



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

HÉVILA DE NAZARÉ SILVA DA COSTA

**PETROGRAFIA E GEOCRONOLOGIA DOS
DIQUES MÁFICOS A FÉLSICOS DA REGIÃO
SUDOESTE DE ÁGUA AZUL DO NORTE,
PROVÍNCIA CARAJÁS-PA**

GEOCIÊNCIAS
U F P A

BELÉM – PA
SETEMBRO - 2012

HÉVILA DE NAZARÉ SILVA DA COSTA

**PETROGRAFIA E GEOCRONOLOGIA DOS
DIQUES MÁFICOS A FÉLSICOS DA REGIÃO
SUDOESTE DE ÁGUA AZUL DO NORTE,
PROVÍNCIA CARAJÁS-PA**

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

Orientador: Prof. Dr. Claudio Nery Lamarão

Belém

2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

Hévila de Nazaré Silva da Costa

Petrografia e geocronologia dos diques máficos a félsicos da região sudoeste de Água Azul do Norte, Província Carajás, PA. / Hévila de Nazaré Silva da Costa; Orientador: Claudio Nery Lamarão – 2012

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Segundo Período de 2012.

1. XXXXXXXXXX. 2. XXXX. 3. XXXXXXXX. 4. XXXXXX. 5. XXXXXXXXX. 6. Análises de MEV. I. Lamarão, Claudio Nery, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

HÉVILA DE NAZARÉ SILVA DA COSTA

**PETROGRAFIA E GEOCRONOLOGIA DOS
DIQUES MÁFICOS A FÉLSICOS DA REGIÃO
SUDOESTE DE ÁGUA AZUL DO NORTE,
PROVÍNCIA CARAJÁS-PA**

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

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca examinadora:

Prof. Dr. Claudio Nery Lamarão – Orientador

Doutor em Petrologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Paulo Sergio de Souza Gorayeb

Doutor em Petrologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Davis Carvalho de Oliveira

Doutor em Petrologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Edilson e Meriam, a minha avó, Ana, e aos meus irmãos Marcos, Max e Maruzo, por todo apoio e incentivo;

Ao professor Claudio Lamarão pela oportunidade, confiança, atenção e enorme paciência prestadas durante o desenvolvimento deste trabalho;

A Gisele Marques, pelo seu intermédio fundamental na realização deste trabalho e por toda a contribuição, discussões geológicas e amizade ao longo do curso;

Aos geólogos Max Santos, Paulo Henrique Lima e Jardel Mesquita por me concederem o material de estudo, pelas discussões e contribuições neste trabalho;

A Ana Paula, pela atenção e disposição em obter as análises de MEV;

A todos os técnicos do IG, que contribuíram na realização deste;

Ao prof. Marco Antonio Galarza pela tutoria ao obter os dados geocronológicos e ao PARA-ISO pela colaboração;

Ao prof. Paulo Gorayeb, por ceder o laboratório da pós-graduação para a obtenção de imagens fotomicrográficas;

Ao Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG), e a todos os membros do GPPG (Fabriciana Guimarães) por todo o auxílio;

A Rodrigo Santos, Yuri Nascimento e a Paulo Soares pelas discussões e colaborações;

A Thiago Soares por todo companheirismo, paciência e amor durante todo o tempo;

Aos amigos Adson Pinheiro, Carla Moreira, Manoella Barros, Débora Aguiar, Filipe Duarte e Yorranna Oliveira, pela amizade e contribuição na minha formação intelectual;

A todos os amigos de 2007 que estiveram comigo em momentos tensos e descontraídos, especialmente a Adriel, Anderson, Ayara, Camila, Carla, Indy, Nayan, Regiane, Rodrigo, Rubem, Sulsiene e Valber que muito me ajudaram no decorrer do curso e a nossa saudável amizade;

A todos que contribuíram direta ou indiretamente na realização deste trabalho de conclusão de curso, o meu mais sincero, Muito Obrigada!

RESUMO

Um enxame de diques aflora na região sudoeste de Água Azul do Norte, Província Carajás. São representados por diabásios, andesitos, dacitos e riolitos e álcali-feldspato riolito, orientados segundo a direção preferencial NW-SE, e seccionam rochas tonalíticas-trondhjemíticas arqueanas do Terreno Granito *Greenstone* de Rio Maria, bem como, localmente, os granitos anorogênicos paleoproterozóicos Seringa e São João. Petrograficamente, os diabásios apresentam textura subofítica (intergranular) e porfirítica, sendo constituído por plagioclásio, piroxênio e, em menores proporções, anfibólio e minerais opacos. O dique de andesito estudado é caracterizado pela textura microcristalina, localmente microporfirítica, onde raros cristais de K-feldspato e quartzo estão presentes como fenocristais, além de palhetas de anfibólio e minerais opacos. O dacito apresenta textura granular, sendo constituído mineralogicamente por plagioclásio, quartzo, biotita e em menores proporções anfibólio. Três tipos petrográficos de riolito foram identificados. O primeiro é porfirítico, com textura granofírica dominante, porém localmente apresenta textura esferulítica; sua mineralogia é composta por quartzo, álcali feldspato, plagioclásio, anfibólio e biotita dispersos em matriz felsítica. O segundo é um álcali-feldspato riolito, porfirítico, contendo fenocristais de quartzo e álcali-feldspato comparativamente menores que os da rocha anterior, e plagioclásio em baixas proporções modais, com matriz dominada por intercrescimentos esferulíticos e granofíricos. Biotita fortemente cloritizada é o único ferromagnésiano. O terceiro é afanítico, de coloração rosada, com textura esferulítica dominante, contendo quartzo e álcali-feldspato como minerais essenciais e clorita e minerais opacos como secundários; localmente apresenta fenocristais de quartzo. A fim de obter a idade do magmatismo dessa região, uma amostra do riolito pórfiro e uma do dacito foram escolhidas para datação geocronológica no Laboratório de Geologia Isotópica da UFPA-Pará-Iso, usando-se o método de evaporação-ionização de Pb em monocristais de zircão. Cinco cristais de zircão do riolito forneceram uma idade de 1887 ± 2 Ma, interpretada como a idade de cristalização do dique. Por outro lado, os cristais de zircão do dacito não responderam satisfatoriamente às análises, sendo seus cristais considerados herdados das rochas encaixantes arqueanas. Dados

geocronológicos Pb-Pb em monocristais de zircão mostraram idades de 1879 ± 2 Ma para um dique de riolito da região de Bannach e 1885 ± 4 Ma para um dique composto, constituído por um granito pórfiro e um diabásio, na região de Rio Maria. Tais idades são um pouco mais jovens que as obtidas para os granitos Seringa (1895 ± 1 Ma) e São João (1890 ± 2 Ma). Os dados obtidos no presente estudo sugerem que os diques félsicos que ocorrem nas regiões de Rio Maria, Bannach e Água Azul do Norte pertencem ao mesmo evento magmático paleoproterozóico. Quanto aos diques intermediários a máficos não se pôde concluir uma idade para eles, visto que os zircões apresentaram problemas analíticos.

Palavras-chave: Petrografia; MEV; Geocronologia.

ABSTRACT

A swarm of dikes crops out on the southwestern of Água Azul do Norte, Carajás Province. The dikes are characterized for diabases, andesite, dacite, rhyolites and alkali-feldspar rhyolites, oriented according a preferential direction NW-SE, and cut tonalite-thondjemite Archean rocks of Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, as well as, locally, Paleoproterozoic anorogenic granites. Petrographically, the diabases show subophitic (intergranular) and porphyritic textures, and consist of plagioclase, pyroxene, and to a lesser extent, amphibole and opaque minerals. The andesite dike is characterized by microcrystalline texture, locally microporphyritic, where rare K-feldspar and quartz are present as phenocrysts, besides laths of amphibole and opaque minerals. The dacite dike has granular texture and is mineralogically composed of plagioclase, quartz, biotite and, in smaller proportions, amphibole. Three petrographic types of rhyolite were identified. The first one is porphyritic with dominant granophyric texture, but spherulitic texture occurs locally. Their mineralogy consists of quartz, alkali feldspar, plagioclase, biotite and amphibole dispersed in a felsitic matrix. The second is a porphyritic alkali-feldspar rhyolite, containing phenocrysts of quartz and alkali-feldspar comparatively smaller than those of previous rock and plagioclase in low modal proportions, and with matrix dominated by spherulitic and granophyric intergrowths. Biotite strongly altered to chlorite is the only mafic phase. The third is aphanitic, pale pink, with dominant spherulitic texture, containing quartz and alkali-feldspar as essential minerals, and chlorite and opaque as secondary phases; quartz phenocrysts occur locally. In order to get the age of the magmatism of this region, one sample of the rhyolite porphyry and dacite were selected for geochronological dating at Laboratory of Isotope Geology of the UFPA using evaporation-ionization in zircon monocrystals method. Five zircons from rhyolite provided an age of 1887 ± 2 Ma, interpreted as the crystallization age of the dike. On the other hand, zircons of the dacite not answered satisfactorily to the analysis, and its zircons were considered inherited from the Archean basement. Pb-Pb geochronological data on single crystals of zircon showed ages of 1879 ± 2 Ma for a rhyolite dike in the region of Bannach, and 1885 ± 4 Ma for a composite dyke, constituted of granite porphyry and a diabase, in the region of Rio Maria.

These ages are slightly younger than those obtained for Seringa (1895 ± 1 Ma) and São João (1890 ± 2 Ma) granites. The data obtained in this study suggest that the felsic dikes of Rio Maria, Bannach and Agua Azul do Norte regions belong to the same Paleoproterozoic magmatic event. As regards the intermediate to mafic dykes could not conclude an age for them, since the zircons presented analytical problems.

Key words: Petrography; MEV; Geochronology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização e acesso à área de estudo.....	14
Figura 2 - Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico.....	16
Figura 3 – Mapa geológico do TGGRM e da região de Água Azul do Norte.....	18
Figura 4 - Imagem de relevo sombreado SRTM com a ocorrência dos diques estudados posicionados entre os granitos paleoproterozóicos Seringa e São João, encaixados em rochas trondhjemíticas arqueanas.....	24
Figura 5 - Aspectos macroscópicos e microscópicos de diques de diabásios de Água Azul do Norte	25
Figura 6 – Diagrama QAP, com os litotipos encontrados na região de Água Azul do Norte	27
Figura 7- Aspectos macroscópicos e microscópicos de diques de diabásios de Água Azul do Norte.....	30
Figura 8 - Aspectos macroscópicos e microscópicos de diques de andesito (PCJ-34A) de Água Azul do Norte.....	32
Figura 9 - Aspectos macroscópicos e microscópicos de diques de dacito da região de Água Azul do Norte.....	34
Figura 10 - Aspectos macroscópicos e microscópicos de diques de riolito da região de Água Azul do Norte.....	37
Figura 11 – Quadro esquemático exibindo as diferentes texturas encontradas nos diques de riolitos e de álcali-feldspato riolito de Água Azul do Norte.....	38
Figura 12- Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV.....	42
Figura 13 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV.....	44
Figura 14 - Imagens de elétrons retroespalhados de zircão obtidas por MEV.....	45
Figura 15 - Diagrama Hf-Y-Nb (% em peso) mostrando os campos de variação composicional dos zircões do dique de riolito (PC-24A) e dos zircões do Granito São João (LIMA, 2010).....	47
Figura 16 - Diagrama Zr/Hf versus Hf+Y+Th+U (% em peso) mostrando a variação composicional dos zircões dos diques de riolito (PC-24 A) e do Granito São João (LIMA, 2010).....	48

Figura 17 - Diagrama Hf-Y-Nb (% em peso) mostrando os campos de variação composicional dos zircões do dacito (PCJ-11) e das encaixantes trondhjemíticas dos diques (AM-01; Almeida, 2010; PCJ-29B; Mesquita, 2010).....	48
Figura 18 - Diagrama Zr/Hf <i>versus</i> Hf+Y+Th+U (% em peso) mostrando a variação composicional dos zircões dos diques de dacito (PCJ-11) e das encaixantes trondhjemíticas dos diques (AM-01; Almeida, 2010; PCJ-29B; Mesquita, 2010).....	49
Figura 19 - Diagrama de barras mostrando a idade média do riolito porfirítico (PC-24 A) e os zircões utilizados na datação.....	51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 APRESENTAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....	14
1.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	16
1.2.1 Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico	16
1.2.2 Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria	17
1.3 DIQUES PALEOPROTEROZÓICOS DO TGGRM.....	20
1.4 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	21
1.5 OBJETIVOS.....	22
1.5.1 Objetivos Específicos	22
1.6 MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
1.6.1 Pesquisa Bibliográfica	23
1.6.2 Petrografia	23
1.6.3. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	23
1.6.3. Geocronologia	24
2 GEOLOGIA DOS DIQUES DA ÁREA DE ÁGUA AZUL DO NORTE	25
3 PETROGRAFIA	27
3.1 INTRODUÇÃO.....	27
3.2 VARIEDADES PETROGRÁFICAS.....	29
3.2.1 Diabásios	29
3.2.2 Andesito	31
3.2.3 Dacito	33
3.2.4 Riolitos e álcali-feldspato riolito	35
3.3 ANÁLISES DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....	40
4 GEOCRONOLOGIA	51
5 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	54
5.1 PETROGRAFIA.....	54
5.2 MEV	55
5.3 GEOCRONOLOGIA.....	57

REFERÊNCIAS.....	58
APÊNDICE.....	65
APÊNDICE A.....	66
APÊNDICE B.....	67
APÊNDICE C.....	68
APÊNDICE D.....	70

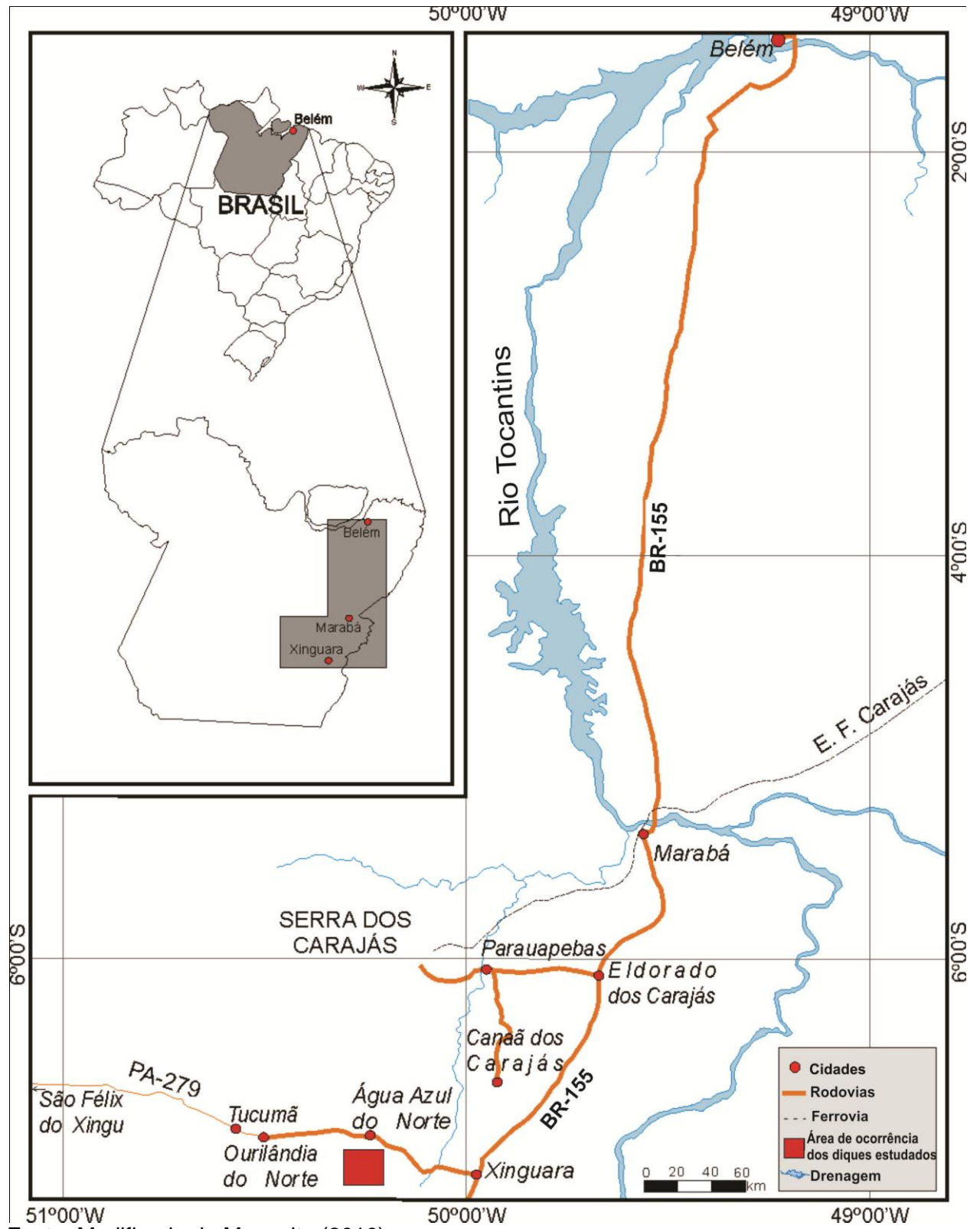
1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área selecionada está situada a sudoeste da localidade de Água Azul do Norte, sudeste do Estado do Pará, nos domínios da Província Carajás, mais especificamente entre as coordenadas $50^{\circ}23'0''/50^{\circ}42'0''$ W e $6^{\circ}55'0''/7^{\circ}12'0''$ S. O acesso à área é feito pelas rodovias BR-155 (Belém – Marabá - Xinguara) e PA-279 (Xinguara – Tucumã - Água Azul do Norte - São Félix do Xingu). O acesso aos diques é realizado pela rodovia PA-279 e por estradas vicinais que levam a fazendas e vilarejos, permitindo uma amostragem sistemática e representativa dos mesmos.

A Figura 1 mostra o mapa de localização e acesso à área de trabalho, a Figura 2, o mapa das províncias geocronológicas do Cráton Amazônico, a Figura 3A o mapa geológico do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM) e a Figura 3B o mapa geológico da região de Água Azul do Norte.

Figura 1- Mapa de localização e acesso à área de estudo.



1.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

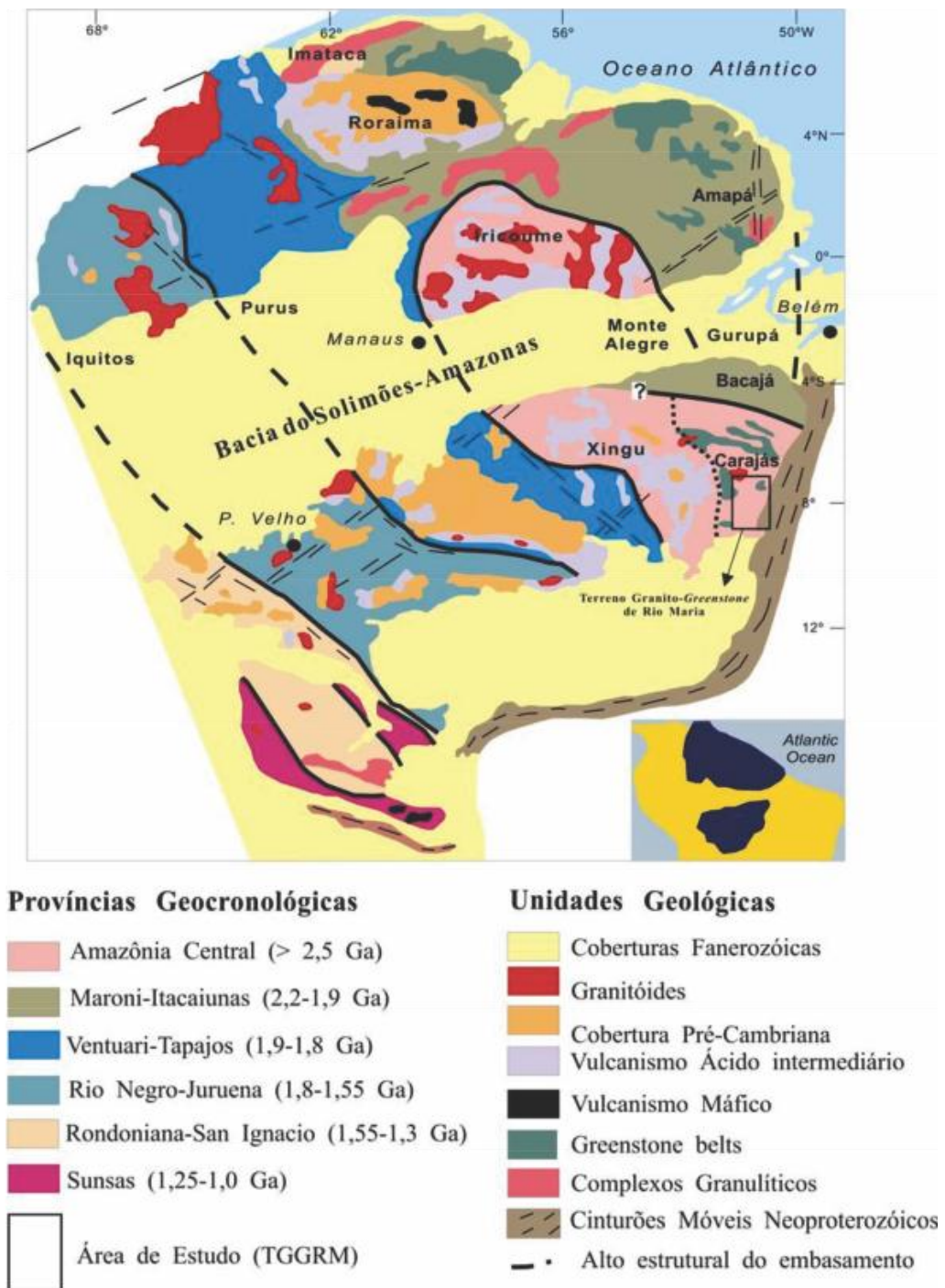
1.2.1 Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico

O Cráton Amazônico está situado no norte da América do Sul onde abrange grande parte do Brasil, Guiana Francesa, Suriname, Venezuela, Colômbia e Bolívia. É considerado uma das maiores áreas cratônicas do mundo, sua área total equivale a cerca de 4.500.000 km². É formado pelos escudos das Guianas e Brasil Central, separados pelas Bacias Paleozoicas do Amazonas e Solimões (TASSINARI; MACAMBIRA, 1999). Suas fronteiras leste, sul e sudeste são limitadas por unidades do Ciclo Orogênico Brasileiro (930-540 Ma; PIMENTEL; FUCK, 1992), que correspondem ao Grupo Baixo Araguaia, e Grupos Alto Paraguai, Cuiabá e Corumbá, respectivamente.

Baseando-se em dados geocronológicos, *trends* estruturais, proporções litológicas e evidências geofísicas, Tassinari e Macambira (1999, 2004) subdividiram o cráton em seis províncias geocronológicas principais (Figura 2), sendo elas, da mais antiga para a mais nova: Província Amazônia Central - PAC (>2,5 Ga), Província Maroni-Itacaiunas - PMI (2,2-1,95 Ga), Província Ventuari-Tapajós -PVT (1,95-1,8 Ga), Província Rio Negro-Juruena - PRNJ (1,8-1,55 Ga), Província Rondoniana-San Ignacio - PRSI (1,55-1,3 Ga) e Província Sunsas -PS (1,3-1,0 Ga).

A PAC, na qual está inserida a área de ocorrência dos diques deste estudo, é considerada a mais antiga dentre as províncias do Cráton Amazônico, corresponde a uma crosta continental com idade > 2,5 Ga, que não foi afetada pela orogenia Transamazônica.

Figura 2 - Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico.



Fonte: (TASSINARI, MACAMBIRA, 2004).

1.2.2 Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria

A região de Água Azul do Norte está inserida no contexto do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria (TGGRM), Província Carajás (PC), sudeste do Cráton Amazônico (Figura 3A e B). O TGGRM é formado por granitoides arqueanos e

sequências metavulcano-sedimentares tipo *greenstone-belts*, e constitui parte da Província Amazônia Central (PAC).

Segundo Costa et al. (1995), três grandes unidades geotectônicas integram a PC: Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas (CCI), localizado ao norte, Cinturão de Cisalhamento Pau D'Arco (CCPD) a sul, e o TGGRM situado entre os dois. Entretanto, Althoff et al. (1991, 1995), Dall'Agnol et al. (1996, 1997) e Rolando e Macambira (2002, 2003) não consideram o CCPD como um domínio individual e sim como um prolongamento do TGGRM até as regiões de Redenção e Serra do Inajá.

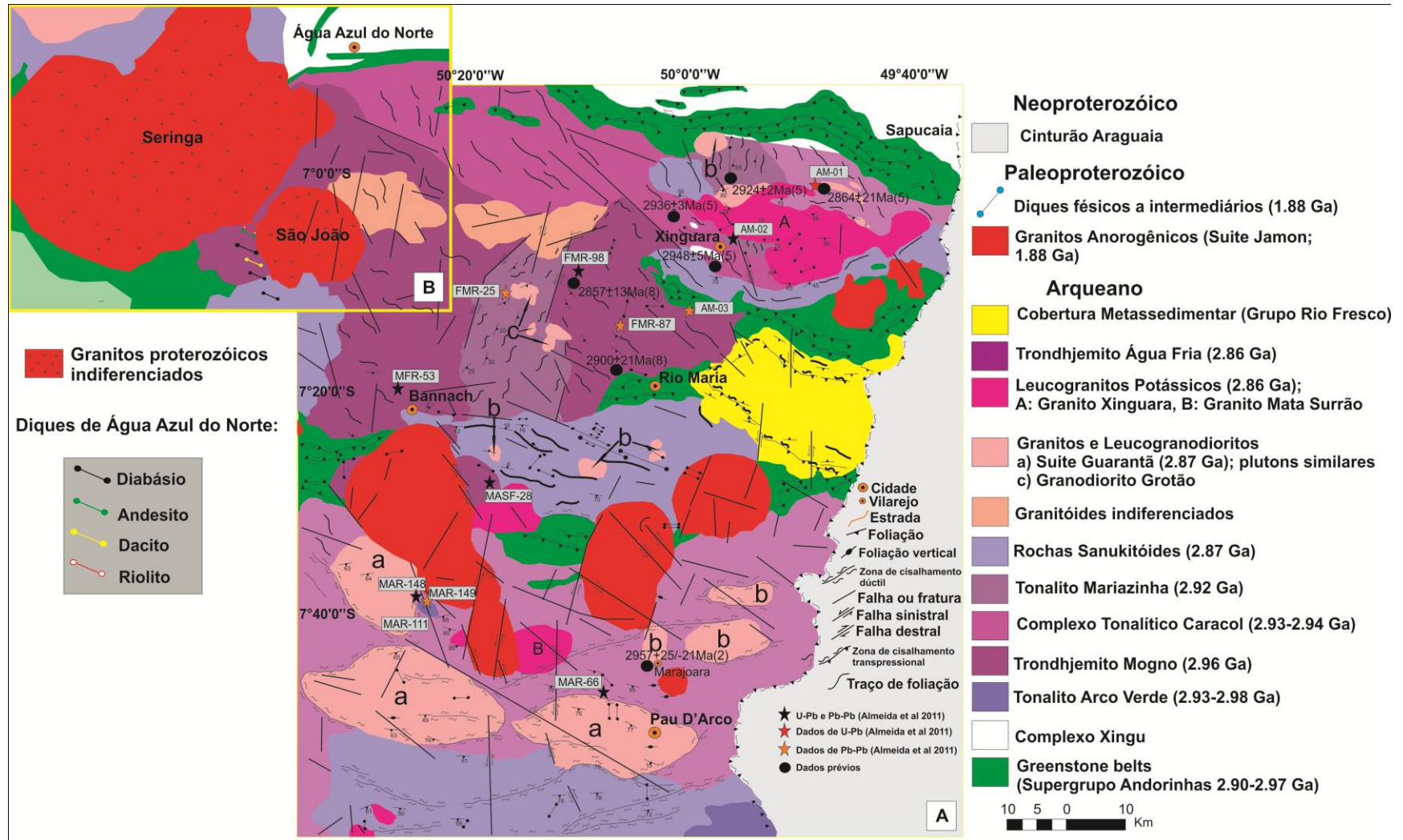
Para Souza et al. (1996), a PC é formada por dois blocos tectônicos, com limite não definido entre eles, mas localizado provavelmente a norte do *greenstone belt* de Sapucaia, ficando o TGGRM situado a sul e o Bloco Carajás (BC) a norte.

Os dados geocronológicos estabeleceram um período de tempo menor que 150 Ma para a formação da crosta continental no TGGRM (MACAMBIRA; LANCELOT, 1996). Os resultados de isótopos de Sm-Nd são compatíveis com as datações e sugerem uma crosta mais antiga que 3,04 Ga como a fonte dos granitoides arqueanos (DALL'AGNOL et al., 1999)

DOCEGEO (1988) considera que o Bloco Carajás formou-se sobre o TGGRM, enquanto Dall'Agnol et al. (1997, 2006) admitem que a região compreendida entre Xinguara e a porção sul da Bacia Carajás seria uma extensão do TGGRM intensamente afetada pelos eventos magmáticos e tectônicos registrados na Bacia Carajás. Tais autores denominaram esta porção de "Domínio de Transição". O limite entre o TGGRM e a Bacia Carajás permanece, ainda, indefinido. Vasquez et al. (2008) distinguem apenas dois domínios na PC: Domínio Carajás, ao norte, e Domínio Rio Maria, ao sul.

A região do TGGRM é alvo de estudos desde a década de 70 (DOCEGEO, 1988; HIRATA et al., 1982; HUHN et al., 1988; SILVA et al., 1974; SOUZA, 1994). Desde então, sua litoestratigrafia vem sendo discutida e modificada, a exemplo do Complexo Xingu que anteriormente era considerado como embasamento regional, sendo composto por granulitos, gnaisses, granitoides e *greenstone-belts*. Hoje, foi redefinido e ficou restrito aos gnaisses que ocorrem a norte de Xinguara, em torno das Vilas Marajoara e Pau D'arco, e ao redor da cidade de Redenção. Tais gnaisses seriam mais antigos que os granitoides arqueanos e *greenstone-belts*, e representariam o embasamento regional (SOUZA, 1994).

Figura 3 – A) Mapa geológico do TGGRM; modificado de Almeida et al. (2011); B) Mapa geológico da região de Água Azul do Norte com a ocorrência dos diques estudados.



Fonte: Compilado de Santos (pré-print).

O TGGRM é a porção mais bem estudada da PC. Dados petrográficos, geoquímicos e geocronológicos revelam a existência de cinco principais grupos de rochas arqueanas para esta região (ALMEIDA et al., 2008, ALMEIDA et al., 2010, 2011; ALTHOFF; BARBEY; BOULLIER, 2000; DALL'AGNOL; COSTI; LEITE, 1997; FEIO, 2011; GUIMARÃES, 2009; LEITE, 2001; OLIVEIRA et al., 2009): 1) Granitoides TTGs antigos, representados pelo Tonalito Arco Verde e Trondhjemitógeno Mogno ($2,96\pm 0,02$ Ga) e pelo Complexo Tonalítico Caracol e Tonalito Mariazinha ($2,93\pm 0,02$ Ga); 2) Granitoides granodioríticos com alto-Mg (2,87 Ga), tipo sanukitóide, representados pelo Granodiorito Rio Maria e rochas máficas e intermediárias associadas; 3) Leucogranodioritos e leucomonzogranitos cálcico-alcalinos com alto Ba e Sr representados pela Suíte Guarantã e similares (2,87 Ga); 4) TTGs mais jovens representados pelo Trondhjemitógeno Água Fria (2,86 Ga); 5) Leucogranitos potássicos de afinidade cálcico-alcalina representados pelos granitos Xinguara, Mata Surrão e correlatos. Metassedimentos do Grupo Rio Fresco de idade arqueana recobrem parte das unidades do TGGRM, as quais são cortadas também por granitos anorogênicos paleoproterozóicos (HUHN et al., 1988; ARAÚJO et al., 1994; Figura 3A).

1.3 DIQUES PALEOPROTEROZÓICOS DO TGGRM

Os diques presentes no TGGRM possuem composição máfica a félsica, apresentam formas tabulares em corpos subverticais com espessuras de 10 a 20m, localmente podendo alcançar 30m, e comprimentos variáveis que chegam, em alguns casos, a atingir até 2km. Seccionam as unidades arqueanas bem como, localmente, os granitos paleoproterozóicos (GASTAL, 1987; HUHN et al., 1988; SOUZA et al., 1990; SILVA JR, 1996; RIVALENTI et al., 1998; SILVA JR; DALL'AGNOL; OLIVEIRA, 1999). Idades obtidas para os diques máficos (1802 ± 22 Ma, K-Ar em concentrados máficos, SILVA JR, 1996), intermediários (1874 ± 110 Ma; Rb-Sr, isócrona em rocha total, RIVALENTI et al., 1998) e félsicos (1707 ± 17 Ma; Rb-Sr, isócrona em rocha total, GASTAL et al., 1987; 1885 ± 2 Ma e 1885 ± 4 Ma; Pb-Pb em zircão, OLIVEIRA, 2006), demonstram que os diques do TGGRM se formaram no final do Paleoproterozóico, sendo aproximadamente contemporâneos ao magmatismo anorogênico que ocorreu na Amazônia Oriental. Dados petrográficos e geoquímicos (SILVA JR; DALL'AGNOL; OLIVEIRA, 1999) identificaram três

associações dominantes, provavelmente com origens distintas: (1) diabásios; (2) andesitos e quartzo-andesitos; (3) diques félsicos classificados como dacitos e riolitos pórfiros, similares mineralógica e geoquimicamente aos granitos anorogênicos. Os dados geoquímicos indicam que essas associações não devem ter evoluído a partir de um mesmo magma parental por cristalização fracionada ou outros processos magmáticos.

Dall'Agnol et al. (2002) descreveram na região de Rio Maria um dique composto formado por um granito pórfiro e um diabásio que seccionam o Granodiorito Rio Maria, aflorando próximo ao contato deste com o Granito Musa. Dados geocronológicos forneceram uma idade de 1885 ± 4 Ma para o granito pórfiro, considerada a idade mais precisa obtida para os diques félsicos que ocorrem na região de Rio Maria. Por analogia, esta seria também a idade do dique máfico associado, pois este apresenta evidências de coexistência com o magma formador do granito (DALL'AGNOL et al., 2002; OLIVEIRA, 2006). Almeida (2005) e Oliveira (2005) identificaram a ocorrência de diques máficos, intermediários e félsicos aflorando na área de Bannach, SE do Pará. Ferreira (2009) estudou os diques dessa região e dividiu-os em quatro grupos litológicos: (1) diabásios; (2) andesitos; (3) dacitos e, (4) riolitos. Os dados geocronológicos obtidos indicaram idade de 1879 ± 2 Ma (Pb-Pb em zircão) para os diques riolíticos, idade bem próxima àquela obtida por Oliveira (2006; 1885 ± 2 Ma e 1885 ± 4 Ma; Pb-Pb em zircão). Quanto à geoquímica, os diques da região de Bannach mostram assinatura subalcalina, com os diabásios, andesitos e riolitos mostrando assinatura tholeítica e os dacitos cálcico-alcalina. Os dados contrastantes de ETR e a pequena variação de sílica nos quatro grupos litológicos estudados indicaram não haver uma origem magmática comum para essas rochas, confirmando o que Silva Jr. et al. (1999) já haviam sugerido sobre a relação genética entre os diques de Rio Maria, porção oeste de Bannach.

1.4 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Como já mencionado, o TGGRM foi objeto de vários estudos, (LEITE et al. 2004; ALMEIDA et al., 2006; OLIVEIRA, 2005; OLIVEIRA et al., 2009; GUIMARÃES, 2009; etc.), entretanto, existem poucos registros detalhados referentes às rochas do embasamento na região compreendida entre as localidades de Água Azul do Norte-Ourilândia do Norte. Mapeamentos geológicos e estudos petrográficos nessa região (MESQUITA, 2010; SANTOS, 2010) permitiram a identificação de quatro principais

unidades arqueanas, sendo elas: *Greenstone-belts*, granodioritos, tonalitos-trondhjemitos e leucogranitos potássicos. Paiva Jr. (2009) estudou petrográfica, geoquímica e geocronologicamente o Granito Seringa e Lima (2010), o Granito São João sob os aspectos petrográficos e geocronológicos. O primeiro está localizado no município de Água Azul do Norte, e o segundo em Ourilândia do Norte. No decorrer desses estudos, foram identificados diques de composições máficas a félsicas seccionando as rochas encaixantes arqueanas desses dois batólitos graníticos. A partir daí, considerou-se necessário um estudo petrográfico e geocronológico de tais diques, o que contribuiria para melhorar o entendimento desse magmatismo no TGGRM. Desta forma, esta pesquisa se desenvolveu visando à caracterização petrográfica e geocronológica de alguns desses diques.

1.5 OBJETIVOS

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Efetuar estudos petrográficos macro e microscópicos de oito diques aflorantes a sudoeste do Granito São João, região de Água azul do Norte, e realizar análises texturais e modais (cf. BARD, 1980; WILLIAMS et al., 1982; MACKENZIE et al., 1982; CHAYES F., 1956);
- Classificar no diagrama QAP (STRECKEISEN, 1976; LE MAITRE et al., 2002) os diferentes diques e caracterizar, com o auxílio de MEV-EDS, suas fases varietais (anfíbólio e biotita) e acessórias, em especial os minerais opacos e zircão;
- Tratar em diagramas geoquímicos específicos as análises de EDS;
- Obter pelo método de evaporação de Pb em zircão a idade de cristalização de, pelo menos, dois diferentes diques;
- Comparar os dados obtidos com os de outros diques similares ocorrentes no TGGRM.

1.6 MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades e métodos utilizados neste trabalho envolveram os seguintes procedimentos: pesquisa bibliográfica e estudos laboratoriais para o desenvolvimento da petrografia, análises de MEV e geocronologia, os quais serão detalhados a seguir.

1.6.1 Pesquisa Bibliográfica

- A pesquisa bibliográfica contou com o apoio de trabalhos sobre a geologia do sul-sudeste do Cráton Amazônico, mais especificamente do TGGRM, bem como trabalhos específicos envolvendo estudos petrográficos de rochas granitoides e diques (p.ex. DALL'AGNOL et al., 1994, 2002 e 2005; SILVA JR.; DALL'AGNOL; OLIVEIRA, 1999; OLIVEIRA, 2005; FERREIRA, 2009);
- Foram consultados também:
 - ✓ Artigos referentes ao método de datação por evaporação de Pb em zircão (KOBBER 1986; GAUDETTE et al., 1993, 1998; MACAMBIRA et al., 1994; MOURA et al., 1996);
 - ✓ Livros e apostilas envolvendo princípios básicos e aplicações em MEV foram consultadas (p.ex. REED, 1996; DUARTE et al., 2003);

1.6.2 Petrografia

- Concluídas as descrições macroscópicas, foram confeccionadas lâminas polidas na Oficina de Laminação do IG-UFGPA para estudos em microscópio petrográfico convencional em luz refletida objetivando: identificar as fases minerais presentes (KERR, 1959; DEER ET AL. 1992), suas formas, dimensões, relações de contato e feições texturais; posteriormente foram realizadas análises modais com contador de pontos da marca *Swift* (cf. CHAYES, 1956; BARD, 1980; WILLIAMS et al., 1982; MACKENZIE et al., 1982; HIBBARD, 1995) e classificação no diagrama QAP (STRECKEISEN, 1976; LE MAITRE et al., 2002) conforme estabelecido pela IUGS (*International Union of Geoscientists*);

1.6.3. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

- As análises de MEV foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura – LABMEV do IG da UFGPA e constaram na obtenção de imagens de elétrons retroespalhados e análises químicas semiquantitativas por EDS (*Energy Dispersive Spectrometry*) de fases minerais previamente selecionadas. O MEV utilizado foi um LEO-Zeiss modelo 1430 sob as seguintes condições: corrente do feixe de elétrons=90 μ A, voltagem de aceleração constante=20 kV, distância de trabalho=15 mm, tempo de contagem para aquisição dos elementos=30s. As lâminas polidas

foram previamente metalizadas com carbono. Os estudos de MEV foram acompanhados pelo professor Claudio Nery Lamarão;

- Os resultados obtidos foram tratados em diagramas geoquímicos específicos utilizando-se o programa GCDkit 2.2;

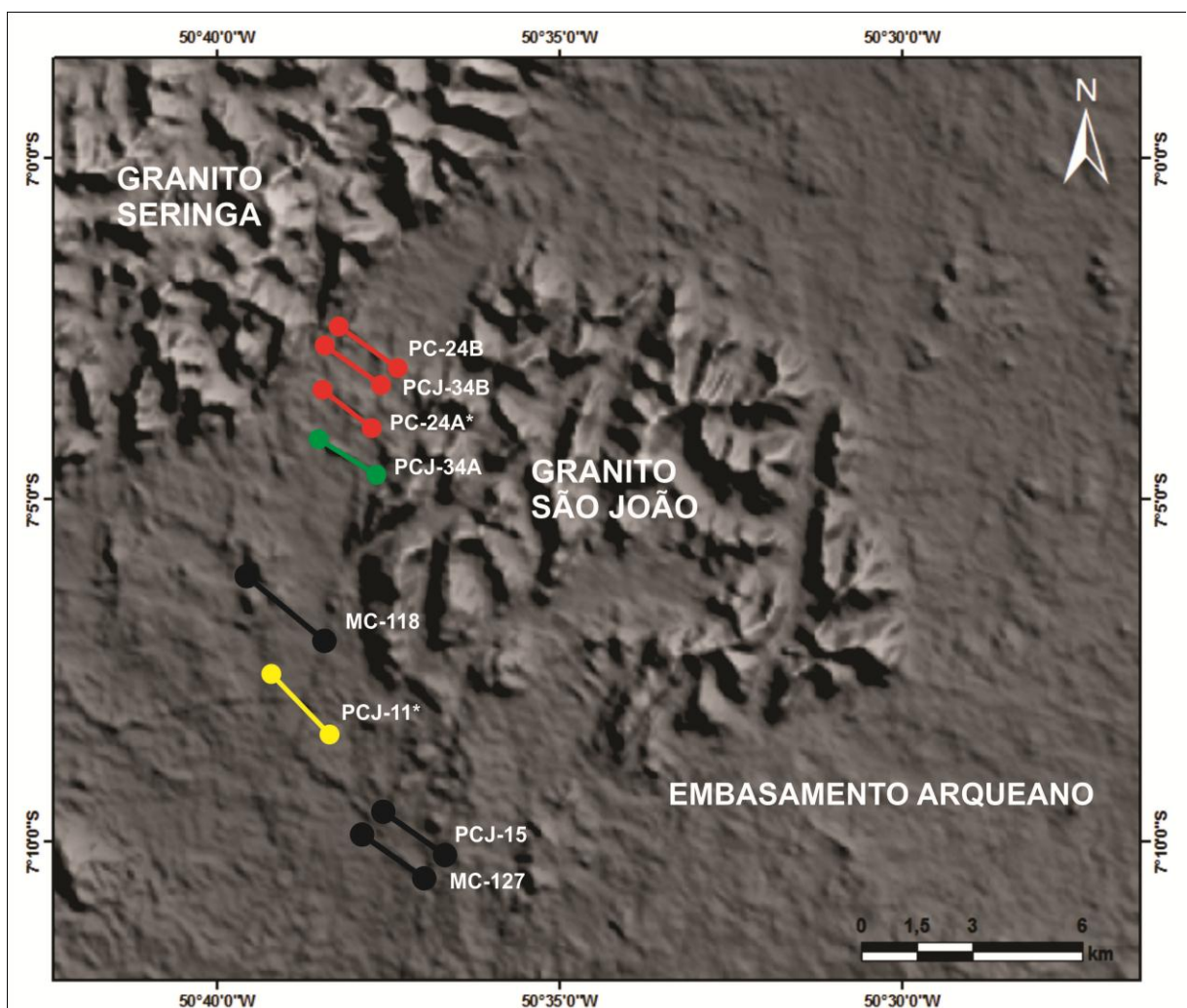
1.6.3. Geocronologia

- As datações geocronológicas foram realizadas no Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso) da UFPA através da metodologia de evaporação de Pb em zircão, cujos princípios básicos foram desenvolvidos por Kober (1986) e sua adaptação no Pará-Iso discutida por Gaudette et al. (1993, 1998), Macambira et al. (1994) e Moura et al. (1996). Foi utilizado o espectrômetro de massa FINNIGAN, modelo MAT-262. Para separação dos cristais de zircão, as amostras foram trituradas, pulverizadas, deslamadas e peneiradas nas frações 0,250 mm – 0,180 mm; 0,180 mm – 125 µm no Pará-Iso. A eliminação dos grãos mais leves e concentração dos mais pesados das duas frações anteriores foram feitas com o auxílio de um “elutriador” simples, o qual utiliza água corrente e gravidade. A eliminação dos minerais magnéticos contou inicialmente com a utilização de um ímã e, posteriormente, de um Separador Eletromagnético da marca FRANTZ. Finalmente, a separação dos minerais pesados não magnéticos foi feita através de um líquido pesado (bromofórmio) de densidade 2,89 g/ml. A seleção dos grãos de zircão a serem datados foi realizada através de uma lupa binocular. Os trabalhos de datação no Pará-Iso foram supervisionados pelo Professor Marco Antônio Galarza;
- De posse dos resultados, foi elaborado o relatório final das atividades desenvolvidas e dos resultados alcançados. Os resultados foram divulgados parcialmente na forma de resumo no 46º CBG, Santos (SP). Posteriormente pretende-se divulgá-los na forma de artigo em revista especializada.

2 GEOLOGIA DOS DIQUES DA ÁREA DE ÁGUA AZUL DO NORTE

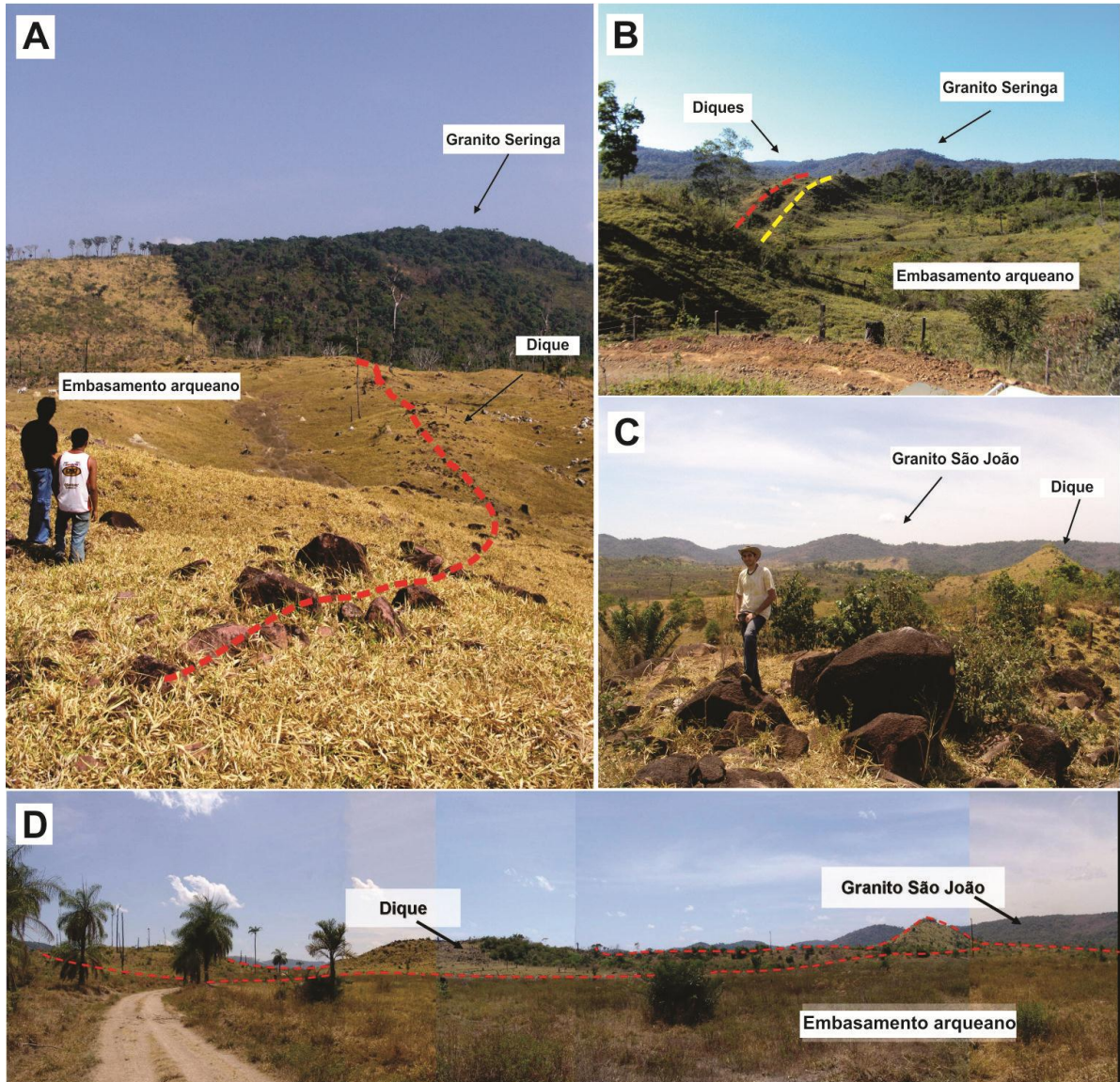
Os diques estudados de Água Azul do Norte compreendem corpos tabulares, subverticais, orientados na direção NW-SE (Figura 4), com extensão em torno de 500m e espessura de aproximadamente 20m. Estão inseridos numa área peneplanizada onde afloram sob a forma de cristas descontínuas e blocos rolados. Ao longo de estradas vicinais é possível observar alguns desses diques encaixados em rochas trondhjêmíticas arqueanas, tendo ao fundo as serras que formam os granitos paleoproterozóicos Seringa e São João (Figura 5). Localmente, ocorrem formando pequenos morros alinhados, conforme mostrado na figura 5B (amostras PCJ-34B e PC-24A).

Figura 4 - Imagem de relevo sombreado SRTM com a ocorrência dos diques estudados posicionados entre os granitos paleoproterozóicos Seringa e São João, encaixados em rochas trondhjêmíticas arqueanas; com asterísticos, estão indicadas as amostras que foram datadas. Preto: diabásios; verde: andesito; amarelo: dacito; vermelho: riolitos



Fonte: Modificado de SANTOS, (pre-print).

Figura 5 - Modo de ocorrência de alguns dos diques de Água Azul do Norte: A) Dique félsico (PCJ-34B) encaixado em rochas arqueanas; B) Diques paralelos cortando rochas arqueanas (PCJ-34 B e PC-24 B), tendo ao fundo serra do granito paleoproterozóico Seringa; C) Afloramento de dique félsico na forma de blocos rolados (PC-24 A); D) Foto panorâmica de dique de riolito porfírico (amostra PC-24 A) encaixado em trondhjemitos.

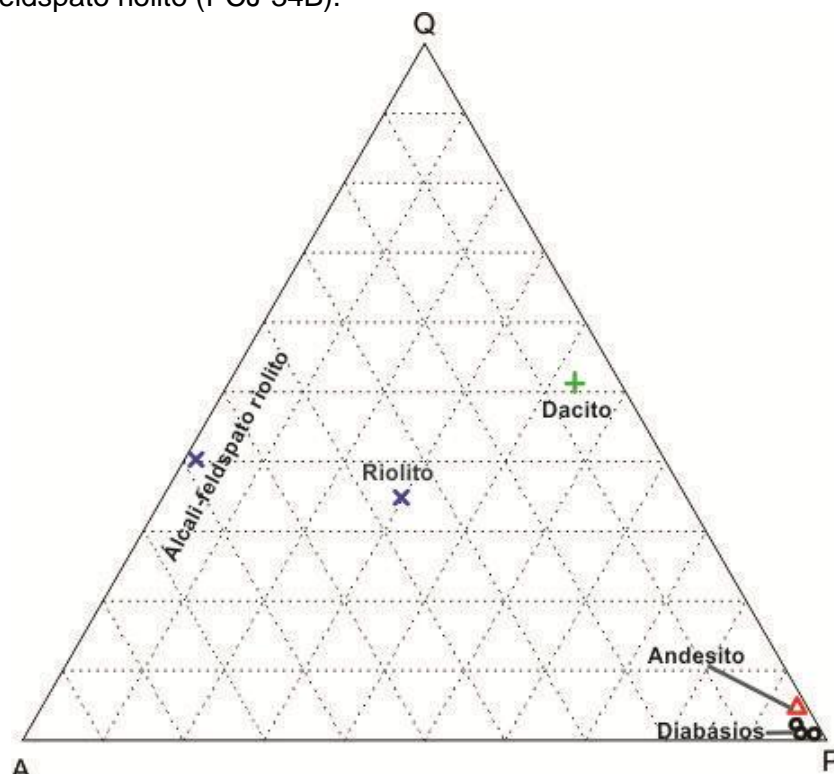


3 PETROGRAFIA

3.1 INTRODUÇÃO

Os diques de Água Azul do Norte estudados neste trabalho mostram, em geral, coloração acinzentada a avermelhada, texturas porfirítica e afanítica e matriz de granulação fina a média. Os diques intermediários a máficos guardam semelhanças na coloração (cinza esverdeados), textura e mineralogia, enquanto os félsicos apresentam-se avermelhados ou vermelho-amarelados, mostram mineralogia similar entre si, porém com texturas distintas. A partir dos aspectos petrográficos e do conteúdo mineralógico modal dessas rochas, foram definidos cinco tipos distintos: diabásios, andesito, dacito, e riolito e álcali-feldspato riolito (Figura 6). Os diques de riolito (PC-24A e PCJ-34B) são porfiríticos e de coloração avermelhada, enquanto o dique PC-24B é afanítico e vermelho-amarelado. Foram selecionados sete diques para estudos macro e microscópicos e análises de MEV para caracterização de minerais varietais, fases opacas e acessórias. A Tabela 1 mostra a composição modal desses diques, com exceção da amostra PC-24B que é afanítica.

Figura 6 - Diagrama QAP, com os litotipos encontrados na região de Água Azul do Norte. Diabásios (PCJ-15, MC-118 e MC127); andesito (PCJ-34A); dacito (PCJ-11); riolito (PC-24A) e álcali-feldspato riolito (PCJ-34B).



Fonte: Modificado de Streckeisen (1976); Le Maitre et al., (2002).

Tabela 1. Composição modal de diques de Água Azul do Norte, Sudeste do Pará.

LITOTIPO	DIABÁSIO/MICROGABRO			ANDESITOS	DACITO	RIOLITO	F-K RIOLITO
AMOSTRA MINERAL	MC- 118	MC-127	PCJ-15	PCJ- 34 A	PCJ-11	PC-24 A	PCJ-34 B
Plagioclásio	55,6%	52,5%	69,0%	58,9%	25,9%	23,4%	0,4%
Quartzo	0,0%	0,0%	1,2%	2,0%	31,0%	27,6%	35,3%
K-Feldspato	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	3,4%	28,0%	51,7%
Biotita	0,3%	0,2%	0,0%	0,0%	21,1%	0,7%	1,8%
Anfibólio	35,1%	4,5%	18,0%	15,8%	0,1%	8,4%	0,0%
Ortopiroxênio	0,0%	26,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Clinopiroxênio	1,1%	11,0%	4,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Opacos	6,0%	4,9%	5,0%	21,5%	0,2%	8,4%	10,8%
Acessórios	1,9%	0,0%	0,4%	0,9%	1,0%	3,6%	0,0%
Secundários	0,0%	0,2%	2,2%	0,7%	17,3%	0,0%	0,0%
Félsicos	55,6%	52,5%	70,2%	61,1%	60,3%	54,7%	87,4%
Máficos	44,4%	47,5%	29,8%	38,9%	39,7%	10,7%	12,6%
Matriz			74,6%			34,6%	69,1%
Á 100%							
Plagioclásio	100,0%	100,0%	98,3%	96,5%	43,0%	29,6%	0,5%
K-Feldspato	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	5,6%	35,4%	59,1%
Quartzo	0,0%	0,0%	1,7%	3,3%	51,4%	34,9%	40,4%

Legenda: minerais acessórios - titanita, allanita, zircão e apatita; minerais secundários: epidoto, clorita, sericita, argilominerais.

3.2 VARIEDADES PETROGRÁFICAS

O estudo petrográfico dos diques permitiu a definição de cinco tipos litológicos distintos: diabásios, andesito, dacito, riolitos e álcali-feldspato riolito. A seguir, as características mineralógicas e texturais de cada um deles.

3.2.1 Diabásios

Macroscopicamente, os diabásios apresentam coloração cinza, levemente esverdeada, com finas manchas esbranquiçadas correspondentes a palhetas de plagioclásio. São rochas faneríticas a porfiríticas, de granulação fina a grossa. Os pórfiros correspondem a cristais prismáticos de plagioclásio esbranquiçados com até 1 cm de comprimento. Ao microscópio, apresentam textura intergranular, subofítica e porfirítica (Figura7). São constituídos essencialmente por cristais de plagioclásio, tendo como minerais varietais ortopiroxênio, clinopiroxênio e hornbenda. Como minerais acessórios estão presentes opacos, titanita e apatita. Os minerais secundários são clorita, epidoto, sericita e argilominerais. A matriz dos diabásios porfiríticos é composta tanto por minerais félsicos, como plagioclásio e quartzo, quanto por minerais máficos, como anfibólio e piroxênio, além de seus constituintes acessórios.

Os cristais de plagioclásio são ripiformes, subédricos, com tamanhos que variam de 0,5 a 1 cm. Estão moderadamente alterados para sericita e argilominerais, apresentam maclamentos simples a polissintéticos, e geralmente estão envolvidos por cristais de piroxênio e hornbenda, com os quais faz contatos retos a irregulares, respectivamente. Os fenocristais de plagioclásio são prismáticos, subédricos a euédricos e alterados também para sericita. A proporção de cristais de plagioclásio nos diabásios é de 55 a 70%. O plagioclásio dessas rochas apresenta, de acordo com o método albita-Carlsbad, composição andesítica a labradorítica ($An = 55$ a 60).

Os cristais de anfibólio apresentam-se subédricos a anédricos, esverdeados, com pleocroísmo predominantemente verde claro. Ocorrem em contato ou substituindo cristais de piroxênio. Frequentemente ocupam os interstícios entre os cristais de plagioclásios. Estão presentes nos diabásios com 18 a 35% do total da rocha.

O piroxênio ocorre como cristais subédricos, incolores a amarronzados, moderadamente fraturados e exibindo maclamentos simples. Apresentam-se moderada a fortemente alterados para anfibólio. Nos diabásios, estão presentes

ortopiroxênio e clinopiroxênio, os quais compreendem cerca de 1 a 26% na rocha (Tabela 1).

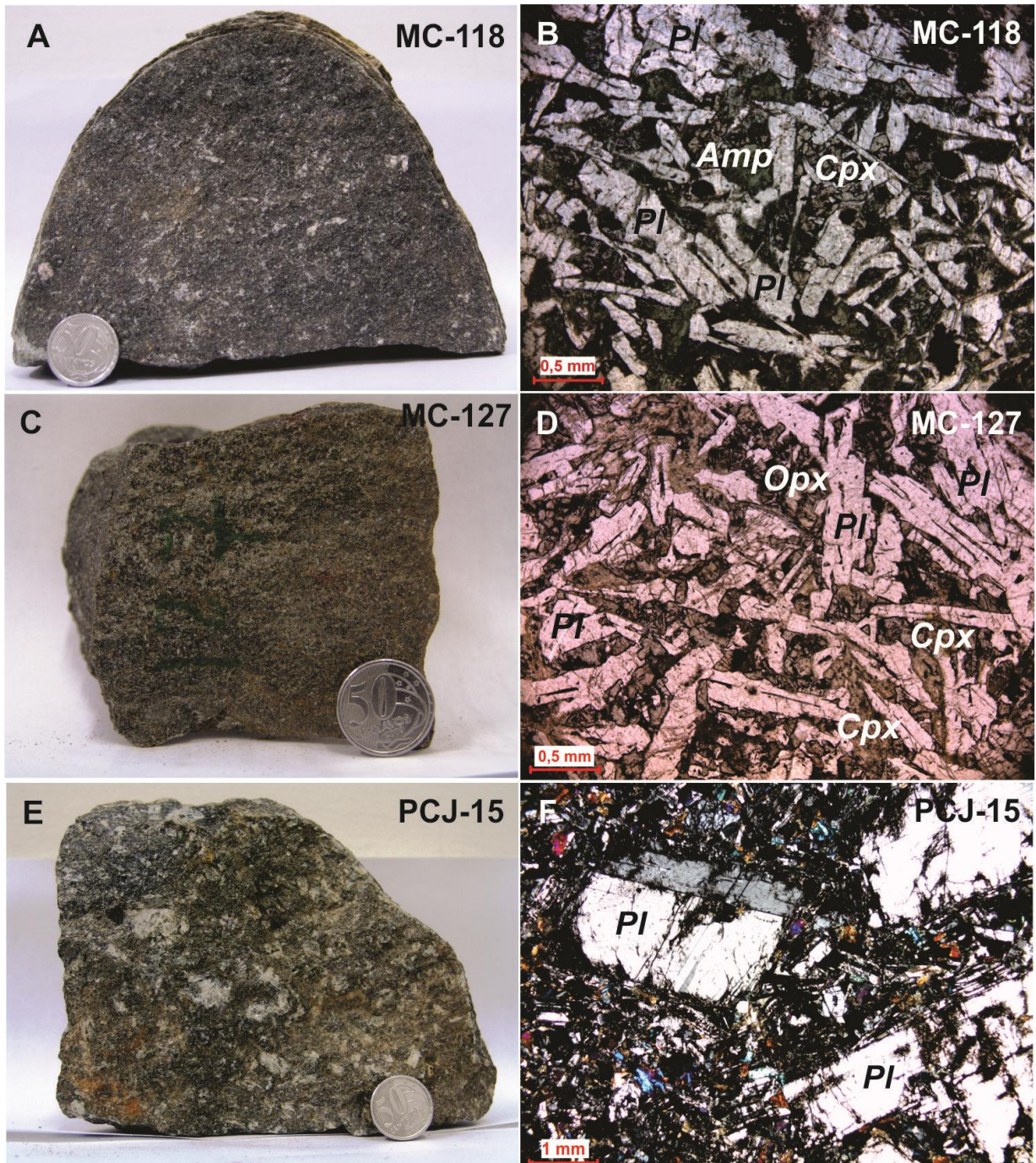
A biotita, geralmente proveniente da alteração do anfibólio, ocorre em menos de 1%; apresenta-se comumente alterada para clorita.

O quartzo forma raros cristais de granulação fina, principalmente na amostra PCJ-15, onde constitui a matriz; não ultrapassa 2% da rocha.

A presença de minerais opacos, usualmente com granulação fina a média, é comum nessas rochas. Normalmente associados a esses minerais ocorrem cristais de titanita. Cristais de epidoto também ocorrem dispersos na matriz dos diabásios.

De forma geral, a textura dos diabásios é intergranular, onde cristais de piroxênio preenchem os espaços entre as palhetas de plagioclásio (Figura 7D), a localmente subofítica. Entretanto, pode-se observar com frequência a textura porfírica na amostra PCJ-15 (Figura 7F). Cristais de anfibólio ocupam parcialmente o espaço dos cristais de piroxênio, sugerindo que o anfibólio se infiltrou de forma pertinente entre os cristais de plagioclásio (Figura 7B).

Figura 7- Aspectos macroscópicos e microscópicos de diques de diabásios de Água Azul do Norte. A) Aspecto macroscópico do diabásio porfirítico de granulação média; B) Fotomicrografia exibindo textura intergranular com cristais de anfibólio (Amp), plagioclásio (Pl) e clinopiroxênio (Cpx), (NP); C) Aspecto macroscópico do diabásio fanerítico; D) Textura intergranular (NP); E) Aspecto macroscópico do diabásio porfirítico de granulação grossa; F) Textura porfirítica, com fenocristais de Plagioclásio (Pl), imersos numa matriz intergranular (NC). NP= nicóis paralelos; NC= nicóis cruzados. Nomenclatura segundo Kretz, 1983.



3.2.2 Andesito

O andesito em amostra de mão é uma rocha de coloração cinza com pequenas manchas esbranquiçadas e raras manchas rosadas (Figura 8A).

Entretanto, pode ser considerada afanítica, uma vez que seus cristais não são reconhecidos a olho nu. Ao microscópio, apresenta textura microcristalina, localmente porfirítica, havendo raros cristais de quartzo e feldspato como fenocristais na matriz (Figura 8B e C). Intercrescimentos granofíricos podem ser vistos em sua matriz microcristalina.

É composto essencialmente por plagioclásio, com pequena quantidade de quartzo (2,0%), com raro feldspato potássico. O anfibólio é o varietal dominante, e os acessórios principais os opacos e a apatita. Os minerais secundários encontrados foram epidoto, sericita e argilominerais.

O plagioclásio é a fase dominante, com proporção modal de aproximadamente 60%. Apresenta cristais subédricos de granulação fina a média, estando moderadamente saussuritizados, não permitindo, assim, a determinação de sua composição, bem como a visualização de seus contatos com os demais minerais.

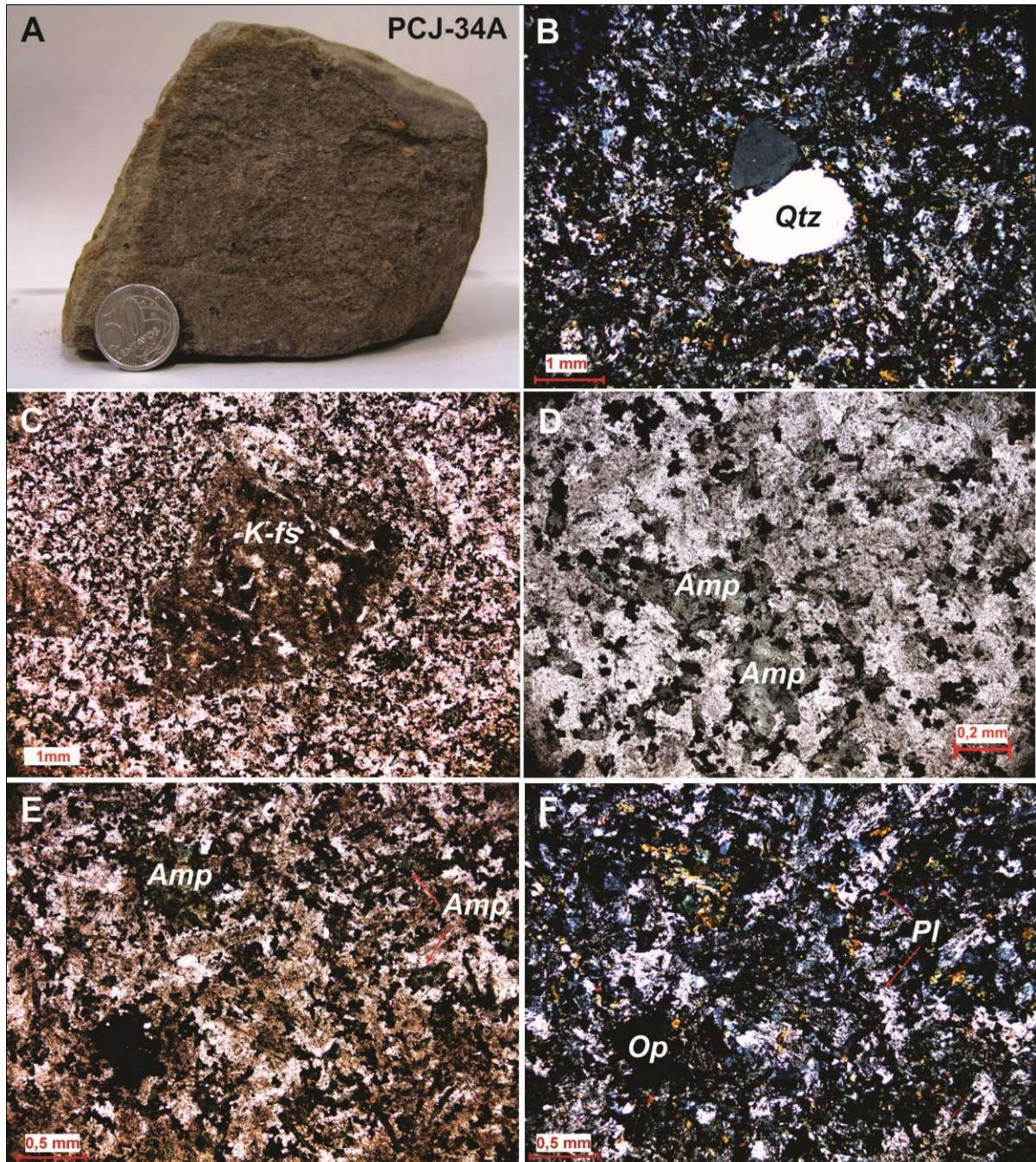
Os cristais de quartzo compõem a matriz de granulação fina e aparecem como raros fenocristais dispersos nela (Figura 8B). Sua presença na rocha não chega a atingir 2% modal (Tabela 1).

O anfibólio forma cristais subédricos a anédricos, levemente corroídos, com pleocroísmo verde claro a verde escuro. Faz contato irregular com os outros minerais. Apresenta proporção modal de 15% da rocha.

O K-feldspato não ultrapassa 2% do volume total da rocha. Forma fenocristais fortemente alterados para argilominerais dispersos na matriz (Figura 8C).

Os minerais opacos são frequentes, chegando a atingir mais de 21% da rocha. A apatita associa-se aos opacos, geralmente como inclusão no núcleo dos mesmos. O epidoto ocorre de maneira dispersa na rocha.

Figura 8 - Aspectos macroscópicos e microscópicos do dique de andesito (PCJ-34A) de Água Azul do Norte; A) Aspecto macroscópico; B) Fotomicrografia de fenocristal de quartzo imerso na matriz fina - NC; C) Fenocristal de álcali-feldspato (K-Fs) intensamente alterado, contendo inclusões de apatita (Ap) e quartzo (Qz) - NP; D) e E) Cristais de anfibólio (Amp), representando os máficos presentes na rocha - NP; F) Minerais opacos (Op) e finos cristais de plagioclásio (Pl) constituindo a matriz microcristalina - NC. NP= nicóis paralelos; NC= nicóis cruzados. Nomenclatura segundo Kretz, 1983.



3.2.3 Dacito

A rocha definida como dacito é fanerítica, de granulação fina, equigranular, mostra, em geral, estrutura compacta e apresenta coloração acinzentada com

porções esverdeadas (Figura 9A). Ao microscópio apresenta textura granular, localmente porfirítica. Sua mineralogia é constituída essencialmente por quartzo e plagioclásio, tendo como mineral varietal a biotita, e quantidades menores de anfibólio. As fases acessórias são representadas por zircão, apatita, titanita, allanita e minerais opacos. As principais fases secundárias são sericita, clorita e epidoto.

Os cristais de quartzo, com conteúdos modais de aproximadamente 17%, são anédricos, de granulação fina a média; apresentam leve estiramento (Figura 9B), moderado faturamento e forte extinção ondulante.

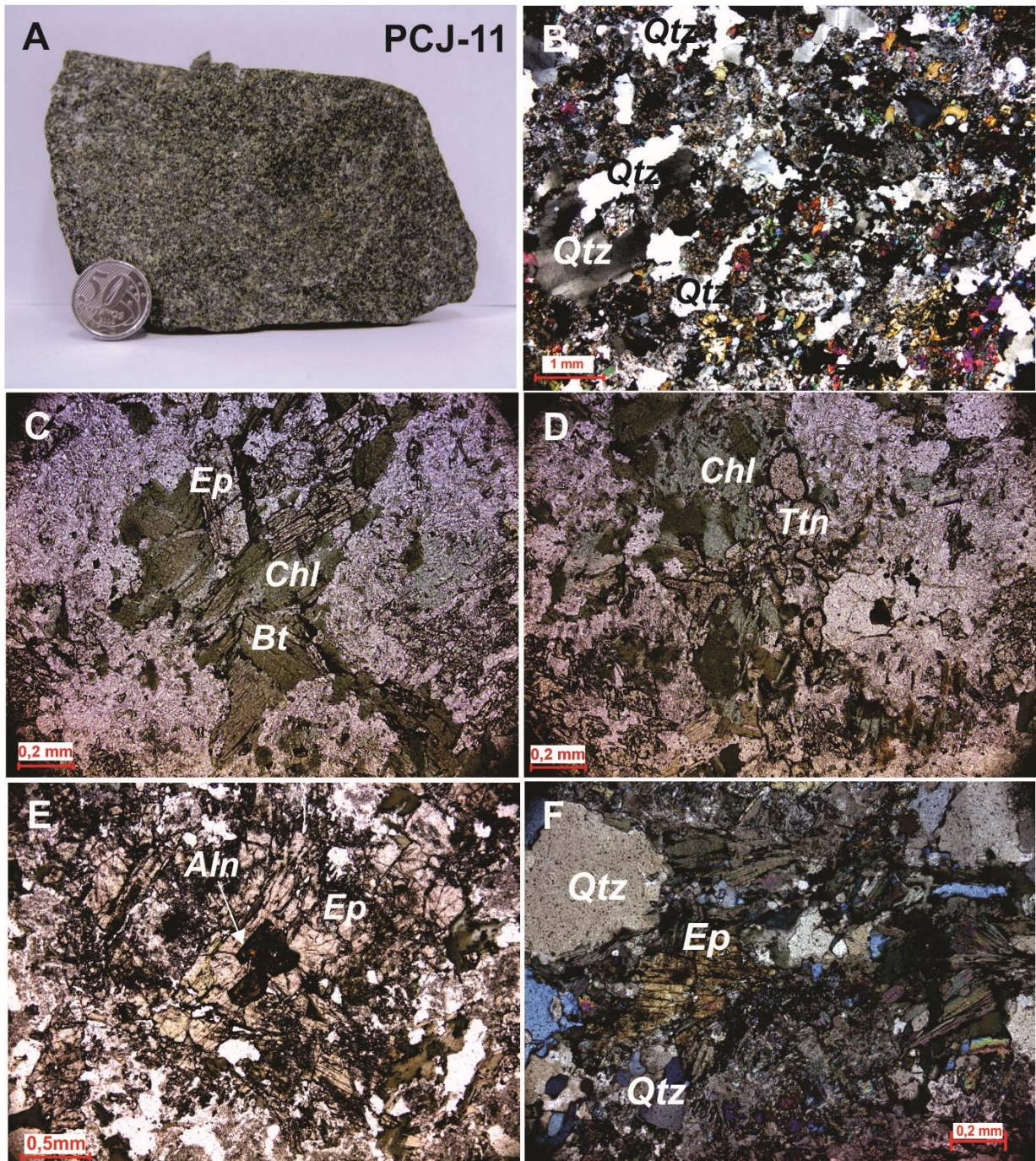
O plagioclásio apresenta cristais subédricos fortemente saussuritizados, tornando difícil a obtenção dos teores de An. Está presente na rocha com aproximadamente 38% modal. Faz contato irregular com os outros minerais.

A biotita possui hábito lamelar, cor verde amarronzada e proporções modais de 21%. Encontra-se comumente cloritizada (Figura 9C).

Este último mineral forma raros cristais no dacito. O anfibólio é raro e encontra-se fortemente alterado para epidoto e clorita.

A allanita forma cristais zonados de granulação média e coloração alaranjada, geralmente circundada por epidoto (Figura 9E). Associa-se também a ela, cristais de apatita. A titanita é comum na rocha (Figura 9D) e seu conteúdo modal é superior ao dos minerais opacos.

Figura 9 - Aspectos macroscópicos e microscópicos do dique de dacito da região de Água Azul do Norte: A) Aspectos macroscópicos; B) Fotomicrografia exibindo cristais de quartzo (Qtz) levemente estirados e com forte extinção ondulante (NC); C) Epidoto (Ep) associado à biotita cloritizada (Bt) - NP; D) Titanita (Ttn) associada à clorita (Chl) - NP; E) Cristal de allanita (Aln) hospedada em epidoto (Ep) - NP; F) Cristais de epidoto (Ep) entre cristais de quartzo (Qtz) de diferentes tamanhos - NC. NP= Nicóis paralelos; NC= Nicóis cruzados. Nomenclatura segundo Kretz, 1983.



3.2.4 Riolitos e álcali-feldspato riolito

Em amostra de mão, os diques de riolito são caracterizados por sua cor avermelhada, granulação fina a grossa e textura variando de afanítica a porfirítica. Neste último caso, fenocristais de quartzo, álcali-feldspato, plagioclásio e minerais opacos encontram-se dispersos em uma matriz afanítica avermelhada (Figura 10). Os fenocristais de feldspato potássico apresentam-se como cristais prismáticos alongados e irregulares com até 1,5 cm, cor rosa pálida com porções esbranquiçadas, comumente alteradas para argilominerais. Por vezes, aglomeram-se formando cachos com dimensões de até 1 cm. Os fenocristais de quartzo têm em média 4 mm, apresentam forma cúbica a subarredondada. Os de plagioclásio, menos comuns que os anteriores, medem de 5 mm a 1 cm, apresentam cor cinza esbranquiçada e hábito prismático. Frequentemente mostram bordas corroídas e alteradas para K-feldspato e argilominerais.

Ao microscópio, os riolitos possuem textura variável, desde porfirítica e microcristalina a localmente granofírica e esferulítica (Figuras 10 e 11). São compostos essencialmente por álcali-feldspato, quartzo e plagioclásio. Como minerais varietais ocorrem anfibólio e biotita e como acessórios opacos, zircão e apatita. As principais fases secundárias identificadas foram clorita, epidoto, sericita e argilominerais.

O K-feldspato, com proporção modal de 27 a 52% (Tabela 1), forma fenocristais subédricos, com contatos retos com quartzo e anfibólio, intensamente alterados para argilominerais. Ocorre também na matriz microcristalina, onde comumente forma intercrescimentos granofíricos com o quartzo (Figura 10B).

O quartzo, com teores modais de 27 a 35%, ocorre como fenocristal, como mineral intersticial de granulação fino à média e finamente disperso na matriz. Como fenocristal apresenta feições em baía (Figura 10B), sugerindo corrosão e reabsorção; pode mostrar contatos retos com o K-feldspato e irregulares com o anfibólio.

Os cristais de plagioclásio são variáveis nos riolitos e podem ser encontrados como fenocristais subédricos, moderadamente alterados para sericita, e como cristais subédricos a anédricos finos constituintes da matriz. Suas proporções modais variam de 0,4 a pouco mais de 23%.

O anfibólio exibe pleocroísmo verde escuro, forma subédrica a anédrica, mostra contato interlobado com K-feldspato e reto a irregular com o quartzo.

Apresenta moderada alteração para clorita, epidoto e óxido de ferro. Seus teores modais chegam a quase 9% no dique porfirítico PC-24A e não ocorre no dique PC-34B (Tabela 1).

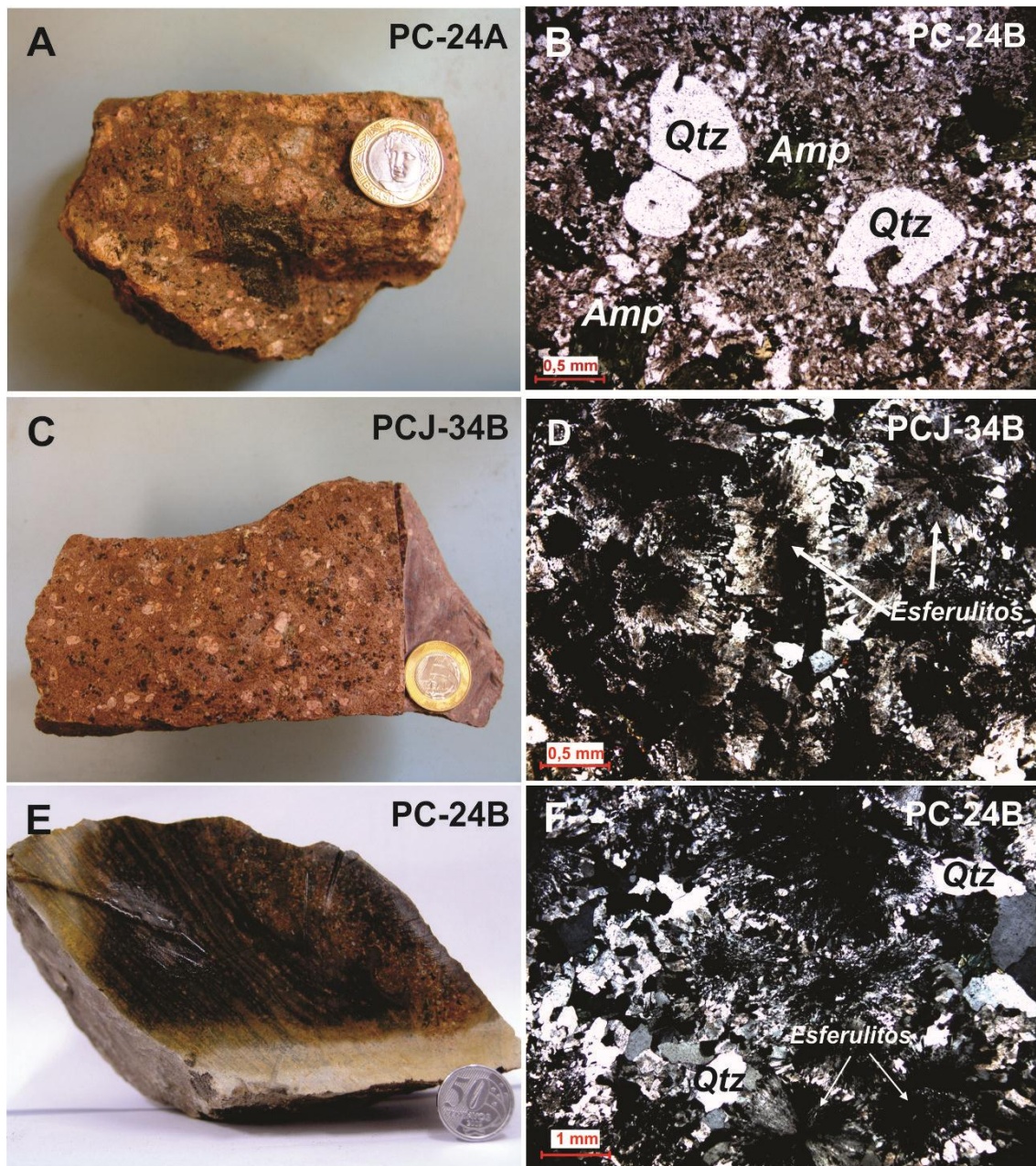
A biotita ocorre em baixas proporções nos riolitos, com teores modais de 0,6 e 1,8%, muitas vezes com forte alteração para clorita. Forma cristais anédricos comumente associados a minerais opacos.

Os opacos, com conteúdos de 8 e 11% (Tabela 1), são subédricos a anédricos, de granulação fina a média, associados à biotita e anfibólio. Apatita pode ser encontrada como inclusão.

O zircão é euédrico a subédrico e geralmente hospedado em cristais de biotita ou disperso na matriz.

Epidoto e clorita ocorrem como produtos de alteração de anfibólio e biotita, enquanto a sericita e argilominerais são oriundos da alteração de minerais feldspáticos.

Figura 10 - Aspectos macroscópicos e microscópicos de diques de riolito da região de Água Azul do Norte; A) Aspecto macroscópico do riolito porfirítico com matriz fanerítica; B) Fenocristais de quartzo (Qtz) apresentando feições de reabsorção imersos em matriz predominantemente granofírica, contendo anfibólio (Amp); C) Aspecto macroscópico do álcali-feldspato riolito porfirítico de matriz fanerítica a microcristalina; D) Textura porfirítica com esferulitos; E) Aspecto macroscópico do riolito afanítico; F) Textura microcristalina, localmente porfirítica e contendo alguns esferulitos. B, D, F= Nicóis cruzados. Nomenclatura segundo Kretz, 1983.



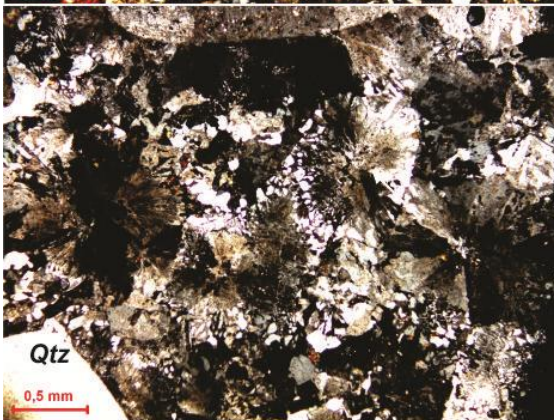
O estudo petrográfico dos diques de riolito de Água Azul do Norte permitiu a identificação de três tipos com base em seus aspectos texturais (Figura11): 1) Dique de riolito porfirítico (PC-24A), com matriz predominantemente granofírica, com presença frequente de esferulitos de diâmetros de 0,5 a 0,8 mm; 2) O dique de

álcali-feldspato riolito (PCJ-34B) apresenta textura porfirítica, contendo fenocristais de quartzo e álcali-feldspato comparativamente menores que os da rocha anterior, e matriz marcada por intercrescimentos esferulíticos (diâmetros de 0,5 a 1,5 mm) e granofíricos; 3) Dique de riolito afanítico (PC-24B), com textura microcristalina contendo frequentes esferulitos (diâmetros variam de 0,5 a 3,6 mm), localmente apresenta microfenocristais anédricos de quartzo.

Figura 11 - Quadro esquemático exibindo as diferentes texturas encontradas nos diques de riolitos e de álcali-feldspato riolito de Água Azul do Norte.



Dique de riolito pórfiro: microfotografia mostrando textura porfirítica com predominância de intercrescimentos granofíricos médios a grossos e raros esferulitos (0,5-0,8 mm). Presença de biotita alterada.



Dique de álcali-feldspato riolito: detalhe da textura porfirítica com quantidades comparativamente maiores de esferulitos em relação aos intercrescimentos granofíricos. Fenocristal de quartzo pode ser visto no canto inferior esquerdo.



Dique de riolito afanítico: microfotografia de textura microcristalina com presença de microfenocristais de quartzo e abundantes esferulitos (0,5-3,6 mm).

3.3 ANÁLISES DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Com o objetivo de caracterizar os minerais varietais e acessórios dos diques de Água Azul do Norte, com ênfase nos minerais opacos e zircão, foram realizadas análises de microscopia eletrônica de varredura.

A Tabela 2 apresenta as fases varietais e acessórias encontradas nos diques deste estudo.

Tabela 2- Principais fases varietais e acessórias encontradas nos diques de Água Azul do Norte.

Amostra	DIABÁSIOS			ANDESITO	DACITO	RIOLITO	F-K RIOLITO
	MC-118	PCJ-15	MC-127	PCJ-34 A	PCJ-11	PC-24 A	PCJ-34B
Mineral							
Hornblenda							
Piroxênio							
Biotita							
Magnetita							
Titanomagnetita							
Ilmenita							
Apatita							
Zircão							
Pirita							
Calcopirita							
Allanita							
Titanita							
Barita							

O **anfíbólio**, encontrado em todos os litotipos estudados, com exceção do álcali-feldspato riolito, é subédrico a euédrico e alterado em diferentes intensidades. As 51 análises de EDS realizadas apresentaram, de modo geral, um aumento na razão Fe/Mg no sentido dos diabásios para os riolitos. Nos diabásios essa razão varia de 1,6 a 3,9, no andesito de 1,2 a 4,8, no dacito em torno de 2,0, e no riolito de 6,1 a 17,5. O conteúdo de Al é maior no dacito (8,6%), seguido do andesito (1,6 a 5,7%), riolito (0,7 a 4,6%), e diabásios (0,4 a 3,5%). A Tabela 3 exhibe os conteúdos elementares médios encontrados nos anfibólios dos diques estudados.

Tabela 3 - Análises de EDS mostrando os teores médios dos elementos (% em peso) analisados nos anfibólios presentes nos diques de Água Azul do Norte.

LITOTIPO	AMOSTRA	O	Na	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Fe	Fe/Mg
DIABÁSIO	PCJ-15 (7)	35,5	0,0	7,2	0,9	28,5	13,8	0,0	14,2	2,0
DIABÁSIO	MC-118 (11)	36,8	0,0	8,4	2,0	29,7	9,4	0,0	13,6	1,6
DIABÁSIO	MC-127 (8)	35,0	0,0	6,6	0,5	27,3	5,3	0,0	25,4	3,9
ANDESITO	PCJ-34 A (20)	36,0	0,0	5,1	3,0	25,9	11,6	3,4	15,1	3,0
DACITO	PCJ-11 (1)	39,1	0,0	8,7	8,6	22,1	4,0	0,0	17,5	2,0
RIOLITO	PC-24 A (4)	34,1	0,9	2,8	3,2	25,4	8,2	0,0	25,4	9,2

Legenda: entre parênteses, número de análises de EDS.

O **piroxênio** foi identificado somente nos diques de diabásios. Apresenta forma subédrica a anédrica, sendo frequentemente substituído por anfibólio e/ou epidoto. As análises realizadas apresentaram teores elevados de Fe (10,4 a 28,9%) e baixo a elevados teores de Ca (0,3 a 17,9%) e moderados a elevados de Mg (4,8 a 12,6%), proporcionando razões Fe/Mg de 1,17 a 5,54. O Al variou de zero a 6,5%. A Tabela 4 apresenta os teores elementares médios encontrados nos piroxênios dos diabásios deste estudo.

Tabela 4 - Análises de EDS mostrando os teores médios dos elementos (% em peso) analisados nos piroxênios dos diabásios de Água Azul do Norte.

LITOTIPO	AMOSTRA	O	Na	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Fe	Fe/Mg
DIABÁSIO	PCJ-15 (3)	35,7	0,0	6,4	0,0	29,1	14,8	0,0	14,0	2,2
DIABÁSIO	MC-118 (1)	34,8	1,5	4,9	6,0	25,3	8,0	0,0	19,5	4,0
DIABÁSIO	MC-127 (22)	37,1	0,1	9,0	1,4	27,4	7,7	0,1	17,0	1,9

Legenda: entre parênteses, número de análises de EDS.

A **biotita** está presente em praticamente todos os litotipos, com exceção do andesito. Nos diques de diabásios ela é rara, entretanto, quando presente, está fortemente cloritizada e apresenta razão Fe/Mg de 1,1 a 5,9.

No dacito, a biotita apresentou razões Fe/Mg relativamente baixas quando comparadas as dos demais diques. As 31 análises realizadas apresentaram razões Fe/Mg entre 1,5 e 2,1.

Nos riolitos, as 4 análises realizadas forneceram razões Fe/Mg elevadas, entre 5,2 e 7,8. A Tabela 5 apresenta os teores elementares médios das análises de biotita.

Tabela 5 - Análises de EDS mostrando os teores médios dos elementos (% em peso) analisados nas biotitas presentes nos diques de Água Azul do Norte.

LITOTIPO	AMOSTRA	O	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe	Fe/Mg
DIABÁSIO	PCJ-15 (5)	39,9	7,3	11,2	18,6	2,3	0,0	0,3	20,3	2,3
DIABÁSIO	MC-118 (3)	38,0	11,1	8,4	20,8	4,1	0,0	1,0	16,6	1,5
DIABÁSIO	MC-127 (13)	39,1	8,4	8,0	22,3	4,0	0,2	0,4	17,6	2,3
DACITO	PCJ-11 (31)	36,0	9,2	10,8	20,1	6,7	0,0	0,5	19,8	1,8
RIOLITO	PC-24A (3)	38,9	3,9	8,5	59,9	4,0	0,5	0,5	23,7	6,2
RIOLITO	PCJ-34 B (1)	37,7	5,5	11,5	14,8	0,0	0,0	0,0	30,5	5,5

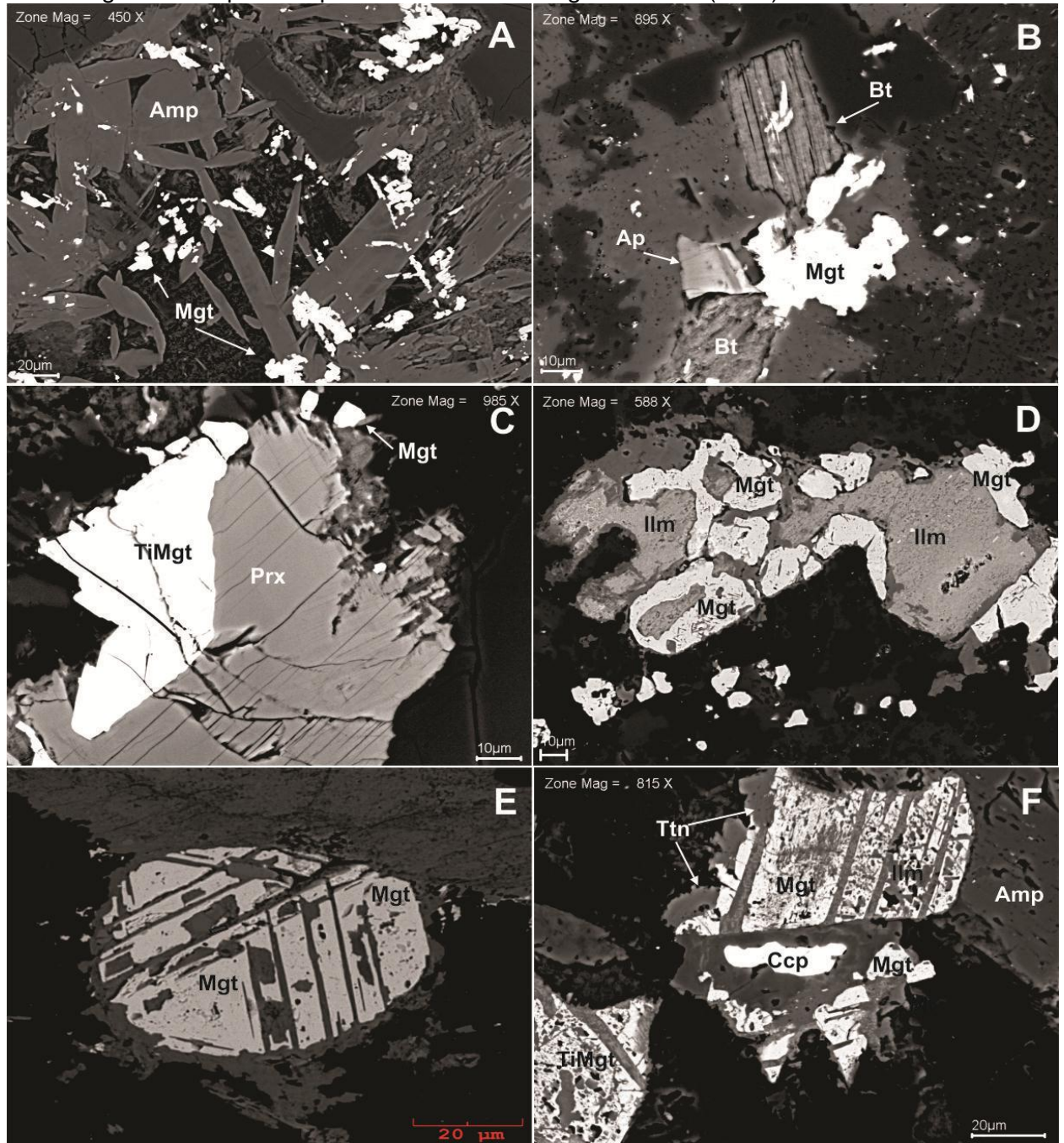
Legenda: entre parênteses, número de análises de EDS.

Magnetita (Fe_3O_4), titanomagnetita (Fe_2TiO_4) e ilmenita (FeTiO_3) estão juntamente presentes em quase todos os litotipos, com exceção do dique de dacito, em que aparece somente a magnetita, e dos riolitos, onde somente a ilmenita se faz presente. Nos demais, tais minerais ocorrem frequentemente associados entre si, ao anfibólio, a biotita e raramente ao piroxênio (Figura 12A, B e C). A titanomagnetita é subédrica a euédrica, com hábito prismático a cúbico. A magnetita ocorre, em geral, como finos cristais granulares, anédricos, dispersos aleatoriamente (Figura 12A e B). A ilmenita aparece raramente nos diques de riolitos como cristais anédricos substituindo a titanomagnetita e/ou magnetita (Figura 12D). A Figura 12F mostra a ilmenita em treliça substituindo a magnetita.

A **apatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$** ocorre em todos os diques com exceção dos diabásios. Apresenta-se de forma granular ou como cristais finos, subédricos a euédricos, de hábito prismático a subarredondado, comumente associada à magnetita, biotita (Figura 12B) ou a cristais de epidoto; apresenta baixos conteúdos Ce (0,8 % em peso) e La (0,5 % em peso).

A **titanita (CaTiSiO_5)**, geralmente granular e anédrica, é encontrada em todos os diques estudados. Associa-se comumente aos cristais de magnetita (Figura 12E e F).

Figura 12 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV. A) Cristais granulares de magnetita associados a anfibólio (MC-118); B) Cristal de magnetita entre cristais de biotita (PC-24A); C) Cristal de titanomagnetita associado a piroxênio (MC-127). D) Cristais de ilmenita sendo bordejados por magnetita (PCJ-34B); E) Cristal de magnetita com ilmenita em treliça (PC-24A); F) Cristais de titanomagnetita com titanita em volta e ilmenita em treliça; finos cristais de calcopirita aparecem associados (PCJ-15). Ttn=titanita; Cpy= calcopirita; Mgt=magnetita; Ilm= ilmenita; Ap=apatita; Amp= anfibólio; Bt= biotita. TiMgt = titanomagnetita. Ccp= calcopirita Nomenclatura segundo Kretz (1983).



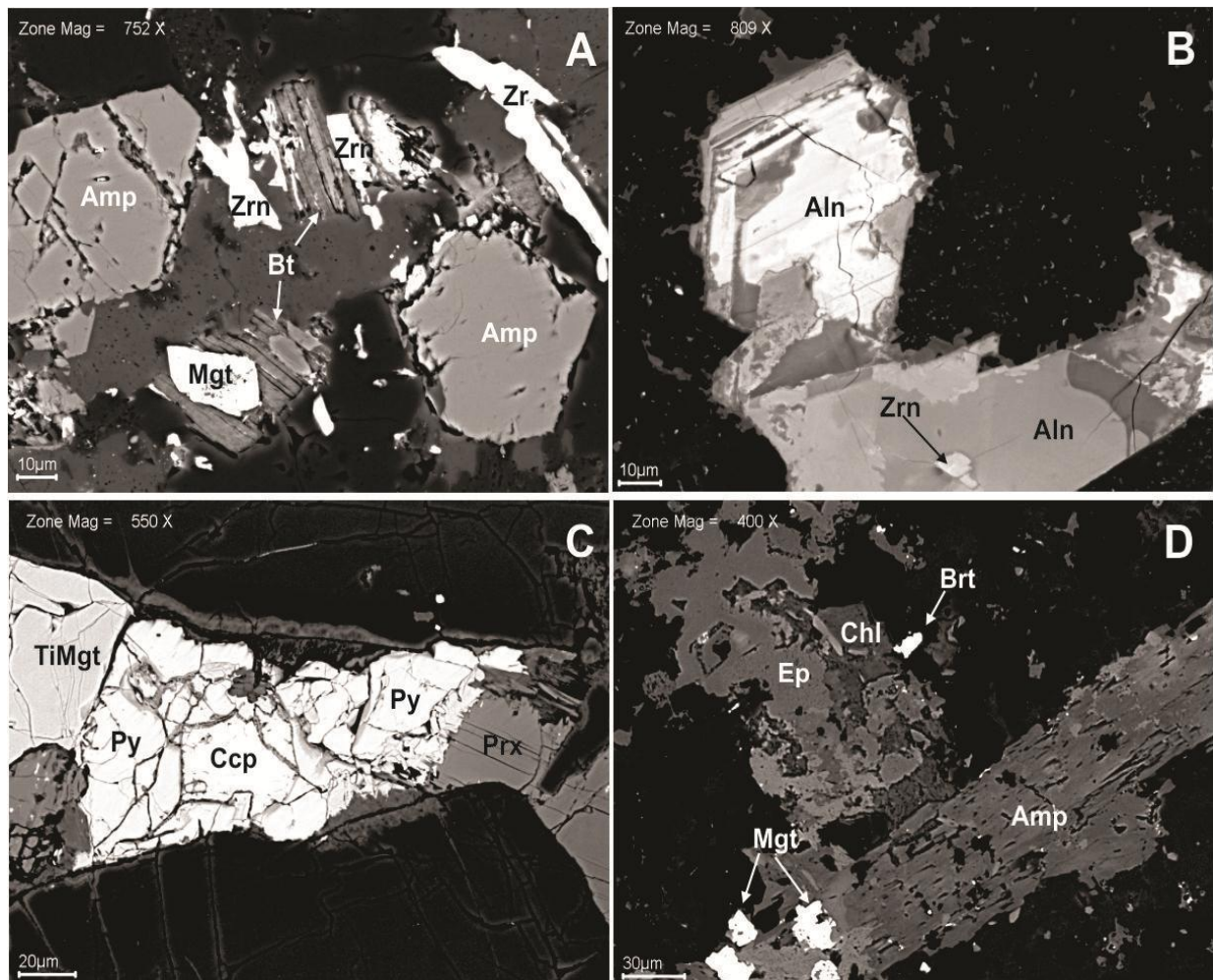
A allanita $[\text{Ca}(\text{REE}, \text{Ca})\text{Al}^2(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})]$ ocorre nos riolitos exibindo cristais prismáticos anédricos a subédricos, normalmente zonados (Figura 13B), associados à apatita, epidoto e minerais ferromagnesianos. Nessas rochas

apresenta conteúdos elevados de La (5,2 a 12,6% em peso) e Ce (8,9 a 25% em peso). No dacito, é subédrica a euédrica, apresenta zoneamento concêntrico e teores médios de 2,8% de La e de 10,2% de Ce.

Em pequena proporção nos diabásios, a **pirita (FeS₂)** ocorre como finos cristais anédricos associados à titanomagnetita e aos minerais ferromagnesianos. Acompanhando esta, encontra-se a **calcopirita (CuFeS₂)** igualmente em pequenas concentrações. Está presente também no dacito, onde comumente associa-se à pirita, titanomagnetita, anfibólios e piroxênios (Figura 13C). Apresenta-se anédrica, de granulação fina e moderadamente fraturada. A pirita apresentou 54,6 a 56,0% de S e 43,9 a 44,2% de Fe. Os teores de Cu da calcopirita ficaram entre 32,1 a 34,1%.

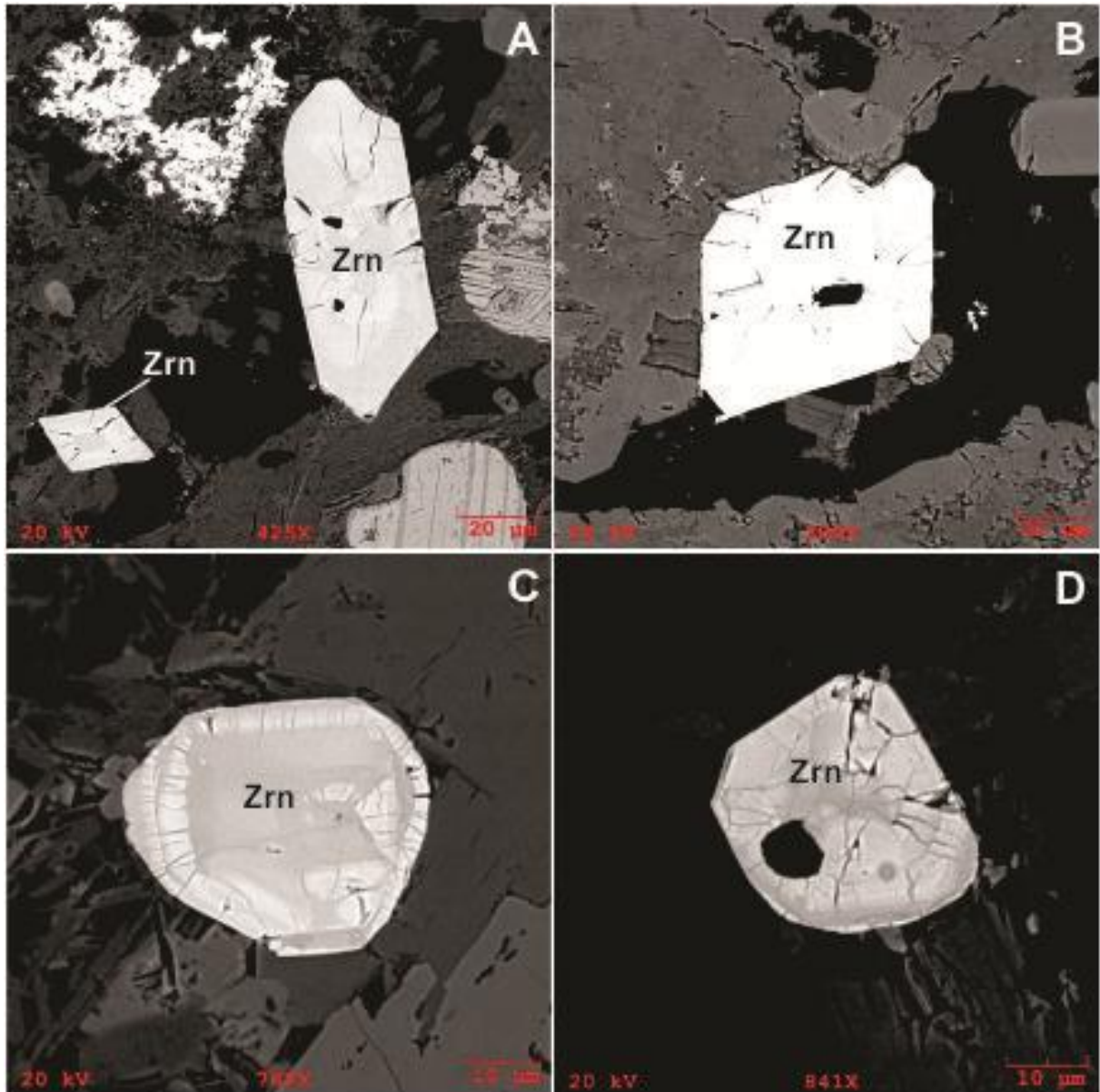
A **Barita (BaSO₄)** aparece raramente no riolito pórfiro (PC-24A) como cristal anédrico associado ao epidoto (Figura 13D). Apresenta teores moderados de Sr (10,6 e 11,8) e de S (13,3 a 13,4%).

Figura 13 - Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV. A) Cristais de zircão anédricos associados a anfibólio e biotita (PC-24A). B) Cristal de allanita, com aparente zoneamento na borda, contendo inclusão de zircão (PC-24A). C) Cristais de pirita e calcopirita ocorrendo entre titanomagnetita e piroxênio (MC-127). D) Cristais de magnetita associados ao anfibólio, e de barita associada à clorita (PCJ-34 A). Zrn=zircão; Amp=anfibólio; Brt=barita; Cpy=calcopirita; Aln=allanita; Bt=biotita; Prx= piroxênio; Chl=clorita; Ep=epidoto; Mgt=magnetita. Ccp=calcopirita. Nomenclatura segundo Kretz (1983).



O **Zircão ($ZrSiO_4$)** é comum nos diques de riolito e dacito, sendo raro a ausente no andesito e nos diabásios. Nos riolitos os cristais são, em geral, subédricos a euédricos, moderadamente fraturados, associados à biotita (Figura 13A) e anfibólio. No dacito, os cristais de zircão são subédricos, subarredondados, moderada a fortemente fraturados e alterados, eventualmente com zoneamentos pouco definidos (Figura 14C e D).

Figura 14 - Imagens de elétrons retroespalhados de zircão obtidas por MEV. A) Cristais prismáticos, moderadamente fraturados; dique de riolito (PC-24A). B) Cristal euédrico levemente fraturado; dique de álcali-feldspato riolito (PCJ-34B). C) Cristal arredondado, moderadamente zonado; dique de dacito (PCJ-11). D) Cristal subarredondado, moderadamente zonado e alterado em seu centro; dique de dacito (PCJ-11). Zrn=zircão. Nomenclatura segundo Kretz (1983).



A Tabela 6 mostra a composição elementar média e as razões Zr/Hf dos zircões estudados. Foram analisados por EDS O, Si, P, Ca, Y, Zr, Nb, Ba, Ce, Hf, Ta, Th e U. As concentrações de Zr, Hf, Y, Nb, Th e U foram usadas na confecção dos diagramas Hf-Y-Nb (Figura 15 e 17) e Zr/Hf *versus* Hf+Y+Th+U (Figura 16 e 18). Para esses diagramas, foram utilizados cristais de zircão do dique de álcali-feldspato riolito (PCJ-34B), do riolito (PC-24A) e do dique de dacito (PCJ-11), estes últimos foram datados geocronologicamente neste trabalho (Item 4).

Tabela 6 - Análises de EDS mostrando os teores médios dos elementos analisados nos zircões presentes no álcali-feldspato riolito (PCJ-34B), no riolito (PC-24A) e no dacito (PCJ-11) de Água Azul do Norte.

ROCHA	AMOSTRA	O	Si	P	Ca	Y	Zr	Nb	Ba	Ce	Hf	Ta	Th	U	Zr/Hf	Σ
DACITO	Zrn - 2-1 (2)	22,9	13,1	0,0	0,5	0,6	57,1	1,7	0,5	0,5	1,9	0,8	0,2	0,3	30,1	2,9
DACITO	Zrn - 4-1 (2)	22,1	13,3	0,0	0,4	0,8	57,8	1,9	0,7	0,0	2,0	0,8	0,1	0,3	28,9	3,2
DACITO	Zrn - 6-1 (3)	26,1	12,1	0,0	1,7	1,1	52,8	1,4	0,7	0,6	1,7	1,1	0,2	0,4	31,7	3,4
DACITO	Zrn - 7 (13)	23,2	13,3	0,1	0,6	0,7	56,5	1,7	0,3	0,4	1,9	0,9	0,2	0,2	29,7	2,9
DACITO	Zrn - 10 (2)	16,0	14,3	0,1	0,2	0,6	62,5	2,2	0,4	0,3	1,8	1,1	0,3	0,2	35,3	2,8
DACITO	Zrn - 11 (2)	22,5	13,6	0,1	0,5	0,5	57,5	1,9	0,2	0,4	1,4	0,9	0,3	0,1	41,6	2,4
DACITO	Zrn - 12 (10)	24,9	14,0	0,0	0,8	0,2	53,9	2,5	0,4	0,4	1,8	0,8	0,1	0,3	30,3	2,4
DACITO	Zrn - 13 (10)	23,6	14,1	0,0	0,3	0,2	55,4	2,4	0,3	0,5	1,9	0,9	0,2	0,2	29,6	2,4
DACITO	Zrn - 14 (9)	24,7	13,9	0,0	0,5	0,2	54,4	2,5	0,4	0,6	1,8	0,8	0,1	0,2	30,8	2,3
DACITO	Zrn - 15 (3)	24,1	14,1	0,0	0,2	0,1	55,3	2,6	0,4	0,4	2,0	0,6	0,2	0,2	27,9	2,4
DACITO	Zrn - 16 (8)	24,7	14,0	0,0	0,6	0,2	54,3	2,6	0,3	0,6	1,7	0,8	0,1	0,2	32,3	2,2
DACITO	Zrn - 17 (10)	25,2	13,8	0,0	0,7	0,2	53,7	2,5	0,3	0,4	2,0	0,6	0,2	0,3	27,3	2,6
DACITO	Zrn - 18 (3)	23,9	14,1	0,0	0,2	0,1	55,6	2,6	0,4	0,6	1,4	0,8	0,1	0,2	40,0	1,8
RIOLITO	Zrn 1-1 (2)	22,4	13,4	0,0	0,1	0,7	58,0	1,8	0,5	0,0	1,8	0,7	0,1	0,3	32,2	2,9
RIOLITO	Zrn - 11 (15)	24,1	14,2	0,0	0,1	0,2	55,3	2,2	0,3	0,4	1,9	1,0	0,1	0,2	29,0	2,5
RIOLITO	Zrn - 12 (12)	24,3	13,8	0,0	0,3	0,3	54,7	2,4	0,4	0,5	2,0	0,9	0,2	0,2	27,9	2,7
RIOLITO	Zrn - 13 (13)	24,1	13,9	0,0	0,1	0,2	55,4	2,4	0,4	0,4	1,9	0,9	0,2	0,2	29,6	2,4
RIOLITO	Zrn - 14 (10)	25,6	13,9	0,0	0,3	0,2	53,9	2,3	0,3	0,4	1,8	1,0	0,1	0,2	29,4	2,4
RIOLITO	Zrn - 15 (15)	25,2	13,9	0,0	0,3	0,3	54,1	2,4	0,4	0,4	1,9	0,8	0,2	0,2	28,6	2,5
RIOLITO	Zrn - 16 (6)	28,1	15,6	0,0	0,1	0,2	50,2	2,0	0,3	0,5	1,5	1,0	0,1	0,2	33,8	2,1
RIOLITO	Zrn - 18 (5)	24,1	14,1	0,0	0,1	0,4	55,5	2,3	0,3	0,4	1,7	0,7	0,2	0,1	33,5	2,4
RIOLITO	Zrn-18-1 (10)	24,0	14,2	0,0	0,1	0,2	55,6	2,4	0,3	0,4	1,8	0,7	0,2	0,2	30,9	2,3
RIOLITO	Zrn - 19 (10)	23,6	14,2	0,0	0,1	0,3	55,7	2,5	0,3	0,4	1,7	0,8	0,2	0,2	32,9	2,4
RIOLITO	Zrn - 20 (8)	23,9	14,1	0,0	0,1	0,3	55,5	2,4	0,4	0,4	1,7	0,8	0,2	0,2	32,3	2,4
RIOLITO	Zrn - 21 (10)	24,4	14,1	0,0	0,1	0,3	54,9	2,5	0,3	0,5	1,8	0,9	0,2	0,2	30,4	2,4
RIOLITO	Zrn - 22 (10)	23,9	14,1	0,0	0,1	0,3	55,5	2,4	0,4	0,3	1,9	0,8	0,1	0,2	29,5	2,5
RIOLITO	Zrn - 14 (14)	23,0	14,2	0,0	0,1	0,3	56,3	2,4	0,3	0,4	1,7	0,8	0,2	0,2	32,2	2,4
RIOLITO	Zrn - 15 (11)	23,1	14,2	0,0	0,1	0,2	56,0	2,6	0,4	0,4	1,8	0,8	0,1	0,2	30,4	2,4
RIOLITO	Zrn - 16 (15)	23,3	14,2	0,0	0,1	0,2	56,0	2,3	0,3	0,4	2,0	0,8	0,1	0,2	28,5	2,6
RIOLITO	Zrn - 17 (12)	23,1	14,2	0,0	0,1	0,3	55,6	2,5	0,4	0,6	2,1	0,8	0,1	0,2	26,5	2,7

Legenda: $\Sigma = \text{Hf} + \text{Y} + \text{Th} + \text{U}$ (% em peso).

Os zircões dos diques de álcali-feldspato riolito e riolito foram comparados com aqueles do Granito São João, estudados por Lima (2010) (Figuras 15 e 16), tendo em vista que os zircões do riolito e do granito apresentaram idades de cristalização em torno de 1,88 Ga (ver capítulo 4). Como os zircões do dique de dacito forneceram idades predominantemente arqueanas (zircões herdados), procurou-se compará-los em termos de conteúdos de Hf, Y e Nb e das razões Zr/Hf, com aqueles de suas rochas trondhjémicas encaixantes (Figuras 17 e 18). Para isto, foram utilizadas análises de zircão do Trondhjemitó Mogno (amostra AM-01) obtidas por Almeida, (2010) e do trondhjemitó PC-29B, de Mesquita, (2010).

No diagrama Hf-Y-Nb (Figura 15), os zircões do dique de riolito são mais enriquecidos em Nb e mais empobrecidos em Y, deslocando-se para a direita do diagrama. Os zircões do Granito São João apresentam conteúdos muito próximos nesses três elementos, com um leve enriquecimento em Hf, e tendem a se concentrar no centro do diagrama. No diagrama Zr/Hf *versus* Hf+Y+Th+U (Figura 16), os zircões do riolito mostram razões Zr/Hf entre 26,5 e 33,8, e concentrações de

Hf+Y+Th+U entre 2 e 3%. Por sua vez, os zircões do Granito São João mostram razões Zr/Hf entre 22,6 e 30,6, porém suas concentrações de Hf+Y+Th+U são comparativamente mais elevadas, entre 2,9 e 3,6.

Nota-se no diagrama Hf-Y-Nb (Figura 17) que os zircões do dique de dacito mostram comportamento semelhante aos zircões do dique de riolito e plotam a direita do diagrama com superposição parcial entre eles. Enquanto os zircões das rochas trondhjemíticas, utilizados para comparação com os zircões herdados do dique de dacito, mostram composições mais homogêneas nesses elementos e maior enriquecimento em Hf, e se concentram na parte mais superior do diagrama.

No diagrama da Figura 18, os zircões do dacito apresentam razões Zr/Hf variando predominantemente entre 27 e 36, com duas amostras atingindo entre 40 e 41, e apresentam concentrações de Hf+Y+Th+U entre 1,8 e 2,4%. As rochas trondhjemíticas usadas para comparação possuem razões Zr/Hf pouco variáveis, predominantemente entre 20 e 30, e conteúdos de Hf+Y+Th+U de 2,6 a 3,7%

Figura 15 - Diagrama Hf-Y-Nb (% em peso) mostrando os campos de variação composicional dos zircões do dique de riolito (PC-24A) e dos zircões do Granito São João (LIMA, 2010). Em vermelho: riolitos; em azul: Granito São João.

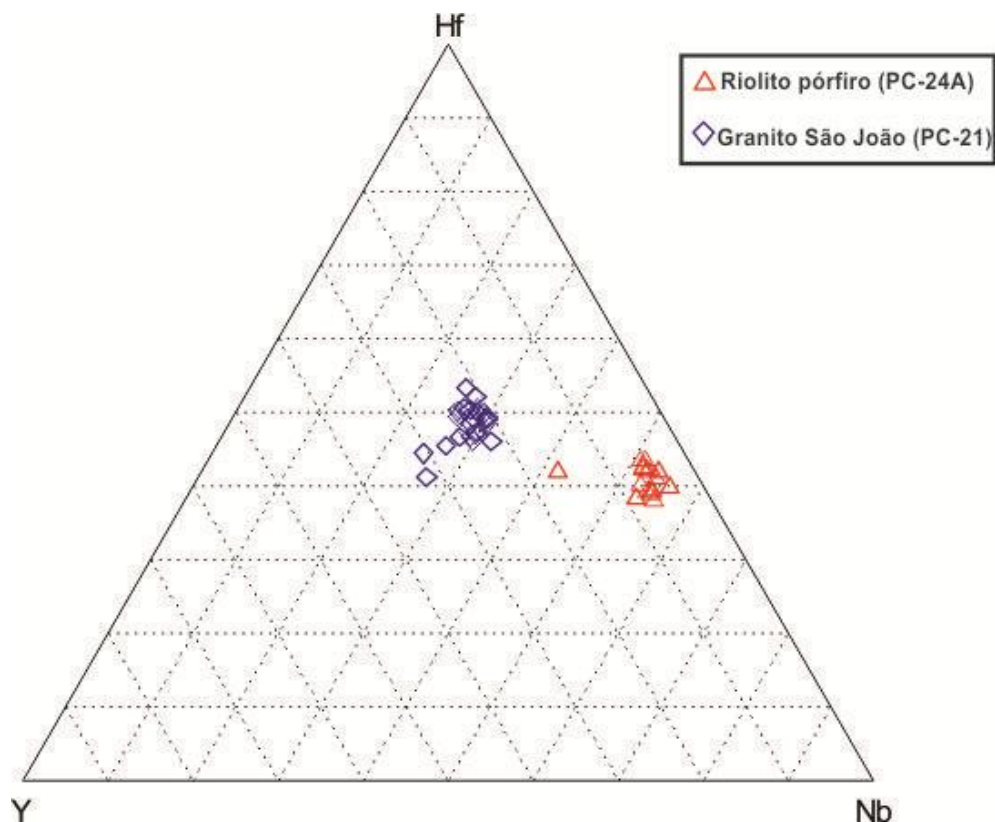


Figura 16 - Diagrama Zr/Hf versus Hf+Y+Th+U (% em peso) mostrando a variação composicional dos zircões dos diques de riolito (PC-24 A) e do Granito São João (LIMA, 2010).

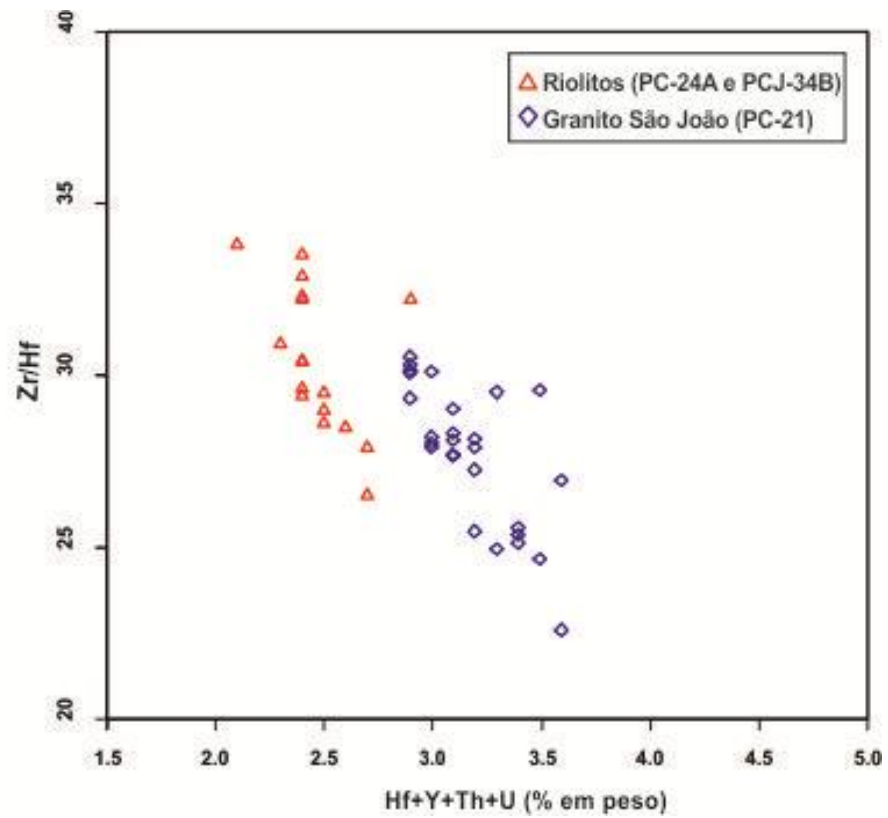


Figura 17 - Diagrama Hf-Y-Nb (% em peso) mostrando os campos de variação composicional dos zircões do dacito (PCJ-11) e das encaixantes trondhjêmíticas dos diques (AM-01; ALMEIDA, 2010; PCJ-29B; MESQUITA, 2010); Círculos: dacito; X: e +: trondhjemitos

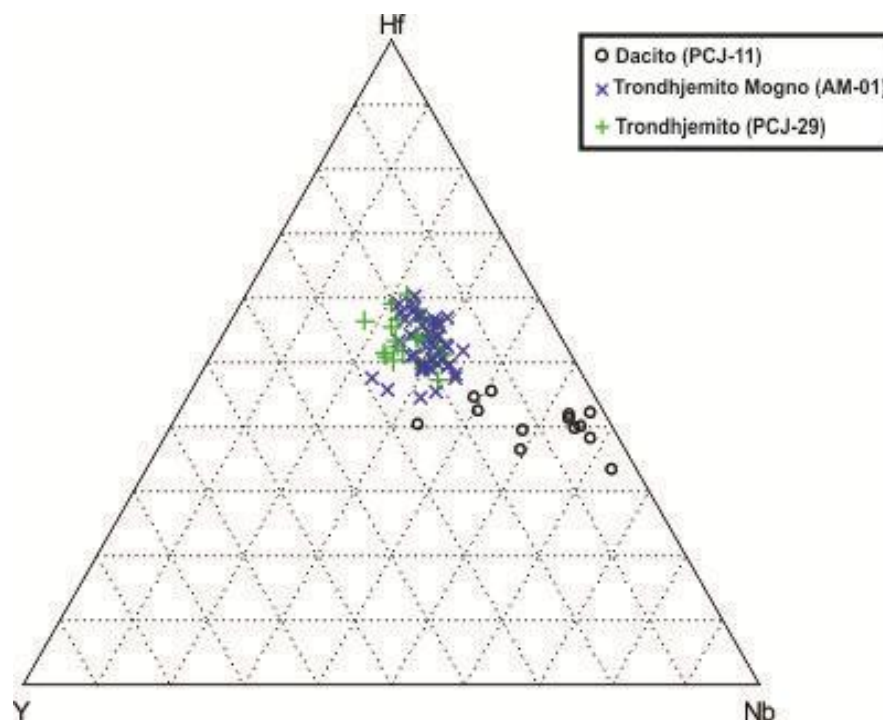
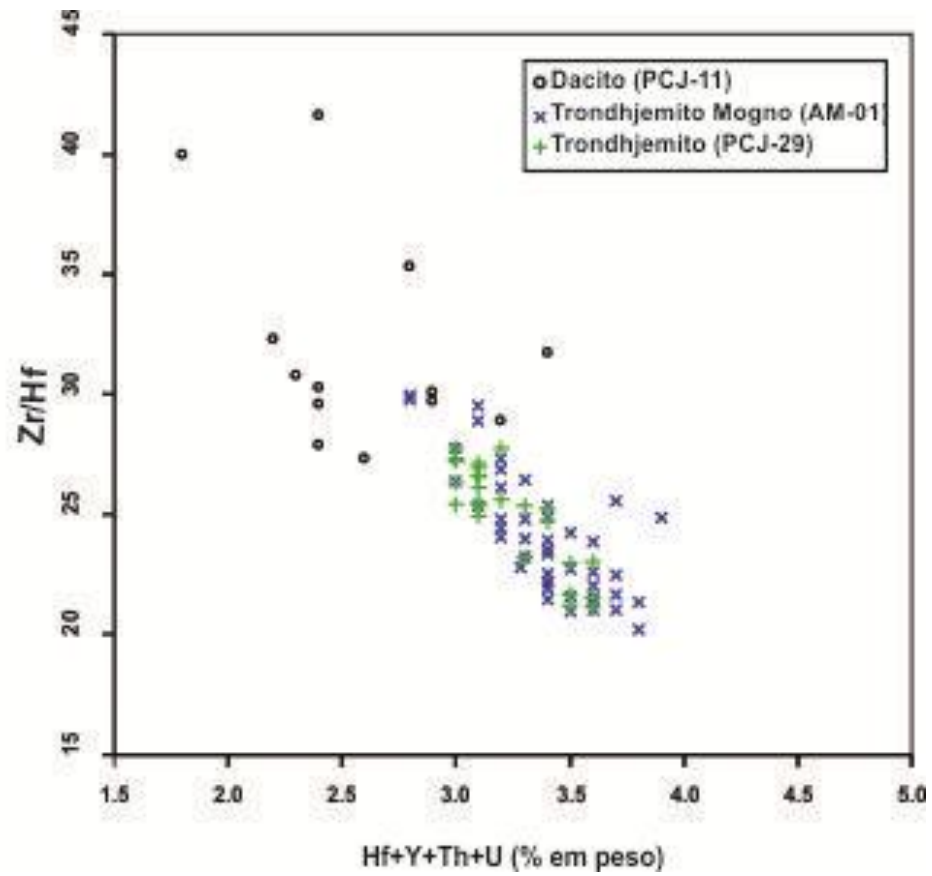


Figura 18 - Diagrama Zr/Hf versus Hf+Y+Th+U (% em peso) mostrando a variação composicional dos zircões dos diques de dacito (PCJ-11) e das encaixantes trondhjemíticas dos diques (AM-01; ALMEIDA, 2010; PCJ-29B; MESQUITA, 2010)



4 GEOCRONOLOGIA

Com o objetivo de definir a idade de cristalização dos diques estudados foram selecionadas uma amostra representativa do dique de riolito pórfiro (PC-24A) e uma do dacito (PCJ-11) para datação geocronológica no Laboratório de Geologia Isotópica (PARÁ-ISO) da UFPA, utilizando-se o método de evaporação-ionização de Pb em monocristais de zircão. Para o riolito pórfiro PC-24A foram escolhidos oito cristais de zircão euédricos, prismáticos, incolores a levemente amarronzados, transparentes, pouco fraturados e com quantidade moderada de inclusões prismáticas e arredondadas. Dentre esses, apenas cinco cristais apresentaram razões isotópicas aceitáveis; os demais apresentaram razões $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ superior a 0,0004 e foram excluídos do cálculo da idade. A idade média desses cinco cristais de zircão foi de 1887 ± 2 Ma, interpretada como a idade de cristalização (Tabela 7 e Figura 19). Os dados geocronológicos completos são apresentados na Tabela 8.

Tabela 7 - Idade média ponderada obtida pelo método de evaporação do Pb em monocristais de zircão para o dique de riolito PC-24A de Água Azul do Norte.

Zircao	Razoes	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$(^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2σ	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2σ	Idade	2σ	
PC24A/1	30/84	0,000332	0,000012	0,16464	0,00042	0,11526	0,00027	1884,3	4,2	
PC24A/3	30/44	0,00033	0,000009	0,15066	0,00098	0,11535	0,00018	1885,6	2,8	
PC24A/4	30/76	0,000116	0,000006	0,15699	0,00045	0,11561	0,00027	1889,6	4,2	
PC24A/6	76/84	0,000121	0,000013	0,16705	0,0109	0,11546	0,00026	1887,3	4,1	
PC24A/8	78/110	0,000156	0,000041	0,16878	0,00066	0,11555	0,00026	1888,8	4,1	
244/398								Idade Média =	1887,5	1,7

Legenda: (c) - razão $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ e $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ corrigida do Pb comum.

Figura 19 - Diagrama de barras mostrando a idade média do riolito porfirítico (PC-24 A) e os zircões utilizados na datação.

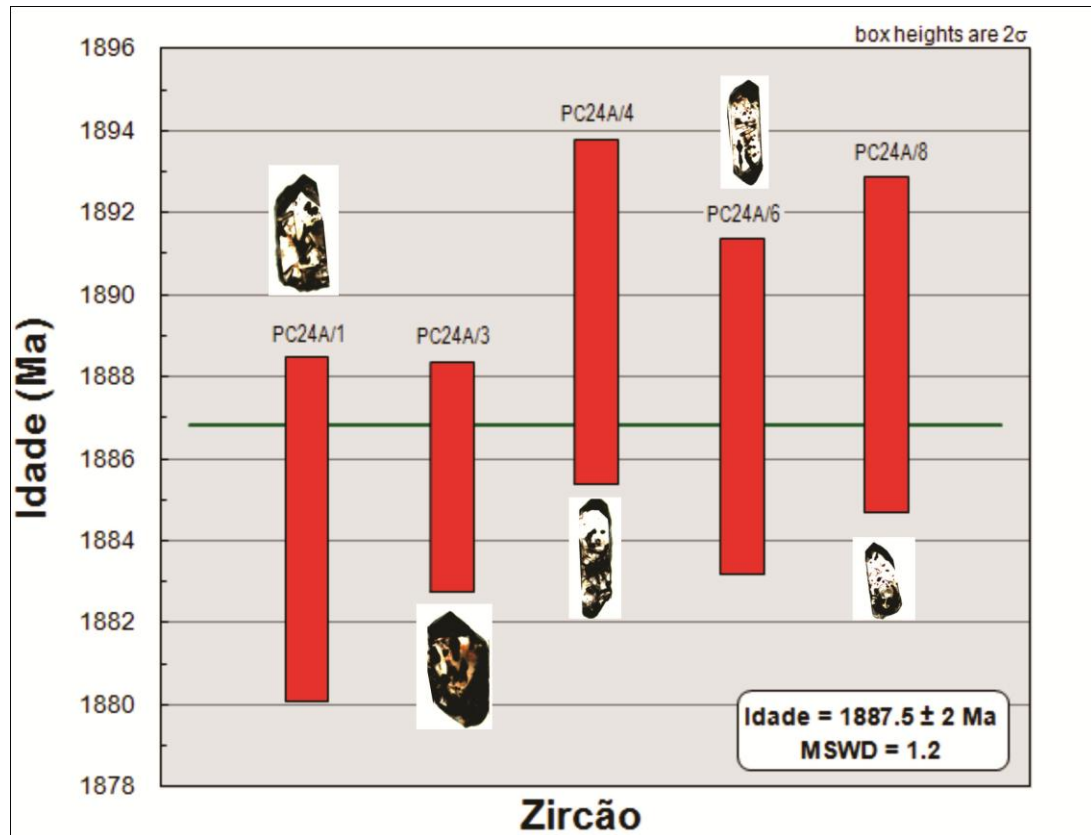


Tabela 8 - Resultados isotópicos obtidos pelo método de evaporação do Pb em todos os monocristais de zircão do dique de riolito pórfiro PC-24A de Água Azul do Norte.

Zircão	Temp.	Razões	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$(^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2σ	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2σ	Idade	2σ
PC24A/1	#1450	0/6	0,003052	0,000282	0,14004	0,01479	0,10230	0,00517	1666,6	93,4
	#1500	0/36	0,000566	0,000027	0,15421	0,00106	0,11496	0,00028	1879,5	4,3
	1550	30/34	0,000332	0,000012	0,16464	0,00042	0,11526	0,00027	1884,3	4,2
	#1580	0/8	0,001925	0,000316	0,12197	0,01102	0,09728	0,00453	1572,9	87,2
PC24A/2	*1450	0/34	0,000288	0,000015	0,16912	0,00099	0,11516	0,00032	1882,7	5,0
	*1500	0/32	0,000150	0,000002	0,16164	0,00029	0,11581	0,00017	1892,8	2,6
	*1550	0/8	0,000321	0,000008	0,15782	0,00062	0,11581	0,00303	1892,8	47,1
PC24A/3	1500	30/30	0,000330	0,000009	0,15066	0,00098	0,11535	0,00018	1885,6	2,8
	*1550	0/14	0,000195	0,000044	0,14265	0,00193	0,11582	0,00237	1893,0	36,8
PC24A/4	#1450	0/8	0,002076	0,000074	0,19429	0,00258	0,11024	0,00109	1803,8	17,9
	*1500	0/38	0,000092	0,000003	0,16420	0,00024	0,11511	0,00009	1882,0	1,5
	1550	30/30	0,000116	0,000006	0,15699	0,00045	0,11561	0,00027	1889,6	4,2
PC24A/5	*1500	0/8	0,000000	0,000000	0,17207	0,00085	0,11737	0,00109	1916,8	16,7
	*1550	0/16	0,000174	0,000004	0,15366	0,00057	0,11390	0,00083	1862,8	13,2
PC24A/6	#1450	0/8	0,004931	0,000014	0,26473	0,03359	0,09581	0,00456	1544,4	89,4
	1500	38/38	0,000125	0,000004	0,17081	0,00029	0,11554	0,00033	1888,5	5,2
	1550	32/38	0,000105	0,000008	0,15916	0,00059	0,11554	0,00031	1888,5	4,9
PC24A/7	#1450	0/8	0,001203	0,000100	0,18793	0,00970	0,11466	0,00223	1874,8	35,0
	*1500	0/38	0,000132	0,000007	0,16410	0,00033	0,11505	0,00018	1880,9	2,8
PC24A/8	*1450	0/32	0,000116	0,000022	0,17540	0,00089	0,18916	0,00038	2735,2	3,3
	1500	40/40	0,000141	0,000008	0,16907	0,00036	0,11572	0,00034	1891,5	5,3
	1550	32/38	0,000174	0,000007	0,16862	0,00031	0,11552	0,00019	1888,3	2,9
232/542									Idade Média = 1887,5	1,7

Legenda: (c) - razão $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ e $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ corrigida do Pb comum; (*) - etapa de evaporação eliminada subjetivamente; (#) - etapa de evaporação eliminada por apresentar razão $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ superior a 0,0004.

Para o dique de dacito PCJ-11, foram selecionados treze cristais de zircão prismáticos a subarredondados, intensamente fraturados, com coloração predominantemente marrom escura, contendo raras inclusões. Dentre esses, quatro cristais não apresentaram valores de Pb suficientes para datação, três apresentaram razões $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ acima de 0,0004, e somente os seis restantes forneceram sinais suficientes de Pb para o cálculo das razões isotópicas. Contudo, as idades obtidas foram muito próximas da idade preliminar obtida por Mesquita (2010, $2,88 \pm 5$ Ma) para as rochas trondhjemíticas encaixantes deste dique. Desse modo, os zircões analisados foram interpretados como zircões herdados do embasamento, mesmo considerando que tais zircões não forneceram resultados estatísticos satisfatórios, pois a grande maioria dos cristais não foi analisada na etapa de 1550°C . A Tabela 9 mostra os resultados analíticos obtidos em zircões do dique de dacito.

Tabela 9 - Resultados isotópicos obtidos pelo método de evaporação do Pb em monocristais de zircão do dique de dacito PCJ-11.

Zircão	Temp.	Razões	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$(^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2σ	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2σ	Idade	2σ
PCJ11/2	#1450	0/32	0,000738	0,000041	0,09466	0,00770	0,18964	0,00499	2739,4	43,3
	1500	14/36	0,000063	0,000004	0,16286	0,00085	0,13494	0,00029	2163,6	3,7
PCJ11/3	#1450	0/34	0,000852	0,000090	0,10872	0,00470	0,19439	0,00207	2779,9	17,4
	1500	32/32	0,000087	0,000003	0,06674	0,00075	0,21383	0,00037	2935,1	2,8
PCJ11/4	*1450	0/38	0,000228	0,000007	0,09820	0,00104	0,19957	0,00019	2823,1	1,6
	1500	38/38	0,000083	0,000005	0,07265	0,00067	0,21169	0,00044	2918,9	3,4
PCJ11/6	#1450	0/34	0,000500	0,000022	0,15509	0,00467	0,19933	0,00097	2821,1	8,0
	1500	20/32	0,000383	0,000013	0,09297	0,00074	0,21229	0,00025	2923,4	1,9
PCJ11/7	*1450	0/34	0,000229	0,000040	0,08020	0,00230	0,09477	0,00039	1523,8	7,7
PCJ11/9	#1450	0/40	0,000593	0,000041	0,13282	0,00042	0,18798	0,00037	2725,0	3,3
	#1500	0/6	0,000525	0,000006	0,09597	0,00130	0,20250	0,00039	2846,7	3,1
PCJ11/10	#1450	0/8	0,002041	0,000534	0,08831	0,01917	0,18868	0,00748	2731,1	65,3
	1500	32/32	0,000175	0,000009	0,06348	0,00046	0,21415	0,00039	2937,5	3,0
PCJ11/12	1500	28/28	0,000182	0,000004	0,06281	0,00015	0,21022	0,00054	2907,6	4,1
	1550	32/32	0,000170	0,000008	0,06406	0,00050	0,20981	0,00039	2904,4	3,0
PCJ11/13	#1450	0/8	0,001776	0,000092	0,14596	0,00397	0,19279	0,00118	2766,4	10,1

Legenda: (c) - razão $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ e $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ corrigida do Pb comum; (*) - etapa de evaporação eliminada subjetivamente; (#) - etapa de evaporação eliminada por apresentar razão $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ superior a 0,0004.

5 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Na região de Água Azul do Norte, mais especificamente entre os granitos Seringa e São João, situados a sul-sudoeste da referida cidade (Figura 3), ocorre um enxame de diques com direção NW-SE dominante, os quais foram classificados como diabásios, andesito, dacito, riolito e álcali-feldspato riolito.

5.1 PETROGRAFIA

Do ponto de vista petrográfico, os diabásios são similares, com textura subofítica (intergranular) e porfírica, tendo anfibólio e piroxênio como minerais varietais principais, com predominância do primeiro sobre o segundo, com quantidades significativas de minerais opacos. O quartzo ocorre como finos cristais somente em uma das amostras (PCJ-15) e em quantidade muito baixa. No dique de andesito, destaca-se a presença de anfibólio e minerais opacos, em meio aos plagioclásios e raros microfenocristais de álcali-feldspato e quartzo. Na matriz microcristalina estão dispersos finos cristais de anfibólio e é possível identificar intercrescimentos granofíricos. O dique de dacito, por sua vez, apresenta mineralogia mais diversificada, com quartzo anédrico, plagioclásio fortemente saussuritizado, biotita comumente cloritizada, grande quantidade de epidoto e frequentes allanita e titanita além da presença marcante da apatita.

Nos diques de riolito e álcali-feldspato riolito predominam pórfiros de quartzo e álcali-feldspato e, mais raramente, plagioclásio dispersos numa matriz predominantemente microcristalina, granofírica e esferulítica. Em geral são pobres em minerais ferromagnesianos, com a biotita comumente cloritizada.

Com base no modo de ocorrência, na composição mineralógica e nas características petrográficas e texturais observadas, três tipos de dique de riolito foram identificados em Água Azul do Norte:

- 1- Dique de riolito pórfiro (PC-24A): rocha porfírica grossa (Figura 10A, 11), com matriz granofírica, contendo subordinadamente textura esferulítica, com esferulitos medindo de 0,5 a 0,8 mm. Fenocristais de quartzo com baías, indicativos de corrosão e reabsorção, são comuns (Figura 10B). Possui anfibólio e biotita como ferromagnesianos e assemelha-se a rochas plutônicas denominadas comumente de granitos pórfiros.

- 2- Dique de álcali-feldspato riolito (PCJ-34B): rocha porfirítica, contendo fenocristais de quartzo e álcali-feldspato comparativamente menores que os da rocha anterior (Figura 10C), com matriz dominada por intercrescimentos esferulíticos (esferulitos com diâmetros de 0,5 a 1,5 mm) e granofíricos (Figura 10D, 11). Biotita fortemente cloritizada é o único ferromagnésiano.
- 3- Dique de riolito afanítico (PC-24B): rocha afanítica (Figura 10E), com textura microcristalina, contendo frequentes esferulitos cujos diâmetros variam de 0,5 a 3,6 mm; localmente apresenta textura porfirítica, com raros microfenocristais de quartzo anédricos (Figura 10F, 11).

Texturas granofíricas consistem, em geral, de intercrescimento de quartzo e feldspato com forma irregular e vermicular (BARKER, 1970). Este tipo de textura seria formado por cristalização simultânea e rápida de quartzo e feldspato no líquido magmático (SMITH, 1974). Segundo Nascimento (2002), texturas granofíricas são comuns em corpos epizonais, especialmente nas rochas vulcânicas. A taxa de cristalização teria influência direta no tamanho do intercrescimento granofírico, o qual tende a diminuir com um resfriamento mais rápido. Esferulitos são corpos pequenos, arredondados, com estrutura fibrosa radial, comuns em rochas ígneas vulcânicas ou subvulcânicas ácidas.

Admite-se, com base no exposto, que o dique de riolito pórfiro (PC-24A) formou-se, provavelmente, a nível crustal mais profundo que os outros dois. O dique de álcali-feldspato riolito (PCJ-34B) teria se formado a profundidade intermediária e o dique de riolito afanítico (PC-24B), a profundidade mais rasa.

A figura 11 mostra as diferenças composicionais e texturais entre os três diques de riolito estudados. Em A, predominância da textura granofírica média a grossa. Em B, textura esferulítica dominante, com textura granofírica mais fina e menos evidente que a anterior. Em C, abundantes esferulitos, com intercrescimento granofírico muito fino a ausente.

5.2 MEV

As análises de MEV-DS permitiram a identificação das fases varietais e acessórias presentes nos diferentes diques. Constatou-se que os riolitos possuem anfibólio e biotita com razões Fe/Mg mais elevadas (Tabela 3), confirmando os dados da petrografia que mostram esses minerais como os mais fortemente

alterados para clorita e óxido de ferro. As análises de EDS dos anfibólios sugerem tratar-se de Fe-hornblenda e, mais localmente, actinolita. Nos diques de diabásios e no de andesito, predominam magnetita e titanomagnetita como principais fases acessórias, com raras titanita, calcopirita e pirita no primeiro, além de apatita e titanita de modo subordinado no segundo. No dique de dacito, observou-se grande variedade de fases acessórias, tais como, allanita, apatita, titanita, calcopirita, alguma magnetita e quantidades significativas de zircão. Nos diques de riolito, ocorrem os acessórios mencionados acima, com exceção da calcopirita e pirita, além de ilmenita, raros cristais de barita e quantidades elevadas de zircão.

Em relação ao zircão, os dados geoquímicos obtidos mostram que os zircões do riolito tendem a se concentrar no lado direito do diagrama Hf-Y-Nb (Figura 15), indicando teores mais elevados de Nb em relação aos teores de Y. Os zircões do Granito São João apresentam teores de Hf similares a levemente mais elevados que aqueles do dique de riolito. Todavia, quando observados no diagrama Zr/Hf versus Hf+Y+Th+U (Figura 16), os zircões do riolito se alinham ao *trend* formado pelos zircões do Granito São João, porém com conteúdos mais baixos de Hf+Y+Th+U. Essa pequena variação geoquímica encontrada entre zircões do granito e do dique de riolito pode ser decorrente, muito provavelmente, do tipo de rocha hospedeira. Os zircões do Granito São João pertencem a rochas monzograníticas, enquanto aqueles do dique provêm de rochas mais ácidas (riolito e álcali-feldspato riolito). Contudo, tal comportamento, somado às idades de cristalização semelhantes, sugere uma ligação genética entre essas rochas.

Os zircões do dique de dacito são, da mesma maneira que os dos riolitos, enriquecidos em Nb em relação ao Y. São também, mais empobrecidos em Hf que os zircões dos trondhjemitos encaixantes (Figura 17). Esses dados sugerem que os zircões do dique de dacito não sejam provenientes dessas rochas encaixantes. Entretanto, no diagrama Zr/Hf versus Hf+Y+Th+U (Figura 18), os zircões do dique de dacito se alinham predominantemente ao *trend* dos zircões das rochas trondhjemíticas, embora com razões Zr/Hf um pouco mais elevadas, indicando a existência de uma ligação entre eles. A idade geocronológica do dacito, embora não definitiva, é similar a dos trondhjemitos encaixantes, reforça esta hipótese.

5.3 GEOCRONOLOGIA

A idade geocronológica de 1887 ± 2 Ma obtida para o dique de riolito pórfiro (PC-24 A), interpretada como idade de cristalização, é similar às obtidas para diques de riolito das regiões de Bannach (1879 ± 2 Ma; FERREIRA, 2009) e Rio Maria (1885 ± 2 Ma e 1885 ± 4 Ma; OLIVEIRA, 2006), situados a sul e sudeste de Água Azul do Norte, respectivamente, e um pouco mais jovem que a idade de cristalização do Granito São João (1890 ± 2 Ma) obtida por Lima (2010).

Dall'Agnol et al. (2002) já haviam descrito na região de Rio Maria um dique composto formado por um granito pórfiro e um diabásio aflorando próximo ao contato entre o Granodiorito Rio Maria e o Granito Musa. Neste estudo, obtiveram uma idade de 1885 ± 4 Ma para o granito pórfiro, idade considerada mais precisa para os diques félsicos daquela região. Por analogia, esta seria também a idade do dique máfico associado, pois este apresentava evidências de coexistência com o magma formador do granito (DALL'AGNOL et al. 2002, OLIVEIRA, 2006).

Os dados obtidos para o riolito pórfiro no presente trabalho fortalecem a hipótese levantada anteriormente, na qual se admite que os diques félsicos existentes naquela porção do cráton, pertencem ao mesmo evento magmático paleoproterozóico.

Devido a problemas analíticos, como baixos valores de Pb e altas razões Pb^{204}/Pb^{206} na maioria dos cristais analisados, não foi possível definir uma idade para o dique de dacito (PCJ-11). Embora os resultados não tenham sido conclusivos, admite-se que os zircões dessa rocha foram herdados das encaixantes trondhjemíticas, ou de outras rochas arqueanas presentes no TGGRM.

De posse desses dados, faz-se, portanto, necessário realizar novos estudos a fim de complementar ou corroborar os dados obtidos neste trabalho, bem como fechar a idade do magmatismo máfico da região da Água Azul do Norte.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. A. C. *Evolução geológica do terreno Granito-Greenstone de Rio Maria*. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará. Belém, 2010.
- ALMEIDA, J.A.C.; DALL'AGNOL, R.; DIAS, S. B.; ALTHOFF, F. J. Origin of the Archean leucogranodiorite-granite suítes: evidence from the Rio Maria terrane and implications for granite magmatism in the Archean. *Lithos*, 2010, v. 120, p. 235-257.
- ALMEIDA, J.A.C. *Geologia, Petrografia e Geoquímica do Granito Anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará*. Universidade federal do Pará. Instituto de Geociências. 170 p. Tese (Mestrado em Petrologia e Geoquímica)-Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPA, 2005.
- ALMEIDA, J.A.C., DALL'AGNOL, R., OLIVEIRA, M.A., MACAMBIRA, M.J.B., PIMENTEL, M.M., LEITE, A.A.S. Zircon geochronology and geochemistry of the TTG suites of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane: Implications for growth of Archean crust of Carajás Province, Brazil. *Precambrian Research*, 2011. v. 187, 201-221.
- ALMEIDA, J. A. C.; OLIVEIRA, M. A.; DALL'AGNOL, R.; ALTHOFF, F. J.; BORGES, R. M. K. *Relatório de mapeamento geológico na escala 1:100.000 da Folha Marajoara (SB-22-ZC-V)*. Programa Geobrasil, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2008. 147p.
- ALMEIDA J.A.C., DALL'AGNOL R., OLIVEIRA D.C. Geologia petrografia e geoquímica do Granito anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. *Rev.Bras. Geoc.*, 2006. v 36, n: 282-295.
- ALTHOFF, F. J.; BARBEY, P.; BOULLIER, A. M. 2.8-3.0 Ga plutonism and Deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral province, Brazil). *Precambrian Research*, 2000. v. 104, p. 187- 206.
- ALTHOFF, F. J.; BARBEY, P.; BOULLIER, A. M.; DALL'AGNOL, R. *Composição e estrutura dos granitóides arqueanos da região de Marajoara*. Belém, 1995. (Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Série Ciências da Terra, v. 7. p. 5-26)
- ALTHOFF, F. J.; DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z. S. *Região de Marajoara - SE do Pará: prolongamento dos terrenos arqueanos de Rio Maria ou retrabalhamento*. In: Simpósio De Geologia Da Amazônia, 3. Belém, 1991. *Anais...* Belém: SBG. p. 130-141.
- ARAÚJO, O. J. B.; MACAMBIRA, E. M. B.; VALE, A. G.; OLIVEIRA, J. R. et al. Primeira integração das investigações Geológicas do Programa Grande Carajás na região SSE do Estado do Pará. In: *Simpósio de Geologia da Amazônia*, 4. Belém, 1994. Boletim de Resumos Expandidos. Belém. SBG. p. 299-301.

BARD J.P. Microtextures des roches magmatiques et metamorphiques. Paris, Mason, 1980. 192p.

BARKER, D.S. Compositions of granophyre, myrmekite, and graphic granite. Geol. Soc. Am. Bull. 81, 3339-3350. 1970.

CHAYES F. Petrographic modal analysis. New York, John Willey & Sons. 1956.113p.

COSTA, J. B. S.; ARAÚJO, O. J. B.; SANTOS, A.; JORGE JOÃO, X. S.; MACAMBIRA, M. J. B.; LAFON, J. M. A província mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. 1995. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Ciências da Terra*. v. 7, p. 199-235.

DALL'AGNOL, R.; COSTI, H. T.; LEITE, A. A. S. Rapakivi granites from Brazil and adjacent countries. In: Intern. Symp. on Gran. and Associated Mineralizations. Superintendência de Geologia e Recursos Minerais-SGM, Salvador. 1997. p. 185.

DALL'AGNOL R.; LAFON J.M., MACAMBIRA M.J.B. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian Province, Amazonian Craton: geochronological, petrological and geochemical aspects. *Mineral. Petrol.* 1994 v. 50, n.1/3. p. 113: 138.

DALL'AGNOL, R., OLIVEIRA M.A., ALMEIDA, J.A.C., ALTHOFF, F.J., LEITE, A.A.S., OLIVEIRA, D.C., BARROS, C.E.M.,. Archean and paleoproterozoic granitoids of the Carajás Metallogenic Province, eastern Amazonian craton. In: Dall'Agnol, R., Rosa-Costa, L.T., Klein, E.L. (eds.). *Symposium On Magmatism, Crustal Evolution, And Metallogenesis Of The Amazonian Craton*. Abstracts volume and field trips guide. Belém, 2006. PRONEX-UFPA/SBG-NO, 99-150.

DALL'AGNOL, R., OLIVEIRA, D. C., MACAMBIRA, M.J.B., LAMARÃO, C. N. 2002. Diques proterozoicos do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria: A descoberta de Diques Compostos e novos dados geocronológicos. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 2., Belém, 2002. *Boletim de resumos*. Belém-PA. p. 13.

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

DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z.S.; ALTHOFF, F.J.; MACAMBIRA, M.J.B.; LEITE, A.A.S.. Geology and geochemistry of the Archean Rio Maria granite –greenstone terrain Carajás Province, Amazonian Craton. In: SYMP. ARCHEAN TERRANES SOUTH AMERICAN PLATAFORM, Brasilia, 1996. *Ext./4fo/r...* SBG, 29-30.

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

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. 1992. Rock-forming minerals. London, Second Edition Longmans (eds.). 696 p. Dickson, B. L. & Scott, K.M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*. 1997.v.17, n.2,. p.187-200.

DOCEGEO. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Belém,. p. 11–54. *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*, Belém, 1988. SBG.

DUARTE, L. C., JUCHEM, P. L., PULZ, G. M., BRUM, T. M. M., CHODUR, N. LICCARDO, A., FISCHER A. F., ACAUAN, R. B. Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no estudo de gemas: exemplos brasileiros. *Pesquisa em Geociências*, UFRGS, 2003, v. 30(2), p. 3-15.

FEIO, G. R. L. *Magmatismo granitoide arqueano da área de Canaã dos Carajás: Implicações para a evolução crustal da Província Carajás*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 2011.

FERREIRA, A. T. R. *Petrografia, geoquímica e geocronologia dos diques da área de Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, SE do Pará*. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 2009.

GASTAL, M.C.P. *Petrologia do Maciço Granítico Musa, Sudeste do Pará*. Belém, Universidade federal do Pará. Centro de Geociências. 316 p. Tese (Mestrado em Petrologia e Geoquímica) - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPA, 1987.

GAUDETTE, H.E.; LAFON, J.M.; MOURA, C.A.V.; SCHELLER, T. Datação de monocristais de zircão por evaporação de Pb no Laboratório de Geologia Isotópica UFPA; metodologia e primeiros resultados. In: CONGR. BRAS. GEOL., 40, Brasília Anais.Brasília: SBG, 1993. p. 236-237.

GAUDETTE, H.E.; LAFON, J.M.; MACAMBIRA, M.J.B.; MOURA, C.A.V.; SCHELLER, T. Comparison of single filament Pb evaporation/ionization zircon ages with conventional U-Pb results: examples from the Precambrian of Brazil. *J. South. Amer. Earth Sci.*, 1998. v. 11: 351-363.

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

HIBBARD, M. J. Petrography to Petrogenesis. *Prentice Hall, Englewood Cliffs*, New Jersey, 1995. 587p.

HIRATA, W. K.; RIGON, J. C.; KADEKARU, K.; CORDEIRO, A. A. C.; MEIRELLES, E. M. Geologia regional da Província Mineral de Carajás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1. Belém, 1982. v. 1, p. 100-108. *Anais.* Belém, SBG.

HUHN, S. R. B.; SANTOS, A. B. S.; AMARAL, A. F.; LENDSHAN, E. J.; GOUVÊA, J. L.; MARTINS, L. P. B.; MONTALVÃO, R. M. G.; COSTA, V. G. Terreno "granito *greenstone*" da região de Rio Maria sul do Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35. Belém, 1988. *Anais.* Recife, SBG. v. 3, p. 1438-1452.

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

KOBER, B. Whole grain evaporation for $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age investigations on single zircons using a double filament source. *Contrib. Miner. Petrol.*, 1986. v. 93: 482-490.

LEITE, A. A. S. *Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitóides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico*. 2001. Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001. 330p.

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

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

LAMARÃO, C.N.; DALL'AGNOL, R.; SOLEDADE, G.L.; SILVA, J.S. Variações composicionais de zircão em granitos anorogênicos proterozoicos do Cráton Amazônico: implicações metalogenéticas. *Rev. Bras.Geoc.*, 2007. v. 37: 693-704.

LIMA P. H. A.; *Geologia, petrografia e geocronologia do Granito São João, Província Mineral de Carajás, SSE do Pará*. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de graduação em geologia) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências. Belém, 2010.

MACAMBIRA M.J.B., MOURA C.A.V., LAFON, J.M., SCHELLER T. O método Pb Pb por evaporação em zircão: avaliação dos dados obtidos no Laboratório de Geologia Isotópica da UFPA. In: CONGR. BRAS. GEOL., 38º, Camboriu. *Boletim de resumos expandidos*. 1994. SBG. v.2, p. 404-406.

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

MACKENZIE W.S., DONALDSON C.H., GUILFORD C. Atlas of igneous rocks and their textures. Longman Scientific & Technical. John Wiley & Sons, New York, 1982.148p.

MESQUITA, J. C.L. *Geologia, petrografia e geocronologia das rochas encaixantes do granito paleoproterozoico São João, sudeste do Cráton Amazônico, Província Carajás*. Trabalho de conclusão do Curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 2010.

MOURA C.A.V., GAUDETTE H.E., MACAMBIRA M.J.B., LAFON J.M., SCHELLER T. Datação de monocristais de zircão por evaporação de Pb em filamento simples: comparação com resultados U-Pb. In: CONGR. BRAS. GEOL., 39º, Salvador. Anais, 1996. SBG. v.2, p. 481-489.

NASCIMENTO, M. A. L., SOUZA, Z. S., GALINDO, A. C. Textura granofírica nas rochas do granito do Cabo de Santo Agostinho, Província Magmática do Cabo, Bacia de Pernambuco (nordeste do Brasil): Implicações Geodinâmicas. *Revista de Geologia*, 2002. v 15:01-107.

OLIVEIRA, M.A.; DALL'AGNOL, R.; ALTHOFF, F.J.; LEITE, A.A.S. 2009. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. 27, 146-160.

OLIVEIRA, D.C. *Geologia, geoquímica e petrologia magnética do Granito Paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico*. Dissertação de Mestrado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 2001.207 p.

OLIVEIRA, D.C. *Modelos de evolução e colocação dos granitos Paleoproterozoicos da suíte Jamon, SE do cráton Amazônico*. 179p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPA, 2006.

OLIVEIRA M.A. *Geologia, petrografia e geoquímica do Granodiorito Sanukitóide Arqueano Rio Maria e rochas máficas associadas, leste de Bannach-PA*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, 2005.151 p.

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

OLIVEIRA, M. A.; DALL'AGNOL, R.; ALTHOFF, F. J.; LEITE, A. A. S. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. 2009. v. 27, p. 146-160.

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

PAIVA JÚNIOR A.L. *Geologia, petrografia, geocronologia e geoquímica do Granito anorogênico Seringa, Província Mineral de Carajás, SSE do Pará*. Dissertação de Mestrado, Instituto de geociências, Universidade Federal do Pará, 2009. 120 p.

REED S.J.B. *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*. 1996. 201 p. Cambridge University Press.

RIVALENTI, G.; MAZZUCHELLI, M.; GIRARDI, V. A. V.; CAVAZZINI, G.; FINATTI, C.; BARBIERI, M. A.; TEIXEIRA, W. Petrogenesis of the Paleoproterozoic basalticandesite-rhyolite dyke association in the Carajás region, Amazonian craton. *Lithos*. 1998. v. 43, p. 235-265.

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

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

SANTOS, M. J. P.; *Geologia, Petrografia E Geocronologia Das Rochas Encaixantes Do Granito Paleoproterozóico Seringa, Sudeste Do Cráton Amazônico, Província Carajás*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências. Belém, 2010.

SANTOS, A.; PENA FILHO, J. I. C. *Xinguara: folha SB.22- Z-C. Estado do Pará, escala 1:250.000*. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). Brasília: CPRM, 2000b. (CD-ROM).

SILVA JR, R. O. *Geologia, petrografia e geoquímica dos diques da região de Rio Maria, SE Pará*. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1996. 123p.

SILVA, G. G.; LIMA, M. I. C.; ANDRADE, A. R. F.; ISSLER, R. S.; GUIMARÃES, G. In: BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. *Folha SC.22 Tocantins; Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da Terra*. Rio de Janeiro, 1974. Cap.1, p.1-143. (Levantamento de Recursos Naturais, 4).

SILVA JR., R. O.; DALL'AGNOL, R., OLIVEIRA, E. P. Geologia, petrografia e geoquímica dos diques proterozoicos da região de Rio Maria, sudeste do Pará. *Geochimica Brasiliensis*, 1999. 13 (2), 163-181.

SMITH, J. V. *Feldspar Minerals*. New York, Springer Verlag, v. 2: Chemical and textural properties, 1974.

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

SOUZA, Z. S. *Geologia e petrogênese do "Greenstone Belt" Identidade: implicações sobre a evolução geodinâmica do terreno granito-greenstone de Rio Maria, SE do Pará*. 1994. Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1994. 624p.

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

STRECKEISEN A. To each plutonic rocks its proper name. 1976. *Earth Sci. Rev.*, v 12,1:33.

TASSINARI, C. C. G.; MACAMBIRA, M. J. B. *Evolução tectônica do Cráton Amazônico*. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito Neves, B.B. de (Org.). GEOLOGIA DO CONTINENTE SUL AMERICANO: EVOLUÇÃO DA OBRA DE F.F.M. DE ALMEIDA. BECA, São Paulo, 2004. p. 471–486.

TASSINARI, C.C.G. & MACAMBIRA, M.J.B. *Geochronological Provinces of the Amazonian craton*. 1999. *Episodes*, 22: 174-182.

TEIXEIRA, N. P., BETENCOURT, J. S., MOURA, C.A.V., DALL'AGNOL, R. MACAMBIRA, E. M. B. Pb-Pb geochronology and Sm-Nd isotopic composition of the Velho Guilherme Intrusive Suite and volcanic rocks of the Uatumã Group, south southeast Pará - Brazil. 2002. *Precambrian Res.*, 119: 257-275.

VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T.; SILVA, C. M. G.; RICCI, P. S. F.; BARBOSA, J. P. O.; KLEIN, E. L.; LOPES, E. C. S.; MACAMBIRA, E. M. B.; CHAVES, C. L.; CARVALHO, J. M. A.; OLIVEIRA, J. G. F.; ANJOS, G. C.; SILVA, H. R. *Unidades Litoestratigráficas* in: GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DO PARÁ. Belém, 2008.

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

APÊNDICE

APÊNDICE A - Composições semiquantitativas por EDS dos anfibólios analisados nos diques de Água Azul do Norte.

AMOSTRA	O	Na	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Fe	Mg/(Mg+Fe)	Fe/(Fe+Mg)	Fe/Mg
PCJ-15 imagem 1-5	35,95	0,00	8,06	0,74	28,15	11,50	0,00	15,60	0,34	0,66	1,94
PCJ-15 imagem 3-5	36,86	0,00	8,93	1,33	28,24	14,85	0,00	9,79	0,48	0,52	1,10
PCJ-15 imagem 4-2	36,31	0,00	6,33	1,66	28,70	8,32	0,00	18,68	0,25	0,75	2,95
PCJ-15 imagem 4-3	36,45	0,00	9,66	1,19	28,83	12,16	0,00	11,72	0,45	0,55	1,21
pcj-15 imagem 4-5	33,31	0,00	4,89	0,28	28,53	15,48	0,00	17,51	0,22	0,78	3,58
PCJ-15 imagem 6-4	34,68	0,00	5,69	0,45	28,46	18,75	0,00	11,96	0,32	0,68	2,10
PCJ-15 imagem 7-4	34,87	0,00	6,56	0,55	28,59	15,25	0,00	14,18	0,32	0,68	2,16
MÉDIA PCJ-15	35,48	0,00	7,15	0,88	28,5	13,76	0,00	14,2	0,335	0,665	2,1
MC-118 imagem 1-4	37,34	0,00	8,55	2,14	29,69	9,40	0,00	12,88	0,40	0,60	1,51
MC-118 imagem 1-5	36,99	0,00	8,02	2,06	29,49	10,00	0,00	13,44	0,37	0,63	1,68
MC-118 imagem 2-4	36,67	0,00	8,70	2,33	29,87	8,90	0,00	13,53	0,39	0,61	1,55
MC-118 imagem 3-3	36,80	0,00	9,33	1,87	30,33	8,25	0,00	13,42	0,41	0,59	1,44
MC-118 imagem 4-3	36,73	0,00	9,30	0,92	30,54	10,00	0,00	12,53	0,43	0,57	1,35
MC-118 imagem 4-4	36,82	0,00	8,57	1,37	30,25	9,42	0,00	13,58	0,39	0,61	1,58
MC-118 imagem 5-3	36,84	0,00	8,94	1,08	30,72	10,18	0,00	12,25	0,42	0,58	1,37
MC-118 imagem 6-5	36,90	0,00	7,56	3,60	28,38	9,07	0,00	14,50	0,34	0,66	1,92
MC-118 imagem 6-7	36,76	0,00	8,44	0,71	30,65	9,34	0,00	14,11	0,37	0,63	1,67
MC-118 imagem 7-3	36,31	0,00	7,87	2,63	29,06	9,57	0,00	14,55	0,35	0,65	1,85
MC-118 imagem 7-4	37,17	0,00	7,63	3,38	28,26	9,09	0,00	14,47	0,35	0,65	1,90
MÉDIA MC-118	36,84	0,00	8,44	2,00	29,74	9,38	0,00	13,56	0,38	0,62	1,61
MC-127 imagem 4-2	35,65	0,00	6,77	0,53	27,14	5,76	0,00	24,16	0,22	0,78	3,57
MC-127 imagem 4-8	35,78	0,00	7,20	0,77	27,09	4,33	0,00	24,83	0,22	0,78	3,45
MC-127 imagem 5-2	34,55	0,00	5,92	0,42	27,33	4,62	0,00	27,15	0,18	0,82	4,59
MC-127 imagem 5-3	33,84	0,00	5,46	0,46	27,06	5,18	0,00	28,01	0,16	0,84	5,13
MC-127 imagem 5-9	35,02	0,06	7,26	0,42	27,49	5,67	0,00	24,09	0,23	0,77	3,32
MC-127 imagem 6-1	34,36	0,00	5,79	0,46	27,28	6,51	0,00	25,61	0,18	0,82	4,42
MC-127 imagem 7-8	35,62	0,00	7,62	0,41	27,56	5,05	0,00	23,74	0,24	0,76	3,11
MC-127 imagem 8-5	34,79	0,00	6,60	0,52	27,39	5,06	0,00	25,65	0,20	0,80	3,89
MÉDIA MC-127	34,95	0,00	6,57	0,49	27,29	5,27	0,00	25,40	0,21	0,79	3,87
PCJ-34 A imagem 1-1	36,37	0,42	6,22	2,91	29,42	9,06	0,00	15,61	0,28	0,72	2,51
PCJ-34 A imagem 1-3	37,98	0,43	7,16	2,08	26,83	12,26	0,00	13,25	0,35	0,65	1,85
PCJ-34 A imagem 2-1	36,86	0,00	7,80	2,22	28,43	10,07	0,00	14,61	0,35	0,65	1,87
PCJ-34 A imagem 3-1	36,07	0,00	5,05	3,91	26,45	9,85	0,17	18,50	0,21	0,79	3,67
PCJ-34 A imagem 3-2	36,09	0,00	5,33	1,79	28,13	8,08	0,48	20,11	0,21	0,79	3,77
PCJ-34 A imagem 3-3	35,81	0,00	4,51	5,75	24,79	9,42	1,89	17,83	0,20	0,80	3,96
PCJ-34 A imagem 4-1	35,35	0,00	5,92	2,46	27,87	9,74	0,14	18,54	0,24	0,76	3,13
PCJ-34 A imagem 4-2	35,67	0,00	4,70	4,62	25,87	9,89	0,11	19,14	0,20	0,80	4,07
PCJ-34 A imagem 4-3	35,80	0,00	5,51	2,81	27,65	9,77	0,31	18,16	0,23	0,77	3,30
PCJ-34 A imagem 4-7	36,30	0,00	6,54	2,84	27,63	10,12	0,22	16,35	0,29	0,71	2,50
PCJ-34 A imagem 5-1	36,87	0,00	5,61	3,67	26,72	9,94	0,13	17,06	0,25	0,75	3,04
PCJ-34 A imagem 5-4	35,15	0,00	0,00	3,25	17,43	22,53	20,42	1,22	0,00	1,00	1,22
PCJ-34 A imagem 5-7	34,45	0,00	0,00	1,96	17,14	22,55	22,69	1,20	0,00	1,00	1,20
PCJ-34 A imagem 6-4	33,73	0,00	1,06	2,78	17,70	19,67	19,56	5,50	0,16	0,84	5,19
PCJ-34 A imagem 6-9	34,83	0,00	4,54	3,41	26,01	8,13	0,88	22,21	0,17	0,83	4,89
PCJ-34 A imagem 7-1	35,90	0,00	5,98	3,40	27,50	9,92	0,27	17,03	0,26	0,74	2,85
PCJ-34 A imagem 7-2	36,44	0,00	5,84	1,95	28,15	9,90	0,16	17,56	0,25	0,75	3,01
PCJ-34 A imagem 7-4	37,22	0,00	8,22	1,60	29,31	9,98	0,11	13,55	0,38	0,62	1,65
PCJ-34 A imagem 7-6	36,99	0,00	6,49	2,69	27,86	10,18	0,00	15,79	0,29	0,71	2,43
PCJ-34 A imagem 7-7	35,81	0,00	4,52	4,13	26,33	9,95	0,00	19,27	0,19	0,81	4,26
MÉDIA PCJ-34A	35,98	0,04	5,05	3,01	25,86	11,59	3,37	15,12	0,22	0,77	3,02
PCJ-11 imagem 3-3	39,10	0,00	8,67	8,58	22,14	4,05	0,00	17,47	0,33	0,67	2,02
PC-24 A imagem 1-3	34,50	1,14	3,62	3,08	26,08	7,84	0,00	23,73	0,13	0,87	6,56
PC-24 A imagem 3-2	34,09	0,00	4,12	0,75	27,47	8,41	0,00	25,17	0,14	0,86	6,11
PC-24 A imagem 5-3	34,00	1,25	1,85	4,27	24,23	8,06	0,00	26,33	0,07	0,93	14,24
PC-24 A imagem 5-4	34,00	1,21	1,50	4,66	23,87	8,47	0,00	26,27	0,05	0,95	17,47
MÉDIA PC-24A	34,14	0,89	2,77	3,19	25,41	8,19	0,00	25,37	0,10	0,90	11,10

APÊNDICE B – Composições semiquantitativas por EDS dos piroxênios analisados nos diques de Água Azul do Norte.

AMOSTRA	O	Na	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Fe	Mg/(Mg+Fe)	Fe/(Fe+Mg)	Fe/Mg
PCJ-15 imagem 2-4	36,66	0,00	7,67	0,00	30,36	10,32	0,00	14,99	0,34	0,66	1,96
PCJ_15 imagem 2-5	34,88	0,00	6,12	0,00	28,53	16,10	0,00	14,36	0,30	0,70	2,35
PCJ-15 imagem 3-4	35,68	0,00	5,54	0,00	28,38	17,90	0,00	12,51	0,31	0,69	2,26
MÉDIA PCJ-15	35,74	0,00	6,44	0,00	29,08	14,77	0,00	13,95	0,32	0,69	2,18
MC-118 imagem 6-4	34,84	1,47	4,89	5,95	25,32	8,02	0,00	19,51	0,20	0,80	3,99
MC-127 imagem 1-6	40,40	0,10	9,59	3,39	25,14	7,92	1,86	11,60	0,45	0,55	1,21
MC-127 imagem 1-7	37,15	0,00	12,09	0,57	28,95	3,84	0,00	17,42	0,41	0,59	1,44
MC-127 imagem 1-8	35,54	0,00	7,93	0,74	27,86	8,89	0,00	19,05	0,29	0,71	2,40
MC-127 imagem 1-9	41,26	0,00	12,62	6,50	20,44	0,34	0,79	18,04	0,41	0,59	1,43
MC-127 imagem 2-5	36,01	1,79	3,84	4,88	23,82	7,44	0,00	21,27	0,15	0,85	5,54
MC-127 imagem 2-8	36,45	0,00	7,35	0,79	27,60	8,44	0,00	19,37	0,28	0,72	2,63
MC-127 imagem 2-9	36,41	0,00	6,66	1,05	27,40	12,72	0,00	15,76	0,30	0,70	2,37
MC-127 imagem 2-10	37,73	0,00	7,74	0,74	27,42	8,47	0,00	17,90	0,30	0,70	2,31
MC-127 imagem 3-4	34,16	0,00	5,23	0,38	26,76	4,55	0,00	28,93	0,15	0,85	5,53
MC-127 imagem 3-5	35,93	0,00	7,58	0,50	27,71	6,35	0,00	21,94	0,26	0,74	2,89
MC-127 imagem 4-1	38,13	0,00	10,84	1,32	28,22	6,98	0,00	14,52	0,43	0,57	1,34
MC-127 imagem 4-3	37,70	0,00	8,73	1,72	27,52	13,53	0,00	10,81	0,45	0,55	1,24
MC-127 imagem 4-4	35,80	0,00	7,24	0,69	27,67	10,13	0,00	18,48	0,28	0,72	2,55
MC-127 imagem 4-7	37,01	0,00	10,40	1,28	28,33	8,40	0,00	14,59	0,42	0,58	1,40
MC-127 imagem 4-10	37,70	0,00	8,96	1,51	27,96	13,38	0,00	10,49	0,46	0,54	1,17
MC-127 imagem 5-1	37,46	0,00	11,53	0,77	28,62	5,99	0,00	15,64	0,42	0,58	1,36
MC-127 imagem 5-6	37,29	0,00	11,36	1,00	28,26	5,35	0,00	16,74	0,40	0,60	1,47
MC-127 imagem 5-8	37,06	0,13	11,50	0,82	28,53	4,61	0,00	17,36	0,40	0,60	1,51
MC-127 imagem 7-6	35,61	0,00	7,51	0,76	27,97	11,46	0,00	16,70	0,31	0,69	2,22
MC-127 imagem 7-9	38,03	0,00	8,58	0,38	30,31	9,92	0,00	12,79	0,40	0,60	1,49
MC-127 imagem 8-3	36,91	0,00	12,09	1,09	28,83	4,27	0,00	16,81	0,42	0,58	1,39
MC-127 imagem 8-4	36,24	0,00	9,20	0,81	27,91	7,29	0,00	18,55	0,33	0,67	2,02
MÉDIA MC-127	37,08	0,09	9,02	1,43	27,41	7,73	0,12	17,03	0,35	0,65	1,89

APÊNDICE C – Composições semiquantitativas das micas analisadas nos diques de Água Azul do Norte.

(continua)

AMOSTRA	O	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe	Mg/(Mg+Fe)	Fe/(Fe+Mg)	Fe/Mg
PCJ-15 imagem 2-6	39,27	9,16	11,21	16,09	0,00	0,00	0,00	24,28	0,27	0,73	2,65
PCJ-15 imagem 4-4	40,15	8,87	11,54	15,15	0,00	0,00	0,00	24,29	0,27	0,73	2,74
PCJ-15 imagem 6-3	39,64	0,00	10,78	33,91	13,94	0,00	1,74	0,00	0,00	0,00	0,00
PCJ-15 imagem 8-3	40,96	9,16	11,10	16,05	0,00	0,00	0,00	22,73	0,29	0,71	2,48
PCJ-15 imagem 9-2	40,41	8,80	11,32	15,05	0,00	0,00	0,00	24,42	0,26	0,74	2,77
PCJ-15 imagem 9-7	39,25	8,01	10,99	15,45	0,00	0,00	0,00	26,30	0,23	0,77	3,28
MÉDIA PCJ-15	39,94	7,33	11,15	18,61	2,32	0,00	0,28	20,33	0,22	0,61	2,32
MC-118 imagem 1-3	41,02	13,70	9,41	18,16	0,54	0,00	0,00	17,18	0,44	0,56	1,25
MC-118 imagem 2-3	36,08	9,85	8,25	22,89	5,39	0,00	1,02	16,52	0,37	0,63	1,68
MC-118 imagem 3-5	36,87	10,04	7,48	21,23	6,25	0,00	1,90	16,24	0,38	0,62	1,62
MÉDIA MC-118	37,98	11,10	8,37	20,75	4,05	0,00	0,97	16,64	0,40	0,60	1,52
MC-127 Imagem 1-3	41,74	13,17	6,85	19,18	0,00	0,00	0,00	19,06	0,41	0,59	1,45
MC- 127 Imagem 1-10	43,16	13,70	6,48	20,73	0,48	0,00	0,00	15,45	0,47	0,53	1,13
MC- 127 Imagem 5-11	42,48	12,60	6,96	19,09	0,63	0,00	0,00	18,24	0,41	0,59	1,45
MC- 127 Imagem5-13	42,45	11,68	7,74	18,51	0,92	0,00	0,00	18,71	0,38	0,62	1,60
MC- 127 imagem 6-8	39,44	0,00	10,76	35,71	14,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MC- 127 imagem 6-10	42,15	5,42	12,50	35,75	1,02	3,15	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
MC- 127 imagem 7-5	34,44	4,14	6,98	21,26	7,69	0,00	0,76	24,74	0,14	0,86	5,98
MC- 127 imagem 7-7	41,34	10,51	7,73	17,66	0,55	0,00	0,00	22,20	0,32	0,68	2,11
MC- 127 imagem 8-8	34,77	4,92	6,93	21,79	7,45	0,00	0,66	23,48	0,17	0,83	4,78
MC- 127 imagem 9-5	37,76	10,44	8,34	20,30	1,57	0,00	0,00	21,60	0,33	0,67	2,07
MC- 127 imagem 10-4	39,98	11,05	7,33	18,73	1,48	0,00	0,00	21,43	0,34	0,66	1,94
MC- 127 imagem 11-5	34,33	5,08	6,59	20,32	8,24	0,00	2,58	22,88	0,18	0,82	4,50
MC- 127 imagem 11-6	34,37	6,49	7,40	20,95	8,26	0,00	1,36	21,17	0,23	0,77	3,26
MÉDIA MC-127	39,10	8,40	8,00	22,30	4,02	0,24	0,41	17,61	0,34	0,59	2,33
PCJ-11 imagem 4-3	31,91	8,11	9,34	22,10	10,43	0,00	0,74	17,37	0,32	0,68	2,14
PCJ-11 imagem 5-6	36,41	7,91	9,62	21,35	9,63	0,00	0,79	14,29	0,36	0,64	1,81
PCJ-11 imagem 6-6	38,96	11,14	12,61	15,66	0,00	0,00	0,00	21,64	0,34	0,66	1,94
PCJ-11 imagem 7-3	40,41	11,90	11,61	15,97	0,00	0,00	0,00	20,11	0,37	0,63	1,69
PCJ-11 imagem 7-4	34,70	7,98	9,69	21,37	10,12	0,00	0,74	15,40	0,34	0,66	1,93
PCJ-11 imagem 7-5	33,84	8,29	9,80	22,08	10,01	0,00	0,63	15,35	0,35	0,65	1,85
PCJ-11 imagem 8-1	36,04	7,97	9,72	21,23	9,50	0,00	0,81	14,74	0,35	0,65	1,85
PCJ-11 imagem 8-4	40,05	11,28	12,77	15,59	0,00	0,00	0,00	20,31	0,36	0,64	1,80
PCJ-11 imagem 8-5	36,18	8,09	9,59	21,32	9,44	0,00	0,86	14,51	0,36	0,64	1,79
PCJ-11 imagem 9-1	36,04	7,93	9,68	20,98	9,42	0,00	0,90	15,04	0,35	0,65	1,90
PCJ-11 imagem 9-2	34,57	7,93	9,79	21,56	9,88	0,00	0,90	15,37	0,34	0,66	1,94
PCJ-11 imagem 9-5	34,81	8,06	9,87	21,39	9,72	0,00	0,75	15,41	0,34	0,66	1,91
PCJ-11 imagem 9-8	36,67	7,85	9,73	21,19	9,29	0,00	0,91	14,37	0,35	0,65	1,83
PCJ-11 imagem 9-9	38,01	8,17	9,41	21,21	9,25	0,00	0,60	13,36	0,38	0,62	1,64
PCJ-11 imagem 10-1	40,01	11,45	12,68	15,92	0,00	0,00	0,00	19,95	0,36	0,64	1,74
PCJ-11 imagem 10-2	41,04	7,90	14,23	18,82	2,79	0,00	0,00	15,21	0,34	0,66	1,92
PCJ-11 imagem 10-4	34,75	8,41	9,98	22,15	9,97	0,00	0,00	14,73	0,36	0,64	1,75
PCJ-11 imagem 10-6	34,53	8,03	9,81	21,28	9,90	0,00	0,80	15,66	0,34	0,66	1,95
PCJ-11 imagem 10-7	41,95	11,06	12,65	15,33	0,00	0,00	0,00	19,01	0,37	0,63	1,72
PCJ-11 imagem 11-2	35,93	9,43	11,12	19,66	5,58	0,00	0,61	17,67	0,35	0,65	1,87
PCJ-11 imagem 11-4	39,48	12,12	12,10	16,42	0,00	0,00	0,00	19,89	0,38	0,62	1,64
PCJ-11 imagem 11-5	39,13	11,15	12,70	16,02	0,00	0,00	0,00	21,00	0,35	0,65	1,88
PCJ-11 imagem 12-5	37,99	8,33	9,53	21,33	9,31	0,00	0,00	13,51	0,38	0,62	1,62

(conclusão)

AMOSTRA	O	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe	Mg/(Mg+Fe)	Fe/(Fe+Mg)	Fe/Mg
PCJ-11 imagem 13-3	19,24	8,79	11,73	27,87	12,27	0,00	1,22	18,40	0,32	0,68	2,09
PCJ-11 imagem 13-4	19,34	9,00	11,72	28,17	12,30	0,00	1,11	19,05	0,32	0,68	2,12
PCJ-11 imagem 14-1	36,10	8,12	9,47	21,13	9,43	0,00	0,73	15,02	0,35	0,65	1,85
PCJ-11 imagem 14-2	40,81	11,30	12,97	15,26	0,00	0,00	0,00	19,66	0,36	0,64	1,74
PCJ-11 imagem 14-3	41,62	11,88	12,01	15,66	0,00	0,00	0,00	18,84	0,39	0,61	1,59
PCJ-11 imagem 14-4	36,21	8,29	9,41	21,30	9,53	0,00	0,00	15,27	0,35	0,65	1,84
PCJ-11 imagem 14-5	35,30	8,16	9,60	21,44	10,03	0,00	0,00	15,47	0,35	0,65	1,89
PCJ-11 imagem 15-3	35,35	8,26	9,65	21,29	9,50	0,00	0,86	15,09	0,35	0,65	1,83
MÉDIA PCJ-11	36,04	9,16	10,79	20,06	6,68	0,00	0,45	19,79	0,35	0,65	1,84
PC-24 A imagem 4-3	37,92	4,13	9,18	22,10	5,09	0,00	0,00	21,59	0,16	0,84	5,23
PC-24 A imagem 4-5	40,02	4,14	9,23	20,41	3,96	0,00	0,00	22,24	0,16	0,84	5,38
PC-24 A imagem 5-6	38,80	3,47	7,13	17,40	2,96	1,52	1,48	27,23	0,11	0,89	7,84
MÉDIA PC-24A	38,91	3,91	8,51	59,91	4,00	0,50	0,49	23,68	0,14	0,86	6,15
PCJ-34 B imagem 10-3	37,68	5,51	11,51	14,83	0,00	0,00	0,00	30,48	0,15	0,85	5,53

APÊNDICE D – Composição semiquantitativa por EDS dos zircões analisados nos diques de riolito de Água Azul do Norte.

ROCHA	AMOSTRA	O	Si	P	Ca	Y	Zr	Nb	Ba	Ce	Hf	Ta	Th	U	Zr/Hf	Σ
DACITO	Zrn - 2-1 (2)	22,9	13,1	0,0	0,5	0,6	57,1	1,7	0,5	0,5	1,9	0,8	0,2	0,3	30,1	2,9
DACITO	Zrn- 4-1 (2)	22,1	13,3	0,0	0,4	0,8	57,8	1,9	0,7	0,0	2,0	0,8	0,1	0,3	28,9	3,2
DACITO	Zrn - 6-1 (3)	26,1	12,1	0,0	1,7	1,1	52,8	1,4	0,7	0,6	1,7	1,1	0,2	0,4	31,7	3,4
DACITO	Zrn - 7 (13)	23,2	13,3	0,1	0,6	0,7	56,5	1,7	0,3	0,4	1,9	0,9	0,2	0,2	29,7	2,9
DACITO	Zrn - 10 (2)	16,0	14,3	0,1	0,2	0,6	62,5	2,2	0,4	0,3	1,8	1,1	0,3	0,2	35,3	2,8
DACITO	Zrn - 11 (2)	22,5	13,6	0,1	0,5	0,5	57,5	1,9	0,2	0,4	1,4	0,9	0,3	0,1	41,6	2,4
DACITO	Zrn- 12 (10)	24,9	14,0	0,0	0,8	0,2	53,9	2,5	0,4	0,4	1,8	0,8	0,1	0,3	30,3	2,4
DACITO	Zrn - 13 (10)	23,6	14,1	0,0	0,3	0,2	55,4	2,4	0,3	0,5	1,9	0,9	0,2	0,2	29,6	2,4
DACITO	Zrn - 14 (9)	24,7	13,9	0,0	0,5	0,2	54,4	2,5	0,4	0,6	1,8	0,8	0,1	0,2	30,8	2,3
DACITO	Zrn - 15 (3)	24,1	14,1	0,0	0,2	0,1	55,3	2,6	0,4	0,4	2,0	0,6	0,2	0,2	27,9	2,4
DACITO	Zrn - 16 (8)	24,7	14,0	0,0	0,6	0,2	54,3	2,6	0,3	0,6	1,7	0,8	0,1	0,2	32,3	2,2
DACITO	Zrn - 17 (10)	25,2	13,8	0,0	0,7	0,2	53,7	2,5	0,3	0,4	2,0	0,6	0,2	0,3	27,3	2,6
DACITO	Zrn - 18 (3)	23,9	14,1	0,0	0,2	0,1	55,6	2,6	0,4	0,6	1,4	0,8	0,1	0,2	40,0	1,8
RIOLITO	Zrn 1-1 (2)	22,4	13,4	0,0	0,1	0,7	58,0	1,8	0,5	0,0	1,8	0,7	0,1	0,3	32,2	2,9
RIOLITO	Zrn - 11 (15)	24,1	14,2	0,0	0,1	0,2	55,3	2,2	0,3	0,4	1,9	1,0	0,1	0,2	29,0	2,5
RIOLITO	Zrn - 12 (12)	24,3	13,8	0,0	0,3	0,3	54,7	2,4	0,4	0,5	2,0	0,9	0,2	0,2	27,9	2,7
RIOLITO	Zrn - 13 (13)	24,1	13,9	0,0	0,1	0,2	55,4	2,4	0,4	0,4	1,9	0,9	0,2	0,2	29,6	2,4
RIOLITO	Zrn - 14 (10)	25,6	13,9	0,0	0,3	0,2	53,9	2,3	0,3	0,4	1,8	1,0	0,1	0,2	29,4	2,4
RIOLITO	Zrn - 15 (15)	25,2	13,9	0,0	0,3	0,3	54,1	2,4	0,4	0,4	1,9	0,8	0,2	0,2	28,6	2,5
RIOLITO	Zrn - 16 (6)	28,1	15,6	0,0	0,1	0,2	50,2	2,0	0,3	0,5	1,5	1,0	0,1	0,2	33,8	2,1
RIOLITO	Zrn - 18 (5)	24,1	14,1	0,0	0,1	0,4	55,5	2,3	0,3	0,4	1,7	0,7	0,2	0,1	33,5	2,4
RIOLITO	Zrn-18-1 (10)	24,0	14,2	0,0	0,1	0,2	55,6	2,4	0,3	0,4	1,8	0,7	0,2	0,2	30,9	2,3
RIOLITO	Zrn - 19 (10)	23,6	14,2	0,0	0,1	0,3	55,7	2,5	0,3	0,4	1,7	0,8	0,2	0,2	32,9	2,4
RIOLITO	Zrn - 20 (8)	23,9	14,1	0,0	0,1	0,3	55,5	2,4	0,4	0,4	1,7	0,8	0,2	0,2	32,3	2,4
RIOLITO	Zrn - 21 (10)	24,4	14,1	0,0	0,1	0,3	54,9	2,5	0,3	0,5	1,8	0,9	0,2	0,2	30,4	2,4
RIOLITO	Zrn- 22 (10)	23,9	14,1	0,0	0,1	0,3	55,5	2,4	0,4	0,3	1,9	0,8	0,1	0,2	29,5	2,5
RIOLITO	Zrn - 14 (14)	23,0	14,2	0,0	0,1	0,3	56,3	2,4	0,3	0,4	1,7	0,8	0,2	0,2	32,2	2,4
RIOLITO	Zrn - 15 (11)	23,1	14,2	0,0	0,1	0,2	56,0	2,6	0,4	0,4	1,8	0,8	0,1	0,2	30,4	2,4
RIOLITO	Zrn - 16 (15)	23,3	14,2	0,0	0,1	0,2	56,0	2,3	0,3	0,4	2,0	0,8	0,1	0,2	28,5	2,6
RIOLITO	Zrn - 17 (12)	23,1	14,2	0,0	0,1	0,3	55,6	2,5	0,4	0,6	2,1	0,8	0,1	0,2	26,5	2,7