

Granitoides arqueanos da região de Água Azul do Norte, Província Carajás, sudeste do estado do Pará: petrografia, geoquímica e geocronologia

Archean granitoids of the Água Azul do Norte region, Carajás Province, southeast of Pará State: petrography, geochemistry and geochronology

Max de Jesus Pereira dos Santos¹, Claudio Nery Lamarão¹, Paulo Henrique Araújo Lima¹,
Marco Antônio Galarza¹, Jardel Carlos Lima Mesquita¹

¹Universidade Federal do Pará. Belém, Pará, Brasil

Resumo: Granitoides arqueanos aflorantes entre as cidades de Água Azul do Norte e Ourilândia do Norte, porção NW do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Província Carajás, foram agrupados em associações granodiorítica e trondhjemitica. As rochas granodioríticas são constituídas por: 1) anfibólio-biotita-granodioritos fortemente saussuritizados, com idade de cristalização de 2875 ± 2 Ma, conteúdo de máficos entre 16 e 21%, teores elevados de Ni, Cr e Mg, padrão contínuo de fracionamento dos elementos terras raras e anomalias negativas de Eu desprezíveis, assemelhando-se petrográfica, geoquímica e geocronologicamente às rochas da Suíte Sanukitoide Rio Maria; 2) biotita-granodioritos menos alterados, com idade de cristalização de 2884 ± 3 Ma e total de máficos variando de 8 a 15%, comparativamente mais enriquecidos em elementos terras raras e com pronunciadas anomalias negativas de Eu, diferindo em termos petrográficos e geoquímicos das rochas anteriores; 3) leucogranodioritos-granitos de coloração esbranquiçada a rosada, contendo fenocristais de plagioclásio e álcali feldspato, correlacionados às rochas da Suíte Garantã. As rochas trondhjemiticas são representadas por biotita-epidoto-trondhjemitos, tendo biotita e epidoto como principais fases magmáticas, altas razões La/Yb, Sr/Y e Nb/Ta e fortes similaridades com as rochas do Trondhjemito Mogno.

Palavras-chave: Província Carajás. Granodioritos. Trondhjemitos. Petrografia. Geoquímica.

Abstract: Archean granitoids outcropping between Água Azul do Norte and Ourilândia do Norte cities, NW portion of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrain, Carajás Province, were grouped into granodioritic and trondhjemitic associations. The granodioritic rocks are constituted of: 1) amphibole-biotite granodiorite strongly saussuritized, with crystallization age of 2875 ± 2 Ma, mafic contents between 16 and 21%, high contents of Ni, Cr and Mg, continuum pattern of fractionating rare earth elements and absence of significant Eu negative anomaly, resembling petrographic, geochemical and geochronologically the rocks of the Rio Maria Sanukitoid Suite; 2) less altered biotite granodiorite with crystallization age of 2884 ± 3 Ma and total mafic ranging from 8-15%, comparatively more enriched in rare earth elements with pronounced negative Eu anomalies, differing petrographic and geochemically from previous rocks; 3) leucogranodiorites – whitish to pinkish granites, containing phenocrysts of plagioclase and alkali feldspar, correlated to rocks of the Garantã Suite. Trondhjemites are represented by biotite-epidote trondhjemites, with biotite and epidote as the main magmatic phases, high La/Yb, Sr/Y and Nb/Ta ratios and strong similarities with the rocks of the Mogno Trondhjemite.

Keywords: Carajás Province. Granodiorites. Trondhjemites. Petrography. Geochemistry.

SANTOS, M. J. P., C. N. LAMARÃO, P. H. A. LIMA, M. A. GALARZA & J. C. L. MESQUITA, 2013. Granitoides arqueanos da região de Água Azul do Norte, Província Carajás, sudeste do estado do Pará: petrografia, geoquímica e geocronologia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais** 8(3): 325-354.

Autor para correspondência: Claudio Nery Lamarão. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. Av. Augusto Corrêa, 1 - Guamá. Belém, PA, Brasil. CEP 66075-110 (lamarao@ufpa.br).

Recebido em 05/07/2013

Aprovado em 10/12/2013

Responsabilidade editorial: Fernando Jacques Althoff



INTRODUÇÃO

Associações tonalito-trondhjemitó-granodiorito (TTG) constituem em torno de 50% das rochas expostas nos crátons arqueanos (Condie, 1993). Essas associações são os componentes félsicos mais antigos de crátons, formam o embasamento gnáissico da crosta continental arqueana preservada e também podem formar plútons sin a pós-tectônicos (Barker & Arth, 1976; Barker, 1979; Martin, 1987, 1994; Bickle *et al.*, 1993; Kröner *et al.*, 1996; Martin *et al.*, 1997; Althoff *et al.*, 2000; Souza *et al.*, 2001; Champion & Smithies, 2007; Moyen *et al.*, 2007).

O Cráton Amazônico é uma das principais unidades tectônicas da Plataforma Sul-Americana, constituído pelos escudos das Guianas e Brasil Central, separados pela expressiva faixa sedimentar das bacias do Amazonas e Solimões (Vasquez *et al.*, 2008). O Cráton Amazônico representa uma grande placa litosférica continental, composta por várias províncias crustais de idades arqueana a mesoproterozoica, estabilizada em torno de 1,0 Ga, tendo-se comportado como uma placa estável no Neoproterozoico, durante o desenvolvimento das faixas orogênicas marginais brasileiras (Brito Neves & Cordani, 1991). Algumas províncias podem incluir núcleos antigos mais preservados e porções com rochas metamórficas mais jovens, formadas em eventos posteriores (Tassinari & Macambira, 1999). A evolução do Cráton Amazônico é resultante de sucessivos episódios de acreção crustal durante o paleoproterozoico e o mesoproterozoico, em volta de um núcleo mais antigo, estabilizado no final do Arqueano (Tassinari & Macambira, 2004). No sudeste do Cráton Amazônico, está localizado o Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM), nos domínios geocronológicos da Província Amazônia Central (Tassinari & Macambira, 1999, 2004) ou Província Carajás (Santos *et al.*, 2000; Santos, 2003; Figura 1).

A elaboração de um quadro geológico regional mais completo para esse terreno concretizou-se em decorrência de mapeamento geológico executado desde a década de 1980 pela empresa DOCEGEO e por mapeamentos geológicos de semidetalhe, estudos

petrográficos, geoquímicos, estruturais, de suscetibilidade magnética e geocronológicos, realizados por pesquisadores da Universidade Federal do Pará (Leite *et al.*, 1999, 2004; D. C. Oliveira *et al.*, 2009, 2010; M. A. Oliveira *et al.*, 2006, 2009; Guimarães *et al.*, 2010; Almeida *et al.*, 2010, 2011, 2013; Paiva Júnior *et al.*, 2011).

Este estudo tem como objetivo principal realizar e discutir a petrografia, geoquímica e geocronologia de granitoides arqueanos que ocorrem na região de Água Azul do Norte – Ourilândia do Norte, sudeste do estado do Pará, comparando-os com rochas correlatas, de modo a contribuir para um melhor posicionamento estratigráfico e entendimento da evolução geológica do TGGRM.

LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de trabalho (Figura 2) localiza-se entre os municípios de Água Azul do Norte e Ourilândia do Norte, domínios da Província Carajás. O acesso a ela pode ser feito, a partir de Belém, pela rodovia federal BR-010 até o município de Dom Eliseu, seguindo pela PA-222 até o município de Água Azul do Norte, com um total de 982 km desde seu ponto de partida.

SÍNTESE DOS GRANITOIDES DO TGGRM

O TGGRM (Figura 3) está situado na borda sudeste do Cráton Amazônico, dentro dos domínios da Província Amazônia Central (Tassinari & Macambira, 1999, 2004). Ele é formado por *greenstone-belts* e granitoides arqueanos. Os *greenstone-belts*, com idades entre 2,97-2,90 Ga, representam as rochas mais antigas e foram agrupados no Supergrupo Andorinhas (Souza *et al.*, 2001). Os granitoides formam típicas suítes TTG arqueanas com idades entre 2,98-2,93 Ga, sendo representadas pelo Tonalito Arco Verde, Trondhjemitó Mogno, Complexo Tonalítico Caracol e Tonalito Mariazinha (Pimentel & Machado, 1994; Macambira & Lafon, 1995; Althoff *et al.*, 2000; Leite *et al.*, 2004; Dall'Agnol *et al.*, 2006; M. A. Oliveira *et al.*, 2006, 2009; Guimarães *et al.*, 2010; Almeida *et al.*, 2011), além de uma série de granitoides mais jovens, com idades entre 2,87-2,86

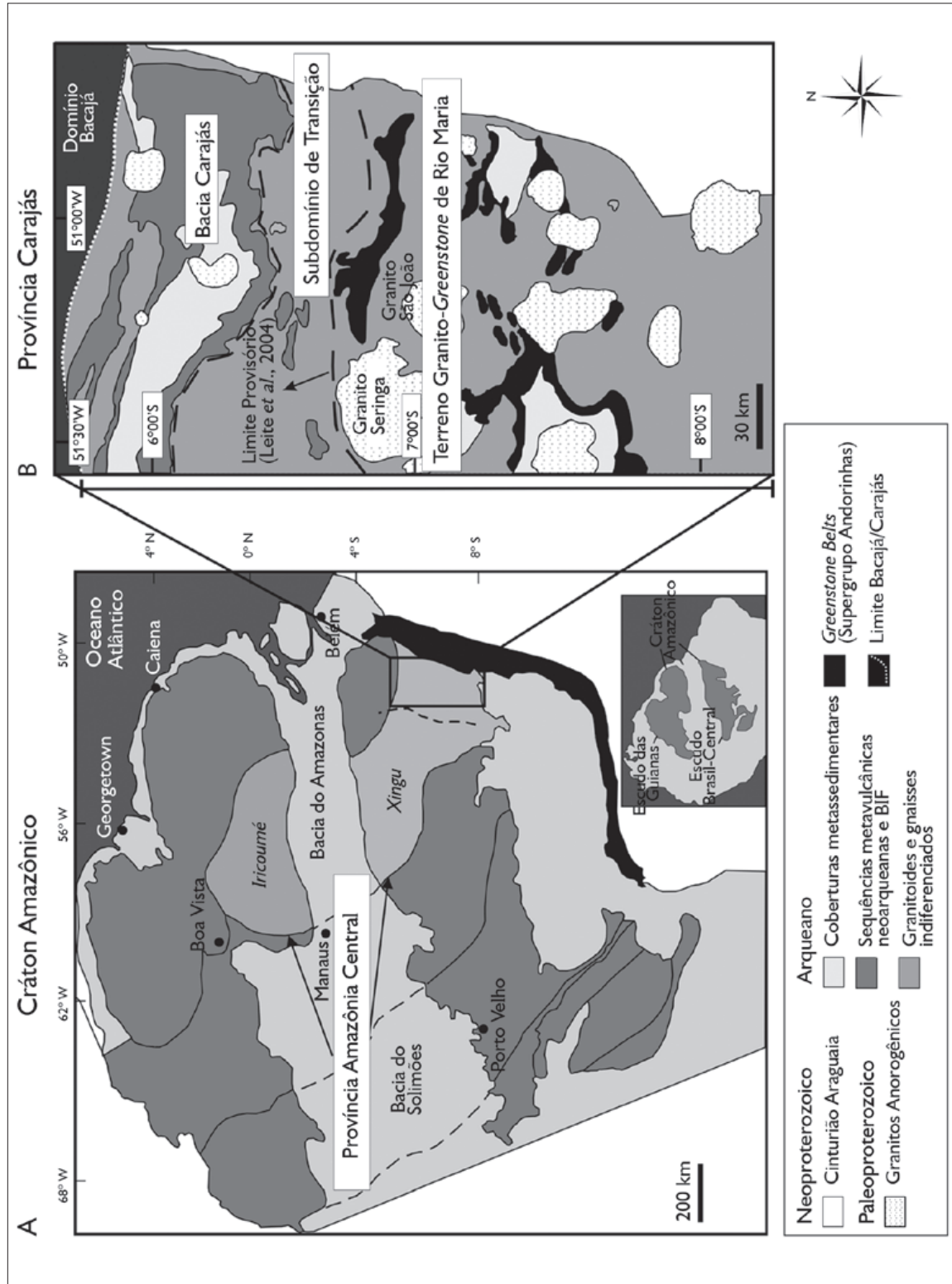


Figura 1. A) Mapa esquemático simplificado do Cráton Amazônico, segundo Tassinari & Macambira (2004), com destaque para a Província Amazônia Central; B) mapa esquemático da Província Carajás, mostrando o Terreno Mesoarqueano Granito-Greenstone de Rio Maria, Neoarqueano Carajás e Subdomínio de Transição (compilado de Almeida et al., 2011).

Ga, que seccionam as rochas TTG. Fazem parte destes últimos (Tabela 1): 1) Suíte Sanukitoide Rio Maria, composta predominantemente por granodioritos com alto Mg, Cr e Ni (M. A. Oliveira *et al.*, 2009); 2) Trondhjemito Água Fria (2,86 Ga), exposto na área de Xinguara e intrusivo no Complexo Tonalítico Caracol; 3) leucomonzogranitos potássicos, representados pelos plútons Xinguara e Mata Surrão, com idades entre 2,87-2,86 Ga (Leite *et al.*, 2004; Almeida *et al.*, 2011); e 4) leucogranodioritos-granitos Trairão, Azulona

e Guarantã, com idade em torno de 2,87 Ga e afinidade cálcio-alcálica, enriquecidos em Ba e Sr, sendo incluídos na Suíte Guarantã (Almeida *et al.*, 2010, 2013).

Em torno de 1,88 Ga, durante o paleoproterozoico, a região do TGGRM foi palco de intenso magmatismo granítico anorogênico (Dall'Agnol *et al.*, 1997, 2005), representado pela Suíte Jamon e por diques félsicos a máficos, localizadamente compostos, que seccionam as unidades arqueanas.

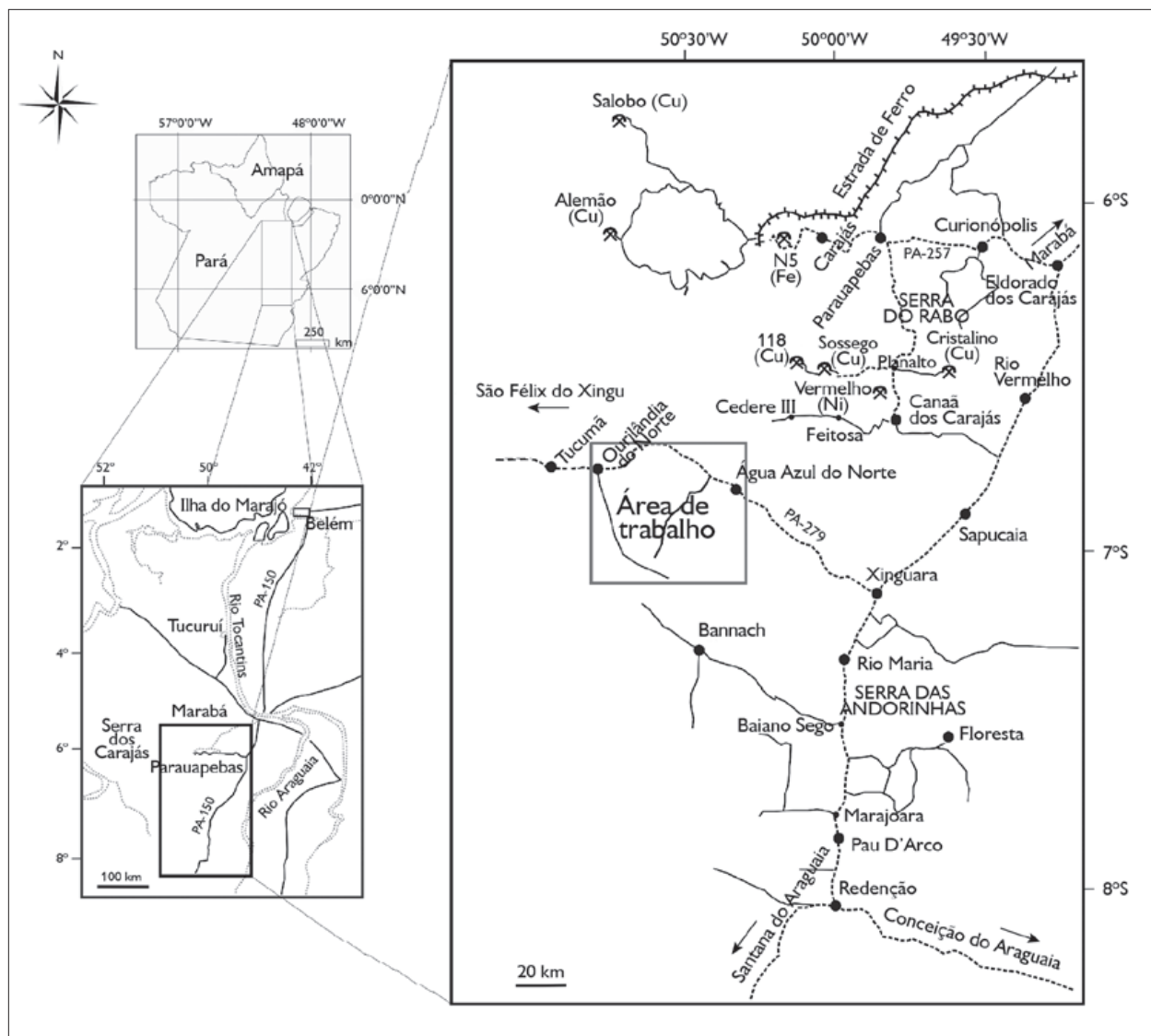


Figura 2. Mapa de localização e vias de acesso à área de estudo. Modificado de Guimarães *et al.*, 2010.



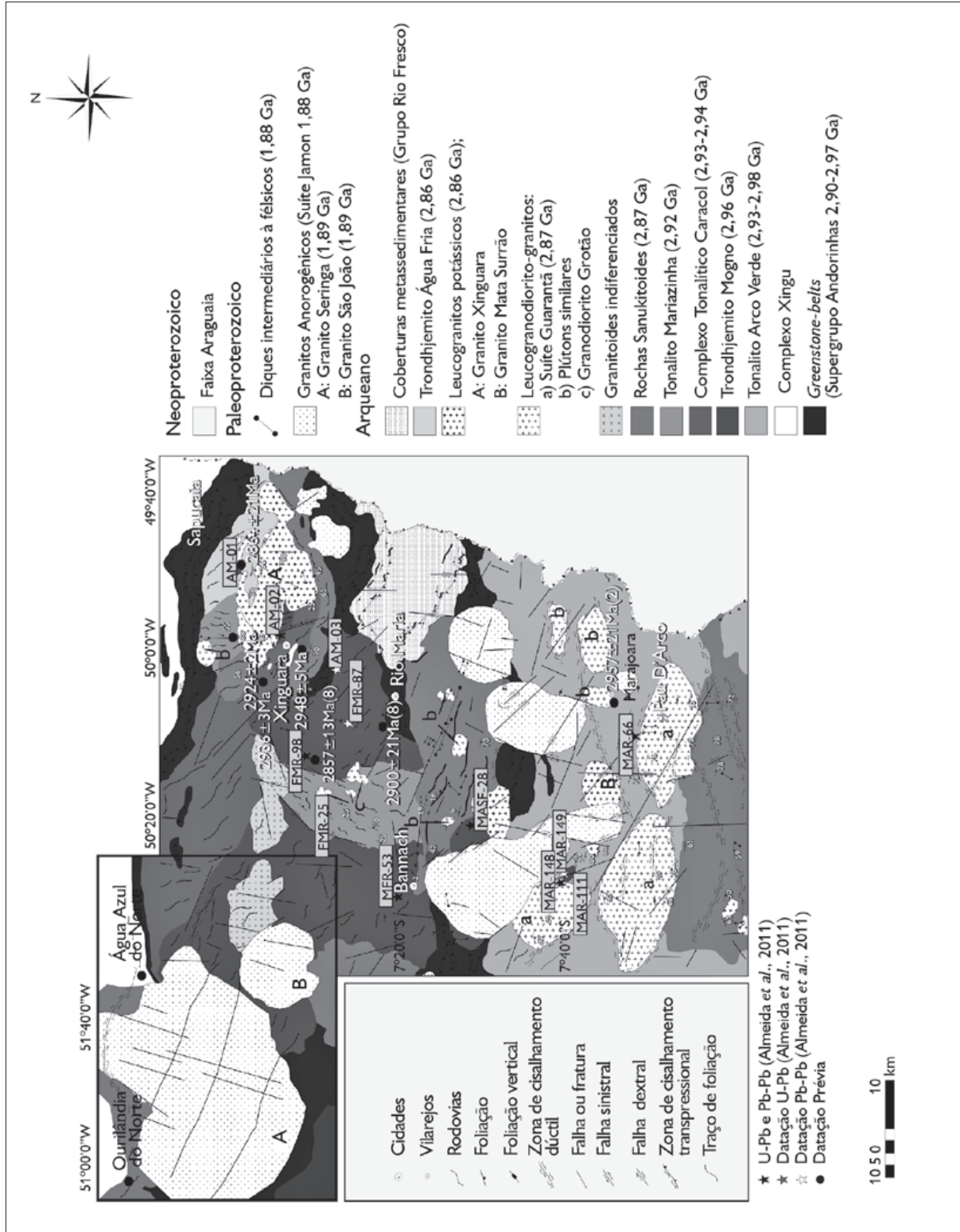


Figura 3. Mapa geológico do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, mostrando a área de estudo (em destaque). Modificado de Almeida et al. (2011).

Tabela 1. Dados geocronológicos de unidades pertencentes ao TGGRM, Cráton Amazônico. Modificado de Almeida *et al.* (2011). Fontes: (1) Pimentel & Machado (1994), (2) Macambira & Lancelot (1996), (3) Rolando & Macambira (2003), (4) Vasquez *et al.* (2008), (5) Leite *et al.* (2004), (6) Dall'Agnol *et al.* (1999), (7) Macambira *et al.* (2000), (8) Althoff *et al.* (2000), (9) Almeida *et al.* (2008), (10) Lafon *et al.* (1994), (11) Almeida *et al.* (2011).

(Continua)

Unidades estratigráficas	Rocha	Método	Material analisado	Idade (Ma)
Leucogranitos potássicos				
Granito Xinguara	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2865 ± 1 (5)
Granito Mata Surrão	Leucogranito	Pb-Pb	Rocha Total	2872 ± 10 (10)
	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2875 ± 11 (3)
	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2881 ± 2 (3)
Leucogranodiorito-granito				
Suíte Guarantã	Granodiorito	Pb-Pb	Zircão	2868 ± 5 (9)
	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2870 ± 5 (8)
	Granito Guarantã	Pb-Pb	Zircão	2864 ± 8 (11)
	Granito Guarantã	Pb-Pb	Zircão	2875 ± 8 (11)
	Granodiorito Guarantã	Pb-Pb	Zircão	2872 ± 7 (11)
Séries TTG Jovens				
Trondhjemito Água Fria	Trondhjemito	Pb-Pb	Zircão	2864 ± 21 (5)
	Trondhjemito	U-Pb		2854 ± 17 (11)
Suíte Sanukitoide Rio Maria				
Granodiorito Rio Maria e rochas relacionadas	Granodiorito	U-Pb	Zircão	2874+9/-10 (2)
	Granodiorito	U-Pb	Zircão, Titanita	2872 ± 5 (1)
	Quartzo-diorito	Pb-Pb	Zircão	2878 ± 4 (6)
	Diorito	Pb-Pb	Zircão	2880 ± 4 (3)
	Granodiorito	Pb-Pb	Zircão	2877 ± 6 (3)
Tonalito Parazônia	Tonalito	U-Pb	Titanita	2858 (1)
Séries TTG Antigas				
Complexo Tonalítico Caracol	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2948 ± 5 (5)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2936 ± 3 (5)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2924 ± 2 (5)
Séries TTG Antigas				
Trondhjemito Mogno	Trondhjemito	U-Pb	Titanita	2871 ± 7 (1)
	Trondhjemito	Pb-Pb	Zircão	2857 ± 13 (7)
	Trondhjemito	Pb-Pb	Zircão	2900 ± 21 (7)
	Trondhjemito	Pb-Pb	Zircão	2962 ± 8 (11)
	Trondhjemito	Pb-Pb	Zircão	2968 ± 2 (11)
	Trondhjemito	Pb-Pb	Zircão	2959 ± 2 (11)



Tabela 1.

(Conclusão)

Unidades estratigráficas	Rocha	Método	Material analisado	Idade (Ma)
Tonalito Arco Verde	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2964 ± 4 (4)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2948 ± 7 (3)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2981 ± 8 (3)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2988 ± 5 (3)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2952 ± 2 (11)
	Tonalito	U-Pb	Zircão	2973 ± 11 (11)
<i>Greenstone belts</i>				
Supergrupo Andorinhas	Metavulcânica félsica	U-Pb	Zircão	2904+29/-22 (2)
	Metagrauvaca	U-Pb	Zircão	2971 ± 18 (2)

GEOLOGIA DAS ROCHAS GRANITOIDES ESTUDADAS

Na região de Água Azul do Norte – Ourilândia do Norte, dominam rochas granitoides arqueanas, que são cortadas pelos granitos paleoproterozoicos Seringa e São João e por diversos diques máficos a félsicos. As rochas arqueanas, objeto deste trabalho, foram divididas em quatro grupos principais (Figura 4):

- Trondhjemitos: ocorrem na porção ENE da área de estudo. São limitados a norte por *greenstone-belts* do Grupo Tucumã; a oeste, pelo granito Seringa; a leste e a sul, por leucomonzogranitos a leucogranodioritos. Afloram sob a forma de lajeiros e apresentam comportamento anisotrópico, evidenciado pela presença de foliação com padrão dominante NE-SW e bandamento composicional. Por vezes ocorrem fraturados e preenchidos por veios de composição quartzo-feldspática, concordantes ou discordantes da foliação.
- Anfibólio-biotita-granodioritos: estão presentes na porção NWN da área, nas proximidades da cidade de Ourilândia do Norte. Limitam-se a norte pelas rochas do Complexo Xingu, a sudeste pelo granito Seringa e a sudoeste pelas rochas metassedimentares do Grupo Tucumã. Apresentam-se leve a fortemente estruturados, com seus minerais máficos e félsicos definindo bandamentos composicionais. As foliações mostram um *trend* principal de direção NW-SE a WNW-ESE concordante com a foliação regional, tornando-se mais penetrativa nas proximidades do batólito Seringa. A presença de enclaves máficos centimétricos a métricos é o melhor marcador da foliação. As rochas dessa unidade geralmente ocorrem sob a forma de morrotes e blocos isolados. Outra característica marcante é a sua coloração cinza-esverdeada, em decorrência de processo de saussuritização dos plagioclásios.
- Biotita-granodioritos: estão presentes no domínio NE da área, onde são cortados, a sul, pelo granito Seringa, a oeste, pelas rochas sanukitoides e limitada, a sudeste, pelas rochas metavulcânicas do Grupo Tucumã. São marcados principalmente por estruturação evidenciada por lamelas micáceas, definindo planos de foliação. Planos de cisalhamentos cortam essas rochas segundo direção 20° Az. Estruturas presentes nessas rochas, como bandamento composicional, são de origem metamórfica, evidenciadas pela presença de texturas miloníticas. Apresentam coloração cinza e texturalmente variações porfirítica e hipidiomórfica média a grossa. Destacam-se por possuir a biotita como única fase varietal.



- Leucogranodioritos-granitos: ocorrem nas porções NNE e W do granito São João (Figura 4), sendo limitados a norte pelas metavulcânicas do Grupo Tucumã. São cortados por diques do granito Seringa e de rochas trondhjemíticas. São rochas texturalmente heterogêneas, variando de granodioríticas a monzograníticas. Sua principal característica é a presença de fenocristais de plagioclásio e álcali feldspato. Macroscopicamente não apresentam sinais de deformação evidente. No entanto, na região de contato com o granito São João, microscopicamente percebe-se que seus minerais félsicos se dispõem formando mosaicos.

PETROGRAFIA

COMPOSIÇÕES MODAIS E CLASSIFICAÇÃO

Foram realizadas análises modais em 32 amostras (Tabela 2) e os resultados, lançados nos diagramas Q-A-P e Q-(A+P)-M' (Streckeisen, 1976; Figura 5),

sendo distinguidas quatro unidades litológicas: biotita-epidoto-trondhjemito (BEpTrd), anfibólio-biotita-granodiorito (ABGrd), biotita-granodiorito (BGrd) e leucogranodioritos-granitos (LGrdG).

As rochas trondhjemíticas (BEpTrd) contêm média de 56,6% de plagioclásio, 35% de quartzo e < 3,5% de álcali feldspato. A biotita, variando de 2,7 a 8,9% modal, e o epidoto magmático são as principais fases máficas, sendo notável a ausência de hornblenda. As fases acessórias mais comuns são zircão e opacos, com rara apatita, titanita e allanita. As rochas granodioríticas dividem-se em dois grupos, com base nas fases máficas presentes. O primeiro é representado pelos ABGrd, com média de 37,6% de plagioclásio, 24% de quartzo e 16% de álcali feldspato, e conteúdo de minerais máficos entre 15,8 e 20,8%. O segundo corresponde aos BGrd, com conteúdos médios de 40% de plagioclásio, 30% de quartzo, 17,1% de álcali feldspato e total de máficos variando de 8,5 a 14,7%. Ambas as unidades possuem zircão, allanita,

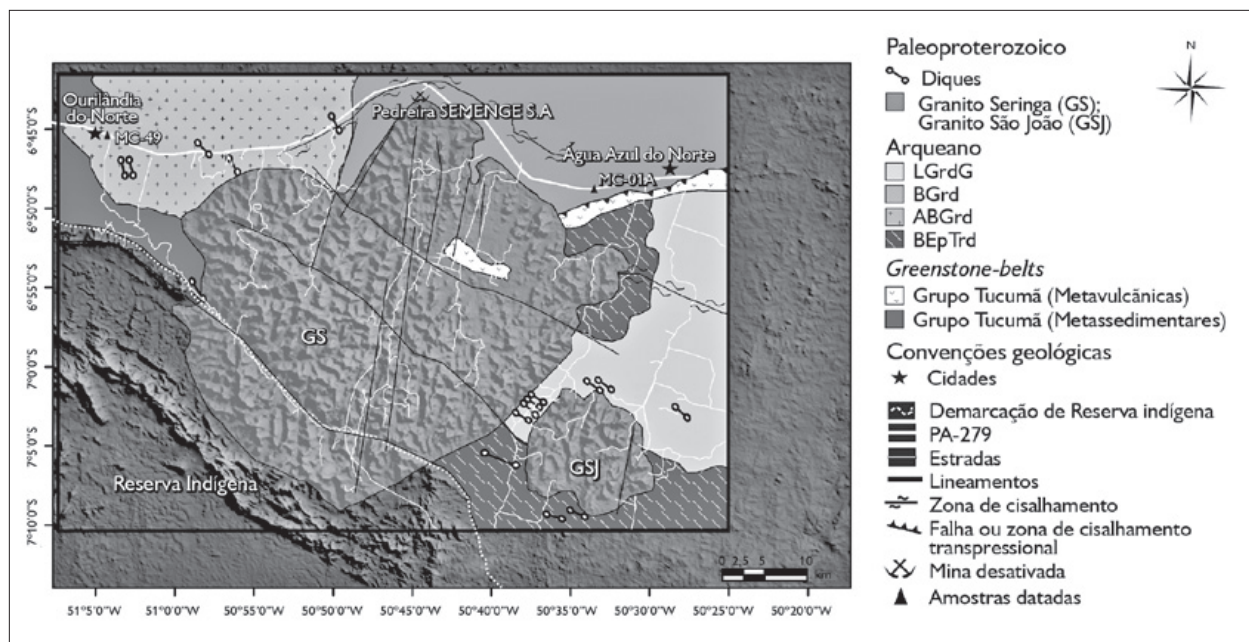


Figura 4. Mapa geológico da área estudada. Modificado dos Trabalhos de Conclusão de Curso em Geologia de M. J. P. Santos (defendido em 2011) e J. C. L. Mesquita (defendido em 2011), Belém. Legendas: BEpTrd = biotita-epidoto-trondhjemito; ABGrd = anfibólio-biotita-granodiorito; BGrd = biotita-granodiorito; LGrdG = leucogranodioritos-granitos.

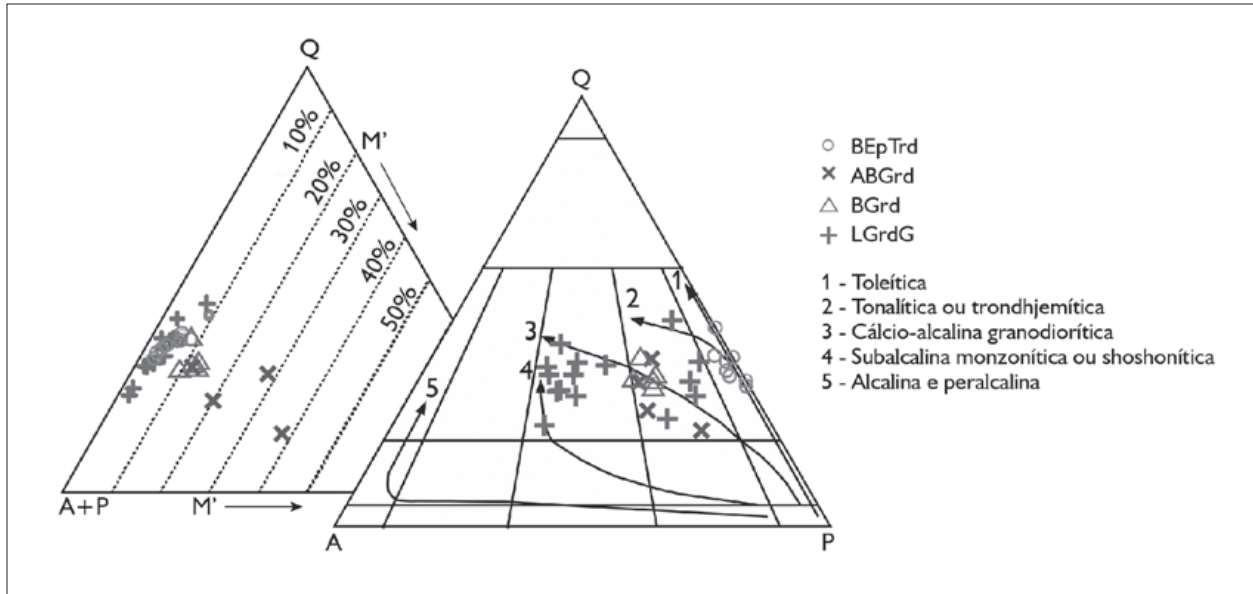


Figura 5. Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M' (Streckeisen, 1976) para as rochas estudadas. Legendas: 1 a 5 = *trends* evolutivos das séries granitoides (Lameyre & Bowden, 1982; Bowden *et al.*, 1984); BEpTrd = biotita-epidoto-trondhjemito; ABGrd = anfíbólio-biotita-granodiorito; BGrd = biotita-granodiorito; LGrdG = leucogranodioritos-granitos.

apatita, opacos, epidoto e titanita como principais fases acessórias, e mica branca, clorita e epidoto (substituindo plagioclásio, biotita e hornblenda) como fases secundárias. Os LGrdG apresentam conteúdos de plagioclásio variando, respectivamente, de 40,8 a 55,8% e 23,6 a 34,6%, quartzo de 24 a 44% e 22,8 a 40,2% e álcali feldspato de 7 a 19,8% e 29,8 a 44,3%. A biotita é a principal fase máfica dessas rochas, com conteúdos modais de 1,8 a 7% nas rochas leucogranodioríticas e 1,9 a 4,5% nas monzograníticas. Minerais opacos, apatita e titanita são as principais fases acessórias.

ASPECTOS TEXTURAIS

As rochas BEpTrd possuem textura original modificada em diferentes intensidades. Os cristais de quartzo são os mais afetados pela recristalização, seguidos dos cristais de plagioclásio. Micas primárias e secundárias mostram planos de clivagem dobrados, corroborando a existência de deformação. A saussuritização do plagioclásio é um processo intenso nessas rochas.

Os ABGrd destacam-se pela coloração cinza com tons esverdeados, em decorrência do intenso processo de saussuritização dos cristais de plagioclásio. Apresentam textura equigranular média a grossa dominante e enclaves máficos alongados de composição quartzo-diorítica. Microscopicamente, essa unidade tem seus cristais de plagioclásio moderada a intensamente saussuritizados, além de hornblenda, biotita e epidoto magmático como principais fases máficas. A assembleia de minerais acessórios inclui zircão, apatita, magnetita, titanita e allanita. Os cristais de hornblenda são subidiomórficos, bem preservados, com contatos retos com o epidoto magmático e alterados parcialmente nas bordas para biotita e, ao longo dos planos de clivagem, para titanita e epidoto. A biotita forma cristais subidiomórficos, com substituição por titanita ao longo de seus planos de clivagem; inclusões de zircão são comuns. Alguns cristais mostram planos de clivagem encurvados e seguem direção preferencial, definindo leves planos de foliação; tais orientações são mais comuns em torno dos cristais de plagioclásio.

Os BGrd apresentam texturas definidas com base nos diferentes graus de deformação, que variam de discreto a intenso, gerando texturas protomiloníticas a miloníticas, com forte recristalização de quartzo apresentando junções tríplices. Subgrãos mantendo cristais de plagioclásio e microclina (textura 'mortar') assumem a forma de porfiroclastos contornados por matriz fina recristalizada e lamelas de biotita, que definem leves planos de foliação. Mirmequita na forma de colônia é comum entre cristais de microclina e plagioclásio. A muscovita está presente em quantidade considerável nessas rochas (Tabela 2) como inclusões bem desenvolvidas nos cristais de plagioclásio ou, localmente, mostrando contato reto com este último, sugerindo origem magmática. Vernon (2004) sugere que o intercrescimento mirmequítico é típico de rochas granitoides deformadas (*augen* gnaisses e milonitos félsicos) que apresentam microclina com geminação oticamente visível, sugerindo que a formação de mirmequita está ligada à deformação no estado sólido. Simpson & Wintsch (1989) sugerem que Ca e Na liberados do plagioclásio podem ser transferidos para a mirmequita, que substitui a microclina, a partir da qual o K pode ser transferido para a muscovita desenvolvida no plagioclásio. Desse modo, o teor e tamanho das muscovitas podem estar relacionados com a formação desse intercrescimento, que forneceria o K suficiente para o crescimento da mica.

Os LGrdG apresentam coloração esbranquiçada com tons rosados. Os pórfiros de plagioclásio e álcali feldspato rosado destacam-se em relação aos demais cristais, dando um aspecto distinto das outras unidades. Os cristais de plagioclásio ocorrem sob a forma de cristais subidiomórficos, variando de 0,5 a 3,4 mm. Seus contatos mútuos e com as lamelas de biotita são retos, porém passam a irregulares com o quartzo. Sofrem processo de saussuritização, sobretudo em seus núcleos, evidenciando a composição mais cálcica dessas porções. Os cristais de quartzo ocorrem em quatro tipos

distintos: Qz1 - cristais xenomórficos a subidiomórficos (1,0 a 3,8 mm), com forte extinção ondulante e contatos irregulares principalmente com plagioclásio e microclina; Qz2 - agregados policristalinos exibindo textura em mosaicos, com formas poligonais e contatos retos em junção tríplice; Qz3 - quartzo vermicular ou goticular na forma de intercrescimento granofírico; Qz4 - inclusões em pórfiros de microclina. A microclina é subidiomórfica (0,4 a 3 mm), com contatos retos entre si e irregulares com os outros minerais. As pertitas são do tipo *string* (Smith, 1974). Quartzo granular e cristais prismáticos de plagioclásio desenvolvem feições poiquilíticas. A biotita forma cristais subidiomórficos (~0,5 mm), mostra contatos retos com os cristais de plagioclásio e álcali feldspato, porém, em alguns casos, com terminações serrilhadas. Encontra-se fortemente alterada para clorita, titanita e muscovita.

GEOQUÍMICA

PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

As análises químicas (Tabela 3) foram realizadas no Analytical Laboratories LTD. (ACME) 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).

ASSOCIAÇÃO GRANODIORÍTICA

Elementos maiores e menores

Variação dos elementos maiores e menores da associação granodiorítica estudada, além dos campos de ocorrência dos sanukitoides Rio Maria (M. A. Oliveira *et al.*, 2009) e leucogranodioritos-granitos da Suíte Garantã (Almeida *et al.*, 2010) são apresentados na Figura 6.

Tabela 2. Composições modais das associações estudadas. Legendas: FK = Feldspato potássico; A = Álcali feldspato; P = Plagioclásio; s = secundário; * = recalculado a 100%, com base em média de 1.500 pontos por amostra; x = traço; BEpTrd = biotita-epidoto-trondhjemito; ABGrd = anfibólio-biotita-granodiorito; BGrd = biotita-granodiorito; LGrdG = leucogranodioritos-granitos. (Continua)

Unidades Amostra Mineral	BEpTrd						ABGrd						BGrd					
	MC 121	MC 111	MC 06	MC 07	MC 16	PCJ 31	MC 120B	MC 49	AC 51	PCM 41	PCM 42	MC 01B	MC 03	MC 04	MC 05	MC 01A		
FK	2,7	0,0	0,0	0,0	1,8	3,2	0,7	2,9	14,0	13,1	20,2	16,3	15,4	17,0	17,2	19,6		
Plagioclásio	58,8	62,2	54,9	49,0	55,4	52,7	62,8	57,1	42,5	37,5	32,1	41,3	40,3	38,2	42,5	36,4		
Quartzo	33,0	31,8	35,5	41,8	35,3	36,6	30,4	33,6	23,1	25,4	25,9	28,2	29,2	35,2	27,9	29,1		
Biotita	3,4	2,7	8,1	8,9	5,9	5,4	2,8	3,7	7,2	13,7	10,4	12,4	12,3	7,8	9,2	11,2		
Muscovita	0,2	0,3	0,4	0,4	0,0	0,9	0,4	x	0,0	0,0	0,0	1,5	2,4	0,7	0,4	1,3		
Anfibólio	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,6	7,1	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Epidoto(s)	1,8	3,2	1,1	0,0	0,6	1,2	1,8	1,7	2,4	0,9	1,7	0,0	0,3	0,5	0,0	0,2		
Zircão	0,1	x	0,2	0,1	x	x	x	x	0,0	0,5	0,9	0,3	x	0,4	0,9	0,8		
Opacos	x	x	x	x	0,7	0,5	0,6	0,5	0,0	0,0	x	0,0	0,1	0,1	1,5	1,2		
Apatita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0	x	0,3	0,3	0,0		
Titanita	0,0	0,0	x	0,0	0,5	0,4	0,3	0,2	0,8	0,2	0,2	0,0	x	0,1	0,1	0,2		
Prehnita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,7	0,0	x	x	0,0	0,0	0,0		
Allanita	x	x	x	0,0	0,0	x	0,0	0,4	0,2	0,9	0,8	x	0,0	0,0	0,0	x		
A + P	61,5	62,2	54,9	49,0	57,2	55,9	63,5	60,0	56,5	50,6	52,3	57,6	55,7	55,2	59,7	56,0		
Plagioclásio*	62,2	66,2	60,7	54,0	59,9	57,0	66,9	61,0	53,4	49,3	41,0	48,1	47,5	42,3	48,5	42,8		
Quartzo*	34,9	33,8	39,3	46,0	38,2	39,6	32,4	35,9	29,0	33,4	33,1	32,9	34,4	38,9	31,8	34,2		
FK*	2,9	0,0	0,0	0,0	1,9	3,5	0,7	3,1	17,6	17,2	25,8	19,0	18,1	18,8	19,6	23,0		
Máficos*	3,6	3,0	8,5	9,3	5,9	6,3	3,2	3,7	15,8	20,8	18,0	13,9	14,7	8,5	9,6	12,5		
LGrdG																		
Unidades Amostra Mineral	PC 01	MC 92B	MC 91	PCJ 35	PCJ 09	MC 08	PC 03A	PC 08B	PC 14A	PCJ 24	PCJ 33	MC 81	MC 88	MC 97	MC 103			
FK	11,7	10,7	7,3	7,0	19,8	25,4	37,0	44,3	34,6	37,3	37,2	31,6	37,7	32,3	29,8			
Plagioclásio	55,8	51,3	40,8	51,3	53,0	34,6	27,5	29,6	32,4	24,4	23,6	23,4	28,3	28,9	27,8			
Quartzo	29,0	31,2	44,0	35,9	24,0	35,8	29,6	22,8	29,1	33,6	35,8	40,2	30,4	33,1	35,3			
Biotita	2,2	4,4	7,0	5,2	1,8	3,9	3,2	2,1	1,9	3,6	2,0	2,9	2,4	3,6	4,5			



(Conclusão)

Tabela 2.

Unidades Amostra Mineral	LGrdG														
	PC 01	MC 92B	MC 91	PCJ 35	PCJ 09	MC 08	PC 03A	PC 08B	PC 14A	PCJ 24	PCJ 33	MC 81	MC 88	MC 97	MC 103
Muscovita	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	0,0	0,0
Anfibólio	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	0,0	0,0
Epidoto(s)	0,7	1,6	0,6	0,1	1,0	0,2	0,9	0,6	0,2	0,1	0,6	0,6	0,5	0,7	1,1
Zircão	0,2	0,5	0,1	0,1	0,0	x	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Opacos	0,2	0,1	0,0	0,2	0,1	x	1,1	0,3	1,6	0,5	0,5	0,8	0,6	1,3	0,8
Apatita	0,0	x	0,0	0,1	0,2	0,0	0,3	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,0	0,1	0,1
Titanita	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	x	0,3	0,3	0,1	0,4	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2
Prehnita	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	0,0	0,0
Allanita	0,0	0,0	x	0,0	x	x	x	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x
A+P	67,5	62,0	48,1	58,3	72,8	60,0	64,5	73,9	67,0	61,7	60,8	55,0	66,0	61,2	57,6
Plagioclásio*	57,8	55,0	44,3	54,5	54,8	36,1	29,2	30,6	33,7	25,6	24,4	24,6	29,4	30,6	29,9
Quartzo*	30,1	33,5	47,8	38,1	24,8	37,4	31,5	23,6	30,3	35,3	37,1	42,2	31,5	35,1	38,0
FK*	12,1	11,5	7,9	7,4	20,5	26,5	39,3	45,8	36,0	39,1	38,5	33,2	39,1	34,3	32,1
Máficos*	2,2	4,4	7,0	5,2	1,8	3,9	3,2	2,1	1,9	3,6	2,0	2,9	2,4	3,6	4,5



Os ABGrd mostram os menores conteúdos de SiO_2 (65,46 a 66,20%), enquanto BGrd e LGrdG possuem teores de SiO_2 mais elevados, variando de 69,36 a 71,89% e 70,85 a 71,54%, respectivamente. MgO , TiO_2 , CaO , P_2O_5 , Al_2O_3 e FeO_t decrescem (Figuras 6A-6F), enquanto Na_2O e K_2O tendem a aumentar paralelamente ao crescimento de SiO_2 (Figuras 6G-6H). O Al_2O_3 é semelhante ao das séries cálcio-alcálicas (Irvine & Baragar, 1971; Peccerillo & Taylor, 1976); varia de 14,75 a 15,71% nos ABGrd; 14,56 a 16,11% nos BGrd; e 15,81 a 16,40% nos LGrdG (Tabela 3).

Elementos-traço

Em séries magmáticas, a variação de elementos-traço reflete a diferenciação e pode subsidiar a interpretação dos processos responsáveis pela sua evolução, uma vez que a distribuição desses elementos é controlada pelas fases minerais fracionadas durante a cristalização do magma (Wedepohl, 1970; Hanson, 1978). O comportamento dos principais elementos-traço pode ser visualizado nos diagramas de Harker (Figura 7), onde as rochas estudadas podem ser claramente individualizadas. Os ABGrd mostram *trends* levemente negativos para Ba, Rb e Sr (Figuras 7A-7C). São mais enriquecidos em Ni (44,3-61,9 ppm; Figura 7H) e Cr (151-171 ppm; Tabela 3) do que os BGrd (4,1-7,0 ppm e < 14 ppm, respectivamente) e LGrdG (2,8-5,2 ppm e < 14 ppm, respectivamente). Os valores de #Mg variam de 0,50 a 0,57 nos ABGrd, 0,27 a 0,36 nos BGrd e de 0,39 a 0,49 nos LGrdG (Tabela 3).

Os LGrdG apresentam enriquecimento em Ba (410 a 1.522 ppm) e Sr (596 a 668 ppm) e uma leve correlação positiva em relação à sílica (Figuras 7A, 7C). Por outro lado, mostram baixos conteúdos de Rb (30 a 45 ppm), Y (1,3 a 31 ppm), Zr (60 a 77 ppm), La (19 a 48 ppm, com uma amostra com 315 ppm) e Ce (13 a 51 ppm), quando comparados aos ABGrd e BGrd (Figuras 7B, 7D-7G).

Os BGrd são pobres em Ba (319 a 905 ppm) e Sr (248 a 370 ppm), em relação aos ABGrd e LGrdG (Figuras 7A, 7C), embora o Ba mostre leve correlação positiva com a sílica. Rb, Zr, La e Ce mostram correlação positiva com a sílica e são, de modo geral, coincidentes a superiores em relação aos

valores encontrados nos ABGrd e LGrdG (Figuras 7B, 7E-7G). Os teores de Ni são baixos e similares aos das rochas LGrdG e agrupam-se no diagrama Ni x SiO_2 (Figura 7H).

As razões Rb/Sr e Sr/Ba permitem uma boa distinção entre os três litotipos. No diagrama Rb/Sr *versus* SiO_2 (Figura 8A), os LGrdG mostram as menores razões (0,05-0,07), contrariamente aos BGrd, que possuem razões mais elevadas e variáveis (0,20-0,49), enquanto os ABGrd assumem valores intermediários (0,21 a 0,32). No diagrama Sr/Ba *versus* SiO_2 (Figura 8B), BGrd e LGrdG mostram razões próximas a coincidentes (0,31 a 0,56 e 0,40 a 0,63, respectivamente), com exceção de duas amostras que apresentam valores mais elevados (0,87 e 1,5, respectivamente). Os ABGrd, embora apresentem razões Sr/Ba similares às dos LGrdG (0,43 a 0,63), são mais pobres em sílica, permitindo sua separação dos outros dois conjuntos de rochas. Nos diagramas envolvendo #Mg *versus* SiO_2 (Figura 8C) e Ni *versus* #Mg (Figura 8D), a distinção entre os três grupos de rochas é nítida, com os ABGrd mostrando os maiores valores para #Mg e teores de Ni, similarmente ao observado nos sanukitoides Rio Maria, seguidos dos LGrdG e BGrd.

Os elementos terras raras (ETR) foram normalizados em relação aos condritos (Nakamura, 1974). ABGrd e BGrd mostram padrões de fracionamento contínuos e levemente similares (Figura 9A), com enriquecimento acentuado de elementos terras raras leves (ETRL) em relação aos elementos terras pesados (ETRP). As razões La/Yb_N do BGrd variam de 42,67 a 97,30, indicando que essas rochas são mais fracionadas do que os ABGrd, com razões La/Yb_N entre 22,53 e 46,31 (Tabela 3). As anomalias negativas de Eu são, de um modo geral, inexpressivas no ABGrd ($\text{Eu/Eu}^* = 0,76-0,87$) e comparativamente mais acentuadas no BGrd ($\text{Eu/Eu}^* = 0,33-1,04$).

Os LGrdG apresentam conteúdos de ETRL e ETRP inferiores ao das rochas da Suíte Garantã, com exceção da amostra PC-03A, que se sobressai às demais (Figura 9B). Entretanto, o padrão tende a ser similar, com forte fracionamento dos ETRL em relação aos ETRP

($La/Yb_N = 24,31$ a $46,65$; Tabela 3). As anomalias de Eu dos LGrdG são muito discretas, podendo ser levemente positivas ou levemente negativas ($Eu/Eu^* = 0,59-1,46$).

Séries magmáticas

Tendo a hornblenda como principal fase máfica, os ABGrd plotam no campo das rochas metaluminosas, implicando excesso de $CaO+Na_2O+K_2O$ mol em relação ao Al_2O_3 mol. Os BGrd e LGrdG, por outro lado, plotam no campo das rochas fracamente peraluminosas (Figura 10A). No diagrama normativo An-Ab-Or (Figura 10B), os ABGrd caem no campo das rochas granodioríticas, enquanto os BGrd plotam no campo das rochas tonalíticas e graníticas, porém próximo ao campo granodiorítico. Os LGrdG são mais enriquecidos em albita normativa e incidem no campo das rochas trondjemíticas. No diagrama AFM (Figura 10C), todas as amostras plotam no campo das rochas cálcio-alcálicas e mostram comportamento similar, com decréscimo nos conteúdos de MgO e FeO_t e aumento nos de álcalis. A assinatura cálcio-alcálica dessas rochas é ressaltada também no diagrama K_2O versus SiO_2 (Figura 10D), no qual os ABGrd e BGrd são dominantes no campo das rochas cálcio-alcálicas de alto potássio, com duas amostras de BGrd ocupando o campo de médio potássio. Os LGrdG plotam no das rochas cálcio-alcálicas de médio potássio, com uma amostra incidindo no campo da série toleítica ou de baixo potássio.

ASSOCIAÇÃO TRONDJEMÍTICA

Elementos maiores

As amostras do BEpTrd apresentam conteúdos de sílica variando de 68,05 a 70,43%. Al_2O_3 é elevado e situa-se entre 15,39 e 16,87. Fe_2O_3 , CaO e MgO variam de 2,69 a 3,30%, 3,07 a 3,58% e 0,81 a 0,95%, respectivamente (Tabela 3). Na_2O e K_2O possuem teores entre 4,41 e 5,32% e 0,85 e 1,47%, respectivamente. Al_2O_3 e Na_2O apresentam correlação negativa com a sílica (Figuras 11B, 11D), enquanto CaO e MgO não definem *trends* claros (Figuras 11A, 11C).

Elementos-traço

O comportamento dos elementos-traço Rb, Ba e Zr é mostrado na Figura 11. Os teores de Rb (29,3 a 48,2 ppm) e Zr (51,7-113,4 ppm) são baixos, porém mostram uma leve correlação positiva com a sílica (Figuras 11E, 11G), enquanto os de Ba (333 a 618 ppm) e Sr (278,5-516,8 ppm) são moderados e apresentam correlação negativa com o aumento do teor de sílica, comportando-se como elementos compatíveis (Ba, Figura 11F; Sr, Tabela 3). Y (1,8-4,6 ppm) e Nb (0,7-4,8 ppm) não mostram correlação clara com a sílica (Tabela 3).

Os ETR (Tabela 3) foram normalizados pelos valores dos condritos de Nakamura (1974). Os BEpTrd mostram conteúdos de ETR variando de 203 a 432 ppm (Tabela 3) e enriquecimento em ETRL em relação aos ETRP, resultando em um padrão fortemente fracionado ($La/Yb_N = 90,54-32,74$) e anomalias de Eu inexpressivas ($Eu/Eu^* = 0,80-1,1$), com exceção da amostra MC-07, que apresenta anomalia positiva ($Eu/Eu^* = 1,85$; Figura 12F). O padrão de fracionamento dos ETR dos BEpTrd foi comparado com aqueles do Tonalito Arco Verde, Trondjemito Água Fria, Tonalito Mariazinha, Trondjemito Mogno e Complexo Tonalítico Caracol (Figuras 12A-12E), mostrando maior semelhança com os do Trondjemito Mogno e Trondjemito Água Fria (Figura 12G).

Almeida *et al.* (2011), com base em razões La/Yb , Sr/Y e Nb/Ta , distinguem três principais grupos de granitoides arqueanos do TGGRM. O grupo 1 é formado por granitoides onde essas três razões são elevadas, sendo representado principalmente pelo Trondjemito Mogno e Tonalito Mariazinha. O grupo 2 constitui-se de rochas com razões La/Yb , Sr/Y e Nb/Ta intermediárias e tem como representantes o Complexo Tonalítico Caracol e o Trondjemito Água Fria, enquanto o grupo 3 possui rochas com baixas razões La/Yb , Sr/Y e Nb/Ta , sendo dominado pelo Tonalito Arco Verde. Os BEpTrd deste estudo mostram similaridades com as rochas granitoides do grupo 1, que apresentam altas razões La/Yb , Sr/Y e Nb/Ta (Figura 13).

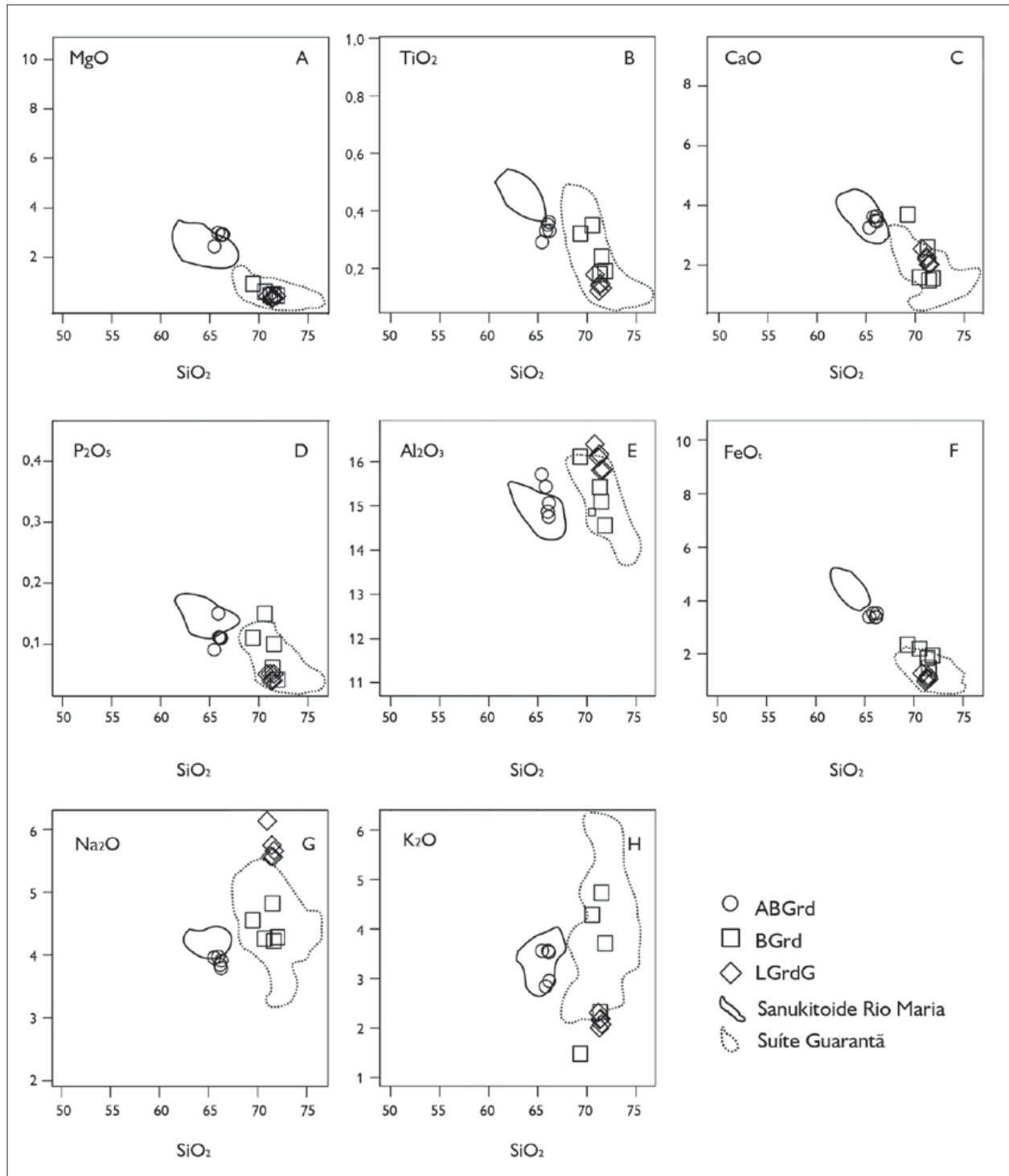


Figura 6. Diagramas de Harker para elementos maiores e menores da associação granodiorítica estudada. Suíte Sanukitoide Rio Maria (M. A. Oliveira *et al.*, 2009) e leucogranodioritos-granitos da Suíte Guarantã (Almeida *et al.*, 2010) são colocados para comparação. A) MgO; B) TiO_2 ; C) CaO; D) P_2O_5 ; E) Al_2O_3 ; F) FeO ; G) Na_2O ; H) K_2O .

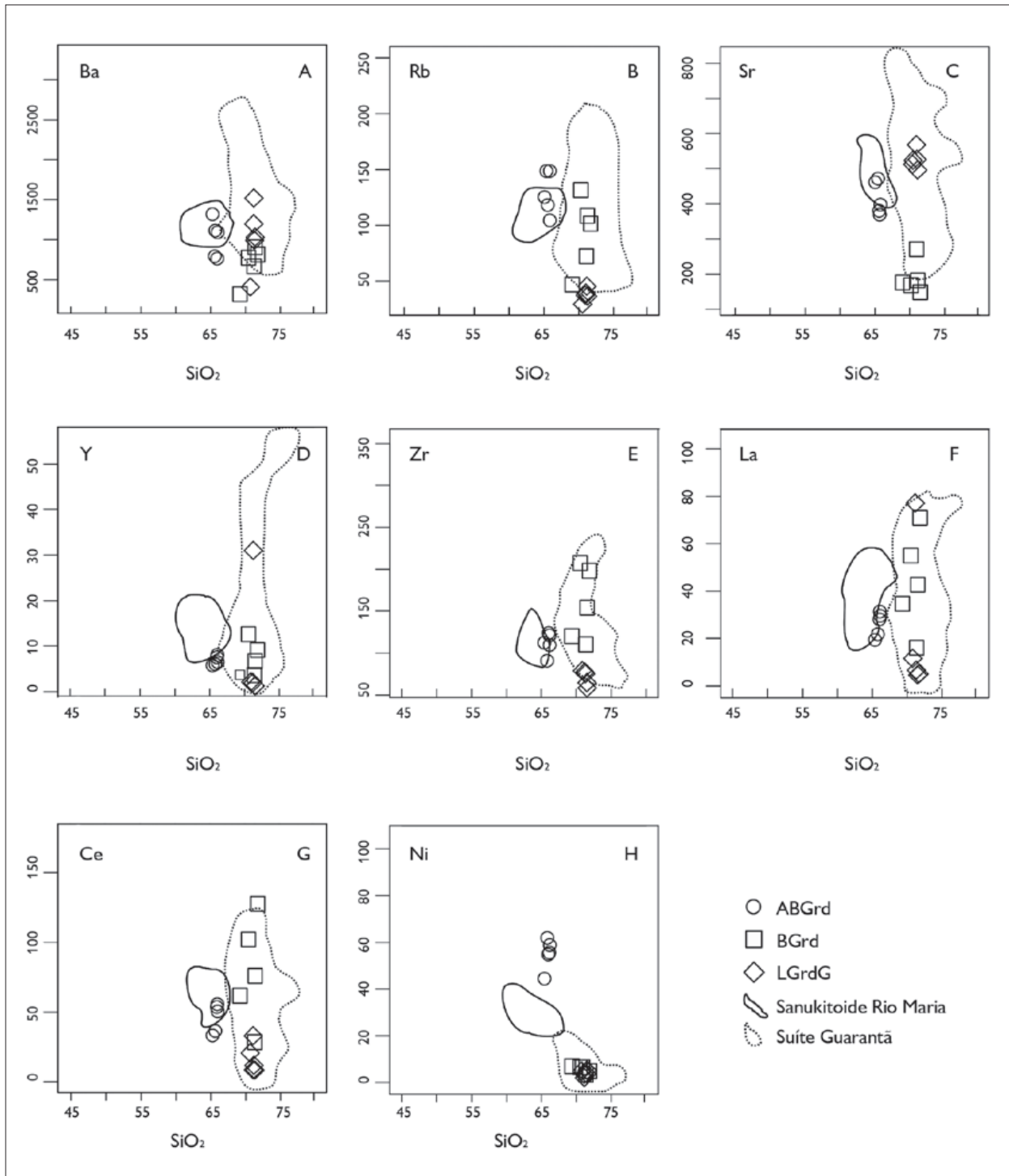


Figura 7. Diagramas de Harker para elementos-traço das amostras da associação granodiorítica estudada. Campos das rochas da Suíte Sanukitoide Rio Maria (M. A. Oliveira *et al.*, 2009) e leucogranodioritos-granitos da Suíte Guarantã (Almeida *et al.*, 2010) são mostrados para comparação. A) Ba; B) Rb; C) Sr; D) Y; E) Zr; F) La; G) Ce; H) Ni.

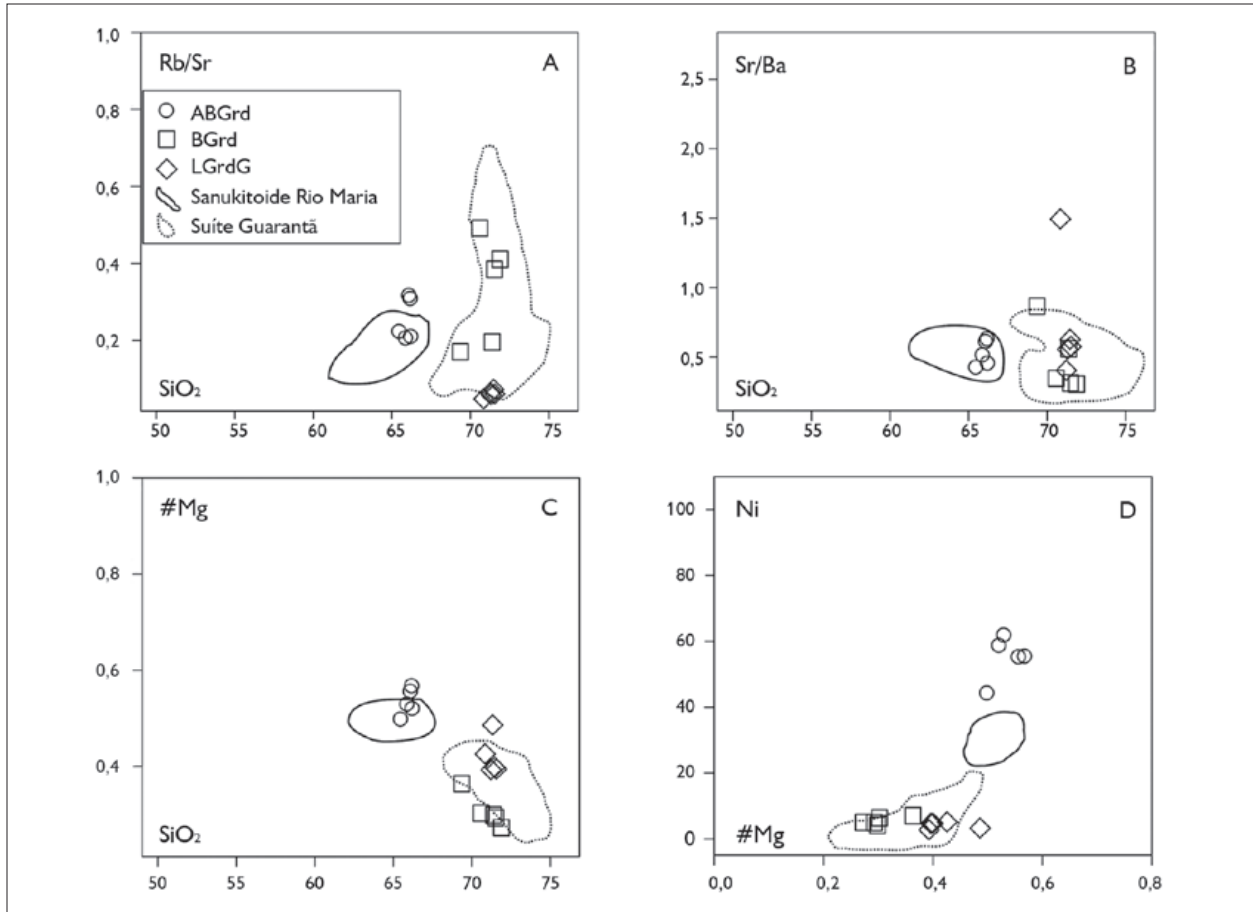


Figura 8. Diagramas de Harker para as razões Rb/Sr (A), Sr/Ba (B), #Mg (C) e diagrama #Mg versus Ni (D) para as rochas estudadas. Campos das rochas da Suíte Sanukitoide Rio Maria e da Suíte Guarantã são mostrados para comparação.

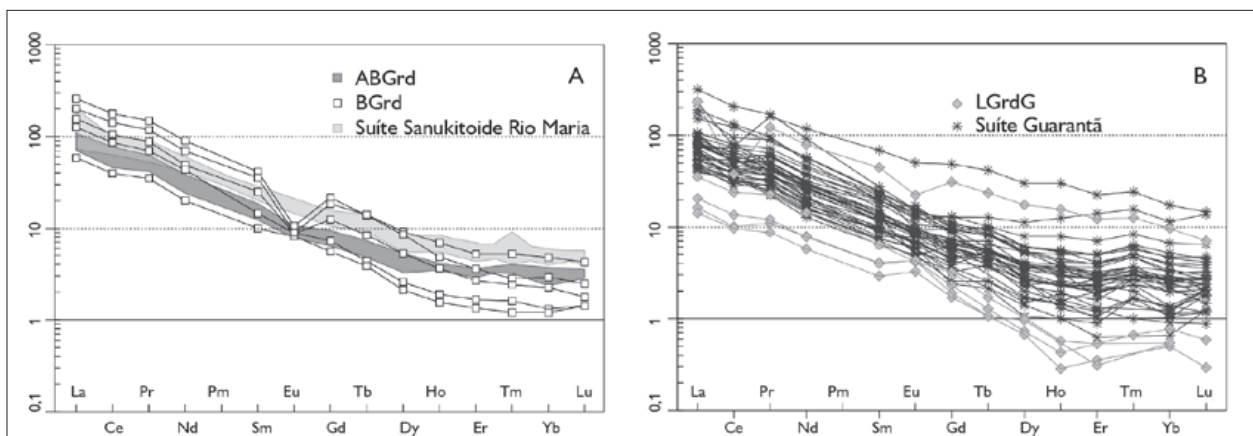


Figura 9. A) Padrões de elementos terras raras das rochas granodioríticas estudadas comparadas com as da Suíte Sanukitoide Rio Maria (M. A. Oliveira *et al.*, 2009); B) padrões de elementos terras raras dos LGrdG deste estudo comparados com os das rochas da Suíte Guarantã (Almeida *et al.*, 2010). Dados normalizados em relação ao condrito (Nakamura, 1974).

Tabela 3. Composições químicas das rochas granitoides estudadas. Óxidos em % em peso; elementos-traço e terras raras em ppm. Legendas: #Mg = $Mg/(Mg+Fe)$; BEpTrd = biotita-epidoto-trondhjemito; ABGrd = anfibólio-biotita-granodiorito; BGrd = biotita-granodiorito; LGrdG = leucogranodioritos-graniticos.

(Continua)

Litologias	BEpTrd				ABGrd				BGrd				LGrdG								
	MC-111	MC-06	MC-07	MC-112	MC-123	PCM-41	PCM-42	MC-59	MC-49	MC-56	MC-62	MC-03	MC-01b	MC-64	MC-05	MC-94	PC-03A	MC-100	PCM-48	MC-08	
Elementos																					
SiO ₂	68,05	68,76	69,07	70,41	70,43	65,46	65,87	66,08	66,17	66,20	69,36	70,58	71,38	71,53	71,89	70,85	71,23	71,33	71,47	71,54	
TiO ₂	0,29	0,28	0,38	0,31	0,30	0,29	0,33	0,35	0,36	0,33	0,32	0,35	0,18	0,24	0,19	0,18	0,12	0,14	0,14	0,13	
Al ₂ O ₃	16,87	16,39	16,06	15,39	15,49	15,71	15,43	14,87	14,75	15,06	16,11	14,86	15,42	15,10	14,56	16,40	16,10	16,17	15,81	15,82	
Fe ₂ O ₃	2,88	2,94	3,30	2,87	2,69	3,79	3,93	3,76	3,78	3,91	2,63	2,45	2,07	1,64	2,17	1,43	1,10	1,19	1,26	1,20	
MnO	0,03	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	
MgO	0,81	0,87	0,95	0,95	0,86	2,45	2,99	2,89	2,91	2,96	0,93	0,61	0,54	0,43	0,46	0,43	0,33	0,35	0,39	0,41	
CaO	3,08	3,34	3,57	3,07	3,58	3,25	3,61	3,50	3,49	3,63	3,70	1,59	2,59	1,49	1,55	2,54	2,17	2,22	2,03	2,06	
Na ₂ O	5,32	5,21	4,96	4,89	4,41	3,96	3,97	3,84	3,79	3,91	4,55	4,26	4,82	4,21	4,28	6,13	5,57	5,75	5,56	5,66	
K ₂ O	1,40	1,18	0,85	1,12	1,47	3,56	2,84	3,56	3,53	2,95	1,48	4,29	2,32	4,73	3,71	1,08	2,31	2,01	2,19	2,08	
P ₂ O ₅	0,09	0,11	0,10	0,09	0,10	0,09	0,15	0,11	0,11	0,11	0,11	0,15	0,06	0,10	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	
LOI	1,00	0,70	0,60	0,70	0,50	1,10	0,50	0,70	0,80	0,60	0,60	0,60	0,40	0,30	0,90	0,70	0,70	0,60	0,90	0,80	
Total	98,82	99,13	99,28	99,13	99,36	98,59	99,15	99,01	98,94	99,09	99,23	99,17	99,41	99,49	98,87	99,11	98,99	99,22	98,91	98,96	
Ba	618,00	463,00	594,00	445,00	333,00	1314,00	1,110,00	766,00	760,00	1,089,00	319,00	776,00	663,00	905,00	814,00	410,00	1,522,00	1,201,00	996,00	1,035,00	
Sr	516,80	484,50	446,50	486,40	278,50	560,20	571,10	468,30	479,80	495,90	276,10	267,80	370,20	282,40	248,60	613,10	616,30	668,10	625,10	596,30	
Rb	31,20	30,00	29,30	31,20	48,20	125,30	117,90	148,50	148,30	104,30	47,00	131,70	72,40	108,60	102,10	29,80	37,80	39,40	45,60	36,90	
Zr	97,90	103,30	110,00	51,70	113,40	112,00	90,30	123,40	120,40	108,90	120,10	206,90	109,90	154,00	198,10	78,80	77,30	75,50	65,70	59,70	
Y	2,90	4,60	1,80	3,60	3,30	5,70	6,00	7,50	8,00	6,40	3,70	12,60	3,30	6,70	9,10	2,10	3,100	1,30	1,40	1,30	
Nb	1,40	3,90	0,70	1,30	4,80	2,60	6,20	5,40	5,50	4,30	4,00	6,80	2,90	2,50	2,50	1,50	1,30	<0,10	0,40	<0,10	
Ca	20,80	18,40	18,80	17,60	16,50	15,90	15,10	16,60	17,60	16,30	17,80	23,60	20,70	19,00	21,60	19,40	18,90	18,70	18,60	17,70	
Th	4,00	2,70	2,20	3,00	9,10	7,30	8,80	16,80	15,20	13,40	10,40	33,20	5,50	25,70	47,10	1,50	1,00	0,70	0,70	0,50	
Ni	3,60	4,40	5,40	5,50	7,10	44,30	61,90	55,30	55,50	58,80	7,00	6,40	4,10	4,90	5,00	5,20	2,80	3,30	4,70	4,70	
Cr	<137	<137	<13,60	<13,70	20,53	17108	15739	15055	164,23	17108	13,69	<13,70	<13,70	<13,70	<13,70	<13,70	<13,70	<13,60	<13,70	<13,70	
Co	15,70	24,10	19,70	14,70	28,00	24,70	29,80	27,00	27,20	26,70	24,10	32,90	37,80	17,80	35,70	23,60	14,10	18,30	17,20	19,70	
La	78,09	79,31	74,41	88,72	159,04	78,90	88,72	114,47	120,61	120,61	141,46	224,86	65,82	174,57	289,86	47,83	315,21	27,80	22,08	19,22	
Ce	53,61	51,58	44,99	60,98	97,98	51,89	56,44	83,87	86,85	78,70	96,72	159,59	44,83	118,67	199,72	32,45	51,58	18,50	13,80	13,17	
Pr	40,68	35,90	33,10	44,31	73,16	40,26	44,41	60,18	63,19	51,99	67,45	113,62	33,72	84,67	142,78	26,46	141,85	14,11	12,76	10,17	



Tabela 3. (Conclusão)

Litoologas	BEP.Trd				ABGrid				BGrd				LGrid									
	MC-111	MC-06	MC-07	MC-112	MC-123	PCM-41	PCM-42	MC-59	MC-49	MC-56	MC-62	MC-03	MC-01b	MC-64	MC-05	MC-94	PC-03A	MC-100	PCM-48	MC-08		
Amostras																						
Elementos																						
Nd	30,60	24,91	20,89	26,80	47,91	26,80	32,93	43,90	42,63	39,26	47,91	76,83	22,16	54,24	99,20	19,21	105,11	10,34	10,55	7,60		
Sm	11,95	13,38	7,73	12,53	19,16	13,57	15,26	18,70	20,32	15,91	15,97	38,96	10,97	27,53	45,39	8,38	58,77	5,26	5,32	3,83		
Eu	10,17	10,17	10,34	9,82	10,86	8,62	10,51	11,38	11,72	10,34	9,82	9,82	8,96	9,65	11,72	5,52	29,64	5,69	5,69	4,31		
Gd	6,12	7,83	3,43	6,22	7,93	7,15	8,91	10,77	10,72	8,71	8,13	20,70	6,22	14,00	24,38	4,31	42,00	2,55	3,08	2,30		
Tb	3,47	4,54	1,87	4,01	4,27	5,07	5,87	6,94	7,21	5,61	4,54	14,69	4,01	8,81	14,42	2,14	29,64	1,34	1,60	1,34		
Dy	2,72	2,79	1,34	3,07	3,82	3,66	4,33	5,90	5,86	5,59	2,87	10,35	2,36	5,90	9,56	1,38	23,65	1,30	0,98	0,91		
Ho	1,76	2,65	0,88	2,12	1,59	3,53	4,23	4,06	4,23	3,70	1,94	7,05	1,59	3,70	4,94	0,71	19,40	0,69	0,53	0,35		
Er	1,69	2,29	1,20	2,11	2,11	3,25	3,61	4,04	4,10	3,80	1,87	5,84	1,51	3,01	4,04	0,72	16,63	0,42	0,72	0,48		
Tm	0,78	1,95	0,78	1,56	1,56	3,51	3,90	3,90	3,90	3,12	1,56	5,08	1,17	2,34	2,73	0,78	14,84	0,00	0,00	0,00		
Yb	1,15	2,42	1,09	1,51	1,76	3,09	3,94	4,12	3,82	2,60	1,45	5,27	1,33	2,48	3,21	1,03	12,96	0,73	0,73	0,67		
Lu	0,79	1,97	1,18	1,18	1,58	3,15	3,54	3,94	3,94	3,15	1,58	4,73	1,58	1,97	2,76	0,79	9,45	0,00	0,00	0,39		
ΣETR	243,57	241,69	203,24	264,94	432,70	75,57	85,36	117,38	120,70	111,20	131,83	220,62	63,31	162,98	276,30	47,34	206,56	27,09	22,79	19,49		
(La/Yb) _N	67,85	32,74	68,25	58,59	90,54	25,54	22,53	27,79	31,61	46,31	97,31	42,67	49,40	70,30	90,29	46,45	24,32	38,25	30,37	28,84		
(La/Sm) _N	6,54	5,93	9,63	7,08	8,30	5,81	5,81	6,12	5,93	7,58	8,86	5,77	6,00	6,34	6,39	5,71	5,36	5,29	4,15	5,02		
(Gd/Yb) _N	5,32	3,23	3,14	4,11	4,51	2,31	2,26	2,61	2,81	3,35	5,59	3,93	4,67	5,64	7,59	4,18	3,24	3,50	4,24	3,45		
Eu/Eu*	1,13	0,96	1,85	1,05	0,80	0,83	0,87	0,77	0,76	0,84	0,82	0,33	1,04	0,46	0,34	0,87	0,59	1,46	1,35	1,41		
Rb/Sr	0,06	0,06	0,07	0,06	0,17	0,22	0,21	0,32	0,31	0,21	0,17	0,49	0,20	0,38	0,41	0,05	0,06	0,06	0,07	0,06		
Sr/Ba	0,84	1,05	0,75	1,09	0,84	0,43	0,51	0,61	0,63	0,46	0,87	0,35	0,56	0,31	0,31	1,50	0,40	0,56	0,63	0,58		
K ₂ O/Na ₂ O	0,26	0,23	0,17	0,23	0,33	0,90	0,72	0,93	0,93	0,75	0,33	1,01	0,48	1,12	0,87	0,18	0,41	0,35	0,39	0,37		
#Mg	0,36	0,35	0,33	0,37	0,34	0,50	0,53	0,56	0,57	0,52	0,36	0,30	0,30	0,29	0,27	0,43	0,39	0,49	0,40	0,39		



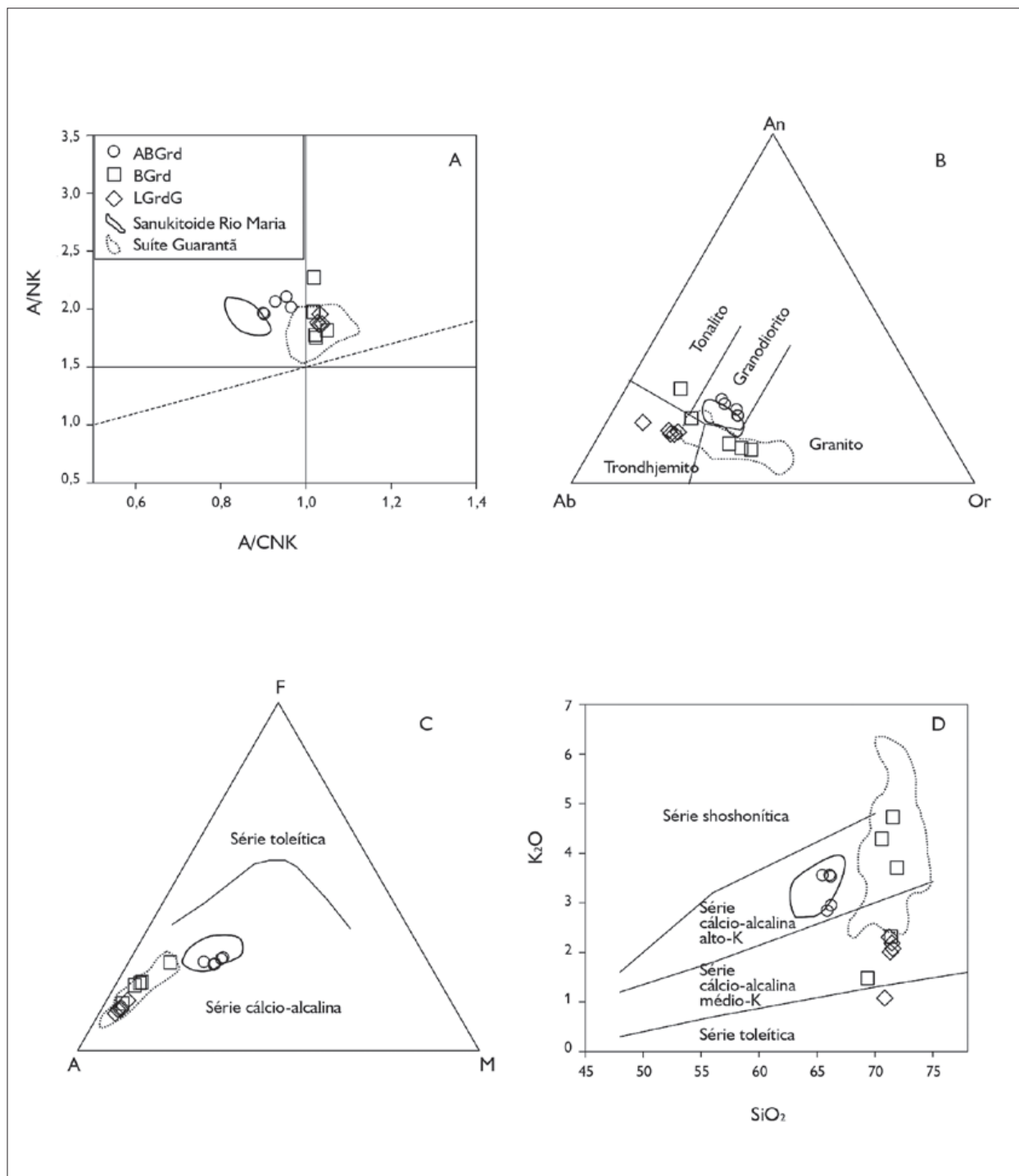


Figura 10. Diagramas geoquímicos mostrando a distribuição das amostras da associação granodiorítica deste estudo juntamente com os campos dos granodioritos das suítes sanukitoides Rio Maria e Guarantã. A) Diagrama ACNK versus ANK (Shand, 1950); B) diagrama An-Ab-Or normativo (O'Connor, 1965, com campos de Barker, 1979); C) diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971; A = Na₂O+K₂O; F = FeO+0,9*Fe₂O₃; M = MgO); D) diagrama K₂O versus SiO₂, com campos de Peccerillo & Taylor (1976).

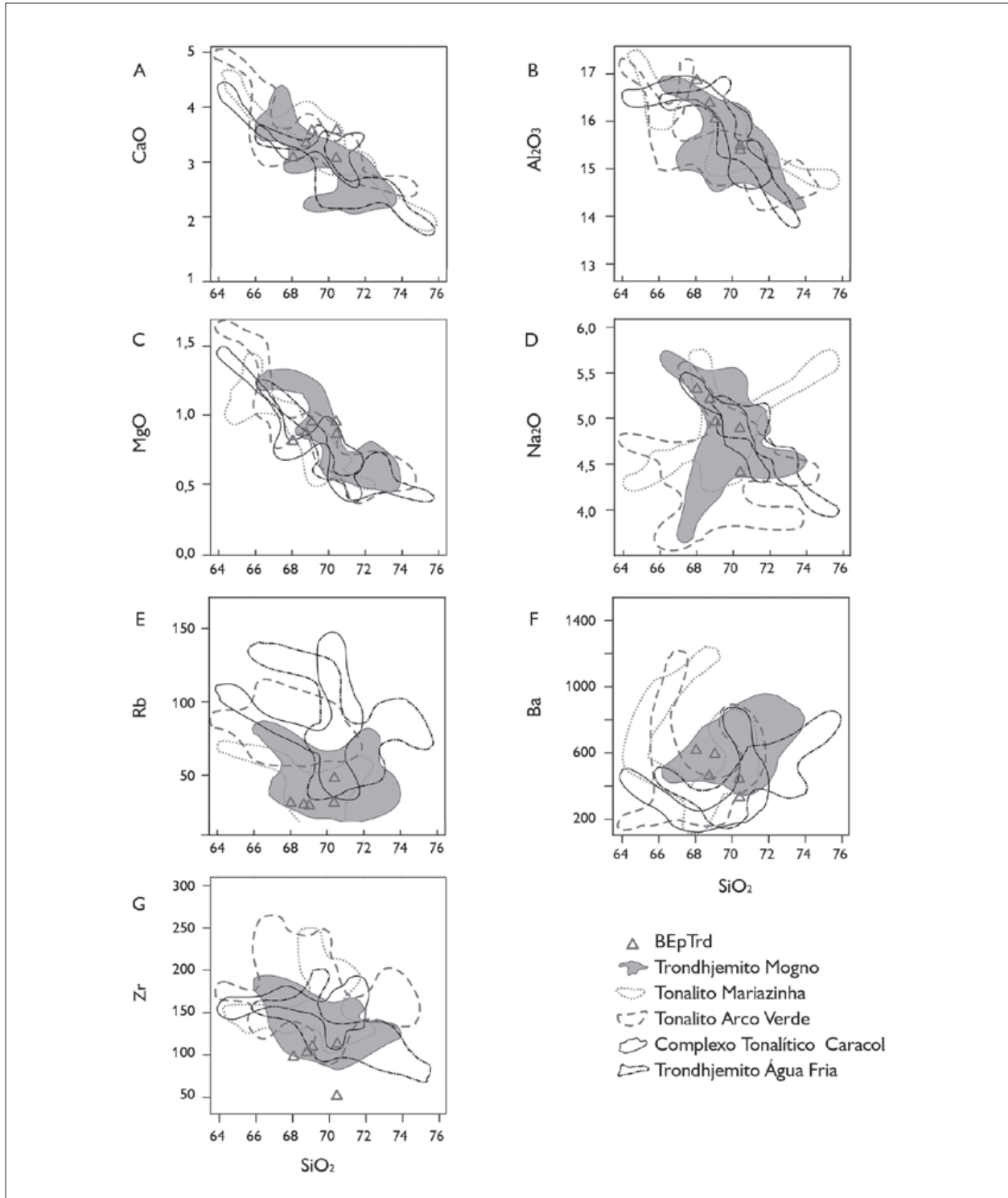


Figura 11. Diagramas de Harker para elementos maiores (A-D) e traço (E-G) das rochas trondhjemíticas deste estudo e de outras rochas TTG do TGGRM (campos baseados em Almeida *et al.*, 2011). A) CaO; B) Al₂O₃; C) MgO; D) Na₂O; E) Rb; F) Ba; G) Zr.

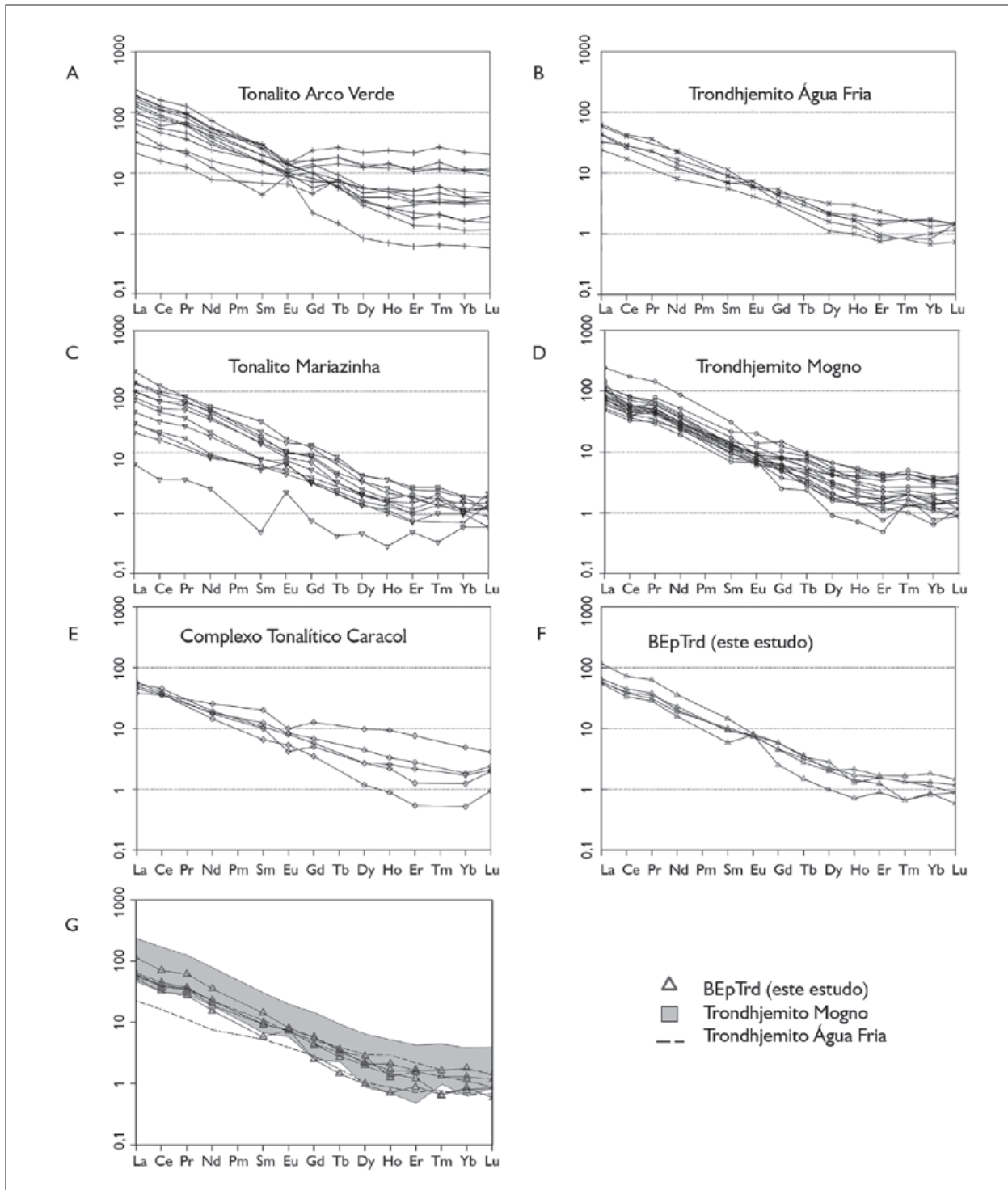


Figura 12. A-E) Padrões de ETR de rochas TTG estudadas por Almeida *et al.* (2011); F) padrões de ETR para as rochas da associação trondhjemítica deste estudo; G) comparação entre padrões de ETR. Dados normalizados em relação ao condrito (Nakamura, 1974).

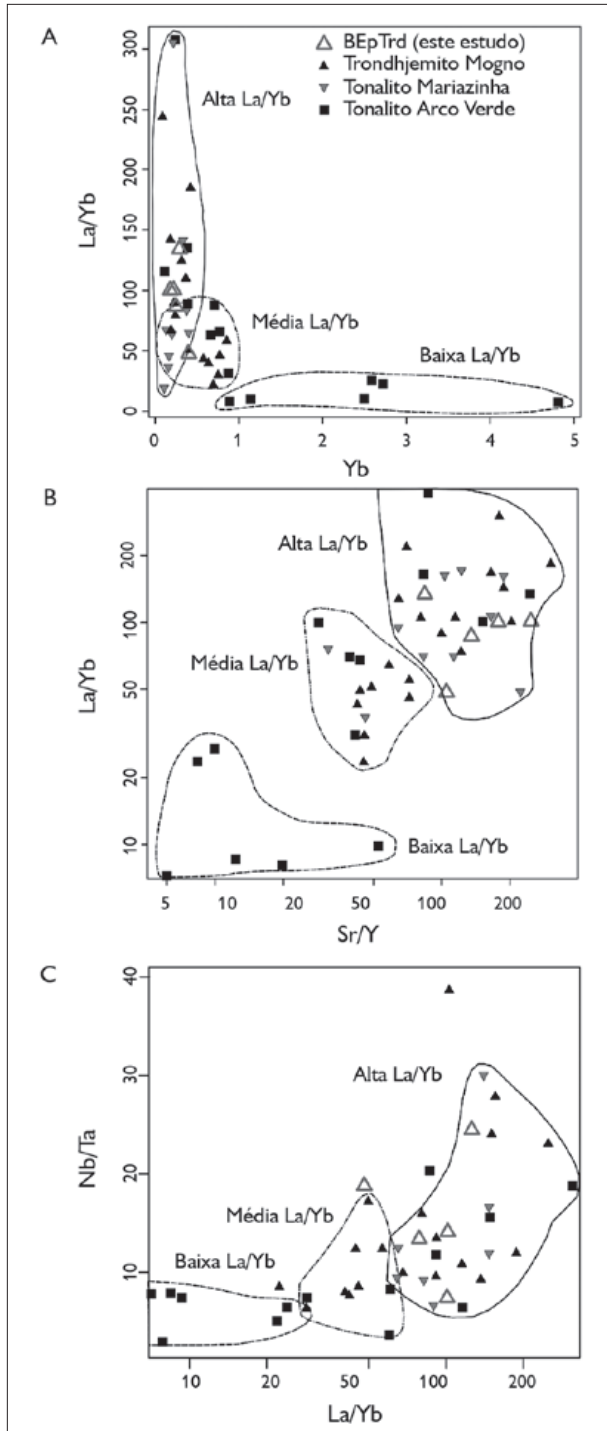


Figura 13. Diagramas La/Yb versus Yb (A), La/Yb versus Sr/Y (B) e Nb/Ta versus La/Yb (C), utilizados para discriminar os diferentes grupos de granitoides TTG do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, segundo Almeida *et al.* (2011).

Séries magmáticas

Os BEpTrd mostram assinatura leve a moderadamente peraluminosa no diagrama A/NK versus A/CNK (Shand, 1950), plotam na interface das rochas trondhemíticas e tonalíticas no diagrama normativo An-Ab-Or (Figuras 14A-14B) e incidem no campo das rochas cálcio-alcálicas de baixo a médio-K (Figuras 14C-14D).

GEOCRONOLOGIA

PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

As análises isotópicas realizadas por meio do método de evaporação de Pb em monocristais de zircão foram efetuadas no Laboratório de Geologia Isotópica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (IG-UFFPA). A metodologia utilizada nas análises foi a desenvolvida por Kober (1986). As análises foram feitas em um espectrômetro de massa de ionização termal modelo FINNIGAN MAT 262. A separação cartográfica e petrográfica das unidades estudadas permitiu selecionar amostras representativas de duas delas, de modo a determinar suas idades de cristalização. Foram datadas as amostras MC-01A e MC-49, representantes, respectivamente, dos BGrd aflorantes às proximidades da cidade de Água Azul do Norte e dos ABGrd da cidade de Ourilândia do Norte.

RESULTADOS

- BGrd: a amostra dessa unidade (MC-01A) é representativa do domínio nordeste da área de estudo. Foram selecionados 31 cristais translúcidos, marrons, bipiramidais, moderada a levemente fraturados e comumente zonados. Desses, 28 foram eliminados do cálculo da idade final, por apresentarem razões $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ acima de 0,0004 ou conteúdos de Pb insuficientes para a datação. Os três cristais restantes forneceram uma idade média de 2884 ± 3 Ma, considerada, preliminarmente, idade de cristalização. A Tabela 4 mostra as idades obtidas para os três cristais de zircão, e a Figura 15, o diagrama com a idade média dos mesmos.

- ABGrd: a amostra selecionada para datação geocronológica (MC-49) é representativa do domínio noroeste da área de estudo; possui aspecto textural primário preservado, padrões estruturais e petrográficos distintos das rochas granodioríticas da porção nordeste. Foram selecionados 54 cristais de coloração castanho-clara dominante, translúcidos, com certo brilho adamantino, de hábito prismático bipiramidal,

moderada a levemente fraturados, comumente zonados e isentos de inclusões. Desses, 16 cristais foram analisados, sendo onze deles eliminados do cálculo da idade final por apresentarem razões $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ acima de 0,0004 ou conteúdos de Pb insuficientes para datação. Cinco cristais apresentaram idade de 2875 ± 2 Ma, interpretada como idade de cristalização da rocha (Tabela 5, Figura 15).

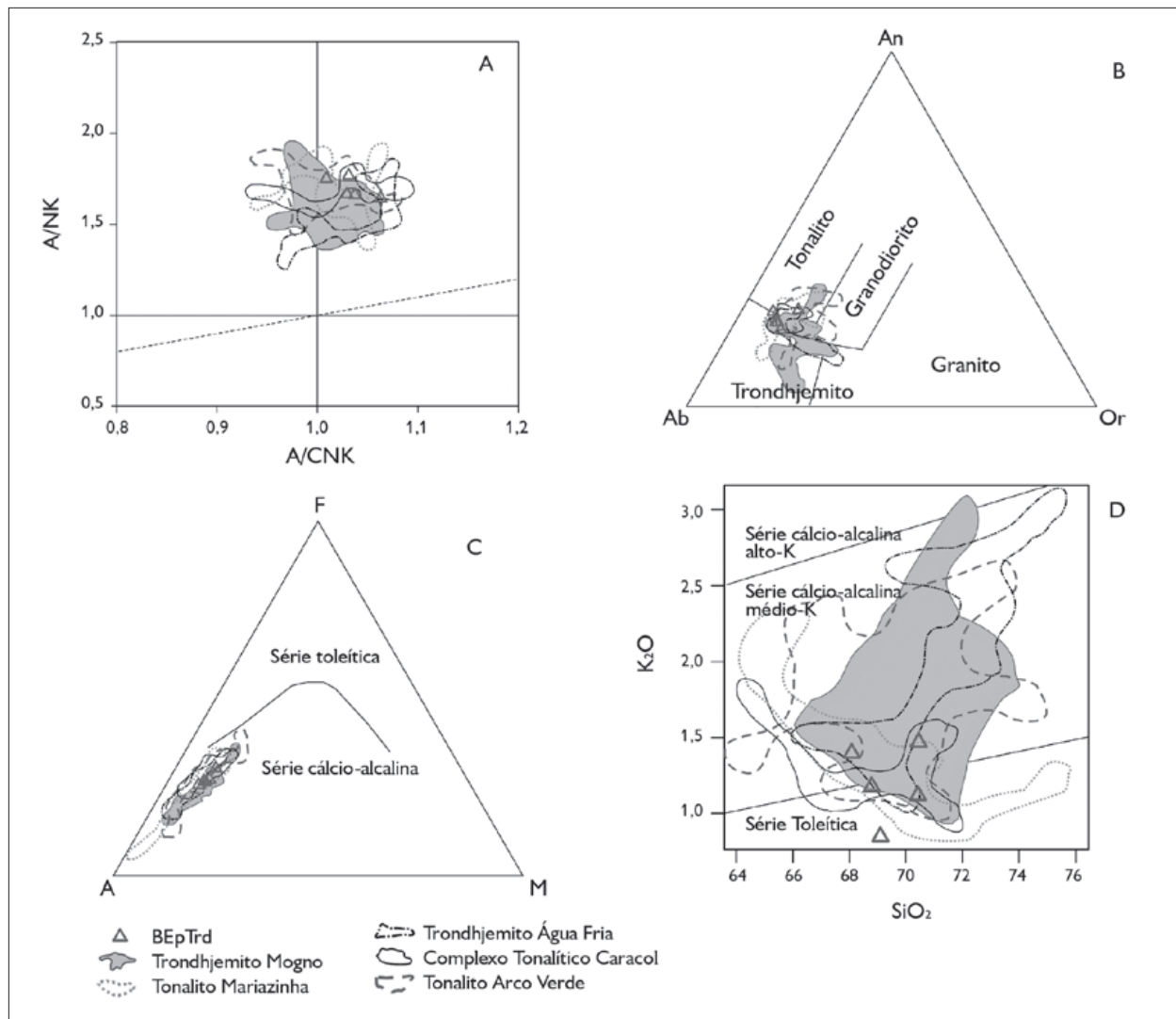


Figura 14. Diagramas mostrando a distribuição dos granitoides TTG da área de estudo comparados com aqueles estudados por Almeida *et al.*, 2011. A) Diagrama ACNK versus ANK (Shand, 1950); B) diagrama An-Ab-Or normativo (O'Connor, 1965, com campos de Barker, 1979); C) diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971; A = Na₂O+K₂O; F = FeO+0,9*Fe₂O₃; M = MgO); D) diagrama K₂O versus SiO₂ (campos segundo Peccerillo & Taylor, 1976).

DISCUSSÕES

COMPARAÇÕES COM OUTRAS UNIDADES DO TGGRM

ABGrd e BGrd *versus* Suíte Sanukitoide Rio Maria

Os ABGrd e BGrd que ocorrem na porção NWN da área de estudo (Figura 4) são comparados às rochas granodioríticas da Suíte Sanukitoide Rio Maria (M. A. Oliveira *et al.*, 2009). Os ABGrd apresentam composição mineralógica e modal similar à dos sanukitoides (Figura 5), possuem anfibólio e biotita como principais fases ferromagnesianas e epidoto magmático, mineral comumente presente nessas últimas. Mostram intensa saussuritização dos cristais de plagioclásio, que, juntamente com a presença de cristais de epidoto, proporcionam a coloração esverdeada característica das rochas sanukitoides Rio Maria. Por outro lado, os BGrd são texturalmente distintos, não possuem hornblenda, têm biotita como a única fase máfica, sendo o epidoto magmático uma fase ausente. Geoquimicamente, as amostras do ABGrd são coincidentes ou aproximam-se do campo de ocorrência dos sanukitoides Rio Maria nos diagramas envolvendo elementos maiores (Figura 6),

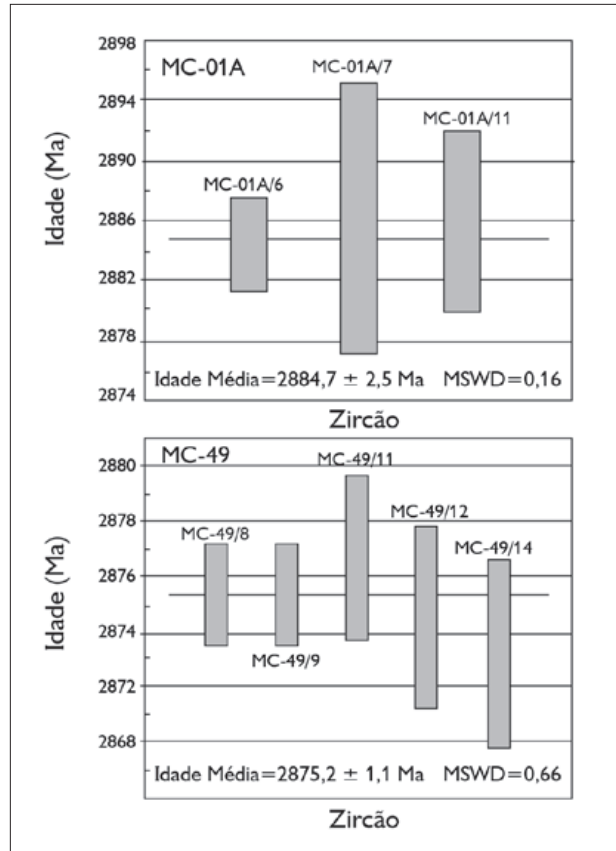


Figura 15. Diagramas mostrando as idades de cada cristal utilizado no cálculo da idade média das amostras MC-01A e MC-49.

Tabela 4. Resultado da datação por evaporação de Pb em zircão da amostra MC-01A

Zircão	Razões	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2s	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2s	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2s	Idade	2s
MC01A/6	32/80	0,000184	0,000028	0,04948	0,0007	0,20721	0,00039	2884,3	3,0
MC01A/7	24/46	0,000748	0,000047	0,05842	0,0014	0,20746	0,00116	2886,2	9,0
MC01A/11	22/30	0,000084	0,000009	0,04856	0,0006	0,20741	0,00078	2885,8	6,1
	78/594							Idade = 2884,7	2,6

Tabela 5. Resultado da datação por evaporação de Pb em zircão da amostra MC-49.

Zircão	Razões	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2s	$(^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2s	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2s	Idade	2s
MC49/8	30/90	0,000066	0,000008	0,15703	0,00302	0,20610	0,00024	2875,4	1,9
MC49/9	28/28	0,000006	0,000029	0,17507	0,00433	0,20613	0,00023	2876,2	3,1
MC49/11	38/42	0,000019	0,000004	0,20493	0,00073	0,20627	0,00039	2876,7	3,0
MC49/12	36/42	0,000057	0,000013	0,16240	0,06301	0,20598	0,00042	2874,5	3,3
MC49/14	40/70	0,000034	0,000007	0,11150	0,00065	0,20581	0,00043	2873,2	3,4
	172/466							Idade = 2875,2	1,1

os elementos-traço Ba, Rb, Sr, Y, Zr, La e Ce (Figura 7) e as razões Rb/Sr e Sr/Ba (Figura 8). São também mais enriquecidas em Ni (44-62 ppm), Cr (150-171 ppm) e #Mg (0,50-0,57) em comparação com os sanukitoides Rio Maria (Ni = 25-31, Cr = 41-96, #Mg = 0,48-0,50; M. A. Oliveira *et al.*, 2009).

Os BGrd, por outro lado, mostram comportamento distinto nesses elementos e razões. Em termos de elementos terras raras (Figura 9), os ABGrd são mais empobrecidos neles ($\Sigma\text{ETR} = 75,6\text{-}120,7$ contra $104,5\text{-}253,8$ dos sanukitoides), mostram ETRP um pouco mais fracionados ($\text{Gd}/\text{Yb}_N = 2,3\text{-}3,4$ contra $1,3\text{-}1,6$ dos sanukitoides), porém possuem padrão de fracionamento similar ($\text{La}/\text{Yb}_N = 22,5\text{-}46,3$ contra $15,5\text{-}44,4$ dos sanukitoides). Comparativamente, os BGrd são mais enriquecidos em ETR (ΣETR entre $132\text{-}276$ ppm, com apenas uma amostra com 63 ppm), evidenciando padrão mais fracionado para os ETR ($\text{La}/\text{Yb}_N = 42,7\text{-}97,3$) e ETRP ($\text{Gd}/\text{Yb}_N = 3,9\text{-}7,6$) e uma pronunciada anomalia negativa de Eu em relação à das rochas ABGrd e sanukitoides (Figura 9). Tais características afastam a possibilidade de os BGrd serem uma fácies mais evoluída dos ABGrd. Quanto às séries magmáticas, os ABGrd incidem, à semelhança dos sanukitoides Rio Maria, no campo granodiorítico no diagrama normativo An-Ab-Or, mostrando caráter metaluminoso e assinatura cálcio-alcálica de alto-K (Figura 10). Por outro lado, as rochas BGrd mostram comportamento diferente nesses diagramas e tendem a se afastar dos ABGrd e do campo dos sanukitoides, sugerindo tratar-se de outra unidade.

Os dados geocronológicos obtidos (Tabelas 4 e 5; Figura 15) indicaram idade de cristalização de 2875 ± 2 Ma para o ABGrd, similar às idades dos sanukitoides Rio Maria (dominantemente 2,87 Ga; Tabela 1). O BGrd forneceu idade de cristalização um pouco mais antiga (2884 ± 3 Ma), embora com apenas três cristais datados. Os dados petrográficos e geoquímicos deste trabalho, somados à idade de cristalização Pb-Pb em zircão, indicam que o ABGrd que ocorre na região de Ourilândia do Norte é, em termos gerais, correlacionável aos granodioritos da Suíte Sanukitoide Rio Maria. Por outro lado, os BGrd que ocorrem

imediatamente a leste dos ABGrd (Figura 4) apresentaram características petrográficas, geoquímicas e idade de cristalização diferentes, sugerindo tratar-se de outra unidade.

LGrdG versus Suíte Guarantã

Os LGrdG de Água Azul do Norte (Figura 4) são, neste estudo, comparados à Suíte Guarantã (Almeida *et al.*, 2010). Mineralógica e petrograficamente, os LGrdG são similares às rochas da Suíte Guarantã. Apresentam textura grossa e coloração esbranquiçada a rosada, com pórfiros subidiomórficos de plagioclásio e álcali feldspato rosado. A biotita é a única fase ferromagnésiana, e o epidoto magmático ocorre comumente associado a ela. O conteúdo de minerais máficos é $< 7\%$, enquanto nos leucogranodioritos e granitos da Suíte Guarantã é $\leq 10\%$. Geoquimicamente, os LGrdG são pobres em MgO, TiO_2 , CaO, P_2O_5 , FeO_t e K_2O e enriquecidos em Al_2O_3 e Na_2O , superpondo-se ou aproximando-se do campo definido para as rochas da Suíte Guarantã (Figura 6). Em termos de elementos-traço, mostram empobrecimento em Rb, Y, La, Ce, Ni, #Mg, Rb/Sr, Sr/Ba e teores moderados de Ba e Sr, incidindo predominantemente no campo das rochas da Suíte Guarantã (Figuras 7 e 8). Embora os LGrdG da área de estudo sejam mais empobrecidos em ETR (exceto a amostra MC-94) quando comparados às rochas da Suíte Guarantã (Figura 9B), os padrões de fracionamento são similares, com diferenças mais evidentes nas anomalias de Eu (Eu/Eu^* em LGrdG = $0,59\text{-}1,46$; Suíte Guarantã = $0,73\text{-}0,98$, com uma amostra apresentando valor de 1,21; Almeida *et al.*, 2011). Com relação às séries magmáticas, os LGrdG deste estudo e as rochas da Suíte Guarantã mostram caráter fracamente peraluminoso (Figura 10A) e assinatura cálcio-alcálica característica, com os LGrdG incidindo nos campos das rochas com baixo a médio-K, enquanto as rochas da Suíte Guarantã distribuem-se nos campos de médio-K a shoshonítico no diagrama K_2O versus SiO_2 (Figuras 10C-10D). No diagrama An-Ab-Or, as rochas LGrdG ocupam predominantemente o campo trondhjemítico, e as rochas da Suíte Guarantã distribuem-se nos campos trondhjemítico e granítico daquele diagrama (Figura 10B).

Biotita-epidoto-trondhjemito *versus* Trondhjemitos e Tonalitos do TGGRM

A associação trondhjemítica que ocorre nas porções leste e sudeste da área de estudo (Figura 4) é comparada geoquimicamente aos trondhjemitos Mogno e Água Fria e aos tonalitos Arco Verde, Caracol e Mariazinha, aflorantes no TGGRM. Os BEpTrd mostram maior afinidade em termos de CaO, Al₂O₃, MgO, Na₂O com as rochas do Trondhjemito Mogno e dos tonalitos Mariazinha e Arco Verde (Figuras 11A-11D). Em termos de Rb, Ba e Zr, mostram superposição com as rochas dos trondhjemitos Mogno e Água Fria e as do Tonalito Mariazinha (Figuras 11E-11G). Com relação aos padrões de ETR (Figura 12), os BEpTrd se superpõem às rochas dos TTG do Domínio Rio Maria, porém mostram maior similaridade com o padrão definido pelas rochas do Trondhjemito Mogno, tanto em termos de elementos terras raras leves quanto pesadas, e do Trondhjemito Água Fria, embora estas últimas apresentem conteúdos mais baixos de ETRL (Figura 12G). Outras características geoquímicas que permitem correlacionar os BEpTrd com o Trondhjemito Mogno são suas altas razões La/Yb, Sr/Y e Nb/Ta (Figura 13), as quais seriam indicativas de magmas gerados a pressões > 1,5 Gpa (Moyen & Stevens, 2006; Moyen, 2009). Por outro lado, nas rochas do Trondhjemito Água Fria, tais razões são intermediárias e indicariam pressões comparativamente inferiores, entre 1,5-1,0 Gpa. Rochas granitoides com padrão de ETR fortemente fracionado, empobrecidas em ETRP e Y e enriquecidas em Sr, Eu e, na razão Sr/Y, similar ao Trondhjemito Mogno e ao BEpTrd deste estudo, seriam indicativas de fusões geradas na presença de granada e anfibólio ou teriam sua evolução magmática controlada pelo fracionamento de anfibólio e granada (Moyen & Stevens, 2006; Moyen, 2009; Almeida *et al.*, 2011).

CONCLUSÕES

Quatro tipos principais de rochas granitoides arqueanas foram identificadas entre as cidades de Água Azul do Norte e Ourilândia do Norte (Figura 4): 1) anfibólio-biotita-

granodioritos (ABGrd) fortemente saussuritizados, aflorantes a norte, nordeste e a sul de Ourilândia do Norte, com idade de cristalização de 2875 ± 2 Ma e correlacionados, em termos petrográficos, geoquímicos e geocronológicos, à Suíte Sanukitoide Rio Maria; 2) biotita-granodioritos (BGrd) pouco alterados, situados a norte-noroeste de Água Azul do Norte, com idade de cristalização de 2884 ± 3 Ma, petrográfica e geoquimicamente distintos dos ABGrd e dos sanukitoides Rio Maria, tratando-se, provavelmente, de uma unidade geológica ainda sem denominação; 3) leucogranodioritos-granitos (LGrdG) aflorantes imediatamente a sul de Água Azul do Norte e correlacionados às rochas da Suíte Garantã; 4) biotita-epidoto-trondhjemitos (BEpTrd), ocorrendo a sul-sudoeste de Água Azul do Norte e apresentando fortes similaridades petrográficas e geoquímicas com as rochas do Trondhjemito Mogno.

O estudo comparativo envolvendo geologia, petrografia, geoquímica e, em parte, geocronologia entre as unidades estudadas e suas correlatas do TGGRM permitiu um posicionamento estratigráfico mais conclusivo das rochas arqueanas situadas entre as cidades de Água Azul do Norte e Ourilândia do Norte, porção sudeste do Cráton Amazônico. Tal fato demonstra que as rochas granitoides arqueanas dominantes no TGGRM estendem-se também até a porção noroeste desse domínio.

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 artigo é uma contribuição para o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) de Geociências da Amazônia (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico/Ministério da Ciência e Tecnologia/Fundação Amazônia Paraense de Amparo à Pesquisa – CNPq/MCT/FAPESPA – Processo nº 573733/2008-2).



REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. A. C., M. A. OLIVEIRA, R. DALL'AGNOL, F. J. ALTHOFF & R. M. K. BORGES, 2008. **Relatório de mapeamento geológico na escala 1:100.000 da Folha Marajoara (SB-22-Z-C-V): 1-147**. Serviço Geológico do Brasil - CPRM.
- 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 the 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. J., P. BARBEY & A.-M. BOULLIER, 2000. 2.8-3.0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral province, Brazil). **Precambrian Research** 104(3-4): 187-206.
- BARKER, F., 1979. Trondhjemites: definition, environment and hypotheses of origin. In: F. BARKER (Ed.): **Trondhjemites, dacites and related rocks**: 1-12. Elsevier, Amsterdam.
- BARKER, F. & J. G. ARTH, 1976. Generation of trondhjemitic-tonalitic liquids and Archean bimodal trondhjemite-basalt suites. **Geology** 4(10): 596-600.
- BICKLE, M. J., L. F. BETTENAY, H. J. CHAPMAN, D. I. GROVES, N. J. MCNAUGHTON, I. H. CAMPBELL & J. R. DE LAETER, 1993. Origin of the 3500-3300 Ma calc-alkaline rocks in the Pilbara Archæan: isotopic and geochemical constraints from the Shaw Batholith. **Precambrian Research** 60(1-4): 117-149.
- BRITO NEVES, B. B. & U. G. CORDANI, 1991. Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic. **Precambrian Research** 53(1-2): 23-40.
- BOWDEN, P., R. A. BATCHELOR, B. W. CHAPPELL, J. DIDIER & J. LAMEYRE, 1984. Petrological, geochemical and source criteria for the classification of granitic rocks: a discussion. **Physics of the Earth and Planetary Interiors** 35(1-3): 1-11.
- CHAMPION, D. C. & R. H. SMITHIES, 2007. Geochemistry of Paleoproterozoic Granites of the East Pilbara Terrane, Pilbara Craton, Western Australia: implications for early Archean crustal growth. In: M. J. VAN KRANENDONK, R. H. SMITHIES & V. C. BENNETT (Eds.): **Earth's oldest rocks**: 369-410. Elsevier (Developments in Precambrian Geology, 15), Amsterdam.
- CONDIE, K. C., 1993. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. **Chemical Geology** 104(1-4): 1-37.
- DALL'AGNOL, R., Z. S. SOUZA, F. J. ALTHOFF, C. E. M. BARROS, A. A. S. LEITE & X. S. JORGE JOÃO, 1997. General aspects of the granitogenesis of the Carajás metallogenic province. **Extended Abstracts of the International Symposium on Granites and Associated Mineralizations** 2: 135-161.
- 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: 101-129.
- DALL'AGNOL, R., M. A. OLIVEIRA, J. A. C. ALMEIDA, F. J. ALTHOFF, A. A. S. LEITE, D. C. OLIVEIRA & C. E. M. BARROS, 2006. Archean and Paleoproterozoic granitoids of the Carajás metallogenic province, eastern Amazonian Craton. **Symposium on Magmatism, Crustal Evolution, and Metallogenesis of the Amazonian Craton** 1: 97-150.
- GUIMARÃES, F. V., R. DALL'AGNOL, J. A. C. ALMEIDA & M. A. OLIVEIRA, 2010. Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica do Trondhjemito Mogno e Tonalito Marizinha, Terreno Granito-Greenstone mesoarqueano de Rio Maria, SE do Pará. **Revista Brasileira de Geociências** 40(2): 196-211.
- HANSON, G. N., 1978. The application of trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition. **Earth and Planetary Science Letters** 38(1): 26-43.
- IRVINE, T. N. & W. R. A. BARAGAR, 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. **Canadian Journal of Earth Sciences** 8(5): 523-548.
- KOBER, B., 1986. Whole-grain evaporation for $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -age-investigations on single zircons using a double-filament thermal ion source. **Contributions to Mineralogy and Petrology** 93(4): 482-490.
- KRÖNER, A., E. HEGNER, J. I. WENDT & G. R. BYERLY, 1996. The oldest part of the Barberton granitoid-greenstone terrain, South Africa: evidence for crust formation between 3.5 and 3.7 Ga. **Precambrian Research** 78(1-3): 105-124.
- LAFON, J. M., E. RODRIGUES & K. D. DUARTE, 1994. Le granite Mata Surrão: un magmatisme monzogranitique contemporain des associations tonalíques-trondhjemitiques-granodioritiques archéennes de la région de Rio Maria (Amazonie Orientale, Brésil). **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Serie 2. Sciences de la terre et des planètes** 318(5): 643-649.
- LAMEYRE, J. & P. BOWDEN, 1982. Plutonic rock type series: discrimination of various granitoid series and related rocks. **Journal of Volcanology and Geothermal Research** 14(1-2): 169-186.



- LEITE, A. A. S., R. DALL'AGNOL & F. J. ALTHOFF, 1999. Geoquímica e aspectos petrogenéticos do Granito Xinguara, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria – Cráton Amazônico. **Revista Brasileira de Geociências** 23(3): 429-436.
- 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.
- MACAMBIRA, M. J. B. & J. M. LAFON, 1995. Geocronologia da Província Mineral de Carajás: síntese dos dados e novos desafios. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Ciências da Terra** 7: 263-288.
- MACAMBIRA, M. J. B. & J. LANCELOT, 1996. Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria crust, Southeastern Amazonian Craton, Brazil. **International Geology Review** 38(12): 1134-1142.
- MACAMBIRA, M. J. B., J. B. S. COSTA, F. J. ALTHOFF, J. M. LAFON, J. C. V. MELO & A. SANTOS, 2000. New geochronological data for the Rio Maria TTG terrane: implications for the time constraints of the crustal formation of the Carajas Province, Brazil. **Abstracts of International Geological Congress** 31: 1 CD-ROM.
- MARTIN, H., 1987. Petrogenesis of Archean trondhjemitic, tonalites and granodiorites from eastern Finland: major and trace element geochemistry. **Journal of Petrology** 28(5): 921-953.
- MARTIN, H., 1994. The Archean grey gneisses and the gneisses of continental crust. In: K. C. CONDIE (Ed.): **Archean crustal evolution**: 205-259. Elsevier (Developments in Precambrian Geology, 11), Amsterdam.
- MARTIN, H., J. J. PEUCAT, P. SABATÉ & J. C. CUNHA, 1997. Crustal evolution in the early Archean of South America: example of the Sete Voltas Massif, Bahia State, Brazil. **Precambrian Research** 82(1-2): 35-62.
- MOYEN, J. F., 2009. High Sr/Y and La/Y ratios: the meaning of the "adakitic signature". **Lithos** 112(3-4): 556-574.
- MOYEN, J. F. & G. STEVENS, 2006. Experimental constraints on TTG petrogenesis: implications for Archean geodynamics. In: K. BENN, J.-C. MARESCHAL & K. C. CONDIE (Eds.): **Archean geodynamics and environments**: 149-178. American Geophysical Union, Washington.
- MOYEN, J. F., G. STEVENS, A. F. M. KISTERS & R. W. BELCHER, 2007. TTG plutons of the Barberton granitoid-greenstone terrain, South Africa. In: M. J. VAN KRANENDONK, R. H. SMITHIES & V. C. BENNET (Eds.): **Earth's oldest rocks**: 607-668. Elsevier (Developments in Precambrian Geology, 15), Amsterdam.
- 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.
- O'CONNOR, J. T., 1965. A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios. **United States Geological Survey Professional Paper** 525B: 79-84.
- OLIVEIRA, D. C., R. DALL'AGNOL, C. E. M. BARROS & M. A. OLIVEIRA, 2009. Geology, geochemistry and magmatic evolution of the paleoproterozoic, anorogenic oxidized A-type Redenção granite of the Jamon suite, Eastern Amazonian Craton, Brazil. **The Canadian Mineralogist** 47: 1441-1468.
- OLIVEIRA, D. C., S. P. NEVES, R. I. F. TRINDADE, R. DALL'AGNOL, G. MARIANO & P. B. CORREIA, 2010. Magnetic anisotropy of the Redenção granite, eastern Amazonian craton: implications for the emplacement of A-type plutons. **Tectonophysics** 493(1-2): 27-41.
- 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. Mesoproterozoic sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences** 27(2-3): 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.
- PECCKERILLO, A. & S. R. TAYLOR, 1976. Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. **Contributions to Mineralogy and Petrology** 58(1): 63-81.
- 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.
- ROLANDO, A. P. & M. J. B. MACAMBIRA, 2003. Archean crust formation in Inajá range area, SSE of Amazonian Craton, Brazil, based on zircon ages and Nd isotopes. **Expanded Abstracts of the South American Symposium on Isotope Geology** 4: 1 CD-ROM.
- SANTOS, J. O. S., 2003. Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. In: L. A. BIZZI, C. SCHOBENHAUS, R. M. VIDOTTI & J. H. GONÇALVES (Eds.): **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**: 169-226. Serviço Geológico do Brasil, Brasília.
- SANTOS, J. O. S., L. A. HARTMANN, H. E. GAUDETTE, D. I. GROVES, N. J. MCNAUGHTON & I. R. FLETCHER, 2000. A new understanding of the provinces of the Amazon craton based on integration of field and U-Pb and Sm-Nd geochronology. **Gondwana Research** 3(4): 453-488.
- SHAND, S. J., 1950. **Eruptive rocks, their genesis, composition, classification and their relation to ore-deposits**: 1-488. Thomas Murby, London.



- SIMPSON, C. & R. P. WINTSCH, 1989. Evidence for deformation-induced K-feldspar replacement by myrmekite. **Journal of Metamorphic Geology** 7(2): 261-275.
- SMITH, J. V., 1974. **Feldspar minerals**: crystal structures, physical, chemical and microtextural properties: 1-627. Springer-Verlag, New York.
- 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 Archaean greenstone belt of the Rio Maria region (Carajás Province, Brazil): implications for the Archaean 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, 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. **Episodes** 22(3): 174-182.
- 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 (Orgs.): **Geologia do continente Sul-Americano**: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida: 471-486. BECA, São Paulo.
- VASQUEZ, M. L., L. T. ROSA-COSTA, C. G. SILVA, P. F. RICCI, J. O. BARBOSA, E. L. KLEIN, E. S. LOPES, E. B. MACAMBIRA, C. L. CHAVES, J. M. CARVALHO, J. G. OLIVEIRA, G. C. ANJOS & H. R. SILVA, 2008. Geologia e recursos minerais do estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas geológico e tectônico e de recursos minerais do estado do Pará. In: M. L. VASQUEZ & L. T. ROSA-COSTA (Orgs.): **Escala 1:1.000.000**: 118-121. CPRM, Belém.
- VERNON, R. H., 2004. **A practical guide to Rock Microstructure**: 1-594. Cambridge University Press, United Kingdom.
- WEDEPOHL, K. H., 1970. Rubidium. In: K. H. WEDEPOHL (Ed.): **Handbook of geochemistry**: 37B-37N. Springer-Verlag, New York.

