

Petrografia, geoquímica e suscetibilidade magnética do Granito Paleoproterozoico São João, sudeste do Cráton Amazônico, Província Carajás

Petrography, geochemistry and magnetic susceptibility of the Paleoproterozoic São João Granite, southeastern Amazonian Craton, Carajás Province

Paulo Henrique Araújo Lima¹, Claudio Nery Lamarão¹, Max de Jesus Pereira dos Santos¹

¹Universidade Federal do Pará. Belém, Pará, Brasil

Resumo: O Granito São João (GSJ) é um batólito anorogênico de formato circular, com aproximadamente 160 km² de área, que secciona unidades arqueanas pertencentes ao Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, sudeste do Cráton Amazônico. É constituído predominantemente por quatro fácies petrográficas distintas: biotita-anfíbólio-monzogranito, biotita-anfíbólio-sienogranito, anfíbólio-biotita-monzogranito a sienogranito e biotita-monzogranito a sienogranito. O GSJ possui natureza metaluminosa a fracamente peraluminosa, razões $FeO_t/(FeO_t + MgO)$ entre 0,94 e 0,99 e K_2O/Na_2O entre 1 e 2, mostrando afinidades geoquímicas com granitos intraplaca do tipo A, subtipo A₂, e granitos ferrosos, sugerindo uma fonte crustal para sua origem. O GSJ possui conteúdos de elementos terras raras leves (ETRL) mais elevados que os elementos terras raras pesados (ETRP) e um padrão sub-horizantalizado para esses últimos, além de anomalias negativas de Eu crescentes no sentido das rochas menos evoluídas para as mais evoluídas. Os dados de suscetibilidade magnética distinguem seis populações com diferentes características magnéticas, onde os valores mais elevados relacionam-se às fácies menos evoluídas e os mais baixos às mais evoluídas. O estudo comparativo entre o GSJ e as suítes graníticas da Província Carajás mostra que ele apresenta maiores semelhanças geológicas, petrográficas, geoquímicas e de suscetibilidade magnética com os granitos que formam a Suíte Serra dos Carajás, podendo ser enquadrado na mesma.

Palavras-chave: Paleoproterozoico. Cráton Amazônico. Granito São João. Suscetibilidade magnética. Granito tipo A.

Abstract: The São João Granite (SJG) is an anorogenic circular batholith, with an outcropping surface of nearly 160 km², which intrudes Archean units of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrain, southeastern Amazonian Craton. It consists of four distinct petrographic facies: biotite-amphibole monzogranite, biotite-amphibole syenogranite, amphibole-biotite monzogranite to syenogranite and biotite monzogranite to syenogranite. The SJG has a metaluminous to weakly peraluminous geochemical nature, with $FeO_t/(FeO_t + MgO)$ ratios varying from 0.94 to 0.99 and K_2O/Na_2O from 1 to 2, showing geochemical affinities with intraplate granites, A-type granites of A₂ subtype and ferrous granites, suggesting a crustal source for its origin. The SJG has higher contents of light rare earth elements (LREE) compared to heavy rare earth elements (HREE) and a sub-horizontal pattern for the latter. The negative Eu anomalies increase from the less evolved towards the more evolved rocks. Magnetic susceptibility data allowed the identification of six populations with different magnetic characteristics, where the highest values are related to the less evolved facies and the lowest to the more evolved facies. The comparison between the SJG and the granitic suites of the Carajás Province shows that it displays strong geological, petrographic, geochemical and magnetic susceptibility similarities with the granites of the Serra dos Carajás Suite, in which it may be included.

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

LIMA, P. H. A., C. N. LAMARÃO & M. J. P. SANTOS, 2014. Petrografia, geoquímica e suscetibilidade magnética do Granito Paleoproterozoico São João, sudeste do Cráton Amazônico, Província Carajás. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais** 9(1): 47-72. Autor para correspondência: Claudio Nery Lamarão. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. Av. Augusto Corrêa, 1. Belém, PA, Brasil. CEP 66075-110 (lamarao@ufpa.br).

Recebido em 22/04/2013

Aprovado em 13/03/2014

Responsabilidade editorial: Hilton Tulio Costi



INTRODUÇÃO

Na Província Carajás (PC), o magmatismo granítico Paleoproterozoico inclui as suítes graníticas tipo A Jamon, Velho Guilherme e Serra dos Carajás. Localizada nos domínios do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, a Suíte Jamon foi descrita por Dall'Agnol *et al.* (2005) como formada pelos plútons graníticos Jamon, Musa, Redenção, Bannach, Marajoara, Manda Saia, Gradaús, Seringa e São João. Embora tais autores tenham incluído os corpos Seringa e São João na Suíte Jamon, tomando como base principalmente sua ocorrência nos domínios do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, estes ainda carecem de trabalhos de detalhe. Estudos posteriores mostraram que aqueles dois granitos possuem maiores afinidades com os plútons que constituem a Suíte Serra dos Carajás (Paiva Júnior *et al.*, 2011), tanto em termos petrográficos e geocronológicos quanto geoquímicos. Diferentemente da maioria dos corpos que compõem as suítes graníticas Jamon, Velho Guilherme e Serra dos Carajás, o Granito São João (GSJ) dispõe apenas de levantamentos cartográficos e petrográficos preliminares, acompanhados de datação geocronológica pelo método de evaporação de Pb em zircão (1.890 ± 2 Ma), não havendo estudos geoquímicos e de suscetibilidade magnética, o que dificulta sua correlação com corpos graníticos das suítes mencionadas acima. O principal objetivo deste estudo é, portanto, melhorar a caracterização geológica e petrográfica do GSJ, realizar estudos geoquímicos e de suscetibilidade magnética em suas diferentes fácies e avaliar de maneira mais clara o seu enquadramento na Suíte Serra dos Carajás.

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Província Amazônia Central (PAC) representa a porção mais antiga do Cráton Amazônico ($> 2,5$ Ga). É separada em dois domínios pela Província Maroni-Itacaiúnas (2,2-1,95 Ga), denominados Bloco Carajás e Bloco Roraima. O Bloco Carajás (Tassinari & Macambira, 2004), ou Província Carajás, de Santos *et al.* (2006), tem como

características unidades com idades predominantemente arqueanas e ausência de rochas geradas durante o Ciclo Transamazônico. A Província Carajás é limitada a leste pelo Cinturão Araguaia, de idade neoproterozoica, a norte pela província Maroni-Itacaiúnas, e a sul e a oeste é parcialmente coberta pelas sequências sedimentares fanerozoicas da Bacia Parecis e pelas rochas vulcânicas paleoproterozoicas do Supergrupo Uatumã (Tassinari & Macambira, 2004). Souza *et al.* (2001) distinguiram dois domínios tectônicos na atual PC: o Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, a sul, e a Bacia Carajás, a norte, estando entre eles o Subdomínio de Transição (SDT), como definido por Feio *et al.* (2013).

O Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, ou Domínio Rio Maria (Vasquez *et al.*, 2008), é caracterizado pela ocorrência de *greenstone belts* e granitoides, ambos de idade arqueana (Figura 1). Os granitoides foram divididos em cinco grupos, com idades entre 2,98 e 2,86 Ga, sendo definidos por: 1) séries tonalito-trondhjemitogranodioritos do tipo TTG, com idades entre 2,98 e 2,92 Ga, representadas pelo Tonalito Arco Verde, Trondhjemitogranodiorito Mogno, Complexo Tonalítico Caracol e Tonalito Mariazinha (Althoff *et al.*, 2000; Leite *et al.*, 2004; Guimaraes *et al.*, 2010; Almeida *et al.*, 2011); 2) granodioritos com alto Mg (Leite *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2006), representados pelas rochas da Suíte Sanukitoide Rio Maria, com idades em torno de 2,87 Ga (Macambira & Lancelot, 1996; Althoff *et al.*, 2000; Leite *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2009); 3) granito-leucogranodioritos, com alto Ba e Sr, representados pela Suíte Garantã, com idades em torno de 2,87 Ga (Almeida *et al.*, 2010); 4) leucogranitos potássicos de afinidade cálcio-alcalina, representados pelos plútons Xinguara e Mata Surrão, com idade entre 2,87-2,86 Ga (Leite *et al.*, 2004; Almeida *et al.*, 2011), e 5) granitoides das séries TTG jovens, representados pelo Trondhjemitogranodiorito Água Fria, com idade de 2,86 Ga (Huhn *et al.*, 1988; Pimentel & Machado, 1994; Leite *et al.*, 2004). As diversas unidades do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria são cobertas por metassedimentos arqueanos do Grupo Rio Fresco e cortados por granitos paleoproterozoicos do tipo A.



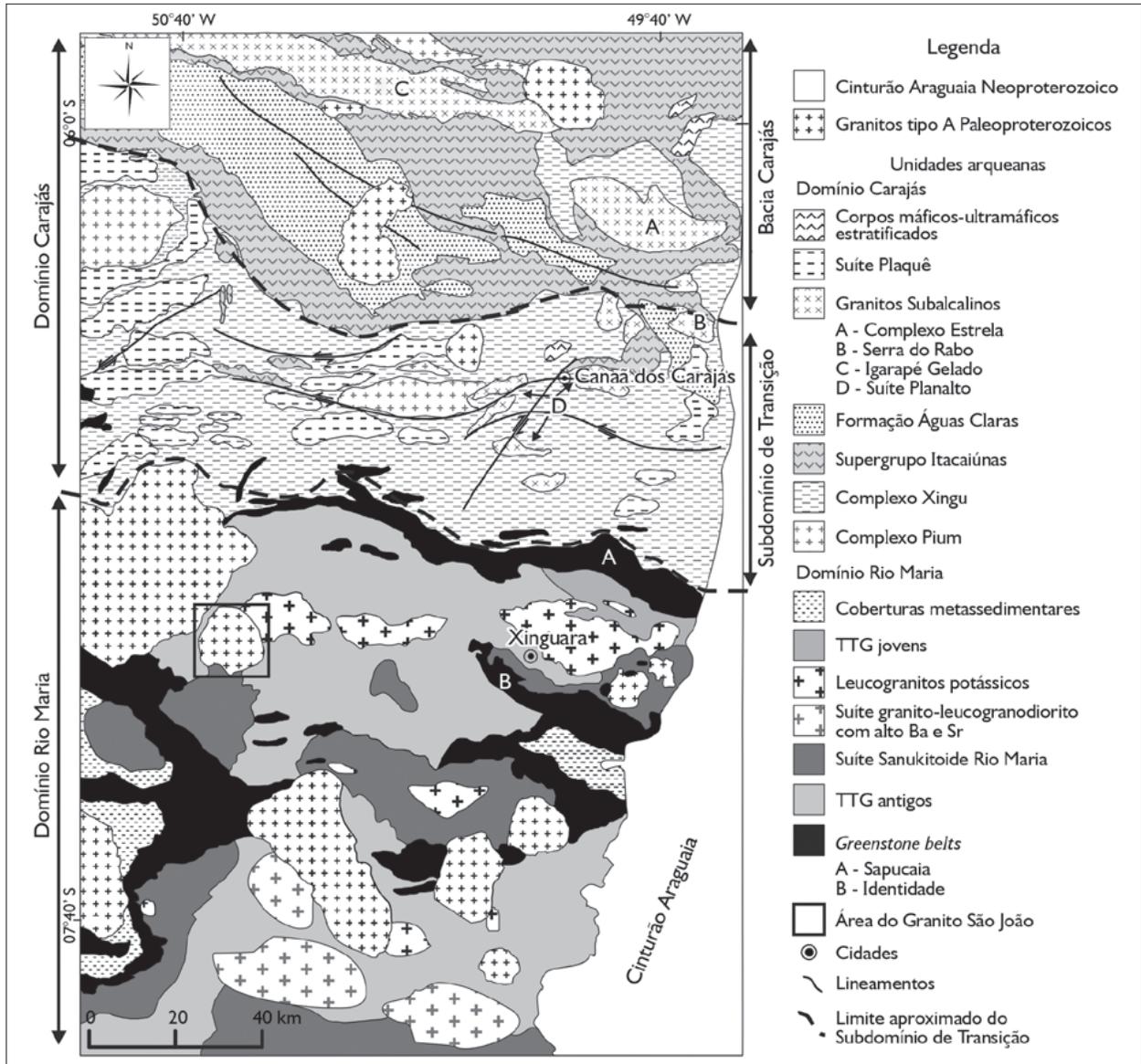


Figura 1. Mapa geológico simplificado da Província Carajás, mostrando os limites aproximados entre os Domínios Rio Maria e Carajás e entre o Subdomínio de Transição e a Bacia Carajás (modificado de Feio *et al.*, 2013).

ASPECTOS GEOLÓGICOS DO GRANITO SÃO JOÃO

O Granito São João, localizado entre as cidades de Água Azul do Norte e Bannach (Figura 2), sudeste do estado do Pará, é um batólito anorogênico com aproximadamente 160 km² de área aflorante, que secciona trondhjemitos e leucogronodiorito-granitos arqueanos do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria

(Leite *et al.*, 2004; Dall'Agnol *et al.*, 2005; Oliveira *et al.*, 2006; Dall'Agnol & Oliveira, 2007; Almeida *et al.*, 2011). Topograficamente é representado por morros e serras de encostas íngremes, com até 600 m de altitude, constituindo um conjunto de cristas alinhadas na direção N-S, localmente E-W, ou compondo estruturas circulares sob a forma de anfiteatro. Seus contatos com as rochas encaixantes são,

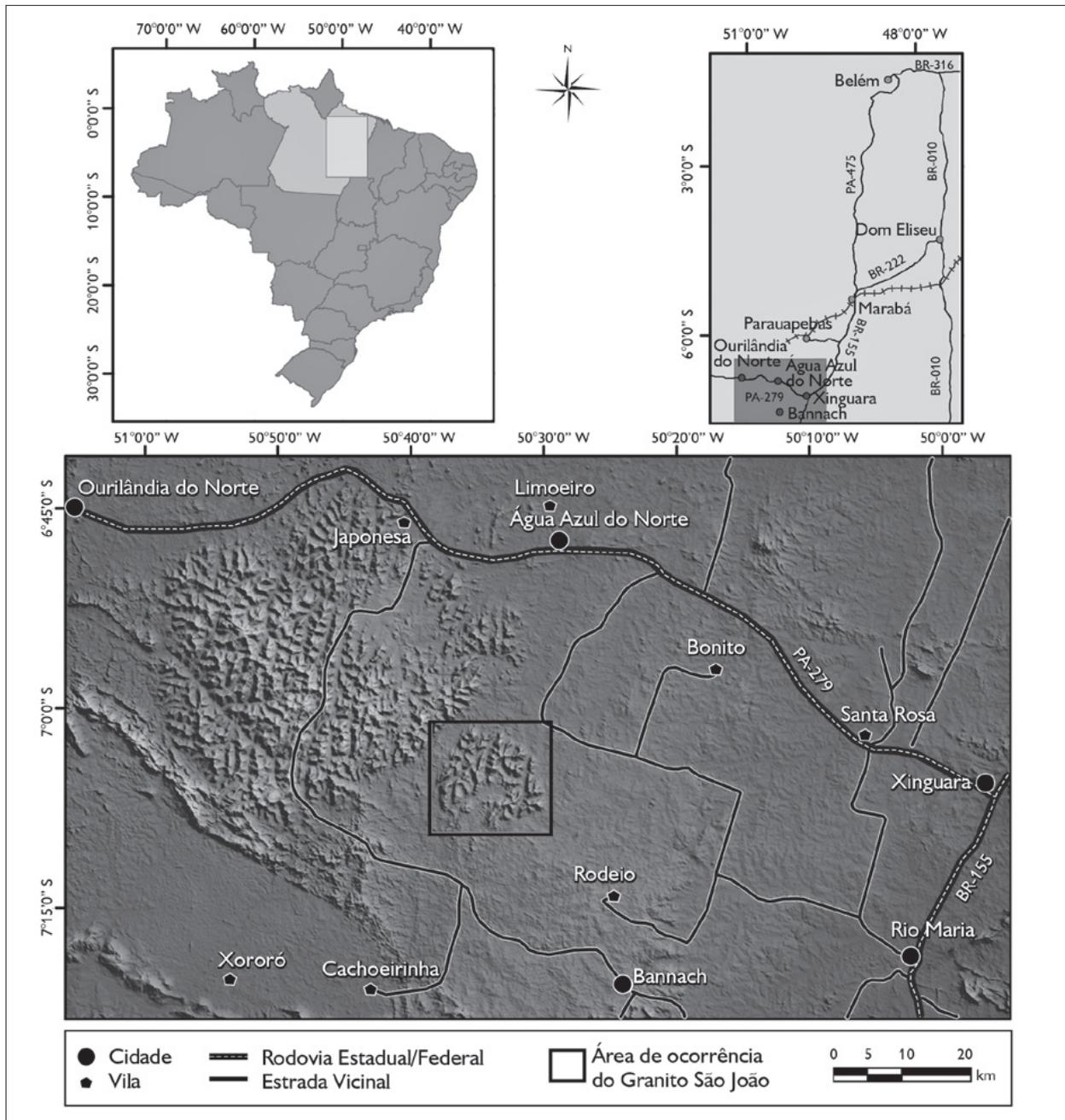


Figura 2. Imagem SRTM mostrando localização e acesso ao Granito São João. A oeste, vê-se o Granito Seringa, Granito Seringa.

em geral, bruscos, registrando-se a presença de margem resfriada félsica, representada por veios de microgranitos e diques aplíticos que cortam essas rochas nas proximidades desses contatos. Em volta do corpo foram mapeados diversos

diques tabulares de pequena espessura, com composições máficas a félsicas que cortam suas rochas encaixantes geralmente na direção NW-SE, não tendo sido encontrada nenhuma relação de contato entre estes e o GSJ (Figura 3).

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

A integração dos dados de campo com imagens de sensoriamento remoto (SAR, SRTM e relevo sombreado) possibilitou diferenciar o GSJ de suas encaixantes e estimar a distribuição geográfica de suas diferentes fácies (Figura 3).

Os BMSG, distribuídos preferencialmente do centro-oeste ao extremo oeste do corpo, ocupando cerca de 39% de sua superfície aflorante, apresentam contato brusco com as rochas encaixantes situadas a oeste e com as fácies ABMSG e BASG, situadas a leste. Os ABMSG, com 36% de área, ocupam as bordas N, E e SE do granito, contornando quase por completo os BASG; ocorrem também como estreitas faixas de direção N-S, no interior dos BMSG. Os BASG perfazem 23% do corpo e afloram predominantemente em sua porção central, mostrando contato gradacional com os BAMG e brusco com BMSG e ABMSG. Os BAMG ocupam 2% do GSJ, ocorrendo de forma localizada nas porções N e NE; apresentam contato gradacional com os BASG e contato brusco com os ABSMG.

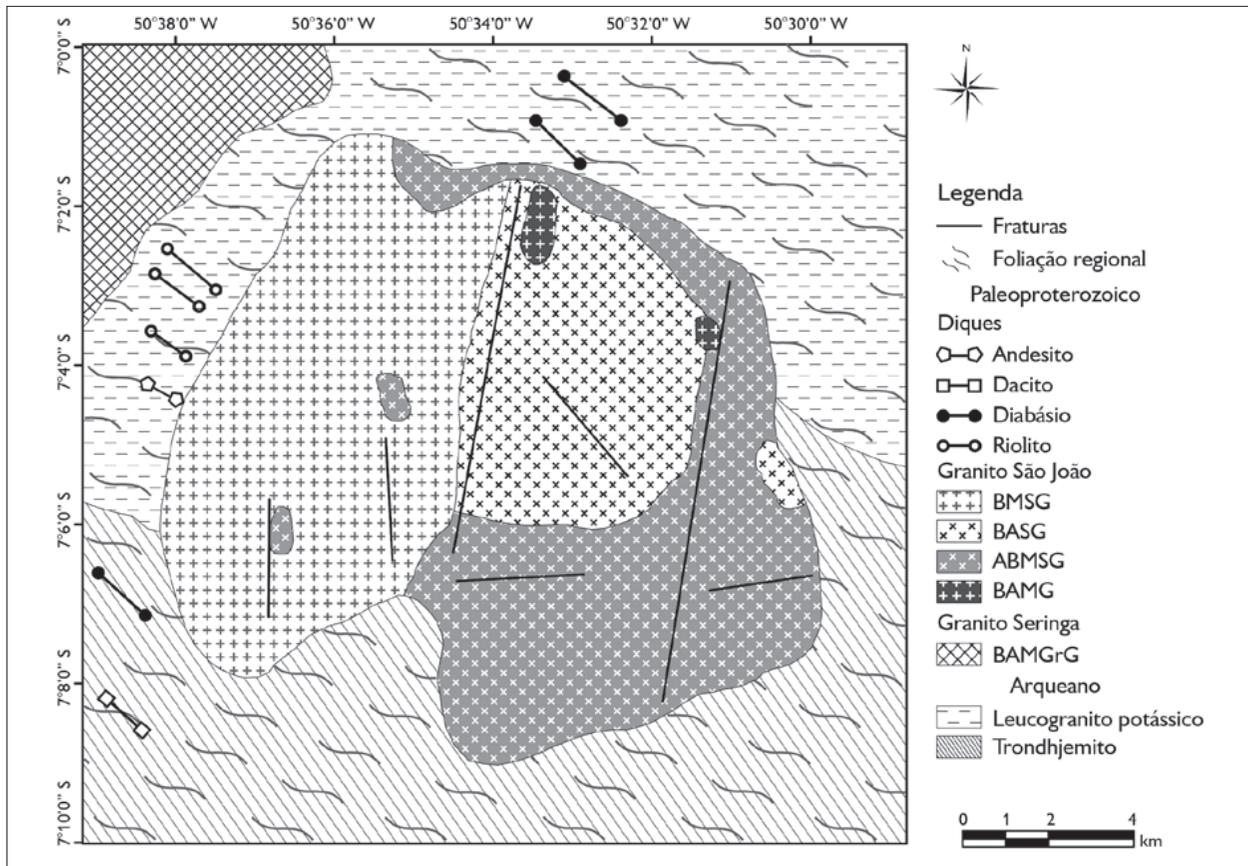


Figura 3. Mapa geológico do Granito São João mostrando a distribuição espacial de suas diferentes fácies. Legendas: BMSG = biotita-monzogranito a sienogranito; ABMSG = anfibólio-biotita-monzogranito a sienogranito; BASG = biotita-anfibólio-sienogranito; BAMG = biotita-anfibólio-monzogranito; BAMGrG = biotita-anfibólio-monzogranito grosso.

PETROGRAFIA

COMPOSIÇÃO MODAL E CLASSIFICAÇÃO

As composições modais representativas de 64 amostras do GSJ foram obtidas com base em 1.800 pontos (Tabela 1), que permitiram a classificação dessas rochas nos diagramas Q-A-P e Q-(A+P)-M' (Streckeisen, 1976; Le Maitre, 2002, Figura 4).

As fases varietais presentes nas diferentes fácies petrográficas são biotita, com percentual modal mais elevado nos BMSG (5,4%), e anfibólio, em maior proporção modal nos BAMG (5,8%), o que lhes confere caráter leucocrático no diagrama Q-(A+P)-M' (Figura 4; Tabela 1). Entre os acessórios magmáticos, zircão, apatita, allanita, magnetita e ilmenita são comuns em todas as fácies, ocorrendo geralmente associados ou sob a forma de inclusões nas fases máficas (biotita e/ou anfibólio). Fluorita é outro acessório frequente, mas presente apenas nos BMSG. Os minerais secundários são representados por clorita, sericita, epidoto e argilominerais. A ausência de titanita magmática, da mesma forma que no Granito Seringa (Paiva Júnior *et al.*, 2011) e na suíte Serra dos Carajás

(Javier Rios *et al.*, 1995; Barros *et al.*, 1995), é uma feição típica das rochas do GSJ.

ASPECTOS TEXTURAIIS

Em geral as rochas do GSJ são leucocráticas, heterogranulares e de granulação média a grossa, localmente fina. Mostram textura granular dominante, além de perítica e granofírica em algumas fácies (Figuras 5A-5C). O álcali feldspato, do tipo microclínio, é a fase dominante (exceto nos BASG, onde o quartzo é mais abundante), seguido de quartzo e plagioclásio, respectivamente. O microclínio ocorre como cristais xenomórficos médios a grossos, com contatos predominantemente irregulares entre si e com os outros minerais, localmente retos com quartzo e plagioclásio. Por vezes, cristais médios encontram-se intercrescidos com o quartzo, caracterizando uma típica textura granofírica (Figura 5B), presente em todas as fácies e indicativa de rochas cristalizadas a profundidades crustais relativamente rasas. A maioria dos cristais de microclínio está intensamente substituída por argilominerais e mostra exsolução perítica bem desenvolvida, chegando a formar perfitas dos tipos *string* (Figura 5C), em manchas e, localmente, mesoperfitas.

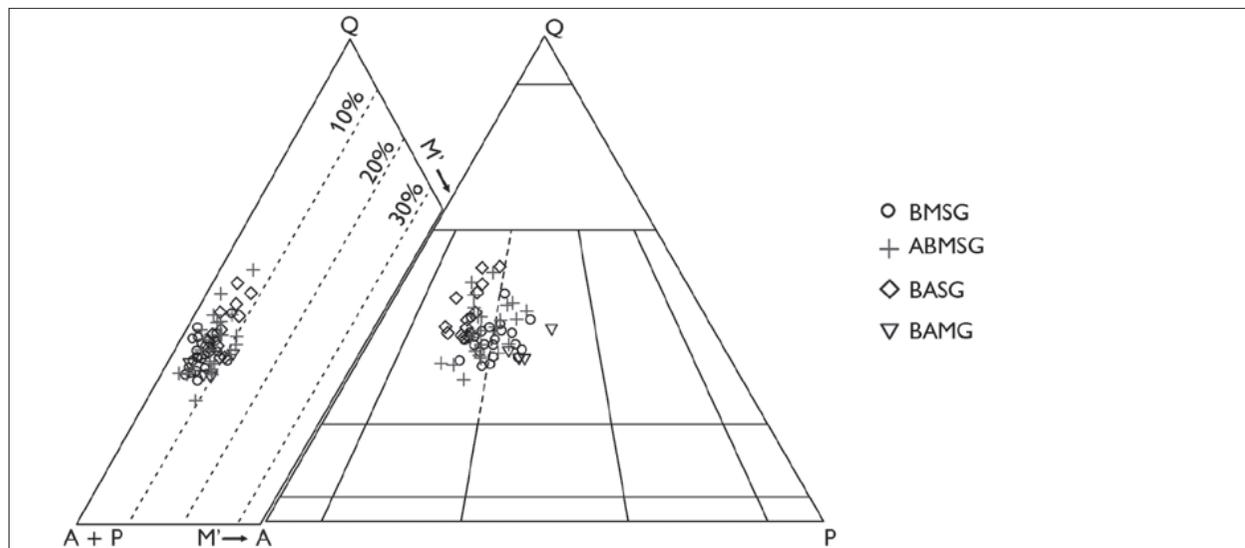


Figura 4. Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M' (Streckeisen, 1976; Le Maitre, 2002) para as fácies do Granito São João. Legendas: BMSG = biotita-monzogranito a sienogranito; ABMSG = anfibólio-biotita-monzogranito a sienogranito; BASG = biotita-anfibólio-sienogranito; BAMG = biotita-anfibólio-monzogranito.

Tabela 1. Composições modais (em percentagem de volume) representativas das diferentes fácies do Granito São João. Legendas: Anf = anfibólio; Bt = biotita; Fk = álcali feldspato; Pl = plagioclásio; BMSG = biotita-monzogranito a sienogranito; ABMSG = anfibólio-biotita-monzogranito a sienogranito; BASG = biotita-anfibólio-sienogranito; BAMG = biotita-anfibólio-monzogranito.

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

Algumas amostras dos BMSG apresentam albita intergranular com feições de coroas trocadas no contato entre cristais de álcali feldspato (Figura 5D).

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

intercrescidos com cristais de álcali feldspato, compondo intercrescimentos granofíricos.

O plagioclásio ocorre na forma de cristais subautomórficos, de hábito prismático a tabular, com maclamento albita, zoneamento normal e granulação fina a média. Mostra contatos irregulares, localmente retos, entre si e com cristais de quartzo, álcali feldspato, biotita e anfibólio. A porção central de alguns cristais mostra-se substituída por sericita e epidoto, indicando sua composição mais cálcica. Em algumas rochas da fácies ABMSG é possível observar aglomerados de plagioclásio em arranjo tipo *synneusis* (Vance, 1969; Figura 5F).

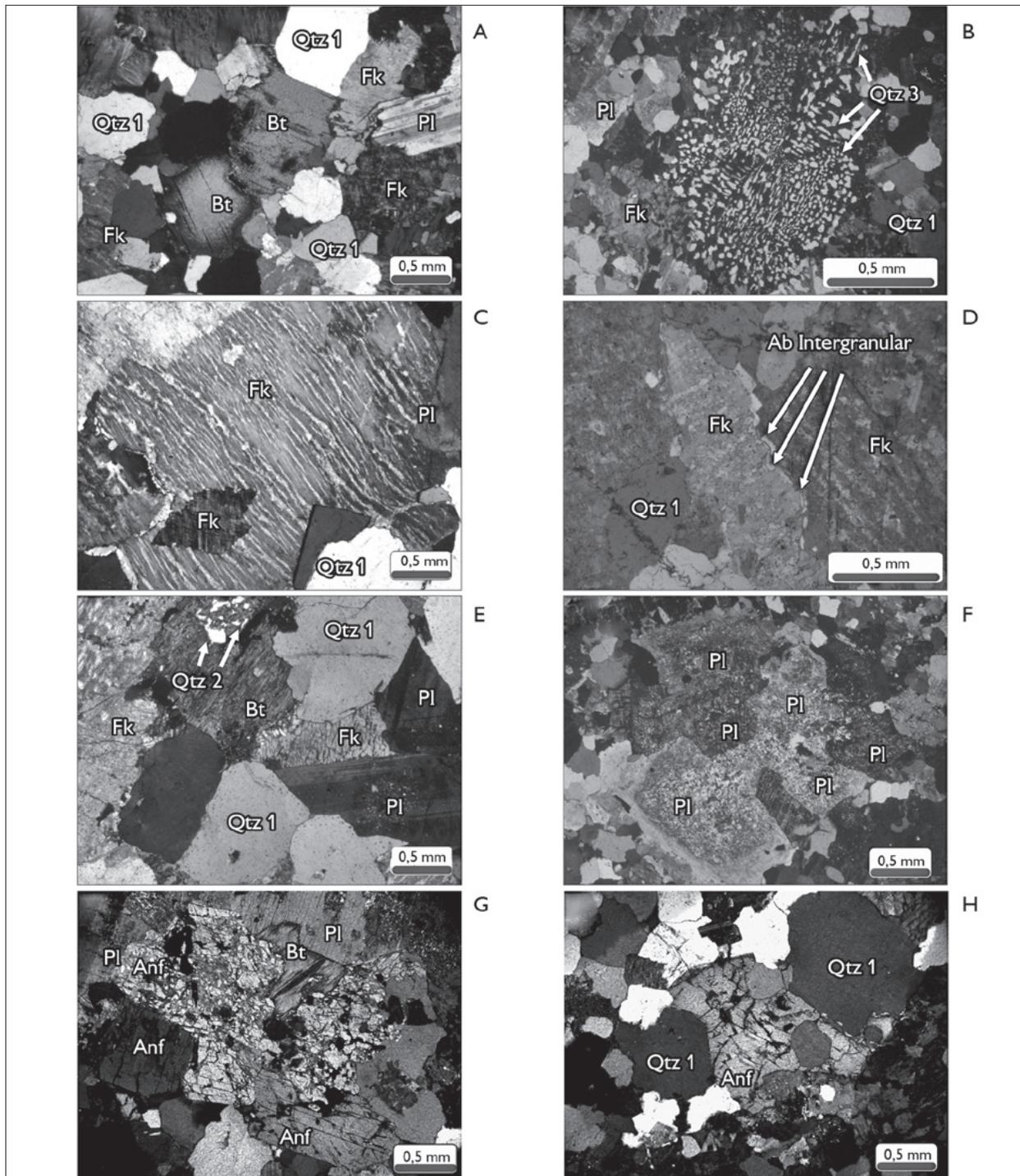


Figura 5. Texturas xenomórfica (A), granofírica (B) e perítica (C) presentes em todas as fácies do GSJ; (D) albita (Ab) intergranular mostrando 'coroas trocadas' no contato entre cristais de álcali feldspato (Fk) no BMSG; (E) variedades morfológicas de quartzo (Qtz 1 e Qtz 2); em (B) Qtz3 presentes no GSJ; (F) cristais de plagioclásio em relação de *synneusis*; (G) anfibólio (Anf) subédrico alterado para biotita (Bt) e associado a plagioclásio (Pl); (H) Anfibólio com inclusões e preenchendo espaços entre cristais de Qtz1.



Composições químicas determinadas opticamente pelo método Michel-Levy revelaram conteúdos de An de 29 e 32% para os BMSG e BAMG, respectivamente.

A biotita ocorre na forma de lamelas subautomórficas a xenomórficas de granulação fina ou média, geralmente associadas a agregados de minerais máficos nos ABMSG, BASG e BAMG. Apresenta contatos irregulares, por vezes retos, entre si e com os demais minerais, além de inclusões de apatita, zircão, allanita e opacos. Mostra substituição por cloritas ao longo das bordas e por minerais opacos granulares ao longo dos planos de clivagem.

Nos ABMSG, BASG e BAMG, o anfibólio do tipo homblenda ocorre de duas formas: 1) como cristais subédricos de granulação média ou fina, substituídos por biotita e associados ao plagioclásio (Figura 5G), por vezes inclusos no mesmo, evidenciando cristalização anterior ou concomitante ao feldspato; 2) na forma de cristais subédricos a anédricos, de granulação média ou fina, com contatos retos e regulares com cristais de quartzo, onde comumente se amoldam e preenchem os espaços, sugerindo cristalização posterior ou contemporânea ao quartzo (Figura 5H).

GEOQUÍMICA

PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

As análises químicas foram realizadas na ACME Analytical Laboratories Ltd. e envolveram a determinação de elementos maiores e menores (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , MnO , Na_2O , K_2O , P_2O_5), analisados por Inductively Coupled Plasma-Emission Spectrometry (ICP-ES), e de elementos-traço (Rb, Sr, Ba, Ga, Y, Zr, Nb, U, Th, Cr, Ni, V), incluindo os terras raras (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Yb e Lu), analisados por Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) nos pacotes 4A e 4B.

ELEMENTOS MAIORES E MENORES

A caracterização geoquímica do GSJ envolveu 23 amostras (Tabela 2), sendo oito dos BMSG, sete dos ABMSG, quatro dos BASG e quatro dos BAMG. A seleção das amostras levou em conta os dados petrográficos e sua distribuição espacial. Os conteúdos (em percentagem de peso) de SiO_2 variam de 70,5

Tabela 2. Análises químicas (% em peso) das diversas fácies do Granito São João. Legendas: BMSG = biotita-monzogranito a sienogranito; ABMSG = anfibólio-biotita-monzogranito a sienogranito; BASG = biotita-anfibólio-sienogranito; BAMG = biotita-anfibólio-monzogranito; A/CNK = $[\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}]_{\text{mol}}$; $\text{Fe}/\text{Mg} = \text{FeO}_f/(\text{FeO}_f + \text{MgO})$.

(Continua)

Fácies	BMSG								ABMSG			
	Amostra	PC-13	PC-16B	PCJ-39	PCJ-46	PC-18	PC-21	PCJ-20C	PCJ-45B	PC-02A	PCJ-31A	PCM-21
SiO_2	76,48	76,78	76,15	75,71	76,60	75,91	75,73	76,92	74,53	76,49	74,89	76,83
TiO_2	0,18	0,16	0,12	0,14	0,11	0,16	0,16	0,10	0,22	0,18	0,20	0,21
Al_2O_3	11,76	11,63	12,04	12,22	12,13	12,33	12,36	11,86	12,50	11,60	12,44	11,44
Fe_2O_3	1,98	1,91	1,81	1,81	1,45	1,76	1,84	1,37	2,74	2,14	2,31	2,13
FeO	1,24	1,10	0,95	1,04	0,78	1,02	0,96	0,82	0,85	0,95	1,43	1,04
MnO	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	< 0,01	0,03	0,02	0,04	0,04
MgO	0,09	0,08	0,02	0,09	0,07	0,12	0,08	0,07	0,06	0,05	0,10	0,08
CaO	0,63	0,64	0,58	0,66	0,61	0,67	0,55	0,74	0,75	0,55	0,75	0,52
Na_2O	2,91	3,02	3,47	3,17	3,15	3,18	3,13	3,26	3,49	3,19	3,41	3,21
K_2O	5,08	5,06	5,03	5,35	5,08	5,01	5,27	4,74	4,81	4,90	5,06	4,52
P_2O_5	0,04	0,02	< 0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02
LOI	0,70	0,60	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,80	0,60	0,70	0,60	0,80
Total	101,11	101,02	100,89	100,93	100,72	100,92	100,82	100,7	100,59	100,79	101,26	100,84



(Continua)

Fácies	BMSG								ABMSG			
Amostra	PC-13	PC-16B	PCJ-39	PCJ-46	PC-18	PC-21	PCJ-20C	PCJ-45B	PC-02A	PCJ-31A	PCM-21	PCM-30
Ba (ppm)	356	313	57	344	264	520	379	323	928	663	808	1.206
Rb	225,5	214,9	271,7	259,7	269,5	238,9	206,9	240,3	122,7	169,0	212,5	132,5
Sr	34,1	33,1	5,7	37,8	29,5	49,4	36,8	51,5	75,3	39,7	68,1	69,8
Zr	243,8	231,3	274,5	189,9	134,3	163,6	215,1	128,1	299,7	311,2	272,2	274,0
Nb	15,8	14,1	27,1	14,3	10,5	11,5	13,8	11,9	7,5	16,0	16,2	12,9
Y	49,8	55,1	84,8	68,5	56,2	53,4	60,3	50,4	39,7	51,9	56,3	45,6
Ga	18,0	18,3	21,8	19,5	17,8	18,3	18,6	19,7	19,6	18,5	19,3	16,1
Th	28,5	28,5	29,1	30,3	32,2	24,4	28,0	24,3	16,5	14,8	25,5	14,8
U	5,8	6,7	8,7	6,7	8,9	7,10	5,90	6,30	3,10	3,80	8,20	3,50
V	28,0	24,0	21,0	20,0	20,0	21,0	19,0	18,0	14,0	12,0	12,0	12,0
La	115,4	121,5	112,2	101,8	69,0	83,5	135,3	54,4	157,5	92,3	95,2	92,70
Ce	208,3	213,1	215,4	188,7	114,9	145,9	204,70	110,7	257,0	179,6	175,7	155,2
Pr	21,87	23,47	24,36	20,51	13,96	15,60	25,27	11,51	31,32	19,51	19,63	18,49
Nd	73,80	72,10	82,30	68,10	47,00	48,80	82,50	36,30	109,30	63,10	65,60	65,20
Sm	10,21	12,35	15,60	12,29	8,38	8,33	14,41	7,58	15,82	11,99	11,38	10,83
Eu	0,58	0,55	0,23	0,54	0,48	0,75	0,63	0,48	0,84	0,70	0,76	1,07
Gd	8,83	10,96	14,57	11,01	7,84	7,77	11,27	7,10	10,56	10,37	10,23	9,20
Tb	1,22	1,63	2,35	1,86	1,32	1,28	1,76	1,20	1,47	1,60	1,52	1,35
Dy	7,61	10,81	14,39	12,02	8,99	7,91	10,42	8,76	8,06	9,59	9,36	8,22
Ho	1,52	2,03	2,79	2,42	1,85	1,71	2,09	1,70	1,44	2,00	1,88	1,53
Er	4,99	6,15	8,71	7,94	5,95	5,90	6,40	5,42	4,11	6,37	5,77	4,87
Tm	0,79	0,89	1,37	1,20	0,95	0,89	0,91	0,95	0,58	0,87	0,89	0,67
Yb	4,79	5,90	8,29	7,13	6,44	5,91	5,60	6,41	3,83	5,29	5,66	4,39
Lu	0,83	0,88	1,25	1,08	1,00	0,86	0,88	0,91	0,53	0,79	0,82	0,67
Fe/Mg	0,97	0,97	0,99	0,97	0,97	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,97	0,98
K ₂ O/Na ₂ O	1,75	1,68	1,45	1,69	1,61	1,58	1,68	1,45	1,38	1,54	1,48	1,41
A/CNK	1,03	1,00	0,99	1,00	1,03	1,04	1,04	1,00	1,02	1,00	1,00	1,03
(La/Yb) _N	16,06	13,73	9,02	9,52	7,14	9,42	16,11	5,66	27,42	11,63	11,21	14,08
(La/Sm) _N	6,95	6,05	4,42	5,10	5,07	6,17	5,78	4,41	6,12	4,74	5,15	5,27
Eu/Eu*	0,19	0,15	0,05	0,14	0,18	0,29	0,15	0,20	0,20	0,19	0,22	0,33

Fácies	ABMSG			BASG				BAMG			
Amostra	PC-03B	PCJ-21	PCM-32	PCM-19	PCM-28	PCM-31	PCM-13	PCM-10	PCM-51	PCM-52	PCM-53
SiO ₂	76,51	76,78	75,51	75,37	75,93	76,56	76,29	70,57	71,36	73,23	73,48
TiO ₂	0,20	0,19	0,21	0,22	0,32	0,23	0,17	0,61	0,53	0,39	0,39
Al ₂ O ₃	11,72	11,31	11,74	12,10	11,42	11,35	11,88	12,83	12,89	12,54	12,24
Fe ₂ O ₃	2,04	2,14	2,14	2,38	2,81	2,45	2,01	4,73	4,01	3,16	3,19
FeO	1,08	1,03	0,95	1,27	1,26	1,18	0,71	3,18	2,74	2,00	1,85



(Conclusão)

Fácies	ABMSG			BASG				BAMG			
Amostra	PC-03B	PCJ-21	PCM-32	PCM-19	PCM-28	PCM-31	PCM-13	PCM-10	PCM-51	PCM-52	PCM-53
MnO	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02	0,07	0,06	0,05	0,05
MgO	0,07	0,08	0,12	0,07	0,11	0,07	0,04	0,51	0,40	0,30	0,29
CaO	0,72	0,62	0,66	0,72	0,82	0,49	0,37	2,15	1,66	1,24	1,09
Na ₂ O	3,15	3,11	3,24	3,38	3,16	2,94	3,18	3,57	3,53	3,40	3,27
K ₂ O	4,83	4,65	4,82	4,92	4,46	5,07	5,15	3,86	4,11	4,66	4,81
P ₂ O ₅	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02	0,18	0,14	0,09	0,09
LOI	0,50	0,90	1,30	0,60	0,60	0,60	0,70	0,70	0,90	0,70	0,90
Total	100,87	100,86	100,75	101,09	100,97	100,99	100,54	102,96	102,33	101,76	101,65
Ba (ppm)	1.181	808	1.335	993	1.507	687	398	1.624	1.826	1.213	1.108
Rb	136,80	160,90	131,30	147,50	123,80	142,40	208,70	93,70	145,30	147,00	148,40
Sr	71,20	50,00	74,10	60,10	89,80	34,80	26,50	172,80	153,60	100,50	90,60
Zr	311,80	279,90	341,70	378,10	416,20	404,40	289,30	383,60	391,00	317,10	298,30
Nb	13,10	15,20	11,80	14,00	15,90	15,40	16,30	11,20	17,30	12,90	11,90
Y	41,50	66,70	36,80	35,50	84,20	46,90	61,50	35,20	157,10	40,80	43,90
Ga	16,00	17,00	16,20	17,30	16,80	17,20	17,50	16,90	18,80	17,30	16,60
Th	12,50	17,20	12,70	12,10	12,50	14,90	20,60	10,40	14,10	13,70	16,20
U	3,40	4,10	3,20	3,00	3,10	2,80	4,80	2,10	4,70	2,70	2,10
V	12,00	12,00	8,00	10,00	11,00	< 8,0	< 8,0	26,00	17,00	14,00	14,00
La	80,40	113,90	71,20	71,10	225,80	108,70	126,30	63,50	159,40	71,50	122,70
Ce	140,20	201,80	131,40	128,30	190,70	239,30	234,20	116,40	221,50	131,30	177,10
Pr	16,77	23,17	14,89	14,48	42,72	24,66	26,49	13,31	31,77	14,99	22,19
Nd	58,10	81,00	53,20	48,50	151,70	83,50	92,70	47,60	128,40	53,20	76,40
Sm	9,64	13,71	8,58	8,82	23,43	13,94	14,71	8,00	21,77	9,40	10,79
Eu	1,05	0,91	1,01	0,92	2,54	0,83	0,45	1,80	3,72	1,22	1,27
Gd	8,37	12,52	7,61	7,94	18,85	10,88	13,03	7,26	23,87	8,05	9,47
Tb	1,28	1,87	1,09	1,17	2,57	1,59	1,87	1,08	3,66	1,23	1,37
Dy	7,12	10,56	6,45	7,24	14,42	9,54	10,98	6,55	23,40	7,56	8,12
Ho	1,43	2,33	1,35	1,32	2,70	1,73	2,27	1,34	5,01	1,51	1,52
Er	4,52	7,03	3,96	4,35	7,89	5,39	6,68	3,98	15,13	4,13	4,85
Tm	0,67	1,02	0,63	0,63	1,14	0,81	0,98	0,61	2,15	0,66	0,70
Yb	4,44	5,96	3,80	3,86	7,26	4,81	6,56	4,09	13,07	3,91	4,19
Lu	0,63	0,90	0,58	0,62	1,01	0,77	0,95	0,54	1,86	0,62	0,65
Fe/Mg	0,98	0,98	0,96	0,98	0,97	0,98	0,99	0,94	0,94	0,95	0,95
K ₂ O/Na ₂ O	1,53	1,50	1,49	1,46	1,41	1,72	1,62	1,08	1,16	1,37	1,47
A/CNK	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,01	1,04	0,92	0,97	0,97	0,97
(La/Yb) _N	12,07	12,74	12,49	12,28	20,73	15,07	12,84	10,35	8,13	12,19	19,52
(La/Sm) _N	5,13	5,11	5,10	4,96	5,93	4,80	5,28	4,88	4,50	4,68	7,00
Eu/Eu*	0,36	0,21	0,38	0,34	0,37	0,21	0,10	0,73	0,5	0,43	0,39



a 76,9%, média de 75,4%, com os BAMG apresentando os menores valores (70,0 a 73,0%). As variações de SiO_2 , assim como dos outros elementos maiores e menores, podem ser melhor visualizadas nos diagramas tipo Harker (Figura 6). A disposição das amostras nesses diagramas mostra um *trend* composicional contínuo e um pequeno *gap* em SiO_2 , com BAMG ($\text{SiO}_2 < 74\%$) e demais fácies ($\text{SiO}_2 > 74\%$), ressaltado nos diagramas envolvendo correlações com TiO_2 , CaO , MgO , P_2O_5 e FeO_t . Com o aumento do teor de SiO_2 , os teores de TiO_2 , MgO , FeO_t , CaO e P_2O_5 tendem a diminuir

e os conteúdos de K_2O a aumentar no sentido BAMG-BASG-ABMSG-BMSG. Tal fato é coerente com as observações petrográficas, que mostram que as razões plagioclásio/álcali feldspato (Pl/Fk) e anfíbólio/biotita (Anf/Bt), juntamente com os conteúdos modais de minerais ferromagnesianos, decrescem neste mesmo sentido. Os teores de K_2O variam de 3,8 a 5,3%, e tendem a crescer paralelamente aos de SiO_2 , o inverso do observado com o Na_2O (Figura 6). As razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ situam-se entre 1 e 2 (Figura 7A), o que caracteriza as diferentes fácies do GSJ como relativamente enriquecidas em K_2O .

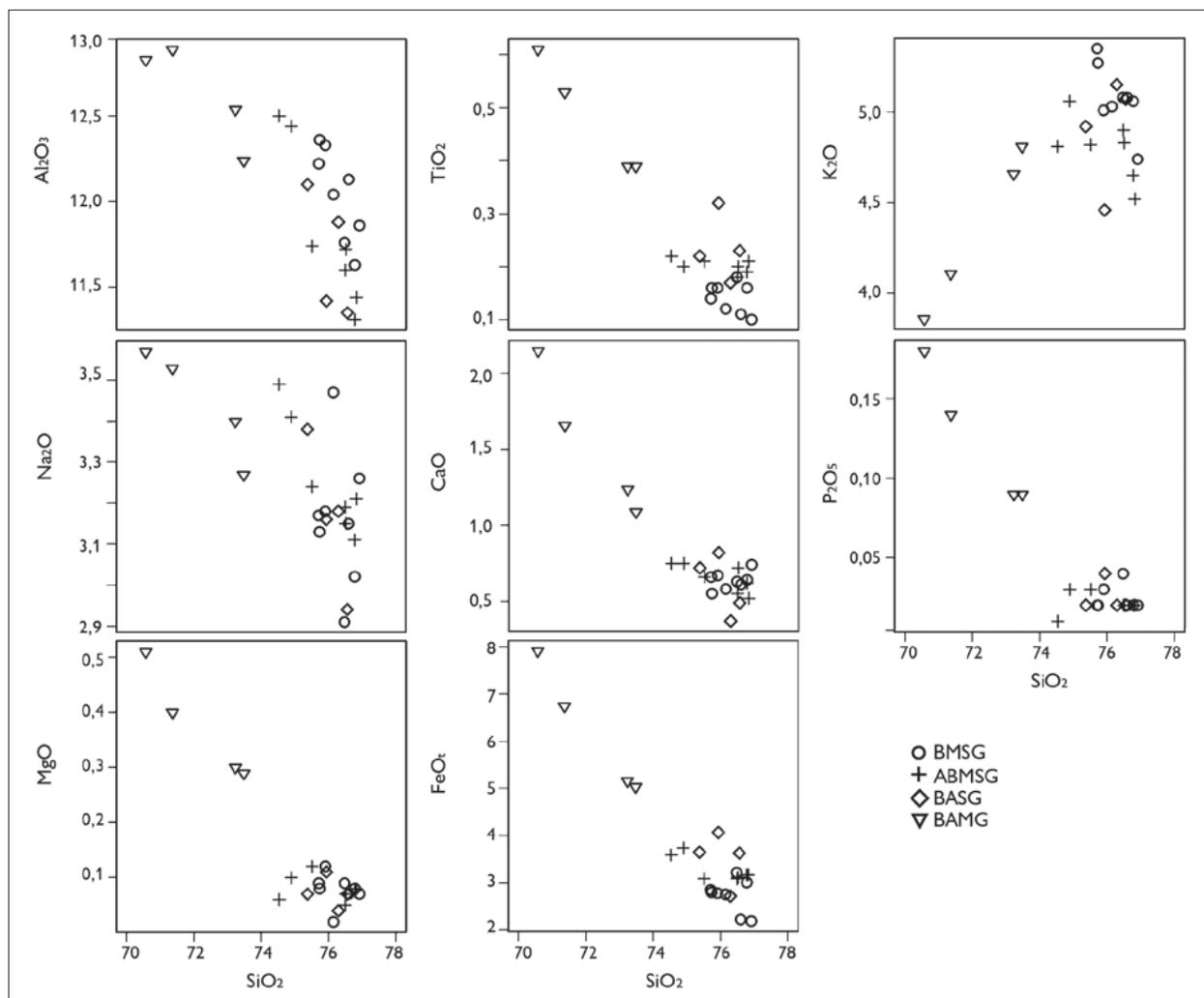


Figura 6. Diagramas de Harker para os elementos maiores e menores (% em peso) das diversas fácies do GSJ. Legenda: BMSG = biotita-monzogranito a sienogranito; ABMSG = anfíbólio-biotita-monzogranito a sienogranito; BASG = biotita-anfíbólio-sienogranito; BAMG = biotita-anfíbólio-monzogranito.

O GSJ possui natureza metaluminosa a fracamente peraluminosa, conforme mostrado nos diagramas A/NK versus A/CNK (Figura 7B) e $Fe+Mg+Ti$ versus $Al-(K+Na+2Ca)$ (Figura 7C), onde, com a diminuição do teor dos minerais máficos, as rochas passam de metaluminosas (campo IV – hornblenda + biotita) para peraluminosas (campo III – apenas biotita).

O diagrama R_1-R_2 (De la Roche *et al.*, 1980) mostra que as diversas fácies do GSJ (Figura 7D) plotam no campo dos granitos e tendem a se alinhar segundo o *trend* subalcalino (SUALK), afastando-se do *trend* cálcio-alkalino (CAA).

Esse comportamento é similar ao dos granitos proterozoicos tipo A da Província Amazônia Central (Dall'Agnol *et al.*, 1994) e dos granitos Cigano e Serra dos Carajás (Barros *et al.*, 1995).

ELEMENTOS-TRAÇO

Comportamento de Rb, Sr e Ba

Os teores dos elementos-traço das rochas do GSJ variam sistematicamente acompanhando a evolução das fácies petrográficas e podem auxiliar na compreensão dos

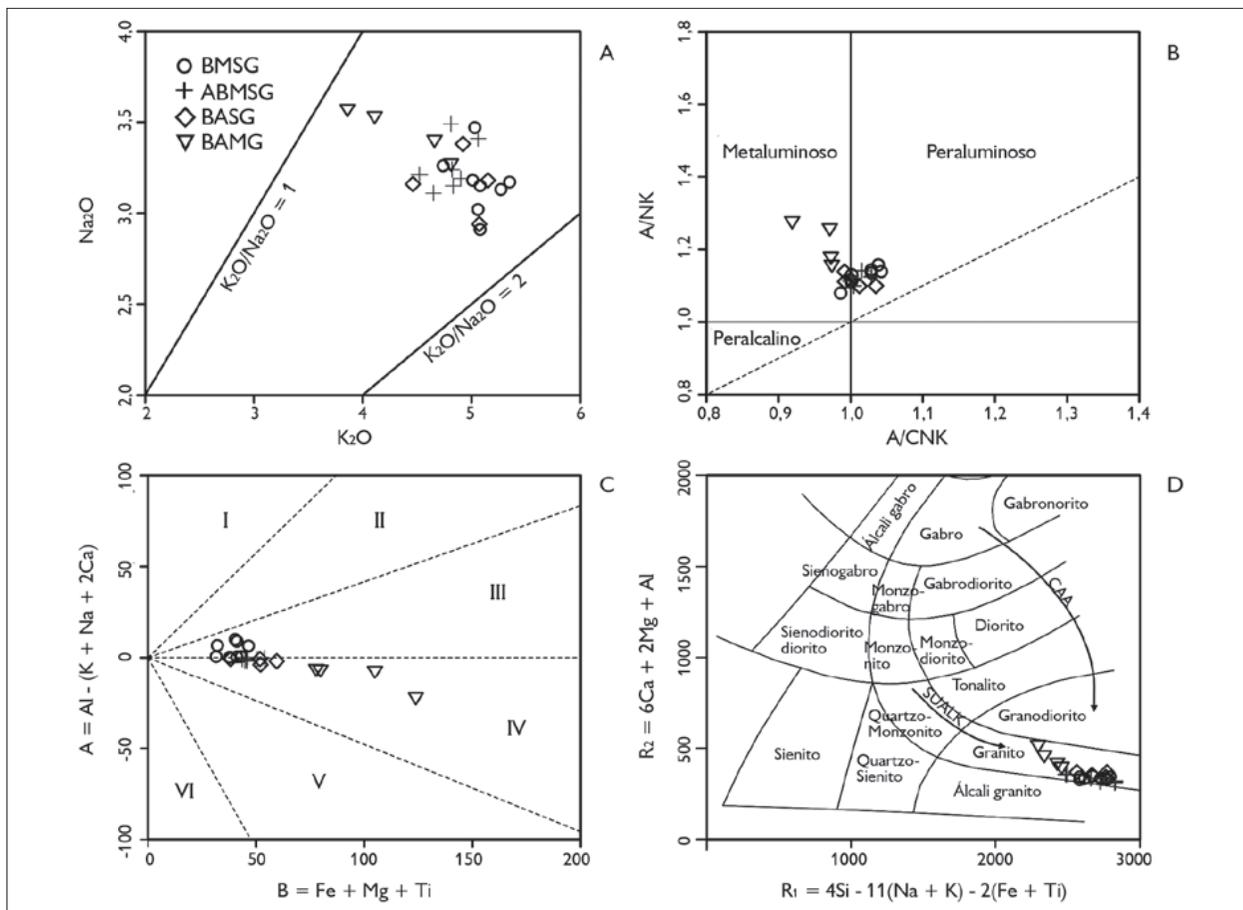


Figura 7. Diagramas geoquímicos para as diversas fácies do GSJ. A) Diagrama Na_2O versus K_2O . B) Diagrama $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)_{mol}$ versus $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)_{mol}$ (Shand, 1950). C) Diagrama B versus A (Debon *et al.*, 1988); Campos: I – muscovita > biotita; II – biotita > muscovita; III – rochas somente com biotita; IV – rochas com biotita, anfíbólio ± piroxênio; V – rochas com clinopiroxênio; VI – rochas ígneas excepcionais. D) Diagrama R_1-R_2 (De la Roche *et al.*, 1980), indicando afinidade subalcalina para o GSJ. SUALK = subalcalino; CAA = cálcio-alkalino; BMSG = biotita-monzogranito a sienogranito; ABMSG = anfíbólio-biotita-monzogranito a sienogranito; BASG = biotita-anfíbólio-sienogranito; BAMG = biotita-anfíbólio-monzogranito.

processos envolvidos nesta evolução. Os diagramas de variação dos elementos-traço (Figura 8) mostram que o Rb, a despeito de alguma dispersão, enriquece no sentido BAMG-BASG-ABMSG-BMSG, refletindo seu caráter incompatível, enquanto Sr e Ba diminuem e se comportam como elementos nitidamente compatíveis durante a evolução do corpo São João. Essa correlação indica que o Sr se concentrou preferencialmente nos plagioclásios de composições intermediárias (andesina a oligoclásio cálcico) e, subordinadamente, no feldspato potássico, e que o fracionamento desses dois minerais empobrecceu o líquido magmático em Sr. Por outro lado, o Ba é comum no feldspato potássico e nas micas, mas teores significativos podem ocorrer em plagioclásios intermediários (Wedepohl, 1970). No GSJ, a diminuição dos teores de Ba deve estar ligada ao fracionamento da biotita e do plagioclásio, e, em menor proporção, ao do feldspato potássico, uma vez que o K_2O , assim como o Rb, aumenta com o fracionamento.

Comportamento de Zr, Y e Nb

O Zr mostra correlação negativa com SiO_2 (Figura 8), sendo mais elevado nos BAMG e BASG (416 a 289 ppm), diminuindo no sentido dos BMSG (274 a 128 ppm). A redução de Zr muito provavelmente está ligada ao fracionamento do zircão, fase precoce nessas rochas. Y e Nb apresentam comportamento irregular, formando *trends* sub-horizontais (Y) a difusos (Nb) das rochas BAMG para as BMSG (não mostrados).

Comportamento dos elementos terras raras

Para o estudo dos elementos terras raras (ETR), os dados analíticos foram normalizados pelos valores condríticos de Nakamura (1974). As fácies do GSJ apresentam padrões de ETR semelhantes, com enriquecimento dos elementos terras raras leves (ETRL) em relação aos pesados (ETRP) e um leve fracionamento desses últimos, proporcionando um padrão sub-horizonta (Figura 9). As razões $(La/Yb)_N$ das fácies do GSJ são muito próximas, com valor máximo

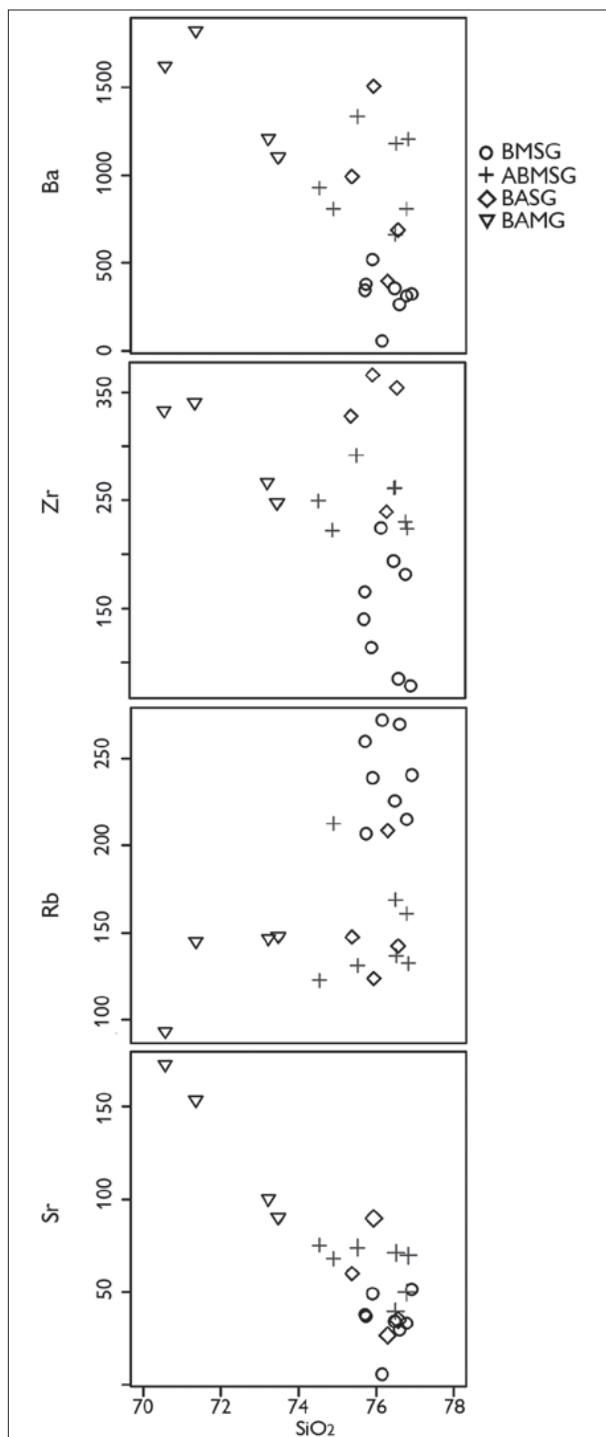


Figura 8. Diagramas de Harker (ppm) das diversas fácies do GSJ. Legendas: BMSG = biotita-monzogranito a sienogranito; ABMSG = anfibólio-biotita-monzogranito a sienogranito; BASG = biotita-anfibólio-sienogranito; BAMG = biotita-anfibólio-monzogranito.

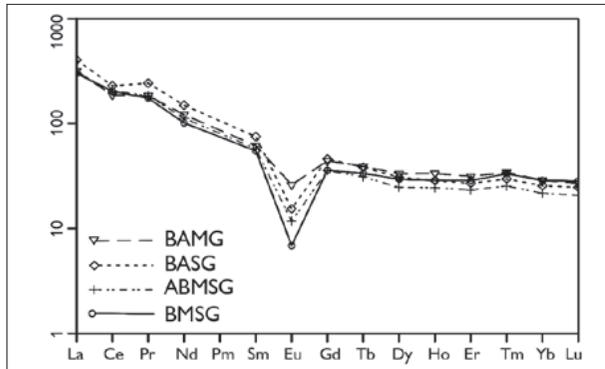


Figura 9. Média dos padrões de distribuição dos ETR para as amostras representativas das diversas fácies do Granito São João. Legendas: BMSG = biotita-monzogranito a sienogranito; ABMSG = anfibólio-biotita-monzogranito a sienogranito; BASG = biotita-anfibólio-sienogranito; BAMG = biotita-anfibólio-monzogranito.

de 15,2 nos BASG e mínimo de 10,8 nos BMSG (Tabela 2). Todas as fácies exibem anomalia negativa de Eu, com razão Eu/Eu^* média de 0,51 nos BAMG e 0,17 nos BMSG.

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

De modo geral, as diversas fácies do GSJ mostram teores mais elevados de ETRL em relação aos ETRP, um

padrão sub-horizontalizado desses últimos, além de anomalias negativas de Eu mais acentuadas no sentido BAMG-BASG-ABMSG-BMSG. O padrão de fracionamento apresentado pelas fácies do GSJ mostra boa correlação com aquele dos granitos da Suíte Jamon (Dall'Agnol *et al.*, 2005), embora com menor fracionamento dos ETRP, e difere daquele apresentado pelos granitos estaníferos da Suíte Velho Guilherme (Teixeira *et al.*, 2005), os quais exibem anomalias negativas de Eu bem mais pronunciadas ($Eu/Eu^* = 0,33$ a 0,006) e valores sistematicamente baixos da razão $(Gd/Lu)_N$ (0,90 a 0,38), indicando enriquecimento dos ETRP (por exemplo, granitos Velho Guilherme, Mocambo, Ubim/Sul).

TIPOLOGIA E AMBIENTE TECTÔNICO

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

Nos diagramas Zr versus Ga/Al e FeO_t/MgO versus Zr+Nb+Ce+Y (Whalen *et al.*, 1987), o GSJ plota no campo dos granitos tipo A (Figuras 10A-10B), enquanto no diagrama Rb versus Y+Nb (Pearce *et al.*, 1984) o GSJ mostra afinidades geoquímicas com granitos intraplaca do tipo A (Figura 10C). No diagrama $FeO_t/(FeO_t+MgO)$ versus SiO_2 , proposto por Frost *et al.* (2001) para classificar granitoides com base nas condições de oxidação, as amostras do GSJ apresentam razões $FeO_t/(FeO_t+MgO)$ sempre $> 0,9$ e incidem no

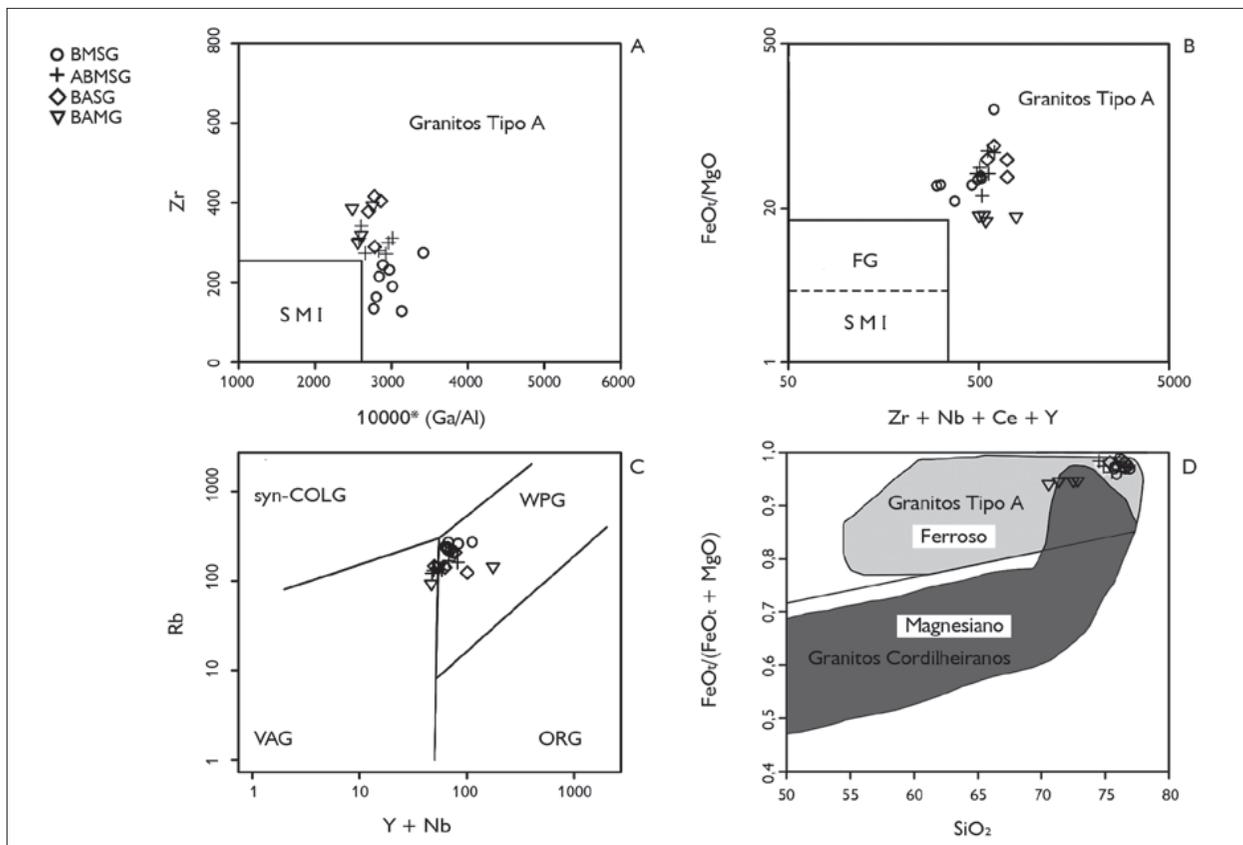


Figura 10. Diagramas geoquímicos para as rochas do GSJ. A) Zr versus Ga/Al (Whalen *et al.*, 1987); B) FeO_t/MgO versus Zr+Nb+Ce+Y (Whalen *et al.*, 1987); S, M e I = média dos granitos tipo S, M e I não fracionados; FG = granitos félsicos fracionados. C) Rb versus Y+Nb (Pearce *et al.*, 1984): syn-COLG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

campo dos granitos ferrosos, mostrando comportamento semelhante ao de granitos tipo A (Figura 10D).

Granitos tipo A podem ser divididos geoquimicamente nos subtipos A_1 e A_2 (Eby, 1992). O tipo A_1 corresponderia aos diferenciados magmáticos derivados de uma fonte semelhante a basaltos de ilhas oceânicas (OIB), porém colocados em ambiente de *rift* continental ou de magmatismo intraplacas (*hot spot*). O tipo A_2 representaria magmas derivados parcial ou totalmente de fontes da crosta continental ou de magmatismo de arco de ilha (IAB). O GSJ se enquadra no subtipo A_2 (Figura 11), o que sugere que o magma a partir do qual suas rochas cristalizaram teve origem a partir de uma fonte crustal. Além disso, as rochas

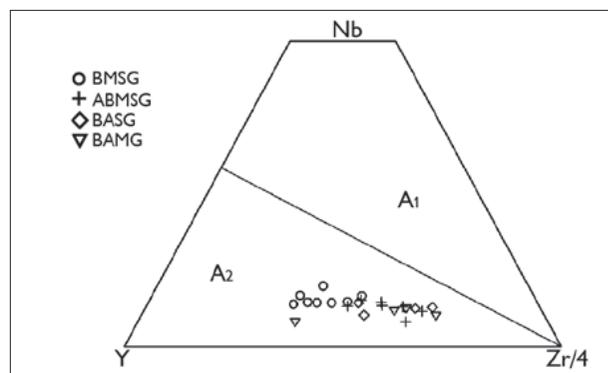


Figura 11. Diagrama Y-Nb-Zr/4 (Eby, 1992) discriminando subtipos A_1 e A_2 de granitos tipo A para as rochas do GSJ. Legendas: BMSG = biotita-monzogranito a sienogranito; ABMSG = anfíbólio-biotita-monzogranito a sienogranito; BASG = biotita-anfíbólio-sienogranito; BAMG = biotita-anfíbólio-monzogranito.

do GSJ possuem razão Y/Nb entre 2,5 e 9,1, indicativa de rochas derivadas de fonte quimicamente similar a basaltos de margem continental ou de arco de ilhas (Eby, 1992).

Dall'Agnol & Oliveira (2007) propuseram diagramas geoquímicos envolvendo óxidos de elementos maiores para distinguir granitos tipo A de granitos cálcio-alcálicos, bem como granitos oxidados de granitos reduzidos. Nos diagramas $CaO + Al_2O_3$ versus $CaO/(FeO_t + MgO + TiO_2)$ e Al_2O_3 versus $CaO/(FeO_t + MgO + TiO_2)$, o GSJ se afasta do campo dos granitos cálcio-alcálicos e plota predominantemente

no campo dos granitos tipo A (Figuras 12A-12B). Nos diagramas Al_2O_3 versus $FeO_t/(FeO_t + MgO)$ e $Al_2O_3/(K_2O/Na_2O)$ versus $FeO_t/(FeO_t + MgO)$, as amostras do GSJ incidem inteiramente no campo dos granitos tipo A reduzidos, com os BAMG ocorrendo no limite com o campo de granitos oxidados (Figuras 12C-12D).

SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA

Foram realizadas medidas de suscetibilidade magnética (SM) em 52 amostras do GSJ, onde os valores variam de

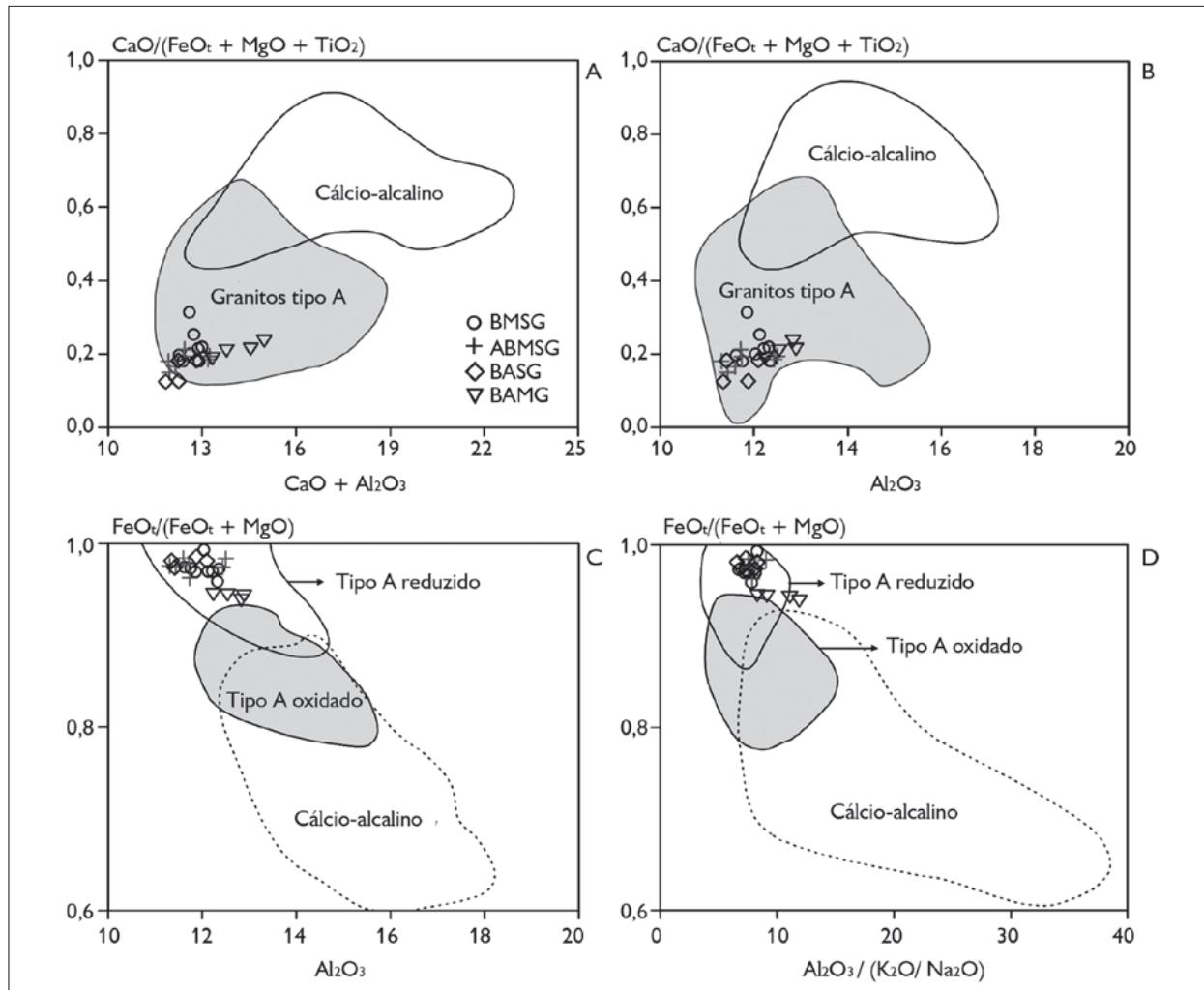


Figura 12. Diagramas geoquímicos (Dall'Agnol & Oliveira, 2007) mostrando os campos composicionais de granitos tipo A e cálcio-alcálicos (A e B), bem como granitos tipo A oxidados/reduzidos e cálcio-alcálicos (C e D). Legendas: BMSG = biotita-monzogranito a sienogranito; ABMSG = anfibólio-biotita-monzogranito a sienogranito; BASG = biotita-anfibólio-sienogranito; BAMG = biotita-anfibólio-monzogranito.

$1,26 \times 10^{-4}$ Slv a $5,95 \times 10^{-3}$ Slv, com média de $1,80 \times 10^{-3}$ Slv. Os dados de SM foram avaliados com base em histograma e polígono de frequência (Figuras 13A-13B) e revelaram uma distribuição claramente bimodal do conjunto de amostras do corpo, observando-se dois picos distintos nos valores de log -3,0 e -2,4, com a maior parte das amostras (48%) concentrando-se entre log de -3,0 a -2,8. A utilização dos dados de SM em diagramas requer escala logarítmica, uma vez que a partir desses dados há uma melhor estabilização da variância (Larsson, 1977) e seus valores de SM são expressos em unidades de volume (Slv). A distribuição dos valores logarítmicos de SM permitiu elaborar o gráfico de probabilidade normal (Figura 13C), o qual permitiu diferenciar seis populações magnéticas, denominadas A, B, C, D, E e F, as quais foram definidas a partir de segmentos de reta com diferentes inclinações que unem grupos de intervalos alinhados segundo esses mesmos segmentos, partindo dos menores para os maiores valores de SM.

RELAÇÃO ENTRE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E FÁCIES PETROGRÁFICAS DO GSJ

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

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

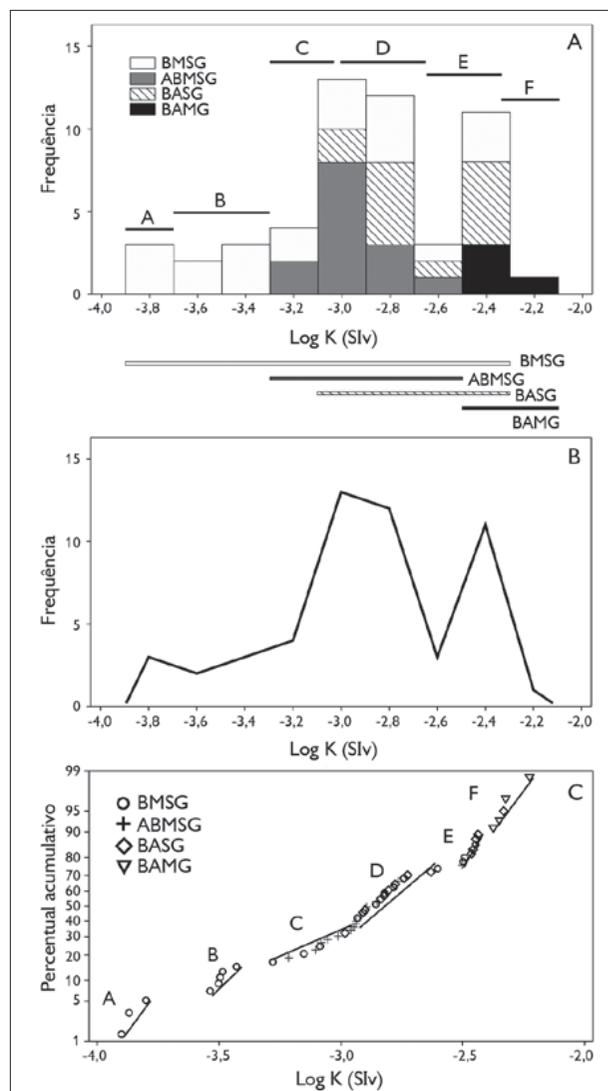


Figura 13. Gráficos de suscetibilidade magnética do GSJ: A) histograma de frequência mostrando a distribuição das diversas fácies do GSJ; B) polígono de frequência revelando dois picos principais; C) gráfico de probabilidade normal. Legendas: BMSG = biotita-monzogranito a sienogranito; ABMSG = anfíbólio-biotita-monzogranito a sienogranito; BASG = biotita-anfíbólio-sienogranito; BAMG = biotita-anfíbólio-monzogranito. Os segmentos indicam os valores de suscetibilidade magnética das seis populações magnéticas.

A população C, correspondendo a 15,3% do total analisado, engloba as amostras com valores intermediários de suscetibilidade magnética, os quais variam de $5,253 \times 10^{-4}$ a $9,733 \times 10^{-4}$ Slv, com média de $7,675 \times 10^{-4}$ Slv. É formada principalmente por rochas da fácies ABMSG que

Tabela 3. Dados de suscetibilidade magnética do Granito São João. Legenda: K = valor médio de suscetibilidade magnética em volume de cada amostra no Sistema Internacional.

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

se concentram caracteristicamente na parte superior da população. Rochas da fácies BMSG ocorrem de maneira subordinada ao longo desta população.

A população D representa 44,23% das amostras estudadas, com valores de suscetibilidade magnética que variam de $1,039 \times 10^{-3}$ a $2,500 \times 10^{-3}$ Slv, com média de $1,724 \times 10^{-3}$ Slv. Esta população é bastante heterogênea em termos de litotipos, sendo formada principalmente por rochas das fácies BASG e ABSMG e, em menor número, da fácies BMSG.

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

A população F reúne 9,6% do total de medidas realizadas e corresponde às amostras de maior suscetibilidade magnética do GSJ. É formada predominantemente por

rochas da fácies mais enriquecida em minerais máficos (BAMG) e uma rocha da fácies BASG. Os valores de suscetibilidade magnética apresentam variação limitada entre $4,217 \times 10^{-3}$ e $5,950 \times 10^{-3}$ SIv, com média de $4,808 \times 10^{-3}$ SIv.

RELAÇÃO ENTRE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Os valores de suscetibilidade magnética do GSJ mostram uma correlação positiva com Fe_2O_{3t} , FeO, MgO e CaO (Figuras 14A-14D), apesar de algumas superposições e um

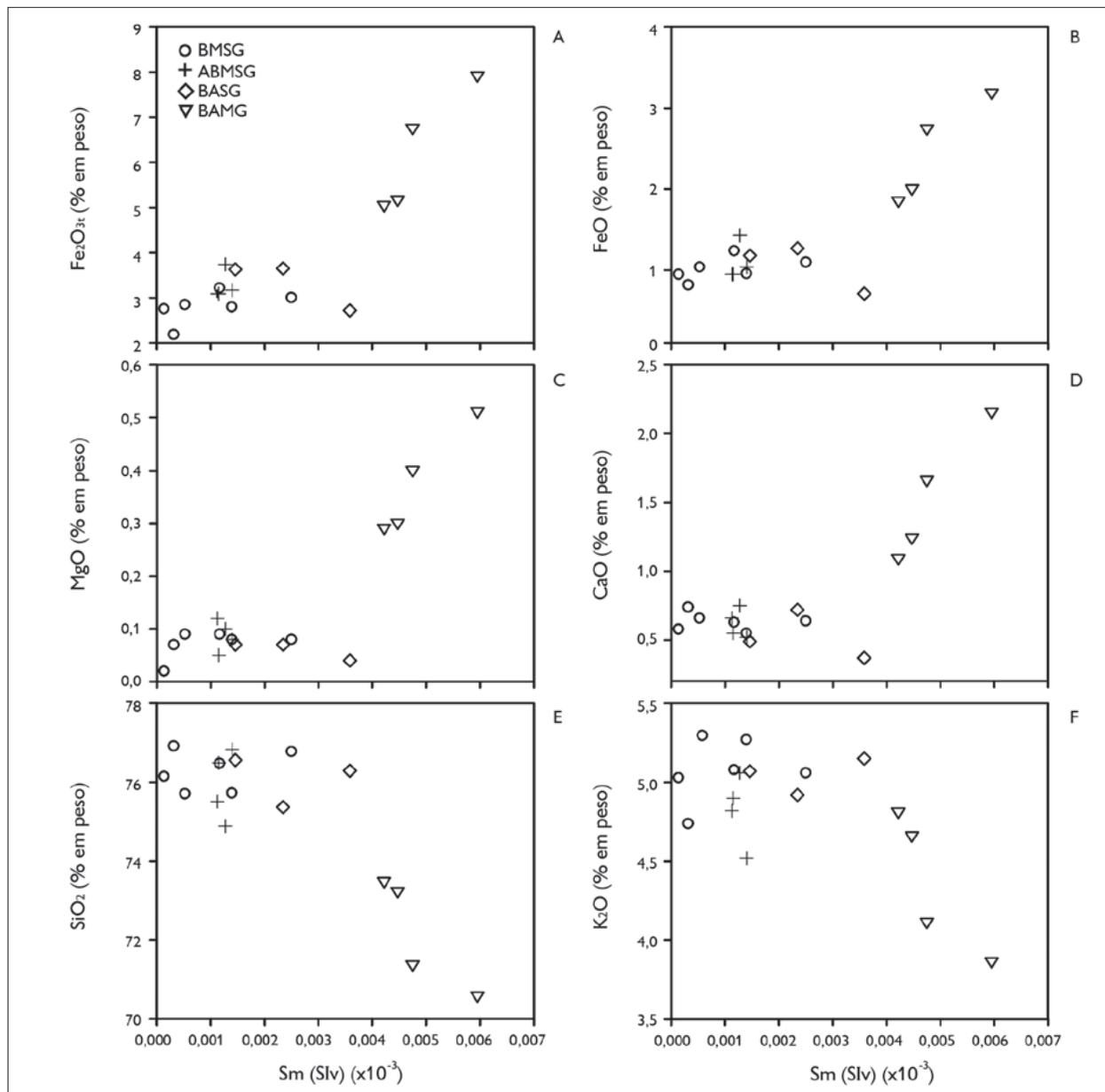


Figura 14. Diagramas mostrando as relações entre valores de suscetibilidade magnética e o conteúdo de: A) Fe_2O_{3t} ; B) FeO; C) MgO; D) CaO; E) SiO_2 ; F) K_2O . Legendas: BMSG = biotita-monzogranito a sienogranito; ABMSG = anfíbólio-biotita-monzogranito a sienogranito; BASG = biotita-anfíbólio-sienogranito; BAMG = biotita-anfíbólio-monzogranito.



pequeno *gap* composicional entre as rochas das fácies BAMG e BASG. Os BAMG e BASG são as rochas mais precoces e enriquecidas naqueles óxidos, assumindo-se a cristalização fracionada como principal processo de evolução do GSJ. Por sua vez, os ABMSG e BMSG, mais evoluídos, possuem valores de suscetibilidade magnética comparativamente mais baixos. Essa característica é reforçada pela correlação negativa entre os valores de suscetibilidade magnética *versus* SiO_2 e K_2O (Figuras 14E-14F), mostrando que a diminuição nos valores de suscetibilidade magnética se dá paralelamente à evolução magmática do corpo. Em linhas gerais, as rochas do GSJ apresentam valores de suscetibilidade magnética que aumentam no sentido BMSG-ABMSG-BASG-BAMG, ou seja, dos termos mais evoluídos para os menos evoluídos.

DISCUSSÃO

O GRANITO SÃO JOÃO E AS SUÍTES GRANÍTICAS DA PROVÍNCIA CARAJÁS

Apesar de ter sido enquadrado preliminarmente na Suíte Jamon (Dall'Agnol *et al.*, 2005), o GSJ só foi estudado em detalhe recentemente (P. H. A. Lima, 2011, em seu Trabalho de Conclusão de Curso intitulado 'Geologia, petrografia e geocronologia do Granito São João, Província Carajás, SSE do Pará'). Considerando sua similaridade e modo de ocorrência com os outros granitos anorogênicos que formam as suítes Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme, torna-se importante uma comparação entre eles com base nos dados petrográficos, geoquímicos e de suscetibilidade magnética aqui apresentados.

Em termos petrográficos, o GSJ é formado por rochas monzograníticas a sienograníticas com conteúdo de minerais máficos predominantemente < 10%. Comportamento semelhante é observado na Suíte Serra dos Carajás, formada igualmente por monzogranitos e sienogranitos com conteúdo de máficos geralmente < 15%. Por outro lado, na Suíte Jamon dominam monzogranitos, com sienogranitos subordinados, com teores de minerais máficos entre 15% e 5%, podendo

chegar a 20% nas fácies menos evoluídas, enquanto na Suíte Velho Guilherme sienogranitos são mais abundantes que monzogranitos e álcali feldspato-granitos. A ausência de titanita magmática é uma feição característica em todas as fácies do GSJ, assim como nas rochas da Suíte Serra dos Carajás, onde ela é rara ou ausente (Javier Rios *et al.*, 1995; Barros *et al.*, 1995). Na Suíte Jamon, titanita magmática é uma fase comum, juntamente com zircão, apatita, magnetita, ilmenita e allanita. Na Suíte Velho Guilherme, os sienogranitos dominantes não contêm titanita ou magnetita e são enriquecidos em fluorita, com esporádica monazita e xenótímio, além de topázio e siderofilita (Dall'Agnol *et al.*, 2005).

Em termos geoquímicos, todos os granitos são metaluminosos a fracamente peraluminosos (Figura 15A), possuem afinidades com granitos intraplaca do tipo A (Whalen *et al.*, 1987; Pearce *et al.*, 1984) e incidem no campo dos granitos do subtipo A_2 (Eby, 1992). No diagrama Na_2O *versus* K_2O (Figura 15B), as razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ do GSJ apresentam valores entre 1 e 2, superpõem-se aquela dos granitos da Suíte Serra dos Carajás e aumentam gradualmente com a diferenciação magmática. No diagrama $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t + \text{MgO})$ *versus* SiO_2 (Figura 15C), a distribuição das rochas do GSJ coincide inteiramente com aquela dos granitos da Suíte Serra dos Carajás e apenas parcialmente com a das rochas das suítes Jamon e Velho Guilherme. No diagrama $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t + \text{MgO})$ *versus* Al_2O_3 (Figura 15D), plotam no campo dos granitos tipo A reduzidos, juntamente com os granitos da Suíte Velho Guilherme e parte da Suíte Serra dos Carajás, afastando-se do campo dos granitos tipo A oxidados, como os da Suíte Jamon. De modo geral, o GSJ mostra padrões de ETR (Figura 9) similares aos dos demais granitos anorogênicos que formam a Suíte Serra dos Carajás (Barros *et al.*, 1995), com elevados teores de elementos terras raras leves, padrão sub-horizontalizado dos elementos terras raras pesados e moderadas anomalias negativa de európio.

Magnetita e ilmenita (< 1%) são os óxidos de Fe-Ti presentes nos granitos da Suíte Serra dos Carajás e

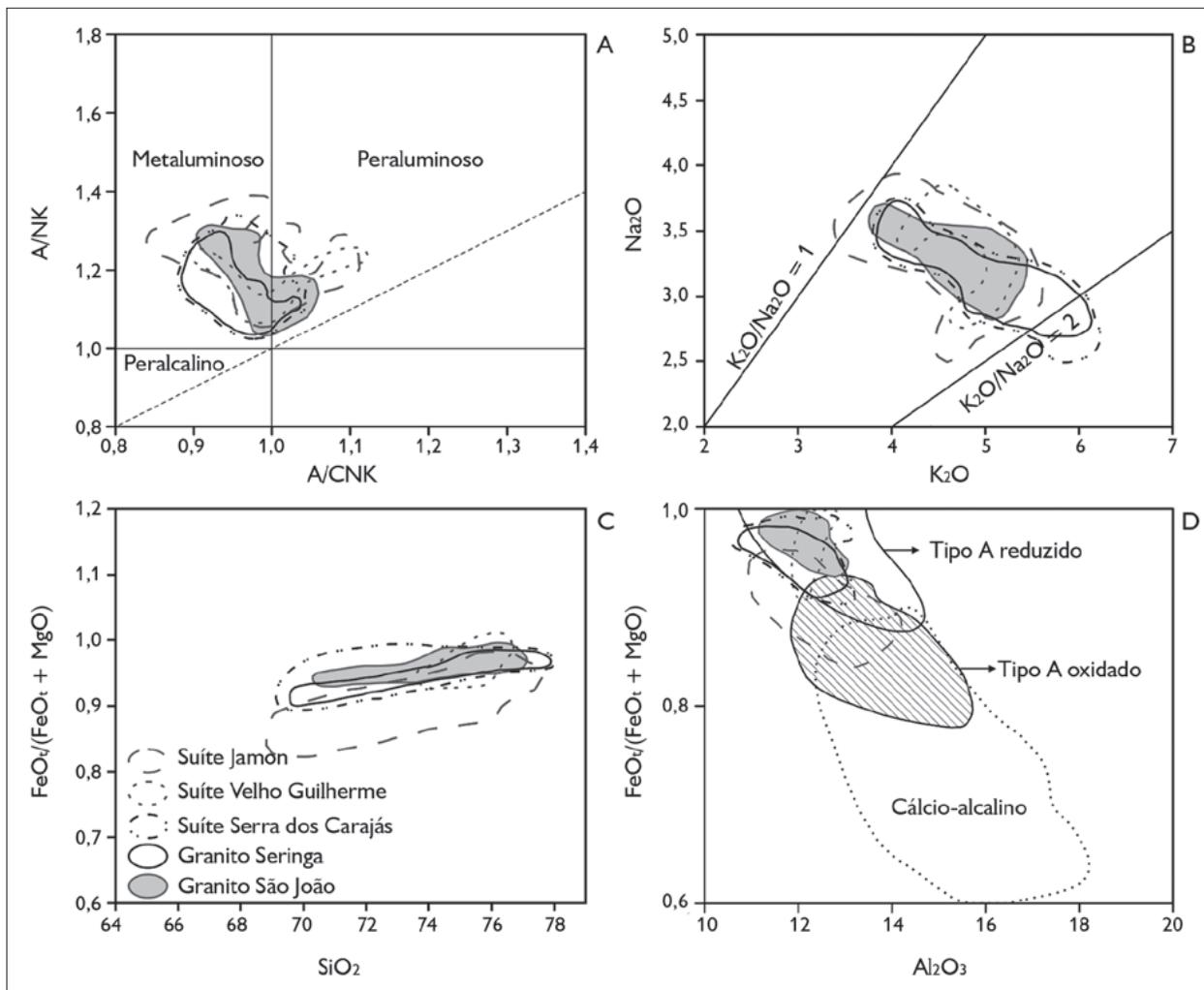


Figura 15. Diagramas geoquímicos comparativos entre o GSJ e as suítes graníticas da Província Carajás: A) $Al_2O_3/(CaO + Na_2O + K_2O)_{mol}$ (A/CNK) versus $Al_2O_3/(Na_2O + K_2O)_{mol}$ (A/NK) de Shand (1950); B) Na_2O versus K_2O ; C) $FeO_t/(FeO_t + MgO)$ versus SiO_2 ; D) $FeO_t/(FeO_t + MgO)$ versus Al_2O_3 (limites dos campos segundo Dall'Agnol & Oliveira, 2007).

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

Apesar de suas amostras plotarem no campo dos granitos reduzidos (Figura 15D), o GSJ apresenta magnetita em todas as suas fácies e valores de suscetibilidade magnética que variam de $1,2 \times 10^{-4}$ a $5,9 \times 10^{-3}$ Slv, com média de $1,80 \times 10^{-3}$ Slv, diferente dos granitos da Suíte Velho Guilherme, que têm a ilmenita como opaco dominante e valores de suscetibilidade magnética comparativamente mais baixos ($< 1,0 \times 10^{-3}$ Slv), sendo classificados como granitos tipicamente reduzidos (Dall'Agnol *et al.*, 2005). No diagrama que relaciona log de suscetibilidade magnética

versus número de amostras (Figura 16), foram plotados os dados do GSJ obtidos neste trabalho juntamente com os valores médios de suscetibilidade magnética dos granitos que formam as suítes Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme. O campo representativo do GSJ se sobrepõe parcialmente às rochas mais evoluídas da Suíte Jamon e coincide inteiramente com o campo formado pelos granitos da Suíte Serra dos Carajás, com valores de suscetibilidade magnética similar ($1,0 \times 10^{-3}$ a $5,0 \times 10^{-3}$ SIv). Este fato indica que as rochas do GSJ não são tão oxidadas quanto aquelas da Suíte Jamon, exceto sua fácies menos evoluída (BAMG), nem tão reduzidas quanto as da Suíte Velho Guilherme, o que permite classificá-lo como um granito moderadamente reduzido (Dall'Agnol & Oliveira, 2007).

GRANITO SÃO JOÃO VERSUS GRANITO SERINGA

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

Datações geocronológicas por evaporação de Pb em zircão definiram idades de cristalização de 1895 ± 1 Ma para o Granito Seringa (Paiva Júnior *et al.*, 2011) e 1890 ± 2 Ma

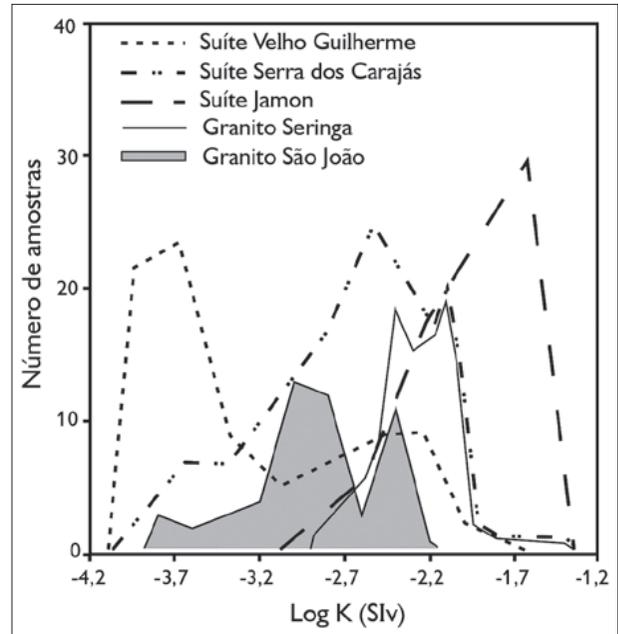


Figura 16. Polígono de frequência comparativo entre os valores de suscetibilidade magnética dos granitos São João e Seringa e dos granitos das suítes Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme (modificado de Dall'Agnol *et al.*, 2005).

para o GSJ (Trabalho de Conclusão de Curso de P. H. A. Lima, 2011). Em sua porção central, o Granito Seringa é formado por um conjunto de morros e serras íngremes com altitudes de até 700 m. De modo similar ao GSJ, é intrusivo em unidades arqueanas, sendo formado por monzogranitos e sienogranitos isentos de deformação, exceto a presença de planos de fraturas que o seccionam em diferentes direções. É constituído por quartzo, álcali feldspato e plagioclásio, tendo a biotita e o anfibólio como fases máficas. O anfibólio não apresenta, assim como no GSJ, evidências texturais de reações peritéticas entre ele e o líquido magmático para gerar biotita, titanita e quartzo, como frequentemente é observado nos granitos da Suíte Jamon (Dall'Agnol *et al.*, 1999; Almeida *et al.*, 2006). A ausência de titanita magmática nos granitos Seringa e São João também é observada nos granitos da Suíte Serra dos Carajás (Javier Rios *et al.*, 1995; Barros *et al.*, 1995), contrariamente aos granitos da Suíte Jamon, onde é uma fase acessória frequente (Dall'Agnol *et al.*, 2005).

Zircão, magnetita, ilmenita, apatita e allanita são os principais acessórios e clorita, sericita, muscovita, epidoto, fluorita e argilominerais os minerais de alteração em ambos os granitos. Geoquimicamente, os granitos Seringa e São João são semelhantes e se superpõem na grande maioria dos diagramas mostrados. Magnetita e ilmenita são os minerais óxidos de Fe-Ti presentes nos dois granitos. Porém, no Granito Seringa, a magnetita ocorre em proporções > 1% nas rochas monzograníticas, enquanto no GSJ o conteúdo de magnetita geralmente é < 1%. Em decorrência disso, os valores de suscetibilidade magnética do Granito Seringa são um pouco mais elevados e variam de $1,3 \times 10^{-3}$ SIv a $20,0 \times 10^{-3}$ SIv, com média de $6,2801 \times 10^{-3}$ SIv, contra $1,2 \times 10^{-4}$ SIv a $5,9 \times 10^{-3}$ SIv, com média de $1,80 \times 10^{-3}$ SIv do GSJ (Figura 16).

CONCLUSÕES

O GSJ, localizado no município de Água Azul do Norte, sudeste do estado do Pará, é um plúton de formato circular, com superfície aflorante de aproximadamente 160 km², que secciona trondhjemitos e leucogranodiorito-granitos arqueanos do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria. Quatro fácies petrográficas foram identificadas: biotita-anfibólio-monzogranito, biotita-anfibólio-sienogranito, anfibólio-biotita-monzogranito a sienogranito e biotita-monzogranito a sienogranito. Os dados geoquímicos mostram uma variação sistemática dos elementos maiores e menores, apesar de ocorrerem algumas sobreposições, no sentido das rochas BAMG para as BMSG, o que sugere que a cristalização fracionada comandou a evolução da fácies BAMG do GSJ. A diminuição, neste mesmo sentido, dos teores de minerais ferromagnesianos, das razões PI/Fk e Anf/Bt e dos conteúdos de Sr e Ba, além de aumentos de quartzo e Rb corroboram essa interpretação. Por outro lado, diferentes graus de fusão parcial, assim como contrastes na temperatura de fusão, conteúdo de água e fugacidade de oxigênio, podem explicar as diferenças observadas entre as demais fácies encontradas no GSJ (ABMSG, BASG e BMSG).

O GSJ possui natureza subalcalina, características metaluminosas a levemente peraluminosas, razões K_2O/Na_2O entre 1 e 2 e $FeO_t/(FeO_t+MgO)$ entre 0,94 a 0,99, as quais tendem a aumentar no sentido dos BMSG. Mostra afinidades com granitos ferrosos, intraplaca do tipo A, incidindo totalmente no campo dos granitos do subtipo A₂, o que sugere ser seu magma derivado de fonte crustal. Mostra teores mais elevados de ETRL em relação aos ETRP e padrão sub-horizontalizado desses últimos. As anomalias negativas de Eu variam de fracas, nos BAMG, passando a moderadas, nos BASG, e acentuadas, nos ABMSG e BMSG. O padrão de fracionamento dos ETR pode ser interpretado como resultante da cristalização fracionada que comandou a evolução do GSJ.

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

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

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

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (IG-UFPa), pelo suporte técnico e laboratorial; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor; aos pesquisadores e alunos do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides (GPPG), pelo apoio nas diversas etapas deste trabalho. Este trabalho é uma contribuição para o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Geociências da Amazônia – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)/Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT)/Fundação Amazônia Paraense de Amparo à Pesquisa (FAPESPA), Processo nº 573733/2008-2.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. A. C., R. DALL'AGNOL & D. C. OLIVEIRA, 2006. Geologia, petrografia e geoquímica do granito anorogênico Bannach, Terreno granito-greenstone de Rio Maria, Pará. **Revista Brasileira de Geociências** 36(2): 282-295.
- ALMEIDA, J. A. C., R. DALL'AGNOL, S. B. DIAS & F. J. ALTHOFF, 2010. Origin of the Archean leucogranodiorite-granite suites: evidence from the Rio Maria terrane and implications for granite magmatism in the Archean. **Lithos** 120(3-4): 235-257.
- ALMEIDA, J. A. C., R. DALL'AGNOL, M. A. OLIVEIRA, M. J. B. MACAMBIRA, M. M. PIMENTEL, O. T. RÄMÖ, F. V. GUIMARÃES & A. A. S. LEITE, 2011. Zircon geochronology, geochemistry and origin of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: implications for growth of Archean crust of Carajás Province, Brazil. **Precambrian Research** 187(1-2): 201-221.
- ALMEIDA, J. A. C., R. DALL'AGNOL & A. A. S. LEITE, 2013. Geochemistry and zircon geochronology of the Archean granite suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane, Carajás Province, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences** 42: 103-126.
- ALTHOFF, F., P. BARBEY & A. M. BOULLIER, 2000. 2.8-3.0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral province, Brazil). **Precambrian Research** 104(3-4): 187-206.
- BARROS, C. E. M., R. DALL'AGNOL, E. A. P. VIEIRA & M. S. MAGALHÃES, 1995. Granito Central da Serra dos Carajás: avaliação do potencial metalogenético para estanho com base em estudos da borda oeste do corpo. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra** 7: 93-123.
- CHAPPELL, B. W. & A. J. R. WHITE, 1974. Two contrasting granite types. **Pacific Geology** 8: 173-174.
- DALL'AGNOL, R., J.-M. LAFON & M. J. B. MACAMBIRA, 1994. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian province, Amazonian Craton: geochronological, petrological and geochemical aspects. **Mineralogy and Petrology** 50(1-3): 113-138.
- DALL'AGNOL, R., O. T. RÄMÖ, M. S. MAGALHÃES & M. J. B. MACAMBIRA, 1999. Petrology of the anorogenic, oxidised Jamon and Musa granites, Amazonian Craton: implications for the genesis of Proterozoic A-type granites. **Lithos** 46(3): 431-462.
- DALL'AGNOL, R., N. P. TEIXEIRA, O. T. RÄMÖ, C. A. V. MOURA, M. J. B. MACAMBIRA & D. C. OLIVEIRA, 2005. Petrogenesis of the Paleoproterozoic, rapakivi A-type granites of the Archean Carajás metallogenic province, Brazil. **Lithos** 80(1-4): 101-129.
- DALL'AGNOL, R. & D. C. OLIVEIRA, 2007. Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: implications for classification and petrogenesis of A-type granites. **Lithos** 93(3-4): 215-233.
- DEBON, F., P. LE FORT & P. SABATÉ, 1988. Uma classificação químico-mineralógica das rochas plutônicas comuns e suas associações, método e aplicações. **Revista Brasileira de Geociências** 18(2): 122-133.
- DE LA ROCHE, H., J. LETERRIER, P. GRANDCLAUDE & M. MARCHAL, 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R_1 - R_2 diagram and major-element analyses – its relationships with current nomenclature. **Chemical Geology** 29(1-4): 183-210.
- EBY, G. N., 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. **Geology** 20(7): 641-644.
- FEIO, G. R. L., R. DALL'AGNOL, E. L. DANTAS, M. J. B. MACAMBIRA, J. O. S. SANTOS, F. J. ALTHOFF & J. E. B. SOARES, 2013. Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: implications for crustal evolution of the Carajás province, Amazonian craton, Brazil. **Precambrian Research** 227: 157-185.
- FROST, B. R., C. G. BARNES, W. J. COLLINS, R. J. ARCULUS, D. J. ELLIS & C. D. FROST, 2001. A geochemical classification for granitic rocks. **Journal of Petrology** 42(11): 2033-2048.
- GUIMARÃES, F. V., R. DALL'AGNOL, J. A. C. ALMEIDA & M. A. OLIVEIRA, 2010. Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica do Trondhjemitó Mogno e Tonalito Mariazinha, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, SE do Pará. **Revista Brasileira de Geociências** 40(2): 196-211.
- HUHN, S. R. B., A. B. S. SANTOS, A. F. AMARAL, E. J. LEDSHAM, J. L. GOUVEIA, L. B. P. MARTINS, R. M. G. MONTALVÃO & V. G. COSTA, 1988. O terreno granito-greenstone da região de Rio Maria – Sul do Pará. **Anais do Congresso Brasileiro de Geologia** 35(3): 1438-1453.
- ISHIHARA, S., 1981. The granitoid series and mineralization. In: B. J. SKINNER (Ed.): **Economic Geology**: 75th anniversary volume: 458-484. Economic Geology Publishing Co., New Haven.



- JAVIER RIOS, F., R. N. VILLAS & R. DALL'AGNOL, 1995. O Granito Serra dos Carajás: I. Fácies petrográficas e avaliação do potencial metalogenético para estanho no Setor Norte. **Revista Brasileira de Geociências** 25(1): 20-31.
- KING, P. L., A. J. R. WHITE, B. W. CHAPPELL & C. M. ALLEN, 1997. Characterization and origin of aluminous A-type granites from the Lachlan Fold Belt, Southeastern Australia. **Journal of Petrology** 38(3): 371-391.
- LARSSON, L. O., 1977. Statistical treatment of in-situ measurements of magnetic susceptibility. **Sveriges Geologiska Undersökning C727**: 3-22.
- LEITE, A. A. S., R. DALL'AGNOL, M. J. B. MACAMBIRA & F. J. ALTHOFF, 2004. Geologia e geocronologia dos granitoides arqueanos da região de Xinguara-PA e suas implicações na evolução do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Cráton Amazônico. **Revista Brasileira de Geociências** 34(4): 447-458.
- LE MAITRE, R. W. (Ed.), 2002. **Igneous rocks: a classification and glossary of terms**: 1-193. Cambridge University Press, London.
- MACAMBIRA, M. J. B. & J. R. LANCELOT, 1996. Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria crust, Southeastern Amazonian Craton, Brazil. **International Geology Review** 38(12): 1134-1142.
- NAKAMURA, N., 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. **Geochimica et Cosmochimica Acta** 38(5): 757-775.
- OLIVEIRA, M. A., R. DALL'AGNOL & F. J. ALTHOFF, 2006. Petrografia e geoquímica do Granodiorito Rio Maria da Região de Bannach e comparações com as demais ocorrências no Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria – Pará. **Revista Brasileira de Geociências** 36(2): 313-326.
- OLIVEIRA, M. A., R. DALL'AGNOL, F. J. ALTHOFF & A. A. S. LEITE, 2009. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences** 27: 146-160.
- PAIVA JÚNIOR, A. L., C. N. LAMARÃO & P. H. A. LIMA, 2011. Geologia, petrografia e geoquímica do batólito Seringa, Província Carajás, SSE do Pará. **Revista Brasileira de Geociências** 41(2): 185-202.
- PEARCE, J. A., N. B. W. HARRIS & A. G. TINDLE, 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. **Journal of Petrology** 25(4): 956-983.
- PIMENTEL, M. M. & N. MACHADO, 1994. Geocronologia U-Pb dos terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. **Boletim de Resumos Expandidos do Congresso Brasileiro de Geologia** 38(2): 390-391.
- SANTOS, J. O. S., L. A. HARTMANN, M. S. G. FARIA, S. R. RIKER, M. M. SOUZA, M. E. ALMEIDA & N. J. MCNAUGHTON, 2006. A compartimentação do Cráton Amazonas em províncias: avanços ocorridos no período 2000-2006. **Resumos Expandidos do Simpósio de Geologia da Amazônia** 9: 1 CD-ROM.
- SHAND, S. J., 1950. **Eruptive rocks, their genesis, composition, classification and their relation to ore-deposits**: 1-488. Thomas Murby, London.
- SOUZA, Z. S., A. POTREL, J. M. LAFON, F. J. ALTHOFF, M. M. PIMENTEL, R. DALL'AGNOL & C. G. OLIVEIRA, 2001. Nd, Pb and Sr isotopes in the Identidade Belt, an Archean greenstone belt of Rio Maria region (Carajás Province, Brazil): implications for the Archean geodynamic evolution of the Amazonian Craton. **Precambrian Research** 109(3-4): 293-315.
- STRECKEISEN, A., 1976. To each plutonic rock its proper name. **Earth Science Reviews** 12(1): 1-33.
- TASSINARI, C. C. G. & M. J. B. MACAMBIRA, 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: V. MANTESSO-NETO, A. BARTORELLI, C. D. R. CARNEIRO & B. B. BRITO NEVES (Eds.): **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**: 471-485. Beca, São Paulo.
- TEIXEIRA, N. P., J. S. BETTENCOURT, R. DALL'AGNOL, C. A. V. MOURA, C. M. D. FERNANDES & S. C. C. PINHO, 2005. Geoquímica dos granitos paleoproterozóicos da Suíte Granítica Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará. **Revista Brasileira de Geociências** 35(2): 217-226.
- VANCE, J. A., 1969. On synneusis. **Contributions to Mineralogy and Petrology** 24: 7-29.
- VASQUEZ, M. L., L. R. ROSA-COSTA, C. G. SILVA, P. F. RICCI, J. O. BARBOSA, E. L. KLEIN, E. S. LOPES, E. B. MACAMBIRA, C. L. CHAVES, J. M. CARVALHO, J. G. OLIVEIRA, G. C. ANJOS & H. R. SILVA, 2008. Geologia e recursos minerais do estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas geológico e tectônico e de recursos minerais do estado do Pará. In: M. L. VASQUES & L. T. ROSA-COSTA (Orgs.): **Escala 1:1.000.000**: 118-121. CPRM, Belém.
- WEDEPOHL, K. H., 1970. **Rubidium, handbook of geochemistry**: 37B-37N. Springer-Verlag, Berlin.
- WHALEN, J. B., K. L. CURRIE & B. W. CHAPPELL, 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. **Contributions to Mineralogy and Petrology** 95: 407-419.