



Universidade Federal do Pará



Instituto de Geociências



Faculdade de Geologia

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PAULO ROBERTO SOARES RODRIGUES

**PETROGRAFIA E GEOCRONOLOGIA DE DIQUES MÁFICOS A FÉLSICOS DA
REGIÃO DE OURILÂNDIA DO NORTE - ÁGUA AZUL DO NORTE, PROVÍNCIA
CARAJÁS, SSE DO PARÁ.**

GEOCIÊNCIAS
U F P A

BELÉM - PARÁ
MARÇO - 2013

PAULO ROBERTO SOARES RODRIGUES

**PETROGRAFIA E GEOCRONOLOGIA DE DIQUES MÁFICOS A FÉLSICOS DA
REGIÃO DE OURILÂNDIA DO NORTE - ÁGUA AZUL DO NORTE, PROVÍNCIA
CARAJÁS, SSE DO PARÁ.**

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

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

Belém

2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFPA

R696p Rodrigues, Paulo Roberto Soares

Petrografia e geocronologia de diques máficos a félsicos da região de Ourilândia do Norte - Água Azul do Norte, Província Carajás, SSE do Pará / Paulo Roberto Soares Rodrigues; Orientador: Claudio Nery Lamarão – 2013

61 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2013.

1. Diques (Geologia) – Província Carajás. 2. Petrografia. 3. Geocronologia. 4. Água Azul do Norte. 5. Ourilândia do Norte. I. Lamarão, Cláudio Nery, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22^a ed.: 551.88098115

PAULO ROBERTO SOARES RODRIGUES

**PETROGRAFIA E GEOCROLOGIA DE DIQUES MÁFICOS A FÉLSICOS DA
REGIÃO DE OURILÂNDIA DO NORTE - ÁGUA AZUL DO NORTE, PROVÍNCIA
CARAJÁS, SSE DO PARÁ.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Faculdade de Geologia do Instituto de
Geociências 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. Claudio Nery Lamarão – Orientador
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Cândido Augusto Veloso Moura – Membro
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

Fabriciana Vieira Guimarães – Membro
Mestra em Geologia
Universidade Federal do Pará

RESUMO

A Sudoeste de Água Azuldo Nortee asudeste de Ourilândia do Norte, sudeste do Estado do Pará, ocorre um enxame de diques de composição máfica a félsica, com direção dominante NW-SE, encaixados em rochas trondhjemíticas, tonalíticas, granodioríticas, leucogranito-potássicas em *greenstone belts* arqueanos do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria (TGGRM), porção sudeste da Província Amazônia Central, borda leste do Cráton Amazônico. Os diques estudados de Ourilândia do Norte- Água Azul do Nortecompreendem corpos tabulares, subverticais, orientados na direção NW-SE com extensão em torno de 500m e espessura de aproximadamente 20 m. Estão localizados numa área peneplanizada onde afloram sob a forma de cristas descontínuas e blocos rolados, alguns desses diques ocorrem encaixados em rochas trondhjemíticas arqueanas e também aos granitos paleoproterozóicos Seringa e São João. Foram identificados, petrograficamente, três grandes grupos de diques: diabásios de textura intergranular e subofítica; andesito com textura microcristalina; e, álcali-feldspato riolito, com textura porfirítica, de matriz fanerítica (esferulítica e granofírica). Zircões do álcali-feldspato riolito foram selecionados para datação através do método de evaporação de Pb, (método Pb-Pb em Zircão). Dentre os cristais analisados, quatro revelaram idade média de 1874 ± 3 Ma, interpretada como a idade de cristalização do corpo. A idade obtida é similar a trabalhos anteriores realizados na região de Água Azul do Norte, sugerindo, portanto, uma contemporaneidade entre essas várias ocorrências, bem como entre elas e os granitos paleoproterozóicos anorogênicos dos granitos Seringa e São João e até possivelmente correlacionáveis aos granitos paleoproterozoicos anorogênicos e diques pertencentes a Suíte Jamon (1,88 Ga).

Palavras-chave: Diques (Geologia) – Província Carajás. Petrografia. Geocronologia. Água Azul do Norte. Ourilândia do Norte.

ABSTRACT

The Southwest Água Azul do Norte and south of Ourilândia do Norte, southeast of Pará, is a swarm of mafic dykes of the felsic composition, with dominant NW-SE direction, embedded in rocks trondhjemíticas, tonalíticas, granodiorite, leucogranite-potassic Archean greenstone belts and Granite-Greenstone Terrain of Rio Maria (TGGRM) southeast portion of the Central Amazonian Province, eastern edge of the Amazon Craton. Dykes studied Ourilândia do Norte–Água Azul do Norte bodies include tabular, subvertical, oriented in NW-SE direction with a length around 500 m thickness of approximately 20 m. They are located in an area where peneplanizada emerge in the form of discontinuous ridges and rolled blocks, some of these dykes occur embedded in rocks trondhjemíticas Archean and Paleoproterozoic granites also the Seringa and São João were identified petrographically, three major groups of dikes: diabases texture intergranular and subofítica; andesite with microcrystalline texture, and alkali-feldspar rhyolite, with porphyritic texture, matrix phaneritic (spherulitic and granofírica). Zircons of alkali feldspar rhyolite were selected for dating through evaporation method Pb (Pb-Pb method Zircon). Among the crystals analyzed, four showed an average age of 1874 ± 3 Ma, interpreted as the crystallization age of the body. The age obtained is similar to previous work in the area of Água Azul do Norte, suggesting therefore a contemporaneity between these various events, as well as between them and the Paleoproterozoic granites of anorogenic Granites Seringa and São João and even possibly correlated to Paleoproterozoic granites anorogenic and dykes belonging to Jamon suite (1.88 Ga).

Keywords: Dykes (Geology) –Carajas Province. Petrography. Geochronology. Água Azul do Norte. Ourilândia do Norte

“Alguém que nunca cometeu erros, nunca tratou de fazer algo novo.”

(Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

Neste espaço, gostaria de externar a todos os meus agradecimentos às pessoas e instituições e programas que direta ou indiretamente contribuíram para realização desse trabalho.

Em especial a Deus, por seu amor incondicional e sua infinita presença em minha vida e a virgem mãe santíssima por sua bênção em todos os momentos.

Aos meus pais, Maria Ivoneide e Roberto Rodrigues pelo amor incondicional e por sua enorme dedicação, esforço e incentivo a educação, e por acreditarem sempre no meu sucesso.

Aos meus irmãos que contribuíram de certa forma para esse trabalho com os momentos de descontração.

A minha tia Idaci, que ajudou incondicionalmente sempre, com seu enorme coração.

Aos meus familiares que mesmo distantes sempre acreditaram no meu sucesso e ajudaram a realização desse trabalho, em especial a minha tia Auci, minhas queridas avós Maria Lima e Maria do Carmo, por suas eternas orações.

A minha namorada Bruna Karine, por seu amor, amizade, companheirismo, sua eterna paciência nos momentos mais difíceis, e por sua enorme contribuição em todos aspectos que envolveram esse trabalho.

A minha prima e irmã Najla Soares, por fazer parte desse trabalho desde o início, e por sua eterna amizade e por sempre acreditar em nosso sucesso.

Aos meus outros familiares que mesmo longe, sempre torceram por mim.

A Universidade Federal do Pará, que junto ao Instituto de Geociência e a Faculdade de Geologia ofereceram as condições necessárias para a realização da graduação.

Ao Grupo PET (Programa de Educação Tutorial) pela oportunidade de inclusão nos ramos de pesquisa e extensão, fornecendo base para o desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Ao Prof. Claudio Nery Lamarão pela orientação, dedicação e paciência prestada durante todas as fases deste trabalho.

Ao tutor do Grupo PET-Geologia, Professor Dr. Vladimir de Araujo Távora, por seus conselhos e ensinamentos, que contribuíram para a minha formação quanto graduando.

Ao Prof. Marco Antonio Galarza pela ajuda na obtenção dos dados geocronológicos.

Aos meus amigos em especial, Aldemir, Chafic, Carlos, Claudia, Ingrid, Luisa, Rachel, Rafael, Juvenal, Haline, que de alguma maneira contribuíram para esse trabalho.

A todos meus amigos da turma de 2008, em especial a galera responsáveis pelos momentos de descontração, são eles, Cris, Tiago, Raphael (síndrome, barro alto,), Chafic, Maurição, Chelsea (Lucas), Renato (socó), Carlos, Belo, Luizinho e José.

Aos outros amigos da geologia, PH, Max, Hévila, Fabriciana que contribuíram para a realização desse trabalho.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1- Mapa de localização e acesso à área de estudo. 17
- Figura 2- Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico..... 19
- Figura 3 - A) Mapa geológico do TGGRM; B) Mapa geológico da região de Água Azul do Norte com a ocorrência dos diques estudados..... 22
- Figura 4- Materiais e equipamentos utilizados na execução dos procedimentos analíticos: A) Peneiras utilizadas nas frações granulométricas entre 0,088 mm e 0,250 mm; B) Separador Magnético Isodynamic Frantz em posição vertical; C) Separador Magnético Isodynamic Frantz em posição horizontal; D) Elutriador; E) Lupa binocular (aumento de até 60x), F) Concentração dos minerais pesados por gravidade com a utilização de líquido denso (bromofórmio); G) Filamento para depósito do cristal de zircão; H) Zircões selecionados após o processo de separação; I) Espectrometro de Massa de Termo-Ionização com multicoletor, Finnigan MAT 262 (TIMS). 29
- Figura 5- Foto panorâmica mostrando o modo de ocorrência de alguns dos diques de Ourilândia do Norte - Água Azul do Norte: A) Imagem geral da ocorrência dos diques associados ao Granito São João e ao embasamento Arqueano; B) Diques encaixados em rochas arqueanas e ao fundo serra do granito paleoproterozóico Seringa; C) Afloramento de dique máfico na forma de blocos rolados; D) Afloramento de dique félsico na forma de blocos rolados..... 31
- Figura 6- 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; com asterísticos, está indicada a amostra que foi datada. Vermelho: diabásios; verde: andesito; amarelo: álcali-feldspato riolito; branco: diques estudados por Costa (2012)..... 32
- Figura 7- Diagrama QAP, com os litotipos encontrados na região de Água Azul do Norte e Ourilândia do Norte. Diabásios (MC-120, MC-96, PCJ-19 e PCJ-12b); andesito (PCJ-18) e álcali-feldspato riolito (MC-95). 34

Figura 8- Aspectos petrográficos dos 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 clinopiroxênio (Cpx) e plagioclásio (Pl), (NP); C) Aspecto macroscópico do diabásio porfirítico; D) Textura intergranular (NC); E) Aspecto macroscópico do diabásio fanerítico de granulação média; F) Cristais de quartzo (Qtz), imersos numa matriz intergranular (NC). NP= nicóis paralelos; NC= nicóis cruzados. Nomenclatura38

Figura 9- Aspectos petrográficos dos diques de diabásios de Água Azul do Norte. A) Aspecto macroscópico do diabásio porfirítico de granulação média; B) Textura porfirítica, com fenocristais de Plagioclásio (Pl), imersos numa matriz intergranular (NC); C) Aspecto macroscópico do diabásio fanerítico; D) Textura intergranular (NC); E) Aspecto macroscópico do diabásio fanerítico de granulação média; F) Textura intergranular, evidenciando a forte alteração dos cristais de piroxênio(Cpx); (NC)= nicóis paralelos; NC= nicóis cruzados. Nomenclatura39

Figura 10- Aspectos petrográficos do dique de andesito (PCJ-18) de Água Azul do Norte; A) Aspecto macroscópico; B) Aspecto textural da rocha - NP; C) Minerais opacos (Op) - NP; D) microcristais de quartzo e finos cristais de plagioclásio E) Cristais de anfibólio (Amp), representando os máficos presentes na rocha - NP; F) Aspecto em geral da rocha- NC; NP= nicóis paralelos; NC= nicóis cruzados. Nomenclatura41

Figura 11- Aspectos macroscópicos e microscópicos de diques de riolito da região de Água Azul do Norte; A) Aspecto macroscópico do álcali-feldspato riolito porfirítico; B) Fenocristais de quartzo (Qtz) apresentando feições de reabsorção imersos em matriz predominantemente granofírica; (NP); C) Textura porfirítica; (NC); D) Fenocristais de quartzo(Qtz1) e cristais anédricos (Qtz2); (NP); E) Cristal de alanita; (NP); F) Cristais de K-feldspato alterados para argilominerías; G) Aspecto geral da lamina; H) Textura microcristalina, localmente porfirítica e contendo alguns esferulitos,(NC); I) Textura granofírica característica, com (Qtz3); NP:Nicóis Paralelos; NC: Nicóis Cruzados. Nomenclatura44

Figura 12- Ordem de cristalização dos minerais constituintes dos diques de diabásios da área de Água Azul do Norte e Ourilândia do Norte.	46
Figura 13- Ordem de cristalização dos minerais constituintes do dique de andesito da área de Água Azul do Norte e Ourilândia do Norte.	47
Figura 14- Ordem de cristalização dos minerais constituintes do dique de álcali-feldspato riolito da área de Água Azul do Norte e Ourilândia do Norte.	49
Figura 15- Diagrama de barras mostrando a idade média do alcáli-feldspato riolito (MC-95) e os zircões utilizados na datação.	52

LISTS DE TABELAS

Tabela 1 - Composição modal dos diques de Ourilandia do Norte e Água Azul do Norte, Sudeste do Pará.....	35
Tabela 2- Resultados obtidos em diques de composição máfica e félsica ao londo do Terreno Granito- <i>Greenstone</i> de Rio Maria.....	50
Tabela 3 - Resultados isotópicos obtidos pelo método de evaporação do Pb em monocristais de zircão do dique de riolito pórfiro MC-95 de Água Azul do Norte.....	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 APRESENTAÇÃO.....	15
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	15
2 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	18
2.1 PROVÍNCIAS GEOCRONOLÓGICAS DO CRÁTON AMAZÔNICO.....	18
2.2 PROVÍNCIA AMAZÔNIA CENTRAL	18
2.3 TERRENO GRANITO- <i>GREENSTONE</i> DE RIO MARIA.....	20
2.4 DIQUES PALEOPROTEROZÓICOS DO TGGRM.....	23
2.5 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	25
2.6 OBJETIVOS.....	25
2.6.1 Objetivo geral	25
2.6.2 Objetivos específicos	26
2.7 MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
2.7.1 Pesquisa Bibliográfica	26
2.7.2 Petrografia	26
2.7.3 Geocronologia	27
3 GEOLOGIA DOS DIQUES DA ÁREA DE OURILÂNDIA DO NORTE E ÁGUA AZUL DO NORTE.	30
4 PETROGRAFIA.....	33
4.1 INTRODUÇÃO.....	33
4.2 VARIEDADES PETROGRÁFICAS	36
4.2.1 Diabásios	36
4.2.2 Andesito	40
4.2.3 Álcali-feldspato riolito	42
4.3 ORDEM DE CRISTALIZAÇÃO DOS MINERAIS	45

4.3.1 Diabásios.....	45
4.3.2 Andesito.....	46
4.3.3 Álcali-feldspato riolito.....	48
6 GEOCRONOLOGIA	50
6.1 DADOS GEOCRONOLOGICOS DO TGGRM.....	50
6.3 RESULTADOS	50
7 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	53
7.1PETROGRAFIA.....	53
7.2GEOCRONOLOGIA	54
REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Ao longo dos anos, o Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM), tem sido objeto de vários trabalhos, onde foram desenvolvidos temas abordando diversos aspectos sobre as rochas do TGGRM (LEITE et al. 2004; ALMEIDA et al. 2006; OLIVEIRA, 2005; 2009; GUIMARÃES, 2009; etc.). No entanto pesquisas de detalhes voltadas para os diques na região de Ourilândia do Norte e Água Azul do Norte, os quais estão encaixados nos granitos anorogênicos Seringa e São João, ainda não estão completos.

Trabalhos recentes de campo realizados por (MESQUITA, 2010; SANTOS, 2010) permitiram o mapeamento de diversas ocorrências de diques na área de Ourilândia do Norte e Água Azul do Norte, porém em função dos objetivos dos referidos trabalhos, os estudos efetuados nos diques se restringiram ao seu reconhecimento geológico e amostragem, necessitando-se, portanto, de estudos petrográficos e geocronológicos dos mesmos. Recentemente Costa (2012) realizou estudos petrográficos e geocronológicos em 8 diques, entretanto não foi possível estabelecer um estudo completo das ocorrências de diques na região.

Por essarazão, este trabalho direciona-se para a caracterização petrográfica dos diques da área de Ourilândia do Norte e Água Azule para a datação de um dique félsico identificado.

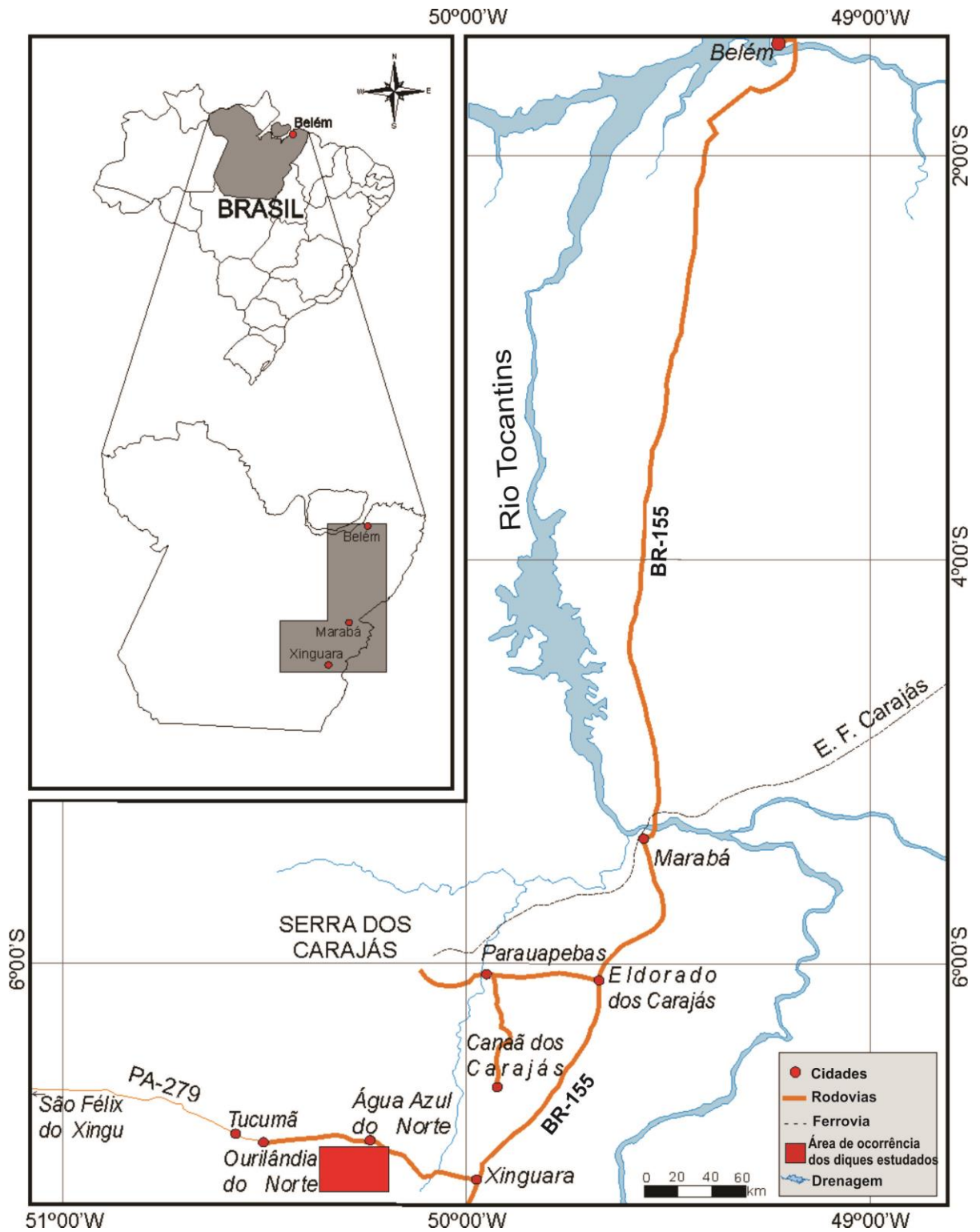
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

O Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, está localizado no sudeste do Cráton Amazônico dentro da Província Amazônia Central (TASSINARI; MACAMBIRA 1999, 2004) ou mais recentemente Província Carajás que foi dividida em domínios Rio Maria e Carajás (SANTOS et al., 2000; SANTOS, 2003).

A área de estudo está situada a sudeste da localidade de Ourilândia do Norte e sudoeste de Água Azul do Norte, sudeste do Estado do Pará, nos domínios da Província Carajás, especificamente entre as coordenadas 50°23'0"/50°42'0" W e 6°55'0"/7°12'0" S (Figura 1). O acesso à área é feito pelas rodovias BR-155 (Belém –

Marabá - Xinguara) e PA-279 (Xinguara – Tucumã –Ourilândia do Norte - Água Azul do Norte - São Félix do Xingu). O acesso aos diques estudados é realizado pela rodovia PA-279 e por estradas vicinais que levam a fazendas e vilarejos, permitindo uma amostragem sistemática e representativa dos mesmos.

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



Fonte: Modificado de Costa (2012)

2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 PROVÍNCIAS GEOCRONOLÓGICAS DO CRÁTON AMAZÔNICO

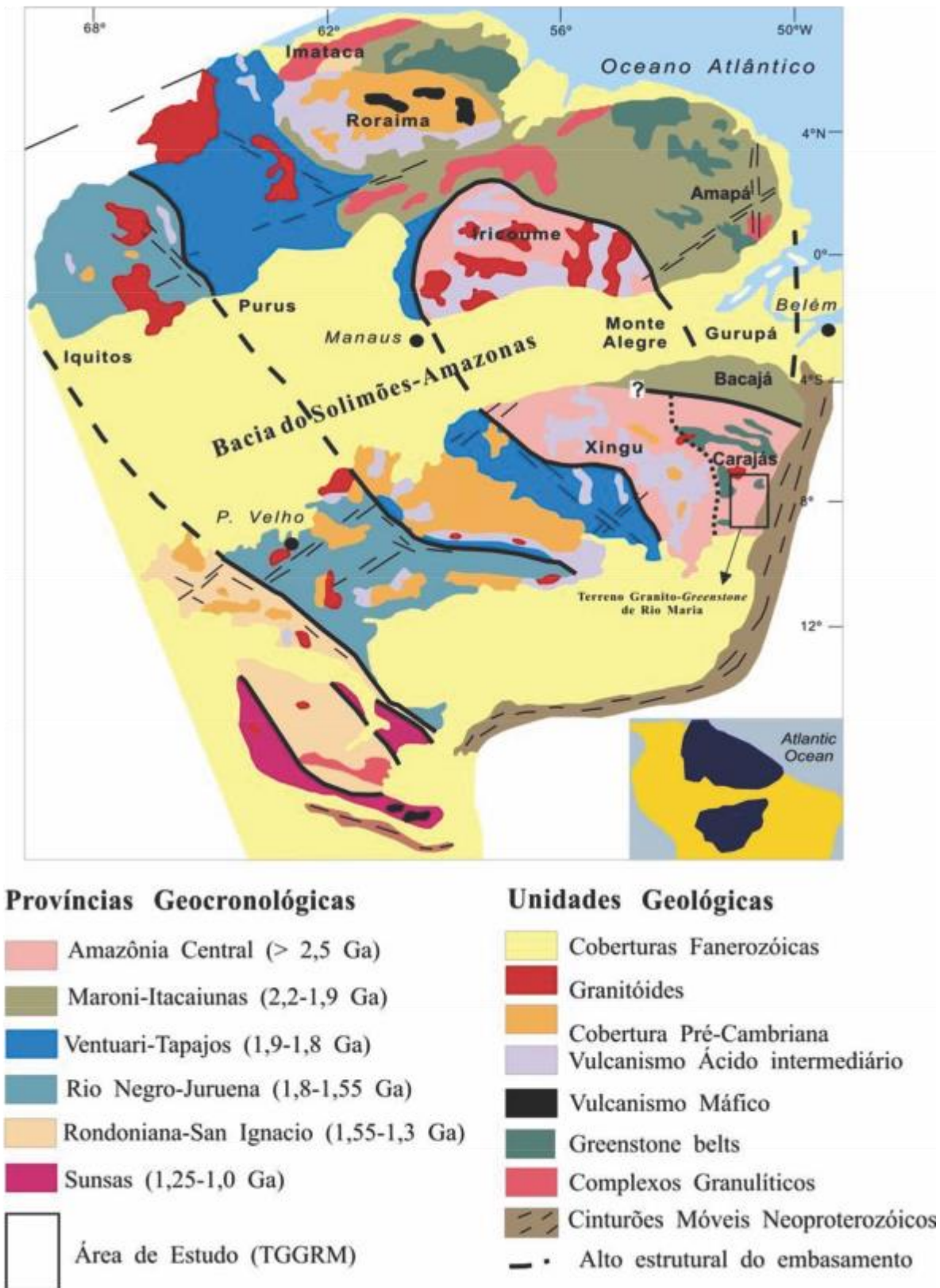
O Cráton Amazônico está localizado no norte da América do Sul onde abrange grande parte do Brasil, Guiana Francesa, Suriname, Venezuela, Colômbia e Bolívia. É considerada uma das maiores áreas cratônicas do mundo, sua área total equivale a cerca de 4.500.000 km². É formado pelos escudos das Guianas e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

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).

2.2 PROVÍNCIA AMAZÔNIA CENTRAL

A Província Amazônia Central (PAC), na qual está inserida a área de ocorrência dos diques deste estudo, é considerada a mais antiga dentre as presentes províncias do Cráton Amazônico, onde corresponde a uma crosta continental com idade > 2,5 Ga, que não foi afetada pela orogenia Transamazônica. Ela é separada em dois domínios pela Província Maroni-Itacaiúnas, o Bloco Carajás-Iricoumé e o Bloco Roraima. Dentro do contexto da Província Amazônia Central ocorre o bloco arqueano de Carajás o qual é definido por Santos et al. (2000) como uma província independente, a Província Mineral de Carajás (PMC), localizada na borda sudeste do Cráton Amazônico

Figura 2- Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico.



Fonte: (TASSINARI; MACAMBIRA, 2004).

2.3 TERRENO GRANITO-GREENSTONE DE RIO MARIA

O Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM) está localizado nos domínios da Província Amazônia Central (TASSINARI; MACAMBIRA 2004) ou Província Carajás (PC) (SANTOS, 2003) no sudeste do Cráton Amazônico. Apresenta como unidades mais antigas o Supergrupo Andorinhas, constituído por *greenstone belts*, com idades que variam de 2,98 a 2,90 Ga (MACAMBIRA, 1992; PIMENTEL; MACHADO, 1994) e corpos plutônicos da série TTG originados entre 2,98 e 2,92 Ga, englobados no Tonalito Arco Verde (idades U/Pb em zircão variáveis entre 2,98 e 2,94 Ga; MACAMBIRA, 1992, MACAMBIRA; LAFON, 1995, ROLANDO; MACAMBIRA, 2002, 2003, ALMEIDA et al. 2008)

Costa et al. (1995) distinguiram nesta região três domínios tectônicos: Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, limitado a norte e a sul pelos cinturões de cisalhamento Itacaiunas e Pau D'Arco, respectivamente. Entretanto, Althoff et al. (1995) e Dall'Agnol et al. (1997) não consideram a existência do Cinturão de Cisalhamento Pau D'Arco, logo não havendo, um domínio tectônico distinto e sim uma extensão para sul do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, que se prolongaria pelo menos até a cidade de Redenção.

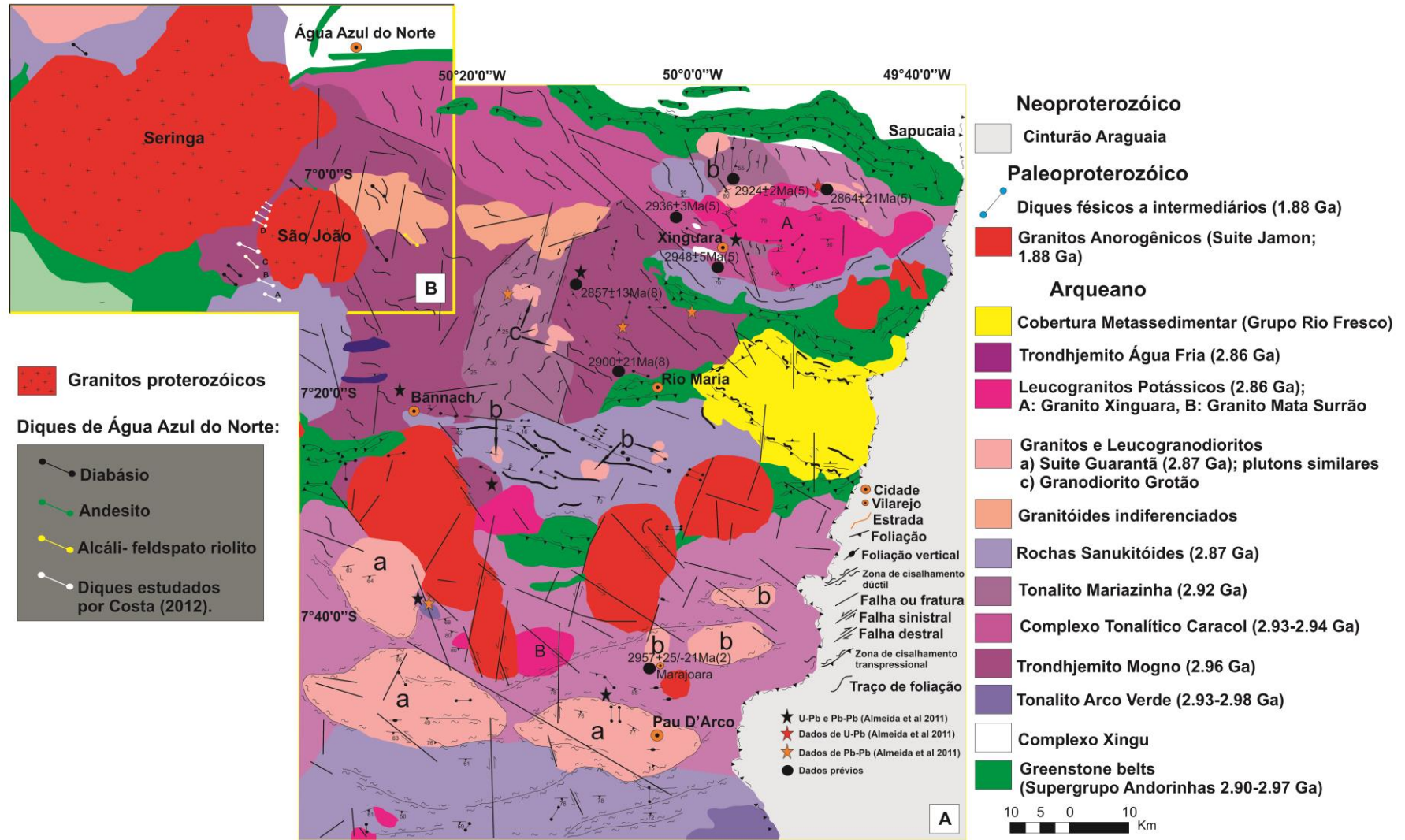
Souza et al. (1996) subdividem a Província Mineral de Carajás em dois domínios tectônicos: Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria e o Bloco Carajás. Segundo estes autores, o limite entre estes domínios, que corresponderia à porção norte do Cinturão de Cisalhamento Itacaiunas não é claro, podendo estar situado imediatamente a sul do Granito Xinguara ou a norte do *Greenstone Belt* da Sapucaia. Dall'Agnol et al. (1997) sugerem que a região entre Xinguara e o sul da Serra dos Carajás, embora pertencente ao Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, seria uma zona de transição, pois foi afetada pelos eventos atuantes no Bloco Carajás.

Segundo os dados geocronológicos, foi estabelecido 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) afirma 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 que compreende o 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). Dessa forma, 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*. Entretanto 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. Esses 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; B) Mapa geológico da região de Água Azul do Norte com ocorrência dos diques estudados.



Fonte: Modificado de Santos (em preparação)

O TGGRM é a porção mais bem estudada da PC. O conjunto de 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 Trondhjemito 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 Garantã e similares (2,87 Ga); 4) TTGs mais jovens representados pelo Trondhjemito 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).

2.4 DIQUES PALEOPROTEROZÓICOS DO TGGRM

Em torno de 1,88 Ga, a região foi palco de magmatismo granítico anorogênico (DALL'AGNOL et al., 2005; OLIVEIRA, 2006; ALMEIDA et al., 2006), representado pelos corpos graníticos da Suíte Jamon e por diques félsicos a máficos contemporâneos (SILVA JR. et al., 1999). Os diques presentes no TGGRM 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 2 km. 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.

2.5 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Como já foi apresentado, o TGGRM foi objeto de vários estudos como Leite et al. (2004), Almeida et al.(2006), Oliveira(2005), Oliveira et al. (2009), Guimarães(2009),entre outros.Entretanto, existem poucos registros detalhados referentes às rochas do embasamento na região compreendida entre as localidades de Ourilândia do Norte e Água Azul do Norte. Mapeamentos geológicos e estudos petrográficos nessa região (MESQUITA, 2010; SANTOS, 2010) permitiram a identificação de quatro principais unidades arqueanas: *greenstone-belts*, granodioritos, tonalitos-trondhjemitos e leucogranitos potássicos. Paiva Jr. (2009) estudou a petrografia, a geoquímica e a geocronologia do Granito Seringa, e Lima (2010), caracterizou o Granito São João sob os aspectos petrográficos e geocronológicos. O primeiro está localizado no município de Ourilândia do Norte, e o segundo em Água Azul do Norte. No decorrer desses estudos, foram identificados diques de composições máficas a félsicas seccionando as rochas arqueanas encaixantes desses dois batólitos graníticos. Costa (2012) estudou 8 desses diques que ocorrem na região, caracterizando a petrografia dos mesmos e a geocronologia de um desses diques, cuja composição é félsica.Dessa forma, a fim de concluir o estudo sobre a ocorrência de diques nessa região, considerou-se necessário um estudo petrográfico e geocronológico de tais rochas, o que contribuiria para melhorar o entendimento desse magmatismo no TGGRM.

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 Objetivo geral

O objetivo central deste trabalho é a caracterização dos diques da área de Ourilândia do Norte e Água Azul do Norte abordando seus aspectos petrográficos e a determinação da idade de um dique félsico. Dessa forma, pretende-se com isso ampliar e complementar os estudos sobre conhecimento dos diques do TGGRM e situar aqueles da região de Ourilândia do Norte - Água Azul do Norte em um contexto geológico mais amplo.

2.6.2 Objetivos específicos

O desenvolvimento deste trabalho tem os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar e efetuar estudos petrográficos macro e microscópicos de oito diques aflorantes a sudoeste do Granito São João e noroeste do Granito Seringa, região de Ourilândia do Norte - Água Azul do Norte, e realizar análises texturais e modais (cf. BARD, 1980; WILLIAMS et al., 1982; MACKENZIE et al., 1982; CHAYES F., 1956);
- Tentar esclarecer a contemporaneidade de um dique félsico aflorante na área de Água Azul do Norte e sua associação magmática com o evento formador dos granitos anorogênicos paleoproterozoicos do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria;
- Comparar os dados petrográficos e geocronológicos obtidos com os de outros diques similares ocorrentes no TGGRM;

2.7 MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades e métodos utilizados neste trabalho envolveram os seguintes procedimentos: pesquisa bibliográfica e estudos laboratoriais como petrografia e geocronologia, os quais serão detalhados a seguir.

2.7.1 Pesquisa Bibliográfica

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica detalhada referente à geologia da área estudada, assim como à abordagem de temas específicos relacionados à evolução e petrogênese de diques, em particular do Proterozóico; metodologia radiométrica Pb-Pb em zircão; tratamento, integração e interpretação de dados petrográficos e geocronológicos.

2.7.2 Petrografia

Foram descritas, segundo os aspectos macro e microscópicos, 8 amostras de diques da área de Ourilândia do Norte - Água Azul do Norte. As lâminas polidas utilizadas na petrografia foram confeccionadas na Oficina de Laminação do Instituto de Geociências - UFPA. Utilizou-se o microscópio petrográfico convencional em luz transmitida com o objetivo de 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 1.500 pontos em um contador 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*).

2.7.3 Geocronologia

- Metodos e Tecnicas Analiticas

Uma amostra de dique de álcali - feldspato riolito (MC-95) foi coletada na área de Água Azul do Norte, mais especificamente na área compreendida entre os granitos Seringa e São João e selecionada para análise geocronológica pelo método Pb-Pb por evaporação em zircão. Após a trituração, pulverização e peneiramento de cerca de 15 kg de amostra (OPA/Instituto de Geociências da UFPA), os cristais de zircão provenientes de frações granulométricas entre 0,088 mm e 0,250 mm foram separados com auxílio de elutrição (Figura 4 A e D), separador magnético Isodynamic Frantz em posição vertical e horizontal e concentração dos minerais pesados por gravidade com a utilização de líquido denso (bromofórmio) do Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso/ Instituto de Geociências da UFPA) (Figura 4 B, C e F). Após a separação dos minerais densos, os zircões extraídos foram selecionados, com o auxílio de uma lupa binocular (aumento de até 60x), e escolhidos aqueles que apresentavam as propriedades mais adequadas para datação (limpeza, transparência e forma).

Os cristais de zircão foram então triados manualmente e foram selecionados 30 cristais de zircão para a análise no Espectrometro de Massa de Termo-Ionização com multicoletor, Finnigan MAT 262 (TIMS) do Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso/ Instituto de Geociências da UFPA) e separados pelo menos em duas populações de zircão (Figura 4H e I).

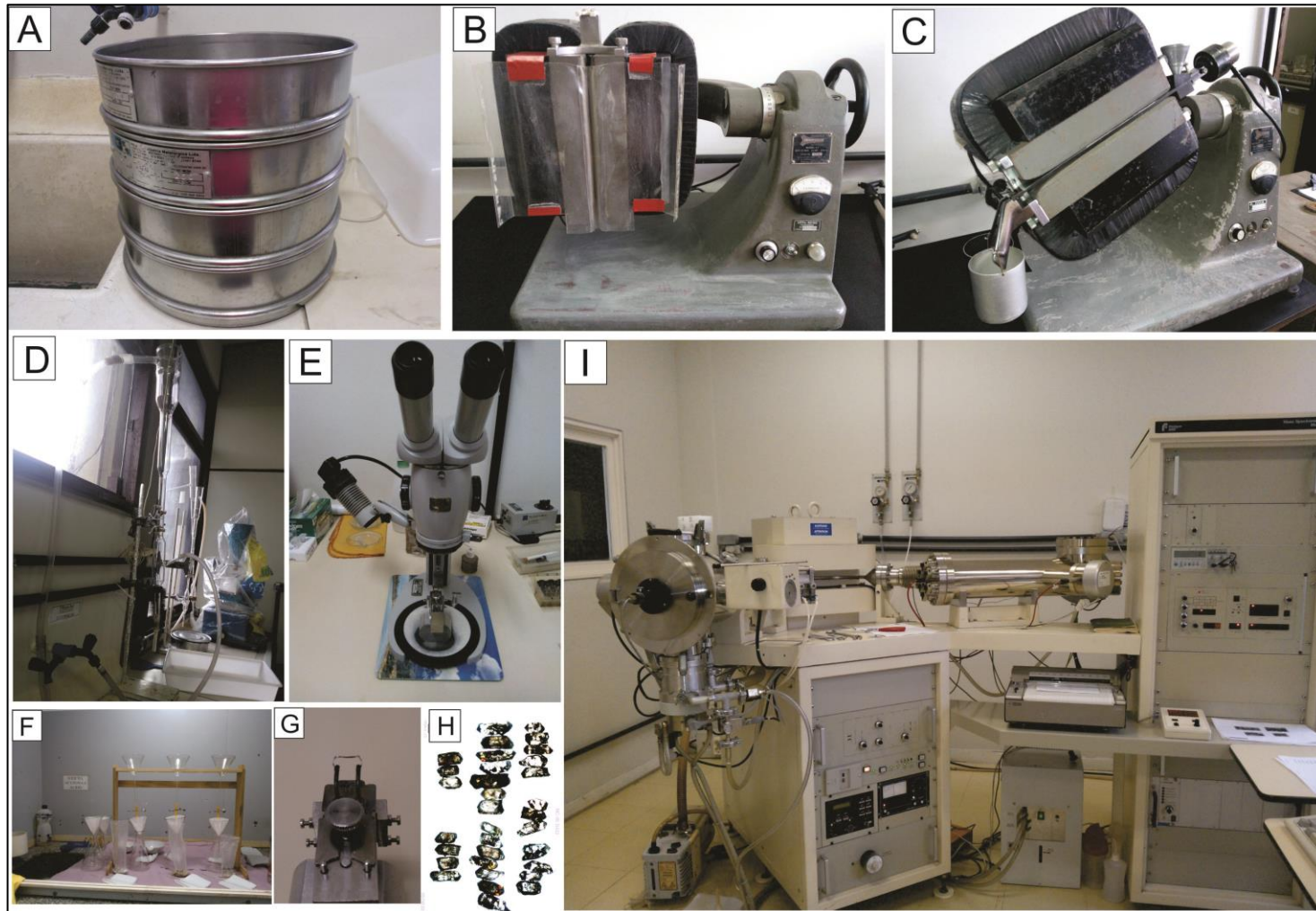
Os cristais selecionados foram preferencialmente aqueles sem evidências de metamitização, sem inclusões ou fraturas, porém, em caso de baixo número, foram analisados alguns cristais apresentando essas características.

- Procedimentos Analíticos - Pb-Pb (evaporação de zircão)

A metodologia foi desenvolvida por Kober (1987), sendo sua adaptação para o PARÁ-ISO apresentada por Gaudette et al. (1998). Essa técnica posiciona frente a frente dois filamentos de rênio, sendo um de evaporação em forma de canoa, onde o cristal de zircão é aprisionado, e um de ionização, a partir do qual o Pb é analisado (Kober, 1987). Geralmente, são realizadas três etapas de evaporação ou aquecimento (EV) a 1450°C, 1500°C e 1550°C, com intervalos de tempo de 3 a 5 minutos de evaporação para cada etapa. O Pb evaporado deposita-se imediatamente no filamento de ionização, o qual é mantido a temperatura ambiente. Dependendo da quantidade de Pb que o cristal contém e de sua capacidade em se fixar no filamento de ionização, pode-se realizar até cinco ou mais EV. Passado o tempo de evaporação, o filamento é desligado e o filamento de ionização é aquecido a uma temperatura em torno de 1050°C, e o Pb depositado é ionizado.

Em geral, são consideradas as idades obtidas nas etapas de mais alta temperatura que são as mais representativas da idade de cristalização do mineral, eliminando-se as etapas de mais baixa temperatura. Os resultados são apresentados com desvios a 2σ e as correções do Pb comum são feitas mediante uso do modelo do Pb em estágio duplo proposto por Stacey & Kramers (1975), utilizando a razão $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$.

Figura 4 - Materiais e equipamentos utilizados na execução dos procedimentos analíticos: A) Peneiras utilizadas nas frações granulométricas entre 0,088 mm e 0,250 mm; B) Separador Magnético Isodynamic Frantz em posição vertical; C) Separador Magnético Isodynamic Frantz em posição horizontal; D) Elutriador; E) Lupa binocular (aumento de até 60x), F) Concentração dos minerais pesados por gravidade com a utilização de líquido denso (bromofórmio); G) Filamento para depósito do cristal de zircão; H) Zircões selecionados após o processo de separação; I) Espectrometro de Massa de Termo-Ionização com multicoletor, Finnigan MAT 262 (TIMS).



3 GEOLOGIA DOS DIQUES DA ÁREA DE OURILÂNDIA DO NORTE E ÁGUA AZUL DO NORTE.

Os diques estudados de Ourilândia do Norte - 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 localizados em uma área peneplanizada onde afloram sob a forma de cristas descontínuas e blocos rolados. (Figura 5C e 5D). Ao longo de estradas vicinais é possível observar alguns desses diques encaixados em rochas trondhjemíticas arqueanas, entre as serras formadas pelos granitos paleoproterozóicos Seringa (Figura 5B) e São João (Figura 5A). Em outras situações, ocorrem formando pequenos morros alinhados.

Na região de Ourilândia do Norte e Água Azul do Norte ocorrem 16 diques, no qual recentemente 8 desses diques foram estudados por Costa (2012); tais diques apresentaram composições variando de félsicos a máficos, onde a maior parte ocorre ao longo do granito São João e nas encaixantes arqueanas, somente um dique de composição máfica ocorre próximo ao granito Seringa (Figura 6).

Figura 5 - Foto panorâmica mostrando o modo de ocorrência de alguns dos diques de Ourilândia do Norte - Água Azul do Norte: A) Imagem geral da ocorrência dos diques associados ao Granito São João e ao embasamento Arqueano; B) Diques encaixados em rochas arqueanas e ao fundo serra do granito paleoproterozóico Seringa; C) Afloramento de dique máfico na forma de blocos rolados; D) Afloramento de dique félsico na forma de blocos rolados.

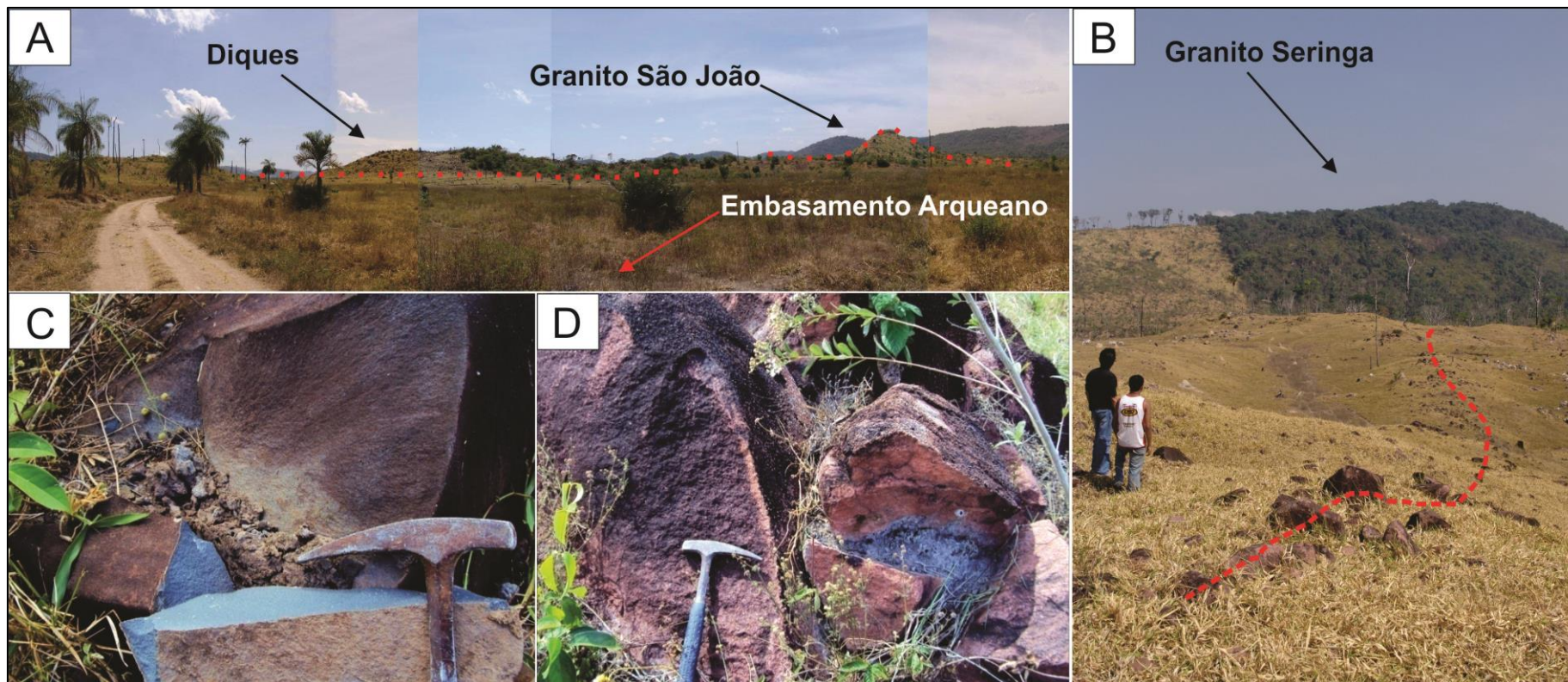
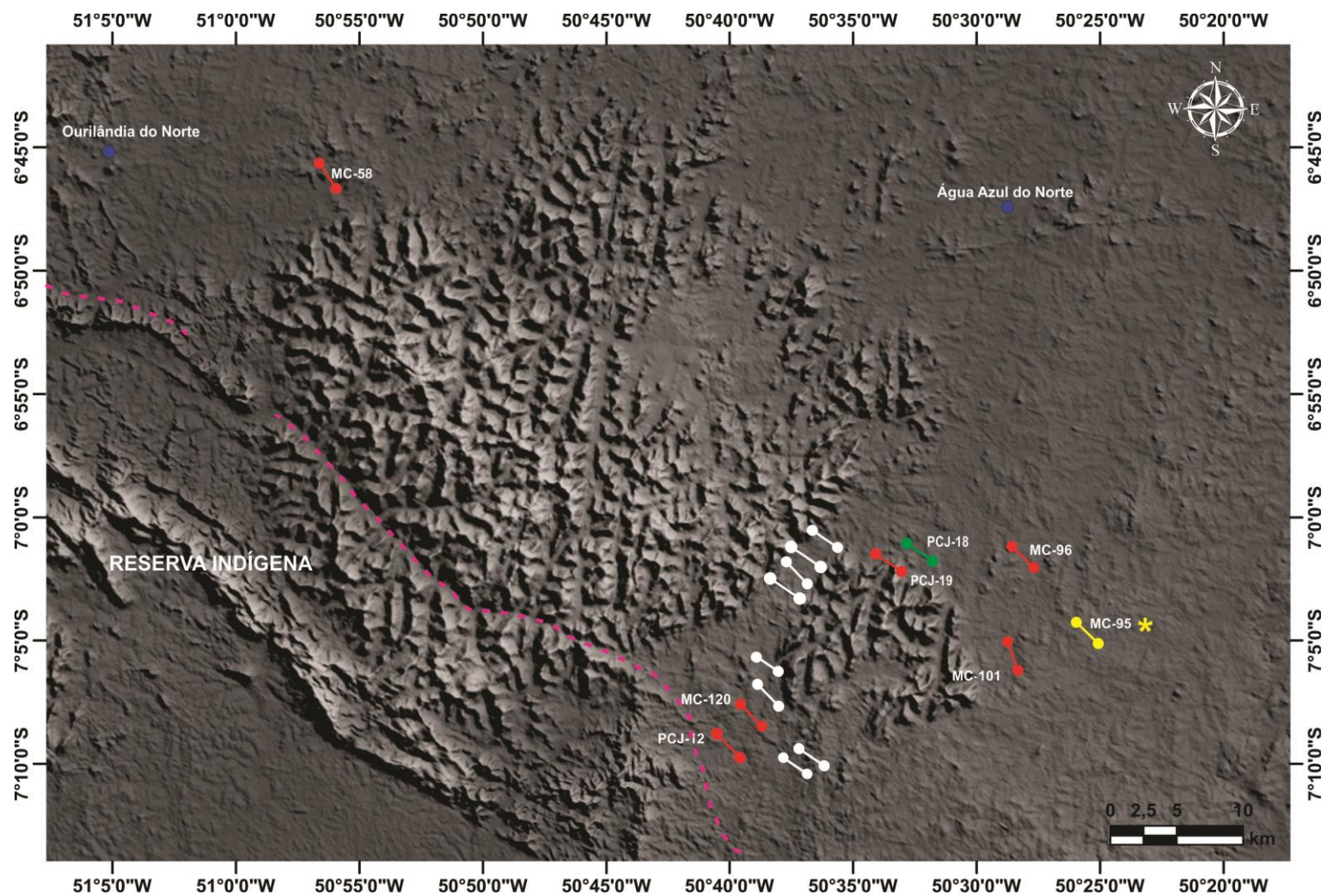


Figura 6 - Imagem de relevo sombreado SRTM com a ocorrência dos diques estudados posicionados entre os granitos paleoproterozóicos Seringa e São João, encaixados em rochas trondhjemíticas arqueanas; com asterístico, está indicada a amostra que foi datada. Vermelho: diabásios; verde: andesito; amarelo: álcali-feldpsato riolito; branco: diques estudados por Costa (2012)



Fonte - Modificado de SANTOS, (em preparação).

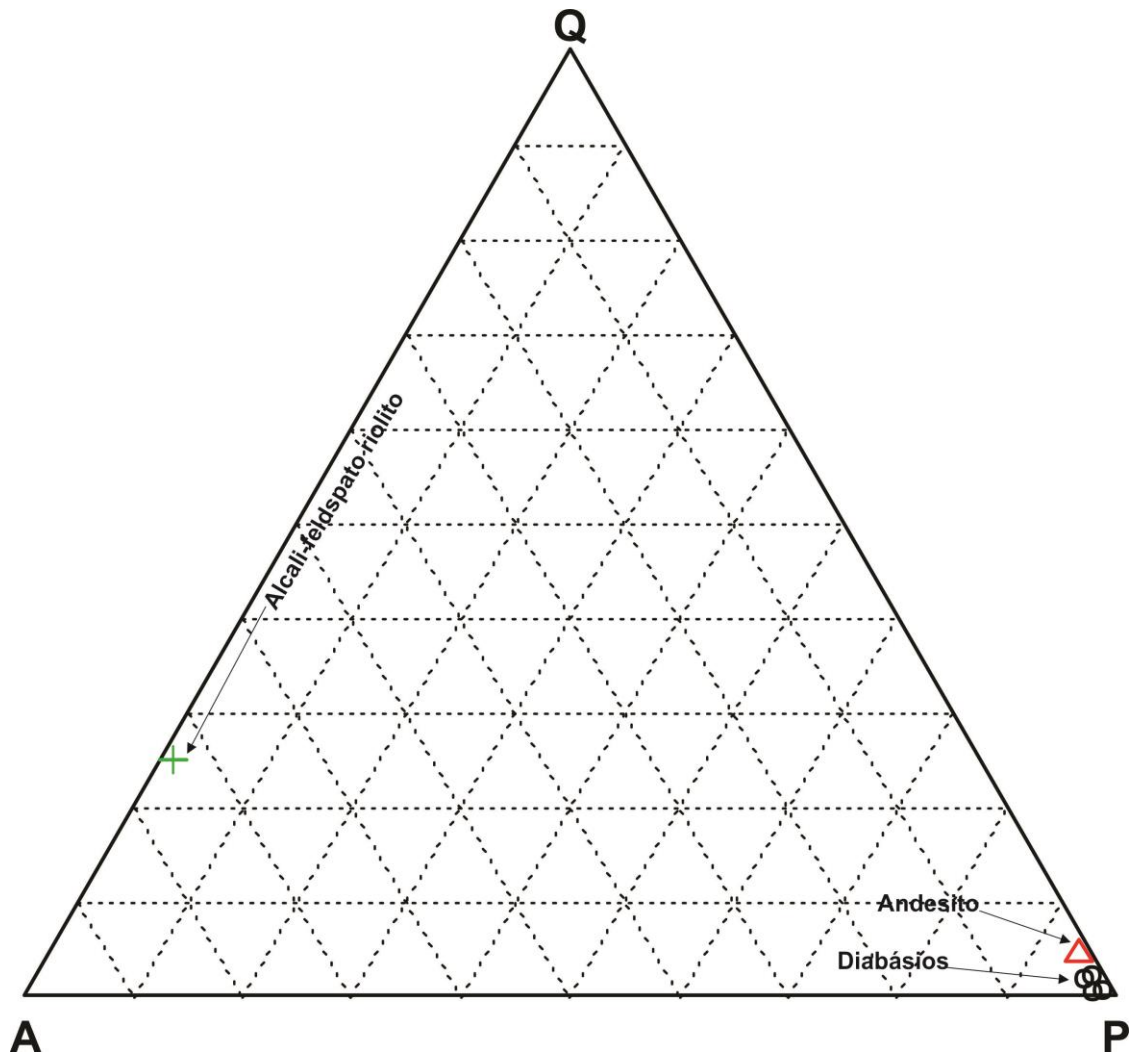
4 PETROGRAFIA

4.1 INTRODUÇÃO

Em geral, os diques de Água Azul do Norte estudados neste trabalho têm coloração acinzentada a avermelhada, texturas porfírica e afanítica e matriz de granulação fina a média. Os diques intermediários a máficos guardam semelhanças na coloração (cinza esverdeados), textura porfírica e afanítica e mineralogia, enquanto o félsico apresenta-se avermelhado com textura porfírica característica. A partir dos aspectos petrográficos e do conteúdo mineralógico modal os diques foram classificados em três tipos distintos: diabásio, andesito e álcali-feldspato riolito (Figura 7).

Dentre os diques reconhecidos, foram selecionados oito deles para estudos petrográficos macro e microscópicos, para caracterização de minerais varietais, fases opacas e acessórias. A Tabela 1 mostra a composição modal desses diques, com exceção da amostra MC- 58 e MC-101 devido a estarem intensamente alteradas.

Figura 7 - Diagrama QAP, com os litotipos encontrados na região de Água Azul do Norte e Ourilandia do Norte. Diabásios (MC-120, MC-96, PCJ-19 e PCJ-12b); andesito (PCJ-18) e álcali-feldspato riolito (MC-95).



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

Tabela 1 - Composição modal dos diques de Ourilandia do Norte e Água Azul do Norte, Sudeste do Pará.

LITOTIPO	DIABASIO				ANDESITO	ÁLCALI-FELDSPATO RIOLITO
MINERAL	MC-120	MC-96	PCJ-19	PCJ-12b	PCJ-18	MC-95
AMOSTRA						
Plagioclásio	68,80	69,90	52,0	59,40	55,80	0,30
Quartzo	--	--	1,80	1,80	3,00	22,80
K-feldspato	--	--	--	--	--	67,50
Biotita	--	--	--	--		8,00
Anfibólio	1,20	2,40	37,50	22,80	20,20	--
Clinopiroxênio	27,20	24,50	2,00	--	--	--
Opacos	2,70	3	6,40	14,80	19,80	0,60
Acessórios	0,10	0,20	0,20	1,0	0,80	0,60
Secundários	--	--	0,10	0,20	0,40	0,20
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Félsicos	68,80%	69,90%	51,80%	61,20%	58,80%	90,60%
Máficos	31,20%	30,10%	48,20%	38,80%	41,20%	9,40%
À 100%						
P	100%	100%	96,65%	97,05%	94,90%	0,33%
A	--	--	--	--	--	74,50%
Q	--	--	3,35%	2,95%	5,10%	25,16%

Legenda - minerais acessórios: apatita, epidoto; minerais secundários: allanita, argilo minérias, sericita e clorita.

4.2 VARIEDADES PETROGRÁFICAS

4.2.1 Diabásios

Macroscopicamente, os diabásios apresentam coloração cinza escura, levemente esverdeada, algumas vezes apresenta finas manchas brancas correspondentes a cristais de plagioclásio. São rochas faneríticas e/ou porfiríticas, de granulação fina a média. Os pórfiros representam cristais prismáticos de plagioclásio com aproximadamente 1 cm de comprimento. Ao microscópio, os diabásios apresentam textura intergranular, onde cristais de piroxênio preenchem os espaços entre cristais de plagioclásio, a localmente subofítica (Figura 8B). No entanto, pode-se observar com frequência a textura porfirítica na amostra MC-96 (Figura 8C). Cristais de anfibólio ocupam parcialmente o espaço dos cristais de piroxênio, muitas vezes são produtos de alteração do piroxênio. O diabásios são constituídos essencialmente por cristais de plagioclásio, tendo como minerais varietais piroxênio e anfibólio. Como minerais acessórios estão presentes opacos e apatita. Quanto aos minerais secundários, estão presentes clorita, epidoto, sericita e argilominerais. A matriz dos diabásios porfiríticos é composta tanto por minerais félsicos, como plagioclásio e em raras ocorrências, 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 0,4 a 1,1 cm aproximadamente. Estão moderadamente alterados para sericita e argilominerais, apresentam maclamentos simples ou polissintéticos, e geralmente estão envolvidos por cristais de piroxênio (augita) e hornbenda, com os quais faz contatos retos a irregulares. Os fenocristais de plagioclásio são prismáticos, subédricos a euédricos e também alterados para argilo minerais e sericita. A proporção de cristais de plagioclásio nos diabásios varia entre 52 a 65%, aproximadamente. A composição do plagioclásio obtido pelo método Albita-Carlsbad, indicou composição andesítica a labradorítica (An₅₅).

Os cristais de clinopiroxênio são subédricos, prismáticos, de dimensões entre 0.1 e 3,0 mm, possuem coloração neutra a amarronzada, por vezes apresentam-se moderadamente fraturados e fortemente alterados para anfibólio. Ocorrem

envolvendo parcialmente ou entre ripas de plagioclásio, caracterizando textura subofítica. Sua proporção modal varia em torno de 25 a 30%.

Os cristais de anfibólio apresentam-se em forma subédrica a anédrica, com pleocroísmo verde a verde claro. Ocorrem em contato ou substituindo cristais de piroxênio. Frequentemente ocupam os interstícios entre os cristais de plagioclásios. Estão presentes nos diabásios com uma proporção modal em torno de 20 a 35% nas amostras PCJ-12b e PCJ-19, é o mineral máfico predominante (Figura 8E e 9A) e em pequenas proporções nas amostras MC-120 e MC-96 (Figura 8B e 8D), resultado da alteração dos cristais de piroxênio.

O quartzo se apresenta em raros cristais de pequeno tamanho, principalmente na amostra PCJ-12b (Figura 8F), onde constitui a matriz e não ultrapassa 2% da rocha.

A biotita, geralmente proveniente da alteração do anfibólio, é rara ou ausente neste litotipo. Quando ocorre, perfaz menos de 1% modal e apresenta-se comumente alterada para clorita.

A presença de minerais opacos é comum nessas rochas, são subédricos e estão associados aos cristais de piroxênio e anfibólio. Cristais secundários de epidoto também ocorrem dispersos na matriz dos diabásios.

De acordo com os dados petrográficos encontrados, supõe-se que o anfibólio e o piroxênio presentes nos diabásios são hornblenda e augita, respectivamente. Com base na composição mineralógica e textural, pode-se afirmar que há em Água Azul do Norte: Piroxênio-Hornblenda Diabásio (MC-120, MC-96, PCJ-19) e Hornblenda Diabásio (PCJ-12b).

Figura 8 -Aspectos petrográficos dos 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 clinopiroxênio (Cpx) e plagioclásio (Pl), (NP); C) Aspecto macroscópico do diabásio porfirítico; D) Textura intergranular (NC); E) Aspecto macroscópico do diabásio fanerítico de granulação média; F) Cristais de quartzo (Qtz), imersos numa matriz intergranular (NC). NP= nicóis paralelos; NC= nicóis cruzados. Nomenclatura segundo Whitney e Evans (2010).

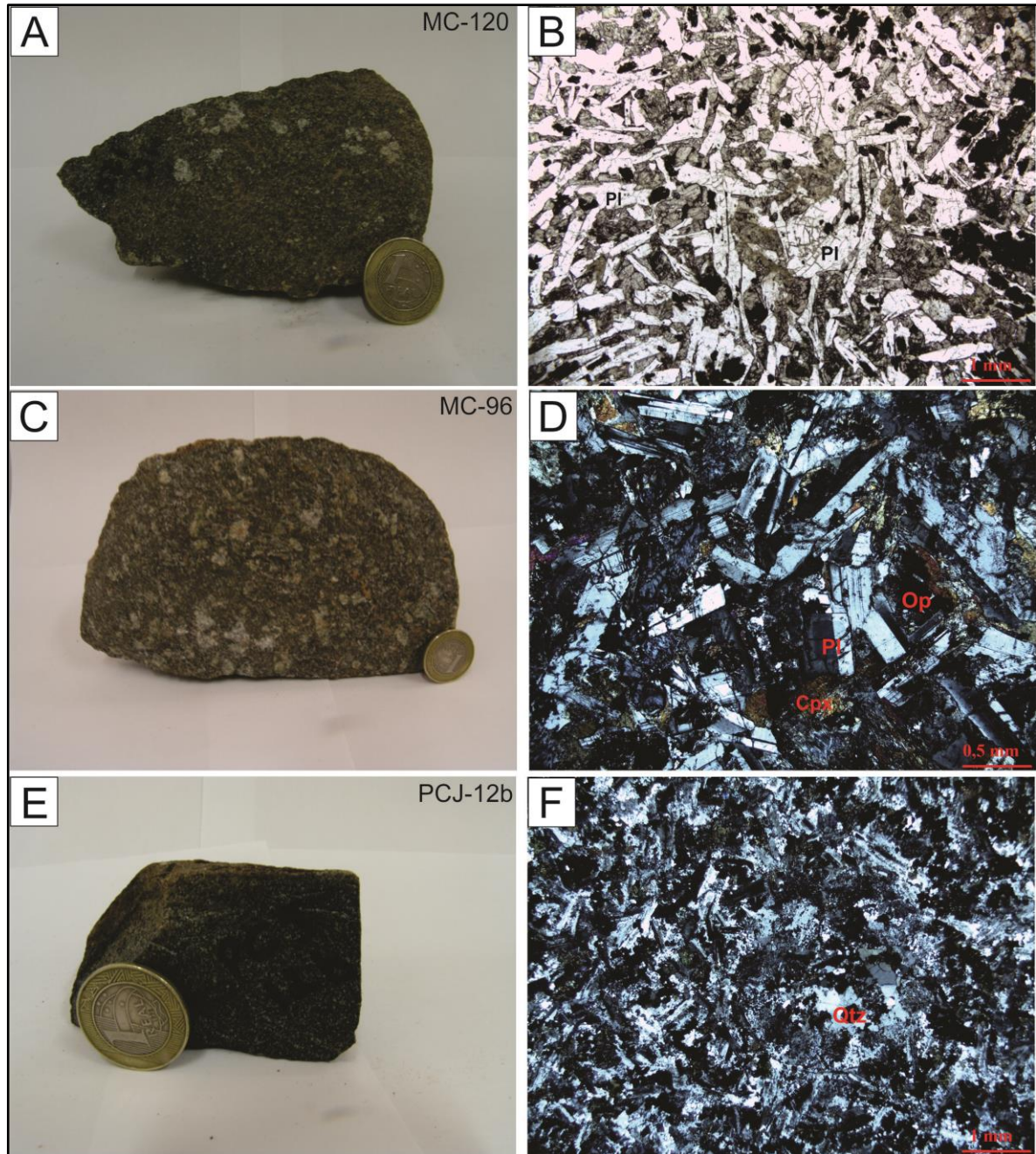
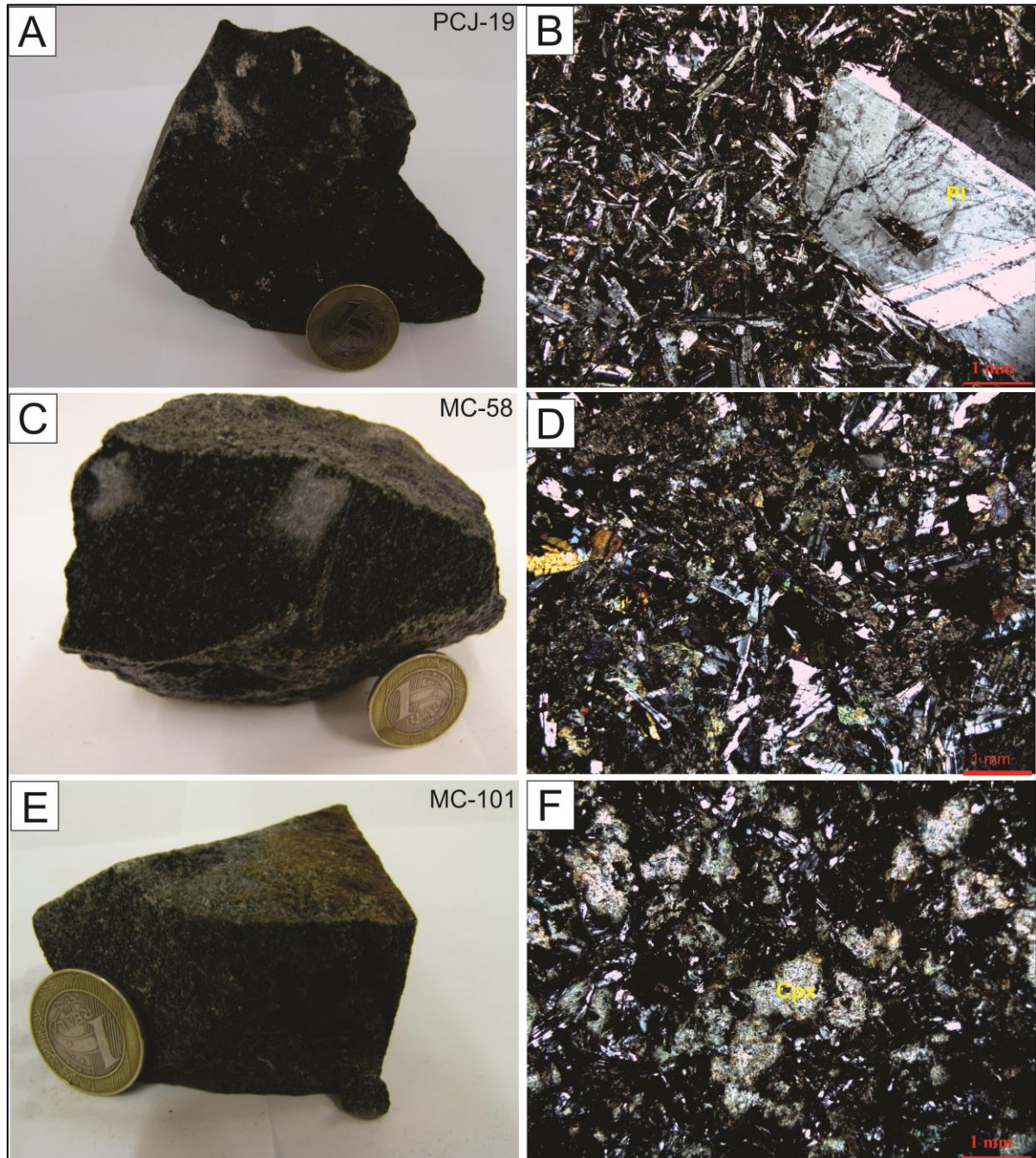


Figura 9 - Aspectos petrográficos dos diques de diabásios de Água Azul do Norte. A) Aspecto macroscópico do diabásio porfirítico de granulação média; B) Textura porfirítica, com fenocristais de Plagioclásio (Pl), imersos em uma matriz intergranular (NC); C) Aspecto macroscópico do diabásio fanerítico; D) Textura intergranular (NC); E) Aspecto macroscópico do diabásio fanerítico de granulação média; F) Textura intergranular, evidenciando a forte alteração dos cristais de piroxênio(Cpx); (NC)= nicóis paralelos; NC= nicóis cruzados. Nomenclatura segundo Whitney e Evans 2010.



4.2.2 Andesito

Em amostra de mão, o andesito é caracterizado por sua cor cinza escuro, granulação fina e textura porfiritica com matriz afanítica. (Figura 10A). Ao microscópio apresenta textura microcristalina, havendo raros cristais de quartzo (Figura 10B e C). Intercrescimentos granofíricos podem ser observados em sua matriz microcristalina.

É composto essencialmente por plagioclásio, quartzo em menor proporção, e raro feldspato potássico. O anfibólio é o varietal dominante, e os acessórios principais são 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 55%. Os cristais são subédricos, de granulação fina e ocorrem juntamente com o anfibólio. Apresentam zoneamento concêntrico e estão moderadamente saussuritizados não permitindo, assim, a determinação de sua composição, bem como a visualização de seus contatos com os demais minerais.

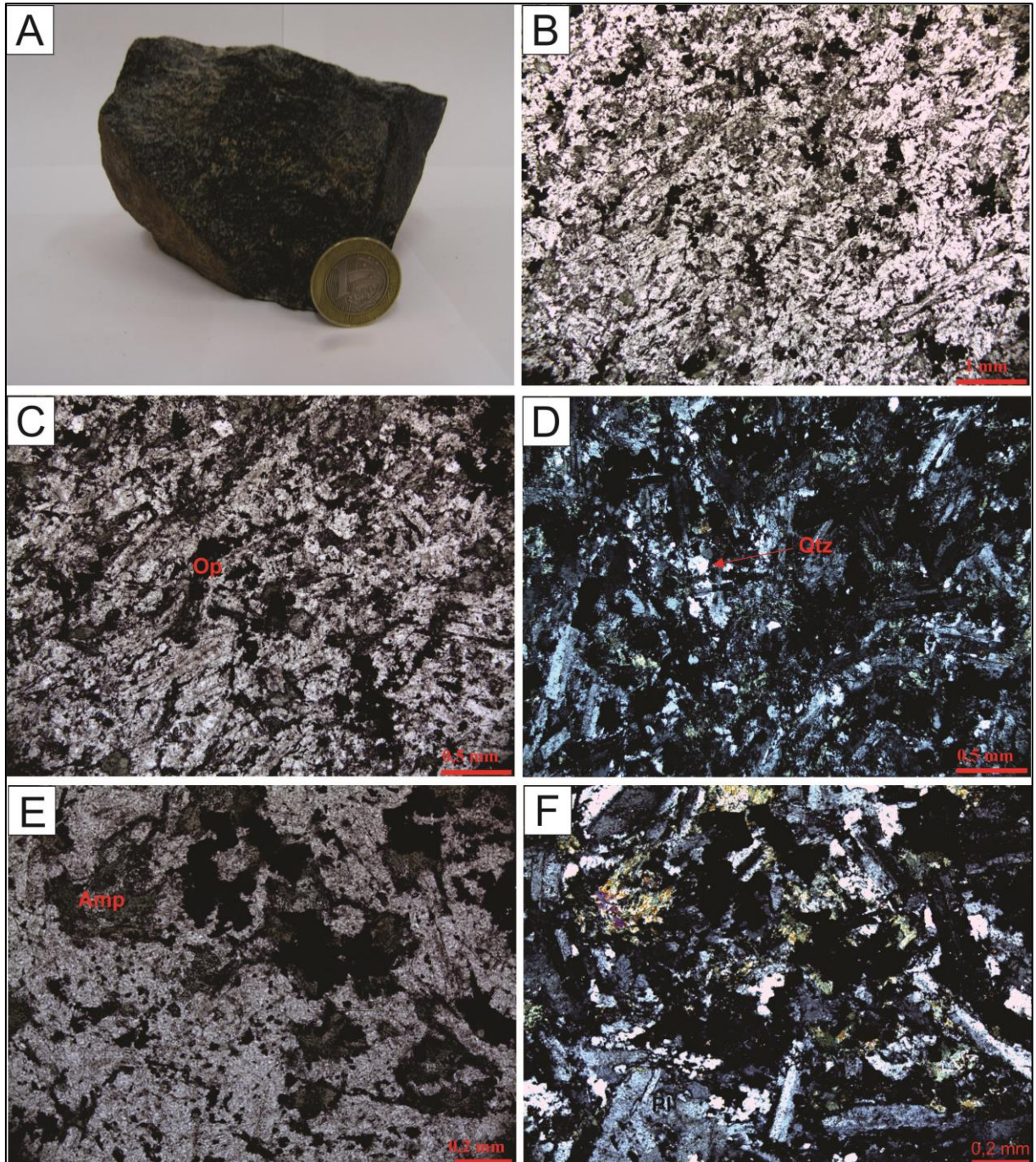
O anfibólio forma cristais subédricos a anédricos, levemente corroídos, com pleocroísmo verde claro a verde escuro, é o principal mineral máfico dominante. Faz contato irregular com os outros minerais. Apresenta proporção modal de 20% da rocha.

Os minerais opacos são frequentes, chegando a atingir aproximadamente 20% da rocha, são predominantemente subédricos. A apatita associa-se aos opacos, geralmente como inclusão no núcleo dos mesmos. O epidoto ocorre de maneira dispersa na rocha, resultado da alteração do plagioclásio.

O quartzo aparece como raros cristais dispersos na matriz de granulação fina (Figura 10D). Sua presença na rocha não chega a atingir 3% modal (Tabela 1).

O K-feldspato ocorre como finos cristais caracterizando uma textura granofírica dispersos na matriz.

Figura 10 - Aspectos petrográficos do dique de andesito (PCJ-18) de Água Azul do Norte; A) Aspecto macroscópico; B) Aspecto textural da rocha - NP; C) Minerais opacos (Op) - NP; D) microcristais de quartzo e finos cristais de plagioclásio E) Cristais de anfibólio (Amp), representando os máficos presentes na rocha - NP; F) Aspecto emgeral da rocha- NC; NP= nicóis paralelos; NC= nicóis cruzados. Nomenclatura segundo Whitney e Evans 2010.



4.2.3 Álcali-feldspato riolito

Em amostra de mão, o dique de álcali feldspato riolito é caracterizado por sua cor avermelhada, granulação fina a média e textura porfiritica com matriz afanítica. Os fenocristais de quartzo e álcali-feldspato encontram-se dispersos em uma matriz afanítica avermelhada (Figura 11A). Destes fenocristais, o feldspato potássico apresenta-se como prismas alongados e irregulares com até 1,0 cm e com coloração rosada. Os fenocristais de quartzo têm em média 4 mm.

Ao microscópio, o apresenta textura porfiritica com matriz microcristalina e localmente granofírica a esferulítica. Possui granulação fina a média e sua mineralogia é predominantemente composta por feldspato alcalino e quartzo. A biotita ocorre como mineral varietal e os acessórios são representados por epidoto e minerais opacos.

O K-feldspato apresenta proporção modal em torno de 67,5%. Forma fenocristais subédricos, cujos contatos com o quartzo são retos, e por vezes sinuosos com o anfibólio. Os cristais de k-feldspato apresentam-se intensamente alterados para argilominerais. Também ocorrem na matriz microcristalina, onde comumente formam intercrescimentos granofíricos com o quartzo. Foram identificados 2 tipos distintos de cristais de K-feldspato: o KF1 é representado por fenocristais subédricos com dimensões entre 1,0 e 8,0 mm e maclamento do tipo carlsbad, e o KF2 por cristais anédricos que, intercrescidos com o quartzo, formam a matriz microcristalina.

O quartzo ocupa proporção em torno de 22%, apresenta inclusões de feldspato e anfibólio, caracterizando uma textura poiquilítica. Os contatos com os cristais de feldspato, em sua maioria, são retos, porém também aparecem contatos corroídos. Com base nas características morfológicas, o quartzo ocorre de 3 maneiras distintas: o Qz1 se constitui em fenocristais subédricos a euédricos com dimensões entre 0,5 e 4,0 mm (Figura 11B), o Qz2 aparece como cristais anédricos que formam a matriz, e o Qz3 ocorre como intercrescimentos granofíricos (Figura 11F).

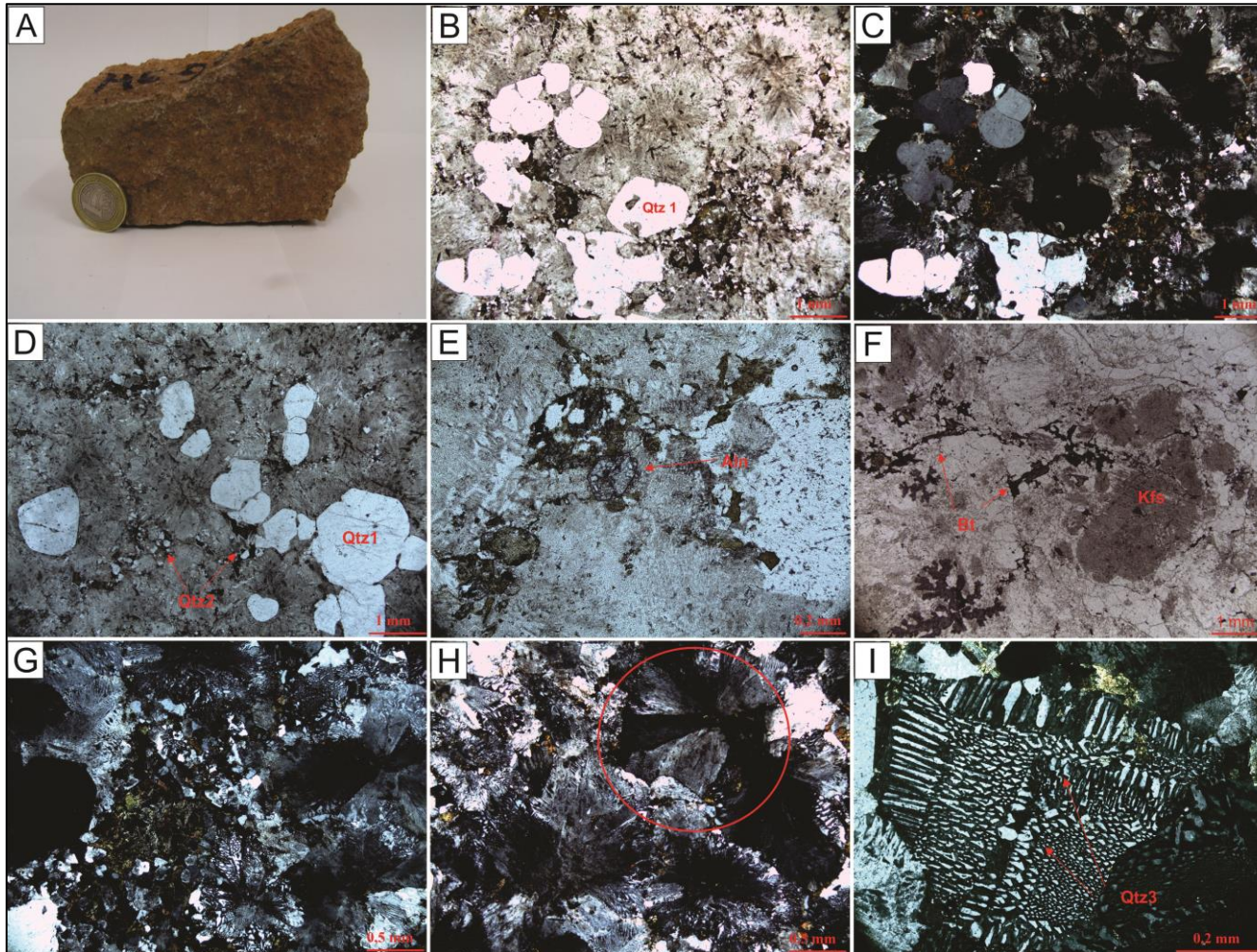
Abiotita apresenta-se dispersa na matriz, com contatos corroídos com os cristais de feldspato alcalino e algumas vezes ocorrem como inclusões em cristais de quartzo. Mostra leve pleocroísmo que varia para marrom claro, seus cristais são

subédricos e apresentam dimensões em torno de 1mm. Sua proporção modal é de aproximadamente 8%.

Os minerais opacos possuem conteúdo modal em torno de 1% são subédricos a anédricos, e ocorrem associados à biotita, já os cristais deapatita são anédricos finos e apresentam-se em proporção muito baixa.

A clorita ocorre como produto de alteração da biotita, enquanto sericita e argilominerais são oriundos da alteração dos feldspatos.

Figura 11- Aspectos macroscópicos e microscópicos de diques de riolito da região de Água Azul do Norte; A) Aspecto macroscópico do álcali-feldspato riolito porfirítico; B) Fenocristais de quartzo (Qtz1) apresentando feições de reabsorção imersos em matriz predominantemente granofírica; (NP); C) Textura porfirítica; (NC); D) Fenocristais de quartzo (Qtz1) e cristais anédricos (Qtz2); (NP); E) Cristal de alanita; (NP); F) Cristais de K-feldspato alterados para argilominerias; G) Aspecto geral da lamina; H) Textura microcristalina, localmente porfirítica e contendo alguns esferulitos, (NC); I) Textura granofírica característica, com (Qtz3); NP:Nicóis Paralelos; NC: Nicóis Cruzados. Nomenclatura segundo Whitney e Evans 2010



4.3 ORDEM DE CRISTALIZAÇÃO DOS MINERAIS

A partir das análises microscópicas e da identificação das características texturais das rochas, da forma dos cristais que a constituem, de suas relações de contato, inclusões e transformações, pode-se estabelecer uma ordem de cristalização dos minerais em cada um dos 3 tipos litológicos encontrados na região de Água Azul do Norte - Ourilândia do Norte (diabásios, andesito, álcali-feldspato riolito).

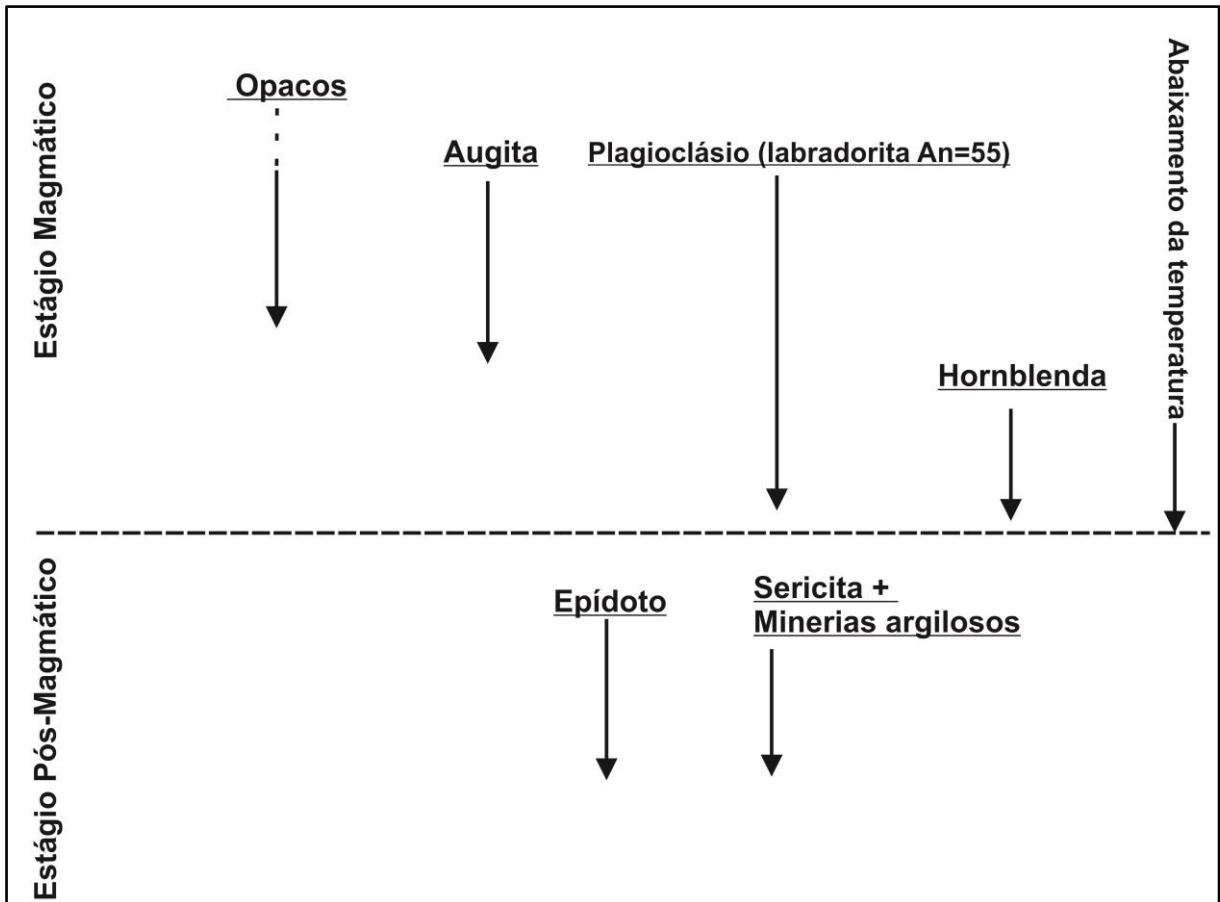
4.3.1 Diabásios

As rochas do grupo dos diabásio são formadas por cristais de plagioclásio (labradorita, An_{55}), clinopiroxênio, anfibólio, minerais opacos, e pequenas quantidades de quartzo, além de argilo-mineraias e sericita, como fases secundárias. A Figura 12 mostra o esquema proposto para a ordem de cristalização dos minerais no grupo dos diabásios da área de Água Azul do Norte - Ourilândia do Norte.

Os minerais opacos são os primeiros minerais a se formarem, em seguida se cristalizam os cristais de clinopiroxênio visto que os mesmos são envolvidos por anfibólio e, parcialmente, substituídos por eles. Posteriormente, quando o clinopiroxênio já formou cristais milimétricos, começa a cristalizar anfibólio, que substitui parte do clinopiroxênio que foi formado.

O plagioclásio possui composição labradorítica (An_{55}), que somado às suas relações texturais subofíticas e intergranulares com o clinopiroxênio, indica cristalização relativamente precoce e contemporânea do clinopiroxênio. As evidências texturais não são conclusivas quanto ao momento de início de cristalização dos minerais opacos, porém o fato de circundarem tanto os cristais de clinopiroxênio, além de serem comumente encontrados intersticialmente às ripas de plagioclásio sugere cristalização um pouco mais tardia. Neste mesmo estágio, em torno dos cristais de clinopiroxênio, são formadas as coroas de anfibólio que, por sua vez, envolvem minerais opacos. O quartzo ocorre em pequena quantidade (3%) e sempre nos interstícios das fases precoces, marcando os últimos estágios da cristalização. Os argilominerais e sericita resultantes da alteração do plagioclásio são os principais produtos do estágio pós-magmático.

Figura 12 - Ordem de cristalização dos minerais constituintes dos diques de diabásios da área de Água Azul do Norte e Ourilândia do Norte.



4.3.2 Andesito

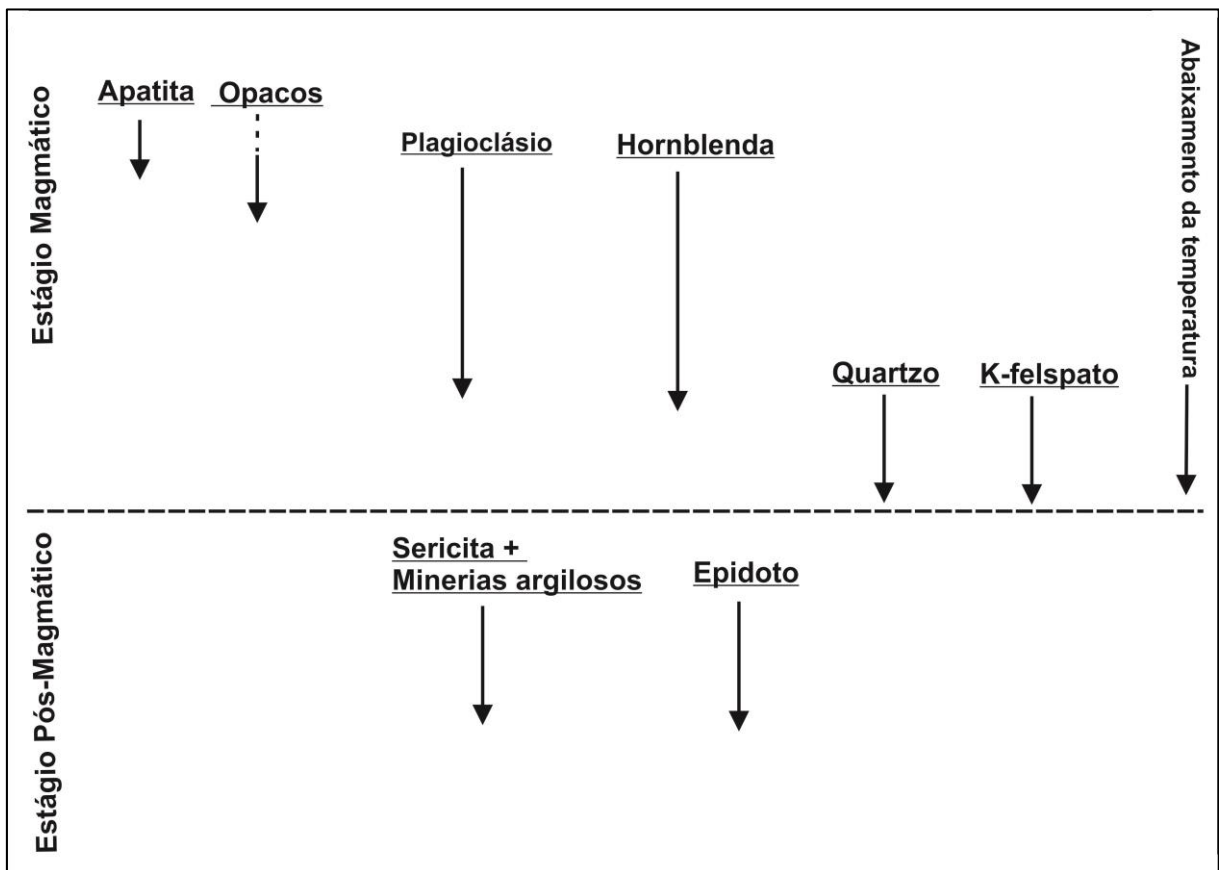
A rocha de composição andesítica é formada por plagioclásio, anfibólio, apatita e opacos, os quais se encontram englobados por uma matriz microcristalina, essencialmente granofírica, cujos constituintes nem sempre são identificáveis. A Figura 13 mostra o esquema proposto para a ordem de cristalização mineral do dique de composição andesítica.

Os cristais de apatita são subédricos a euédricos, com habito acicular característico, algumas vezes encontrada comumente como inclusões nos minerais opacos. Isso sugere que ela seja o primeiro mineral formado quando do arrefecimento do magma gerador desse dique. Em seguida, foram formados os minerais opacos, também subédricos a euédricos, encontrados isoladamente ou como inclusões em minerais máficos como o anfibólio. Os cristais de plagioclásio e

anfíbólio são milimétricos e bem formados, sugerindo que cristalizaram durante um intervalo de temperatura característico, muito provavelmente, logo em seguida à formação da apatita e dos minerais opacos. Por fim, ainda no estágio magmático, deu-se a formação da matriz, representada predominantemente por intercrescimentos de feldspato potássico e quartzo.

No estágio pós-magmático ocorrem epidoto e, em menor quantidade, sericita, argilominerais e carbonatos como principais produtos de alteração do plagioclásio.

Figura 13 - Ordem de cristalização dos minerais constituintes do dique de andesito da área de Água Azul do Norte e Ourilândia do Norte.

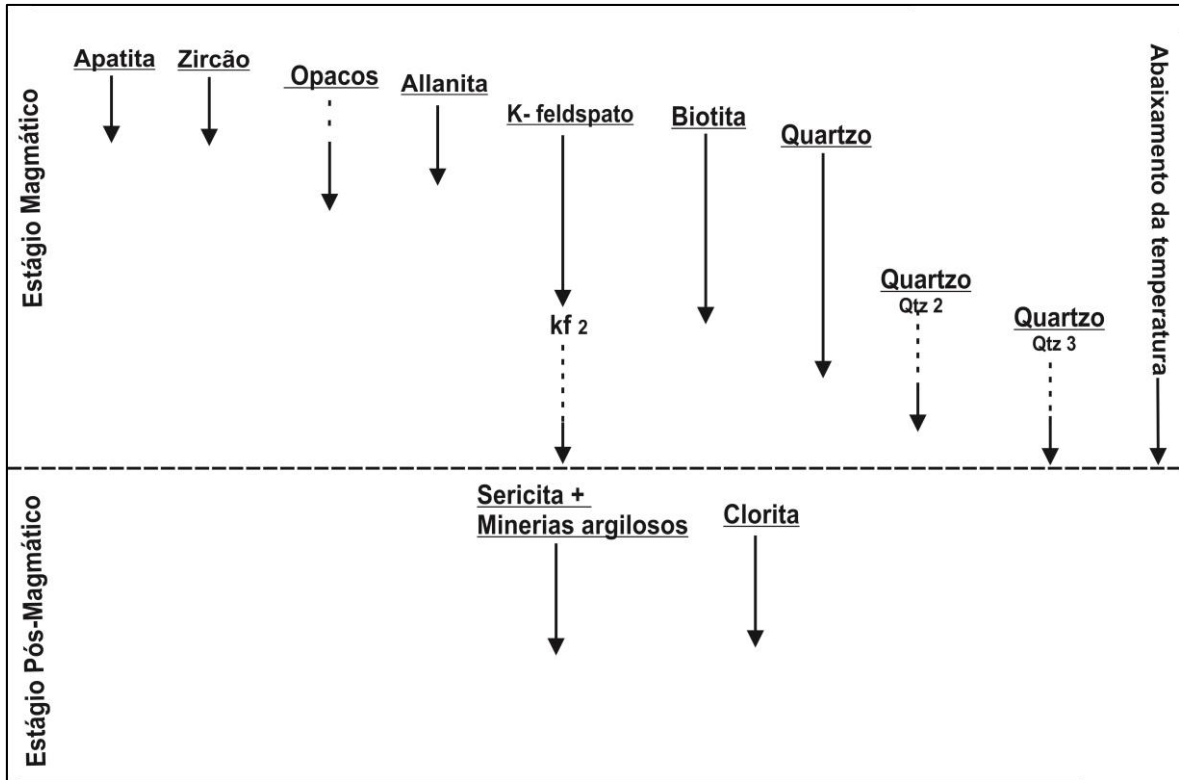


4.3.3 Álcali-feldspato riolitos

A ordem de cristalização do dique de álcali-feldspato riolito, que é uma rocha porfírica, pode ser separada em dois momentos distintos de resfriamento e cristalização. A Figura 14 mostra o esquema proposto para a ordem de cristalização do dique de álcali-feldspato riolito.

Zircão e apatita ocorrem como cristais subédricos a euédricos, comumente, inclusos em minerais opacos, sendo, portanto, os mais precoces na ordem de cristalização magmática. Minerais opacos e a allanita, embora não ocorram em quantidade modal significativa, também estão presentes como minerais bem formados. Dessa forma, devem ter iniciado sua cristalização logo após a formação de zircão e apatita. Os cristais de biotitas ocorrem entre os fenocristais de feldspato potássico (KF_1) e quartzo (Qz_1), que são bem formados e desenvolvidos e constituem as principais fases minerais cristalizadas no primeiro estágio de arrefecimento magmático. O segundo estágio desse processo provocou uma queda brusca de temperatura e formação de minerais como quartzo (Qz_2) na forma de agregados anédricos ou intercrescimentos granofíricos a micrográficos ($KF_2 + Qz_3$). No álcali-feldspato riolito constatou-se neste estágio a formação de esferulitos ($KF + Qz$). Por fim, já durante o estágio pós-magmático, foram formados argilominerais, sericita e clorita como produto de alteração.

Figura 14 - Ordem de cristalização dos minerais constituintes do dique de álcali-feldspato riolito da área de Água Azul do Norte e Ourilândia do Norte.



6 GEOCROLOGIA

6.1 DADOS GEOCRONOLOGICOS DO TGGRM

Com o objetivo de estabelecer uma melhor compreensão sobre os estudos e conhecimentos desenvolvidos sobre os diques ao longo do TGGRM, foi levantada um relação de dados geocronológicos já obtidos acerca dos diques estudados, mencionando seus métodos, materiais utilizados e a idade dos diques, podendo, dessa forma, estabelecer certa correlação com relação à idade encontrada neste estudo (Tabela 2).

Tabela 2-Resultados obtidos em diques de composição máfica e félsica ao longo do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria.

Rocha	Metodo	Material analisado	Idade (M.a)
Diques máficos	K-Ar	Concentrados máficos	1802 ± 22 (1)
Diques intermediários	Rb-Sr	Rocha total	1874±110 (2)
Diques félsicos	Rb-Sr(a)/ Pb-Pb(b)	Rocha total/ Zircão	1707±17 (a). (3) 1885±2 e 1885±4 (b) (4)
Granito Pórfiro	Pb-Pb	Zircão	1885±2 (5)
Riolito	Pb-Pb	Zircão	1879±2 (6)
Riolito	Pb-Pb	Zircão	1887±2 (7)

Legenda -(1) Silva Jr (1996); (2) Rivalenti et.al. (1998); (3) Gaspal et.al. 1987; (4) Oliveira (2006); (5) Dall'Agnol et al. (2002); (6) Ferreira (2009); Costa(2012).

6.3 RESULTADOS

Para a análise pelo método de evaporação-ionização de Pb em zircão foram escolhidos 20 cristais dentre os 30 cristais selecionados da amostra MC-95, dando preferência àqueles sem evidências de metamitização, sem ou com poucas inclusões e menos fraturas.

Durante o procedimento analítico no espectrômetro de massa, a maior parte dos cristais de zircão analisados apresentou problemas quanto à emissão de chumbo para obtenção de idade, além de problemas com relação apresentaram às proporções de chumbo comum no cristal, onde a maioria dos cristais apresentaram

razão $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ superior a 0,0004 o que segundo o método são inadequadas para o cálculo de idade.

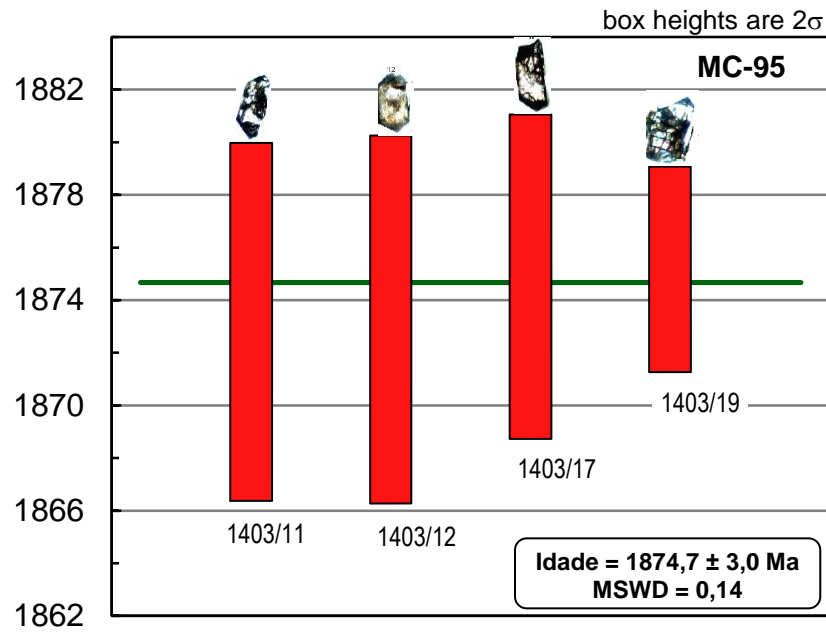
Dentre os cristais de zircão analisados, somente os cristais MC95/11, MC95/12, MC95/17 e MC95/19 forneceram dados satisfatórios para o cálculo da idade de cristalização da rocha, com todos eles emitindo chumbo suficiente para a análise isotópica. Nessa etapa, a razão $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ficou bem abaixo do valor de 0,0004 que é uma exigência do método para validar a análise, ou seja, dessa forma foram obtidas idades mais confiáveis e exatas com relação a idade de cristalização da rocha. A partir desses resultados determinou-se o valor da idade média, bem definida, nas etapas de mais alta temperatura que, lançadas em um diagrama Idade (Ma) versus zircão, indicaram uma idade de $1874,3 \pm 3,0$ Ma (Figura 15 Tabela 3). Os demais cristais analisados, foram eliminados do cálculo da idade por apresentarem razões $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ superiores a 0,0004.

Tabela 3 - Resultados isotópicos obtidos pelo método de evaporação do Pb em monocristais de zircão do dique de riolito pórfiro MC-95 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
1403/4	#1450	0/6	0,001632	0,000014	0,16219	0,00186	0,08844	0,00027	1392,4	5,8
	*1500	0/40	0,000311	0,000054	0,11816	0,00107	0,11111	0,00084	1817,9	13,7
1403/11	#1450	0/6	0,001025	0,000020	0,16893	0,00161	0,10812	0,00056	1768,2	9,5
	1500	32/32	0,000133	0,000024	0,15877	0,00058	0,11455	0,00048	1873,2	7,5
1403/12	*1500	0/36	0,000144	0,000024	0,14630	0,00194	0,11357	0,00056	1857,6	8,8
	1450	38/38	0,000159	0,000011	0,14915	0,00104	0,11456	0,00049	1873,3	7,7
1403/13	#1450	0/8	0,003060	0,000010	0,23410	0,00272	0,09996	0,00036	1623,6	6,7
	*1500	0/28	0,000195	0,000023	0,13750	0,00828	0,11428	0,00018	1868,9	2,9
1403/17	*1450	0/34	0,000175	0,000045	0,13453	0,00903	0,11302	0,00034	1848,8	5,4
	1500	32/32	0,000172	0,000002	0,13082	0,00034	0,11468	0,00043	1875,1	6,8
1403/19	*1450	0/30	0,000175	0,000005	0,15684	0,00093	0,11360	0,00034	1858,1	5,4
	1500	20/20	0,000139	0,000021	0,15854	0,00040	0,11470	0,00027	1875,5	4,3
122/310									Idade Média = 1874,7 3,0	

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.

Figura 15 - Diagrama de barras mostrando a idade média do dique de alcáli-feldspato riolito (MC-95) e os zircões utilizados na datação.



7 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Na região que compreende as localidades de Ourilândia do Norte e Água Azul do Norte, mais especificamente na área compreendida entre os granitos Seringa e São João, situados a sudeste e sudoeste, respectivamente, das referidas cidades (Figura 3), ocorre um enxame de 16 diques com direção NW-SE dominante. Costa (2012) estudou 8 desses diques, classificando-os em cinco categorias: diabásios, andesito, dacito, riolito e álcali-feldspato riolito. Os outros 8 diques foram estudados nesse trabalho e classificados como diabásios, andesito e alcali feldspato riolito cujas discussões e conclusões são apresentadas a seguir.

7.1 PETROGRAFIA

Do ponto de vista petrográfico, os diabásios são muito similares, apresentando texturas subofítica, intergranular e porfirítica, tendo anfibólio e piroxênio como minerais varietais principais, com predominância do piroxênio sobre o anfibólio e com quantidades significativas de minerais opacos. O quartzo ocorre como finos cristais em duas das quatro amostras (PCJ-19 e PCJ-12b) e em proporção modal muito baixa.

Com relação ao dique de andesito, são características principais a presença de anfibólio, a grande quantidade de minerais opacos em meio aos plagioclásios e raros microfenocristais de álcali-feldspato e quartzo. Na matriz microcristalina, aparecem dispersos finos cristais de anfibólio e é possível identificar intercrescimentos granofíricos.

No dique de álcali-feldspato riolito predominam pórfiros de quartzo e álcali-feldspato dispersos numa matriz predominantemente microcristalina, granofírica e esferulítica. Em geral este dique é pobre em minerais ferromagnesianos, com a biotita comumente cloritizada e o anfibólio apresentando-se como finos cristais dispersos na matriz.

As texturas granofíricas, comumente presente no álcali-feldspato riolito, consistem de intercrescimento de quartzo e álcali-feldspato com forma irregular e vermicular (BARKER, 1970). Este tipo de textura seria formado por cristalização simultânea e rápida de quartzo e álcali-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.

7.2 GEOCROLOGIA

A idade geocronológica de 1874 ± 3 Ma obtida para o dique de alcáli-feldspato riolito (MC-95), interpretada como idade de cristalização, é similar às obtidas para diques de riolito pórfiro (1887 ± 2 Ma; COSTA 2012) da região de Água Azul do Norte e comparáveis às daquelas 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 alcáli-feldspato riolito apresentados neste trabalho fortalecem a hipótese de cristalização desses diques, onde se admite que os diques félsicos existentes naquela porção do cráton pertencem ao mesmo evento magmático paleoproterozóico que deu origem aos granitos anorogênicos do Cráton Amazônico.

De posse desses dados, faz-se necessário realizar estudos geoquímicos nos diques da região de Ourilândia do Norte e Água Azul do Norte e compará-los com os diques já estudados das regiões de Bannach e Rio Maria. Além disso, seria importante a datação dos diques máficos, mais abundantes, da região estudada e de outras áreas do Cráton Amazônico através de metodologias mais precisas (p.ex. datação em badeleíta). a fim de complementar ou corroborar os dados obtidos neste

trabalho, bem como fechar a idade dos diques máficos da região da Água Azul do Norte.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J.A.C. *Geologia, petrografia e geoquímica do Granito Anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará*. 2005. 170 f. Tese(Mestrado em Petrologia e Geoquímica)-Universidade federal do Pará, Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 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*, v. 187, p. 201-221.2011.
- 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)*. Belém:CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Programa Geobrasil, 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.*, v 36, p. 282-295.2006.
- 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*, v. 104, p. 187- 206. 2000.
- ALTHOFF, F. J.; BARBEY, P.; BOULLIER, A. M.; DALL'AGNOL, R. Composição e estrutura dos granitóides arqueanos da região de Marajoara. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Série Ciências da Terra*, Belém, v. 7. p. 5-26. 1995
- 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, 1994. 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, p. 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: aspectostectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. *Boletim do Museu ParaenseEmílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, v. 7, p. 199-235.1995.
- COSTA, H. N. S. *Petrografia e geocronologia de diques máficos a félsicos da região Sudoeste de Água Azul do Norte, Província Carajás, PA*. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, 2012.

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, 2., 1997, Salvador. *Extended Abstrac and Program*. Salvador, 1997. p. 185.

DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA M.A.; ALMEIDA, J.A.C.; ALTHOFF, F.J.; LEITE, A.A.S.; OLIVEIRA, D.C.; BARROS, C.E.M. Archean and paleoproterozoic granitoids of the Carajás Metallogenic Province, Eastern Amazonian Craton. In: DALL'AGNOL, R.; ROSA-COSTA, L.T.; KLEIN, E.L. (Eds.). SYMPOSIUM ON MAGMATISM, CRUSTAL EVOLUTION, AND METALLOGENESIS OF THE AMAZONIAN CRATON, 2006, Belém. *Abstracts volume and field trips guide*. Belém: PRONEX-UFPA/SBG-NO, 2006. p.99-150.

DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, D. C.; MACAMBIRA, M.J.B.; LAMARÃO, C. N. 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., 2002, Belém. *Boletim de resumos*. Belém-PA, 2002. 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*, v.46, p. 431-462.1999.

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*, v. 80, p. 101-129.2005.

DEER, W. A.; HOWIE; R. A.; ZUSSMAN, J. *Rock-forming minerals*. Second Edition. London: Longmans, 1992. p.696

DOCEGEO. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, Belém. *Anais*, Belém: SBG, 1988. p.11–54.

FEIO, G. R. L. *Magmatismo granitoide arqueano da área de Canaã dos Carajás: implicações para a evolução crustal da Província Carajás*. 2011. Tese (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*. 2009. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, 2009.

GASTAL, M.C.P. *Petrologia do Maciço Granítico Musa, Sudeste do Pará*. 1987. 316 f. Dissertação (mestrado em petrologia e geoquímica) - Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Belém, 1987.

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.*, v. 11: 351-363. 1998.

GUIMARÃES, F. V. Geologia, petrografia e geoquímica do trondhjemitógeno e rochas arqueanas associadas, terreno Granito-Greenstone de Rio Maria - SE do Pará. 2009. 102f. Dissertação (mestrado em geoquímica e petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

HIBBARD, M. J. *Petrography to petrogenesis*. New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 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. 1982, Belém. *Anais*. Belém, SBG, 1982. v. 1, p. 100-108.

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., 1988, Belém. *Anais*. Recife, SBG. 1988. v. 3, p. 1438-1452.

KERR, P. *Optical mineralogy*. Third Edition. New York: McGraw-Hill Book Co, 1959. 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.*, v. 93, p. 482-490. 1986.

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

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

LE MAITRE R.W. *A Classification of igneous rocks and glossary of terms*. 2nd Edition. London: [s.n.], 2002. p.193.

LIMA P. H. A.; *Geologia, petrografia e geocronologia do Granito São João, Província Mineral de Carajás, SSE do Pará*. 2010. 63f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, 2010.

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

- MACAMBIRA, M. J. B.; LAFON, J. M. *Geocronologia da Província Mineral de Carajás: síntese dos dados e novos desafios*. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Série Ciência da Terra, v.7, p. 263-288.1995.
- MACAMBIRA, M.J.B.; LANCELOT, J. *Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria crust, southeastern Amazonian Craton, Brazil*. International Geology Review, v. 38, n. 12, p. 1134-1142.1996.
- MACKENZIE W.S., DONALDSON C.H., GUILFORD C. Atlas of igneous rocks and their textures. Longman Scientific & Technical. John Wiley & Sons, New York, p. 148.1982.
- 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 de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, 2010.
- 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. 27, p.146-160.2009.
- OLIVEIRA, D.C. *Modelos de evolução e colocação dos granitos Paleoproterozoicos da suíte Jamon, SE do cráton Amazônico*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, UFPA, p.179. 2006.
- OLIVEIRA M.A. *Geologia, petrografia e geoquímica do Granodiorito Sanukitóide Arqueano Rio Maria e rochas máficas associadas, leste de Bannach-PA*. Universidade Federal do Pará (Dissertação de Mestrado), p.151.2005.
- 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. v. 27, p. 146-160.2009
- PIMENTEL, M.; FUCK, R.A. Neoproterozoic crustal accretion in Central Brazil. *Geology*, v.20, n. 4, p. 375-379. 1992.
- PIMENTEL, M. M.; MACHADO, N. *Geocronologia U-Pb dos Terrenos granito greenstone de Rio Maria, Pará*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38. Camboriú. Boletim de Resumos Expandidos. Camboriú, SBG, p. 390-391.1994.
- PAIVA JÚNIOR A.L. *Geologia, petrografia, geocronologia e geoquímica do Granito anorogênico Seringa, Província Mineral de Carajás, SSE do Pará*. Universidade Federal do Pará. Instituto de geociências, (Dissertação de Mestrado), p. 120. 2009.
- 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.* v. 43, p. 235-265.1998

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, Expanded Abstracts. Salvador.2003.: 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, p. 525. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia. SBG.2002.

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).

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

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,p. 123.1996.

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*,.13 (2), p.163-181.1999.

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, Anais. Natal. SBG. v 6, p. 2913 2928.1990.

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.P.624.1994.

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, p. 31-32.1996.

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

STACEY, J. S.; KRAMER, J. D. (1975) *Aproximation of terrestrial lead isotopic evolution by a two-stage model.* *Earth Planetary Scences Letter.*, v. 26, p. 207-221.

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, p. 471–486.2004.

TASSINARI, C.C.G. & MACAMBIRA, M.J.B. *Geochronological Provinces of the Amazonian craton.* *Episodes*, 22: p.174-182.1999.

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. An introduction to the study of rocks in thin section.* Second Edition, W. H. Freeman and Company. San Francisco, p.406.1982.