircon and their metallogenetic implications: the example of Jamon, Serra dos Carajás and Velho Guilherme suites, Amazonian Craton. *Brazilian Journal of Geology*, **44**: 105-120.

Lameyre J. & Bowden P. 1982. Plutonic rock type series: discrimination of various granitoid series and related rocks. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **14**: 169-186.

Larsson L.O. 1977. Statistical treatment of in-situ measurements of magnetic susceptibility. *Sveriges Geologiska Undersohing*, **727**: 3-22.

Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B., Le Bas M.J., Bonin B., Bateman P., Bellieni G., Dudek A., Efremova S., Keller J., Lameyre J., Sabine P.A., Schmid R., Sorensen H., Wolley A.R. 2002. *Igneous rocks: a classification and glossary of terms*. Recommendations of the international Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of igneous rocks. 2<sup>nd</sup> ed. United Kingdom, Cambridge University Press. 236 p.

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. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, **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*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 330 p.
- Leite A.A.S., Dall'Agnol R., Macambira M.J.B., Althoff F.J. 2004. Geologia e geocronologia dos granitóides arqueanos da região de Xinguara (PA) e suas implicações na evolução do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, **34**: 447-458.
- Leite-Santos P.J. & Oliveira D.C. 2014. Trondhjemitos da área de Nova Canadá: novas ocorrências de associações magmáticas tipo TTG no Domínio Carajás. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências Naturais*, Belém, **9**(3): 635-659.
- Leite-Santos P.J. & Oliveira D.C. 2016. Geologia, petrografia e geoquímica das associações leucograníticas arqueanas da área de Nova Canadá: Província Carajás. *Geologia USP, Série Científica*, São Paulo, **16**(2): 37-66.
- Lima P.H.A., Lamarão C.N., Santos M.J.P. 2014. Petrografia, geoquímica e suscetibilidade magnética do granito paleoproterozoico São João, sudeste do Cráton Amazônico, Província Carajás. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências Naturais*, Belém, **9**:47-72.
- Lindenmayer Z.G. 1990. *Salobo sequence, Carajás, Brazil: geology, geochemistry and metamorphism*. PhD Thesis, The University of Western Ontario, Ontario. 406 p.
- Lindenmayer Z.G., Fyfe W.S., Bocalon V.L.S. 1994. Nota preliminar sobre as intrusões granitóides do depósito de cobre do Salobo, Carajás. *Acta Geológica Leopoldensia*, **17**(40): 153-184.
- Loiselle M.C. & Wones D.R. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, **11**: 468.
- Macambira E.M.B., Jorge João X.S., Souza E.C. 1996. Geologic and petrological aspects of the Plaquê Granite – Southeastern of Pará State. In: Symposium of Archean Terranes of the South American Platform, Brasília. *Extended abstracts...* p. 73-75.
- Macambira E.M.B. & Vale A.G. 1997. *São Félix do Xingu: folha SB.22-Y-B, Estado do Pará, escala 1:250.000. Texto Explicativo*. Brasília: CPRM, 344 p. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).
- 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*. PhD Thesis, Université Montpellier II, France, 212 p.
- Macambira M.J.B. & Lafon J.M. 1995. Geocronologia da Província Mineral de Carajás, síntese dos dados e novos desafios. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra*, Belém, **7**: 263-287.
- 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 Carajás Province, Brazil. *In: SBG, 31<sup>st</sup> International Geological Congress, Rio de Janeiro. 1 CD-ROM.*
- Machado N., Lindenmayer Z. G., Krogh T. E., Lindenmayer, D. 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon Shield, Brazil. *Precambrian Research*, **49**: 329-354.
- Medeiros H. & Dall'Agnol R. 1988. Petrologia da porção leste do batólito granodiorítico Rio Maria, Sudeste do Pará. *In: 35º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. Anais... v. 3, p. 1488-1499.*
- Meireles E.M., Hirata W.K., Amaral A.F., Medeiros Filho C.A., Gato W.C. 1984. Geologia das folhas Carajás e Rio Verde, Província Mineral dos Carajás, Estado do Pará. *In: SBG, 33º Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro. Anais... v. 5, p. 2164-2174.*
- 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, 32º Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador. Anais... v. 2, p. 520-548.*
- Moreto C.P.N., Monteiro L.V.S., Xavier R.P., Amaral W.S., Santos T.J.S., Juliani C., Souza Filho C.R. 2011. Mesoarchean (3.0 and 2.86 Ga) host rocks of the iron oxide–Cu–Au Bacaba deposit, Carajás Mineral Province: U–Pb geochronology and metallogenetic implications. *Mineralium Deposita*, **46**: 789-811.
- Mougeot R., Respaut J.P., Briquet L., Ledru P., Macambira M.J.B. 1996. Geochronological constraints for the age of the Águas Claras Formations (Carajás Province, Pará State, Brazil). *In: SBG, 39º Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador. Resumos expandidos... v. 6, p. 579-581.*
- Nakamura N. 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **38**: 757-775.
- Neves A.P. & Vale A.G. 1999. *Redenção: folha SC.22-X-A. Estados do Pará e Tocantins, escala 1:250.000. Brasília: DNPM/CPRM, 1999. 1 CD-ROM. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).*
- Nogueira A.C.R., Truckenbrodt W., Pinheiro R.V.L. 1995. Formação Águas Claras, Pré-Cambriano da Serra dos Carajás. Redescrição e redefinição. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Belém, **7**: 177-197.
- Oliveira D.C. 2001. *Geologia, geoquímica e petrologia magnética do granito paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 207 p.
- 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: Klein E.L., Vasques M.L., Rosa Costa L.T. (ed.) Contribuições a geologia da Amazônia*, Belém, SBG-NO, v. 3, p. 115-132.

- Oliveira D.C., Dall'Agnol R., Barros C.E.M., Vale A.G. 2005. Geologia e petrografia do granito paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi*, Belém, **2**(1): 155-172.
- Oliveira D.C., Dall'Agnol R., Silva J.B.C., Almeida, J.A.C. 2008. Gravimetric, radiometric, and magnetic susceptibility study of the Paleoproterozoic Redenção and Bannach plutons: implications for architecture and zoning of A-type granites. *Journal of South American Earth Sciences*, **25**: 100-115.
- 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, 45° Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador. *Anais...* 1 CD-ROM.
- Oliveira M.A., Dall'Agnol R., Althoff F.J. 2006. Petrografia e geoquímica do granodiorito Rio Maria da região de Bannach e comparações com as demais ocorrências no Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria - Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, **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 Júnior A.L., Lamarão C.N., Lima P.H.A. 2011. Geologia, petrografia e geoquímica do batólito Seringa, Província Mineral de Carajás, SSE do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, **41**: 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.
- Pidgeon R.T., Macambira M.J.B., Lafon J.M. 2000. Th-U-Pb isotopic systems and internal structures of complex zircons from an enderbite from the Pium Complex, Carajás Province, Brasil: evidence for the ages of granulite facies metamorphism and the protolith of the enderbite. *Chemical Geology*, **166**: 159-171.
- 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, 38° Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú. *Boletim de Resumos Expandidos...* p. 390-391.
- Pinho S.C.C. 2009. *Geologia, petrografia e geoquímica do granito Bom Jardim, Província Estanífera do Sul do Pará*. MS Dissertation, Pós-Graduação em Geoquímica e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal, Belém, 144 p.
- Rämö O.T., Dall'Agnol R., Macambira M.J.B., Leite A.A.S., Oliveira D.C. 2002. 1.88 Ga oxidized A-type granites of the Rio Maria region, eastern Amazonian Craton, Brazil: Positively anorogenic! *Journal of Geology*, **110**: 603-610.
- Ricci, P.S.F., Costa E.J.S., Oliveira J.R. 2003. The reanalysed Carajás Block is interposed between the Bacajá (the crustal reworking “lost link” now being predicted) and Rio Maria

Archean terranes – Guaporé Craton. *In: SBG, 8º Simpósio de Geologia da Amazônia, Manaus. Resumos expandidos...* 1 CD-ROM.

Ricci P.S.F. & Carvalho M.A. 2006. Rocks of the Pium-Area, Carajás Block, Brazil – A Deepseated High-T Gabbroic Pluton (Charnockitoid-Like) with Xenoliths of Enderbitic Gneisses Dated at 3002 Ma – The Basement Problem Revisited. *In: SBG, 8º Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém. Boletim de Resumos Expandidos...* 1 CD-ROM.

Rio Doce Geologia e Mineração S/A. 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás, Pará. *In: SBG, 35º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. Anexos...* Província Mineral de Carajás - Litoestratigrafia e Principais Depósitos Minerais. p. 11-54.

Rios J.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. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, **25**: 20-31.

Rocha Jr. 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, 45 p.

Rodrigues D.S., Oliveira D.C., Macambira M.J.B. 2010. Geologia, geoquímica e geocronologia do magmatismo granítico da porção SW de vila Sedere III, município de Água Azul do Norte - Província Mineral de Carajás. *In: 45º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. Anais...* 1 CD-ROM.

Rodrigues D.S., Oliveira D.C., Macambira M.J.B. 2015. Geologia, geoquímica e geocronologia do Granito Mesoarqueano Boa Sorte, município de Água Azul do Norte, Pará – Província Carajás. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências Naturais*, Belém, **9**(3): 597-633.

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, 37º Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo. Boletim de Resumos Expandidos...* v. 2, p. 183-184.

Rolando A.P. & Macambira M.J.B. 2002. Geocronologia dos granitoides arqueanos da região da Serra do Inajá, novas evidências sobre a formação da crosta continental no sudeste do Cráton Amazônico, SSE Pará. *In: 41º Congresso Brasileiro de Geologia, 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, 5<sup>th</sup> South American Symposium on Isotope Geology, Salvador. Expanded Abstracts.* 1 CD-ROM.

Rollinson, H. 1993. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman Scientific Technical, p. 133-142.

Ronzê P.C., Soares A.D.V., Santos M.G.S., Barreira C.F. 2000. Alemão copper-gold (U-REE) deposit, Carajás, Brazil. *In: Porter T.M. (ed.). Hydrothermal iron oxide copper-gold & related deposits: a global perspective*. Adelaide, Australian Mineral Foundation, p. 191-202.

Santos A. & Pena Filho J.I.C. 2000. *Xinguara: folha SB.22-Z-C. Estado do Pará, escala 1:250.000*. Brasília: CPRM, 2000. 1 CD-ROM. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).

Santos J.O.S. 2003. Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. *In: Bizzi L.A. et al. (ed.). Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG. Brasília, CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 2003. p. 169-226, il.*

Santos J.O.S., Hartmann L.A., Gaudette H.E., Groves D.I., Mcnaughton N.J., Fletcher I.R. 2000. A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, **3**: 453-488.

Santos M.G.S. 2002. *Estudo dos isótopos de Pb e Nd do Depósito de Cu-Au (U-ETR) Alemão, Província Mineral de Carajás (PA)*. MS Dissertation, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 126 p.

Santos M.J.P., Lamarão C.N., Lima P.H.A., Galarza M.A., Mesquita J.C.L. 2013. Granitoides arqueanos da região de Água Azul do Norte, Província Carajás, Sudeste do Estado do Pará: petrografia, geoquímica e geocronologia. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências Naturais*, **8**(3): 325-354.

Santos P.J.L. & Oliveira D.C. 2012. Geologia, petrografia e geoquímica das associações granodioríticas-graníticas de Nova Canadá, subdomínio de transição, Província Carajás. *In: SBG, 46° Congresso Brasileiro de Geologia, Santos. Anais... 1 CD-ROM.*

Santos P.J.L., Oliveira D.C., Galarza M.A., Macambira M.J.B. 2010. Geologia, petrografia e geocronologia das rochas granitoides do Complexo Xingu da região de Nova Canadá, município de Água Azul do Norte – Província mineral de Carajás. *In: SBG, 45° Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. Anais... 1 CD-ROM.*

Sardinha A.S., Dall’Agnol R., Gomes A.C.B., Macambira M.J.B., Galarza M.A. 2004. Geocronologia Pb-Pb E U-Pb em zircão de granitoides arqueanos da região de Canaã dos Carajás, Província Mineral de Carajás. *In: SBG, 42° Congresso Brasileiro de Geologia, Araxá. 1 CD-ROM.*

Sardinha A.S., Barros C.E.M., Krymsky R. 2006. Geology, geochemistry, and U-Pb geochronology of the Archean (2.74 Ga) Serra do Rabo granite stocks, Carajás Province, northern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **20**: 327-339.

Shand S.J. 1951. *Eruptive rocks their genesis, composition, classification and their relation to ore deposit*. 4ed., London, 488p.

Silva A.C., Oliveira D.C., Macambira M.J.B. 2010. Individualização e geocronologia de granitoides do Complexo Xingu, região de Vila Jussara, município de Água Azul do Norte - PA, Província Mineral de Carajás. *In: SBG, 45° Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. Anais... 1 CD-ROM.*

Silva A.C., Dall’Agnol R., Guimarães F.V., Oliveira D.C. 2014. Geologia, petrografia e geoquímica de Associações Tonalíticas e Trondhjemiticas Arqueanas de Vila Jussara, Província Mineral de Carajás, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências Naturais, Belém*, **9**(1): 13-46.

Soares A.D.V., Ronzê P.C., Santos M.G.S., Leal E.D., Barreira C.F. 1999. Geologia e mineralizações do depósito de Cu-Au Alemão – Província Mineral de Carajás (PA). *In: SBG, 6° Simpósio de Geologia da Amazônia, Manaus. Anais... p. 144-147.*

- Soares C.M. 1996. *Estudo das relações de contato do granodiorito Rio Maria com os granitos Jamon e Musa e com diques do proterozóico*. MS Dissertation, Pós-Graduação em Geoquímica e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 165 p.
- Sousa S.D., Oliveira D.C., Gabriel E.O., Macambira M.J.B. 2010. Geologia, petrografia e geocronologia das rochas granitoides do Complexo Xingu da porção a leste da cidade de Água Azul do Norte (PA) – PMC. *In: SBG, 45º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. Anais... 1 CD-ROM.*
- 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, 36º Congresso Brasileiro de Geologia, Natal. Anais... v.6, p. 2913-2928.*
- Souza Z.S. 1994. *Geologia e petrogênese do "Greenstone Belt" Identidade: implicações sobre a evolução geodinâmica do terreno granito-"greenstone" de Rio Maria, SE do Pará*. PhD Thesis, Universidade Federal do Pará. 2v.
- 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: 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). *Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, 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. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews, 12: 1-33.*
- Tallarico F.H.B., Figueiredo B.R., Groves D.I., Kositcin N., Mcnaughton N.J., Fletcher I.R., Rego J.L. 2005. Geology and SHRIMP U-Pb geochronology of the Igarapé Bahia Deposit, Carajás Copper-Gold Belt, Brazil: an Archean (2.57 Ga) example of Iron-Oxide Cu-Au-(U-REE) Mineralization. *Economic Geology, 100(1): 7-28.*
- Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes, 22: 174-182.*
- Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 2004. Evolução tectônica do Cráton Amazônico. *In: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito Neves B.B. (Org.). Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de F.F.M. de Almeida. São Paulo, BECA. p. 471-486.*
- Teixeira M.F.B., Dall’Agnol R., Silva A.C., Santos P.A. 2013. Geologia, petrografia e geoquímica do leucogranodiorito pantanal e dos leucogranitos arqueanos da área a norte de Sapucaia, Província Carajás, Pará: implicações petrogenéticas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências Naturais, Belém, 8(3): 291-324.*

Teixeira N.P. 1999. *Contribuição ao estudo das rochas granitóides e mineralizações associadas da Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 507 p.

Teixeira N.P., Betencourt J.S., Moura C.A.V., Dall'Agnol R., Macambira E.M.B. 2002. Pb-Pb geochronology and Sm-Nd isotopic composition of the Velho Guilherme Intrusive Suite and volcanic rocks of the Uatumã Group, south-southeast Pará - Brazil. *Precambrian Research*, **119**: 257-275.

Teixeira N.P., Bettencourt J.S., Dall'Agnol R., Moura C.A.V., Fernandes C.M.D., Pinho S.C.C. 2005. Geoquímica dos granitos paleoproterozóicos da Suíte Granítica Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, **35**: 217-226.

Trendall A.F., Basei M.A.S., De Laeter J.R., Nelson D.R. 1998. SHRIMP zircon U-Pb constraints on the age of the Carajás Formation, Grão Pará Group, Amazon Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, **11**(3): 265-277.

Vale A.G. & Neves P.N. 1994. O Granito Redenção: Estado do Pará. In: SBG, 38º Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú. *Boletim de Resumos Expandidos...* v. 1, p. 149-150.

Vasquez L.V., Rosa-Costa L.R., Silva C.G., Ricci P.F., Barbosa J.O., Klein E.L., Lopes E.S., Macambira E.B., Chaves C.L., Carvalho J.M., Oliveira J.G., Anjos G.C., Silva H.R. 2008. *Geologia e recursos minerais do estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas geológico e tectônico e de recursos minerais do estado do Pará*. Organizadores: Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T. Belém, CPRM, 328 p.

Villas R.N.N. 1999 Granito Pojuca, Serra dos Carajás (PA): composição mineralógica, química mineral e controles químicos da alteração hidrotermal. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, **29**(3): 393- 404.

Whalen J.B., Currie K.L., Chappell B.W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **95**: 407-419.

Whitney D.L. & Evans B.W. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, **95**(1): 185-187.

Wirth K.R., Gibbs A.K., Olszewski Jr. W.J. 1986. U-Pbzircon ages of the Grão Pará group and Serra dos Carajás granite, Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, **16**(2): 195-200.