



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PAULO HENRIQUE ARAÚJO LIMA

GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOCRONOLOGIA DO
GRANITO SÃO JOÃO, PROVÍNCIA CARAJÁS, SSE
DO PARÁ.

GEOCIÊNCIAS
U F P A

BELÉM - PARÁ
FEVEREIRO - 2011

PAULO HENRIQUE ARAÚJO LIMA

GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOCRONOLOGIA DO
GRANITO SÃO JOÃO, PROVÍNCIA CARAJÁS, SSE
DO PARÁ.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Geologia da Universidade Federal do
Pará – UFPA, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Geologia.
Orientador: Prof. Dr. Claudio Nery
Lamarão.

BELÉM

2011

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

L732g Lima, Paulo Henrique Araújo

Geologia, petrografia e geocronologia do granito São João, Província Carajás, SSE do Pará. / Paulo Henrique Araújo Lima; Orientador: Claudio Nery Lamarão – 2011

64 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Quarto Período de 2010.

1. Granito (PA). 2. Petrografia. 3. Geocronologia. 4. Granito São João. 5. Sudeste (PA). 6. Carajás (PA). I. Lamarão, Claudio Nery, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 20º ed.: 553.52098115

PAULO HENRIQUE ARAÚJO LIMA

GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOCRONOLOGIA DO
GRANITO SÃO JOÃO, PROVÍNCIA MINERAL DE
CARAJÁS, SSE DO PARÁ.

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

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca examinadora:

Prof. Cláudio Nery Lamarão-Orientador
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Roberto Dall’Agnol
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

A minha mãe,
pelo amor e carinho incondicional
que me deram força nessa e em
todas as etapas da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Neste espaço o autor gostaria de expressar seus sinceros agradecimentos a todas as pessoas e instituições que, direta ou indiretamente, prestaram sua contribuição para que este trabalho fosse concluído, em especial:

- À Deus;
- Aos meus pais e irmãos por todo o amor, confiança e dedicação investidos a mim ao longo de todos esses anos;
- Aos meus avós, por sempre acreditarem que eu seria capaz de alcançar todos os meus objetivos;
- A minha tia Ivanete, por todo amor, incentivo e dedicação;
- A meu tio Ivanes e minha madrinha Angelita, por apoiarem e financiarem meus estudos desde a época do colégio;
- Aos membros da minha família que sempre torceram por mim, mesmo estando longe;
- A minha namorada Anne por todo amor, carinho, compreensão, paciência e incentivo dedicados a mim durante toda a nossa história;
- A Fundação CAPES/Projeto PROCAD (0096/05-9) e ao Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia de Geociências da Amazônia, pelo apoio financeiro ao desenvolvimento deste trabalho;
- Ao Prof. Claudio Nery Lamarão pela orientação, dedicação e paciência prestada durante todas as fases deste trabalho;
- Ao MEC-SESu pela concessão da bolsa de estudos, através do Programa de Educação Tutorial (PET);
- Ao grupo PET geologia, em especial o seu tutor Prof. Vladimir, pela amizade, incentivo e inúmeras oportunidades oferecidas durante toda a graduação;
- Ao Prof. Marco Antonio Galarza pela ajuda na obtenção dos dados geocronológicos;
- A amiga Ishi Macris pela ajuda na obtenção das imagens de MEV;
- Aos amigos geólogos Antônio Paiva Jr. e Joseanna Santos pelo auxílio prestado durante a primeira etapa de campo;
- Aos amigos Max de Jesus, Jardel Mesquita e Francisco Jr. (Latino) pelo auxílio prestado durante a segunda etapa de campo, assim como os demais amigos do GPPG pelas importantes sugestões e contribuições a este trabalho, bem como pelos momentos de descontrações;

- As amigas de curso Joseanna Santos, Kamilla Borges (Peixe), Katucha Rocha, Indyhaia Favacho, Carla Santos e Camila Marques por toda a força, incentivo, companheirismo e momentos de descontração proporcionados tanto dentro, quanto fora da universidade;

- A todos os amigos de curso da turma de 2006, que ingressaram comigo na graduação. Em especial aos grandes companheiros Camila Alves, Cesar Cardoso, Cleber Rabelo, Débora Aguiar, Érika Lobato, Francisco Jr. (Latino), Hudson Santos, Ignácio Neto, Jardel Mesquita, Leonardo Aquino (Ciclop), Lucios Campos, Max de Jesus, Rafael Marques, Raquel Nogueira, Renan Feitosa, Rudson Negrão (Didi) e Verena Torres, pelos quais tenho grande amizade e consideração que levarei comigo pelo resto da vida.

Aprendi o silêncio com os faladores, a tolerância com os intolerantes, a bondade com os maldosos; e, por estranho que pareça, sou grato a esses professores.

Khalil Gibran

RESUMO

O Granito São João (GSJ) é um batólito anorogênico subcircular com aproximadamente 200 km² de área que secciona unidades trondhjemíticas e leucograníticas arqueanas do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria. Está localizado entre as cidades de Água Azul do Norte e Bannach, na porção sudeste do Cráton Amazônico, nos domínios da Província Carajás. É formado essencialmente por rochas monzograníticas e sienograníticas isotrópicas, de coloração rosada e avermelhada, pobres em minerais máficos, constituídas essencialmente por quartzo, álcali-feldspato e plagioclásio, tendo anfibólio e biotita como minerais varietais e zircão, apatita, allanita e minerais opacos como principais fases acessórias. Apresentam granulação predominantemente média a grossa, localmente fina. Afloram na forma de pequenas serras, grandes blocos e lajedos frequentemente fraturados. Estudos petrográficos, que tiveram como base descrições macroscópicas, microscópicas e análises de MEV/EDS dos litotipos encontrados, possibilitaram a separação preliminar do granito em quatro fácies petrográficas distintas: anfibólio-biotita monzogranito (ABMG), biotita monzogranito (BMG), anfibólio-biotita sienogranito (ABSG) e biotita sienogranito (BSG). Dentre as rochas monzograníticas, as da fácies BMG são as mais abundantes. Afloram, mais significativamente, na porção centro oeste do corpo, com algumas ocorrências a norte e a sudeste. As rochas da fácies ABMG ocorrem de forma dispersa nas porções leste, sudoeste e centro-oeste do corpo. Já as rochas sienograníticas (ABSG e BSG) foram identificadas preferencialmente nas porções mais externas do granito, sendo a fácies BSG restrita à borda oeste e a fácies ABSG à borda leste, com algumas ocorrências a norte e a sudeste. Zircões do BMG foram selecionados para datação através do método de evaporação de Pb. Dentre os cristais analisados, cinco revelaram idade média de 1890 ± 2 Ma, interpretada como a idade de cristalização do corpo. A idade obtida é similar àquela do Granito Seringa (1895 ± 1 Ma). Devido apresentar semelhanças petrográficas, de química mineral (EDS/MEV) e geocronológicas com as rochas do Granito Seringa, localizado imediatamente a oeste, e com granitos da suíte Serra dos Carajás, o Granito São João pode ser enquadrado, mesmo que preliminarmente, nessa importante suíte granitóide.

Palavras chave: Granito – Pará. Sudeste. Petrografia. Geocronologia. Granito São João. Carajás (PA)

ABSTRACT

The São João Granite (SJG) is a subcircular anorogenic batholith with approximately 200km² of area, outcropping between Água Azul do Norte and Bannach cities, southeastern of the Amazonian Craton, Carajás Province. It is intrusive in trondhjemitic and leucogranitic Archean units of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrain. The SJG consists mainly of monzogranite and syenogranite isotropic rocks, with pink to reddish colors, poor in mafic minerals, and formed essentially by quartz, alkali feldspar and plagioclase. Amphibole and biotite are the main ferromagnesian minerals, and zircon, apatite, allanite and minerals opaques the dominant accessory phases. The SJG is dominantly medium to coarse-grained, locally fine-grained, outcropping as small hills, big blocks and flooring often fractured. Petrographic studies, based on macroscopic, microscopic and SEM/EDS analysis allowed the identification of four different petrographic facies: amphibole-biotite monzogranite (ABMG), biotite monzogranite (BMG), amphibole-biotite syenogranite (ABSG) and biotite syenogranite (BSG). Among the monzogranite rocks, the BMG is the more abundant facies. These rocks are concentrated in the central west part of the body, with some occurrences in the north and southeast. Rocks of the ABMG facies are widely disperse in the east, southwest and west-central portions of the body. On the other hand, the syenogranite rocks (ABSG and BSG) occur preferentially in the border areas of the pluton, with the BSG rocks being restricted to the western border and the ABSG to the eastern border, with some occurrences in the north and southeast. A representative sample of BMG was selected for dating by the Pb on zircon evaporation method. Among the zircon analyzed crystals, five showed an average age of 1890±2 Ma, interpreted as crystallization age of the SJG. This age is similar to that obtained for the Seringa Granite (1895±1 Ma). Due to petrographic, mineral chemistry (EDS/SEM) and geochronological similarities with rocks of the Seringa Granite, located immediately to the west, and granites of the Serra dos Carajás suite, the São João Granite is included in a first approach, in that important granitoide suite.

Keywords: Granite - Pará, Southeast. Petrography. Geochronology. São João Granite Carajás. (PA)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01 - Mapa do Terreno Granito- <i>Greenstone</i> de Rio Maria	16
FIGURA 02 - Mapa de localização e acesso a área de estudo	16
FIGURA 03 - Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico	18
FIGURA 04 - Mapa de pontos e vias de acesso ao Granito São João	25
FIGURA 05 - Imagem de satélite mostrando contraste topográfico	29
FIGURA 06 - Contatos entre o Granito São João e suas encaixantes	30
FIGURA 07 - Geomorfologia do Granito São João e de suas encaixantes	30
FIGURA 08 - Diques que afloram ao redor do Granito São João	30
FIGURA 09 - Modos de ocorrência do Granito São João	31
FIGURA 10 - Mapa Geológico preliminar do Granito São João	32
FIGURA 11 - Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M	34
FIGURA 12 - Aspecto macroscópico e microscópico da fácies ABMG	36
FIGURA 13 - Aspecto macroscópico e microscópico da fácies BMG	38
FIGURA 14 - Aspecto macroscópico e microscópico da fácies ABSG	41
FIGURA 15 - Aspecto macroscópico e microscópico da fácies BSG	43
FIGURA 16 - Inclusões em biotitas observadas em MEV	45
FIGURA 17 - Diagrama TiO_2 -FeO+MnO-MgO	46
FIGURA 18 - Diagrama TiO_2 -FeO+MnO-MgO	46
FIGURA 19 - Diagrama Al_2O_3 versus MgO	47
FIGURA 20 - Minerais acessórios observados em MEV	49

FIGURA 21 - Minerais acessórios observados em MEV	50
FIGURA 22 - Imagens de catodoluminescência obtidas em MEV	51
FIGURA 23 - Diagrama Hf-Y-Nb	52
FIGURA 24 - Diagrama Zr/Hf <i>versus</i> Hf+Y+Th+U	52
FIGURA 25 - Diagrama mostrando a idade média do Granito São João	54

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Dados geocronológicos das rochas do TGGRM	20
TABELA 02 - Composições modais médias das fácies do Granito São João	32
TABELA 03 - Principais fases acessórias do Granito São João	43
TABELA 04 - Análises por EDS dos anfibólios das fácies ABMG e ABSG	43
TABELA 05 - Análises por EDS de biotitas das fácies do Granito São João	44
TABELA 06 - Resultados isotópicos de zircões do Granito São João	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	APRESENTAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	15
1.2	CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	17
1.2.1	Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico	17
1.2.2	Província Amazônia Central	19
1.2.3	Terreno Granito-<i>Greenstone</i> de Rio Maria	19
1.2.4	Granitos Anorogênicos do Terreno Granito-<i>Greenstone</i> de Rio Maria	22
1.3	APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	23
1.4	OBJETIVOS	23
1.5	MATERIAIS E MÉTODOS	24
1.5.1	Pesquisa bibliográfica	24
1.5.2	Caracterização Geológica	24
1.5.3	Petrografia	25
1.5.4	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	26
1.5.5	Geocronologia Pb-Pb em zircão	27
2	GEOLOGIA DO GRANITO SÃO JOÃO	28
3	PETROGRAFIA	33
3.1	INTRODUÇÃO	33
3.2	VARIEDADES PETROGRÁFICAS	35
3.2.1	Anfibólio-biotita-monzogranito (ABMG)	35
3.2.2	Biotita-monzogranito (BMG)	37
3.2.3	Anfibólio-biotita-sienogranito (ABSG)	39
3.2.4	Biotita-sienogranito (BSG)	42
3.3	ANÁLISES DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	43
3.3.1	Anfibólio $[\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg},\text{Fe})_4(\text{Al},\text{Fe},\text{Ti})\text{AlSi}_8\text{AlO}_{22}(\text{OH},\text{O})_2]$	44
3.3.2	Biotita $[\text{K}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_{6-4}(\text{Fe}^{3+}, \text{Al}, \text{Ti})_{0-2}\text{Si}_{6-5}\text{Al}_{2-3}\text{O}_{20}(\text{OH},\text{F})_4]$	44
3.3.3	Allanita $[(\text{Ca},\text{Mn}^{+2},\text{Ce})_2\text{Fe}^{+2},\text{Fe}^{+3},\text{Al}]_3\text{O},\text{OH},\text{Si}_2\text{O}_7,\text{SiO}_4]$	47
3.3.4	Apatita $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F},\text{Cl})]$	47
3.3.5	Monazita $[(\text{La}, \text{Ce}, \text{Nd}, \text{Th})\text{PO}_4]$	48

3.3.6	Fluorita [CaF ₂]	48
3.3.7	Thorita [ThSiO ₄]	48
3.3.8	Magnetita [FeO.Fe ₂ O ₄], Titanomagnetita [Fe ₂ TiO ₄] e Ilmenita [FeTiO ₃]	48
3.3.9	Zircão [ZrSiO ₄]	50
4	GEOCRONOLOGIA	53
5	DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	55
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

Durante o Paleoproterozóico o Cráton Amazônico foi palco de significativo magmatismo granítico anorogênico (DALL'AGNOL et al. 1994). Na Província Carajás (PC) este evento foi marcado pela geração de três grandes suítes graníticas tipo-A (WHALEN et al. 1987), englobadas nas suítes Jamon, Velho Guilherme e Serra dos Carajás (DALL'AGNOL et al. 2005).

Localizada nos domínios do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM), a suíte Jamon (DALL'AGNOL et al. 2005) é formada pelos plutons graníticos Jamon, Musa, Redenção, Bannach, Seringa, Marajoara, Manda Saia, Gradaús e São João. Embora Dall'Agnol et al. (2005) tenham incluído os corpos Seringa e São João na suíte Jamon Paiva Jr. (2009), em seu estudo sobre o Granito Seringa, demonstrou que este não possui grandes afinidades com esta suíte, e sim com a suíte Serra dos Carajás. Tal fato mostra que estudos mais detalhados sobre o Granito São João ainda são necessários para que possa se estabelecer relações comparativas entre este corpo e as suítes granitóides da Província Carajás.

O Granito São João é um batólito anorogênico com aproximadamente 200 km² de área que secciona unidades arqueanas do TGGRM, representadas por tonalitos, trondhjemitos e granodioritos (OLIVEIRA 2001, OLIVEIRA et al. 2002, DALL'AGNOL et al. 2005; DALL'AGNOL, OLIVEIRA 2007). Localiza-se entre as cidades de Água Azul do Norte e Bannach, sudeste do Estado do Pará, porção NW da folha Xinguara (SB.22-Z-C), sendo a área de estudo enquadrada entre os paralelos 7°00'00" e 7°09'00"S e os meridianos 50°28'00" e 50°39'00"W (Figura 2).

As principais vias de acesso terrestre à área de ocorrência do Granito São João são as Rodovias estaduais PA-150 (Belém - Marabá - Xinguara) e PA-279 (Xinguara - Água Azul do Norte). O acesso ao corpo é feito através de estradas vicinais, razoavelmente trafegáveis, que conduzem a pequenos povoados, vilarejos e sedes de fazendas que ficam nas proximidades de encostas e afloramentos do corpo. Entretanto, a vegetação densa e a falta de estradas trafegáveis dificultaram o acesso à borda S e às porções centrais do corpo, desfavorecendo assim uma caracterização geológica e petrográfica mais detalhada.

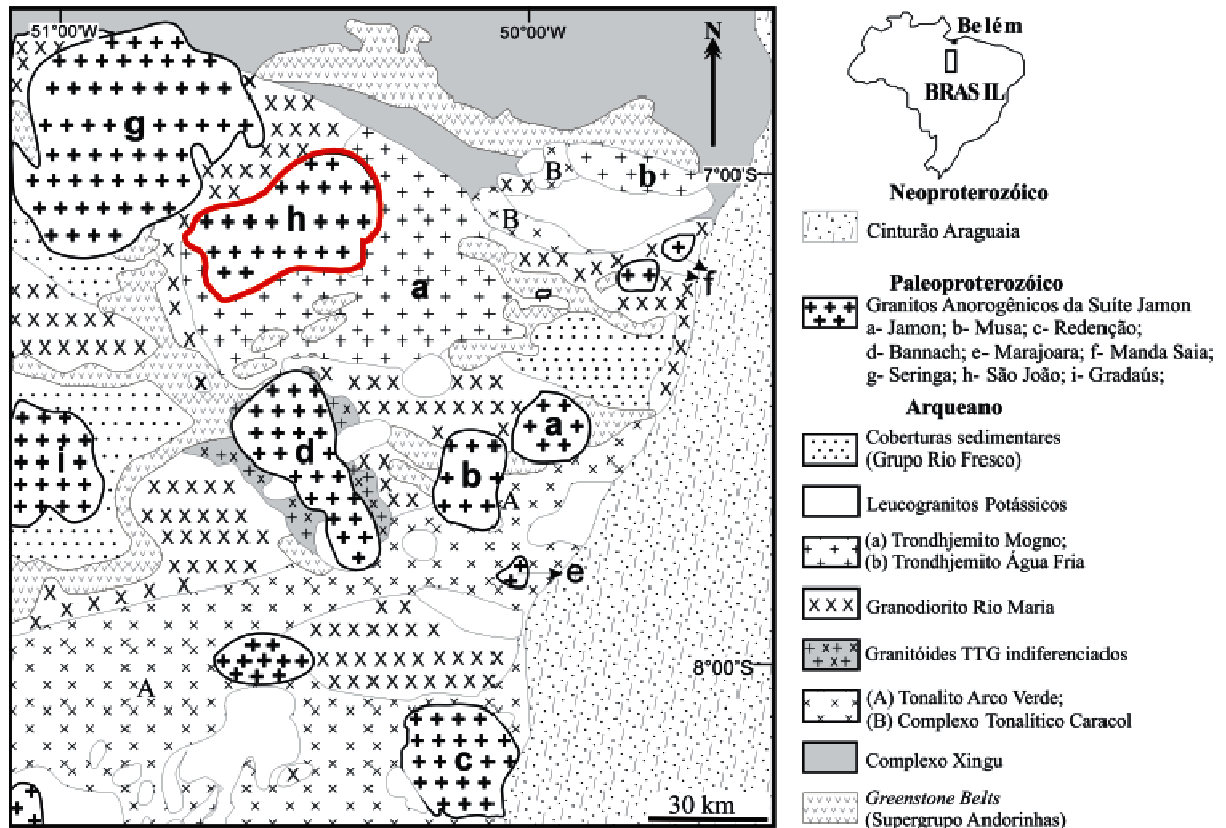


Figura 1 - Mapa geológico simplificado do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM), com destaque para os granitos anorogênicos da suíte Jamon, em especial para o Granito São João.

Fonte: Modificado de Dall'Agnol et al. (2005).



Figura 2 - Mapa de localização e acesso a área de estudo (Granito São João).

1.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

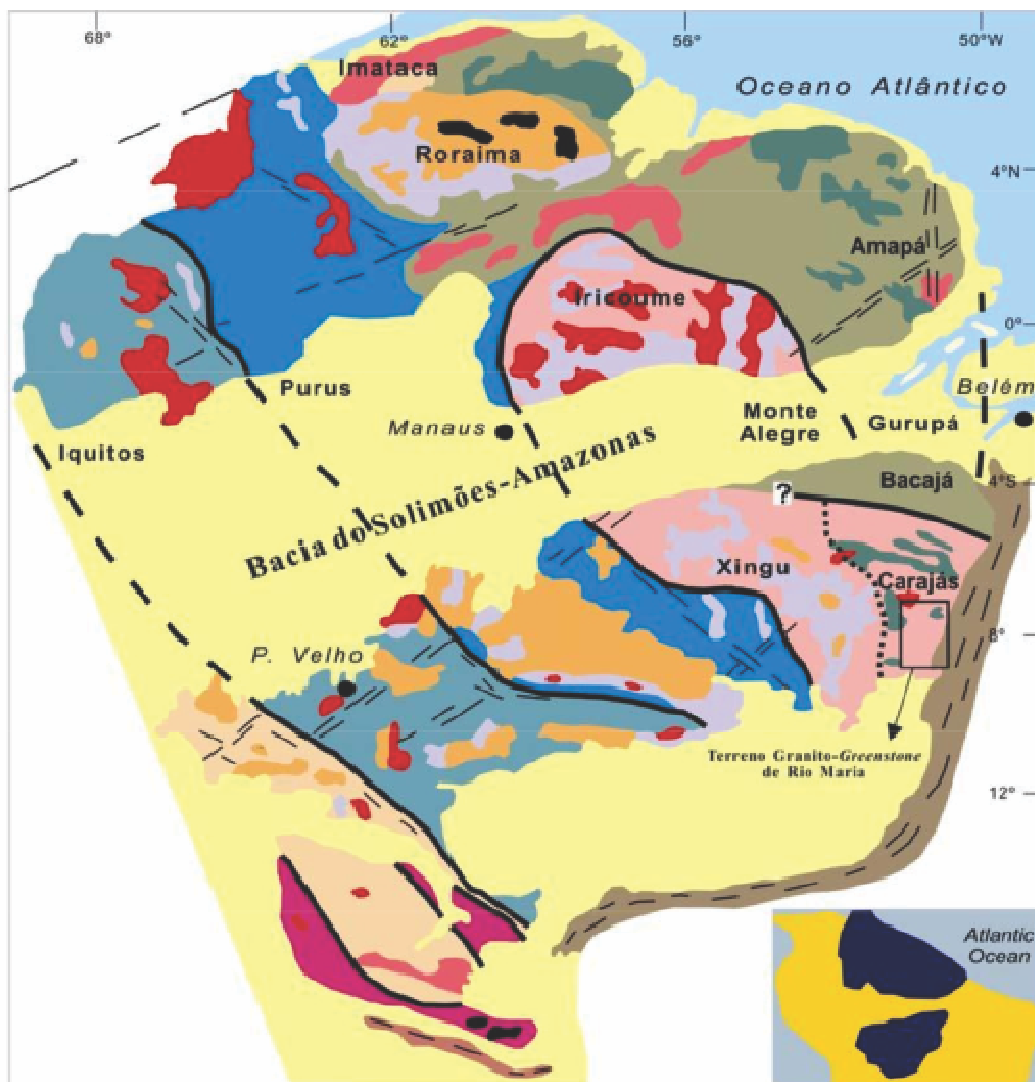
1.2.1 Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico

O Cráton Amazônico corresponde a uma das maiores áreas pré-cambrianas do mundo, com cerca de 4.500.000 km². Representa uma das principais unidades tectônicas da plataforma Sul-Americana, sendo formado pelos Escudos das Guianas e do Brasil Central, separados pelas Bacias Paleozóicas do Amazonas e Solimões (TASSINARI; MACAMBIRA 1999).

Este abrange grande parte do norte do Brasil, Guiana Francesa, Guiana, Suriname, Venezuela, Colômbia e Bolívia. É limitado a leste, a sul e a sudeste por unidades formadas durante o Ciclo Orogênico Brasileiro (930-540 Ma; PIMENTEL; FUCK 1992), respectivamente, Grupo Baixo Araguaia, e Grupos Alto Paraguai, Cuiabá e Corumbá.

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

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



Províncias Geocronológicas

- Amazônia Central (> 2,5 Ga)
- Maroni-Itacaiunas (2,2-1,9 Ga)
- Ventuari-Tapajos (1,9-1,8 Ga)
- Rio Negro-Juruena (1,8-1,55 Ga)
- Rondoniana-San Ignacio (1,55-1,3 Ga)
- Sunsas (1,25-1,0 Ga)

Área de Estudo (TGGRM)

Unidades Geológicas

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

Figura 3 - Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico (TASSINARI, MACAMBIRA 2004).

1.2.2 Província Amazônia Central

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

Costa et al. (1995) distinguiram na porção leste do Bloco Carajás-Iricoumé três domínios tectônicos: Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas (CCI) a norte, Cinturão de Cisalhamento Pau D'Arco (CCPD) a sul e o Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM) entre eles. Althoff et al. (1991, 1995), Dall'Agnol et al. (1996, 1997) e Rolando e Macambira (2002) não consideram o CCPD como um domínio individual e sim um prolongamento do TGGRM até a região de Redenção e Serra do Inajá. De acordo com Souza et al. (1996), a PC é formada por dois blocos tectônicos, com limite incerto entre eles, mas localizado provavelmente a norte do *greenstone belt* de Sapucaia, ficando o TGGRM situado a sul e o Bloco Carajás (BC) a norte.

Além destes domínios, o Bloco Carajás apresenta diversas intrusões granitóides paleoproterozóicas e deposição sedimentar localizada. Os dados geocronológicos estabeleceram um período de tempo menor que 150 Ma para a formação da crosta continental no TGGRM (MACAMBIRA; LANCELOT, 1996). Os resultados de isótopos de Sm-Nd são compatíveis com as datações e sugerem uma crosta mais antiga que 3,04 Ga como a fonte dos granitóides arqueanos (DALL'AGNOL et al. 1999a).

1.2.3 Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria

O TGGRM é basicamente constituído por seqüências de rochas supracrustais (*greenstone belts* do Supergrupo Andorinhas) e por quatro grupos de granitóides arqueanos (PIMENTEL, MACHADO 1994; MACAMBIRA, LAFON 1995, ALTHOFF et al. 2000, LEITE 2001, LEITE et al. 2004, DALL'AGNOL et al. 2006): (1) granitóides da Série tonalítica-trondhjemítica (tipo TTG) mais antiga (2,98 a 2,93 Ga), formada pelo Tonalito Arco Verde e Complexo Tonalítico Caracol; (2) granitóides predominantemente granodioríticos com alto Mg (2,87 Ga), formado pelo Granodiorito

Rio Maria, rochas intermediárias e máficas associadas de afinidade sanukitóide; (3) granitóides da Série tonalítica-trondhjemitica mais jovem (2,87 a 2,86 Ga), composta pelos Trondhjemitos Água Fria e Mogno; e (4) leucogranitos cálcico-alcálicos potássicos (2,93 a 2,86 Ga), representados pelos granitos Xinguara, Mata Surrão, Guarantã e similares.

O Supergrupo Andorinhas corresponde à unidade mais antiga do TGGRM. Este é constituído por seqüências vulcano-sedimentares (Sapucaia, Identidade, Lagoa Seca, Babaçu, Seringa, Pedra Preta, entre outras) metamorfisadas em condições de fácies xisto-verde a anfibolito (SOUZA 1996, SOUZA et al. 1997, 2001), onde predominam komatiitos e basaltos toleíticos, com idades que variam de 2,98 a 2,90 Ga (MACAMBIRA 1992; PIMENTEL, MACHADO 1994).

Contemporaneamente, entre 2,98 e 2,92 Ga são originados também, corpos plutônicos da série TTG, como o Tonalito Arco Verde, que apresenta idades U/Pb em zircão variáveis entre 2,98 e 2,94 Ga (MACAMBIRA 1992; MACAMBIRA, LAFON 1995; ROLANDO, MACAMBIRA 2002, 2003; ALMEIDA et al. 2008), e o Complexo Tonalítico Caracol, com idades variáveis de ~2,95 a 2,92 Ga (LEITE 2001; LEITE et al. 2004). Na seqüência, Leucogranitos de uma primeira geração (mais antiga que os granitos Xinguara, Mata Surrão e correlatos) representados pelo Granito Guarantã com idade em torno de 2,93 Ga viriam se formar (ALTHOFF et al. 2000).

Posteriormente, um novo evento magmático ocorrido entre 2,87 e 2,86 Ga deu origem a uma nova geração de granitóides TTGs, entre os quais os trondhjemitos Mogno e Água Fria, o Tonalito Parazônia (HUHN et al. 1988; SOUZA 1994; LEITE et al. 2004) e o Granodiorito Rio Maria, definido como granitóides sanukitóides com alto Mg (OLIVEIRA 2005; OLIVEIRA et al. 2006), além dos leucogranitos potássicos de afinidade cálcico-alcálica tipo Xinguara e Mata Surrão.

As diversas unidades do TGGRM são cobertas por metassedimentos de idade arqueana do Grupo Rio Fresco e cortados por granitos anorogênicos paleoproterozóicos (HUHN et al. 1988; SOUZA et al. 1990; ARAÚJO et al. 1994).

O atual quadro litoestratigráfico do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria pode ser melhor visualizado através da Tabela 1 que expõe os principais dados geocronológicos obtidos na região.

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

Unidade Estratigráfica	Tipo de rocha	Método	Material Analisado	Idade/Referência
<i>Proterozóico</i>				
Granito Musa	Monzogranito	U/Pb	Zircão	1883+5/-2 Ma (1)
Granito Velho Guilherme	Monzogranito	Pb/Pb	Rocha total	1873 ± 13 Ma (2)
Granito Marajoara	Monzogranito	Rb/Sr	Rocha total	1724 ± 50 Ma (3)
Granito Redenção	Monzogranito	Pb/Pb	Rocha total	1870 ± 68 Ma (4)
Granito Seringa	Monzogranito	Pb/Pb	Zircão	1892 ± 30 Ma (5)
	Monzogranito	Pb/Pb	Zircão	1895 ± 1 Ma (6)
Granito Jamon	Monzogranito	Pb/Pb	Zircão	1885 ± 32 Ma (7)
Dique composto	Granito pórfiro	Pb/Pb	Zircão	1885 ± 4 Ma (8)
<i>Arqueano</i>				
Granito Xinguara	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2865 ± 1 Ma (10)
Granito Mata Surrão	Leucogranito	Pb-Pb	Rocha total	2872 ± 10 Ma (10)
Granodiorito Cumaru	Granitóide	Pb-Pb	Zircão	2817 ± 4 Ma (11)
Tonalito Parazônia	Granitóide	U-Pb	Titanita	2858 Ma (12)
Trondhjemitó Águas Fria	Trondhjemitó	Pb-Pb	Zircão	2864 ± 21 Ma (13, 9)
Trondhjemitó Mogno	Granitóide	U-Pb	Titanita	2871 ± ±? Ma (12)
	Granitóide	Pb-Pb	Zircão	2857 ± 13 Ma (14)
	Granitóide	Pb-Pb	Zircão	2900 ± 21 Ma (14)
Granodiorito Rio Maria	Granodiorito	U-Pb	Zircão	2874 + 9/-10 Ma (15)
	Granodiorito	U-Pb	Zircão	2872 ± 5 Ma (12)
	Quartzo-diorito	Pb-Pb	Zircão	2878 ± 4 Ma (7)
	Granodiorito (S. Inajá)	Pb-Pb	Zircão	2879 ± 4 Ma (12)
	Granodiorito (S. Inajá)	Pb-Pb	Zircão	2877 ± 6 Ma (16)
	Diorito (S. Inajá)	Pb-Pb	Zircão	2880 ± 4 Ma (16)
Granodiorito (S. Inajá)	Pb-Pb	Zircão	2881 ± 8 Ma (16)	
Granito Guarantã	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2930 Ma (17)
Complexo Tonalítico Caracol	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2948 ± 5 Ma (9)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2936 ± 3 Ma (9)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2924 ± 2 Ma (9)
Tonalito Arco Verde	Tonalito	U-Pb	Zircão	2957+25/-21 Ma (15)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2948 ± 7 Ma (18)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2981 ± 8 Ma (16)
	Saprólito	Pb-Pb	Zircão	2965 ± 1 Ma (16)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2988 ± 5 Ma (16)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2936 ± 4 Ma (19)
Supergrupo Andorinhas (Gr. Lagoa Seca)	Metagrauvascas	U-Pb	Zircão	2971 ± 18 Ma (3)
	Metavulcânica Félsica	U-Pb	Zircão	2904+29/-22Ma(3)
	Metavulcânica Félsica	U-Pb	Zircão	2979 ± 5 Ma (12)

Fontes dos Dados: (1) Machado et al. (1991); (2) Rodrigues et al. (1992); (3) Macambira (1992); (4) Barbosa et al. (1994); (5) Avelar (1996); (6) Paiva Jr. (2009); (7) Dall'Agnol et al. (1999a); (8) Dall'Agnol et al. (2002); (9) Leite et al. (2004); (10) Althoff et al. (1998); (11) Lafon e Scheller (1994); (12) Pimentel e Machado (1994); (13) Macambira et al. (2000); (14) Macambira et al. (2000); (15) Macambira (1992); (16) Rolando e Macambira (2003); (17) Althoff et al. (2000); (18) Rolando e Macambira (2002); (19) Almeida et al. (2008).

1.2.4 Granitos Anorogênicos do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria

No Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, o extenso magmatismo granítico anorogênico que afetou o Cráton Amazônico durante o Paleoproterozóico é representado pela Suíte Jamon (DALL'AGNOL et al. 2005), composta pelos Granitos Jamon, Musa, Redenção, Bannach, Marajoara, Manda Saia, Seringa, São João e Gradaús (Figura 1). Alguns desses granitos, quando datados pelos métodos U/Pb e Pb/Pb em zircão e Pb/Pb em rocha total, fornecem idades de cristalização e colocação próximas de 1,88 Ga (MACHADO et al. 1991, BARBOSA et al. 1994, DALL'AGNOL et al. 1999a, PAIVA JR. 2009), como pode ser observado na tabela 1.

Diversos trabalhos realizados nos Granitos Jamon (DALL'AGNOL 1982; DALL'AGNOL et al. 1999a), Musa (GASTAL 1987, 1988) e Redenção (MONTALVÃO et al. 1982; BARBOSA et al. 1994; VALE, NEVES 1994; OLIVEIRA 2001, OLIVEIRA et al. 2002) revelaram uma grande quantidade de dados geológicos, petrográficos, geoquímicos e de petrologia magnética, os quais contribuíram para a melhor caracterização do magmatismo anorogênico do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria. Tais trabalhos revelaram que esses granitos são isotrópicos, de ambiente intraplacas, de alto nível crustal, tendo sido colocados em uma crosta rígida, cortando discordantemente suas rochas encaixantes. A distribuição espacial de suas fácies indica em geral um zoneamento aproximadamente concêntrico, com as fácies menos evoluídas situando-se na periferia e as mais evoluídas na porção central dos maciços.

De modo geral, os granitos que cortam Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria apresentam afinidades petrográficas, geoquímicas e de petrologia magnética que os distinguem de outros granitos anorogênicos da Província Carajás (Suítes Velho Guilherme e Serra dos Carajás); os contrastes são ocasionados provavelmente pela natureza distinta de suas fontes, bem como da temperatura de fusão, conteúdo de água e fugacidade de oxigênio dos seus respectivos magmas (DALL'AGNOL et al. 1997; DALL'AGNOL et al. 1999b; DALL'AGNOL et al. 2005).

1.3 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

O Granito São João é um batólito anorogênico subcircular com aproximadamente 200 km² de área que secciona unidades arqueanas do TGGRM, tendo sido inserido preliminarmente na Suíte Jamon. Estudos geológicos sobre este corpo são limitados e seus limites estão mal definidos, mostrando um quadro pouco claro de sua geologia. Portanto, torna-se necessário equiparar o nível de conhecimento do Granito São João ao dos outros corpos anorogênicos do TGGRM. O Granito São João necessita, portanto, de mapeamento geológico de detalhe e amostragem sistemática, seguido de estudos petrográficos e geocronológicos que permitam identificar e caracterizar as variedades composicionais e texturais presentes, bem como sua distribuição espacial e idade de cristalização. Além disso, a escassez de informações sobre o Granito São João não permite comparações entre o mesmo e os demais granitos anorogênicos do Cráton Amazônico, tanto do ponto de vista petrográfico e geocronológico, quanto da sua evolução magmática e potencial metalogenético.

1.4 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo contribuir para a ampliação do conhecimento no que diz respeito à geologia, petrografia e geocronologia do Granito São João. Para tanto, foram estabelecidos os seguintes objetivos:

1. Elaborar um mapa geológico preliminar identificando suas principais fácies e definindo suas distribuições espaciais;
2. Efetuar estudos petrográficos macro e microscópicos nas rochas amostradas, realizar análises texturais e modais (cf. WILLIAMS et al. 1982; MACKENZIE et al. 1982; CHAYES F. 1956) e classificar as diferentes rochas (cf. STRECKEISEN 1976; LE MAITRE 2002);
3. Caracterizar as fases minerais acessórias, em especial os minerais opacos e zircões, a partir de análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)-EDS (Energy Dispersive Spectrometry);
4. Caracterizar morfologicamente os cristais de zircão utilizando imagens de elétrons retro-espalhados (cf. LAMARÃO et al, 2007, 2010) e catodoluminescência, e composicionalmente através de análises de EDS;

5. Determinar a sua idade de cristalização através do método Pb-Pb em zircão e situá-lo na estratigrafia regional;
6. Estabelecer comparações entre o Granito São João e os demais corpos graníticos proterozóicos que ocorrem na Província de Carajás.

1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

1.5.1 Pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi realizada anterior e concomitantemente às fases de obtenção e interpretação dos dados. Foram pesquisados temas relacionados principalmente à geologia da área estudada, à evolução e origem de granitos anorogênicos, em particular os Proterozóicos, da região do TGGRM, a microscopia eletrônica de varredura e suas aplicações e a datação geocronológica pelo método de evaporação de Pb em zircão.

1.5.2 Caracterização Geológica

Foram realizadas duas campanhas de campo. A primeira, realizada no período de 02 a 05 de Agosto de 2008, consistiu no reconhecimento da área aflorante do corpo, acompanhado de uma coleta de amostras, num total de 28 pontos levantados, sendo 18 pontos de controle e 10 pontos amostrados.

A segunda foi realizada no período de 07 a 10 de Setembro de 2008, com o intuito de melhorar a caracterização geológica do corpo, adensar a amostragem e tentar definir suas relações de contato e limites com as rochas encaixantes. Nessa campanha foram levantados 43 pontos, sendo 25 pontos de controle e 18 pontos amostrados. Os pontos de amostragem tiveram suas localizações definidas utilizando-se um aparelho GPS (Global Position System) e os mesmos foram devidamente locados em uma base georeferenciada (Figura 4).

Durantes as campanhas de campo foram utilizadas folhas cartográficas planialtimétricas do IBGE (especialmente da folha Xinguara- SB.22-Z-C), imagens de radar e satélite e levantamentos aereogeofísicos (radiometria em contagem total), os últimos gentilmente cedidos pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

Durante as etapas de campo foram descritos cerca de 30 afloramentos, a maioria ao longo de dois grandes perfis que se estenderam até porções intermediárias do corpo e os demais nas bordas do corpo.

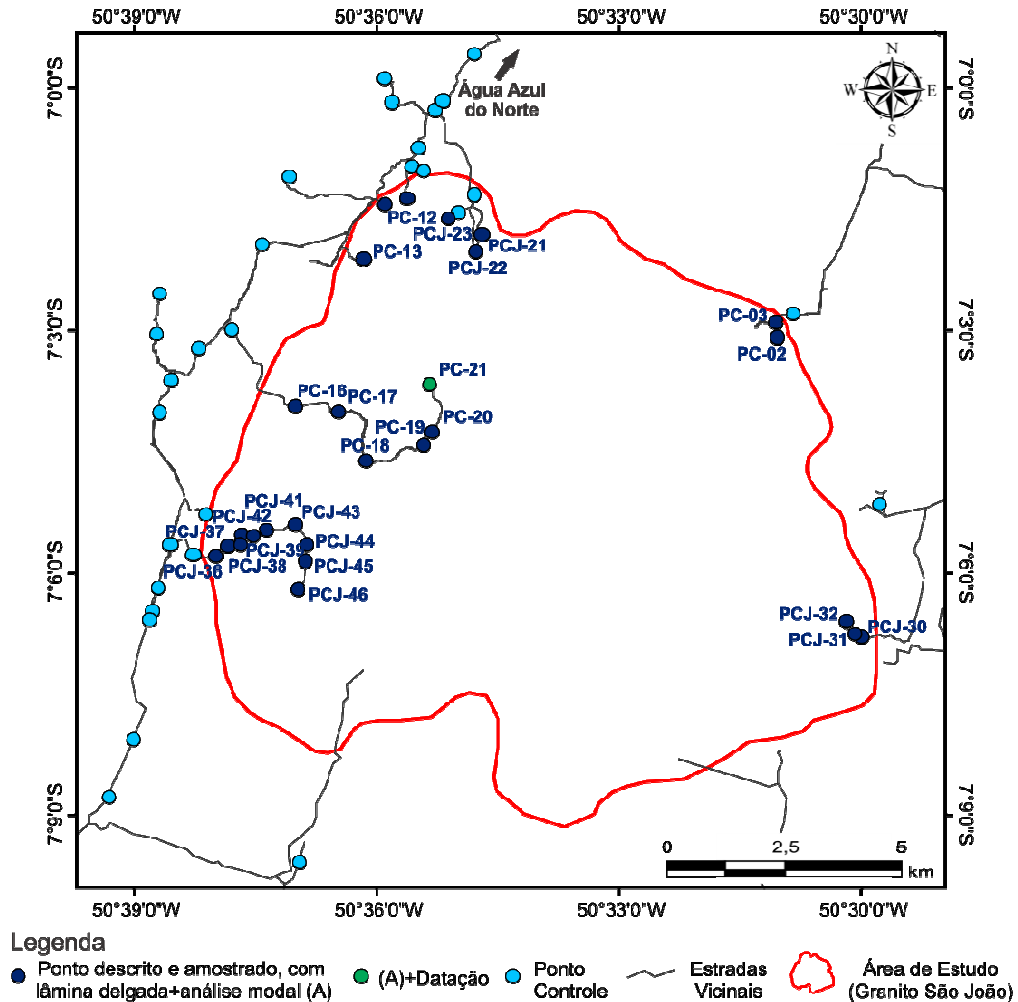


Figura 4 - Mapa de pontos e vias de acesso ao Granito São João.

1.5.3 Petrografia

A partir da análise e descrição macroscópica das amostras coletadas, foram selecionadas 33 amostras para a confecção de lâminas polidas para o estudo petrográfico. Estas foram confeccionadas na Oficina de Laminação (OL) do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará (UFPA). A análise microscópica foi efetuada nos Laboratórios de Petrografia da Faculdade de Geologia (IG-UFPA) e considerou as relações entre os minerais, como textura e limites entre os cristais, proporções de cada fase mineral, além de processos de alteração presentes.

Foram realizadas análises modais em todas as amostras a fim de agrupá-las em fácies. Para este procedimento, se utilizou um contador eletrônico de pontos da marca *Swift*, em que foram contados 1500 pontos por amostra em média. Os dados obtidos para as rochas granitóides foram recalculados e plotados em diagramas Q-A-P e Q-A+P-M (STRECKEISEN 1976; LE MAITRE 2002), a fim de classificar as rochas conforme estabelecido pela Subcomissão de Nomenclatura de Rochas Ígneas da *International Union of Geocientists* (IUGS).

1.5.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para as análises de MEV foram selecionadas duas lâminas de cada fácies com o objetivo de caracterizar os minerais acessórios da rocha. Também foram realizadas análises de anfibólios e biotitas, a fim de determinar suas composições.

As análises foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura - LABMEV da UFPA, sob a orientação do Professor Claudio Nery Lamarão. O equipamento utilizado foi um MEV LEO-ZEISS modelo 1430, com detector de dispersão de energia (EDS) Gresham acoplado. Com ele foram obtidas imagens de elétrons retroespalhados e realizadas análises químicas qualitativas e semiquantitativas nas rochas das diferentes fácies identificadas. Antes das análises, as lâminas polidas foram cobertas (metalizadas) com uma fina camada de carbono, a fim de torná-las eletricamente condutivas, a partir de um sistema automático para recobrimento de amostras, modelo EMITECH – K550XR. As análises químicas pontuais semiquantitativas foram tratadas posteriormente em diagramas elementares através dos *softwares* MINPET 2.02 e GCDKit 2.3. As condições de análises estabelecidas para o MEV foram as seguintes: corrente do feixe = 90 μ a, voltagem de aceleração constante = 20 kv, distância de trabalho = 15 mm, tempo de análise = 30s com 3000 a 4000 c/s para cada análise. Foram analisados os elementos químicos dos principais minerais máficos e fases acessórios do corpo, sendo que para os cristais de zircão foi criada uma rotina para análises de O, Si, P, Ca, Y, Zr, Nb, Ce, Hf, Ta, Th e U. Ao todo, foram realizadas 225 análises pontuais em zircões de diferentes rochas do Granito São João.

1.5.5 Geocronologia Pb-Pb em zircão

Para o estudo geocronológico foi selecionada a amostra PC-21 da fácies Biotita-Monzogranito, que representa a fácies dominante do corpo, com intuito de se obter a idade de cristalização do Granito São João. A fácies foi datada pelo método de evaporação de Pb em zircão (KOBBER 1986) no Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso - IG/UFGA), sob a supervisão do Prof. Marco Antonio Galarza Toro e do técnico Christopherson de Carvalho Sousa.

A separação dos cristais de zircão foi realizada pela metodologia convencional de separação de minerais pesados, cujas etapas são trituração, pulverização, deslame, secagem e peneiramento. Primeiramente as amostras foram encaminhadas para a Oficina de Preparação de Amostras (OPA) da UFGA para serem trituradas e pulverizadas. Posteriormente, foram lavadas, secadas em estufas e peneiradas, utilizando-se peneiras com aberturas de 0,250 mm, 0,177 mm, 0,125 mm e 0,088 mm. Os intervalos 0,177-0,125 mm e 0,125-0,088 mm foram selecionados prioritariamente, por conter os cristais mais apropriados à análise. Os minerais magnéticos foram separados com a utilização de imã e separador eletromagnético da marca FRANTZ, modelo L1; a concentração dos minerais pesados foi feita com auxílio de líquido pesado (bromofórmio). Os cristais de zircão foram selecionados com a ajuda de lupa binocular, observando-se os que apresentavam as propriedades mais adequadas para datação, tais como limpidez, transparência, estrutura, morfologia e ausência de metamitização.

Os cristais de zircão selecionados foram depositados em um filamento duplo de rênio em forma de “canoas”, constituído por um filamento de evaporação e um de ionização. A “canoas” é fechada quase que completamente, ficando aberto apenas um pequeno orifício que permite a saída do Pb quando o cristal for aquecido. Após a preparação, as “canoas” são colocadas em um tambor que é inserido no espectrômetro de massa. O aparelho usado neste trabalho foi o FINNINGAN MAT-262, em rotina no Pará-Iso desde 1997. A evaporação consiste de três etapas de aquecimento gradativo a temperaturas de 1450°, 1500° e 1550°, ocasionando a liberação do Pb do retículo cristalino do zircão e deposição no filamento de ionização. A idade final é a média dos resultados obtidos a temperaturas mais elevadas dos cristais analisados.

2 GEOLOGIA DO GRANITO SÃO JOÃO

O Granito São João é um batólito anorogênico subcircular com cerca de 200 km² de área. É composto por morros e serras de encostas íngremes, com até 600 m de altitude, que formam um conjunto de cristas alinhadas geralmente na direção N-S, e localmente na direção E-W, formando, por vezes, estruturas circulares na forma de anfiteatro (Figura 5). É intrusivo em rochas arqueanas do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, dentre as quais se destacam granitóides do tipo TTG, formados quase que exclusivamente por trondhjemitos, além de leucogranitos potássicos. Tais rochas são o objeto de estudo de outro Trabalho de Conclusão de Curso (MESQUITA, Inédito)¹, onde estas foram caracterizadas no que diz respeito a sua geologia, petrografia e geocronologia, o que facilita o seu posicionamento e correlação estratigráfica com outras rochas arqueanas do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria.

Os contatos entre o Granito São João e suas encaixantes são facilmente reconhecidos em imagens de satélite, devido a seu nítido contraste topográfico (Figura 5), e de difícil delimitação no campo, devido à densidade da cobertura vegetal, o que limita suas exposições. Em geral são bruscos, registrando-se a presença de veios de microgranitos e diques aplíticos que cortam as encaixantes (Figura 6). Os padrões geomorfológicos contrastantes do maciço granítico e de suas encaixantes também contribuem para individualizar seus domínios (Figura 7). Nas imagens de satélite, os limites da porção SSW do corpo são ora bem definidos, ora mostram padrões poucos característicos, o que dificultou a sua delimitação. As dificuldades de acesso nesta região não permitiram uma amostragem adequada no conjunto da área que levasse a uma separação definitiva dos domínios das rochas encaixantes e do granito.

Ao redor do Granito São João foram encontrados diversos diques, de variadas composições, que cortam suas encaixantes geralmente na direção NW-SE (Figura 5). Estes ocorrem sob a forma de pequenos corpos verticais, tabulares e de pequena espessura, não tendo sido encontrada nenhuma relação de contato entre estes e o Granito São João (Figura 8). A maior parte dos diques foi encontrada na

¹ Geologia, Petrografia e Geocronologia das Rochas Encaixantes do Granito Paleoproterozóico São João, Província Mineral de Carajás, SSE, Pará.

porção NW do corpo, entre o Granito São João e o Granito Seringa, tendo sido encontrados também, em menor quantidade, a N, NE e SW do mesmo.

O Granito São João é formado por rochas isotrópicas, essencialmente monzograníticas e sienograníticas, de granulação predominantemente média a grossa e localmente fina, que afloram na forma de blocos e lajedos com coloração rosada e avermelhada (Figura 9). Não mostra sinais de deformação, exceto a presença de planos de fraturas que atravessam geralmente os lajedos (Figura 9 D) e uma falha (Figura 10), proposta por Vasques e Rosa-Costa (2008).

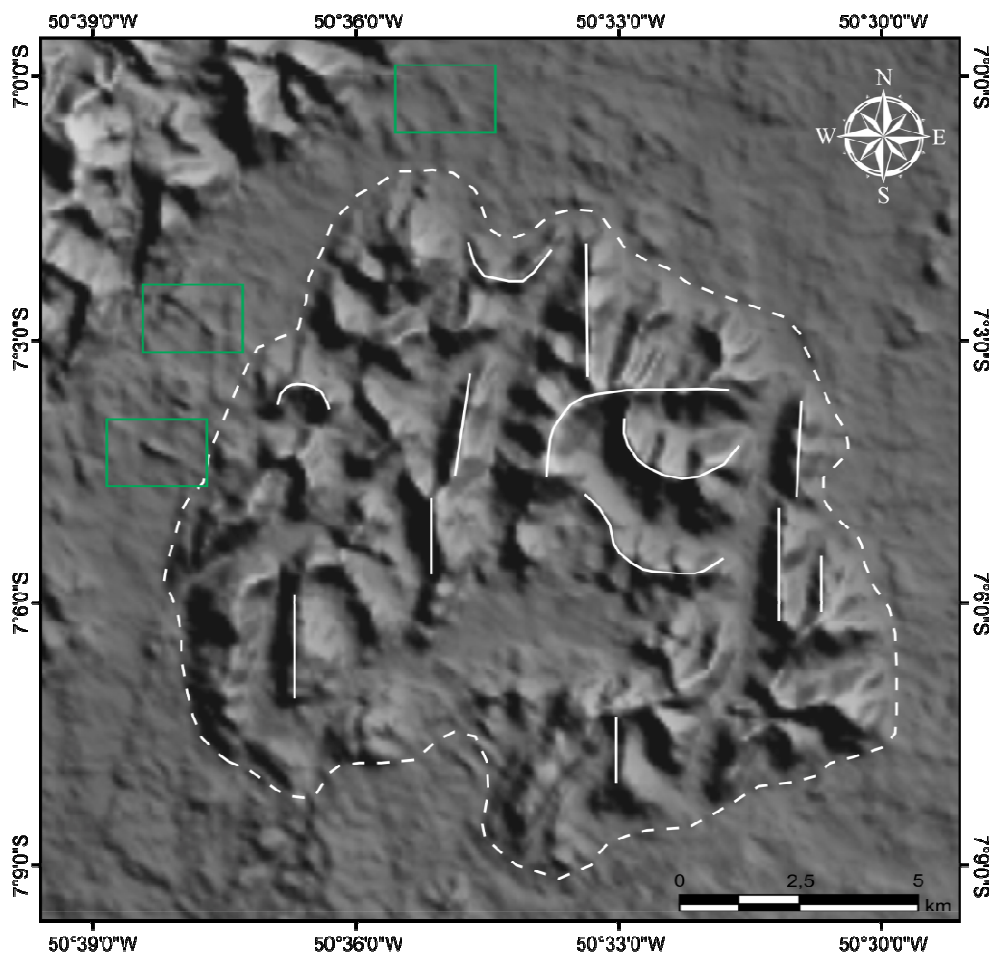


Figura 5 - Imagem de satélite mostrando o nítido contraste topográfico que evidencia o contato do Granito São João com suas encaixantes arqueanas. Notar o conjunto de cristas alinhadas geralmente na direção N-S, e localmente na direção E-W, formando estruturas circulares na forma de anfiteatro. Os retângulos verdes destacam a presença de diques, de direção NW-SE, que cortam as encaixantes do Granito São João.

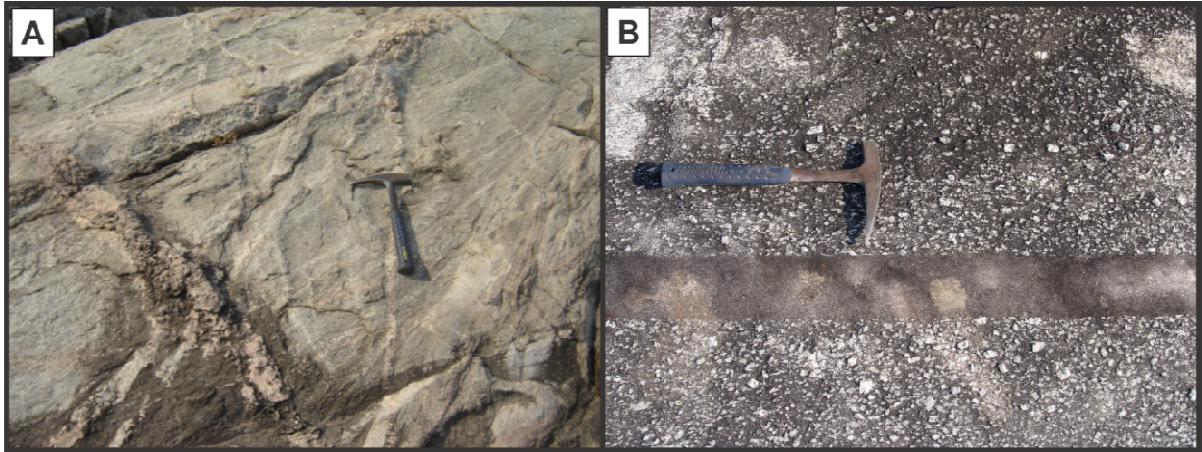


Figura 6 – (A) Veios de microgranitos e (B) diques aplíticos da fácies ABSG cortando as encaixantes do Granito São João.



Figura 7 – Foto panorâmica mostrando o contraste nos padrões geomorfológicos do Granito São João e de suas encaixantes arqueanas.



Figura 8 - Foto panorâmica mostrando a forma de ocorrência de um dos diversos diques, de direção NW-SW, que afloram nas proximidades do corpo.

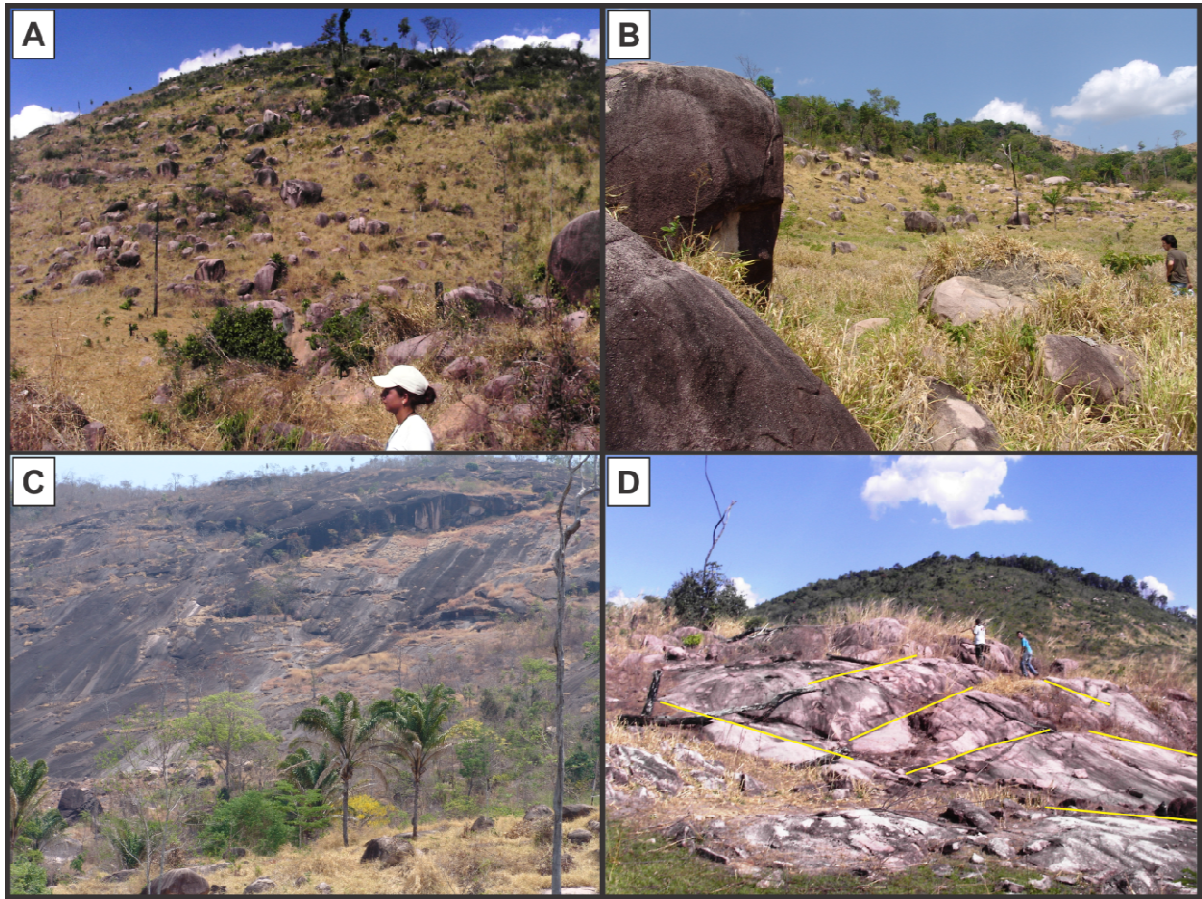


Figura 9 - Modos de ocorrência do Granito São João. Em (A) e (B) as rochas afloram na forma de blocos dispostos ao longo de encostas de serras e morros. Já em (C) e (D) afloram na forma de lajedos. As linhas amarelas em (D) procuram resaltar que alguns desses lajedos apresentam-se bastante fraturados.

Durante a caracterização geológica do Granito São João foram identificados basicamente dois grandes conjuntos petrográficos, um de rochas monzograníticas, representadas por anfibólio-biotita monzogranito (ABMG) e biotita monzogranito (BMG), e outro de rochas sienograníticas, representadas por anfibólio-biotita sienogranito (ABSG) e biotita sienogranito (BSG).

Dentre as rochas monzograníticas, as da fácies BMG são as mais abundantes. Estas ocorrem, mais significativamente, na porção centro-oeste do corpo, com algumas ocorrências a norte e a sudeste. As rochas da fácies ABMG ocorrem de forma dispersa nas porções leste, sudoeste e centro-oeste do corpo. Já as rochas sienograníticas (ABSG e BSG) ocorrem geralmente nas porções de borda do corpo, sendo a fácies BSG restrita a borda oeste e a fácies ABSG a borda leste, com algumas ocorrências a norte e a sudeste. A Figura 10 mostra a distribuição espacial das fácies do Granito São João, dispostas em um mapa geológico preliminar.

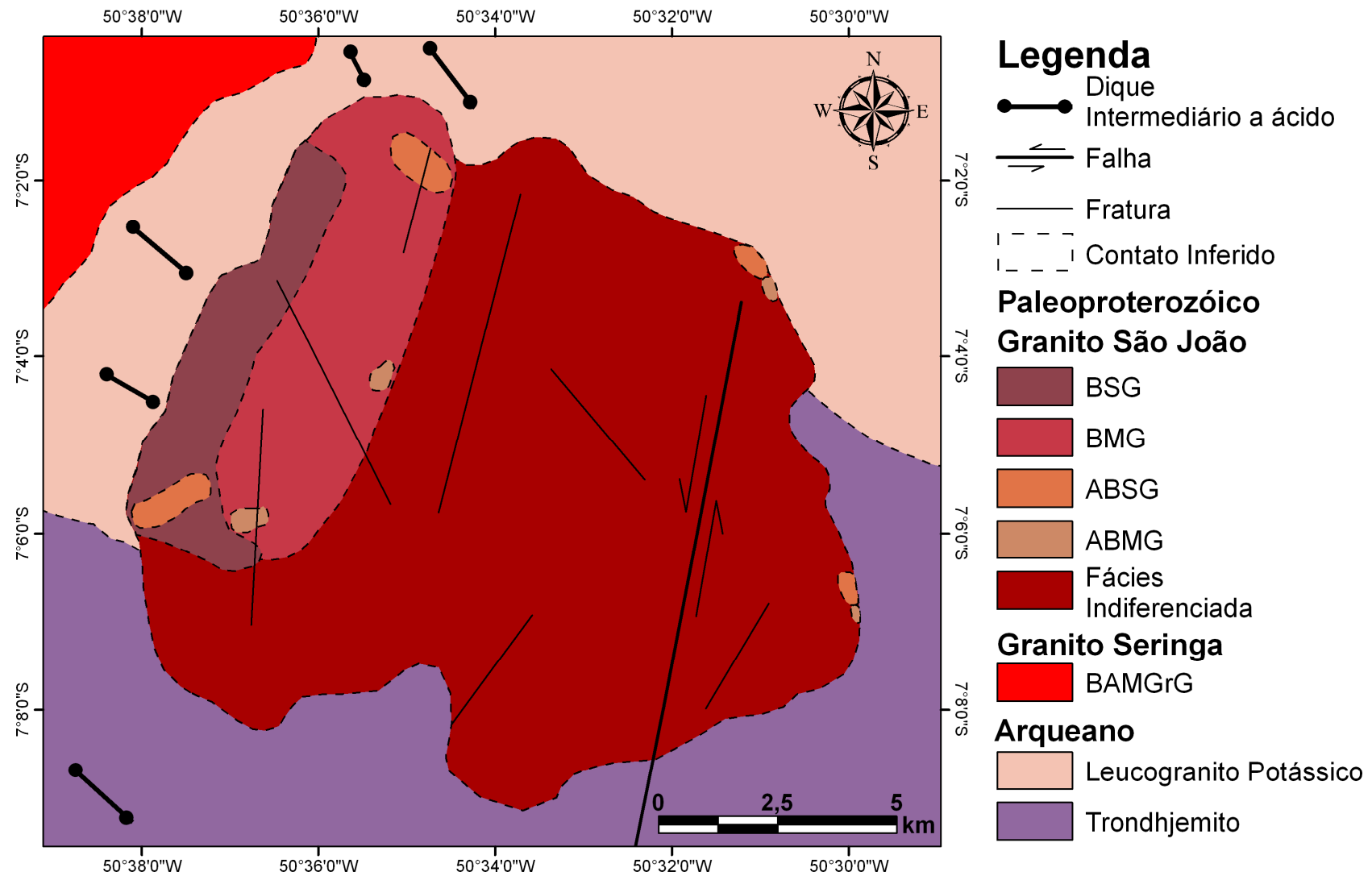


Figura 10 - Mapa Geológico preliminar do Granito São João. Baseado na distribuição espacial dos pontos descritos e no mapa proposto por Vasques e Rosa-Costa (2008). A=anfíbólio, B=biotita, SG=sienogranito, MG=monzogranito, BAMGrG=biotita-anfíbólio-monzogranito grosso.

3. PETROGRAFIA

3.1 INTRODUÇÃO

Como citado anteriormente, o Granito São João apresenta rochas de composição monzogranítica e sienogranítica, com pequenas variações mineralógicas que permitiram individualizar no corpo quatro fácies petrográficas principais: anfibólio-biotita-monzogranito (ABMG), biotita-monzogranito (BMG), anfibólio-biotita-sienogranito (ABSG) e biotita-sienogranito (BSG). A Tabela 2 mostra as composições modais médias obtidas em trinta e três amostras das diferentes fácies do Granito São João.

As texturas, das rochas do Granito São João não são muito variadas, apresentam basicamente termos equigranulares de granulação média à grossa (BMG, ABSG e BSG) e localmente fina (ABMG).

Tabela 2 - Composições modais médias das diferentes fácies do Granito São João.

Fácies	ABMG	BMG	ABSG	BSG
Mineral (%)	[4]	[10]	[9]	[10]
K-Feldspato	32,8	36,4	41,5	41,3
Plagioclásio	22,4	22,8	17,8	17,7
Quartzo	35,3	35,0	32,7	34,4
Biotita	5,5	4,9	3,9	4,8
Anfibólio	2,0	0,0	2,4	0,0
Opacos	1,2	0,6	0,9	0,8
Allanita	0,2	-	0,1	0,2
Fluorita	-	-	0,1	0,2
Acessórios (Ap+Zr)	0,6	0,3	0,6	0,6
Félsicos	90,5	94,2	92,0	93,4
Máficos	9,5	5,8	8,0	6,6
Fk+Pl	55,2	59,2	59,3	59,0
Q+Fk	68,1	71,4	74,2	75,7
Anfibólio + Biotita	7,5	4,9	6,3	4,8
À 100%				
Quartzo	35,3	35,0	32,7	34,4
K-Feldspato	32,8	36,4	41,5	41,3
Plagioclásio	22,4	22,8	17,8	17,7
Pl/Fk	0,7	0,6	0,4	0,4

Legenda: FK- feldspato potássico; Pl- plagioclásio; Q- quartzo; Anf- anfibólio; Bt- biotita. [n] representa uma média das análises modais de 33 amostras para definir a composição modal da rocha.

A paragênese essencial das diferentes fácies do Granito São João é representada por quartzo, feldspato potássico e plagioclásio. Já as fases máficas estão representadas por biotita e anfibólio. Os dados das análises modais, quando plotados no diagrama Q-A-P (STRECKEISEN 1976), demonstram que os teores dos minerais essenciais pouco variam, caindo sempre nos campos dos monzogranitos e dos sienogranitos (Figura 11). O diagrama Q-(A+P)-M' (Figura 11) mostra que todas as fácies do Granito São João podem ser classificadas como leucocráticas, por apresentarem teores de minerais máficos próximos a 10%.

Os minerais acessórios mais frequentes são: zircão, magnetita, ilmenita, apatita, allanita e fluorita. Já os produtos de alteração mais frequentes são: clorita, sericita, epidoto e argilominerais. A ausência de titanita magmática, mineral comum nos granitos da Suíte Jamon (DALL'AGNOL et al. 2005), é uma feição típica nas rochas do Granito São João. Característica semelhante foi observada no granito Seringa (PAIVA JR. 2009) e nos granitos da Suíte Serra dos Carajás (JAVIER RIOS et al. 1995 e BARROS et al. 1995).

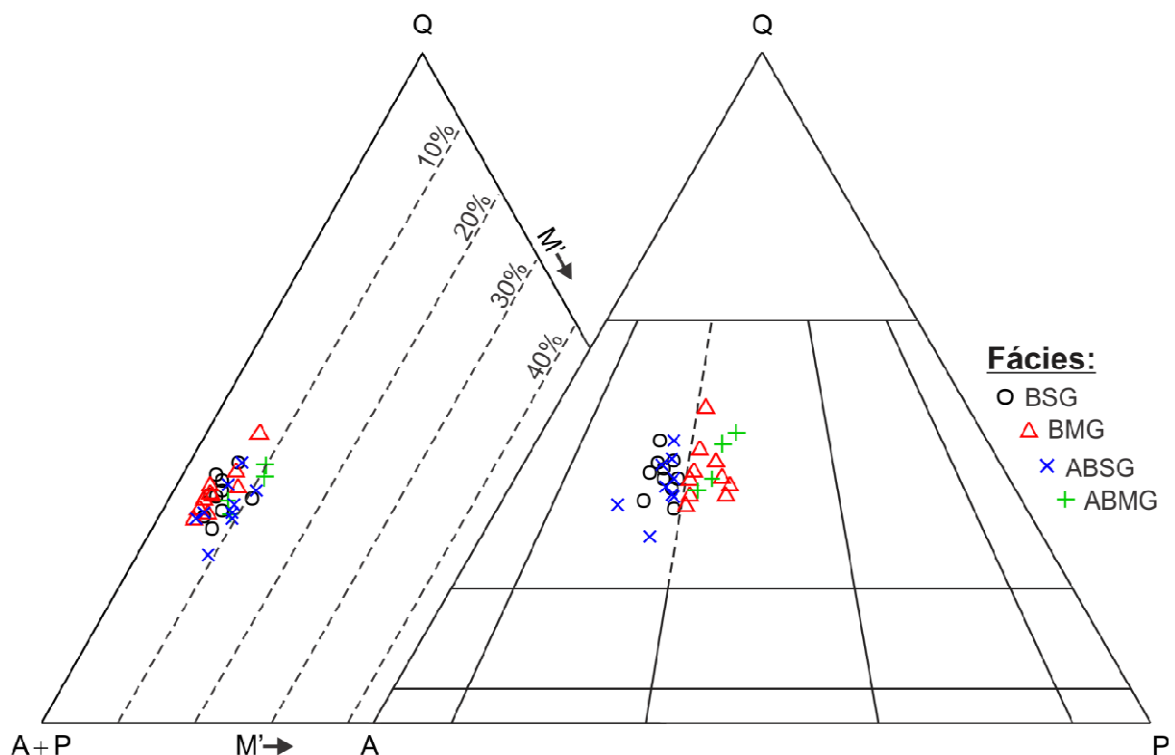


Figura 11 - Diagramas modais Q-A-P (Streckeisen, 1976) e Q-(A+P)-M' para as diferentes fácies do Granito São João. Abreviações: A - álcali feldspato; Q - quartzo; P - plagioclásio; M- máficos; ABMG - anfibólio-biotita-monzogranito; BMG - biotita-monzogranito; ABSG - anfibólio-biotita-sienogranito; BSG - biotita-sienogranito.

3.2 VARIEDADES PETROGRÁFICAS

3.2.1 Anfibólio-biotita-monzogranito (ABMG)

Macroscopicamente as rochas da fácies ABMG são leucocráticas, de coloração rosada, textura fanerítica, equigranulares e de granulação média a fina (Figura 12 A). Biotita e anfibólio ocorrem como finos agregados máficos que circundam os cristais de plagioclásio e k-feldspato. Microscopicamente apresentam textura granular anédrica, associada à textura pertítica do K-feldspato (Figura 12 B), os minerais acessórios são apatita, zircão, allanita e opacos (titanita, ilmenita e titanomagnetita), e os são secundários argilominerais, sericita, epidoto, clorita e óxidos de ferro.

O quartzo, com proporção modal média de 35,3%, é a fase dominante. Apresenta cristais anédricos, de granulação média, moderadamente fraturados com contatos irregulares, por vezes retos, entre si e com os cristais de K-feldspato e plagioclásio.

O K-feldspato, com proporção modal média de 32,8%, apresenta cristais anédricos, de hábito granular, com granulação média a fina e exsoluções pertíticas. Seus contatos são predominantemente irregulares entre si e com os outros minerais da rocha, apresentando por vezes contatos retos com o quartzo e o plagioclásio. A maior parte dos cristais apresentam-se bastante alterados para argilominerais, o que se evidencia quando observado sob nicóis paralelos (Figura 12 C).

O plagioclásio, com proporção modal média de 22,4%, apresenta cristais subédricos, de hábito tabular, maclamento albita, zoneamento normal e granulação média a fina. Parte dos cristais apresenta-se bastante alterada para sericita, geralmente nas porções mais centrais dos mesmos, e localmente para epidoto.

A biotita, com proporção modal média de 5,5%, é o mineral máfico dominante na rocha. Apresenta cristais subédricos, de hábito lamelar, com as bordas levemente corroídas. Grande parte dos cristais apresenta inclusões de apatita, zircão e allanita, e estão geralmente associados com cristais de Anfibólio (Figura 12 D). Sua alteração mais freqüente é o óxido de ferro, que se desenvolve nas bordas e ao longo dos planos cristalográficos deste mineral, ocorrendo também, em menor quantidade, pequenos cristais de clorita ao longo das bordas de alguns cristais.

O anfibólio, com proporção modal média de 2,0%, apresenta cristais de granulação fina a média, subédricos a euédricos, de hábito prismático e moderadamente fraturados (Figura 12 D). Alguns cristais apresentam inclusões de minerais opacos e zircão, estando também alterados para clorita.

Minerais opacos, allanita e acessórios quando somados apresentam proporção modal média de 2%, se apresentam geralmente na forma de inclusões as em biotita e anfibólio.

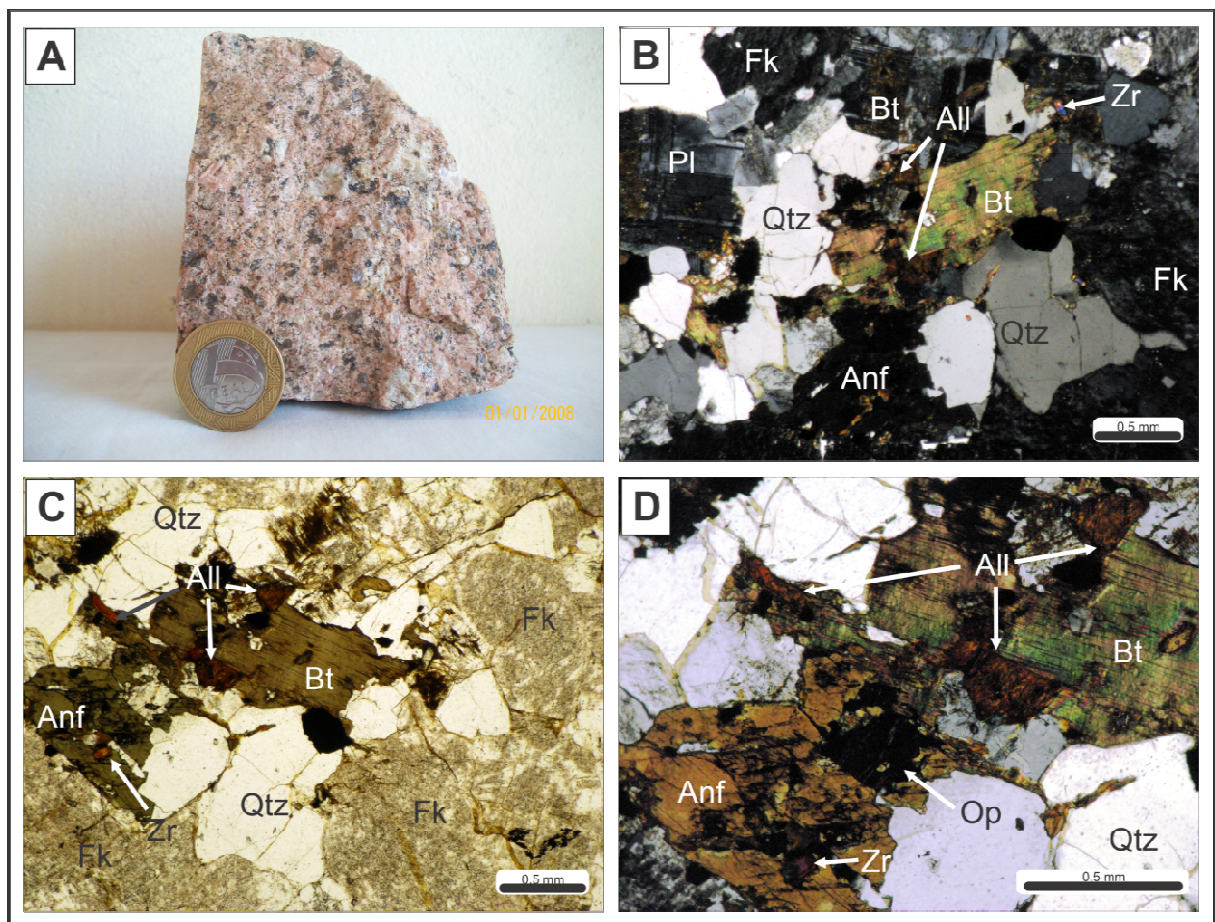


Figura 12 - (A) aspecto macroscópico das rochas da fácies ABMG com coloração rosada, textura fanerítica, de granulação média a fina equigranular; (B) textura granular anédrica, associada à textura pertítica do K-feldspato; (C) cristais de K-feldspato intensamente alterados para argilominerais; (D) cristais de anfibólio e biotita com inclusões de zircão, allanita e opacos. All- allanita; Anf- anfibólio; Bt- biotita; Fk- feldspato potássico; Op- opaco; Pl- plagioclásio; Qtz- quartzo; Zr- zircão.

3.2.2 Biotita-monzogranito (BMG)

Macroscopicamente as rochas da fácies BMG são leucocráticas, de coloração rosada, textura fanerítica, equigranulares de granulação média a grossa com cristais (Figura 13 A). Microscopicamente a rocha apresenta textura granular anédrica, associada à textura pertítica e granofírica (Figura 13 B e C). É composta essencialmente por K-feldspato, quartzo e plagioclásio, tendo a biotita como mineral varietal, além de zircão, apatita e minerais opacos como acessórios. Suas fases secundárias são representadas por argilominerais, sericita, epidoto, clorita e óxidos de ferro.

O k-feldspato, com proporção modal média de 36,4%, é a fase dominante na rocha. Seus cristais são anédricos a subédricos, com tamanho variando de 3 a 6mm, apresentam contatos predominantemente irregulares com os outros minerais da rocha, podendo ocorrer contatos retos com alguns cristais de quartzo, plagioclásio e biotita. Grande parte desses cristais apresenta exsolução pertítica (Figura 13 C) e estão bastante alterados para argilominerais.

O quartzo, com proporção modal média de 35,0%, ocorre na forma de cristais subédricos a subarredondados, com forte extinção ondulante e hábito granular, denominados de Qtz 1 (Figura 13 C e D). Ocorre também na forma de pequenos vermes e finas gotículas intercrescidas com álcali-feldspato e plagioclásio (Qtz 2), caracterizando o intercrescimento granofírico (Figura 13 C e D). Os cristais de Qtz 1 apresentam granulação predominantemente média, e contatos geralmente irregulares com álcali-feldspato e plagioclásio, sendo por vezes retos entre si.

O plagioclásio, com proporção modal média de 22,8%, apresenta cristais subédricos com até 5mm, maclamento albita e An 34. Seus contatos são geralmente retos, por vezes irregulares com K-feldspato e biotita. Alguns desses cristais apresentam sua porção central bastante alterada para sericita, e localmente para epidoto (Figura 13 E).

A biotita, com proporção modal média de 4,9%, é a única fase máfica presente na rocha. Apresenta cristais de hábito lamelar, com até 4mm e bordas levemente corroídas e alteradas para clorita e óxidos de ferro, principalmente ao longo de seus planos cristalográficos (Figura 13 F). Minerais acessórios, como

zircão, apatita e opacos, formam em média 0,9% da rocha e estão geralmente associados a esses cristais de biotita sob a forma de inclusões (Figura 13 F).

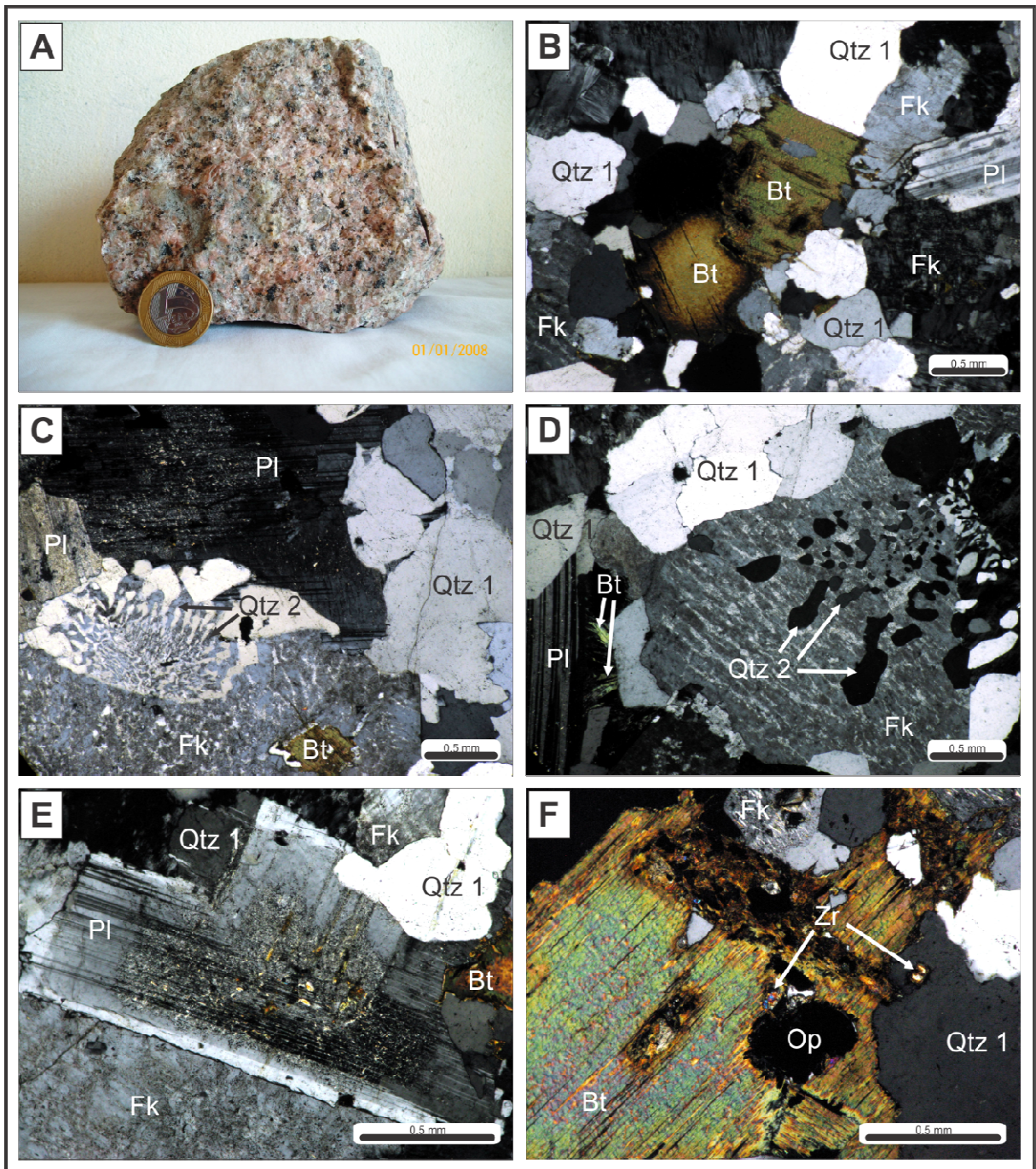


Figura 13 - (A) aspecto macroscópico das rochas da fácies BMG com coloração rosada, textura fanerítica, de granulação média a grossa equigranular; (B) textura granular anédrica das rochas da fácies BMG; (C e D) texturas pertíticas e mirmequíticas, formadas por k-feldspato e Qtz 2, associadas a textura principal das rochas; (E) intensa alteração para sericita na porção central dos cristais de plagioclásio; (F) cristal de biotita com as bordas levemente corroídas e alteradas para clorita e óxidos de ferro, ao longo de seus planos cristalográficos, tendo também algumas inclusões de zircão e minerais opacos. Bt- biotita; Fk- feldspato potássico; Op- opaco; Pl- plagioclásio; Qtz- quartzo; Zr- zircão.

3.2.3 Anfibólio-biotita-sienogranito (ABSG)

Macroscopicamente as rochas da fácies ABSG são leucocráticas, de coloração rosa avermelhada, textura fanerítica, de granulação média a grossa com cristais equigranulares (Figura 14 A). Seus minerais máficos formam geralmente pequenos agregados ao redor do k-feldspato e do plagioclásio. Microscopicamente a apresentam textura granular anédrica (Figura 14 B), associada à textura pertítica e intercrescimento mirmequítico (Figura 14 C e D). Sua paragênese essencial é formada por k-feldspato, quartzo e plagioclásio, com suas fases varietais sendo representadas por anfibólio e biotita. Os minerais acessórios encontrados foram apatita, zircão e opacos, e os minerais secundários foram sericita, epidoto, clorita, argilominerais e óxidos de ferro.

O k-feldspato, com proporção modal média de 41,5%, é a fase dominante na rocha. Seus cristais são anédricos, de hábito granular, com tamanho variando de 1 a 5mm. Apresentam contatos predominantemente irregulares com os outros minerais da rocha, podendo ocorrer também contatos retos com alguns cristais de quartzo e plagioclásio. A maior parte desses cristais apresenta exsolução pertítica (Figura 14 C e D) e estão bastante alterados para argilominerais.

O quartzo, com proporção modal média de 32,7%, ocorre na forma de cristais anédricos, de até 5mm, com forte extinção ondulante e hábito granular, denominados de Qtz 1 (Figura 14 C e D). Tais cristais apresentam granulação variando de média a grossa e contatos irregulares com álcali-feldspato e plagioclásio, sendo por vezes retos entre si. O quartzo também ocorre na forma de pequenos vermes e finas gotículas intercrescidas com álcali-feldspato (Qtz 2), evidenciando o intercrescimento mirmequítico na borda dos mesmos (Figura 14 C e D).

O plagioclásio, com proporção modal média de 17,8%, ocorre na forma de cristais subédricos, de hábito prismático, com maclamento albita, zoneamento normal e granulação variando de média a fina. Alguns cristais apresentam-se inclusos em cristais de k-feldspato e alterados para sericita, geralmente nas porções mais centrais dos mesmos, e localmente para epidoto.

A biotita, com proporção modal média de 3,9%, é a fase máfica dominante na fácies. Ocorre como agregados de cristais subédricos, com até 4 mm, de hábito lamelar, com as bordas levemente corroídas, geralmente associados com o anfibólio. A maior parte dos cristais apresenta inclusões de apatita e zircão, sendo comum encontrar inclusões de minerais opacos entre suas lamelas (Figura 14 E). Frequentemente esses cristais estão alterados para o óxido de ferro, que se desenvolve nas bordas e ao longo dos planos cristalográficos deste mineral, ocorrendo também, em menor quantidade, pequenos cristais de clorita ao longo das bordas de alguns cristais.

O anfibólio, com proporção modal média de 2,0%, ocorre geralmente na forma de agregados de cristais de granulação fina a média, subédricos a anédricos, de hábito prismático, moderadamente fraturados e com as bordas levemente corroídas (Figura 14 F). A maior parte desses cristais está associada à biotita, e assim como ela apresentam inclusões de minerais opacos e zircão, estando também alterados para clorita.

Quando somados, minerais opacos, allanita, fluorita e acessórios apresentam proporção modal média de 1,7%. Esses minerais estão geralmente associados, sob a forma de inclusões, as fases máficas da rocha (biotita e anfibólio). Os minerais opacos em especial apresentam-se intensamente alterados para óxidos de ferro.

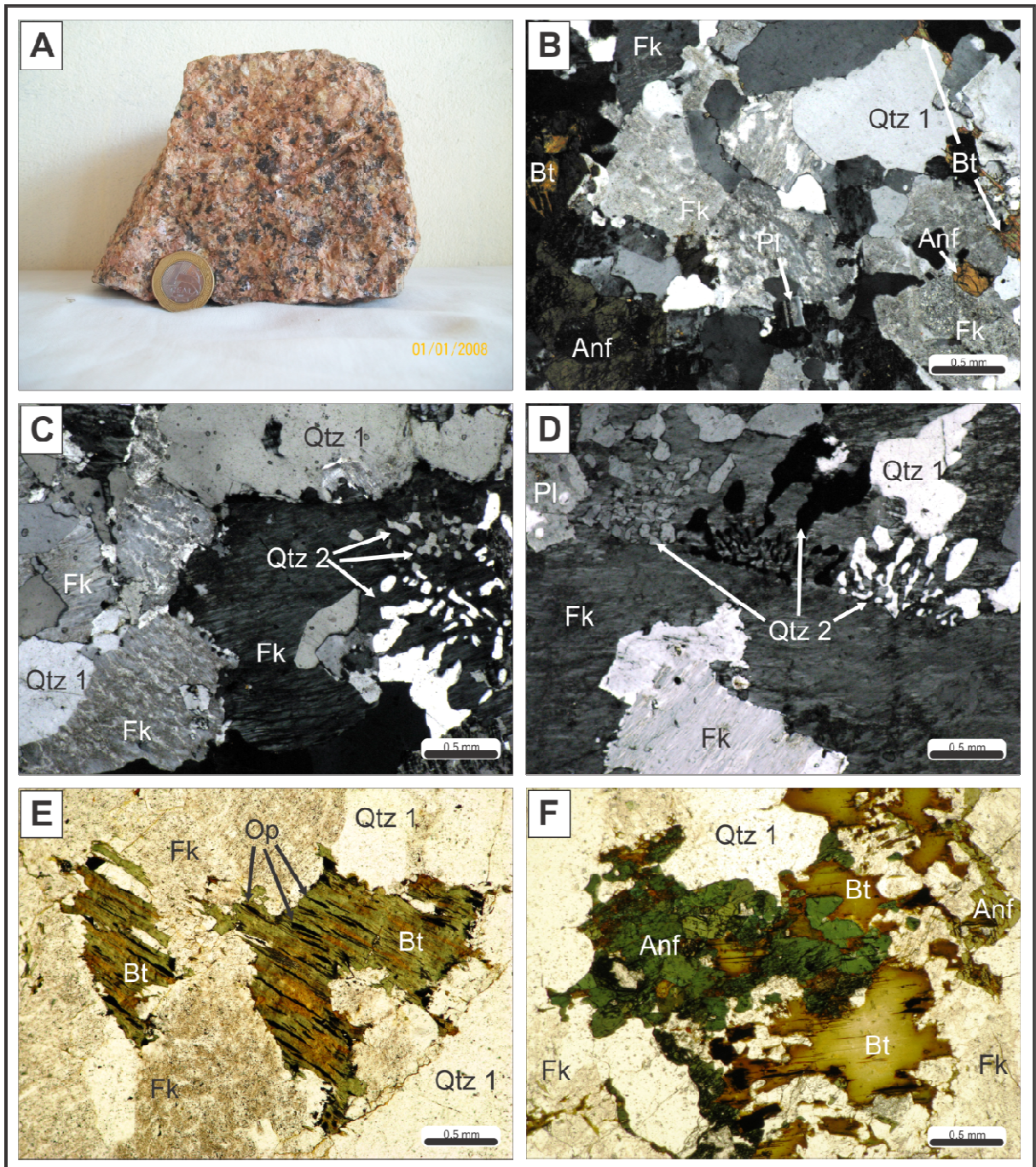


Figura 14 - (A) aspecto macroscópico das rochas da fácies ABSG com coloração rosa avermelhada, textura fanerítica, de granulação média a grossa com cristais equigranulares; (B) - textura granular das rochas da fácies ABSG; (C e D) texturas períticas e mirmequíticas, formadas por k-feldspato e Qtz 2, associadas a textura principal das rochas da fácies; (E) alteração para minerais opacos ao longo dos planos de clivagem da biotita; (F) agregados de cristais subédricos e anédricos de anfibólio e biotita. Anf- anfibólio; Bt- biotita; Fk- feldspato potássico; Pl- plagioclásio; Qtz- quartzo.

3.2.4 Biotita-sienogranito (BSG)

Macroscopicamente as rochas da fácies BSG são leucocráticas, de coloração rosada, textura fanerítica, de granulação média a grossa com cristais equigranulares (Figura 15 A). Microscopicamente apresentam textura granular anédrica (Figura 15 B), associada à textura pertítica do k-feldspato (Figura 15 C). São compostas essencialmente por k-feldspato, quartzo e plagioclásio, tendo a biotita como o único mineral varietal. As principais fases acessórias são representadas por fluorita, zircão, allanita e minerais opacos. As fases secundárias são representadas por argilominerais, sericita, clorita e epidoto.

O k-feldspato, com proporção modal média de 41,3%, é a fase dominante na rocha. Seus cristais são subédricos e anédricos, de hábito granular e tamanho variando de 2 a 5mm, apresentam contatos predominantemente irregulares, por vezes retos, com os cristais de quartzo, plagioclásio e biotita. Grande parte desses cristais apresenta exsoluções pertíticas bastante desenvolvidas, chegando a formar mesopertitas (Figura 15 C), e estão fortemente alterados para argilominerais.

O quartzo, com proporção modal média de 34,4%, ocorre na forma de cristais subédricos a anédricos, de até 5mm, com forte extinção ondulante e hábito granular (Qtz 1). Esses cristais ainda apresentam granulação predominantemente grossa, e contatos geralmente retos com álcali-feldspato e plagioclásio, sendo por vezes irregulares entre si. Ocorre também na forma de pequenos cristais anédricos, de granulação fina (< 1mm) inclusos em cristais de biotita, álcali-feldspato e plagioclásio (Qtz 2).

O plagioclásio, com proporção modal de 17,7%, apresenta cristais subédricos, de granulação média com até 3mm, maclamento albita e zoneamento normal. Grande parte desses cristais mostra-se alterado para sericita, e mais localmente para epidoto, principalmente em suas porções mais centrais.

A biotita, com proporção modal de 4,8%, apresenta cristais prismáticos, de hábito lamelar com até 4mm. Ocorre como agregados de cristais subédricos, com as bordas levemente corroídas, geralmente alteradas para clorita e óxidos de ferro (Figura 15 B). Minerais acessórios como zircão, fluorita e opacos, perfazem cerca de 1,5% da rocha e estão geralmente associados com biotita sob a forma de inclusões.

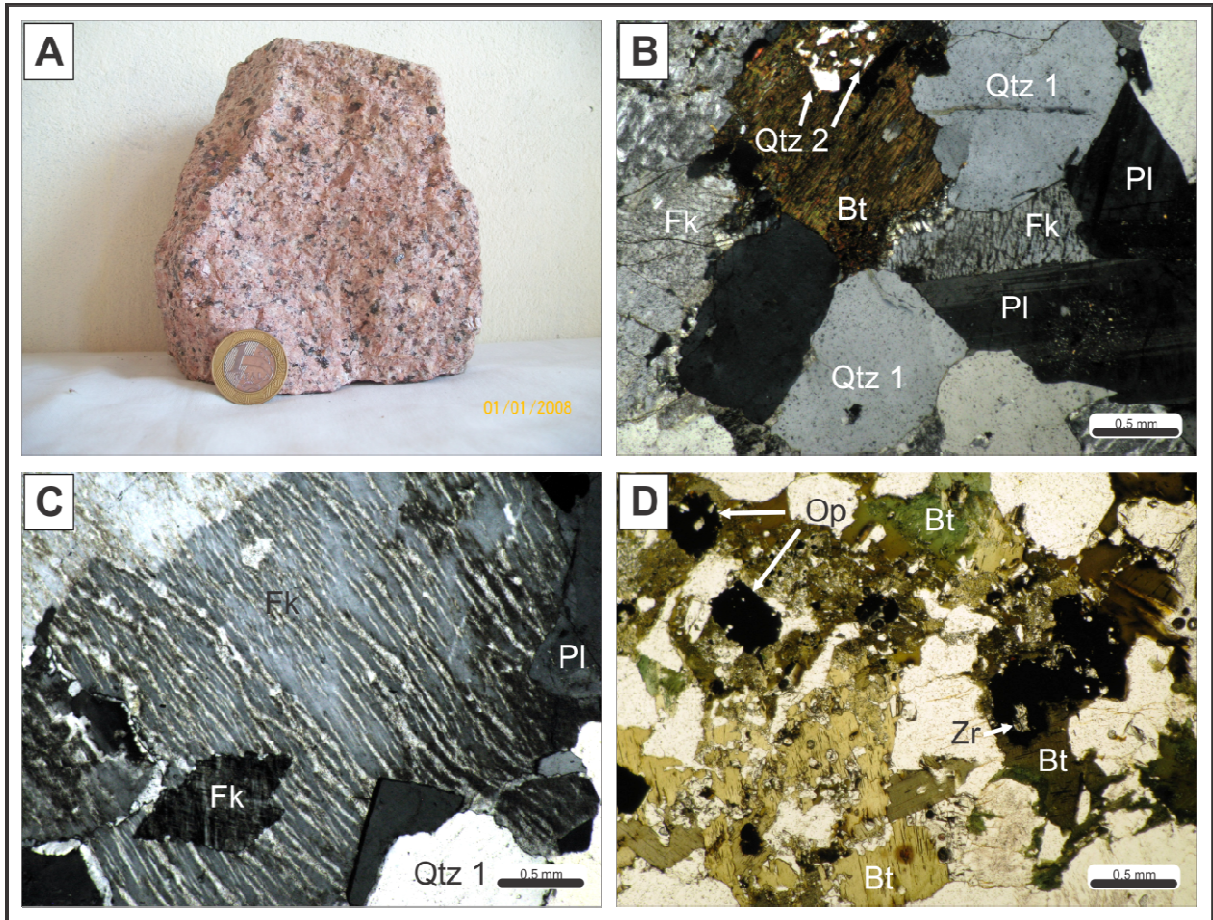


Figura 15 - (A) aspecto macroscópico das rochas da fácies BSG com coloração rosa avermelhada, textura fanerítica, de granulação média a grossa e cristais equigranulares; (B) textura granular presente nas rochas da fácies BSG; (C) cristal de k-feldspato com textura mesoperfítica associada a textura principal; (D) agregados de cristais subédricos a anédricos de biotita com inclusões de zircão e opacos. Bt- biotita; Fk- feldspato potássico; Op- opaco; Pl- plagioclásio; Qtz- quartzo; Zr- zircão.

3.3 ANÁLISES DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A caracterização dos anfibólios, biotitas e minerais acessórios, encontrados no Granito São João, foi realizada a partir de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), onde foram obtidas imagens por elétrons retro-espalhados e análises semi-quantitativas por EDS (*Energy Dispersive Spectrometry*), que possibilitaram a identificação destes. Na tabela 3 são apresentadas as principais fases minerais acessórias para todas as fácies do Granito São João.

Tabela 3 – Principais fases acessórias presentes nas diferentes fácies do Granito São João.

Tipo	Amostra	All	Ap	Fl	Ilm	Mt	Mz	TiMt	Thor	Zr
ABMG	PCJ-40									
BMG	PC-21									
ABSG	PCJ-30									
BSG	PCJ-37 A									

Legenda: All - Allanita; Ap - Apatita; Fl - Fluorita; Ilm - Ilmenita; Mt - Magnetita; Mz - Monazita; TiMt - Titanomagnetita; Thor - Thorita; Zr - Zircão.

3.3.1 Anfibólio [$\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg},\text{Fe})_4(\text{Al},\text{Fe},\text{Ti})\text{AlSi}_8\text{AlO}_{22}(\text{OH},\text{O})_2$]

Presente somente nas fácies ABMG e ABSG, este mineral quando analisado por EDS apresenta consideráveis valores de Fe (Tabela 4), que associados com a quantidade de outros elementos presentes pode ser classificado como Fe-Hornblenda. Esses anfibólios possuem razão $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ entre 0,02 e 0,05, conteúdos de Al entre 2,97 e 4,29 (% em peso), além de apresentarem razões $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$ entre 0,95 e 0,98 (Tabela 4).

Tabela 4 - Análises de EDS dos anfibólios das fácies ABMG e ABSG.

FACIES	AMOSTRA	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Ti	Fe	$\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$	$\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$
ABMG	PCJ-40	36,40	1,26	0,87	4,34	21,02	0,40	1,04	7,47	0,62	26,58	0,03	0,97
ABSG	PCJ-30	36,40	1,08	0,56	4,04	20,54	0,68	1,17	7,31	0,97	27,27	0,02	0,98
ABSG	PCJ-30	36,10	1,03	0,88	4,18	20,56	0,94	1,08	7,72	1,08	26,44	0,03	0,97
ABSG	PCJ-30	35,46	1,21	0,49	4,29	20,14	0,94	1,11	7,87	1,30	27,18	0,02	0,98
ABSG	PCJ-30	37,17	1,03	0,55	4,24	20,76	0,70	1,42	6,55	0,69	26,89	0,02	0,98
ABSG	PCJ-30	36,87	0,82	1,32	2,97	22,41	0,37	0,68	7,39	0,32	26,86	0,05	0,95
Média		36,40	1,07	0,78	4,01	20,90	0,67	1,08	7,38	0,83	26,87	0,03	0,97

Legenda: ABMG: anfibólio-biotita-monzogranito; ABSG: anfibólio-biotita-sienogranito.

3.3.2 Biotita [$\text{K}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_{6-4}(\text{Fe}^{3+}, \text{Al}, \text{Ti})_{0-2}\text{Si}_{6-5}\text{Al}_{2-3}\text{O}_{20}(\text{OH}, \text{F})_4$]

Presente em todas as fácies do Granito São João, esse mineral apresenta cristais subédricos e de hábito lamelar, contendo geralmente inclusões de magnetita, ilmenita e zircão (Figura 16). Seus cristais, quando analisados por EDS, apresentam razão $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$ variando de 0,86 a 1,0 (Tabela 5).

No diagrama $\text{TiO}_2\text{-FeO}+\text{MnO-MgO}$ (Figura 17), as biotitas do Granito São João posicionam-se no campo das biotitas primárias, não mostrando reequilíbrio. No diagrama $\text{MgO-FeO-Al}_2\text{O}_3$ (Figura 18), as biotitas estudadas plotam no campo dos granitos anorogênicos, assim como no diagrama Al_2O_3 versus MgO (Figura 19).

Tabela 5 - Análises de EDS de biotitas de todas as fácies do Granito São João.

FACIES	O	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Mg/(Mg+Fe)	Fe/(Fe+Mg)	Mg+Fe
BSG	34,98	0,11	0,38	5,67	16,49	0,51	6,99	4,72	2,48	27,68	0,004	1,00	27,78
BSG	36,70	1,13	6,18	17,47	0,59	7,47	0,07	2,00	0,31	28,10	0,038	0,96	29,22
BMG	37,51	1,61	6,77	18,14	0,46	7,92	0,01	1,45	0,37	25,77	0,059	0,94	27,37
BMG	39,42	1,85	6,92	17,77	0,36	7,73	0,05	1,36	0,52	24,02	0,071	0,93	25,87
BMG	35,60	1,69	7,54	18,49	0,38	8,04	0,04	1,41	0,34	26,48	0,060	0,94	28,17
BMG	33,28	1,62	7,55	18,99	0,44	8,24	0,00	1,18	0,44	28,27	0,054	0,95	29,89
BMG	34,46	1,84	7,11	18,56	0,41	8,63	0,02	1,78	0,48	26,70	0,064	0,94	28,54
BMG	37,67	1,30	6,49	17,60	0,33	8,07	0,06	2,18	0,41	25,89	0,048	0,95	27,19
BMG	35,68	1,65	6,63	18,49	0,34	8,31	0,10	2,38	0,44	25,98	0,060	0,94	27,63
BMG	35,85	1,60	6,64	18,08	0,33	8,13	0,08	2,46	0,42	26,41	0,057	0,94	28,01
ABSG	34,75	0,14	0,55	6,40	18,22	0,25	7,96	0,02	2,39	29,32	0,005	1,00	29,46
ABSG	36,07	0,12	0,47	6,45	18,18	0,38	7,93	0,07	2,82	27,52	0,004	1,00	27,64
ABSG	27,07	0,20	0,12	3,30	29,62	0,21	1,82	1,09	0,54	36,05	0,005	0,99	36,24
ABSG	36,75	0,59	6,37	17,45	0,43	7,76	0,03	2,36	0,29	27,98	0,021	0,98	28,56
ABSG	36,73	0,71	6,19	17,17	0,41	7,71	0,06	2,00	0,46	28,57	0,024	0,98	29,28
ABMG	39,14	3,72	6,39	18,67	0,24	7,44	0,12	1,92	0,63	21,73	0,146	0,85	25,45
ABMG	38,74	3,68	6,26	18,38	0,20	7,85	0,02	1,99	0,46	22,42	0,141	0,86	26,10
Média	35,91	1,38	5,21	15,12	5,14	6,16	1,49	1,79	0,81	26,99	0,051	0,95	28,38

Legenda: BSG: biotita-sienogranito; BMG: biotita-monzogranito; ABMG: anfibólio-biotita-monzogranito; ABSG: anfibólio-biotita-sienogranito.

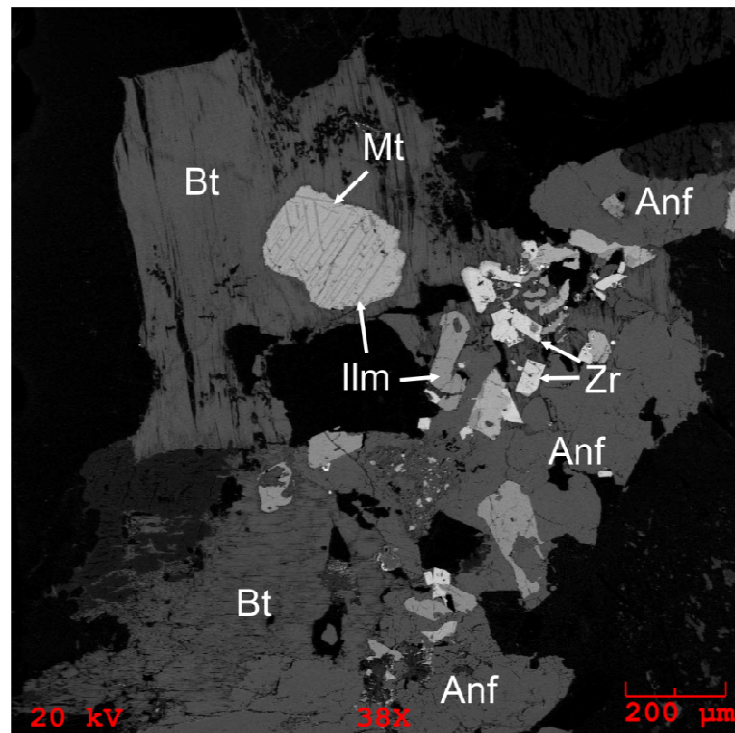


Figura 16 - Imagem de elétrons retroespalhados obtidas em MEV, mostrando cristais de biotita e anfibólio com inclusões de magnetita, ilmenita e zircão.

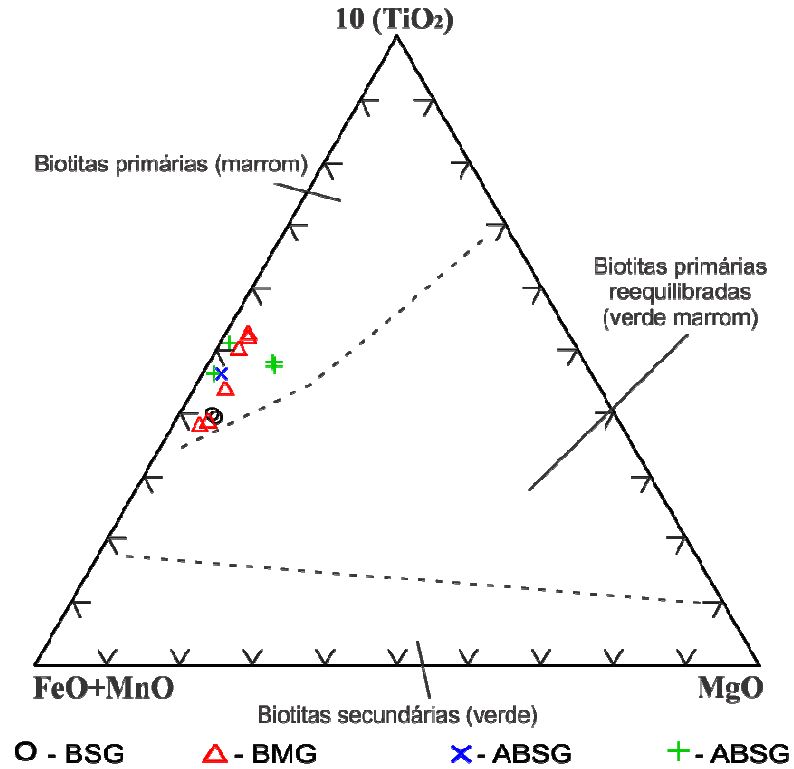


Figura 17 - Diagrama $\text{TiO}_2\text{-FeO+MnO-MgO}$ (NACHIT 1986), mostrando que as biotitas do Granito São João são primárias.

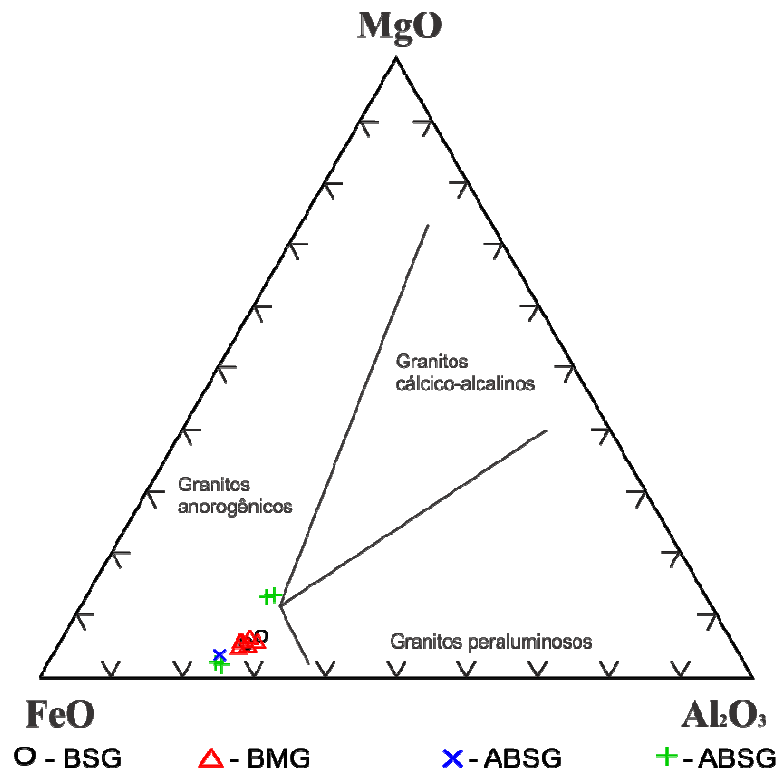


Figura 18 - Diagrama $\text{TiO}_2\text{-FeO+MnO-MgO}$ (ABDEL-RAHMAN 1994) mostrando que as biotitas do Granito São João plotam no campo dos granitos anorogênicos.

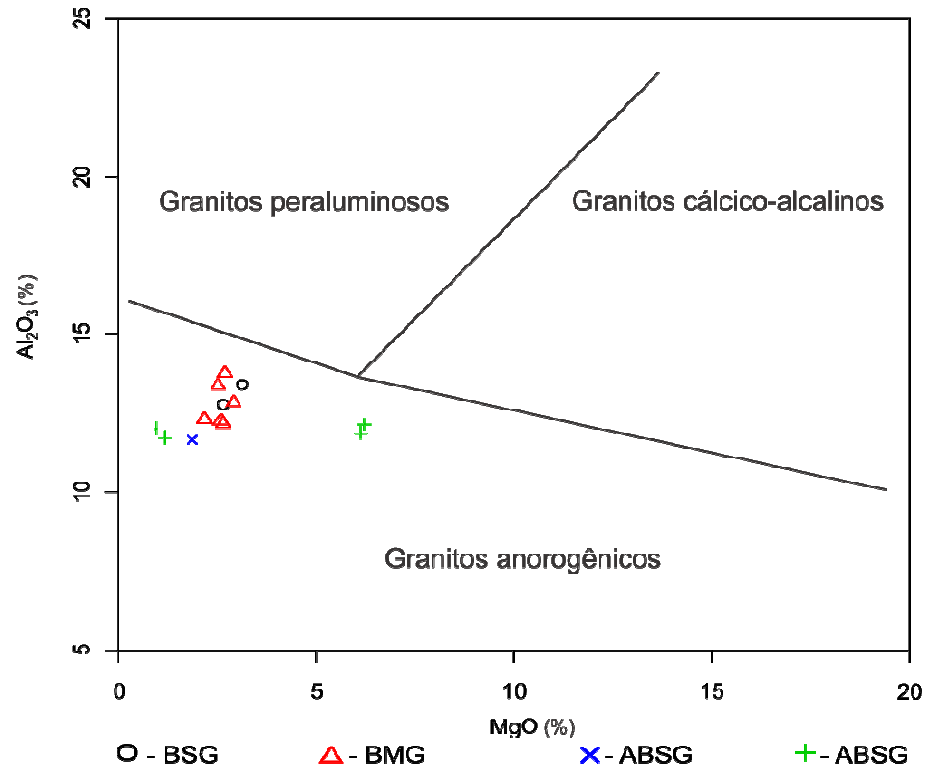


Figura 19 - Diagrama Al_2O_3 versus MgO (ABDEL-RAHMAN 1994) mostrando que as biotitas do Granito São João plotam no campo dos granitos anorogênicos.

3.3.3 Allanita [$(Ca, Mn^{+2}, Ce)_2Fe^{+2}, Fe^{+3}, Al)_3O, OH, Si_2O_7, SiO_4$]

Ocorre em algumas amostras das fácies ABMG, BMG e BSG. Apresenta cristais anédricos a subédricos, com hábito prismático, apresentando-se zonada na fácies BSG (Figura 20 A). Por vezes ocorre sob a forma de inclusões em cristais de biotita e anfibólio nas fácies ABMG e BMG, respectivamente, estando geralmente associada a cristais fluorita e biotita. Quimicamente, apresenta teores elevados de Ce (35,4%) e La (15,8%) nas fácies BMG e ABMG, diferente da fácies BSG que apresenta um leve enriquecimento de Fe (19,5%).

3.3.4 Apatita [$Ca_5(PO_4)_3(OH, F, Cl)$]

Presente nas fácies ABMG, BMG e ABSG, este mineral ocorre de forma primária, formando finos cristais prismáticos euédricos a subédricos de hábito acicular (Figura 20 B). Geralmente encontra-se associada com cristais de ilmenita, magnetita e anfibólio nas fácies ABMG e ABSG, sendo encontrada também como inclusões em cristais de zircão da fácies BMG. Quimicamente, mostra pequeno enriquecimento de Ce (1,6%) e Sr (1,1%).

3.3.5 Monazita [(La, Ce, Nd, Th)PO₄]

Ocorre em pequenas quantidades nas rochas da fácies BMG. Seus cristais são anédricos, arredondados, intensamente fraturados e geralmente associados à biotita (Figura 20 C). Quimicamente, apresenta teores elevados P (13,4%), Ce (35,0%), La (12,6%) e Nd (5,1%).

3.3.6 Fluorita [CaF₂]

Ocorre nas fácies BMG e BSG, sob a forma de cristais anédricos de hábito granular, geralmente associados à magnetita, biotita e allanita na fácies BMG, e a biotita, zircão e ortoclásio na fácies BSG (Figuras 20 C e 21 A). Quimicamente, seus componentes essenciais apresentam teores médios de 39,9% de F e 60,1% de Ca.

3.3.7 Thorita [ThSiO₄]

Ocorre em pequenas quantidades nas rochas da fácies BSG. Seus cristais são subédricos a anédricos, de hábito granular e estão geralmente associados a cristais de biotita, fluorita e zircão (Figura 20 D). Quimicamente, seus componentes essenciais apresentam teor médio de 52,6% de Th, 23,3% de O e 8,6% de Si. Além destes, foram identificados teores de Y (13,5%), Fe (1,3%) e Al (0,7%).

3.3.8 Magnetita [Fe⁺²Fe⁺³O₄], Titanomagnetita [Fe₂TiO₄] e Ilmenita [FeTiO₃]

Estas fases minerais normalmente ocorrem associadas e em todas as fácies do Granito São João, com exceção da titanomagnetita que ocorre apenas nas fácies ABSG e BSG. Nas fácies ABMG e ABSG a magnetita ocorre como cristais anédricos a subédricos nas bordas dos cristais de anfibólio, estando geralmente associados com biotita, zircão e ilmenita (Figura 21 D).

Nas fácies BMG e BSG a magnetita ocorre na forma de cristais subédricos, de hábito prismático com finas lamelas de ilmenita que seguem os planos cristalográficos da magnetita (Figura 21 B). Geralmente estes cristais de magnetita encontram-se associados com a biotita e tem como inclusões cristais de zircão e apatita. Nas fácies ABSG e BSG a ilmenita também ocorre como pequenos cristais subédricos, de hábito prismático associados geralmente a anfibólio, biotita e magnetita (Figura 21 C). A titanomagnetita é encontrada apenas em rochas das

fácies ABSG e BSG sob a forma de manchas irregulares nos cristais de magnetita (Figura 21 D).

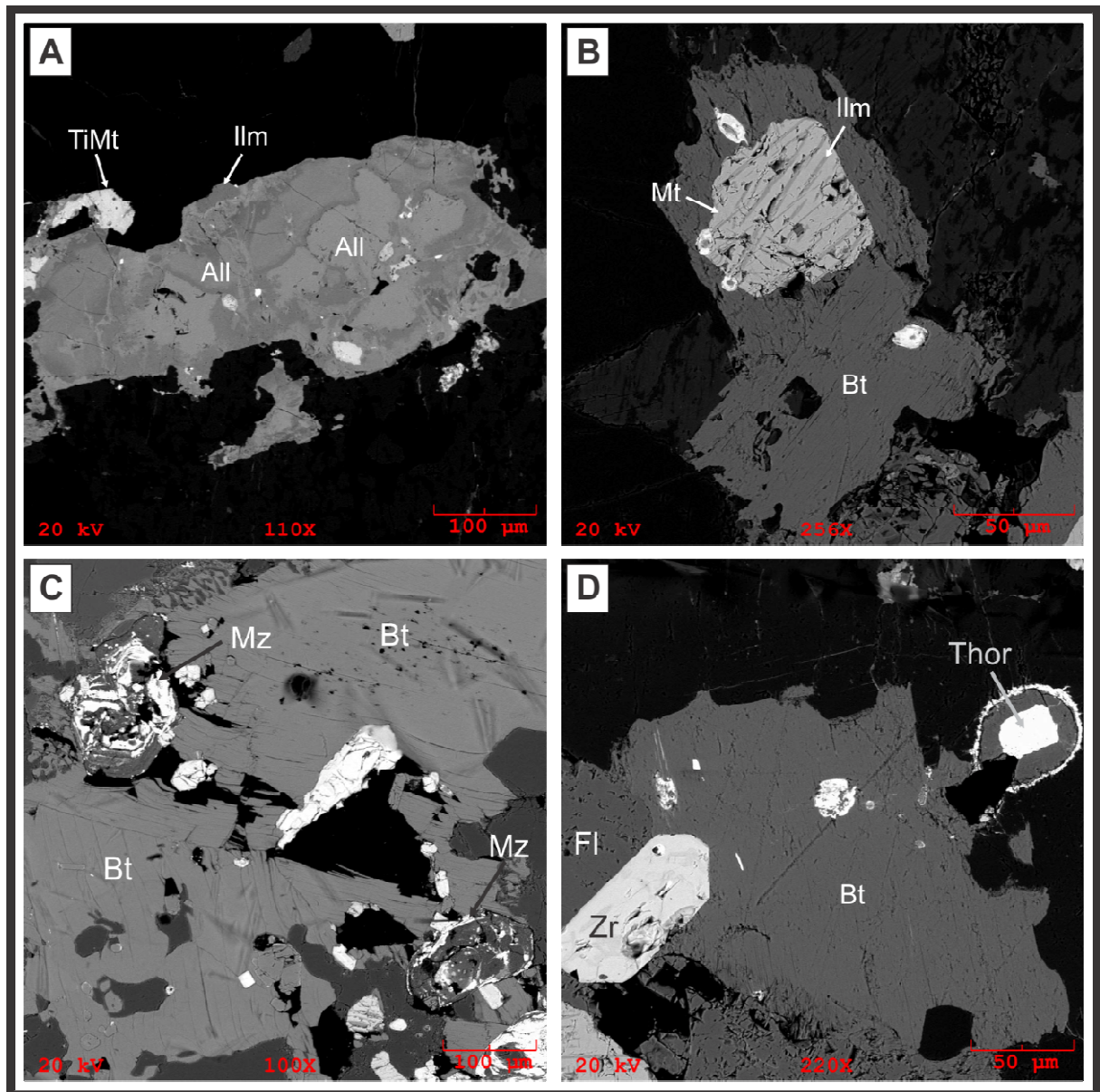


Figura 20 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas em MEV mostrando em (A) cristal anédrico de allanita zonada e em (B) cristais de apatita associados a cristais de magnetita, clorita e zircão, (C) cristais anédricos e arredondados de monazita associados à biotita, em (D) cristal de thorita de hábito granular associado à biotita. All – allanita; Ap – apatita; Cl – clorita; Ilm – ilmenita; Mt – magnetita; TiMt – titanomagnetita; Zr – zircão.

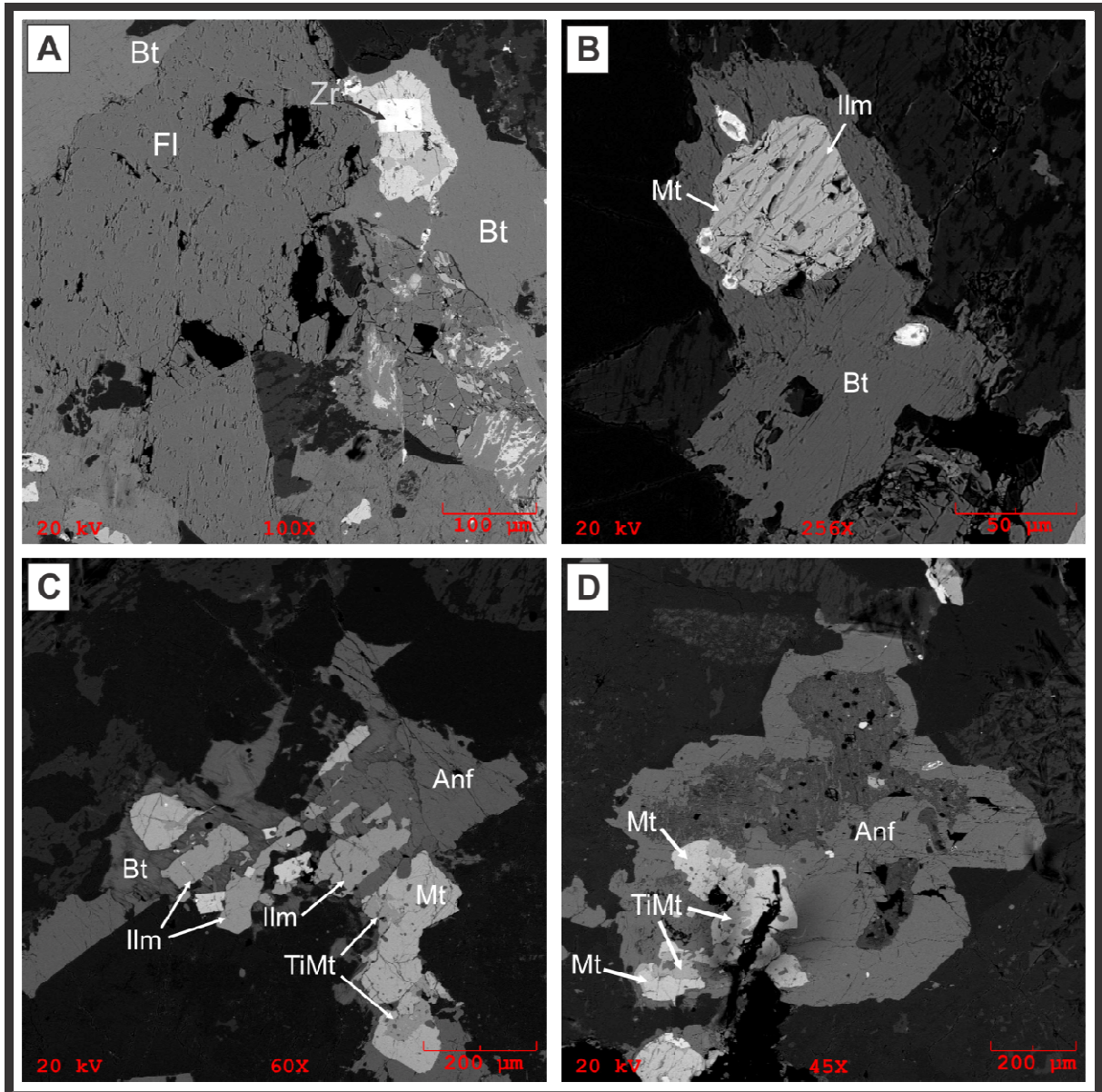


Figura 21 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas em MEV mostrando em (A) cristal anédrico de fluorita associado à biotita e zircão, em (B) cristal subédrico de magnetita com finas lamelas de ilmenita seguindo seus planos cristalográficos, em (C) cristais subédricos de ilmenita associados ao anfibólio e em (D) cristais subédricos de magnetita e manchas de titanomagnetita ocorrendo nas bordas dos cristais de anfibólio. All – allanita; Anf – anfibólio; Ap – apatita; Bt – biotita; Fl – fluorita; Ilm – ilmenita; MZ – monazita; Mt – magnetita; TiMt – titanomagnetita; Zr – zircão.

3.3.9 Zircão [ZrSiO₄]

Assim como ilmenita e magnetita, o zircão pode ser encontrado em todas as fácies do Granito São João. Seus cristais são subédricos a euédricos, moderadamente fraturados e com zoneamento bem definido (Figura 22 A). Tais cristais estão geralmente associados com biotita, magnetita e ilmenita, e apresentam como inclusões pequenos cristais de apatita (Figura 22 B). Com o auxílio de EDS

foram analisados O, Si, P, Ca, Y, Zr, Nb, Ba, Ce, Hf, Ta, Th e U, sendo utilizados os teores de Hf, Y, Nb, Th, U e Zr para a confecção dos diagramas geoquímicos Hf-Y-Nb e Zr/Hf *versus* Hf+Y+Th+U.

No diagrama Hf-Y-Nb (Figura 23), são comparados os teores desses elementos em zircões dos granitos São João e Seringa, e das suítes Jamon e Velho Guilherme. Os zircões dos granitos São João e Seringa apresentam teores semelhantes de Y e Nb e um leve enriquecimento de Hf, diferente dos zircões dos granitos da suíte Velho Guilherme que apresentam elevados teores de Hf e Y e teores intermediários de Nb. Já os granitos da suíte Jamon ocupam a porção central do diagrama devido exibirem valores próximos nos três elementos. Quanto à razão Zr/Hf, tanto o Granito São João quanto o Granito Seringa encontram-se em uma faixa de transição entre os granitos da suíte Jamon, com alta razão Zr/Hf, e os granitos da suíte Velho Guilherme, com baixa razão Zr/Hf (Figura 24).

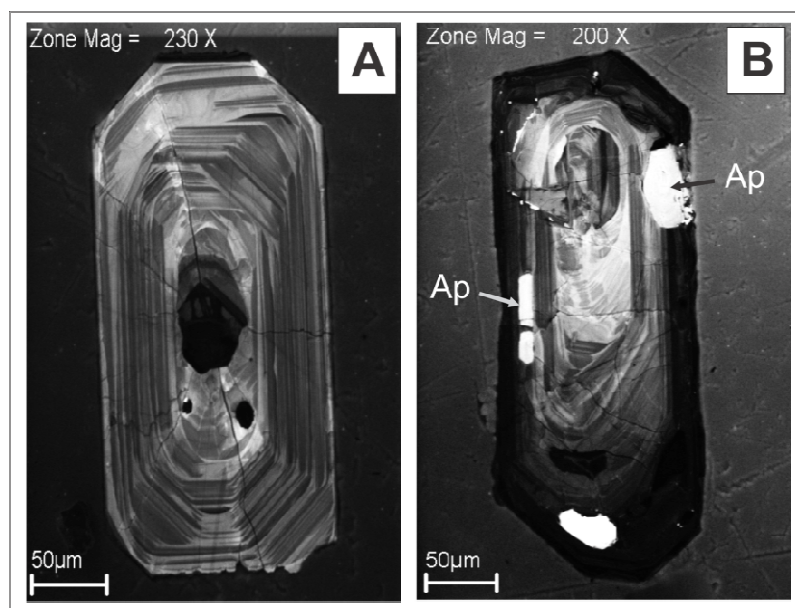


Figura 22 - Imagens de catodoluminescência obtidas em MEV mostrando em (A) o zoneamento bem definido e fraturas presentes em um cristal de zircão e em (B) inclusões de apatita em outro cristal de zircão.

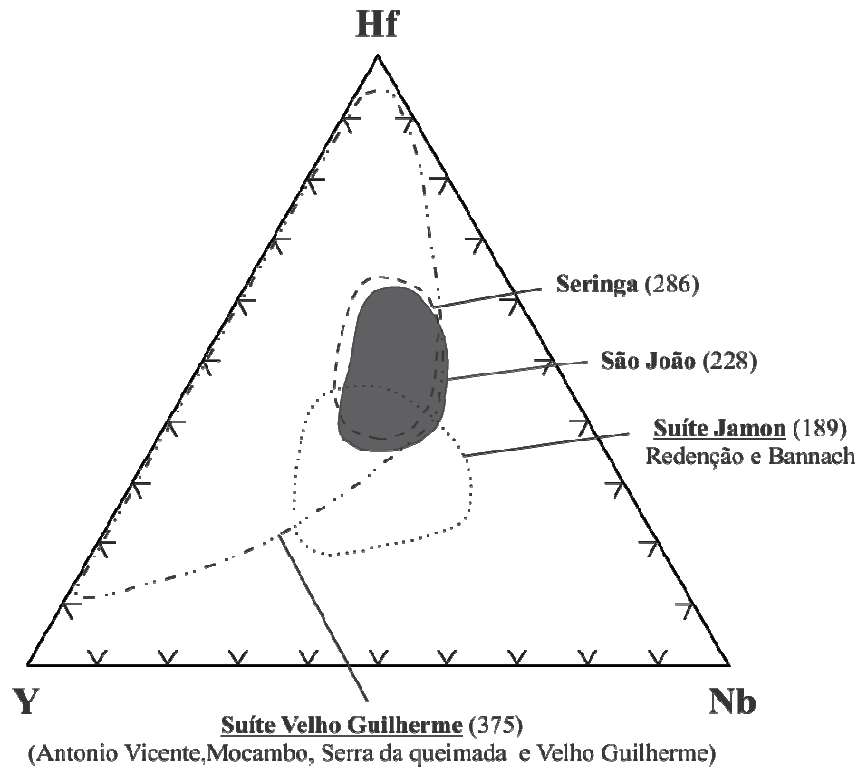


Figura 23- Diagrama Hf-Y-Nb (% em peso) mostrando os campos de variação composicional dos granitos São João e Seringa, e das suítes Jamon e Velho Guilherme, onde (X) representa o número de análises realizadas em cada granito ou suíte de granitos.

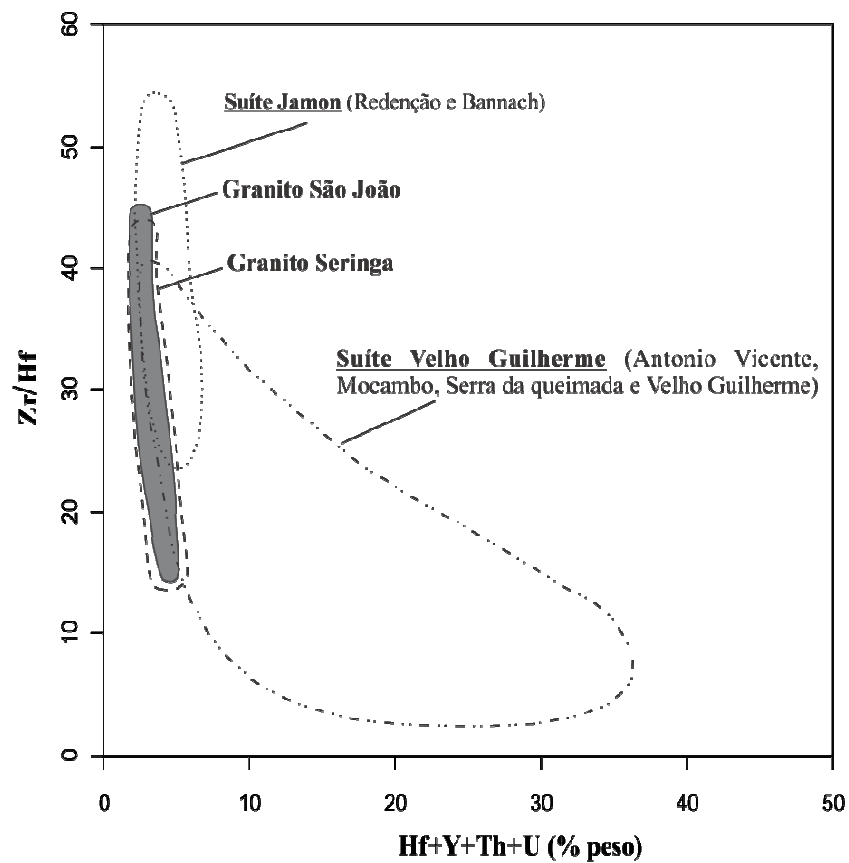


Figura 24 - Diagrama Zr/Hf versus Hf+Y+Th+U mostrando os campos de variação composicional dos granitos São João e Seringa, e das suítes Jamon e Velho Guilherme.

4. GEOCRONOLOGIA

A obtenção dos dados geocronológicos do Granito São João foi feita através do método evaporação de Pb em monocristais de zircão. Para isso, foram selecionados vinte e sete cristais de zircão de uma amostra, a mais representativa, de uma das fácies mais abundantes do Granito São João (BMG). Tais cristais são provenientes da fração 0,088-0,177 mm, exibem coloração marrom clara a média, são translúcidos, prismáticos bipiramidais, por vezes subarredondados, raramente zonados, moderadamente microfraturados e exibindo finas inclusões opacas e transparentes. A partir desse conjunto foram analisados cinco cristais que forneceram sinal suficientemente intenso de Pb para determinação das razões isotópicas. Porém, para a determinação da idade média, um cristal foi incluído considerando-se os valores da razão $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ inferiores a 0,0007 (Tabela 6). Após a correção subjetiva das razões dos cinco cristais de zircão, foi calculada uma idade média ponderada de 1890 ± 2.2 Ma, interpretada como a idade de cristalização do Granito São João (Figura 25).

Tabela 6 - Resultados isotópicos obtidos pelo método de evaporação do Pb em monocristais de zircão do Granito São João.

Zircão	Temp.	Razões	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$(^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2σ	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2σ	Idade	2σ	
PC21/3	1550	58/94	0,000781	0,000029	0,22648	0,00059	0,11569	0,00040	1890,9	6,3	
PC21/5	1500	28/60	0,000499	0,000230	0,17453	0,00886	0,11567	0,00025	1890,8	3,9	
PC21/8	1500	12/24	0,000246	0,000032	0,20427	0,00757	0,11548	0,00032	1887,6	5,0	
PC21/10	1500	34/58	0,000071	0,000008	0,17027	0,00040	0,11567	0,00027	1890,7	4,2	
PC21/11	1500	24/24	0,000165	0,000038	0,19801	0,00407	0,11556	0,00065	1888,8	10,2	
		156/260						Idade Média =	1890,0	2,2	

Legenda: Tabela resumida dos resultados obtidos pelo método de evaporação Pb/Pb em monocristais de zircão do Granito São João. (c) - razão $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ e $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ corrigida do Pb comum.

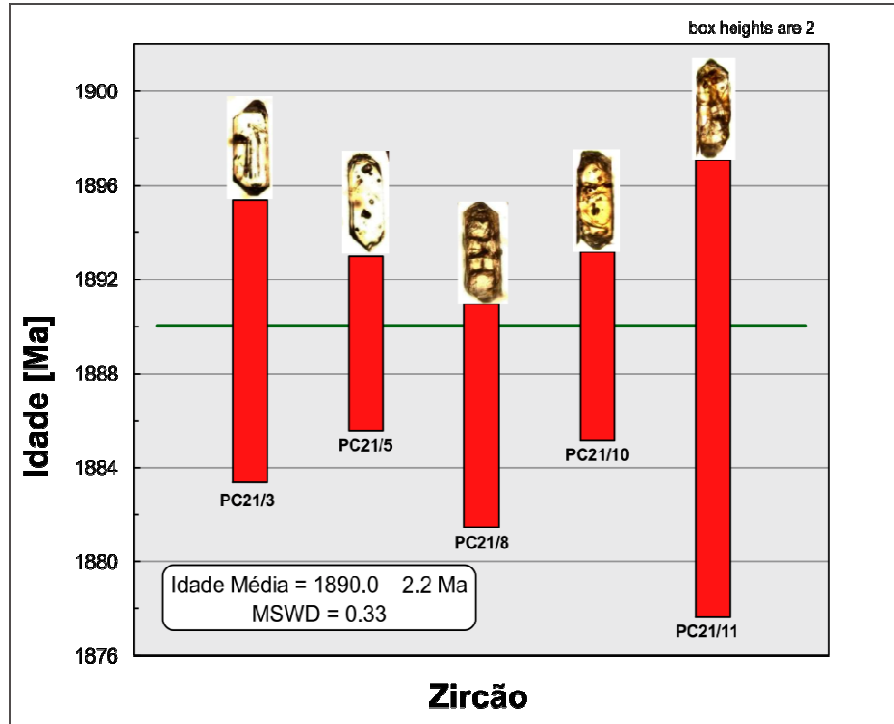


Figura 25 - Diagrama de barras mostrando a idade média do Granito São João.

5. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

O Granito São João (GSJ) é um batólito anorogênico subcircular com aproximadamente 200 km² de área que secciona unidades arqueanas do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria. Os padrões geomorfológicos contrastantes entre o Granito São João e suas encaixantes contribuem para a individualização aproximada dos seus domínios, uma vez que as relações de contato encontradas não foram conclusivas.

Dados petrográficos e de campo mostraram que o Granito São João apresenta quatro fácies petrográficas distintas: Anfibólio-biotita-monzogranito (ABMG), Biotita-monzogranito (BMG), Anfibólio-Biotita-Sienogranito (ABSG) e Biotita-sienogranito (BSG).

A paragênese essencial das diferentes fácies do Granito São João é representada por quartzo, k-feldspato e plagioclásio, tendo a biotita o anfibólio como principais minerais ferromagnesianos. Todas as fácies do Granito São João podem ser classificadas como leucocráticas por apresentarem índice de cor variando de 5 a 11%.

Análises de MEV/EDS em cristais de anfibólio e biotita do Granito São João, possibilitaram a classificação dos mesmos como anfibólios do tipo Fe-hornblenda e biotitas primárias, pertencentes a granitos de caráter tipicamente anorogênico. Já as análises em cristais de zircão possibilitaram o estudo comparativo entre o Granito São João, o Granito Seringa e as suítes Jamon e Velho Guilherme, tendo sido observado que os zircões dos granitos São João e Seringa apresentam grandes semelhanças em termos composicionais, plotando sempre em campos que se superpõem quase que totalmente e se distinguem dos zircões das rochas das outras suítes. Os zircões do Granito São João não mostram, portanto, uma assinatura geoquímica típica de granitos especializados, como aqueles da Suíte Velho Guilherme que são mais enriquecidos em Hf, Y, Th e U e mostram baixas razões Zr/Hf.

Os principais minerais acessórios que ocorrem nas diferentes fácies do Granito São João, foram identificados em microscópio petrográfico e caracterizados em microscópio eletrônico de varredura (MEV), são eles: allanita, apatita, fluorita,

Ilmenita, magnetita, monazita, titanomagnetita, thorita e zircão. A composição mineralógica essencial e varietal, somada a variedade de minerais acessórios encontrados nas rochas do Granito São João são similares as encontradas nas três principais suítes graníticas da Província Carajás. Entretanto, a ausência de titanita primária faz com que o Granito São João seja mais parecido com rochas da suíte Serra dos Carajás, de modo semelhante ao Granito Seringa, conforme mencionado por Paiva Jr. (2009).

Dados geocronológicos, obtidos através da metodologia de evaporação de Pb em monocristais de zircão, indicam que o Granito São João tem uma idade de cristalização de 1890 ± 2 Ma. Tal idade é muito próxima daquela obtida por Paiva Jr. (2009) para o Granito Seringa, que é de 1895 ± 1 Ma.

Com base nos dados obtidos e nas observações acima citadas podemos admitir que o Granito São João apresenta grandes semelhanças petrográficas, de química mineral (EDS/MEV) e geocronológicas com as rochas do Granito Seringa (PAIVA JR. 2009), localizado imediatamente a oeste, e com granitos da suíte Serra dos Carajás (BARROS et al. 1995, DALL'AGNOL et al. 1994, JAVIER RIOS et al. 1995). São granitos isotrópicos, com idades aproximadas e que cortam discordantemente suas rochas encaixantes. Em termos modais variam de monzogranitos a sienogranitos e são igualmente desprovidos de titanita magmática como fase acessória, podendo, assim, ser enquadrado preliminarmente nessa importante suíte. Estudos geoquímicos em rocha total e uma amostragem e petrografia mais abrangentes são necessários para estudos comparativos mais conclusivos.

REFERÊNCIAS

ABDEL-RAHMAN, A.M. Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline, and peraluminous magmas. *J. Petrol.* n. 35, p. 525-541, 1994. In: LAMARÃO, C.CN; DALL'AGNOL, R. Química Mineral de Anfibólios e Biotitas e Condições de Cristalização de Granitóides Paleoproterozóicos da Região de Vila Riozinho, Província Aurífera Do Tapajós, Cráton Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 34, n. 1, p. 95- 108, 2004.

ALMEIDA, J.A.C. *Geologia, petrografia e geoquímica do granito anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, PA.* 2005. 167f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

GUIMARÃES, F.V. *Geologia, Petrografia e Geoquímica do Trondhjemito Mogno e rochas arqueanas associadas, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria - SE do Pará.* 2009. 102f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

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

ALTHOFF, F.J.; BARBEY, P.; BOULLIER, A.M. 2.8-3.0 Ga Plutonism And Deformation in the SE Amazonian Craton: The Archean Granitoids Of Marajoara (Carajás Mineral province, Brazil). *Precambrian Research*, n. 104, p. 187-206, 2000.

ALTHOFF, F.J.; BARBEY, P.; BOULLIER, A.M.; DALL'AGNOL, R. Regime tectônico e composição dos granitóides arqueanos da região de Marajoara. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4, 1994, Belém. *Anais...* Belém: SBG, 1995, p. 291-294.

ALTHOFF, F.J.; DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z.S. Região de Marajoara - SE do Pará: prolongamento dos terrenos arqueanos de Rio Maria ou retrabalhamento? In: SIMPÓSIO GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3, 1991, Belém. *Anais...* Belém: SBG, 1991, p. 130-141.

ALTHOFF, F.J.; BARBEY, P.; MACAMBIRA, M.; SCHELLER, T.; LETERRIER, J.; DALL'AGNOL, R.; LAFON, J.M. La croissance du craton sud-amazonien (région de Rio Maria, Brésil) In: RÉUNION SCI. TERRE, BREST, SOC. GE'OL.1998, Fr. *Abstract*, p. 62.

ARAÚJO, O.J.B.; MACAMBIRA, E.M.B.; VALE, A.G.; OLIVEIRA, J.R.; SILVA NETO, C.S.; COSTA, E.J.S.; SANTOS, A.; PENA FILHO, J.J.C.; NEVES, A.P.; JORGE JOÃO, X.S.; COSTA, J.B.S. Primeira integração das investigações geológicas do Programa Grande Carajás na região SSE do Estado do Pará. In: SIMPÓSIO

GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4, 1994, Belém. *Boletim de resumos expandidos*. Belém: SBG, 1994, p. 299-301.

AVELAR, V.G. *Geocrologia Pb-Pb por evaporação em monocristal de zircão, do magmatismo da região de Tucumã, SE do Estado do Pará, Amazônia Oriental*. 1996. 199 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.

BARBOSA, A.A.; LAFON, J.M.; NEVES, A.P.; VALE, A.G. O Granito Redenção (sul do Pará): novos dados geocronológicos Pb -Pb e Rb-Sr. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4, 1994, Belém. *Boletim de resumos expandidos*. Belém: SBG, 1994, p. 302-306.

CHAYES, F. *Petrographic modal analysis: an elementary statistical appraisal*. New York : John Willey & Sons, 1956. 113p.

DALL'AGNOL, R.; LAFON, J.M.; MACAMBIRA, M.J.B. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian province, Amazonian Craton. Geochronological, Petrological and Geochemical aspects. *Mineralogy and Petrology*, n. 50, p. 113-138. 1994.

DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, M.A.; ALMEIDA, J.A.C.; ALTHOFF, F.J.; LEITE, A.A.S.; OLIVEIRA, D.C.; BARROS, C.E.M. Archean and Paleoproterozoic granitoids of the Carajás metallogenic province, eastern Amazonian craton. In: DALL'AGNOL, R., ROSA-COSTA, L.T., KLEIN, E.L. (eds.). Symposium on Magmatism, Crustal Evolution, and Metallogenesis of the Amazonian Craton. 2006, Belém. *Abstracts Volume and Field Trips Guide*. Belém: PRONEXUFPA/SBG-NO, 2006, 150p.

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

DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z.S.; ALTHOFF, F.J.; BARROS, C.E.M.; LEITE, A.A.S.; JORGE JOÃO, X.S. General aspects of the granitogenesis of the Carajás metallogenic province. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 2, 1997a, Salvador. *Excursions Guide*. Salvador: SGRM, 1997a, p.135-161.

DALL'AGNOL, R.; SCAILLET, B.; PICHAVANT, M. Evolution of A-type granite magmas: an experimental study of the Lower Proterozoic Jamon Granite, eastern Amazonian craton, Brazil. *Journal of Petrology*, v. 40, n. 11, p. 1673-1698. 1999c.

DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z.S.; ALTHOFF, F.J.; MACAMBIRA, M.J.B.; LEITE, A.A.S. Geology and Geochemistry of the Archean Rio Maria Granite-Greenstone Terrain, Carajas Province, Amazonian Craton. In: SYMPOSIUM-ARCHEAN TERRANES OF THE SOUTH AMERICAN PLATFORM. 1996. SBG, 1996, p. 29-30.

DALL'AGNOL, R. Maço Jamon: Evolução Petroológica de um granito da Amazônia Oriental. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1, 1982, Belém. *Anais...* Belém: SBG, 1982, v-2, p. 139-161.

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

BARROS, C.E.M.; DALL'AGNOL, R.; VIEIRA, E.A.P.; MAGALHÃES, M.S. Granito Central da Serra dos Carajás: avaliação do potencial metalogenético para estanho com base em estudos da borda oeste do corpo. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra* 7, n. 93, p. 123. 1995.

DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, D.C.; MACAMBIRA, M.J.B.; LAMARÃO, C.N. Diques proterozóicos do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria: A descoberta de diques compostos e novos dados geocronológicos. In: SIMP. VULC. AMB. ASSOC, 2, 2002, Belém. *Boletim de resumos e roteiros da excursão*. Belém: Núcleo PRONEX do Centro de Geociências UFPA, 2002, p.13.

DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, D. C. Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: implications for classification and petrogenesis of A-type granites. *Lithos*. n. 93, p. 215-233. 2007.

GASTAL, M.C.P. *Petrologia do Maciço Granítico Musa, Sudeste do Pará*. 1987. 316 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1987.

GASTAL, M.C.P. Magmatismo ácido-intermediário do Proterozóico Médio da região de Rio Maria, SE do Pará: discussão quanto à tipologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, 1988, Belém. *Anais...* Belém: SBG, 1988, v. 3, p. 1147-1163.

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. O terreno granito-greenstone da região de Rio Maria - sul do Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35, 1988, Belém. *Anais...* Belém: SBG, 1988, v. 3, p. 1438-1453.

JAVIER RIOS, F.; VILLAS, R.N.; DALL'AGNOL, R. O Granito Serra dos Carajás: fácies petrográficas e avaliação do potencial metalogenético para estanho no setor norte. *Revista Brasileira de Geociências*, n. 25, p. 20-31. 1995b

KOBER, B. Whole-grain evaporation for $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -age-investigations on single zircons using a double-filament thermal ion source. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, n. 93, p. 482-490. 1986.

LAFON, J.M.; SCHELLER, T. 1994. Geocronologia Pb/Pb em zircão do Granodiorito Cumaru, Serra dos Gradaús, PA. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4, 1994, Belém. *Boletim de resumos expandidos*. Belém: SBG/NO, 1994, p. 321-323.

LAMARÃO, C. N.; Dall'Agnol, R.; SILVA, J.S.; SOLEDADE, G. L. Morphological and compositional variation in zircons of tin-specialized Paleoproterozoic A-type granites of the Amazonian craton: Metallogenic implications. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON A-TYPE GRANITES AND RELATED ROCKS THROUGH TIME. 1, 2010, Helsinque. *Abstract*. Helsinque: Helsinque University Print, 2010, v. 1. p. 68-70.

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

LEITE, A. A. S. *Geoquímica, Petrogênese e Evolução Estrutural dos Granitóides Arqueanos da Região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico*. 2001. 330p. Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.

LEITE, A.A.S.; DALL'AGNOL, R.; MACAMBIRA, M.J.B.; ALTHOFF, F.J. Geologia e geocronologia dos granitóides arqueanos da região de Xinguara e suas implicações na evolução do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Cráton Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 34, n. 4, p. 447-458. 2004.

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

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

MACAMBIRA, M.J.B. *Chronologie U/Pb, Rb/Sr, K/Ar et croissance de la croûte continentale dans L'Amazonie du sud-est; exemple de la région de Rio Maria, Province de Carajás, Brésil*. 1992. 212f. Tese (Doutorado), Université Montpellier II, France, 1992.

MACAMBIRA, M.J.B.; LANCELOT, J. Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria crust, southeastern Amazonian Craton, Brazil. *International Geology Review*, v. 38, n. 12, p. 1134-1142. 1996.

MACAMBIRA M.J.B.; LAFON J.M. Geocronologia da Província Mineral de Carajás; Síntese dos dados e novos desafios. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, n. 7, p. 263-287. 1995.

MACHADO, N.; LINDENMAYER, Z.; KROGH, T.E.; LINDENMAYER, D. U/Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás Area, Amazon Shield, Brazil. *Precambrian Research*, n. 49, p. 329-354. 1991.

MACKENZIE, W.S.; DONALDSON C.H.; GUILFORD C. *Atlas of igneous rocks and their textures*. New York: Longman Scientific & Technical, John Wiley & Sons, 1982. 148p.

MONTALVÃO, R.M.G.; BEZERRA, P.E. L.; PRADO, P.; FERNANDES, C.A.C., SILVA, G.H.; BRIM, R.J.P. Características petrográficas e geoquímicas do Granito Redenção e suas possibilidades metalogenéticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, Salvador, 1982. *Anais...* Salvador: SBG, 1982, v. 2, p. 520 - 548.

NACHIT, H. *Contribution à l'étude analytique et expérimentale des biotites des granitoïdes. Applications typologiques*. 1986. 181f. Tese (Doutorado), Université de Bretagne Occidentale, France, 1986. In: LAMARÃO, C.CN; DALL'AGNOL, R. Química Mineral de Anfibólios e Biotitas e Condições de Cristalização de Granitóides Paleoproterozóicos da Região de Vila Riozinho, Província Aurífera Do Tapajós, Cráton Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 34, n. 1, p. 95- 108. 2004.

OLIVEIRA, D. C. *Geologia, Geoquímica e Petrologia Magnética do Granito Paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico*. 2001. 207f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.

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. (Eds.) *Contribuições Geologia da Amazônia*, Belém: SBG-NO, v. 3, p. 115-132.

OLIVERA, M.A. Geologia, Petrografia e Geoquímica do Granodiorito Sanukitóide Arqueano Rio Maria e Rochas Máfica Associadas, Leste de Bannach. 2005. 144f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

OLIVEIRA, M.A.; DALL'AGNOL R.; ALTHOFF F. 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*, v. 36, n. 2, p. 313-326. 2006.

PAIVA JR, A.L. Geologia, Petrografia, Geocronologia e Geoquímica do Granito Anorogênico Seringa, Província Mineral de Carajás, SSE do Pará. 2009. 123f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

PIMENTEL, M.; FUCK, R.A. Neoproterozoic crustal accretion in Central Brazil. *Geology*, v.20, n. 4, p. 375-379. 1992.

PIMENTEL, M.M.; MACHADO N. Geocronologia U-Pb dos Terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, Camboriú, 1988. *Boletim de Resumos Expandidos*. Camboriú: SBG, 1988, p. 390-391.

RODRIGUES, E.M.S.; LAFON, J.M., SCHELLER, T. Geocronologia Pb -Pb em rochas totais da Província Mineral de Carajás: primeiros resultados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo, 1992. *Boletim de Resumos Expandidos*. São Paulo: SBG, 1992, v. 2, p. 183-184.

ROLANDO, A.A.P.; MACAMBIRA, M.J.B. 2002. Geocronologia dos granitóides arqueanos da região da Serra do Inajá, novas evidências sobre a formação da crosta continental no sudeste do Cráton Amazônico, SSE Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41, 2002, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: SBG, 2002, p. 525.

ROLANDO A.P.; MACAMBIRA M.J.B. Archean crust formation in Inajá range area, SSE of Amazonian Craton, Brazil, based on zircon ages and Nd isotopes. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 4, 2003, Salvador. *Extended Abstract*. Salvador: SBG, 2003. CD-ROM.

SOUZA, Z.S.; DALL'AGNOL, R.; ALTHOFF, F.J. LEITE, A.A.S.; BARROS, C.E.M. Carajás mineral province: geological, geochronological and tectonic constrast on the Archean evolution of the Rio Maria Granito-Greenstone Terrain and the Carajás Block. In: SYMPOSIUM ON ARCHEAN TERRANES OF SOUTH AMERICA PLATAFORM, 1996, Brasília. *Extended abstracts*. Brasília: SBG, 1996, p. 31-32.

SOUZA, Z.S.; DALL'AGNOL R.; OLIVEIRA C.G; HUHNS R.B. Geochemistry and Petrogenesis of metavolcanic rocks from Archaean Greenstone Belts: Rio Maria Region (Southeast Pará, Brazil). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 27, n. 2, p. 169-180. 1997.

SOUZA, Z.S.; MEDEIROS, H.; ALTHOFF, F.J.; DALL'AGNOL, R. Geologia do terrenogranito-greenstone Arqueano da região de Rio Maria, Sudeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, 1990, Natal. *Anais...* Natal: SBG, 1990, v. 6, p. 2913-2928.

SOUZA, Z.S.; POTREL A.; LAFON J.M.; ALTHOFF F.J.; PIMENTEL M.M.; DALL'AGNOL R.; OLIVEIRA C.G. 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*, n. 109, p. 293-315. 2001.

STRECKEISEN, A.L. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews*, v 12, p. 1-33. 1976.

TASSINARI, C. C. G.; MACAMBIRA, M. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, USA, v. 22, n. 3, p. 174-182, 1999.

TASSINARI, C.C.G.; MACAMBIRA, M.J.B. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito Neves, B.B. *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. p. 471-485. 2004.

VALE, A.G.; NEVES, P.N. O Granito Redenção: Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, 1994, Balneário Camboriú. *Boletim de resumos expandidos*. Balneário Camboriú: SBG, 1994, v. 1, p. 149 -150.

VASQUEZ., M. L.; ROSA-COSTA, L. T. da. 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. Escala 1:1.000.000. VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. da (Eds.). Belém: CPRM, 2008. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/publique/media/rel_para.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2010.

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

WILLIAMS, H.; TURNER, F.J.; GILBERT, C.H. *Petrography. A introduction to the study of rocks in thin section*. 2nd ed. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 406p, 1982.