



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 535**

**GRANITO PORQUINHO, DOMÍNIO TAPAJÓS: EXEMPLO  
DE MAGMATISMO ALCALINO-PERALCALINO E  
CONSIDERAÇÕES METALOGENÉTICAS PRELIMINARES**

**Dissertação apresentada por:**

**JOSEANNA DOS SANTOS SILVA**

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

---

**BELÉM  
2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S586g

Silva, Joseanna dos Santos

Granito Porquinho, Domínio Tapajós: exemplo de magmatismo alcalino-peralcalino e considerações metalogenéticas preliminares / Joseanna dos Santos Silva. — 2018  
xv, 95 f. : il. color

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Claudio Nery Lamarão

1. Granitos tipo-A. 2. Domínio Tapajós. 3. Granito Porquinho. 4. Anfibólio. 5. Biotita. I. Lamarão, Claudio Nery, *orient.* II. Título

---

CDD 552.0098115



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

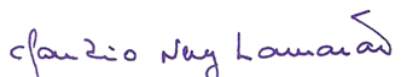
**GRANITO PORQUINHO, DOMÍNIO TAPAJÓS: EXEMPLO  
DE MAGMATISMO ALCALINO-PERALCALINO E  
CONSIDERAÇÕES METALOGENÉTICAS PRELIMINARES**

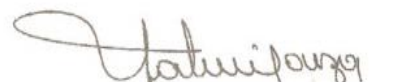
**Dissertação apresentada por**  
**JOSEANNA DOS SANTOS SILVA**

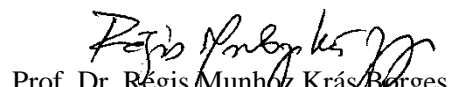
**Como requisito parcial à obtenção de Grau de Mestre em Ciências na Área de GEOQUÍMICA  
E PETROLOGIA.**

**Data de Aprovação: 27 / 08 / 2018**

**Banca Examinadora:**

  
Prof. Dr. Cláudio Nery Lamarão  
(Orientador – UFPA)

  
Prof. Dr. Valmir da Silva Souza  
(Membro – UnB)

  
Prof. Dr. Régis Munhoz Krás Borges  
(Membro – UFPA)

Aos meus pais,  
pelo apoio inquestionável.  
À minha avó,  
que se regozija com os feitos  
acadêmicos dos netos e incentiva-nos a  
ir cada vez mais longe.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA), pela infraestrutura laboratorial;

À CPRM, representada pelos geólogos Manfredo Ximenes Pontes e Marcelo Lacerda Vasquez (CPRM – Belém), que cedeu as amostras utilizadas nesta pesquisa;

Ao professor Claudio Nery Lamarão, pela orientação, pela disposição, pela confiança, pela amizade e pela paciência. Obrigada por tudo!

Ao CNPq, pela bolsa DTI (processo 381885/2015-1);

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Geociências da Amazônia/Geociam (Processo N°573733/2008-2), pelo apoio financeiro;

Ao Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides (GPPG/UFPA), pelo suporte técnico-científico;

Ao Laboratório de Microanálises (LM/UFPA) pela aquisição dos dados de MEV e ME, em especial às técnicas Ana Paula Correa e Gisele Marques;

Ao Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso/UFPA) pelo suporte na aquisição dos dados isotópicos, em especial ao professor Marco Toro;

À minha família, que me apoia em todos os momentos, qualquer que seja minha decisão;

Aos amigos da Sala 06, Hévila Costa e Rubem Barros Neto, pelos momentos de descontração, discussão e ajuda ao longo dessa jornada;

Ao amigo Pablo Leite, pelas longas conversas no corredor sobre a vida e a pós-graduação;

A Thicyana Nunes, Kellen Nogueira e Débora Aguiar, amigas de longa data, que acompanharam o baixo e agora acompanham o alto. Obrigada pela amizade, pelo carinho, pelos conselhos e pela paciência. Este período foi meio travoso, mas foi muito importante poder contar com colo e palavras de consolo e motivação;

Por fim, a Rafael Mescouto, meu companheiro de muitos momentos, pelo amor que me deu (puxões de orelha também) e por me emprestar sua família quando a minha agora está tão distante.

Hoje já é quinta-feira  
E eu já tenho quase 30  
Acabou a brincadeira  
E aumentou em mim a pressa  
De ser tudo o que eu queria  
E ter mais tempo pra me exercer  
(...) Já é quase meia-noite  
Quase sexta-feira  
E me falta tanto ainda  
(Sandy)

## RESUMO

O Granito Porquinho (GP) é um batólito subcircular localizado no Domínio Tapajós, Cráton Amazônico, composto petrograficamente por álcali-feldspato granitos *hypersolvus* isotrópicos, agrupados em: biotita álcali-feldspato granito (BAFG), anfibólio álcali-feldspato granito (AAFG) e rochas greisenizadas. As biotitas são classificadas como annita, enquanto os anfibólios variam em composição, de cálcicos (hastingsita, ferro-edenita, ferro-actinolita e ferro-ferri-hornblenda) a sódico-cálcicos (ferro-ferri-winchita, ferro-ferri-katoforita, ferro-richterita, potássio-ferro-ferri-katoforita e ferro-katoforita) e sódicos (riebeckita). Geoquimicamente, o GP é metalunimoso a peraluminoso, localmente peralcalino, mostra razões  $K_2O/Na_2O$  entre 1 e 2, razões  $FeO_t/(FeO_t + MgO)$  muito próximas de 1, o que o leva a ser classificado como um granito ferroso. É um granito reduzido, com características geoquímicas de granitos tipo-A, subtipo A<sub>2</sub> e similar aos granitos Fanerozoicos intraplaca. As rochas da fácies AAFG são levemente mais enriquecidas em ETR que as rochas da BAFG, mas todas apresentam comportamento similar, com forte anomalia negativa de Eu, formando o típico padrão gaivota dos granitos tipo-A e de granitos mineralizados em Sn-Ta-Nb. Os BAFG também mostram comportamento similar com o Granito Europa (GE, Suíte Intrusiva Madeira, Pitinga) e a Suíte Intrusiva Velho Guilherme (SIVG, Xingu), ambas mineralizadas em Sn-Ta-Nb, enquanto os AAFG aproximam-se, geoquimicamente, mais da Suíte Intrusiva Maloquinha (SIM, Tapajós), não-mineralizada. Neste trabalho, o GP apresentou uma idade geocronológica de  $1.889 \pm 2$  Ma, interpretada como sua idade de cristalização, e que é cerca de 100 Ma mais antiga que a idade anterior ( $1.786 \pm 14$  Ma). A idade geocronológica mais antiga encaixa-se melhor com o contexto geológico em que o Granito Porquinho está inserido, mas também significa que investigações mais detalhadas precisam ser feitas nesta área a fim de eliminar dúvidas quanto sua idade de cristalização e descobrir se o GP apresenta uma história de evolução mais complexa.

Palavras-chave: Granitos tipo-A. Domínio Tapajós. Granito Porquinho. Anfibólio. Biotita.

## ABSTRACT

Porquinho Granite (PG) is a subcircular batholith located at the Tapajós Domain, Amazonian Craton, petrographically composed of isotropic hypersolvus alkali feldspar granites, grouped *In*: Biotite alkali feldspar granite (BAFG), Amphibole alkali feldspar granite (AAFG) and greisenized rocks. Biotites are classified as annite, while amphiboles vary in composition, from calcic (hastingsite, ferro-edenite, ferro-actinolite and ferro-ferri-hornblende) to sodic-calcic (ferro-ferri-winchite, ferro-ferri-katophorite, ferro-richterite, potassic-ferro-ferri-katophorite and ferro-katophorite) to sodic (riebeckite). Geochemically, PG is metaluminous to peraluminous, locally peralkaline, shows  $K_2O/Na_2O$  ratios between 1 and 2, and  $FeO_t/(FeO_t + MgO)$  very close to 1, which led it to be classified as a ferroan granite. It is a reduced granite, with geochemical characteristics of A-type granites of the  $A_2$ -subtype and is similar to the Phanerozoic intraplate granites. AAFG rocks are slightly more enriched in REE than BAFG, but they all present similar compartment, and strong negative Eu anomaly, forming the typical gullwing-shaped pattern of the A-type and the Sn-Ta-Nb mineralized granites. BAFG also shows similar behavior with Europa Granite (EG, Madeira Intrusive Suite; Pitinga) and Velho Guilherme Intrusive Suite (VGIS; Xingu), both mineralized in Sn-Ta-Nb, while AAFG approaches, geochemically, more to Maloquinha Intrusive Suite (MIS; Tapajós), non-mineralized. In this work, PG presented a geochronological age of  $1,889 \pm 2$  Ma, interpreted as the age of crystallization, which is about 100 Ma older than the former one ( $1,786 \pm 14$  Ma). The older geochronological age fits better with geological context in which Porquinho Granite is inserted, but also means more detailed investigations need to be done in this area in order to eliminate possible doubts about its crystallization age and find out if PG has a more complex history of evolution.

Key words: A-type granites. Tapajós Domain. Porquinho Granite. Amphibole. Biotite.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1	Cráton Amazônico e províncias geocronológicas. Fonte: Santos <i>et al.</i> (2006).....	2
Figura 1.2	Mapa de localização do Granito Porquinho.....	3
Figura 1.3	Mapa geológico do Domínio Tapajós. Modificado de Vasquez & Rosa-Costa (2008).....	5
Figure 2.1	Geological map of the Tapajós Domain. Modified from Vasquez & Rosa-Costa (2008).....	30
Figure 2.2	Geological map of the Porquinho Granite. Modified from Prazeres <i>et al.</i> (1977).....	31
Figure 2.3	Q-A-P and Q-(A+P)-M diagrams (Le Maitre <i>et al.</i> 2002) for the Porquinho Granite rocks.....	32
Figure 2.4	Mineralogical and textural aspects of the Porquinho Granite varieties. (A, B, C) Biotite alkali feldspar granite: (A) General microscopic aspect; (B) Biotite (Bt) crystals associated with fluorite (Fl) and zircon (Zrn); (C) Swapped-rims of intergranular albite (Ab) formed along the contact of perthitic alkali feldspars. (D, E, F): Amphibole alkali feldspar granite: (D, E) General microscopic aspect, evidencing granophyric and porphyritic textures, respectively; (F) Amphibole (Am) associated with zircon and secondary biotite (Bt <sub>2</sub> ). (G, H) Greisenized rocks. (G) Muscovite (Ms) and topaz (Toz) crystals in xenomorphic texture; (H) Opaque mineral (Op) with skeletal texture..	37
Figure 2.5	Different habits of the amphiboles of the AAFG. Calcic amphiboles: (A) Cluster of crystals of amphibole with inclusions of alkali feldspar (Afs), zircon (Zrn) and opaque minerals; (B) Interstitial amphiboles with inclusions of apatite (Ap) and opaque minerals; (C) Amphiboles enclosing a crystal of quartz; Sodic-calcic amphiboles: (D) Single crystal of amphibole with inclusions of alkali feldspar (Afs); (E) Aggregate of amphiboles in the matrix of the rock; (F) Single crystal of amphibole. Abbreviations: Hs=ferro-hastingsite; Ed=ferro-edenite; Act=ferro-actinolite; Ktp=ferro-ferri-katophorite; Rit=ferro-richterite.	40

Figure 2.6	Chemical variation of the amphiboles of the AAFG. (A) Variation of calcic species of amphibole in a single crystal; (B) Sodic-calcic amphibole (ferro-winchite) replacing calcic amphibole (ferro-ferri-hornblende); (C) Variation of calcic-sodic species of amphibole in the same crystal; (D, E) Sodic amphibole (riebeckite) replacing sodic-calcic amphibole species (ferro-ferri-katophorite, ferro-winchite).....	41
Figure 2.7	Diagrams showing different classifications for amphiboles from Porquinho Granite rocks. (A) Ca <sup>B</sup> vs. Na <sup>B</sup> (Vilalva 2007); (B) F vs. MgO (Pe-Piper 2007); (C) Si <sup>IV</sup> vs. Ca <sup>T</sup> +Na <sup>T</sup> +K <sup>A</sup> (Czamanske & Wones 1973).....	42
Figure 2.8	Diagrams used to classify and discriminate biotites from Porquinho Granite rocks. (A) Fe/(Fe+Mg) vs Al <sup>IV</sup> diagram (Deer <i>et al.</i> 1992); (B) TiO <sub>2</sub> -FeO+MnO-MgO (wt.%; Nachit 1986). A = primary biotites (brown); B = reequilibrated primary biotites (brown/green); C = secondary biotites (green); (C) Mg vs Al <sub>i</sub> diagram (Nachit <i>et al.</i> 1985); (D) MgO vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Abdel-Rahman 1994, 1996). A = alkaline anorogenic suites; C = calcic-alkaline orogenic suites; P = peraluminous suites (including S-type).....	44
Figure 2.9	Harker diagrams for selected major and minor elements of the Porquinho Granite. EG = Europa Granite; MIS = Maloquinha Intrusive Suite; VGIS = Velho Guilherme Intrusive Suite; AAFG = Amphibole alkali feldspar granite; BAFG = Biotite alkali feldspar granite; PG = Porquinho Granite. Fields for Maloquinha Intrusive Suite (orange full line; Lamarão <i>et al.</i> 2002, Semblano <i>et al.</i> 2016), Velho Guilherme Intrusive Suite (purple full line; Teixeira1999) and Europa alkali feldspar granite (red dashed line; Prado <i>et al.</i> 2007) are shown for comparison.....	48

- Figure 2.10 Geochemical plots showing the distribution of the samples of the Porquinho Granite. (A) A/NK vs. A/CNK diagram (Shand 1951); (B) R1-R2 diagram (De La Roche *et al.* 1980); (C) SiO<sub>2</sub> vs. FeO<sub>t</sub>/(FeO<sub>t</sub>+MgO) (Frost *et al.* 2001). AAFG: Amphibole alkali feldspar granite; BAFG: Biotite alkali feldspar granite. Fields for Maloquinha Intrusive Suite (Lamarão *et al.* 2002, Semblano *et al.* 2016), Velho Guilherme Intrusive Suite (Teixeira. 1999) and Europa alkali feldspar granite (Prado *et al.* 2007) are shown for comparison... 49
- Figure 2.11 Harker diagrams for selected trace elements of Porquinho Granite and fields for comparative granitic rocks. EG = Europa Granite; MIS = Maloquinha Intrusive Suite; VGIS = Velho Guilherme Intrusive Suite; AAFG = Amphibole alkali feldspar granite; BAFG = Biotite alkali feldspar granite; PG = Porquinho Granite. Fields for Maloquinha Intrusive Suite (orange full line; Lamarão *et al.* 2002, Semblano *et al.* 2016), Velho Guilherme Intrusive Suite (purple full line; Teixeira 1999) and Europa alkali feldspar granite (red dashed line; Prado *et al.* 2007) are shown for comparison..... 50
- Figure 2.12 Chondrite normalized (Evensen *et al.* 1978) REE patterns for Porquinho and Europa Granites, and Velho Guilherme and Maloquinha Intrusive Suites. EG = Europa Granite; MIS = Maloquinha Intrusive Suite; VGIS = Velho Guilherme Intrusive Suite; AAFG = Amphibole alkali feldspar granite; BAFG = Biotite alkali feldspar granite; PG = Porquinho Granite. Fields for Maloquinha Intrusive Suite (orange full line; Lamarão *et al.* 2002, Semblano *et al.* 2016), Velho Guilherme Intrusive Suite (purple dashed line; Teixeira 1999) and Europa alkali feldspar granite (red dashed line; Prado *et al.* 2007) are shown for comparison..... 51

- Figure 2.13      Diagrams presenting typology and tectonic ambience for the samples of Porquinho Granite. (A)  $(Zr + Nb + Y + Ce)$  vs.  $FeO/MgO$  (Whalen *et al.* 1987); (B) Nb-Y-Ga (Eby1992); (C)  $Y + Nb$  vs. Rb (Pearce 1996). AAFG: Amphibole alkali feldspar granite; BAFG: Biotite alkali feldspar granite. Fields for Maloquinha Intrusive Suite (Lamarão *et al.* 2002, Semblano *et al.* 2016), Velho Guilherme Intrusive Suite (Teixeira. 1999) and Europa alkali feldspar granite (Prado *et al.* 2007) are shown for comparison..... 52
- Figure 2.14      Geochemical plots showing typology and its relations with oxidations state, and possible mineralization of the samples of the Porquinho Granite. (A)  $Al_2O_3$  vs.  $CaO/(FeO_t + MgO + TiO_2)$  and (B)  $Al_2O_3$  vs.  $FeO_t/(FeO_t+ MgO)$  (Dall’Agnol & Oliveira 2007): (C) Rb/Sr vs. Sr (Lehmann & Mahawat, 1989); (D) Rb-Ba-Sr (El-Bouseily & El-Sokkary 1975). Fields: 5) diorite; 4) granodiorite and quartz-diorite; 3) anomalous granites; 2) normal granites and 1) extremely differentiated granites. EG = Europa Granite; MIS = Maloquinha Intrusive Suite; VGIS = Velho Guilherme Intrusive Suite; AAFG = Amphibole alkali feldspar granite; BAFG = Biotite alkali feldspar granite; PG = Porquinho Granite. Fields for Maloquinha Intrusive Suite (orange full line; Lamarão *et al.* 2002, Semblano *et al.* 2016), Velho Guilherme Intrusive Suite (purple full line; Teixeira 1999) and Europa alkali feldspar granite (red dashed line; Prado *et al.* 2007) are shown for comparison..... 53

## LISTA DE TABELAS

Table 2.1	Modal compositions of the Porquinho Granite.....	33
Table 2.2	Representative WDS analysis (wt.%) and structural formulae (cpfu) for amphiboles of the Amphibole alkali feldspar granite of the Porquinho Granite.....	43
Table 2.3	Representative WDS analysis (wt.%) and structural formulae (cpfu) for biotites of the Biotite alkali feldspar granite of the Porquinho Granite.....	45
Table 2.4	Chemical composition of the Porquinho Granite.....	47
Table 2.5	Isotopic data of Pb obtained by evaporation in zircon crystals of the Biotite alkali feldspar granite of Porquinho Granite.....	55
Table 2.6	General comparison among Porquinho Granite and other A-type granites of the Amazonian Craton.....	60

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>v</b>
<b>EPÍGRAFE</b> .....	<b>vi</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA .....	2
1.3 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	3
1.3.1 Evolução Geotectônica e Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico.....	3
1.3.2 Província Tapajós-Parima.....	4
1.3.3 Domínio Tapajós .....	5
1.4 PROBLEMÁTICA .....	22
1.5 OBJETIVOS .....	22
1.6 MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
1.6.1 Pesquisa Bibliográfica .....	23
1.6.2 Petrografia .....	23
1.6.3 Química Mineral.....	24
1.6.3.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....	24
1.6.3.2 Microsonda Eletrônica (ME) .....	24
1.6.3.3 Objetivos.....	25
1.6.4 Geoquímica.....	25
1.6.5 Geocronologia .....	25
<b>2 ARTIGO: PORQUINHO GRANITE, TAPAJÓS DOMAIN: AN EXAMPLE OF ALKALINE-PERALKALINE MAGMATISM AND METALLOGENETIC CONSIDERATIONS</b> .....	<b>26</b>
2.1 ABSTRACT .....	27
2.2 INTRODUCTION .....	27
2.3 GEOLOGY OF THE TAPAJÓS DOMAIN .....	28

2.4 PORQUINHO GRANITE .....	32
2.4.1 Petrography.....	32
2.4.1.1 Modal composition and petrographic classification.....	32
2.4.1.2 Biotite alkali feldspar granites (BAFG) .....	34
2.4.1.3 Amphibole alkali feldspar granites (AAFG) .....	34
2.4.1.4 Greisenized rocks .....	36
2.4.2 Mineral chemistry.....	38
2.4.2.1 Analytical procedures .....	38
2.4.2.2 Amphibole .....	38
2.4.2.3 Biotite .....	44
2.4.3 Whole-rock geochemistry .....	45
2.4.3.1 Analytical procedures .....	45
2.4.3.2 Major and minor elements.....	46
2.4.3.3 Trace elements.....	49
2.4.3.4 Rare Earth Elements .....	50
2.4.3.5 Tectonic setting and typology .....	51
2.4.4 Geochronology .....	53
2.4.4.1 Analytical procedures .....	53
2.4.4.2 Pb-Pb geochronology .....	54
2.5 DISCUSSION.....	55
2.5.1 Granitoid typology and metallogenic considerations .....	55
2.5.2 Amphibole and biotite compositions.....	56
2.5.3 Geochronologic implications.....	56
2.5.4 Comparison with other A-type granites of the Amazonian Craton.....	58
2.6 CONCLUSIONS .....	61
REFERENCES .....	62
<b>3 CONCLUSÕES.....</b>	<b>69</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>71</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

O Domínio Tapajós (DT) há muito chama atenção de pesquisadores e empresas por sua grande abundância em metais nobres, especialmente o ouro. Localizado na Província Geocronológica Ventuari-Tapajós de Tassinari & Macambira (2004) ou na Província Tapajós-Parima de Santos *et al.* (2001, 2004) (Figura 1.1), no Cráton Amazônico, o Domínio Tapajós aflora nas porções sudoeste do Estado do Pará e sudeste do Estado do Amazonas. Nestas regiões, ocorrem rochas vulcânicas e plutônicas paleo e mesoproterozoicas recobertas por rochas sedimentares fanerozoicas da Bacia do Alto Tapajós, mesozoicas da Formação Alter do Chão (Bacia do Amazonas), coberturas detríticas e lateríticas terciárias, e aluvionares quaternárias (Klein *et al.* 2001).

O Granito Porquinho (GP), objeto de estudo deste trabalho, é representado por um batólito subcircular de cerca de 10 x 15 km<sup>2</sup> que aflora na forma de morrotes destacados da topografia plana das rochas encaixantes da Formação Aruri (Grupo Iriri) e da Formação Buiúçu. É constituído por rochas alcalinas a peralcalinas com mineralização em estanho (Sn) associada às rochas greisenizadas (Prazeres *et al.* 1979, Bahia & Quadros 2000). A presença dos minerais riebeckita e hastingsita, anfibólios ricos em Na, neste granito torna-o diferente, do ponto de vista composicional, das rochas subalcalinas da Suíte Intrusiva Maloquinha (SIM, Bahia & Quadros 2000), com idades em torno de 1,88 Ga (Santos *et al.* 2000, Vasquez & Klein 2000, Lamarão *et al.* 2002), dominantes no DT.

Apesar destas peculiaridades, o GP é ainda pouco conhecido. Seus primeiros estudos remontam ao final da década de 1970 (Pessoa *et al.* 1977, Prazeres *et al.* 1979), quando foi descrito pela primeira vez, e objetivaram caracterizá-lo petrográfica e geoquimicamente. Após este momento, novos dados somente foram produzidos por Santos *et al.* (2004) e Silva (2010); aqueles estabelecendo a primeira idade de cristalização para o GP e, esta trazendo um estudo de caracterização básica com novos dados petrográficos, geoquímicos e geocronológicos. Mesmo assim, os dados obtidos por estes autores chegam a conclusões conflitantes, com diferentes idades de cristalização para o corpo e a possível correlação entre o GP e a Suíte Vulcano-Plutônica Teles Pires (SVPTP), sugerida por Santos *et al.* (2004), mostrada como improvável por Silva (2010).

Esta dissertação foi estruturada em três capítulos. O Capítulo 1 é introdutório e contém informações sobre o contexto geológico em que o GP está incluído, os objetivos, a problemática da pesquisa e as metodologias aplicadas para obtenção dos resultados. O Capítulo 2 trata dos



resultados obtidos, discutidos e organizados na forma de um artigo científico intitulado *Porquinho Granite, Tapajós Domain: example of alkaline-peralkaline magmatism and metallogenetic considerations*, submetido ao *Brazilian Journal of Geology*. Por fim, o Capítulo 3 apresenta as conclusões do trabalho.

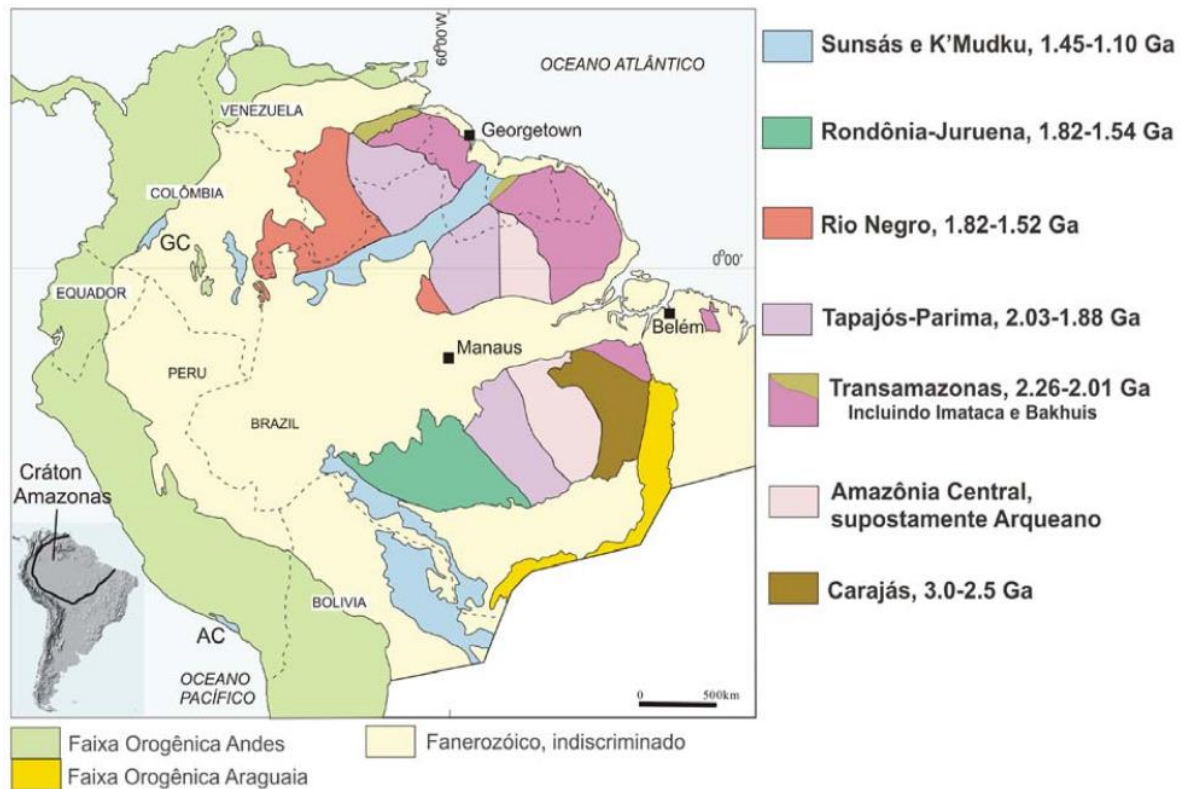


Figura 1.1. Cráton Amazônico e províncias geocronológicas. Fonte: Santos *et al.* (2006).

## 1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

O GP está situado na porção nordeste do DT, leste da Folha Caracol (SB.21-X-C), arredores do município de Trairão (PA), no interflúvio dos Rios Aruri Grande e Branco, e é cortado pelo Igarapé Caboclo (Bahia & Quadros 2000; Figura 1.2). O acesso à área é feito por via aérea até o município de Itaituba de onde se segue pela BR-163 até Trairão, e então por via fluvial.

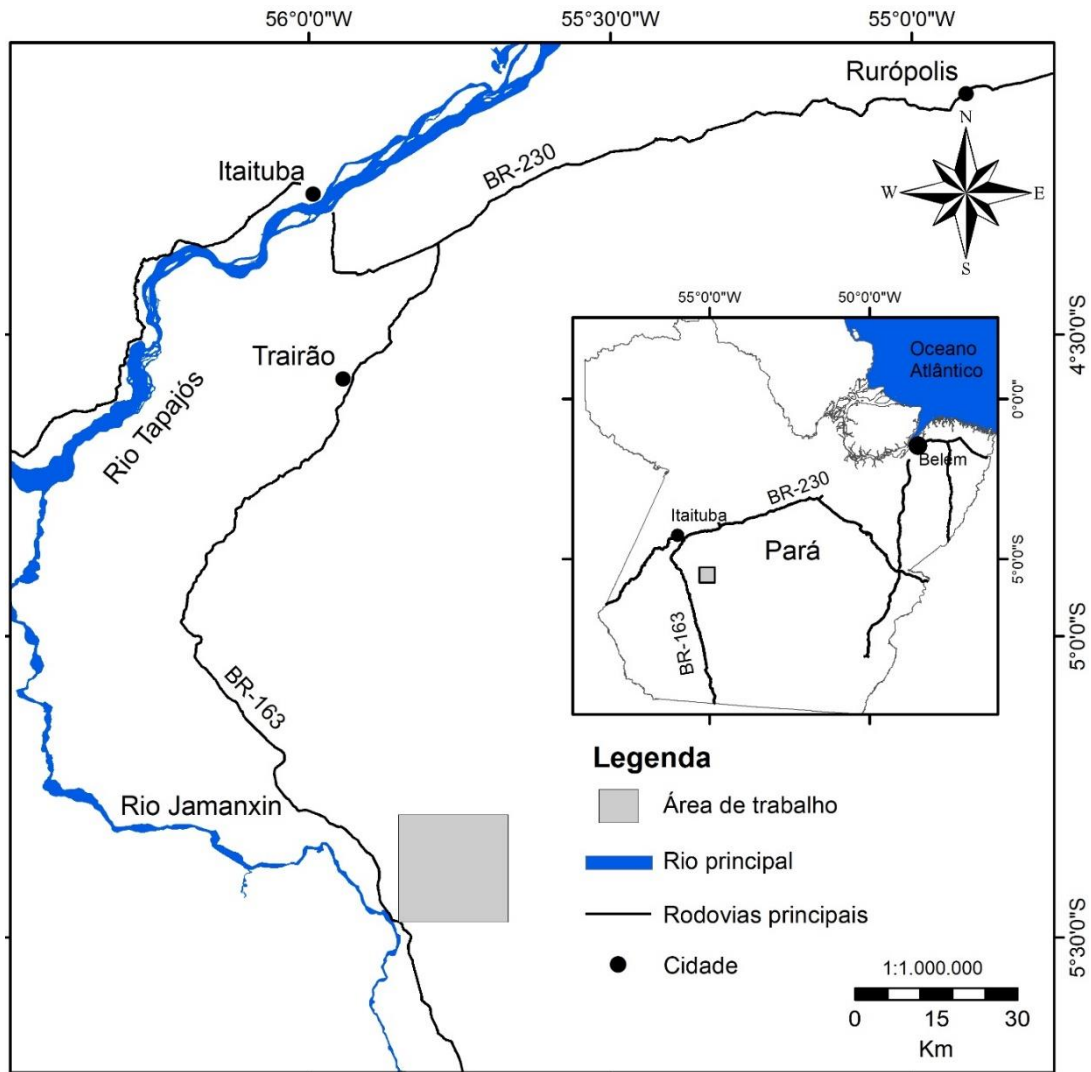


Figura 1.2. Mapa de localização do Granito Porquinho.

### 1.3 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

#### 1.3.1 Evolução Geotectônica e Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico

O Cráton Amazônico (CA) está localizado na porção norte da América do Sul, ocupando regiões de Brasil, Guiana Francesa, Guiana, Suriname, Venezuela, Colômbia e Bolívia, e representa uma das maiores áreas pré-cambrianas do mundo, com aproximadamente 4.500.000 km<sup>2</sup>. Está inserido na Plataforma Sul-Americana e é formado pelos Escudos Pré-Cambrianos Brasil Central ou Guaporé, a norte das bacias fanerozoicas Solimões e Amazonas, e das Guianas, a sul destas (Almeida & Hasui 1984, Tassinari & Macambira 2004). Seus limites leste, sul e sudeste são feitos por rochas geradas durante o Ciclo Orogênico Brasileiro, respectivamente, Grupo Baixo Araguaia, e Grupos Alto Paraguai, Cuiabá e Corumbá; oeste,

pela Cadeia Andina, e noroeste e sudoeste, por bacias subandinas (Vasquez 2006, Coutinho 2008, Vasquez & Rosa-Costa 2008).

A primeira divisão do CA foi feita por Amaral (1974), que o separou em três províncias cratônicas: oriental, central e ocidental. A partir de então, outros autores propuseram modelos de compartimentação tectônica para esta unidade (Hasui *et al.* 1984, Teixeira *et al.* 1989, Tassinari 1996, Tassinari & Macambira 1999, 2004, Santos *et al.* 2000, 2004, 2006), dentre os quais destacam-se dois na literatura atual, o de Santos (2003) e o de Tassinari & Macambira (2004). De modo geral, estes dois modelos admitem que a evolução do CA seja resultado de sucessivos episódios de acreção crustal durante o Paleo e o Mesoproterozoico ao redor de um núcleo mais antigo que foi estabilizado no final do Arqueano, entretanto, divergem quanto aos limites de ocorrência e de idade limite de cada província tectônica.

O modelo adotado nesta pesquisa foi o de Santos (2003), que divide o CA em sete províncias geocronológicas ou tectônicas: 1) Carajás (3.000 – 2.500 Ma); 2) Transamazonas (2.260 – 1.990 Ma); 3) Tapajós-Parima (2.030 – 1.860 Ma); 4) Amazônia-Central (1.900 – 1.860 Ma); 5) Rondônia – Juruena (1.850 – 1.540 Ma); 6) Rio Negro (1.820 – 1.520 Ma); e 7) Sunsás (1.450 – 1.000 Ma). Cada província geocronológica/tectônica é ainda compartimentada em domínios tectônicos, com base em padrões geocronológicos, estruturais, geofísicos e litológicos, resultando em evoluções geológicas distintas entre os domínios. A Província Tapajós-Parima foi organizada em quatro domínios, Parima e Uaimiri, ao norte da Bacia do Amazonas, e Tapajós e Alta Floresta, ao sul desta bacia.

### **1.3.2 Província Tapajós-Parima**

Inicialmente incluída por Amaral (1974) na Província Amazônia Central (Arqueano), a região do Tapajós foi individualizada por Tassinari (1996) como Província Ventuari-Tapajós, constituída por um arco magmático formado entre 1,90 e 1,80 Ma. Santos *et al.* (2000) redefiniram-na como Província Tapajós-Parima e também seus limites espacial e temporal, posicionando-a entre 2,10 e 1,87 Ga; e Santos *et al.* (2001) dividiram a província em quatro domínios, Parima e Uaimiri, ao norte da Bacia do Amazonas, e Tapajós e Alta Floresta, ao sul desta bacia. Santos *et al.* (2001, 2004) admitem que a evolução desta província é caracterizada por sucessivos arcos de ilha e magmáticos acrescentados à borda de um continente.

### 1.3.3 Domínio Tapajós

O Domínio Tapajós (DT) compreende um segmento meridional da Província Tapajós-Parima, limitado a leste pelo Domínio Iriri-Xingu e recoberto a norte pela Bacia do Amazonas e a sul pela Bacia Alto Tapajós, ambas fanerozoicas (Figura 1.3).

Dois modelos principais discutem a evolução desta região. O de Santos *et al.* (2000, 2001, 2004) advoga a acreção de cinco sucessivos arcos magmáticos entre 2.050 e 1.880 Ma, seguido por magmatismo pós-colisional entre 1.870 e 1.760 Ma, enquanto o de Vasquez *et al.* (2002) defende a existência de um único arco magmático Orosiriano (Arco Cuiú-Cuiú, <2,0 Ga) que teria colidido contra um núcleo cratônico a leste (Província Amazônia Central), seguindo com a geração de sucessivos pulsos magmáticos pós-colisionais que se estenderam ao estágio pós-orogênico e com a implantação de riftes continentais há cerca de 1,88 Ga.

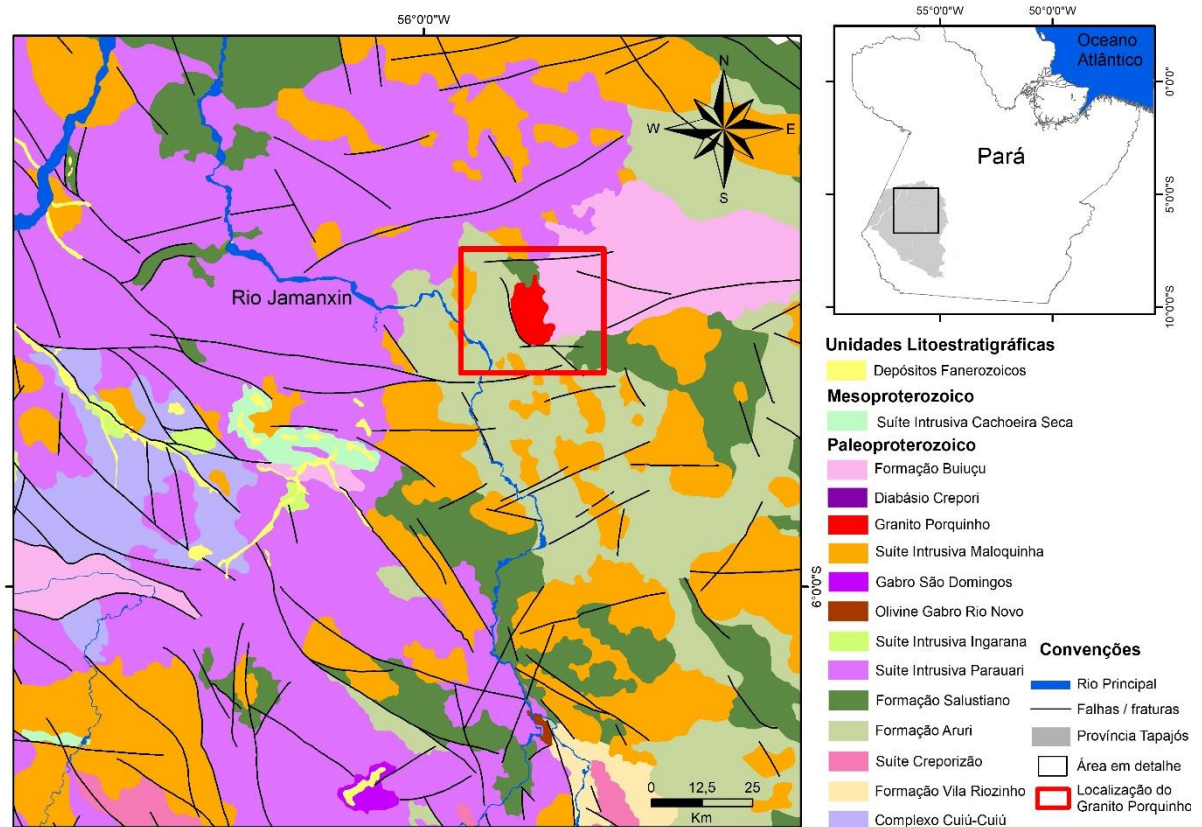


Figura 1.3. Mapa geológico do Domínio Tapajós. Modificado de Vasquez & Rosa-Costa (2008).

Vasquez & Rosa-Costa (2008) adotaram o modelo de Vasquez *et al.* (2002) por entenderem que faltam dados que comprovem a existência de diversos arcos magmáticos. Assim, o DT seria formado por um único arco magmático com expressivo magmatismo pós-

colisional associado, com formação posterior de riftes continentais paleoproterozoicos em eventos extensionais (tafrogênese).

Neste contexto, no DT ocorrem, segundo Vasquez & Rosa-Costa (2008), associações tectônicas de um orógeno Orosiriano formado pela colisão de um arco de ilha (Arco Cuiú-Cuiú) a um continente durante a Orogênese Cuiú-Cuiú. Pulsos magmáticos pós-colisionais são agrupados em associações tardi a pós-orogênicas e são distintas das associações relacionadas à implantação dos tafrógenos do final do Orosiriano e início do Estateriano.

As unidades mais antigas do DT e que representam o arco Cuiú-Cuiú são o Grupo Jacareacanga e o Complexo Cuiú-Cuiú; o primeiro composto por uma sequência turbidítica intercalada com basaltos de fundo oceânico, relacionada a bacias de retro-arco e fossa oceânica depositada entre 2,1 e 2,01 Ga (Santos *et al.* 2001, 2004, Santos 2003); enquanto o segundo é composto por ortognaisses e granitoides com idades entre  $2.033 \pm 7$  e  $2.005 \pm 7$  Ma (U-Pb em zircão, Santos *et al.* 2001) representando granitoides de arco de ilha. A Formação Castelo dos Sonhos é constituída por rochas metassedimentares, apresenta populações de zircão detrítico entre 3.318 e 2.088 Ma (U-Pb LA-ICP-MS, Klein *et al.* 2014) e intervalo de sedimentação entre 2.011 e 2.088 Ma (Queiroz *et al.* 2015) e é interpretada como parte de uma bacia de antepaís ligada a um orógeno transamazônico (Vasquez & Rosa-Costa 2008). As rochas extrusivas da Formação Comandante Arara, de idades entre  $2.020 \pm 12$  Ma e  $2.012 \pm 2$  Ma (Pb-Pb em zircão detrítico, Vasquez *et al.* 2013) e agrupadas nos Membros Lora (andesitos a dacitos) e Manual (rochas piroclásticas e epiclásticas), são consideradas como equivalentes extrusivos do Complexo Cuiú-Cuiú.

Zonas de cisalhamento transcorrentes NW-SE, principal estruturação do DT, instalaram-se após a colisão do Arco Cuiú-Cuiú com um continente, onde os granitoides de 1,99 a 1,96 Ga (Vasquez & Klein 2000, Pb-Pb em zircão) da Suíte Intrusiva Creporizão intrudiram.

A diferença de 50 Ma entre o fim da orogênese Cuiú-Cuiú e as rochas da Suíte Intrusiva Tropas ( $1.892 \pm 6$  a  $1.896 \pm 5$  Ma, U-Pb SHRIMP em zircão, Sato & Tassinari 1997) e Parauari ( $1.883 \pm 8$  Ma, Pb-Pb em zircão, Brito *et al.* 1999), está relacionada, segundo Vasquez & Rosa-Costa (2008), a uma evolução pós-colisional tardia em relação à orogênese Cuiú-Cuiú. Para as rochas gabroicas de 1.887 a 1.878 Ma (Vasquez & Klein 2000, Santos *et al.* 2001) da Suíte Intrusiva Ingarana, do Anortosito Jutai, do Olivina Gabro Rio Novo, do Quartzo-monzogabro Igarapé Jenipapo e dos gabros Serra Comprida e São Domingos, Vasquez & Rosa-Costa (2008) admitem a atuação de processo de *underplating*, com mistura de fontes mantélicas paleoproterozoicas e pouca participação de crosta continental.

Na transição da fase orogênica para a pós-orogênica, ocorre a Suíte Intrusiva Maloquinha, constituída por granitos alcalinos (tipo-A) com idades variando de  $1.882 \pm 4$  a  $1.864 \pm 18$  Ma (Vasquez *et al.* 1999, Santos *et al.* 2000, respectivamente), além do Granito Carochal (Klein *et al.* 2001). Junto com este plutonismo, está o extenso vulcanismo ácido a intermediário agrupado no Grupo Iriri do Supergrupo Uatumã (Melo *et al.* 1978). Os Granitos Porquinho e Pepita, similares à Suíte Intrusiva Maloquinha, ocorrem de forma tardia a este magmatismo e possivelmente relacionam-se, de modo temporal, aos andesitos Joel-Mamoal e aos lamprófios Jamanxim (Klein *et al.* 2001). De acordo com Vasquez & Rosa-Costa (2008), estes dois eventos magmáticos possivelmente representam estágios diferentes da implantação dos riftes continentais do final do Paleoproterozoico, com o primeiro deles estando associado ao início da formação dos riftes e o segundo, a um estágio mais evoluído da tafrogênese.

A estabilização do DT, no final do Ciclo Transamazônico, é marcada por coberturas sedimentares continentais confinadas a grabens e agrupadas na Formação Buiuçu (Bacia do Alto Tapajós), por vezes recortadas por rochas da unidade Diabásio Crepori (1.780 Ma, U-Pb SHRIMP em badeleíta, Moura *et al.* 1999).

O Mesoproterozoico é marcado pelo evento tectônico K'Mudku e pelo magmatismo básico troctolítico da Suíte Intrusiva Cachoeira Seca ( $1.186 \pm 12$  Ma, U-Pb SHRIMP em badeleíta, Santos *et al.* 2002;  $1.046 \pm 27$  Ma, K-Ar em rocha total, Pessoa *et al.* 1977). No Fanerozoico, o Grupo Jatuarana e as formações Monte Alegre e Ipixuna marcam a sedimentação paleozoica na Bacia do Alto Tapajós, enquanto a sedimentação mesozoica na Bacia do Amazonas é representada pela Formação Alter do Chão. Ambas as bacias são cortadas por diques básicos cambrianos (514 Ma) e jurássicos (180 Ma). Recobrimo as unidades mais antigas ocorrem as coberturas detríticas e lateríticas terciárias e aluvionares quaternárias, que completam o quadro geológico da Província Tapajós (Klein *et al.* 2001).

As principais unidades do DT são descritas a seguir, baseando-se principalmente em Juliani (2002), Santos *et al.* (2000, 2001, 2004), Vasquez *et al.* (2002) e Vasquez & Rosa-Costa (2008).

#### Formação Castelo dos Sonhos

A Formação Castelo dos Sonhos localiza-se na porção limítrofe ao Domínio Iriri-Xingu, onde esteve inserida até Vasquez *et al.* (2014), quando, então, passou a pertencer ao DT. De acordo com Yokoi *et al.* (2001), esta unidade corresponde a uma sequência metassedimentar constituída por metaquartzoarenitos e metaconglomerados, localmente milonitizados, que foi

intrudida por rochas félsicas e máficas hipoabissais, e granitoides e rochas vulcânicas (Queiroz *et al.* 2015, em furos de sondagem). Alkmim (2011) interpretou-a como depósitos distais (metaquartzoarenitos) e proximais (metaconglomerados) de um complexo aluvial em que predominaram rios entrelaçados associados a leques aluviais.

Santos (2003) obteve para esta formação idades entre 3.105 e 2.083 Ma (U-Pb SHRIMP em zircões detríticos) e Klein *et al.* (2014), entre 3.318 e 2.088 Ma (U-Pb LA-ICP-MS em zircões detríticos). A partir da datação de 2.011 Ma de um granitoide intrudido na Formação Castelo dos Sonhos, Queiroz (2015) determinou que sua sedimentação ocorreu entre 2.011 e 2.088 Ma.

Tectonicamente, esta unidade vem sendo considerada como remanescente de uma bacia de antepaís relacionada a um orógeno transamazônico (Vasquez & Rosa-Costa 2008).

#### Grupo Jacareacanga

Designado por Ferreira *et al.* (2000) como Grupo Jacareacanga em substituição ao termo Suíte Metamórfica Jacareacanga de Melo *et al.* (1980), esta unidade foi organizada em três associações de rochas por Santos *et al.* (2004). A primeira, e dominante, é constituída por uma sequência turbidítica superior metamorfizada em condições de fácies xisto verde (Xisto Sai-Cinza) formada por sericita xisto, sericita quartzito e filito. A segunda é composta por rochas sedimentares químicas metamorfizadas intercaladas aos turbiditos, composta por *cherts* e camadas de formação ferrífera bandada. A terceira apresenta basaltos oceânicos metamorfizados (actinolita e clorita xistos), interpretados como a sequência basal.

Em relação ao metamorfismo, Melo *et al.* (1980) afirmam que os xistos máficos atingiram condições de fácies xisto verde a epidoto-anfibolito, enquanto Ferreira (2000a, b) consideram condições de anquimetamorfismo para metagrauvas e metargilitos.

Santos *et al.* (2000) obtiveram idades U-Pb em zircões detríticos do Metaturbidito Sai-Cinza de cerca de 2,1 Ga e 2,87 Ga. A primeira foi interpretada como relacionada a magmatismo basáltico a andesítico primitivo desenvolvido nos estágios anteriores de rifteamento e subsidência da crosta oceânica onde as rochas desta unidade foram depositadas, enquanto a segunda poderia ter sido derivada a partir de uma crosta continental arqueana a leste (Província Amazônia Central).

Apesar de ser considerada a unidade mais antiga deste domínio, as relações de campo com o Complexo Cuiú-Cuiú não são claras, uma vez que xenólitos do Grupo Jacareacanga não foram detectados nos granitoides Cuiú-Cuiú.

## Complexo Cuiú-Cuiú

Juntamente com o Grupo Jacareacanga, o Complexo Cuiú-Cuiú é considerado o embasamento do Domínio Tapajós. É composto por ortognaisses tonalíticos e granodioritos bandados e porfiroclásticos, com monzogranitos, quartzo-dioritos, quartzo-monzodioritos e dioritos associados, que sofreram metamorfismo de alto grau, tendo alcançado a fácies anfibolito superior (Almeida *et al.* 2000). Estas rochas estão dispostas de forma concordante ao *trend* regional NW-SE e exibem assinatura cálcio-alcalina típica de arcos magmáticos relacionados à subducção de placa oceânica e diversas mineralizações em ouro (Vasquez *et al.* 2002, Vasquez & Rosa-Costa 2008, Santos *et al.* 2004).

Santos *et al.* (2000, 2001) dataram pelo método U-Pb em zircão ortognaisses e granitoides do Complexo Cuiú-Cuiú e obtiveram idades que variam entre  $2.033 \pm 7$  a  $2.005 \pm 7$  Ma, indicando que as rochas deste complexo são possivelmente mais jovens que as do Grupo Jacareacanga. Sato & Tassinari (1997) conseguiram valores de  $\epsilon_{\text{Nd}_{2,01\text{Ga}}}$  de +2,6 e +1,8 e  $T_{\text{DM}}$  de 2,09 e 2,16 Ga para tonalitos das proximidades da vila Creporizão, relacionados pelos autores ao Complexo Cuiú-Cuiú, revelando uma assinatura juvenil paleoproterozóica para estas rochas.

## Formação Comandante Arara

O termo Formação Comandante Arara foi proposto por Vasquez *et al.* (2013) para descrever dacitos porfiríticos de  $2.020 \pm 12$  Ma (Pb-Pb em zircão) e micromonzogranitos porfiríticos de  $2.012 \pm 2$  Ma (Pb-Pb em zircão) na região de Comandante Arara. A nova unidade foi ainda dividida em dois membros: Membro Lora, composto por derrames de andesitos a riodacitos, e Membro Manual, formado por rochas piroclásticas e epiclásticas. Vasquez *et al.* (2013) relacionaram temporalmente as rochas vulcânicas da Formação Comandante Arara aos granitoides do Complexo Cuiú-Cuiú, interpretando-as como equivalentes extrusivos destes.

## Formação Vila Riozinho

A Formação Vila Riozinho foi definida e proposta por Lamarão *et al.* (2002) como fluxos intermediários a félsicos, formados por andesitos basálticos, traquiandesitos basálticos, traquitos e riolitos que plotam ao longo do limite entre os campos alcalino e subalcalino.



Os andesitos e traquiandesitos basálticos são compostos por fenocristais de plagioclásio e clinopiroxênios zonados, anfibólios e biotitas tardios e grãos de minerais opacos e zircão em matriz microgranular ou pilotaxítica, com as fases máficas frequente e completamente alteradas para clorita, epidoto, actinolita, titanita e minerais opacos. Os traquitos apresentam foliação de fluxo e fenocristais de plagioclásio saussuritizados com álcali-feldspatos subordinados, biotita e pseudomorfos de anfibólios em matriz felsítica pobre em quartzo. Os riolitos, por fim, exibem fenocristais de plagioclásio sericitizado, álcali-feldspato e quartzo subordinado em matriz felsítica, às vezes granofírica, e biotita e pseudomorfos de anfibólio como principais fases máficas.

São rochas meta a levemente peraluminosas, plotam predominantemente no campo das rochas de arco vulcânico, apresentam afinidade cálcio-alcálica de alto-K a shoshonítica e caráter transicional entre as séries normais e de arco maduro. A datação pelo método Pb-Pb em zircão de duas amostras de traquitos por Lamarão *et al.* (2002) gerou as idades de  $1.998 \pm 3$  Ma e  $2.000 \pm 4$  Ma, interpretadas como idades de cristalização da sequência vulcânica Vila Riozinho. Lamarão *et al.* (2005) admitem duas hipóteses para explicar os valores de  $\epsilon_{\text{Nd}_{2,0 \text{ Ga}}}$  de -3,71 a -1,09 e idades modelo  $T_{\text{DM}}$  de 2.495 a 2.288 Ma. Na primeira, os dados sugerem gênese a partir da mistura de magma juvenil paleoproterozoico contaminado por assimilação de rochas arqueanas ou por interação com um magma derivado de fonte arqueana (corroborado pela presença de zircões herdados). Na outra, as rochas representariam a refusão de uma crosta sílica com cerca de 2,2 Ga a partir de *underplating* por magmas máficos.

### Suíte Intrusiva Creporizão

O termo Suíte Intrusiva Creporizão foi proposto por Ricci *et al.* (1999) para designar um abundante conjunto de corpos monzograníticos relacionados às zonas de cisalhamento transcorrentes NW-SE da província Tapajós cerca de 40 Ma mais jovem que o Complexo Cuiú-Cuiú e marcado pela presença de textura protomilonítica.

Esta suíte é composta por sienos e monzogranitos, granodioritos porfiroclásticos e inequigranulares granoblásticos com tonalitos e quartzo-monzodioritos subordinados cuja composição é cálcio-alcálica peraluminosa a metaluminosa, mais evoluída que a dos granitoides Cuiú-Cuiú (Vasquez *et al.* 2002, Vasquez & Rosa-Costa 2008). Segundo Vasquez & Klein (2000), as rochas desta unidade apresentam enclaves máficos microgranulares que estão relacionados à mistura de magma do tipo *mingling*, diques sinplutônicos e xenólitos de ortognaisses.

Santos *et al.* (2001) obtiveram idades que variam entre 1.980 e 1.957 Ma (U-Pb em zircão) e levaram estes autores a definirem um novo arco magmático, mais jovem que o arco de ilha Cuiú-Cuiú e mais antigo que o arco continental Parauari. Santos *et al.* (2001) também colocaram em xeque a presença de textura protomilonítica como característica distinta da Suíte Intrusiva Creporizão, uma vez que relacionaram rochas vulcânicas sem deformação ao Arco Creporizão.

Na porção leste do DT, Lamarão *et al.* (2002) obtiveram a idade de  $1.981 \pm 2$  e  $1.983 \pm 8$  Ma (Pb-Pb em zircão) para o Granito São Jorge Antigo, um plúton granítico com assinatura cálcio-alcálica de alto-K, e  $2.000 \pm 4$  e  $1.998 \pm 3$  Ma (Pb-Pb em zircão) para a Formação Vila Riozinho, descrita acima, respectivamente. Para Vasquez *et al.* (2002), estas duas unidades podem estar relacionadas ao magmatismo da suíte e seu padrão geoquímico pode ser interpretado como representando granitos tardios de ambiente colisional, enquanto para Santos *et al.* (2001), o Granito São Jorge Antigo e a Formação Vila Riozinho podem representar atividade magmática precoce durante a evolução do Arco Creporizão e a natureza cálcio-alcálica da Suíte Intrusiva Creporizão corroboraria esta interpretação. Dados de isótopos de Nd ( $\epsilon\text{Nd}_{1,98 \text{ Ga}}$  de -1,03 a -2,68 e  $T_{\text{DM}}$  de 2,41 a 2,26 Ga) obtidos por Lamarão *et al.* (2005) para o Granito São Jorge Antigo indicam que este corpo deriva de magmas paleoproterozoicos com sugestiva participação de crosta arqueana.

#### Suíte Intrusiva Tropas

Inicialmente inserida no Complexo Cuiú-Cuiú, as rochas desta unidade foram denominadas por Santos *et al.* (2001) como Suíte Tropas baseando-se na origem ígnea (e não metamórfica) das biotitas e nas idades mais jovens que as do complexo obtidas por eles ( $1.907 \pm 9$  e  $1.892 \pm 6$  Ma, U-Pb em zircão e titanita). Ferreira *et al.* (2004), após mapeamento, descreveram tonalitos, quartzo dioritos, granodioritos, monzogranitos, andesitos e basaltos, denominando-os então como Suíte Intrusiva Tropas. Santos *et al.* (2004) atribuíram assinatura cálcio-alcálica para estas rochas e interpretaram-na como relacionada a um ambiente de arco de ilha formado em torno de 1,9 Ga.

#### Suíte Intrusiva Parauari

Elevada à categoria de Suíte Intrusiva Parauari por Almeida *et al.* (2000), esta unidade é formada por batólitos e plútons de granitoides de formas irregulares, orientados segundo o *trend* regional NW-SE, constituídos por duas fácies petrográficas, uma granodiorítica e outra

granítica, com idade de cristalização entre  $1.883 \pm 4$  e  $1.879 \pm 11$  Ma (U-Pb em zircão, Santos *et al.* 2001; U-Pb em titanita, Santos *et al.* 2000, respectivamente).

A fácies granodiorítica é cinza, composta por granodioritos e monzogranitos, tonalitos e quartzo monzonitos subordinados, com granulação média e textura equi a inequigranular, e apresenta biotita e hornblenda como minerais máficos. Embora predominantemente isotrópicos, foliações protomiloníticas são observadas em locais afetados por zonas de cisalhamento NW-SE. Também hospedam enclaves microgranulares dioríticos a tonalíticos com feições de mistura de magma do tipo *mingling*. A fácies granítica é predominantemente monzo e sienogranítica, também com biotita e hornblenda, com presença de textura inequigranular média a grossa, porfirítica média e, localmente, *rapakivi*. Pontualmente exhibe uma leve orientação dos fenocristais, que demonstram o fluxo magmático, foliação protomilonítica é rara e feições que indiquem *mingling*, menos frequentes.

Apresenta afinidade cálcio-alcálica (Almeida *et al.* 2000, Vasquez *et al.* 2002) e os dados de isótopos de Nd dos granitos São Jorge Jovem e Jardim de Ouro sugerem interação de uma fonte juvenil com uma fonte crustal mais antiga (Lamarão *et al.* 2005).

Vasquez *et al.* (2002) admitem que a gênese dos granitoides desta suíte esteja relacionada ao estágio tardio de colisão do Arco Cuiú-Cuiú e que a assinatura cálcio-alcálica reflita o arco magmático de sua fonte, embora estejam associados a ambiente extensional. Por sua vez, Santos *et al.* (2004) atribuem esta assinatura a um arco magmático continental de 1.885 a 1.877 Ma.

### Suíte Intrusiva Ingarana

A Suíte Intrusiva Ingarana foi primeiramente descrita como Gabro Ingarana por Pessoa *et al.* (1977) para descrever intrusões gabroicas aflorantes nos igarapés Ingarana e Bom Jardim. Bahia & Quadros (2000) identificaram outros corpos correlatos e então elevaram a unidade à suíte.

É composta por augita-gabros, gabronoritos, leuconoritos, diabásios e microgabros, com monzonitos, dioritos e monzodioritos subordinados de formas irregulares, orientados segundo a direção E-W e NW-SE. São comumente inequigranulares médios a finos com cor que varia de cinza escura a esverdeada e exibem assinatura cálcio-alcálica de alto-K com enriquecimento em Al (Bahia & Quadros 2000).

Foram obtidas as idades de  $1.887 \pm 3$  Ma (Pb-Pb em zircão em leuconorito, Vasquez *et al.* 2000a) a  $1.880 \pm 7$  e  $1.881 \pm 11$  Ma (U-Pb em badeleíta, U-Pb em zircão, Santos *et al.* 2004)

para as rochas desta suíte, interpretadas como idade de cristalização; os dados isotópicos de Nd sugerem fonte juvenil paleoproterozoica com pequena contaminação crustal (Santos *et al.* 2000).

### Supergrupo Uatumã

Rodrigues (1875) foi um dos primeiros pesquisadores a individualizar rochas na região amazônica e o primeiro a descrever rochas consideradas hoje como do vulcanismo Uatumã, enquanto Albuquerque (1922) foi o primeiro autor a apresentar uma descrição detalhada para as rochas Uatumã, relatando rochas duras com aparência de ígneas no Rio Uatumã, além de corpos sieníticos nos Rios Jatapu, Trombetas, Erepecuru e Curuá, correlacionando-os ao corpo ígneo do Rio Uatumã.

Oliveira e Leonardos (1940) designaram o termo Série Uatumã para o conjunto que incluía rochas sedimentares de granulação fina e arenitos metamorfizados, além de felsito, xistos com sílex e sienitos no Rio Trombetas e arenitos vermelhos ou verdes dobrados no Rio Tocantins de idade pré-Siluriana. O termo “série” empregado por estes autores faz alusão à definição de Albuquerque (1922) e foi responsável por uma série de confusões, uma vez que admitiu uma natureza sedimentar para a unidade e permitiu a correlação de qualquer rocha pré-Siluriana na Amazônia com as rochas do rio Uatumã.

Barbosa (1966) foi o primeiro autor a utilizar o termo Grupo Uatumã para rochas vulcânicas andesíticas, tufos, lavas riódacíticas, diques de riolitos e ignimbritos no médio Tapajós e Silva *et al.* (1974) propôs a divisão do Grupo Uatumã em três unidades: Formação Iriri, Formação Sobreiro e Formação Rio Fresco. Pessoa *et al.* (1977) subdividiu o Grupo Uatumã nos Subgrupos Iriri e Carapuça; o primeiro incluía as Formações Aruri e Salustiano e uma Sequência Híbrida, enquanto o segundo, a Formação Maloquinha e Intrusivas Ácidas.

Autores como Ramgrab & Santos (1974) e Pessoa *et al.* (1977) foram os responsáveis por caracterizar e individualizar as unidades deste Grupo e, assim como Santos & Loguercio (1984), consideraram-no como formado por um evento magmático anorogênico que gerou rochas vulcânicas e plutônicas em diversas porções do Cráton Amazônico.

Melo *et al.* (1978) elevaram o Grupo Uatumã à categoria de Supergrupo por entenderem que a unidade é composta por suítes intrusivas e extrusivas heterogêneas. O Supergrupo Uatumã passou então a ser formado, segundo estes autores, pela Suíte Intrusiva Maloquinha e pelo Grupo Iriri; este, por sua vez, subdividido em Formação Bom Jardim, Formação Salustiano e Formação Aruri.

Santos *et al.* (2000) acrescentou ainda que o evento ocorreu entre 1.880 – 1.870 Ma e envolveu fusão parcial de uma fonte crustal arqueana, com as rochas geradas apresentando as principais características das rochas tipo-A, como altos conteúdos de F, Nb e Y, elementos terras raras com padrão em gaivota, magma de alta temperatura e colocação em nível crustal muito alto.

### ***Grupo Iriri***

Forman *et al.* (1972) foram os primeiros autores a utilizar o termo Formação Iriri para o conjunto de rochas riolíticas-riodacíticas associadas a ignimbritos aflorantes no Rio Iriri, afluente do rio Xingu. Silva *et al.* (1974), por sua vez, incluíram esta unidade no então Grupo Uatumã, enquanto Santos *et al.* (1975) retirou dela os granitos intrusivos, associando-os ao final do magmatismo Uatumã.

Pessoa *et al.* (1977) elevaram a Formação Iriri à categoria de Subgrupo do Grupo Uatumã e subdividiram-no em Formação Aruri (ignimbritos riolíticos, tufos riodacíticos, dacíticos, riolíticos, andesíticos e brechas vulcânicas), Formação Salustiano (dacitos, riocitos e riolitos) e Sequência Híbrida (arcóseos, tufos híbridos e arenitos líticos). Bahia *et al.* (1998a) incluíram a Sequência Híbrida na Formação Aruri, e Almeida *et al.* (2000) propuseram a exclusão da Formação Bom Jardim do Grupo Iriri devido ao caráter composicional intermediário desta formação, mas Juliani *et al.* (2005) consideram-na como unidade inferior do Grupo Iriri e geneticamente relacionada à evolução do arco magmático Parauari.

Dall’Agnol *et al.* (1999) descreveram faialita-hedembergita riolitos na região das cachoeiras Santa Helena e Urubuquara, no Rio Jamanxim. São rochas porfíricas com fenocristais de álcali-feldspato, quartzo, faialita e hedembergita em matriz felsítica cujas idades obtidas foram  $1.782 \pm 51$  Ma (Rb-Sr) e  $1.888 \pm 2$  Ma (Pb-Pb em zircão). Apesar de as idades assemelharem-se às idades obtidas para o Grupo Iriri, o conjunto estudado por estes autores não pertence à série cálcio-alcalina, demonstrando que há rochas de mais de uma série magmática no Grupo Iriri.

O mesmo é demonstrado por Lamarão *et al.* (2002) que, na região de Vila Riozinho, definiu duas sequências vulcânicas: uma composta por rochas cálcio-alcalinas alto-K a shoshoníticas de  $\sim 2,0$  Ga (Formação Vila Riozinho, descrita anteriormente) e outra com afinidade com rochas do tipo-A aluminoso geoquimicamente semelhante aos leucogranitos evoluídos de  $\sim 1,88$  Ga da Suíte Intrusiva Maloquinha (Formação Moraes Almeida, descrita a

seguir). Estes dois exemplos corroboram a ideia de que mais de um evento magmático está atualmente inserido no Grupo Iriri e que este precisa ser estudado com maior detalhe.

#### *Formação Bom Jardim*

A Formação Bom Jardim foi proposta por Almeida *et al.* (2000) para agrupar rochas vulcânicas e subvulcânicas intermediárias a máficas do Domínio Tapajós. Nesta unidade são descritos andesitos, com basaltos, traquitos e latitos subordinados com assinatura cálcio-alcalina de alto-K a shoshonítica. Nunes (2001) e Juliani *et al.* (2005) descreveram também hialoclastitos, hornblenda riodacitos e corpos de brechas hidrotermais em andesitos.

#### *Formação Salustiano*

A Formação Salustiano foi sugerida por Pessoa *et al.* (1977) para descrever derrames de riolitos, riodacitos, dacitos e latitos, pórfiros e porfiríticos, e ignimbritos e tufos diversos, comumente cortados por rochas da Suíte Intrusiva Maloquinha. São, em geral, isotrópicos, exibindo fenocristais e microfenocristais de álcali-feldspato, plagioclásio, quartzo, biotita e hornblenda em matriz afanítica ou microcristalina (Bahia & Quadros 2000, Juliani 2002, Vasquez & Rosa-Costa 2008).

Esta unidade é caracterizada por rochas cálcio-alcalinas de alto-K (Klein *et al.* 2001) e está hidrotermalizada em diferentes estilos, tipos e intensidades (Nunes 2001, Juliani *et al.* 2002).

#### *Formação Aruri*

Pessoa *et al.* (1977) foram os primeiros autores a propor e descrever sistematicamente a Formação Aruri. Segundo Vasquez & Rosa-Costa (2008), é constituída por ignimbritos, brechas vulcânicas, tufos félsicos, conglomerados, arenitos e siltitos vulcânicos. Bahia & Quadros (2000) identificaram estruturas primárias e microtexturas que indicam retrabalhamento, com mistura de material piroclástico e epiclástico por fluxo de massa em ambiente subaquoso que sugerem deposição em ambiente de lago continental nas proximidades de vulcões.

### *Formação Moraes Almeida*

A Formação Moraes Almeida foi proposta por Lamarão *et al.* (2002) para agrupar ignimbritos, com riolitos e traquitos subordinados aflorantes nos arredores da Vila Moraes Almeida.

Os ignimbritos são bastante oxidados, marrom-avermelhados e ricos em fragmentos de cristais de quartzo, álcali-feldspato e plagioclásio e fragmentos líticos centimétricos em matriz felsítica fina com bastantes fragmentos soldados, estirados e recristalizados. Os riolitos são ignimbríticos, marrons claros, predominantemente porfiríticos com fenocristais de quartzo, álcali-feldspato e raros plagioclásios em matriz felsítica. O traquito, por sua vez, é cinza com fenocristais de plagioclásio, quartzo, augita, Fe-hornblenda e raros álcali-feldspatos em matriz felsítica fina, às vezes granofírica.

Geoquimicamente, as rochas da Formação Moraes Almeida são muito semelhantes às da Suíte Intrusiva Maloquinha estudadas por Lamarão *et al.* (2002) e mostram anomalia negativa de Eu marcantes nos ignimbritos e riolitos, além de forte depleção em Ba, Nb, Sr, P e Ti.

A Formação Moraes Almeida apresentou idades Pb-Pb em zircão de  $1.890 \pm 6$  Ma em riolito,  $1881 \pm 4$  Ma em traquito e  $1.875 \pm 4$  Ma em ignimbrito, todas interpretadas como idade de cristalização. As idades modelo  $T_{DM(T)}$  entre 2.441 a 2.287 Ma obtidas por Lamarão *et al.* (2005) indicam que o magma original destas rochas não foi produzido por retrabalhamento ou refusão de crosta sílica arqueana, mas sim por fontes predominantemente paleoproterozoicas. Todavia, os valores de  $\epsilon_{Nd(T)}$  entre -3,05 e -1,98 excluem derivação a partir exclusivamente de fontes de manto primitivo.

### *Suíte Intrusiva Maloquinha*

A Suíte Intrusiva Maloquinha (SIM) foi descrita pela primeira vez por Santos *et al.* (1975) que utilizaram o termo Granito Maloquinha para referirem-se a corpos félsicos intrusivos circulares de caráter granítico subvulcânico, porfirítico e grosseiro com tendências “alásquíticas” na região de Porto Maloquinha. Pessoa *et al.* (1977), após individualizarem diversos corpos intrusivos com diferentes litologias (alásquitos, riolitos, biotita-granitos, granitos sódicos, granodioritos, etc.) em rochas pré-Uatumã, decidiram agrupá-los como Formação Maloquinha no Grupo Uatumã. Andrade *et al.* (1978), então, propuseram a

denominação Suíte Intrusiva Maloquinha em detrimento das outras terminologias para designar os diversos corpos graníticos plutônicos do magmatismo Uatumã.

Hoje, considera-se a SIM como *stocks* e batólitos circulares, elipsoidais a irregulares geralmente orientados segundo direções que variam de N-S a NW-SE e cortam as rochas do Complexo Cuiú-Cuiú, da Suíte Intrusiva Creporizão, do Grupo Iriri e da Suíte Intrusiva Parauari e são cortados pela Formação Bom Jardim. A SIM é composta por sienogranitos e álcali-feldspato-granitos, com monzogranitos subordinados e raros quartzo-sienitos e quartzo-monzonitos, vermelhos a rosados, leucocráticos, isotrópicos, equigranulares e de granulação média, embora variedades finas e grossas, inequigranulares e porfiríticas também sejam encontradas, e pode ser dividida em duas fácies petrográficas a partir do conteúdo de biotita e anfibólio (Almeida *et al.* 2000).

As rochas da fácies com biotita são compostas por sienogranitos leucocráticos, rosados com álcali-feldspato granitos e leucomonzogranitos subordinados, enquanto a fácies com anfibólio é formada por rochas cinza a avermelhadas classificadas como anfibólio-biotita-sienogranitos e monzogranitos com subordinados quartzo-sienitos e quartzo-monzonitos com anfibólio e biotita.

Geoquimicamente, a SIM apresenta afinidade alcalina (tipo-A), típica de ambiente extensional intracontinental (Lamarão *et al.* 2002, Vasquez *et al.* 2002) e idade de cristalização Pb-Pb em zircão de  $1.882 \pm 4$  Ma (Vasquez *et al.* 1999) e  $1.880 \pm 9$  Ma (Lamarão *et al.* 2002). Idades U-Pb em zircão entre  $1.877 \pm 12$  e  $1.864 \pm 18$  Ma (Santos *et al.* 2001) também foram identificadas, assim como populações de zircões herdados neoarqueanos e orosirianos.

Lamarão *et al.* (2005) obtiveram assinatura de Nd que indica a presença de fontes paleoproterozoicas na porção leste do DT, enquanto Santos *et al.* (2000) encontraram uma assinatura que mostra participação de crosta arqueana na origem destes corpos para alguns corpos graníticos correlatos, o que explicaria a presença de zircões herdados.

### Granito Pepita

O Granito Pepita é um batólito granítico elipsoidal orientado segundo a direção NNW-SSE caracterizado por álcali-feldspato-granitos hololeucocráticos de coloração rosa avermelhada a creme, equigranulares, de granulação média, com riebeckita e arfvedsonita ocorrendo como agregados de cristais anédricos esparsos.

Este granito foi retirado da Suíte Intrusiva Maloquinha por Almeida *et al.* (2000) devido à presença de anfibólios e piroxênios sódicos. Apresenta assinatura alcalina a subalcalina, de



ambiente intraplaca continental (Almeida *et al.* 2000), mas a ocorrência de granitos *hypersolvus* com anfibólitos sódicos atesta uma filiação alcalina (tipo-A). A idade de cristalização do granito Pepita é  $1.872 \pm 4$  Ma (U-Pb em zircão, Santos *et al.* 2004), semelhante a da Suíte Intrusiva Maloquinha.

#### Granito Caroyal

O Granito Caroyal, formado por sienogranitos a monzogranitos leucocráticos com biotita, vermelhos a cinza rosados, de textura equigranular grossa a porfirítica e isotrópicos, foi desmembrado da SIM devido a sua assinatura geoquímica (Almeida *et al.* 1999).

Este batólito orientado segundo a direção NW-SE apresenta assinatura cálcio-alcalina de alto-K e idades de  $1.870 \pm 4$  Ma (U-Pb SHRIMP em zircão, Santos *et al.* 2001) e 2,71 – 1,94 Ga, interpretadas como idade de cristalização e populações de zircões herdados, respectivamente.

#### Granito Porquinho

Prazeres *et al.* (1979) referiram-se ao batólito granítico elipsoidal com alta potencialidade para depósitos de estanho localizado entre os rios Branco e Aruri como Granito Porquinho e dividiram-no em duas fácies, uma contendo granitos com mica e outra com anfibólito.

A primeira é constituída por álcali-feldspato granitos (alasquitos) e biotita granitos/microgranitos com textura granular hipidiomórfica composta essencialmente por álcali-feldspato, albita e quartzo, tendo fluorita, zircão, apatita, allanita, minerais opacos, topázio e monazita como minerais acessórios, e sericita, clorita, titanita e argilominerais como minerais secundários. A fácies com anfibólitos apresenta riebeckita-granitos e hastingsita-granitos pórfiros, este definindo corpos subvulcânicos, de coloração marrom-avermelhada, isotrópicos, com textura granular hipidiomórfica, mesopertítica e, localmente, rapakivi, com a riebeckita ocorrendo na forma de agregados de cristais anédricos e a hastingsita, como cristais subédricos.

O GP apresenta assinatura subalcalina (porção central) a alcalina (bordas), rochas peraluminosas com termos metaluminosos e peralcalinos de ambiente intraplaca, definindo-a como granitos tipo-A (Prazeres *et al.* 1979, Bahia *et al.* 1998b, Silva 2010).

Mineralizações de Sn, Nb, Ta e topázio foram identificadas por Prazeres *et al.* (1979) e relacionadas a processos hidrotermais em estruturas do tipo *stockwork* ou nas zonas apicais

greisenizadas associadas aos biotita-granitos, posteriormente enriquecidas em Na e K a partir de processos metassomáticos. Silva (2010), entretanto, não observou nenhum mineral de Nb ou Sn durante os estudos petrográficos.

Outro corpo granítico semelhante ao Granito Porquinho, o Granito Pepita ( $1.872 \pm 4$  Ma, Santos *et al.* 2004), foi descrito por Almeida *et al.* (2000) na Folha Vila Mamãe Anã, que sugeriu uma possível correlação entre ele e o GP, levando Bahia *et al.* (1998b) a elevá-lo ao nível de Suíte Intrusiva Porquinho. Todavia, esta correlação passou a ser incoerente quando Santos *et al.* (2004) obtiveram a idade de cristalização de  $1.786 \pm 14$  Ma (U-Pb SHRIMP em zircão) para o GP e, com base neste dado, correlacionaram-no ao magmatismo Teles Pires no Domínio Juruena, Estado de Mato Grosso, e Vasquez & Rosa-Costa (2008) retornaram-no ao *status* de granito.

As relações entre os Granitos Porquinho e Pepita, e o magmatismo Teles Pires, entretanto, não estão pacificadas. Silva (2010) obteve a idade de  $1.888 \pm 1,7$  Ma (Pb-Pb em zircão) para o GP, idade esta conflitante com a de Santos *et al.* (2004), e comparou-a geoquimicamente às rochas da Suíte Vulcano-Plutônica Teles Pires, mostrando comportamentos geoquímicos incompatíveis entre os granitos Porquinho e Teles Pires.

#### Olivina-Gabro Rio Novo

Klein & Vasquez (2000) denominaram de Olivina-Gabro Rio Novo um corpo máfico individualizado por Andrade & Urdininea (1972) na foz do Rio Novo. O corpo é composto por gabros isotrópicos e equigranulares, médios a grossos, alongados segundo a direção NW-SE, com frequente alteração hidrotermal e cataclase.

Três idades foram obtidas para este corpo:  $1.999 \pm 3$ ,  $1.967 \pm 3$  e  $1.878 \pm 3$  Ma (Pb-Pb em zircão). As duas primeiras foram interpretadas como herdadas e a última, como idade mínima de cristalização do corpo (Klein & Vasquez 2000).

#### Anortosito Jutáí

Inserido na Suíte Intrusiva Ingarana por Bahia & Quadros (2000), este corpo de formato elipsoidal foi desmembrado como Anortosito Jutáí por Ferreira *et al.* (2004) a fim de destacar seu litotipo principal. É constituído por anortositos e magnetita-gabros, geralmente equigranulares, médios e isotrópicos que apresenta idade U-Pb SHRIMP em titanita de  $1.878 \pm 8$  Ma (Santos *et al.* 2001).

### Gabro São Domingos

O Gabro São Domingos foi identificado a partir de expressivas anomalias magnéticas, que sugerem a existência de um corpo máfico em subsuperfície, e de um perfil de alteração intempérica, típico deste tipo de rocha. Vasquez & Rosa-Costa (2008) sugeriram a denominação deste corpo e atribuíram a ele uma idade paleoproterozoica, por correlação com o magmatismo máfico da região que deu origem à Suíte Intrusiva Ingarana e ao Anortosito Jutai.

### Gabro Serra Comprida

Na unidade Gabro Serra Comprida são descritos gabros, dioritos inequigranulares e isotrópicos (Klein & Vasquez 2000). Devido à falta de dados geocronológicos, uma idade de aproximadamente 1.88 Ga é atribuída para este corpo por correlação com outros corpos máficos datados na região como o Anortosito Jutai.

### Quartzo-Monzogabro Igarapé Jenipapo

O Quartzo-Monzogabro Igarapé Jenipapo (quartzo-monzogabro, com quartzo-monzonito, microgabro e diques de quartzo-sienitos microgranulares associados) corresponde a uma pequena intrusão orientada segundo E-W (Klein & Vasquez 2000). Apresenta intensa alteração hidrotermal (cloritização, sericitização, carbonatação e saussuritização), provavelmente relacionada às mineralizações de ouro filoneanas com sulfetos associados que ocorrem nas proximidades.

### Diabásio Crepori

O Diabásio Crepori (Santos & Loguércio 1984) é composto por diabásios, olivina-diabásios e microgabros microgranulares e isotrópicos que ocorrem na forma de soleiras orientadas segundo E-W e diques segundo N10°E, com espessuras entre 10 e 50 m, na Formação Buiuçu. As rochas do Diabásio Crepori exibem textura ofítica e subofítica e intercrescimento gráfico e apresentam pigeonita, augita, plagioclásio andesítico, olivina e minerais opacos, além de biotita.

Almeida *et al.* (2000) identificaram uma assinatura alcalina para essas rochas, porém, a ocorrência de quartzo, tanto normativo quanto modal, indica afinidade quartzo-toleítica, típica

de basaltos toleíticos intracontinentais. A idade de cristalização U-Pb SHRIMP em badeleíta é de  $1.780 \pm 7$  Ma (Santos *et al.* 2002).

#### Formação Novo Progresso

A Formação Novo Progresso é constituída por conglomerados polimíticos com seixos subangulosos a subarredondados de rochas vulcânicas e vulcanoclásticas félsicas, e, em menor proporção, seixos arredondados de granito em matriz arcoseana. Aflora como cristas e *cuestas* orientadas segundo NNW-SSE, com atitudes de acamamento variando de N25°W a N05°E, e mergulhos de 18° a 60° para SW ou NE (Klein & Vasquez 2000).

#### Formação Buiuçu

A Formação Buiuçu (Vasquez & Rosa-Costa 2008) é caracterizada por arcóseos, arcóseos líticos e arenitos ortoquartzíticos com conglomerados polimíticos, siltitos e argilitos subordinados, orientados segundo WNW-ESE e NW-SE, com acamamentos mergulhando de 5° a 35° para N e NE. Na região da Bacia do rio Crepori, é cortada pelo Diabásio Crepori, datado em  $1.780 \pm 7$  Ma (Santos *et al.* 2002).

Na porção nordeste do Domínio Tapajós, uma sucessão vulcanoclástica é reconhecida, formada por tufos félsicos, arenitos e conglomerados com seixos de rochas vulcânicas, orientada para E-W, com acamamento para NW-SE, mergulhando de 5° a 25° NE (Bahia & Quadros 2000) e intrudida pelo GP. Klein *et al.* (2001) sugeriram ambiente de deposição continental, possivelmente relacionado a canais fluviais entrelaçados, com base na baixa maturidade mineralógica e textural das rochas e nas estruturas primárias observadas.

#### Suíte Intrusiva Cachoeira Seca

As rochas da Suíte Intrusiva Cachoeira Seca são predominantemente olivina-gabros, olivina-gabronoritos, olivina-diabásios e troctolitos (Andrade & Urdininea 1972, Pessoa *et al.* 1977), melanocráticas, de coloração cinza esverdeadas, isotrópicas e de granulação média.

A natureza química delas ainda não foi bem definida. Pessoa *et al.* (1977) definem-na como basaltos de afinidade alcalina, em parte subsaturados em sílica, e Quadros *et al.* (1998), como rochas de afinidade toleítica saturada em sílica. Um troctolito desta unidade forneceu idade  $1.186 \pm 12$  Ma (U-Pb SHRIMP, Santos *et al.* 2002).

## 1.4 PROBLEMÁTICA

Apesar da grande quantidade de trabalhos envolvendo a região do DT, o GP ainda é pouco conhecido, sob o ponto de vista geológico, e os estudos relacionados a ela apresentam caracterizações petrográfica e geoquímica básicas.

Além de lacunas, há assuntos não pacificados. Santos *et al.* (2004), a partir da idade U-Pb SHRIMP em zircão de  $1.786 \pm 14$  Ma, correlacionaram o GP a rochas da SVPTP. Silva (2010), entretanto, obteve a idade Pb-Pb em zircão de  $1.888 \pm 1,7$  Ma e, comparando geoquimicamente rochas do GP, da SIM e da SVPTP, sugeriu maior afinidade entre o GP e a SIM (~1.88 Ga), demonstrando que o contexto geológico regional em que o GP está inserida ainda não é completamente compreendido.

As mineralizações de Sn, Nb, Ta e topázio identificadas por Prazeres *et al.* (1979) também não foram observadas durante os estudos petrográficos realizados por Silva (2010).

## 1.5 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é aprofundar os estudos petrográficos, mineralógicos e geoquímicos sobre o GP a fim de obter informações sobre ambiente tectônico, série e tipologia magmáticas, além de tecer comentários sobre possíveis mineralizações estaníferas associadas ao Granito Porquinho.

Para isto, foram realizados os seguintes objetivos específicos:

- Refinamento da petrografia do GP;
- Caracterização das fases acessórias de cada fácies por microscopia eletrônica de varredura;
- Classificação de biotitas e anfibólios em diagramas apropriados;
- Caracterização geoquímica das diferentes fácies do GP, discussão de afinidades geoquímicas, tipologia e processos magmáticos que contribuíram para sua evolução;
- Realização de estudo geológico comparativo entre o GP e a SIM em diferentes localidades (já iniciado em Silva 2010) e outros granitos peralcalinos do Cráton Amazônico a fim de discutir as relações entre as rochas do GP e as rochas do DT.

## 1.6 MATERIAIS E MÉTODOS

### 1.6.1 Pesquisa Bibliográfica

Esta etapa acompanhou todo o trabalho e consistiu na aquisição e na leitura de artigos e livros acerca de temas como Domínio Tapajós, processos petrogenéticos, geoquímica de granitoides, microanálises por microscopia eletrônica de varredura e microsonda eletrônica, parâmetros de cristalização de rochas granitoides, granitos peralcalinos e outros assuntos que se tornaram pertinentes ao longo do trabalho.

### 1.6.2 Petrografia

Todas as amostras utilizadas nesta etapa foram cedidas pela CPRM-Manaus através dos geólogos Manfredo Ximenes Pontes e Marcelo Lacerda Vasquez (CPRM-Belém). Às 20 amostras estudadas por Silva (2010), somaram-se 7 que foram descritas através de microscópio ótico, com enfoque para composição mineralógica, texturas ígneas, relações de contato entre os minerais, processos de alteração presentes e outras feições importantes. As lâminas polidas foram confeccionadas na Oficina de Laminação (OL) da Faculdade de Geologia (FAGEO) do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará (UFPA).

Utilizou-se um microscópio petrográfico equipado com câmera e contador automático de pontos *Stageledge*, da marca *Endeoper*, do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides (GPPG) para fotografar e realizar análises modais das rochas. A quantidade de pontos da análise modal variou entre 1.500 e 1.800 por amostra, dependendo da área disponível na lâmina polida, em malha de 0,4 x 0,4 mm (Chayes 1956, Hutchison 1974). Os dados obtidos foram tratados e plotados em diagramas como Q-A-P e outros (Streckeisen 1976, Le Maitre *et al.* 2002) a fim de definir as rochas segundo a classificação da Subcomissão de Nomenclatura de Rochas Ígneas da *International Union of Geocientists* (IUGS) e agrupá-las em fácies. Os gráficos foram confeccionados através dos programas GCDKit 4.3 (Janoušek *et al.* 2006) e Excel 2010, e editados no CorelDrawX5.

### 1.6.3 Química Mineral

#### 1.6.3.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Após o estudo petrográfico, foram selecionadas lâminas para o estudo dos minerais acessórios presentes nas diferentes fácies. As amostras foram previamente metalizadas a carbono para a confecção de imagens de elétrons retroespalhados (ERE) e análises pontuais semiquantitativas por espectrometria de energia dispersiva (do inglês, EDS).

As análises de biotitas e anfibólios foram realizadas em um MEV ZEISS modelo SIGMA-VP com EDS IXRF modelo Sedona-SD acoplado pertencente ao Instituto Tecnológico Vale e cedido em contrato de comodato para UFPA sob as seguintes condições de trabalho: corrente do feixe de elétrons de 80  $\mu$ A; voltagem de aceleração constante de 20 kV e distância de trabalho de 8,5 mm. Para ambos os minerais, foram analisados os elementos O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Mn e Fe.

No total, realizaram-se 477 e 1.582 pontos de análises para biotita e anfibólio, respectivamente, que foram tratadas e comparadas em diagramas geoquímicos específicos utilizando-se os programas GCDkit 4.3 e Excel 2010.

#### 1.6.3.2 Microsonda Eletrônica (ME)

A microsonda eletrônica JEOL JXA-8230, equipada com cinco espectrômetros WDS, do Laboratório de Microanálises (LM) do IG/UFPA foi utilizada para a realização das análises pontuais quantitativas por espectroscopia de comprimento de onda dispersivo (do inglês, WDS), adotando-se como condições de trabalho para ambos os minerais os seguintes parâmetros: diâmetro do feixe de 10  $\mu$ m; voltagem de aceleração constante de 15 kV; corrente do feixe de elétrons de 20 nA; método de correção dos efeitos de matriz ZAF; e tempo de contagem para F, Na, Al, Cr, K, Sr, Ni, Mn, Ba, Ti, Cl e V de 40 s; e para Mg, Si, Ca e Fe de 20 s. Os elementos analisados, padrões e cristais analisadores utilizados foram, respectivamente: F - biotita - LDE1, Na - sodalita - TAP, Mg - diopsídio - TAP, Al - anortita - TAP, Si - ortoclásio - TAP, Cr - Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - PETJ, Ca - wollastonita - PETJ, K - ortoclásio - PETJ, Sr - celestina - PETJ, Ni - NiO - LIF, Fe - Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> - LIF, Mn - rodonita - LIF, Ba - barita - LIF, Ti - rutilo - LIF, Cl - sodalita - PETH, V - Vanadinita - PETH. No total, foram realizadas 191 análises de biotita e 449 de anfibólio.

### 1.6.3.3 Objetivos

A realização das análises de MEV e ME visou:

- 1) Caracterizar os minerais acessórios das diferentes fácies do GP a fim de estabelecer paragêneses magmáticas que possam estar relacionadas à mineralização das rochas;
- 2) Determinar a nomenclatura das biotitas e dos anfibólios, conforme Rieder *et al.* (1998), Leake *et al.* (1997, 2003) e Hawthorne *et al.* (2012), presentes nas amostras a partir das análises de ME;
- 3) Definir a natureza do magma original das rochas estudadas a partir das composições das biotitas (Abdel-Rahman 1994, Nachit *et al.* 1985, 2005).

### 1.6.4 Geoquímica

Os dados geoquímicos utilizados nesta pesquisa são um compilado de Silva (2010), Lamarão *et al.* (2002), Semblano *et al.* (2016), Teixeira (1999) e Prado *et al.* (2007); para informações sobre métodos analíticos, os trabalhos citados devem ser consultados.

A caracterização geoquímica das rochas selecionadas baseou-se nos procedimentos descritos por Ragland (1989) e Rolinson (1993). O comportamento de elementos maiores, menores e traços foi avaliado a partir de diagramas de variação clássicos e outros diagramas propostos na literatura mais recente (Shand 1951, Pearce *et al.* 1984, Whalen *et al.* 1987, Eby 1990, 1992, Frost *et al.* 2001, Dall’Agnol & Oliveira 2007, etc), objetivando definir parâmetros como série magmática, tipologia do granito e ambiente de formação, entender os processos ocorridos durante a evolução magmática do GP e elucidar a relação entre as rochas do GP e de outras suítes do Cráton Amazônico.

### 1.6.5 Geocronologia

Os dados geocronológicos utilizados neste trabalho foram obtidos por Santos *et al.* (2004) e Silva (2010), onde podem ser encontradas informações sobre os procedimentos analíticos adotados.



**2 ARTIGO: PORQUINHO GRANITE, TAPAJÓS DOMAIN: AN EXAMPLE OF  
ALKALINE-PERALKALINE MAGMATISM AND METALLOGENETIC  
CONSIDERATIONS**

Joseanna dos Santos Silva<sup>1,2\*</sup>, Claudio Nery Lamarão<sup>1,2</sup>, Gisele Tavares Marques<sup>1,2</sup>, Marco Antonio Galarza Toro<sup>1,3</sup>

1 - Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará (PPGG-IG-UFPA), Caixa Postal 1611, 66075-100, Belém (PA), Brasil.

2 - Group of Research on Granite Petrology (GPPG), IG-UFPA.

3 - Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso), IG-UFPA.

E-mails: joseanna@ufpa.br; lamarao@ufpa.br; gisageo15@yahoo.com.br; antogt@ufpa.br.

\*corresponding author.

Submitted to the Brazilian Journal of Geology

## 2.1 ABSTRACT

Porquinho Granite (PG) is a subcircular batholith located at the Tapajós Domain, Amazonian Craton, petrographically composed of isotropic hypersolvus alkali feldspar granites, grouped *In*: Biotite alkali feldspar granite (BAFG), Amphibole alkali feldspar granite (AAFG) and greisenized rocks. Biotites are classified as annite, while amphiboles vary in composition, from calcic (hastingsite, ferro-edenite, ferro-actinolite and ferro-ferri-hornblende) to sodic-calcic (ferro-ferri-winchite, ferro-ferri-katophorite, ferro-richterite, potassic-ferro-ferri-katophorite and ferro-katophorite) to sodic (riebeckite). Geochemically, PG is metaluminous to peraluminous, locally peralkaline, shows  $K_2O/Na_2O$  ratios between 1 and 2, and  $FeO_t/(FeO_t + MgO)$  very close to 1, which led it to be classified as a ferroan granite. It is a reduced granite, with geochemical characteristics of A-type granites of the  $A_2$ -subtype and is similar to the Phanerozoic intraplate granites. AAFG rocks are slightly more enriched in REE than BAFG, but they all present similar compartment, and strong negative Eu anomaly, forming the typical gullwing-shaped pattern of the A-type and the Sn-Ta-Nb mineralized granites. BAFG also shows similar behavior with Europa Granite (EG, Madeira Intrusive Suite; Pitinga) and Velho Guilherme Intrusive Suite (VGIS; Xingu), both mineralized in Sn-Ta-Nb, while AAFG approaches, geochemically, more to Maloquinha Intrusive Suite (MIS; Tapajós), non-mineralized. In this work, PG presented a geochronological age of  $1,889 \pm 2$  Ma, interpreted as the age of crystallization, which is about 100 Ma older than the former one ( $1,786 \pm 14$  Ma). The older geochronological age fits better with geological context in which Porquinho Granite is inserted, but also means more detailed investigations need to be done in this area in order to eliminate possible doubts about its crystallization age and find out if PG has a more complex history of evolution.

Key words: Tapajós Domain. Porquinho Granite. A-type granites. Amphibole. Biotite.

## 2.2 INTRODUCTION

Tapajós Domain (TD) is located at the Tapajós-Parima (Santos *et al.* 2001, 2004) or Ventuari-Tapajós Province (Tassinari & Macambira 2004) and has been widely known for its great abundance in noble metals, especially gold, for private companies and researchers (Figure 2.1). Many studies have been done in TD, but usually focusing in specific areas or using regional scale mapping, so that many other areas and/or geological bodies remain poorly understood; Porquinho Granite (PG), the aim of this paper, is one of these examples.

PG is a granitic batholith composed of alkaline to peralkaline rocks with Sn-mineralization associated with greisenized rocks (Prazeres *et al.* 1979, Bahia & Quadros 2000; Figure 2.2) whose presence of Na-rich amphiboles, such as riebeckite, makes it different from the subalkaline granites of the Maloquinha Intrusive Suite (MIS), which are dominants in the TD.

Although these particularities, there are just a few researches involving PG, which are basic or punctual. Pessoa *et al.* (1977) and Prazeres *et al.* (1979), for example, first described it and focused in characterizing these rocks petrographic and geochemically, while Santos *et al.* (2004) established its first geochronological age.

As a result of these issues, the objectives of this research are to deepen petrographical, mineralogical and geochemistry studies in order to better comprehend tectonic ambiance, magmatic series, and typology, besides commenting on the metallogenetic potential of the PG.

Furthermore, PG was compared with MIS rocks for the purpose of understanding its relationship with other rocks from TD, and with Velho Guilherme Intrusive Suite (VGIS) and Europa Granite, both mineralized in Sn and associated metals to possibly recognize mineralization in Sn associated to PG.

### 2.3 GEOLOGY OF THE TAPAJÓS DOMAIN

TD is a meridional segment of the Tapajós-Parima Province, limited by Iriri-Xingu Domain to East and covered by Amazon Basin to North and Alto Tapajós Basin to South, both Phanerozoics.

Two geotectonic models have discussed the evolution of this region: one defends amalgamation of five magmatic arcs between 2,050 and 1,880 Ma (Santos *et al.* 2000, 2001, 2004), while the second one advocates the occurrence of only one Orosirian magmatic arc (<2.0 Ga) with multiple post-orogenic pulses which lasted until the post-orogenic stage, about 1.88 Ga (Vasquez *et al.* 2002).

The oldest rocks of TD, which represent the orogenic domain, are Jacareacanga Group and Cuiú-Cuiú Complex; the first is composed of metavolcanosedimentary sequence (2.1 – 2.01 Ga, Santos *et al.* 2001, 2004, Santos 2003), related to back-arc basins and oceanic trench, and the other, for banded orthogneisses and granitoids (2,033 – 2,005 Ma, Santos *et al.* 2001) metamorphosed under amphibolite facies conditions, which indicate granitoids from island arcs. Castelo dos Sonhos Formation is constituted of metasedimentary rocks whose data indicate ages between 3,318 and 2,088 Ma (U-Pb LA-ICP-MS, Klein *et al.* 2014) and

sedimentation interval embracing ages from 2,011 to 2,088 Ma (Queiroz *et al.* 2015) and is thought as being part of a foreland basin related to a transamazonian orogen (Vasquez *et al.* 2008a). Extrusive rocks of the Comandante Arara Formation show ages similar to those from Cuiú-Cuiú Complex (2,020 – 2,012 Ma, Vasquez *et al.* 2013), and are grouped in two members: Lora, composed of andesites to dacites, and Manual, pyroclastic and epiclastic rocks. This unit is considered by Vasquez *et al.* (2013) as extrusive equivalents of the Cuiú-Cuiú Complex. Transcurrent shear zones NW-SE, main structuring of the TD, were installed after the collision between Cuiú-Cuiú Arc and a continent, where 1.99 – 1.96 Ga (Vasquez *et al.* 2000a) of the Creporizão Intrusive Suite intruded. Santos *et al.* (2004), however, affirm that there are not elements which confirm this collision, such as type-S granites and paragneisses. Vila Riozinho Formation, composed of intermediate to felsic fluxes, is temporally associated to this phase, but interpreted as generated in continental arc (Lamarão *et al.* 2002).

The difference of 50 Ma between the end of the Cuiú-Cuiú orogenesis and the rocks of the Tropas and Parauari Intrusive Suites is associated, according to Vasquez & Rosa-Costa (2008), with a late post-collisional evolution related to this orogenesis. For the grabroic rocks of the Ingarana Intrusive Suite, Jutai Anorthosite, Rio Novo Olivine-Gabbro, Igarapé Jenipapo Quartz-Monzogabbro and Serra Comprida and São Domingos Gabbros, Vasquez & Rosa-Costa (2008) admit the acting of underplating with mixture of paleoproterozoic mantle source and low participation of continental crust.

In the transition of the orogenic phase to the post-orogenic one, the 1.88 Ga A-type granites of the Maloquinha Intrusive Suite and Caroyal Granite occur as well as the acid to intermediate extensive volcanism grouped at the Iri Group of the Uatumã Supergroup (Melo *et al.* 1978). Porquinho and Pepita granites, similar to the Maloquinha Intrusive Suite, occur lately in relation to this magmatism and possibly related, temporally, to the Joel-Mamoal Andesite and Jamanxim Lamprophyre (Klein *et al.* 2001). According to Vasquez & Rosa-Costa (2008), these two magmatic events probably represent different stages of the implantation of continental rifts at the end of the Paleoproterozoic; the first, associated to the beginning of the formation of rifts and the second, to a more evolved stage of the taphrogenesis.

The stabilization of the TD, in the end of the Transamazonian Cycle, is characterized for continental sedimentary covering restricted to grabens and grouped as Buiucu Formation (Alto Tapajós Basin), sometimes cut for rocks of the Crepori Diabase (1,780 Ma, Moura *et al.* 1999).

The Mesoproterozoic is marked by the K'Mudku tectonic event and by the troctolitic basic magmatism of the Cachoeira Seca Intrusive Suite (1,186 Ma, Santos *et al.* 2002). In the

Phanerozoic, the Jatuarana Group and the Monte Alegre and Ipixuna Formations define the Paleozoic sedimentation in the Alto Tapajós Basin, while the Mesozoic sedimentation in the Amazonas Basin is represented by the Alter do Chão Formation. Both the basins are cut by Cambrian (514 Ma) and Jurassic (180 Ma) basic dikes. Tertiary detritic and lateritic, and quaternary alluvial cover overlay the older units and complete the geological context of the TD (Klein *et al.* 2001).

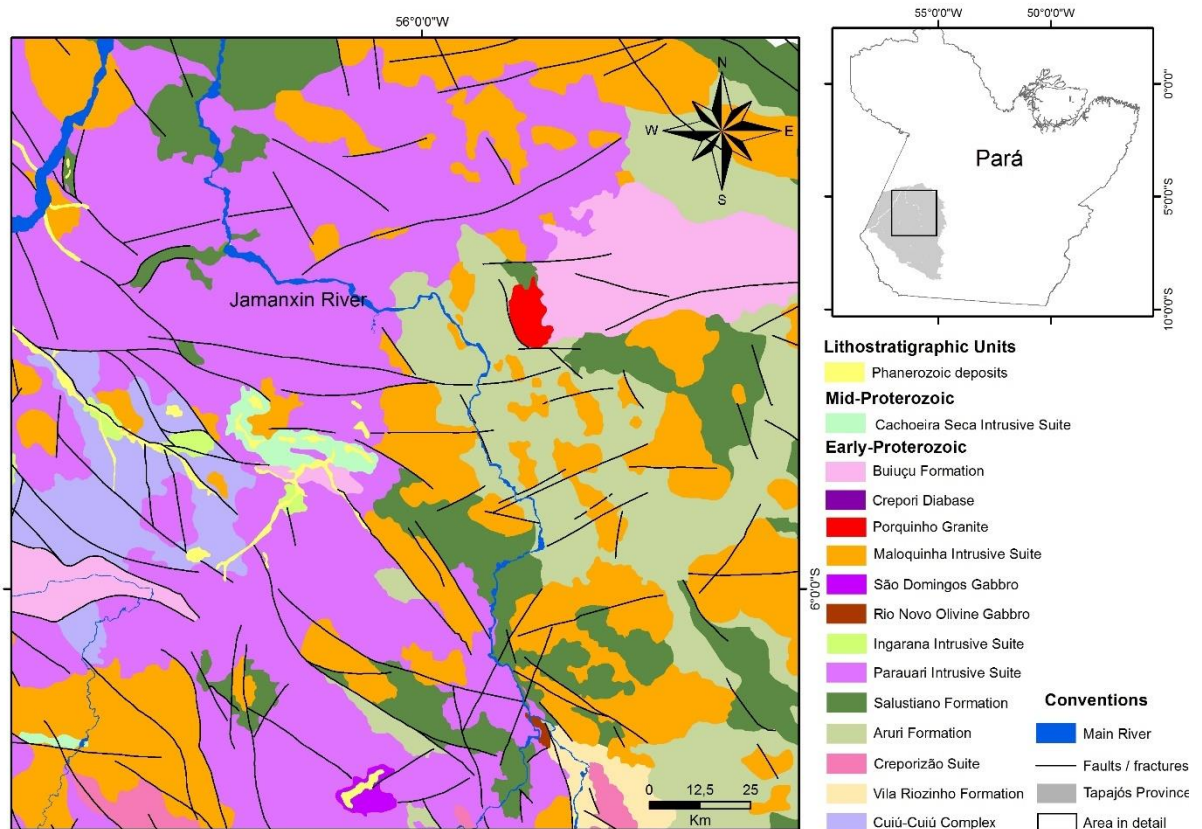


Figure 2.1. Geological map of the Tapajós Domain. Modified from Vasquez & Rosa-Costa (2008).

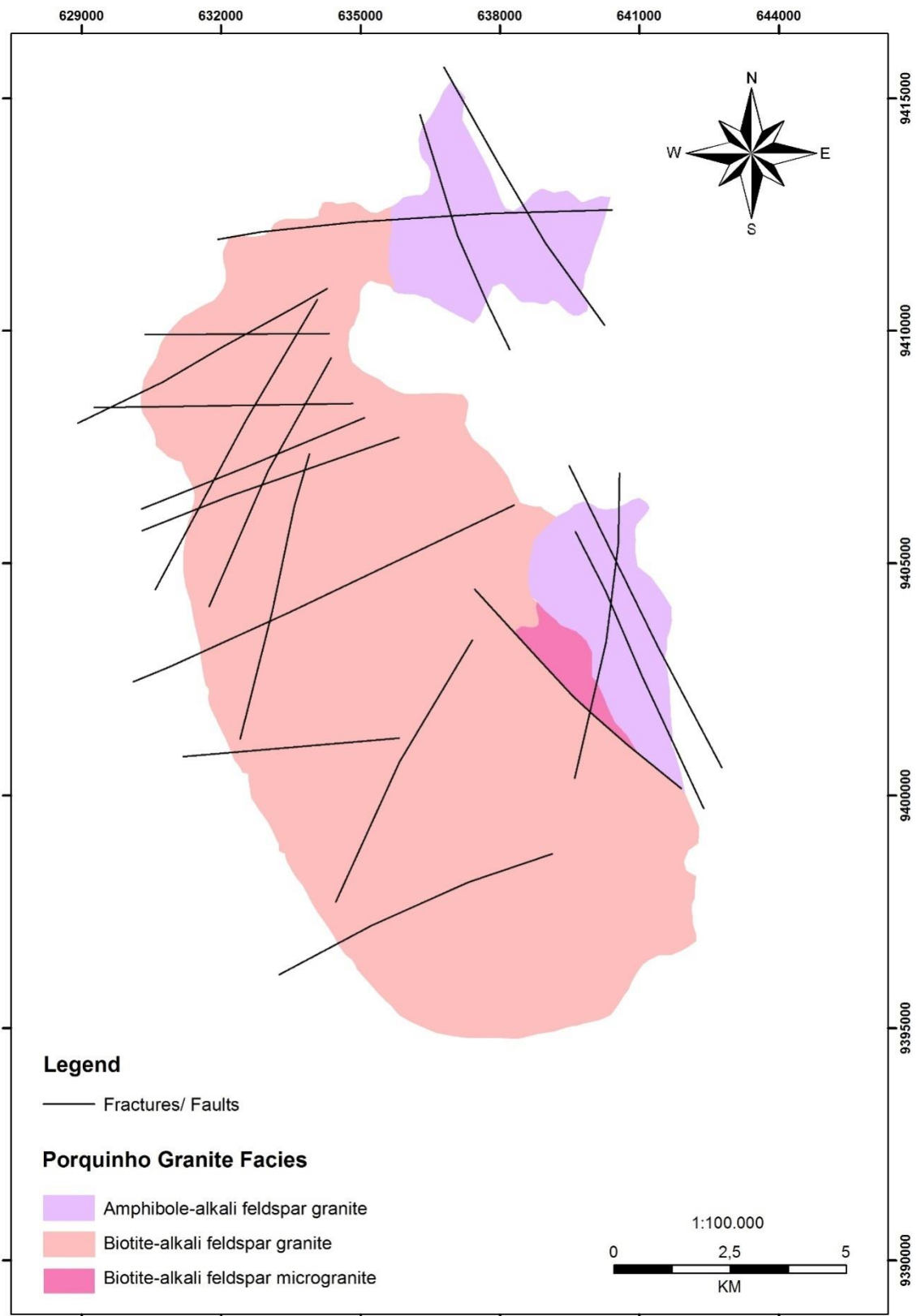


Figure 2.2. Geological map of the Porquinho Granite. Modified from Prazeres *et al.* (1977).

## 2.4 PORQUINHO GRANITE

### 2.4.1 Petrography

#### 2.4.1.1 Modal composition and petrographic classification

26 samples of different rocks of Porquinho Granite were chosen for microscopic study from the collection of Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, Brazilian Geological Survey). For modal composition, 24 thin sections had 1,800 points counts, in average, at the Stageledge automatic point counter and, then, samples were classified as recommended for the Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks of IUGS (Le Maitre *et al.* 2002; Figure 2.3).

In Q-A-P and Q-(A+P)-M diagrams, they demonstrate little variation and correspond to alkali feldspar-granites, except for one, which is a quartz-rich granitoid. They are also mostly hololeucocratic, showing just some samples with M contents between 5% and 15%, whose concentration of mafic minerals is associated with amphiboles-bearing rocks.

Three rock associations were identified based on mineralogical, petrographic, and textural features (Table 2.1): 1) Biotite alkali feldspar granite (BAFG); 2) Amphibole alkali feldspar granite (AAFG) and; 3) greisenized rocks (GR).

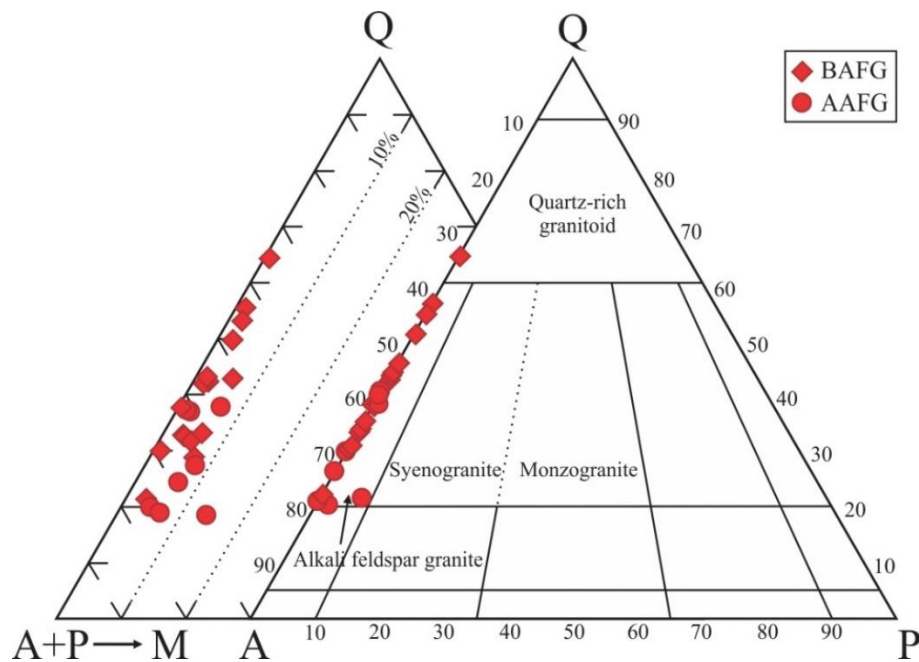


Figure 2.3. Q-A-P and Q-(A+P)-M diagrams (Le Maitre *et al.* 2002) for the Porquinho Granite rocks.

Table 2.1. Modal compositions of the Porquinho Granite.

<b>Facies</b>	<b>Biotite alkali feldspar granite</b>																	<b>Amphibole alkali feldspar granite</b>						
<b>Sample/ Mineral</b>	<b>AJ- 150</b>	<b>AJ- 199</b>	<b>AJ- 224</b>	<b>AJ- 295</b>	<b>MC- 005</b>	<b>MC- 008</b>	<b>MC- 11A</b>	<b>MC- 017</b>	<b>MC- 020</b>	<b>MC- 043</b>	<b>MC- 048</b>	<b>MC- 099</b>	<b>MC- 159</b>	<b>MC- 194</b>	<b>OL- 067</b>	<b>WP- 044</b>	<b>WP- 169B</b>	<b>AJ- 124</b>	<b>AJ- 177</b>	<b>AJ- 228</b>	<b>AJ- 324</b>	<b>MC- 163</b>	<b>WP- 105</b>	<b>WP- 266</b>
Quartz	61.3	39.5	27.9	52.4	29.6	28.50	27.1	41.3	18.7	50.6	36.1	30.8	40.9	34.9	40.3	30.2	48.9	18.8	37.6	24.1	27.3	18.3	19.0	37.6
Alkali feldspar	32.9	51.2	61.7	40.3	53.6	56.39	61.6	48.7	64.8	42.1	58.2	59.5	54.3	56.8	50.8	58.1	46.8	72.7	60.2	68.4	64.8	61.9	72.4	55.5
Plagioclase	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9	0.8	-	-	5.7	4.1	0.1
Biotite 1	0.6	1.9	3.7	0.9	3.2	4.28	0.6	5.3	1.2	1.8	0.2	2.1	1.4	0.9	0.1	2.7	1.8	-	-	-	-	-	-	-
Biotite 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	0.4	0.1	0.3	0.3	0.3	-	0.4	4.1	-	-
Amphibole	-	-	2.6	-	1.6	-	-	-	1.4	-	-	0.4	-	0.2	-	-	-	6.3	0.1	6.7	6.8	9.9	4.4	6.7
Intergranular albite	5.2	6.8	3.0	6.1	11.1	9.94	10.6	4.1	13.8	5.1	5.3	5.0	3.3	6.9	7.5	8.2	2.1	-	0.1	-	-	-	-	-
White mica	-	0.1	-	0.1	-	-	-	-	-	0.1	0.2	1.1	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluorite	-	0.6	0.9	-	0.6	0.72	0.1	0.6	0.1	0.4	-	0.8	-	-	-	0.6	-	-	0.2	-	-	-	-	-
Opaque minerals	-	0.1	-	0.2	0.3	-	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-	0.9	0.1	-	0.1	0.4	0.8	0.7	-	0.1	-
Epidote	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-
Ap + Zrn + Tnt	-	-	0.2	0.1	-	0.17	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	0.1	-	0.2
Felsic	99.4	97.5	92.6	98.8	94.3	94.8	99.2	94.1	97.4	97.7	99.7	95.3	98.6	98.6	98.6	96.5	97.8	93.4	98.7	92.5	92.1	86.0	95.6	93.2
Mafic	0.6	1.9	6.3	1.1	5.2	4.3	0.7	5.3	2.6	1.8	0.2	2.7	1.4	1.1	1.4	2.9	2.1	6.6	1.1	6.7	7.9	14.0	4.4	6.7
P/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0.01	0	0	0.1	0.06	0
A+P	32.9	51.2	61.7	40.3	53.6	56.4	61.6	48.7	64.8	42.1	58.2	59.5	54.3	56.8	50.8	58.1	46.8	74.6	61.1	68.4	64.8	67.6	72.4	55.6
Q+A	94.2	90.7	89.6	92.7	83.2	84.9	88.6	90.0	83.5	92.7	94.3	90.3	95.2	91.7	91.1	88.3	95.8	91.5	97.8	92.5	92.1	80.2	91.4	93.1
Amphibole+Biotite	0.6	1.9	6.3	0.9	4.8	4.3	0.6	5.3	2.6	1.8	0.2	2.7	1.4	1.1	0.1	2.7	1.8	6.6	0.4	6.7	6.8	9.9	4.4	6.7
Amphibole/Biotite	0	0	0.70	0	0.50	0	0	0	1.16	0	0	0.29	0	0.21	0	0	0	-	0.36	-	-	-	-	-
To 100%																								
Quartz	65.0	43.6	31.2	56.5	35.5	33.6	30.5	45.9	22.4	54.6	38.3	34.1	42.9	38.0	44.2	34.2	51.1	20.1	38.1	26.1	29.6	21.3	20.8	40.4
Alkali feldspar	35.0	56.4	68.8	43.5	64.5	66.4	69.5	54.1	77.6	45.4	61.7	65.9	57.1	62.0	55.8	65.8	48.9	77.9	61.1	73.9	70.4	72.0	79.2	59.6
Plagioclase	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.0	0.8	0	0	6.7	0	0.1

Abbreviations: P/A – plagioclase/alkali feldspar; A+P – alkali feldspar + plagioclase; Q+A – quartz + alkali feldspar; Ap - apatite; Zrn - zircon; Tnt - titanite.



#### 2.4.1.2 Biotite alkali feldspar granites (BAFG)

Biotite alkali feldspar granites are pinkish, massive, medium-grained, show hypidiomorphic to xenomorphic, perthitic and, locally, porphyritic textures. Subhedral to anhedral (0.9 – 8 mm), perthitic to mainly mesoperthitic alkali feldspar (Figure 2.4A), sometimes forming phenocrysts, and anhedral to subhedral (1.1 – 3.3 mm) quartz are the dominant mineral phases; plagioclase is absent (Table 2.1). Intergranular albite, commonly showing swapped-rims between the crystals of alkali feldspar is a common feature (Figure 2.4C).

Brown biotite (0.1 – 2.7 mm) lamellae, with pleochroism ranging from light yellow (X) to dark brown (Z) occurring as interstitial corroded crystals or aggregates is the most frequent mafic mineral; substitution for chlorite, stilpnomelane, fluorite, titanite and iron oxide may be partial, along cleavages, or total, generating pseudomorphs (Figure 2.4B).

Subhedral (0.6 – 2.0 mm) amphibole is observed in some samples only as pseudomorphosed crystals, corroded and totally altered to chlorite, biotite 2 and iron oxide, at interstitial aggregated crystals with biotite 1, fluorite, zircon, and quartz.

Zircon, fluorite, allanite, titanomagnetite, apatite and titanite are the accessory minerals and occur preferentially included in mafic phases.

The presence of inclusions of zircon in all observed minerals indicates it was the first one to crystallize, as well as apatite, allanite and others accessory minerals. Perthitic alkali feldspar probably followed the sequence, suggesting that its crystallization started in hypersolvus conditions, forming just one feldspar, and changed to subsolvus conditions, resulting in the process of exsolution and generation of perthitic feldspar. Quartz is partially contemporaneous to the feldspar and kept crystallizing until the final stage. Amphibole and biotite crystallized in the end of the process, due to its interstitial habit. The final liquid was responsible for the generation of the intergranular albite among the perthitic alkali feldspar and, possibly, for the subsolidus reactions which resulted in the substitution of amphibole for biotite 2 and biotite 1 for chlorite, fluorite, titanite and iron oxide in the tardi- to post-magmatic stage.

#### 2.4.1.3 Amphibole alkali feldspar granites (AAFG)

These rocks are pinkish to brownish, massive, heterogranular, coarse to medium-grained, presenting hypidiomorphic, porphyritic, granophyric, and micrographic textures (Figure 2.4D, E). Plagioclase is present in most of the samples, amphibole is the dominant mafic phase and biotite is absent. Zircon, fluorite, apatite, titanite, magnetite, titanomagnetite,

ilmenite, chromite, pyrite and Ce-checkinite are the accessory minerals. Clay minerals, intergranular albite, sericite, white mica, epidote, iron oxide, biotite and chlorite are the secondary mineral association.

Alkali feldspar occurs as anhedral to subhedral (0.9 – 6.7 mm) elongated crystals, sometimes with albite-pericline twinning and fractures filled with quartz, as well as inclusions of this mineral (Afs1), and as finer crystals (<0.7 mm), with vermicular habit, forming the widely spread granophyric texture (Afs2). Intergranular albite is also present, but less common and developed than at BAFG. In porphyritic rocks, alkali feldspar also occurs as phenocrysts (1.2 to 8.3 mm, usually about 2.0 mm) and carry the same characteristics of Afs1, and as a very fine-grained felsitic matrix ( $\leq 0.1$  mm), also substituted for clay minerals, eventually forming the granophyric texture.

Quartz is composed of two morphological types: Qtz1, anhedral to subhedral crystals (0.9 – 3.4 mm), with undulatory extinction and alkali feldspar filled fractures, and Qtz2, vermicular crystals, forming granophyric texture with Afs2. When porphyritic texture prevails in the rock, quartz is observed as angular to square phenocrysts (1.0 – 1.8 mm), usually fractured, and as a constituent of the very fine-grained ( $\leq 0.1$  mm) felsitic matrix.

Plagioclase is rare in most of the samples and absent in some. It is anhedral to subhedral (1.0 – 4.7 mm), showing albite twinning and punctual inclusions of amphiboles. It alters to sericite, epidote, rarely, at the nucleus, and alkali feldspar at the border. In porphyritic samples, plagioclase may reach 5.1 mm in size and, rarely, occur as very fine crystals ( $\leq 0.1$  mm) at the matrix.

Amphibole is subhedral to anhedral, and occurs as spread crystals at the rock, as aggregates, as interstitial crystals, or surrounding crystals of quartz. They show a variety of pleochroism colors, such as light yellow to brownish green, light green to brownish green and bluish green and light yellow to intense blue (Figure 2.4F). These changes reflect the compositional spectrum of the amphiboles, which vary from calcic to sodic-calcic to sodic ones, and will be discussed in the topic about mineral chemistry. They are substituted for chlorite, biotite 2, iron oxide and, in minor proportion, epidote; pseudomorphosed crystals are also observed. Inclusions of zircon, titanite and apatite, association with fluorite and features of corrosion are present. In porphyritic rocks, amphibole is both phenocrysts and matrix.

Zircon, apatite, titanite, epidote and fluorite are fine crystals (<0.1 mm), preferentially located as inclusions in amphibole or in associations with it.

The order of crystallization of this facies follows, in general aspects, the same as BAFG. Zircon and other accessory minerals were the first ones to crystallize, followed by perthitic

alkali feldspar and quartz, which continued until the end. In the sequence, calcic amphiboles crystallized; they are late in relation to alkali feldspar and quartz, as suggested by their interstitial habit. Sodic-calcic amphiboles represent another stage of crystallization, possibly related to a more evolved stage, concomitant to quartz and alkali feldspar of the matrix, as indicated for the inclusions of quartz and alkali feldspar in amphibole. Late to post-magmatic stage is marked for transformations of calcic amphibole in chlorite, biotite 2, epidote, and sodic-calcic amphibole, and of sodic-calcic amphibole in biotite 2, iron oxide and sodic amphibole.

#### 2.4.1.4 Greisenized rocks

According to Prazeres *et al.* (1977), greisenized rocks are associated to BAFG. Only one sample was analyzed, and its study was limited to the recognition of its essential minerals and textural aspects.

They are grayish, massive, heterogranular, medium to fine-grained and present xenomorphic texture. Their primordial composition is muscovite and topaz. Zircon, ilmenite, magnetite, xenotime, monazite and titanomagnetite characterize the accessory assemblage. Muscovite is the predominant mineral phase, composed for anhedral crystals which vary from < 0.5 mm to 1.5 mm. Topaz occurs as fine subhedral crystals, usually prismatic and fractured. Opaque minerals are fine, subhedral to euhedral crystals which commonly show skeletal texture (Figure 2.4 G, H).

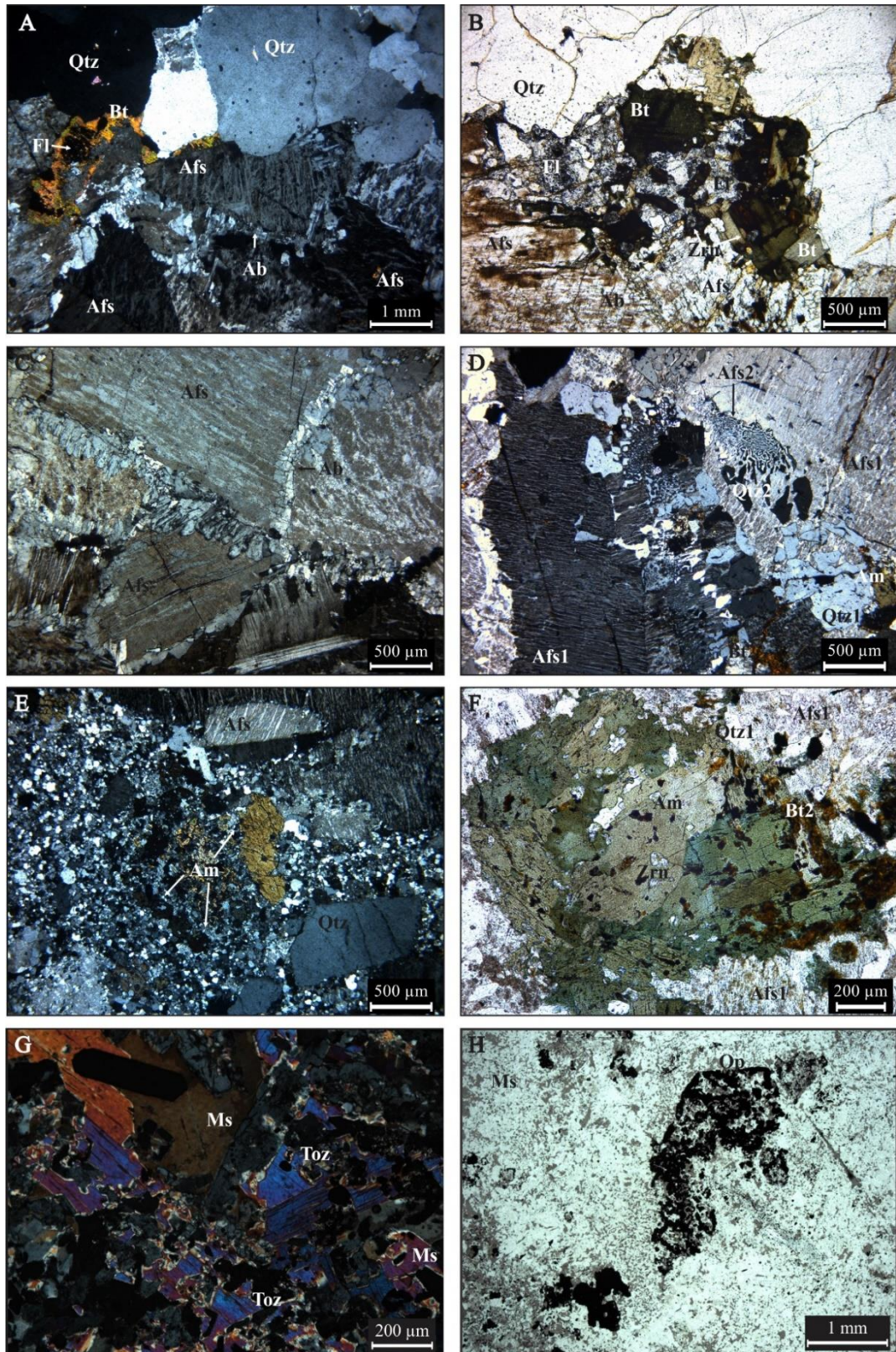


Figure 2.4. Mineralogical and textural aspects of the Porquinho Granite varieties. (A, B, C) Biotite alkali feldspar granite: (A) General microscopic aspect; (B) Biotite (Bt) crystals associated with fluorite (Fl) and zircon (Zrn); (C) Swapped-rims of intergranular albite (Ab) formed along the contact of perthitic alkali feldspars. (D, E, F): Amphibole alkali feldspar granite: (D, E) General microscopic aspect, evidencing granophyric and porphyritic textures, respectively; (F) Amphibole (Am) associated with zircon and secondary biotite (Bt2). (G, H) Greisenized rocks. (G) Muscovite (Ms) and topaz (Toz) crystals in xenomorphic texture; (H) Opaque mineral (Op) with skeletal texture.

## 2.4.2 Mineral chemistry

### 2.4.2.1 Analytical procedures

Amphiboles and biotites of the different facies of Porquinho Granite studied were selected for mineral chemical analysis after petrographical study. Polished thin sections received a coat of carbon and were submitted to both semiquantitative and quantitative chemical analysis at the Laboratório de Microanálises (LM) of the Instituto de Geociências (IG) of the Universidade Federal do Pará (UFPA).

The quantitative analyses were performed by wavelength dispersive spectroscopy (WDS) using a JEOL JXA-8230 electron microprobe with five WDS spectrometers and one EDS spectrometer using the conditions: accelerating voltage of 15 kV; current of 20 nA; beam diameter of 10  $\mu\text{m}$ ; ZAF method for correcting matrix effects and analysis time of 40 s for F, Na, Al, Cr, K, Sr, Ni, Mn, Ba, Ti, Cl and V, and 20 s for Mg, Si, Ca and Fe. Analyzed elements, standards and analyzer crystals used were, respectively: F – biotite – LDE1; Na – sodalite – TAP; Mg - diopside - TAP, Al - anorthite - TAP, Si - orthoclase - TAP, Cr -  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  - PETJ, Ca - wollastonite - PETJ, K - orthoclase - PETJ, Sr - celestine - PETJ, Ni - NiO - LIF, Fe -  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  - LIF, Mn - rhodonite - LIF, Ba - barite - LIF, Ti - rutile - LIF, Cl - sodalite - PETH, V - vanadinite – PETH.

### 2.4.2.2 Amphibole

The  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  ratios were estimated according to Schumacher (1997). Amphibole calculations were based on 23 oxygen atoms. For IMA classification, structural formula was done following the set of 13 cations minus Ca, Na and K (13-CNK) for the method of Leake *et al.* (1997) and balance of charge for Hawthorne *et al.* (2012).

Porquinho Granite shows amphiboles which vary from calcic to sodic-calcic to sodic ones (Table 2.2; Figure 2.7A). This variation is visually not clear, especially among species from the same subgroup (Figure 2.5; 2.6), so that it is just realized through chemical analysis.

Calcic amphiboles are classified as ferro-edenite, ferro-actinolite and ferro-hornblende, and as hastingsite, ferro-edenite, ferro-actinolite and ferro-ferri-hornblende, according to Leake *et al.* (1997, 2004) and Hawthorne *et al.* (2012), respectively, and its pleochroism varies from dark green/brownish green/bluish green/light green to light yellow. They are subhedral to anhedral crystals <1 mm, occurring as clusters, single crystals scattered throughout the rock or

interstitially to previously formed feldspars and quartz crystals, sometimes totally enclosing the last one, and partly replaced by biotite 2, chlorite, and iron oxides (Figure 2.5 A-C).

Sodic-calcic amphiboles are named as ferro-richterite and ferro-winchite (Leake *et al.* 1997, 2004) or ferro-ferri-winchite, ferro-ferri-katophorite, ferro-richterite, potassic-ferro-ferri-katophorite and ferro-katophorite (Hawthorne *et al.* 2012). Sodic amphiboles are riebeckite in both classifications.

As with calcic amphiboles, sodic-calcic and sodic amphiboles do not show zoning. Crystals are subhedral to anhedral and occur as single crystals or aggregates, from 1.8 to 0.2 mm and as matrix, <0.1 mm (Figure 2.5 D-F), with inclusions of alkali feldspar, quartz, and zircon. Pleochroism varies from greenish brown to bluish green, dark green to light green, dark green and dark blue to light yellow. Sodic amphiboles tend to be bluish in Porquinho Granite. Sodic-calcic and sodic amphiboles show substitutions for chlorite, biotite 2, and iron oxides, and, in some cases, the crystal is totally substituted by the last one.

Cores and rims compositions do not show significant variations.  $Al_t$  is always  $\leq 1.1$ , even in calcic amphiboles (Na: 0.07-0.18; Na-Ca: 0.05-0.53; Ca: 0.13-1.15) and Fe/(Fe + Mg) ratios present values between 0.84 and 0.98.

In terms of crystallization, calcic amphiboles fall on the limit between magmatic and late to post-magmatic amphiboles, while sodic-calcic and sodic ones plot in the late to post-magmatic field and late-stage replacement (Figure 2.7 B, C).

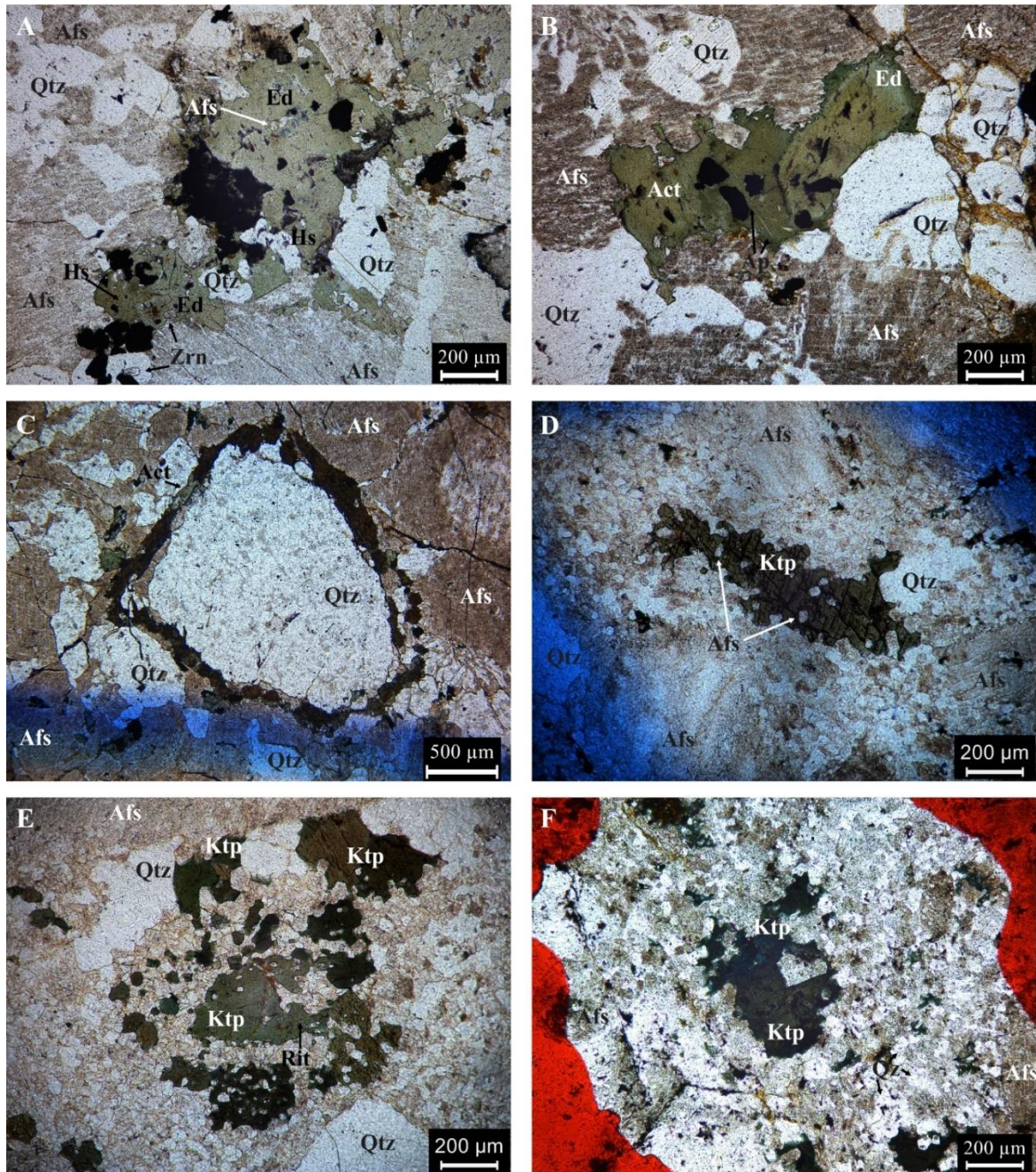


Figure 2.5. Different habits of the amphiboles of the AAFG. Calcic amphiboles: (A) Cluster of crystals of amphibole with inclusions of alkali feldspar (Afs), zircon (Zrn) and opaque minerals; (B) Interstitial amphiboles with inclusions of apatite (Ap) and opaque minerals; (C) Amphiboles enclosing a crystal of quartz; Sodic-calcic amphiboles: (D) Single crystal of amphibole with inclusions of alkali feldspar (Afs); (E) Aggregate of amphiboles in the matrix of the rock; (F) Single crystal of amphibole. Abbreviations: Hs=ferro-hastingsite; Ed=ferro-edenite; Act=ferro-actinolite; Ktp=ferro-ferri-katophorite; Rit=ferro-richterite.

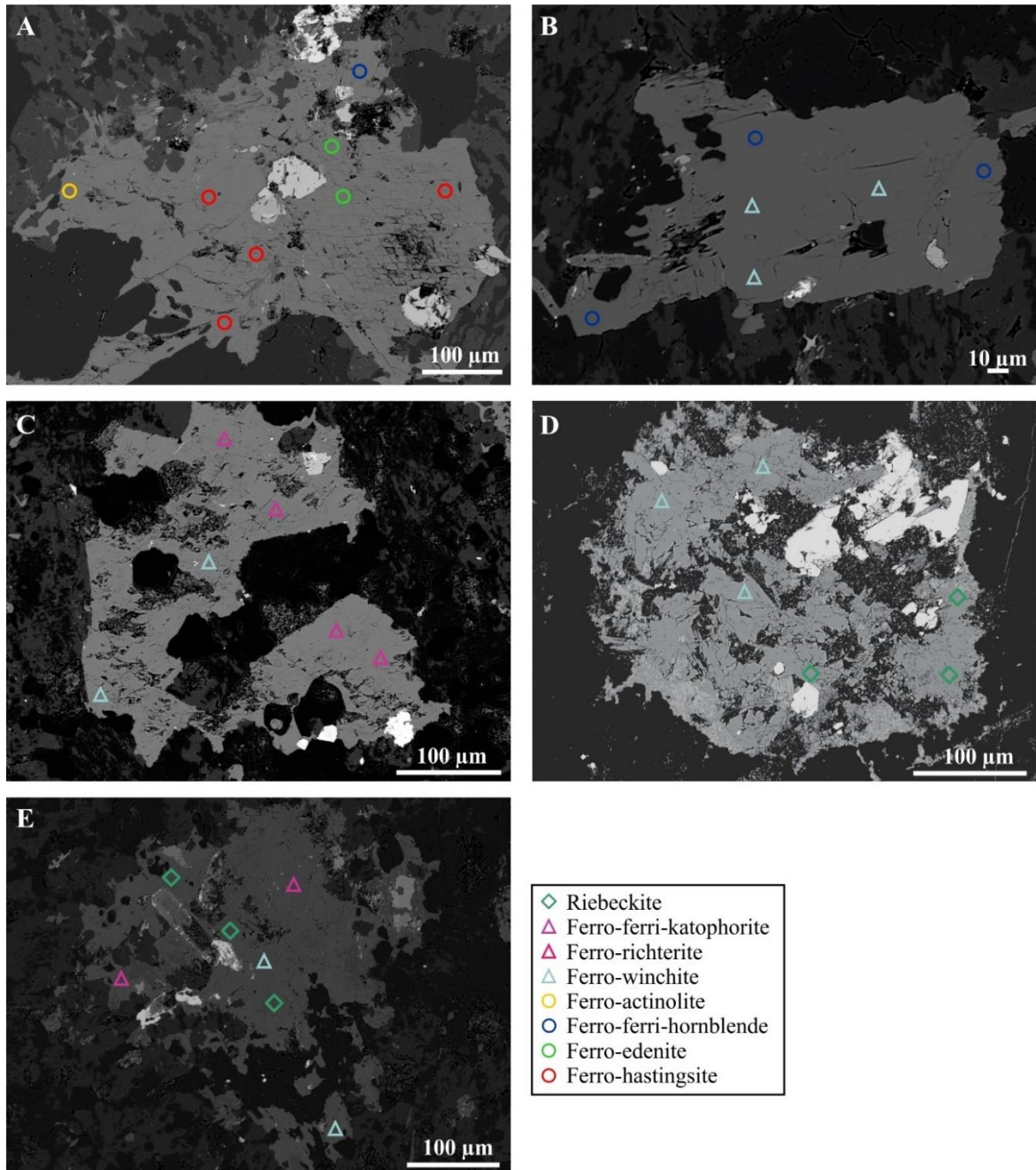


Figure 2.6. Chemical variation of the amphiboles of the AAFG. (A) Variation of calcic species of amphibole in a single crystal; (B) Sodic-calcic amphibole (ferro-winchite) replacing calcic amphibole (ferro-ferri-hornblende); (C) Variation of calcic-sodic species of amphibole in the same crystal; (D, E) Sodic amphibole (riebeckite) replacing sodic-calcic amphibole species (ferro-ferri-katophorite, ferro-winchite).



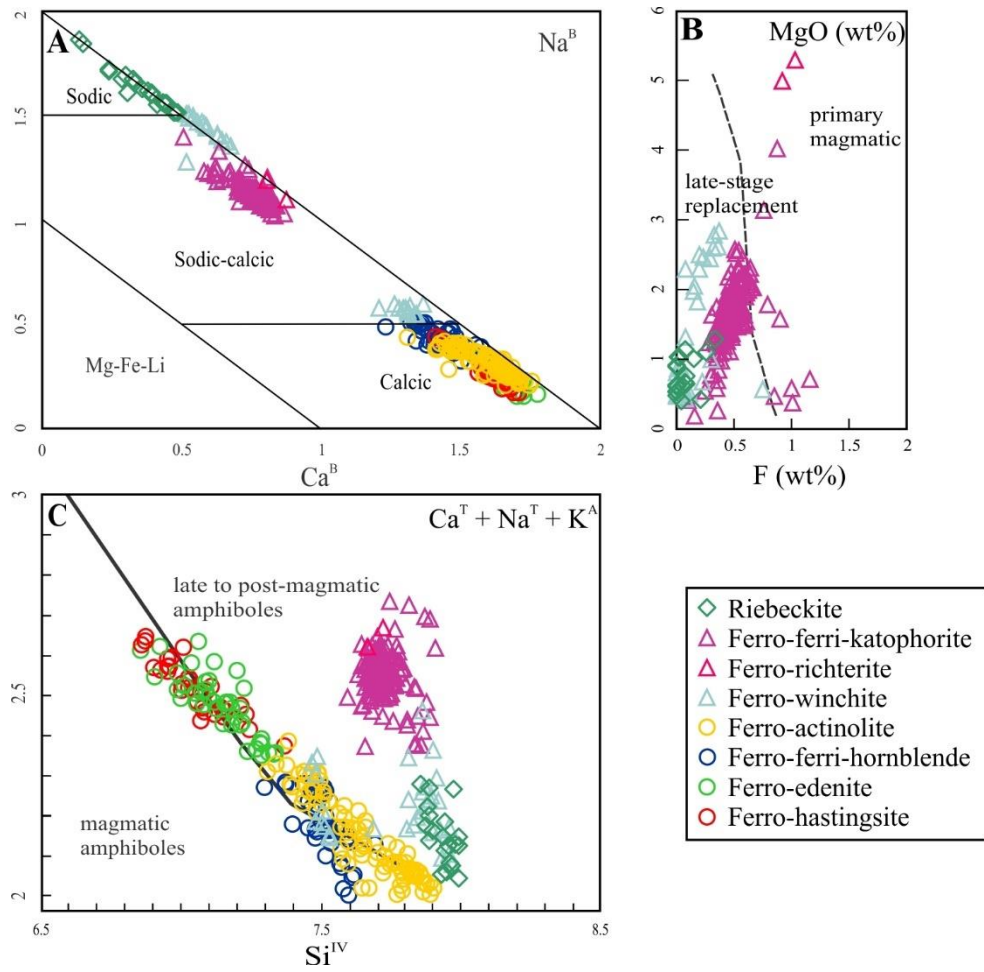


Figure 2.7. Diagrams showing different classifications for amphiboles from Porquinho Granite rocks. (A)  $Ca^B$  vs.  $Na^B$  (Vilalva 2007); (B)  $F$  vs.  $MgO$  (Pe-Piper 2007); (C)  $Si^{IV}$  vs.  $Ca^T + Na^T + K^A$  (Czamanske & Wones 1973).

Table 2.2. Representative WDS analysis (wt.%) and structural formulae (cpfu) for amphiboles of the Amphibole alkali feldspar granite of the Porquinho Granite.

Sample	CALCIC								SODIC-CALCIC								SODIC	
	AJ-163				AJ-124		AJ-228		AJ-228	WP-266			AJ-324				AJ-324	
Mineral	hs	ed	hbl	act	hbl	act	hbl	act	win	win	ktp	rit	ktp	fe-ktp	k-ktp	Ti-ktp	win	rbk
Analysis	31	42	6	10	8	23	30	53	10	1	184	2	36	4	3	1	20	19
SiO <sub>2</sub>	43.59	44.35	46.84	47.42	46.94	47.12	47.04	48.29	46.98	49.75	47.87	48.74	48.01	48.24	48.20	48.02	49.31	50.10
TiO <sub>2</sub>	1.12	0.81	0.58	0.43	0.71	0.58	0.91	0.43	1.07	0.49	1.40	0.47	1.83	1.86	2.07	2.64	0.43	0.20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.08	4.54	2.65	2.39	2.58	2.28	2.51	1.75	2.56	0.89	1.76	1.93	1.18	1.09	1.17	1.09	0.86	0.62
FeO <sub>t</sub>	32.01	31.74	33.27	32.38	33.05	33.15	32.80	32.79	32.51	34.35	32.81	28.44	33.31	32.80	33.65	33.62	34.85	35.33
MgO	2.12	2.55	1.88	2.44	2.03	1.88	1.88	1.87	2.26	0.90	1.57	5.06	0.67	0.44	0.37	0.09	0.57	0.64
MnO	1.07	1.03	1.45	1.26	1.23	1.14	1.25	1.29	1.20	0.60	0.89	0.87	1.02	1.03	1.00	0.95	0.95	0.75
CaO	9.29	9.45	8.29	9.20	8.48	8.94	8.28	9.24	7.63	3.15	4.38	4.92	4.28	4.15	3.90	2.87	3.46	2.04
Na <sub>2</sub> O	2.27	2.12	1.88	1.65	1.87	1.71	1.93	1.28	2.32	5.19	4.90	5.08	4.68	5.36	4.54	5.24	4.65	5.38
K <sub>2</sub> O	0.98	0.89	0.69	0.59	0.74	0.69	0.83	0.57	0.89	1.07	1.31	1.26	1.24	1.28	1.29	1.39	0.84	0.64
F	0.378	0.486	0.215	0.296	0.197	0.195	0.166	0.068	0.244	0.297	0.481	0.973	0.378	1.008	0.073	0.156	0.078	0.060
Cl	0.351	0.330	0.134	0.147	0.161	0.152	0.121	0.077	0.121	0.010	0.040	0.014	0.078	0.076	0.067	0.035	0.030	0.016
H <sub>2</sub> O	1.793	1.814	2.035	1.699	1.944	2.077	2.205	2.219	2.219	3.183	2.616	2.517	3.364	2.900	3.559	3.730	3.830	3.945
Subtotal	100.06	100.12	99.91	99.89	99.93	99.91	99.93	99.88	99.24	99.88	100.02	100.27	100.05	100.25	99.88	99.83	99.85	99.74
O = F-Cl	0.24	0.28	0.12	0.16	0.12	0.12	0.10	0.05	0.13	0.13	0.21	0.41	0.18	0.44	0.05	0.07	0.04	0.03
Total	98.82	99.84	99.79	99.73	99.81	99.79	99.83	99.83	99.11	99.75	99.81	99.86	99.87	99.81	99.84	99.76	99.81	99.71
<b>Number of cations per formula unit based on twenty-three oxygen atoms</b>																		
Si	7.042	7.142	7.504	7.556	7.494	7.563	7.533	7.716	7.504	7.899	7.716	7.695	7.816	7.896	7.842	7.845	7.883	7.931
Al <sup>IV</sup>	0.953	0.851	0.490	0.437	0.484	0.426	0.458	0.279	0.481	0.101	0.283	0.306	0.181	0.104	0.158	0.155	0.116	0.069
Ti	0.014	0.016	0.012	0.019	0.025	0.015	0.016	0.016	0.019	0.000	0.018	0.000	0.017	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000
[T] site	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Ti	0.132	0.092	0.064	0.044	0.064	0.063	0.100	0.047	0.114	0.059	0.169	0.056	0.222	0.228	0.254	0.324	0.054	0.024
Al <sup>VI</sup>	0.015	0.013	0.009	0.012	0.002	0.005	0.016	0.050	0.001	0.065	0.050	0.054	0.045	0.095	0.066	0.054	0.046	0.047
Fe <sup>3+</sup>	0.246	0.248	0.393	0.277	0.411	0.267	0.339	0.228	0.399	0.999	0.262	0.303	0.211	0.091	0.237	0.226	1.084	1.455
Mn <sup>2+</sup>	0.012	0.009	0.024	0.042	0.023	0.028	0.038	0.071	0.010	0.081	0.001	0.000	0.039	0.091	0.005	0.002	0.108	0.089
Fe <sup>2+</sup>	4.072	4.018	4.053	4.032	3.999	4.176	4.048	4.149	3.932	3.562	4.131	3.394	4.311	4.389	4.338	4.368	3.563	3.223
Mg	0.510	0.612	0.448	0.578	0.484	0.449	0.450	0.446	0.539	0.213	0.376	1.191	0.160	0.105	0.090	0.023	0.136	0.151
[C] site	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Mn <sup>2+</sup>	0.134	0.132	0.172	0.127	0.143	0.127	0.131	0.104	0.153	0.000	0.120	0.117	0.104	0.052	0.133	0.130	0.058	0.026
Fe <sup>2+</sup>	0.007	0.011	0.013	0.007	0.003	0.006	0.006	0.004	0.013	0.000	0.031	0.058	0.009	0.000	0.003	0.000	0.011	0.000
Ca	1.608	1.631	1.422	1.570	1.451	1.537	1.420	1.582	1.306	0.536	0.757	0.832	0.747	0.680	0.679	0.502	0.593	0.346
Na	0.248	0.224	0.386	0.292	0.401	0.326	0.437	0.307	0.526	1.457	1.088	0.988	1.139	1.260	1.182	1.361	1.370	1.636
[B] site	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Na	0.462	0.440	0.197	0.217	0.177	0.204	0.162	0.090	0.192	0.140	0.442	0.568	0.350	0.454	0.251	0.299	0.089	0.032
K	0.202	0.182	0.141	0.120	0.151	0.142	0.169	0.117	0.182	0.217	0.269	0.255	0.259	0.268	0.268	0.289	0.171	0.130
[A] site	0.66	0.62	0.34	0.34	0.33	0.35	0.33	0.21	0.37	0.36	0.71	0.82	0.61	0.72	0.52	0.59	0.24	0.14
OH	1.713	1.662	1.856	1.812	1.857	1.860	1.883	1.945	1.844	1.848	1.744	1.511	1.764	1.501	1.944	1.910	1.952	1.965
F	0.191	0.247	0.108	0.149	0.100	0.114	0.084	0.048	0.123	0.149	0.245	0.486	0.214	0.479	0.038	0.081	0.053	0.048
Cl	0.096	0.090	0.036	0.040	0.044	0.041	0.033	0.021	0.033	0.003	0.011	0.004	0.021	0.021	0.019	0.010	0.008	0.005
[W] site	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Total	15.66	15.62	15.34	15.33	15.33	15.35	15.33	15.21	15.37	15.36	15.71	15.82	15.61	15.72	15.2	15.59	15.24	15.14
Al <sub>t</sub>	0.97	0.86	0.50	0.45	0.49	0.43	0.47	0.33	0.48	0.17	0.33	0.36	0.23	0.20	0.22	0.21	0.16	0.12

Abbreviations: hs=ferro-hastingsite; ed=ferro-edenite; hbl=ferro-ferri-hornblende; act=ferro-actinolite; win=ferro-ferri-winchite; ktp=ferro-ferri-katophorite; rit=ferro-richterite; k-tkp=potassic-ferro-ferri-katophorite; Ti-ktp=Ti-rich ferro-ferri-katophorite; rbk=riebeckite.

### 2.4.3.3 Biotite

Analyzed biotites occur as subhedral to anhedral millimeter-sized flakes, as interstitial crystals or associated to fluorite, zircon, and opaque minerals. Primary biotites are never associated with primary amphiboles.

Structural formula was calculated based on 22 atoms with positive charges, which is equivalent to 11 oxygens, and all Fe was count as  $\text{Fe}^{2+}$  (Table 2.3). Biotites from Porquinho Granite are classified as annite (Figure 2.8 A), according to Rieder *et al.* (1998) classification and show  $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$  ratios very close to 1 due to their extreme impoverishment in Mg. Biotites are essentially primary and reequilibrated primary (Figure 2.8 B), plot in the subalkaline field of the diagram  $\text{Mg}(\text{cpfu}) \times \text{Al}_t(\text{cpfu})$  (Figure 2.8 C) and vary between biotites formed in alkaline anorogenic and peraluminous suites (Figure 2.8 D).

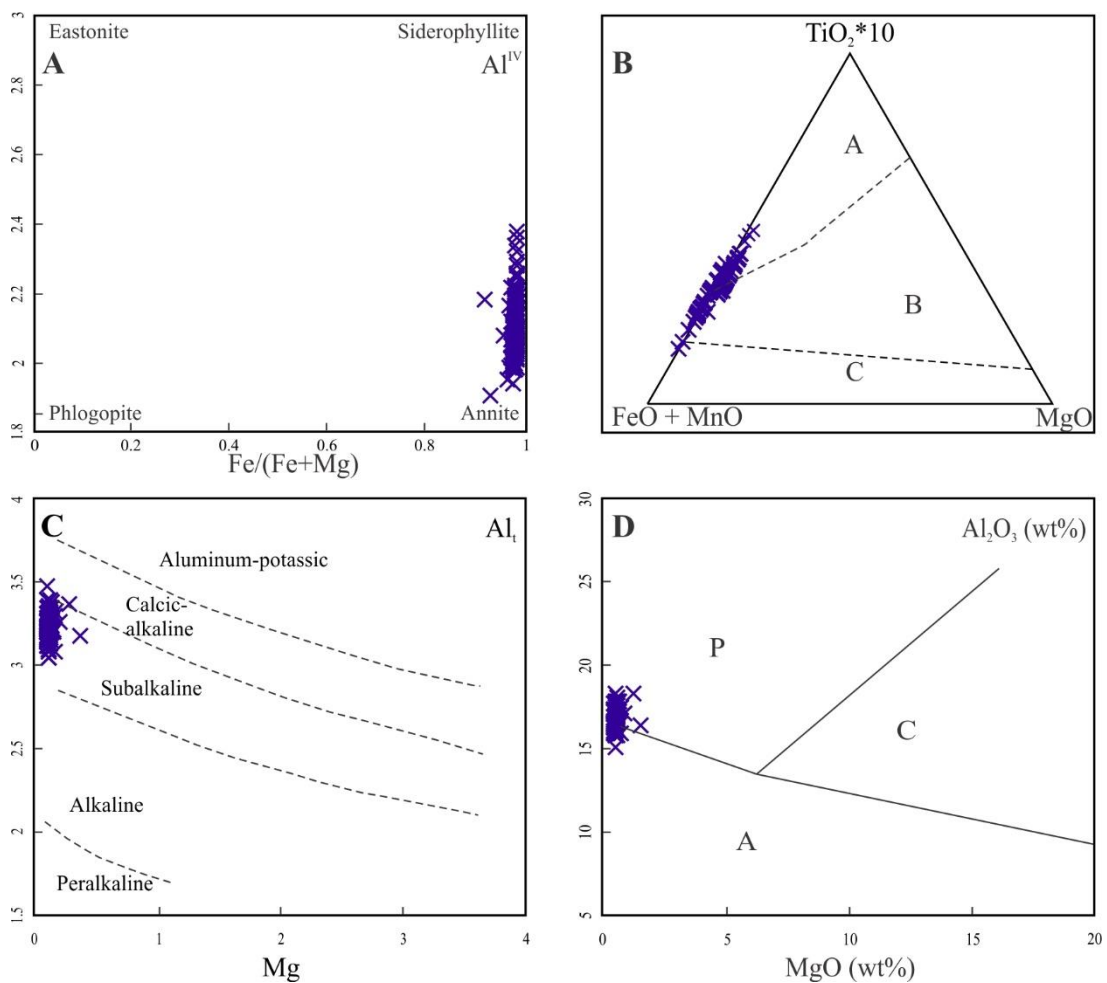


Figure 2.8. Diagrams used to classify and discriminate biotites from Porquinho Granite rocks. (A)  $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$  vs  $\text{Al}^{\text{IV}}$  diagram (Deer *et al.* 1992); (B)  $\text{TiO}_2 \cdot 10$ -FeO+MnO-MgO (wt.%; Nachit *et al.* 1985). A = primary biotites (brown); B = reequilibrated primary biotites (brown/green); C = secondary biotites (green); (C) Mg vs  $\text{Al}_t$  diagram (Nachit *et al.* 1985); (D) MgO vs  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Abdel-Rahman 1994). A = alkaline anorogenic suites; C = calcic-alkaline orogenic suites; P = peraluminous suites (including S-type).

Table 2.3. Representative WDS analysis (wt.%) and structural formulae (cpfu) for biotites of the Biotite alkali feldspar granite of the Porquinho Granite.

<b>Sample</b>	<b>WP-169</b>	<b>MC-08</b>	<b>MC-17</b>
Analysis	113	37	41
SiO <sub>2</sub>	37.46	37.17	36.32
TiO <sub>2</sub>	1.70	1.22	1.95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.32	17.24	17.05
FeO <sub>t</sub>	26.65	28.07	28.20
MgO	0.38	0.29	0.35
MnO	1.01	0.91	0.90
CaO	0.04	0.13	0.01
Na <sub>2</sub> O	0.24	0.18	0.18
K <sub>2</sub> O	9.28	9.31	9.21
H <sub>2</sub> O	3.81	3.29	3.91
F	3.22	3.40	2.81
Cl	0.06	0.07	0.15
Subtotal	100.0	100.0	100.0
O = F-Cl	1.37	1.45	1.22
<b>Total</b>	<b>98.63</b>	<b>98.55</b>	<b>98.78</b>
<b>Number of cations per formula unit based on 22 oxygen atoms</b>			
Si	5.93	5.90	5.81
Al <sup>IV</sup>	2.07	2.10	2.19
Al <sup>VI</sup>	1.16	1.13	1.03
Ti	0.20	0.15	0.23
Fe <sub>t</sub>	3.53	3.73	3.78
Mg	0.09	0.07	0.08
Mn	0.14	0.12	0.12
Ca	0.01	0.02	0.00
Na	0.07	0.05	0.06
K	1.87	1.89	1.88
ΣCations	15.08	15.16	15.18
OH	0.02	0.02	0.00
F	1.61	1.71	0.00
Cl	4.03	3.49	0.00
Alt	3.23	3.23	3.21
Fe/(Fe+Mg)	0.975	0.982	0.978

### 2.4.3 Whole-rock geochemistry

#### 2.4.3.1 Analytical procedures

10 samples were selected after petrographical study and prepared at the Oficina de Preparação de Amostras (OPA) of the Instituto de Geociências (IG) of the Universidade Federal do Pará (UFPA) until they got millimeter-size (90% <200 mesh). Chemical analyzes (Table 2.4) were performed at ACME ANALYTICAL LABORATORIES using ICP-ES (Inductively Coupled Plasma-Emission Spectrometry) for determining concentrations of the major and minor elements and ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry) for trace

elements and rare earth elements. Chemical diagrams were created using GCDKit software (Janoušek *et al.* 2006) and Excel and show geochemical comparison among analyses of Porquinho Granite and others A-type granites of the Tapajós Domain (Maloquinha Intrusive Suite) and tin-mineralized granites of the Xingu region (Antônio Vicente, Mocambo, Benedita and Ubim/Sul granites) and Pitinga mine (Europa alkali feldspar granite), whose references are at Figure 2.9.

#### 2.4.3.2 Major and minor elements

Porquinho granites are high-silica rocks, with SiO<sub>2</sub> contents between 68.10 – 77.89 wt.% (Table 2.4). In general, major elements present negative correlation with increasing SiO<sub>2</sub> amounts (Figure 2.9 A-F), with AAFG displaying higher contents for most of them.

All analyzed samples show relatively high Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (11.73 – 14.33 wt.%) and low ferromagnesian elements (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + MgO + TiO<sub>2</sub> + MnO = 1.04 to 5.31 wt.%). MgO content is very low, reaching a maximum of 0.2 wt.%, and Na<sub>2</sub>O (3 – 4 wt.%) and K<sub>2</sub>O (4 – 5wt.%) register similar quantities among the different facies. The FeO<sub>t</sub>/(FeO<sub>t</sub>+MgO) ratio varies from 0.94 to 0.99 and the K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O, from 1.2 to 1.46, both ratios been slightly higher for BAFG (Table 2.4). Sn contents are low in all rocks of the PG, but a little higher in BAFG (4 – 9 ppm).

Porquinho rocks are peraluminous to metaluminous with some of them plotting in the peralkaline field (Shand 1951; Figure 2.10 A), consist of alkali granites according to R1-R2 diagram (De La Roche *et al.* 1980; Figure 2.10 B) and plot in the ferroan granites field of Frost *et al.* (2001; Figure 2.10 C).

Table 2.4. Chemical composition of the Porquinho Granite.

Facies	Biotite alkali feldspar granite							Amphibole alkali feldspar granite		
	AJ-150	AJ-224	OL-067	MC-048	MC-020	MC-005	AJ-199	AJ-324	AJ-124	MC-163
SiO <sub>2</sub>	77.89	76.63	76.49	76.41	75.92	75.70	75.04	73.94	70.13	68.10
TiO <sub>2</sub>	0.06	0.05	0.09	0.06	0.07	0.07	0.11	0.28	0.42	0.43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.73	12.70	12.15	12.68	12.44	12.46	12.95	11.73	13.23	14.33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.96	1.03	1.30	1.16	1.18	1.23	1.25	3.29	4.46	4.54
MnO	<0.01	0.01	0.02	<0.01	0.01	0.01	0.01	0.07	0.10	0.10
MgO	<0.01	0.01	0.05	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.07	0.14	0.24
CaO	0.31	0.17	0.06	0.24	0.39	0.51	0.46	0.31	0.90	1.24
Na <sub>2</sub> O	3.44	3.70	3.44	3.78	3.80	4.00	3.81	3.86	4.27	4.22
K <sub>2</sub> O	4.76	4.82	5.01	4.71	4.93	4.78	5.18	5.17	5.19	5.38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0.01	0.02	0.02	<0.01	<0.01	0.02	0.01	0.03	0.09	0.11
LOI	0.7	0.8	1.3	0.9	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	1.1
Total	99.89	99.90	99.91	99.93	99.90	99.84	99.86	99.78	99.79	99.77
Ba	22	12	67	8	23	64	29	84	406	663
Rb	342.9	500.6	290.5	407.3	349.7	332.8	397.6	135.7	121.6	163.8
Sr	8.2	2.9	7.3	2.4	5.7	6.4	5.2	16.4	65.4	124.8
Zr	193.9	207.0	217.7	181.8	175.2	196.9	305.7	400.8	400.3	315.1
Nb	35.1	63.6	34.2	41.3	28.4	30.3	34.3	19.2	17.7	15.6
Y	104.9	101.1	46.7	43.4	94.0	76.2	121.4	73.5	66.6	58.1
Ga	24.0	29.7	24.0	26.6	25.0	23.6	25.4	24.6	24.8	23.6
Th	20.2	45.5	26.8	48.6	24.7	48.6	40.0	15.5	12.8	10.7
U	10.9	10.8	5.5	12.3	8.8	11.8	13.0	3.3	2.7	2.1
Ta	2.7	6.9	2.6	3.1	2.2	2.2	2.7	1.0	0.8	0.8
Hf	8.9	11.6	9.9	9.8	8.1	9.1	13.2	9.9	9.8	7.9
Sn	5	9	4	5	5	5	7	3	3	2
W	157.5	75.0	115.3	126.7	133.9	143.2	13.7	200.4	91.8	75.2
La	55.8	30.2	15.8	14.1	54.3	33.1	121.4	180.0	138.9	118.6
Ce	128.9	76.7	46.8	29.7	124.7	76.1	260.3	311.4	254.1	232.7
Nd	55.8	28.4	9.5	11.7	52.2	26.9	94.0	136.9	101.0	96.4
Sm	12.85	6.62	1.95	2.84	11.48	6.50	17.88	19.25	14.99	15.67
Eu	0.20	0.03	0.07	<0.02	0.09	0.08	0.17	0.70	1.58	2.04
Gd	12.99	6.90	2.50	2.84	11.38	6.33	15.30	16.28	13.12	13.96
Dy	14.96	10.44	6.52	5.62	12.85	9.59	14.83	12.08	10.34	11.53
Ho	3.17	2.52	1.61	1.47	2.77	2.36	3.15	2.48	2.19	2.27
Er	9.34	8.32	5.63	5.35	8.28	8.41	9.39	6.84	5.88	6.04
Yb	9.37	10.15	6.12	6.94	8.63	9.01	10.32	6.15	5.94	5.46
Lu	1.47	1.51	0.91	1.04	1.29	1.29	1.53	0.96	1.00	0.84
A/CNK	1.03	1.09	1.09	1.08	1.01	0.98	1.02	0.94	0.93	0.95
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	1.38	1.30	1.46	1.25	1.30	1.20	1.36	1.34	1.22	1.27
FeO <sub>T</sub> /(FeO <sub>T</sub> +MgO)	0.99	0.99	0.96	0.99	0.99	0.98	0.99	0.98	0.97	0.94
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MgO+TiO <sub>2</sub> +MnO	1.04	1.10	1.46	1.24	1.27	1.33	1.38	3.71	5.12	5.31
Rb/Sr	41.82	172.62	39.79	169.71	61.35	52.00	76.46	8.27	1.86	1.31
Ba/Sr	2.68	4.14	9.18	3.33	4.04	10.00	5.58	5.12	6.21	5.31
Nb/Ta	13.00	9.22	13.15	13.32	12.91	13.77	12.70	19.20	22.13	19.50
Zr/Hf	21.79	17.84	21.99	18.55	21.63	21.64	23.16	40.48	40.85	39.89
(La/Yb) <sub>N</sub>	2.71	1.36	1.18	0.92	2.87	1.67	5.36	13.33	10.65	9.90
∑REE	304.85	181.79	97.41	81.62	287.97	179.67	548.27	693.04	549.04	505.51
∑REE light	253.55	141.95	74.12	58.36	242.77	142.68	493.75	648.25	510.57	465.41
∑REE heavy	51.30	39.84	23.29	23.26	45.20	36.99	54.52	44.79	38.47	40.10
Eu/Eu*	0.05	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.03	0.12	0.34	0.41

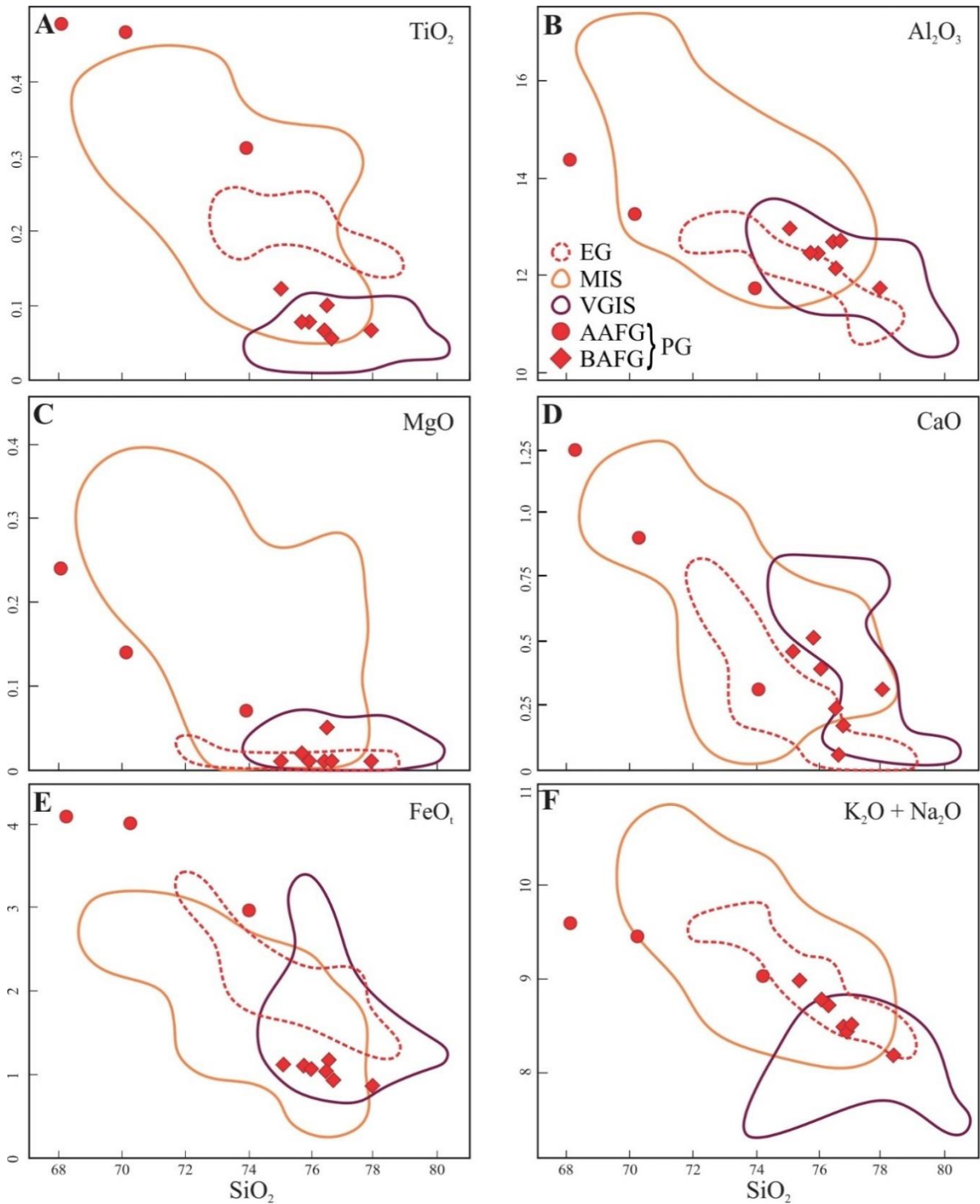


Figure 2.9. Harker diagrams for selected major and minor elements of the Porquinho Granite. EG = Europa Granite; MIS = Maloquinha Intrusive Suite; VGIS = Velho Guilherme Intrusive Suite; AAFG = Amphibole alkali feldspar granite; BAFG = Biotite alkali feldspar granite; PG = Porquinho Granite. Fields for Maloquinha Intrusive Suite (orange full line; Lamarão *et al.* 2002, Semblano *et al.* 2016), Velho Guilherme Intrusive Suite (purple full line; Teixeira 1999) and Europa alkali feldspar granite (red dashed line; Prado *et al.* 2007) are shown for comparison.

### 2.4.3.3 Trace elements

Rb (Figure 2.11A) shows enrichment from AAFG (121 – 163 ppm) to BAFG (290 – 500 ppm), the more evolved rocks, and behaves as an incompatible element. On the other hand, Sr (124 – 2 ppm) and Ba (663 – 8 ppm) exhibit lower contents of them with the increasing of SiO<sub>2</sub> and behave as compatible elements (Figure 2.11B, C). The enrichment of Rb may be mainly related to the fractionation of alkali feldspar, while the impoverishment of Ba and Sr, related to the low concentrations of plagioclase, which is rare to absent in most of the rocks.

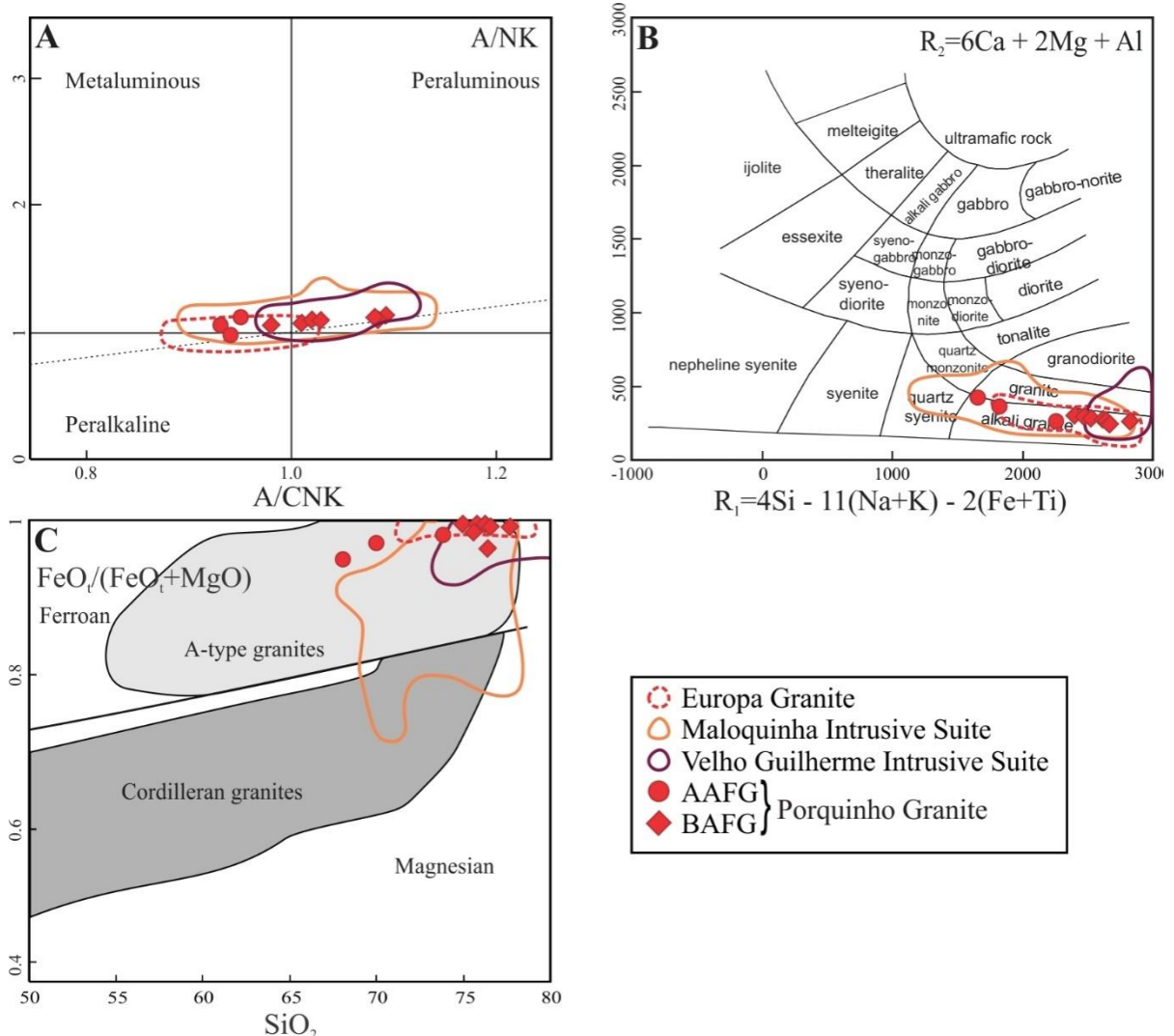


Figure 2.10. Geochemical plots showing the distribution of the samples of the Porquinho Granite. (A) A/NK vs. A/CNK diagram (Shand 1951); (B) R1-R2 diagram (De La Roche *et al.* 1980); (C) SiO<sub>2</sub> vs. FeO<sub>t</sub>/(FeO<sub>t</sub>+MgO) (Frost *et al.* 2001). AAFG: Amphibole alkali feldspar granite; BAFG: Biotite alkali feldspar granite. Fields for Maloquinha Intrusive Suite (Lamarão *et al.* 2002, Semblano *et al.* 2016), Velho Guilherme Intrusive Suite (Teixeira, 1999) and Europa alkali feldspar granite (Prado *et al.* 2007) are shown for comparison.

Zr (175 – 400 ppm; Figure 2.11D) displays an irregular behavior, with a general trend of decreasing as SiO<sub>2</sub> contents increases, behaving itself as a compatible element. The reduction



on its content is associated to zircon fractionation, once it is an early mineral during crystallization. Nb (15 – 63 ppm) and Y (43 – 121 ppm) present positive correlation with SiO<sub>2</sub> (not shown) and behave themselves as an incompatible element.

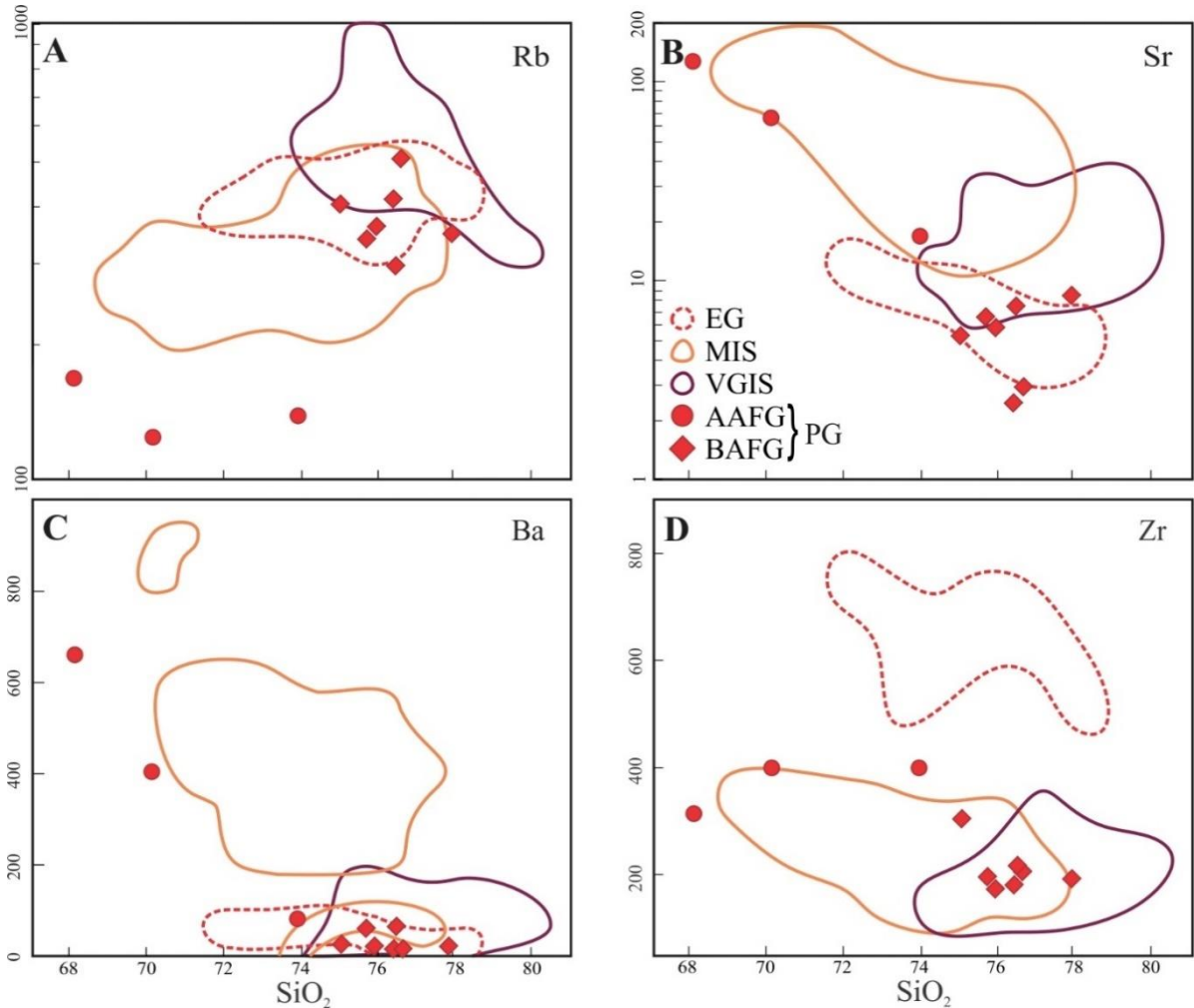


Figure 2.11. Harker diagrams for selected trace elements of Porquinho Granite and fields for comparative granitic rocks. EG = Europa Granite; MIS = Maloquinha Intrusive Suite; VGIS = Velho Guilherme Intrusive Suite; AAFG = Amphibole alkali feldspar granite; BAFG = Biotite alkali feldspar granite; PG = Porquinho Granite. Fields for Maloquinha Intrusive Suite (orange full line; Lamarão *et al.* 2002, Semblano *et al.* 2016), Velho Guilherme Intrusive Suite (purple full line; Teixeira 1999) and Europa alkali feldspar granite (red dashed line; Prado *et al.* 2007) are shown for comparison.

#### 2.4.3.4 Rare Earth Elements

Analytical data of rare earth elements (REE) of Porquinho Granite was normalized by Evensen *et al.* (1978) and is shown at Table 2.2.  $\Sigma$ REE vary from 81.62 to 693.04 ppm and are slightly higher in AAFG. It is enriched in light rare earth elements (LREE) in relation to heavy rare earth elements (HREE), exhibit low to moderate (La/Yb)<sub>N</sub> ratios (0.92 – 13.33), with a nearly flat pattern of HREE and accentuated negative Eu anomaly (Eu/Eu\* = 0.01 – 0.41),

higher in BAFG. In Figure 2.12, REE develop a gullwing-shaped pattern, usual in A-type granites (Whalen *et al.* 1987).

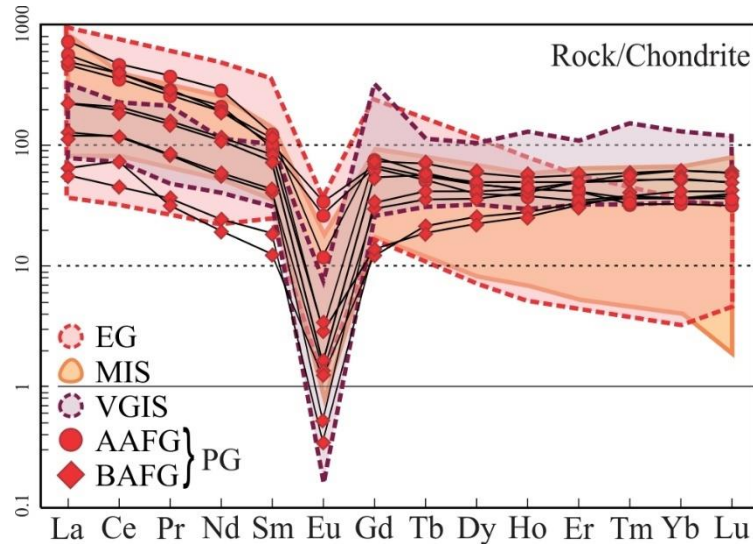


Figure 2.12. Chondrite normalized (Evensen *et al.* 1978) REE patterns for Porquinho and Europa Granites, and Velho Guilherme and Maloquinha Intrusive Suites. EG = Europa Granite; MIS = Maloquinha Intrusive Suite; VGIS = Velho Guilherme Intrusive Suite; AAFG = amphibole alkali feldspar-granite; BAFG = biotite alkali feldspar-granite; PG = Porquinho Granite. Fields for Maloquinha Intrusive Suite (orange full line; Lamarão *et al.* 2002, Semblano *et al.* 2016), Velho Guilherme Intrusive Suite (purple dashed line; Teixeira 1999) and Europa alkali feldspar granite (red dashed line; Prado *et al.* 2007) are shown for comparison.

#### 2.4.3.5 Tectonic setting and typology

In the plot  $(Zr + Nb + Y + Ce)$  vs  $FeO/MgO$  (Figure 2.13 A), all rocks fall in the A-type granites field (Whalen *et al.* 1987) and in  $A_2$  subtype field of Eby (1992; Figure 2.13 B), which represent partial or totally-derived magmas from continental crust or from magmatism of island arc. Finally, in the plot of Pearce *et al.* (1984) and Pearce (1996), Porquinho Granite is geochemically similar to the Phanerozoic within-plate granites (Figure 2.13 C).

In the diagrams proposed by Dall'Agnol & Oliveira (2007), based in oxides of the major elements to differentiate between A-type granites and calc-alkaline, and calc-alkaline, oxidized A-type and reduced A-type granites, Porquinho Granite plots in the field of A-type granites of the  $Al_2O_3$  vs.  $CaO/(FeO_t+MgO+TiO_2)$  diagram (Figure 2.14 A) and in the reduced A-type granites in the  $Al_2O_3$  vs.  $FeO/(FeO + MgO)$  diagram (Figure 2.14 B).

In the plot  $Rb/Sr$  vs.  $Sr$  (Lehmann & Mahawat 1989; Figure 2.14 C), Porquinho Granite shows essentially a geochemical signature which indicates specialization for tin, with exception of two samples of the AAFG. This is corroborated by the  $Rb-Ba-Sr$  diagram (El-Bouseily &

El-Sokkary 1975; Figure 2.14 D), once it is possible to note that most of the compositions of the rocks correspond to the extremely differentiated granites field.

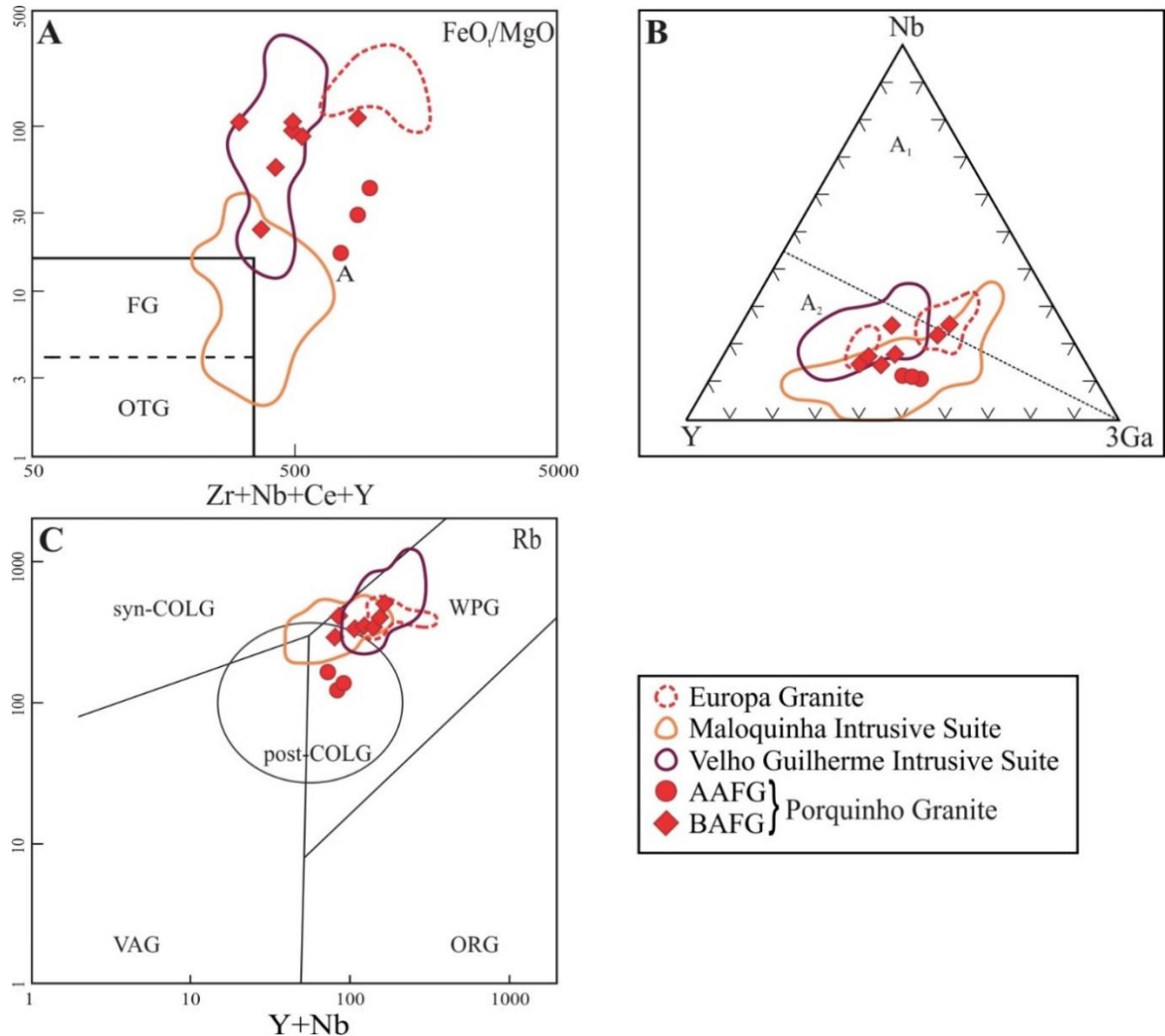


Figure 2.13. Diagrams presenting typology and tectonic ambience for the samples of Porquinho Granite. (A) (Zr + Nb + Y + Ce) vs. FeO/MgO (Whalen *et al.* 1987); (B) Nb-Y-Ga (Eby 1992); (C) Y + Nb vs. Rb (Pearce 1996). AAFG: Amphibole alkali feldspar granite; BAFG: Biotite alkali feldspar granite. Fields for Maloquinha Intrusive Suite (Lamarão *et al.* 2002, Semblano *et al.* 2016), Velho Guilherme Intrusive Suite (Teixeira 1999) and Europa alkali feldspar granite (Prado *et al.* 2007) are shown for comparison.

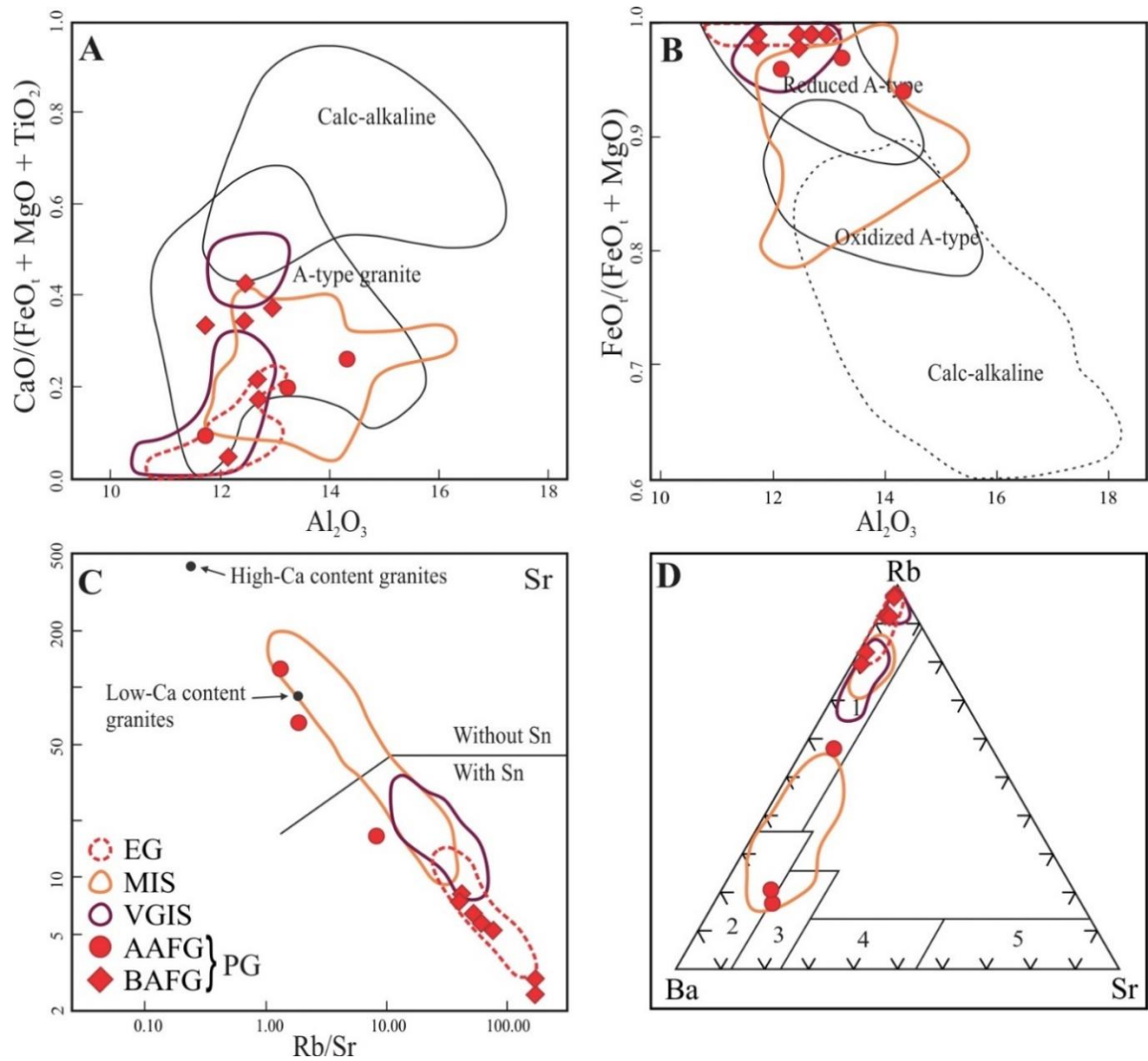


Figure 2.14. Geochemical plots showing typology and its relations with oxidations state, and possible mineralization of the samples of the Porquinho Granite. (A)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  vs.  $\text{CaO}/(\text{FeO}_1 + \text{MgO} + \text{TiO}_2)$  and (B)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  vs.  $\text{FeO}_1/(\text{FeO}_1 + \text{MgO})$  (Dall'Agnol & Oliveira 2007); (C) Rb/Sr vs. Sr (Lehmann & Mahawat 1989); (D) Rb-Ba-Sr (El-Bouseily & El-Sokkary 1975). Fields: 5) diorite; 4) granodiorite and quartz-diorite; 3) anomalous granites; 2) normal granites and 1) extremely differentiated granites. EG = Europa Granite; MIS = Maloquinha Intrusive Suite; VGIS = Velho Guilherme Intrusive Suite; AAFG = Amphibole alkali feldspar granite; BAFG = Biotite alkali feldspar granite; PG = Porquinho Granite. Fields for Maloquinha Intrusive Suite (orange full line; Lamarão *et al.* 2002, Semblano *et al.* 2016), Velho Guilherme Intrusive Suite (purple full line; Teixeira 1999) and Europa alkali feldspar granite (red dashed line; Prado *et al.* 2007) are shown for comparison.

## 2.4.4 Geochronology

### 2.4.4.1 Analytical procedures

After petrographical study and due to the small volume of samples, it was opted to date the more representative facies of the Porquinho Granite, Biotite alkali feldspar granite, by the method of evaporation of Pb in zircon (Kober 1986). Analyses were performed at the Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso) of the IG/UFPA.

Zircon grains were separated using conventional methodology of separation of heavy minerals whose stages are crushing, pulverization, washing, drying, and sifting. Intervals of 0.117 – 0.125 mm and 0.125 – 0.088 mm were selected for containing the most appropriated crystals for analysis.

Subsequent to sifting, portions underwent magnetic separation with magnet and electromagnetic separator in a Frantz Isodynamic model L1. Then, the concentrate was submitted to separation by difference of density using bromoform, and the zircon grains of the heavy portion were selected using a binocular loupe.

Euhedral, colorless, and non-fractured crystals were laid up in a canoe-shaped double filament of rhenium and analyzed by the FINNIGAN MAT-262 mass spectrometer. Information about the dating method is available in Kober (1986) and information about the whole procedure performed at Pará-Iso, in Gaudette *et al.* (1998), Macambira *et al.* (1994) and Moura *et al.* (1996).

#### 2.4.4.2 Pb-Pb geochronology

Eleven crystals of zircon of the Biotite alkali feldspar granites were dated and ten of them were used for the calculation of the age of Porquinho Granite. In general, two zircons were put in each “canoe” and every crystal generated ages in 2 to 5 stages of heating, with good alignment, except for zircon BTG/11, which obtained just one stage of heating, showed bad alignment, and was, therefore, discarded.

Analyzed zircons generated the age of  $1,889 \pm 2$  Ma, which was interpreted as the age of crystallization of the Porquinho Granite (Silva 2010). Isotopic data is available in Table 2.5.

Table 2.5. Isotopic data of Pb obtained by evaporation in zircon crystals of the Biotite alkali feldspar granite of Porquinho Granite.

Zircon	Temp.	Ratios	$^{204}\text{Pb}/$ $^{206}\text{Pb}$	$2\sigma$	$(^{208}\text{Pb}/$ $^{206}\text{Pb})_c$	$2\sigma$	$(^{207}\text{Pb}/$ $^{206}\text{Pb})_c$	$2\sigma$	Age	$2\sigma$
BTG/2	1500	0/40	0.000264	0.000032	0.1678	0.0015	0.1132	0.0003	1851.6	5.0
BTG/5	#1450	0/4	0.002497	0.00003	0.2253	0.0056	0.1048	0.0052	1710.3	91.4
	1500	32/32	0.000064	0.00001	0.1545	0.0004	0.1155	0.0002	1887.8	3.0
BTG/6	1500	14/14	0.000069	0.000063	0.1492	0.0036	0.1154	0.0003	1886.5	5.2
BTG/7	1500	38/38	0.000508	0.000003	0.1234	0.0005	0.1156	0.0003	1888.9	4.0
BTG/8	#1450	0/6	0.005860	0.000028	0.2674	0.0029	0.1140	0.001	1863.8	16.0
	1500	12/12	0.000097	0.000007	0.1495	0.001	0.1156	0.0003	1890.2	4.2
BTG/10	1500	18/18	0.000089	0.000008	0.1497	0.0035	0.1156	0.0002	1890.3	3.5
BTG/11	#1450	0/8	0.001993	0.000092	0.2087	0.0034	0.1126	0.0014	1841.7	21.9
	*1500	0/16	0.000333	0.000038	0.1518	0.0016	0.1126	0.001	1842.6	15.3
	1550	6/6	0.00022	0.00004	0.1587	0.0016	0.1154	0.0006	1886.1	9.3
BTG/12	#1450	0/4	0.002089	0.000368	0.1819	0.0124	0.106	0.0053	1731.6	91.6
			<b>120/198</b>			<b>Mean Age =</b>			<b>1888.7</b>	<b>1.7</b>
<b>Usd: 0.7</b>										

Legend: (c) -  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  ratio and  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  corrected of the common Pb; (\*) –subjectively discarded evaporation stage; (#) –discarded evaporation stage due to present  $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  ratio higher than 0,00055.

## 2.5 DISCUSSION

### 2.5.1 Granitoid typology and metallogenetic considerations

Porquinho Granite (PG), mainly composed of alkali feldspar granites (Figure 2.3; 2.10 B), is metaluminous to peraluminous, locally peralkaline (Figure 2.10 A), ferroan (Figure 2.10 C) and reduced (Figure 2.14 B). It is geochemically like intraplate Phanerozoic (Figure 2.13 C) and A-type (Figure 2.13 A; Figure 2.14 A) granites and fits with A<sub>2</sub>-subtype (Figure 2.13 B), which suggests a crustal source for the magma of these rocks. Its samples are enriched in LREE in relation to HREE and show strong negative anomaly of Eu (Eu/Eu\* = 0.01 – 0.41), similar to those found in highly fractionated and Sn-Ta-Nb -mineralized granites (Teixeira *et al.* 2002a, 2005, Costi *et al.* 2005, Prado *et al.* 2007).

According to Prazeres *et al.* (1979) and Bahia & Quadros (2000), tin-mineralization was identified in greisenized rocks and greisen bodies associated to the Biotite alkali feldspar granites of PG. Despite the low values of Sn (4 – 9 ppm) identified (Table 2.4), PG rocks tend to follow the trend of the alkali feldspar granites of Xingu and Pitinga Tin Provinces (Teixeira *et al.* 2005, Prado *et al.* 2007, respectively), and differentiate itself from the granites of the Maloquinha Intrusive Suite (Lamarão *et al.* 2002, Semblano *et al.* 2016), which are devoid of mineralization, in the different geochemical diagrams shown (Figure 2.14 C, D). Although greisenized rocks were just superficially studied here, it is possible to admit that PG rocks

indicate potential to this kind of mineralization, just like granites of Xingu region and Europa Granite of the Pitinga Province.

### 2.5.2 Amphibole and biotite compositions

AAFG rocks show a great variety of habits and composition of their amphiboles (Figure 2.5; 2.6). The first suggests multiples stages of crystallization of this mineral group and it might had been the reason for such compositional variety.

This variety is just seen through chemical analysis, especially in the same crystal (Figure 2.5; 2.6; 2.7A). Calcic amphiboles are constituted by ferro-hastingsite, ferro-edenite, ferro-ferri-hornblende and ferro-actinolite, and fell in the limit between magmatic and late to post-magmatic amphiboles (Figure 2.7C), which allow the interpretation that calcic amphiboles are magmatic, but their crystallization began in the end of the magmatic stage and extended until the late-magmatic stage, as indicated by their interstitial habit. Sodic-calcic amphiboles exhibit a double behavior, indicated for a compositional gap: part of them plot with calcic amphiboles and the others, with sodic amphiboles (Figure 2.7A, C). The first group is interpreted as a result of late to post-magmatic substitutions; it means these crystals are probably transformations of calcic amphiboles in sodic-calcic amphiboles. The second group is considered as primary crystals, related to the transition of the magmatic stage to the late-stage (Figure 2.7 B, C). Lastly, the sodic amphibole is supposed to be, in this context, a result of alteration of sodic amphiboles (Figure 2.7).

Biotites of BAFG, on the other hand, show a minor compositional variation and plot all as annite, with  $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})$  ratios near to 1 (Figure 2.8 A). They are mainly primary and reequilibrated primary biotites (Figure 2.8 B), with subalkaline affinity (Figure 2.8 C), which is consistent with its ferroan character and A-type affinity and behave as biotites from peraluminous to alkaline anorogenic suites (Figure 2.8 D).

### 2.5.3 Geochronologic implications

The first geochronological data for Porquinho Granite was obtained for Santos *et al.* (2004), when they got the age of  $1,786 \pm 14$  Ma (U-Pb SHRIMP in zircon). This age led them to correlate PG with Teles Pires Magmatism (TPM) at the Juruena Domain, Mato Grosso State (Brazil). In the same article, authors obtained the age of  $1,872 \pm 4$  Ma (U-Pb SHRIMP in zircon) for Pepita Granite, another A-type granite from the Tapajós Domain.

Pepita Granite had been previously related to Porquinho Granite by Quadros and Bahia (2000) due to the presence of sodic amphiboles in both granites and sodic pyroxenes in the first one, but this correlation was undone after Santos *et al.* (2004) because of the difference in their ages. In the current work, the data of  $1,889 \pm 2$  Ma (Pb-Pb in zircon) is presented as the age of crystallization of the PG, which is about 100 Ma younger than its first age and similar to those admitted for Pepita Granite.

Lithochemical affinities of TPM has been described as high-K calc-alkaline (Lacerda Filho 2004), compatible with highly fractionated I-type with similarities with A-type (Moreton & Martins 2005) and peralkaline A-type (Alves *et al.* 2010), showing that the term TPM is used for a great variety of rocks.

Considering the relationship established by Santos *et al.* (2004) between PG and TPM based on geochronological data, Silva (2010) made several geochemical comparisons between them, using data from Barros *et al.* (2009), to test this hypothesis and concluded that TPM shows chemical patterns very contrasting with PG.

TPM presents A/NK and A/CNK ratios higher (1.18 – 3.09 and 0.93 – 2.98, respectively) than PG and are, consequently, more peraluminous and metaluminous, and falls in the I and S-type granites (Whalen *et al.* 1987) and post-collisional fields (Pearce 1996). In relation to REE, TPM shows a very weak Eu anomaly, creating a more linear pattern, similar to those of calcic-alkaline rocks.

More recent studies about A-type rocks of the TPM (Prado *et al.* 2013) show similarities related to the general classification of A-type granites (high contents of SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O, Zr, Nb, Y and Ga, etc.), but also differentiate themselves from PG rocks in more specific diagrams, like Dall’Agnol & Oliveira (2007), plotting in the oxidized A-type field, while PG plots in the reduced A-type field. Besides, they are rapakivi-type granites.

Despite the discussion involving differences between geochronological methods, the age of 1.89 Ma for PG (Silva 2010) fits better with geological context of the Tapajós Domain, once there are other known rocks with similar ages, tectonic context, and chemical compositions (Maloquinha Intrusive Suite and Pepita Granite). This age is also similar to those related with the Sn-mineralized Velho Guilherme and Madeira Intrusive Suites, which, as seen in the prior topic, show chemical similarities with PG. As well, PG cannot be classified as belonging to Teles Pires magmatism, once it shows many geochemical differences, even when compared with the A-type granites. Finally, considering that neither this work nor Santos *et al.* (2004) performed field stage, and it was not possible to localize samples used here, just the



petrographic facies, there is the possibility that each author had dated different parts of the Porquinho Granite and it has a more complex history of evolution.

#### 2.5.4 Comparison with other A-type granites of the Amazonian Craton

Porquinho Granite was compared with others granitic bodies to verify possible similarities with: 1) the most abundant granitic rocks in the Tapajós Domain, and 2) rocks mineralized in Sn and associated metals (Ta, Nb) from other portions of the Amazonian Craton. Table 2.6 summarizes characteristics of these granitic bodies.

For the first group, Mamoal, Dalpaiz, Serra Alta and Igarapé Tabuleiro Granites (Lamarão *et al.* 2002, Semblano *et al.* 2016) from the Maloquinha Intrusive Suite (MIS) were selected. MIS is located in the Tapajós Domain and composed of several subcircular granitic plutons classified as alkali feldspar granites, syenogranites and leucocratic monzogranites. They show an alkaline affinity (A-type) and chemical and rare earth elements patterns similar to those described for A-type granites.

For the second one, Europa Granite (EG), from the Madeira Intrusive Suite, and Antônio Vicente, Mocambo, Benedita and Ubim/Sul, from the Velho Guilherme Intrusive Suite (VGIS), were chosen. EG is located at the Guianas Shield, in the boundaries of Tapajós-Parima and Central Amazonian Provinces at northern Amazonian Craton (AC), in Amazonas State (Brazil), in the Pitinga mining district. It is described as an hipersolvus granite, with peralkaline affinity, composed for alkali feldspar granites with sodic amphiboles (Costi *et al.* 2000), and presented anomalies of Nb and Ta in soil analysis. VGIS is situated in the Mineral Province of Carajás, in the Iriri-Xingu Domain at the Central Amazonian Province, southern AC (Teixeira *et al.* 2005, Vasquez & Rosa-Costa 2008), around the city of São Félix do Xingu, in Pará State (Brazil). They are reported as granitic massif with associated greisens, which some of them host Sn-mineralization. VGIS is composed of syeno- to monzogranites, with minor alkali feldspar granites, which are subalkaline to alkaline, similar to A-type granites.

In terms of major and minor oxides, BAFG usually plots next to the fields of EG and VGIS, and the most evolved rocks of SIM. AAFG, however, do not follow this behavior and tends to plot as the least evolved rocks of SIM (Figure 2.9 A-F). In terms of alkalinity index, all groups of rocks show similar behavior, usually varying just their largeness, so that all samples show A/NK ratios next to 1, and change from more peraluminous (SIM, GP and VGIS) to more peralkaline (EG; Figure 2.10 A). In the diagram R1 vs. R2 (Figure 2.10 B), SIM samples spread themselves along the fields of quartz-syenite, quartz-monzonite, granite, and

alkali granite, VGIS concentrates in the fields of granite and alkali granite, and PG tends to plot next to EG, falling in the field of the alkali granites. In the diagram  $\text{SiO}_2$  vs.  $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO})$ , except for SIM, which goes through magnesian field, all samples plot in the field of the ferroan granites (Figure 2.10 C).

Concerning trace elements, BAFG of PG exhibits comportment similar to those of the mineralized rocks, EG and VGIS (Figure 2.11 A-D), which present higher concentrations of Rb and lesser of Sr, Ba and Zr. In the last case, EG shows comparatively higher concentrations of Zr. AAFG, on the other hand, keeps away or in an intermediate behavior, approaching to MIS.

REE pattern displays low  $(\text{La/Lu})_N$ , low to pronounced negative Eu anomalies, flat to low HREE, and show a gullwing-shaped pattern for all studied group of rocks, indicating they all behave as A-type granites. Once again, PG fits better with mineralized rocks, especially when BAFG is confronted with VGIS (Figure 2.12).

In the plot of Whalen *et al.* (1987; Figure 2.13 A), EG and VGIS fall in the A-type granites field, while MIS spread out in the fractionated granites and non-fractionated M-, S- and I-type fields, with PG tending to be similar with the mineralized rocks, mainly the BAFG, which matches more with VGIS granites. Rock groups show a less homogeneous pattern, even plotting essentially in the  $A_2$ -type field of Eby (1992; Figure 2.13 B), and PG plots with MIS (AAFG) and VGIS (most of BAFG), and plot in the field of the within-plate to post-collisional granites (Pearce 1996; Figure 2.13 C).

The diagrams of Dall'Agnol & Oliveira (2007), the studied rocks reiterate the A-type pattern (Figure 2.14 A) and show PG and the mineralized rocks present a strongly reduced characteristic, whilst MIS exhibits terms as oxidized as reduced (Figure 2.14 B). Still, it is clear the tendency for mineralization of BAFG of PG, which fall with EG in the field of the granites with Sn and in the extremely differentiated granites (Figure 2.14 C, D, respectively).

Table 2.6. General comparison among Porquinho Granite and other A-type granites of the Amazonian Craton.

Intrusive Suite	Pluton	Facies	A/NK	A/CNK	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	Rb/Sr	Ba/Sr	Fe/(Fe+Mg)	Eu/Eu*	(La/Yb) <sub>N</sub>	Age
-	Porquinho	BAFG	1.08 - 1.12	0.98 - 1.08	1.25 - 1.46	39.79 - 172.62	2.68 - 10.00	0.96 - 0.99	0.02 - 0.10	1.37 - 7.94	1,889 ± 2 Ma
		AAFG	0.98 - 1.12	0.93 - 0.95	1.22 - 1.34	1.31 - 8.27	5.12 - 6.21	0.94 - 0.99	0.12 - 0.34	14.66 - 19.76	
Maloquinha	Mamoal <sup>1</sup>	BAMzG	1.07 - 1.18	0.91 - 1.09	1.13 - 1.32	2.84 - 3.27	3.65 - 7.78	0.84 - 0.88	0.10 - 0.36	6.65 - 31.40	1,880 ± 9 Ma <sup>a</sup>
		BASG	1.05 - 1.18	1.02 - 1.07	1.29 - 1.39	3.12 - 9.67	6.73 - 8.03	0.89 - 0.95	0.15 - 0.17	11.62 - 18.17	
		BAFG	1.03 - 1.17	1.02 - 10.8	1.11 - 1.65	3.45 - 764.00	3.39 - 26.00	0.94 - 0.99	0.13 - 0.18	13.17	
	Dalpaiz <sup>1</sup>	BAMzG	1.04 - 1.30	0.94 - 1.03	0.94 - 1.26	1.45 - 27.36	3.57 - 9.79	0.85 - 0.98	0.12 - 0.18	3.74 - 8.37	
		BSG	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Igarapé Tabuleiro <sup>1,2</sup>	ABQM	1.13	0.98	1.39	1.66	6.96	0.78	-	-	
		ABQS	1.11	0.97	1.27	1.66	5.64	0.87	0.36	32.41	
	Serra Alta <sup>1</sup>	BLMzG/SG	1.05 - 1.17	0.97 - 1.12	1.05 - 1.46	5.12 - 26.06	2.26 - 13.13	0.52 - 0.97	0.06 - 0.30	2.84 - 61.39	
		ASG	1.03 - 1.17	0.96 - 1.07	1.33 - 1.47	2.49 - 5.28	5.79 - 6.30	0.90 - 0.93	0.08 - 0.13	11.25 - 12.67	
		BQzS	-	-	-	-	-	-	-	-	
		AFG	1.02 - 1.17	0.95 - 1.12	1.38 - 1.45	4.09 - 26.42	3.82 - 7.17	0.91 - 0.96	0.02	4.91 - 11.81	
Velho Guilherme	Antonio <sup>3</sup>	ABSG	1.11 - 1.18	0.98 - 1.04	1.24 - 1.50	13.34 - 26.20	4.75 - 5.63	0.96 - 0.97	0.11 - 0.15	2.88 - 5.96	1,862 ± 32 Ma <sup>#b</sup>
	Vicente	IABSG	1.11 - 1.38	0.93 - 1.09	1.10 - 2.15	22.82 - 123.00	0.73 - 4.50	0.94 - 0.99	0.04 - 0.09	1.03 - 2.84	
	Mocambo <sup>3</sup>	SGMv	1.24 - 1.56	1.11 - 1.39	1.21 - 2.88	27.23 - 72.51	1.26 - 2.00	0.99 - 1.00	0.02	2.12 - 2.68	
	Ubim/Sul <sup>3</sup>	BSGCl	1.20 - 1.34	1.10 - 1.21	1.58 - 1.78	40.20 - 78.43	113 - 3.00	0.99	0.02 - 0.03	1.69 - 2.21	
	Benedita <sup>3</sup>	AFG	1.03 - 1.08	1.02 - 1.05	0.92 - 1.05	14.79 - 40.27	0.55 - 4.56	0.97 - 0.99	0.01	1.73 - 2.80	
		BAFG	1.05 - 1.07	1.00 - 1.03	0.89 - 1.14	39.51 - 48.83	0.56 - 0.69	0.99	0.01	1.76 - 2.35	
Madeira	Europa <sup>4</sup>	1 (AAFG)	0.94 - 1.03	0.89 - 0.99	0.96 - 1.17	31.83 - 128.65	2.22 - 6.82	0.99	0.08 - 0.12	10.53 - 34.17	1,829 ± 1 Ma <sup>d</sup>
		2 (AAFG)	1.00 - 1.01	0.97 - 1.01	1.10 - 1.25	40.54 - 102.77	2.73 - 7.50	0.98 - 0.99	0.05 - 0.12	3.28 - 85.73	

Abbreviations: BAFG = Biotite alkali feldspar granite; AAFG = Amphibole alkali feldspar granite; BAMzG = biotite-amphibole monzogranite; BASG = biotite-amphibole syenogranite; BSG = biotite syenogranite; ABQM = amphibole-biotite quartz monzonite; ABQS = amphibole-biotite quartz syenite; BLMzG/SG = biotite leucomonzogranite to leucosyenogranite; ASG = amphibole syenogranite; BQzS = biotite quartz syenite; AFG = alkali feldspar granite; ABSG = altered biotite syenogranite; IABSG = intensely altered biotite syenogranite; SGMv = syenogranite with muscovite; BSGCl = biotite syenogranite with chlorite. References: 1 = Semblano *et al.* 2016; 2 = Lamarão *et al.* 2002; 3 = Teixeira 1999; 4 = Prado *et al.* 2007; a = Pb-Pb/zircon (Lamarão *et al.* 2002); b = Pb-Pb/zircon (Teixeira *et al.* 2002); c = Pb-Pb/whole rock (Lafon *et al.* 1995); d = Pb-Pb/zircon (Costi *et al.* 2000); # = Ages for other granitic bodies of the Velho Guilherme Intrusive Suite.

## 2.6 CONCLUSIONS

Porquinho Granite is composed, essentially, of hypersolvus hololeucocratic alkali feldspar granites, grouped *In*: biotite alkali feldspar granite, amphibole alkali feldspar granite and greisenized rocks.

Amphibole varies from calcic (ferro-edenite, ferro-actinolite and ferro-hornblende, Leake *et al.* 1997, 2004; hastingsite, ferro-edenite, ferro-actinolite and ferro-ferri-hornblende, Hawthorne *et al.* 2012) to sodic-calcic (ferro-richterite and ferro-winchite, Leake *et al.* 1997, 2004; ferro-ferri-winchite, ferro-ferri-katophorite, ferro-richterite, potassic-ferro-ferri-katophorite and ferro-katophorite, Hawthorne *et al.* 2012) to sodic (riebeckite) and biotites all classify as annite. Both amphiboles and biotites show high Fe/(Fe + Mg) ratios (0.84 – 0.98 and 0.97 – 0.98, respectively).

Calcic amphiboles plot just in the limit between magmatic and late to post- magmatic fields, leading the inference that these amphiboles are magmatic, but late, and their crystallization was initiated in the end of the magmatic stage and follow until the late-magmatic stage, as suggested by their interstitial habit. Sodic-calcic are grouped in two: 1) behaves similarly to calcic amphiboles and is interpreted as transformation of the calcic ones; and 2) primary crystals related to the transition of the magmatic to the late to post-magmatic stage. Finally, sodic amphiboles are considered as the result of the substitution of the primary sodic-calcic amphiboles in the late to post-magmatic stage. Biotites are mostly primary and primary reequilibrated, with subalkaline affinity and behave as biotites formed from peraluminous and alkaline anorogenic suites.

Chemical analyses demonstrate relatively high contents of SiO<sub>2</sub> (68.10 – 77.89 wt. %) and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (11.73 – 14.33 wt. %), and low (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + MgO + TiO<sub>2</sub> + MnO = 1.04 to 5.31 wt. %) and contents of Na<sub>2</sub>O and K<sub>2</sub>O of 3 – 4% and 4 – 5% respectively.

PG is classified as metaluminous to peraluminous, locally peralkaline, with K<sub>2</sub>O/ Na<sub>2</sub>O ratios between 1 and 2, and FeO<sub>t</sub>/(FeO<sub>t</sub> + MgO) very close to 1. It is a ferroan, reduced granite geochemically similar to the Phanerozoic intraplate ones and to the A-type granites, A<sub>2</sub>-subtype, which suggests crustal source to the magma of the PG. Rb shows enrichment from AAFG toward BAFG, whereas Sr and Ba get depleted in the same direction, possibly related to the fractionation of alkali feldspar e to the low concentration of plagioclase (rare or absente), respectively, in these rocks. About REE, AAFG are slightly more enriched than BAFG, but both present the same general pattern, presenting higher contents of LREE in relation to HREE,

with strong negative Eu anomaly, similar to those found in highly fractionated granites and Sn-Ta-Nb-mineralized granites.

Comparisons with Sn-Ta-Nb-mineralized granites of Europa Granite (EG, Madeira Intrusive Suite; Pitinga) and Velho Guilherme Intrusive Suite (VGIS; Xingu), and non-mineralized rocks of the Maloquinha Intrusive Suite (MIS; Tapajós) indicate that PG, especially BAFG, present, in general, more similarities with the mineralized rocks. This observation is in agreement with Prazeres *et al.* (1979) and Bahia & Quadros (2000), which identified that the Sn-mineralization of the PG are associated to BAFG facies.

Although low contents of Sn were detected in the chemical analyses, BAFG tend to follow the trend of the alkali feldspar granites of the tin provinces of Xingu and Pitinga, while AAFG presents more similarities whit MIS.

With respect to the geochronological data, the divergent ages of Santos *et al.* (2004;  $1,786 \pm 14$  Ma) and Silva (2010;  $1,889 \pm 2$  Ma) to PG suggest that, despite the comparative study fulfilled demonstrate the second age fits better to the geological context in which PG is inserted, this granitic body needs to be studied in detail, beginning with an accurate geological mapping, in order to totally better comprehend its evolution, besides new geochronological data to finally define its crystallization age.

#### Acknowledgments

The authors thank to CPRM (Brazilian Geological Survey) for the concession of the samples used in this work, to the Laboratório de Microanálises (UFPA) for conducting microprobe analysis and to the Research Group Petrologia de Granitoides and Instituto de Geociências (UFPA) for all support given. CNPq is also thanked for research (CNL; Process 305701/2014-2), DCO (Process 311388/2016-7) and DTI (JSS; Process 381885/2015-1) scholarships. This research received financial support from INCT program (CNPq/FAPESPA/CAPES/PETROBRAS; Proc. 573733/2008-2), CNPq/Universal (Proc. 483330/2012-4) and Universidade Federal do Pará (UFPA). This paper is a contribution to the Research Project MCTI/CNPQ/Universal (Proc. 458941/2014-0) and the Brazilian Institute of Amazonian Geosciences (INCT GEOCIAM).

#### REFERENCES

Abdel-Rahman A.-F.M. 1994. Nature of Biotites from Alkaline, Calc-alkaline, and Peraluminous Magmas. *Journal of Petrology*, **35**(2):525–541. doi:10.1093/petrology/35.2.525

Alves C.L., Sabóia A.M., Martins E.G., Stropper J.L. (Eds.). 2010. *Geologia e recursos minerais das Folhas São José do Xingu SC.22-Y-A e Rio Comandante Fontoura SC.22-Y-B*. Escala 1:250.000. Goiânia, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/SICMEMT.

Bahia R.B.C, Quadros M.L.E.S. 2000. *Projeto especial Província Mineral do Tapajós. PROMIN-Tapajós. Geologia e recursos minerais da Folha Caracol - SB.21-X-C. Estado do Pará. Escala 1:250.000*. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, nota explicativa em CD-ROM.

Barros M.A.S., Chemale Jr. F., Nardi L.V.S., Lima E.F. 2009. Paleoproterozoic bimodal post-collisional magmatism in the southwestern Amazonian Craton, Mato Grosso, Brazil: geochemistry and isotopic evidence. *Journal of South American Earth Sciences*, **27**(1):11-23. doi:10.1016/j.jsames.2008.11.003

Costi H. T., Dall'Agnol R., Moura C.A.V. 2000. Geology and Pb-Pb Geochronology of Paleoproterozoic Volcanic and Granitic Rocks of Pitinga Province, Amazonian Craton, Northern Brazil. *International Geology Review*, **42**(9):832–849. doi:10.1080/00206810009465114

Costi H.T., Borges R.M.K., Dall'Agnol R. 2005. Depósitos de Estanho da Mina Pitinga, Estado do Amazonas. In: Marini O.J., Queiroz E.T., Ramos B.W. (Eds.). *Caracterização de Depósitos Minerais em Distritos Mineiros da Amazônia*. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral - CT-Mineral/FINEP - ADIMB, p. 391-475.

Czamanske G.K., Wones D.R. 1973. Oxidation during magmatic differentiation, Finnmarka Complex, Oslo Area, Norway: Part 2, The Mafic Silicates1. *Journal of Petrology*, **14**(3):349–380. doi:10.1093/petrology/14.3.349

Dall'Agnol R., Oliveira D.C. 2007. Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: Implications for classification and petrogenesis of A-type granites. *Lithos*, **93**(3-4):215–233. doi:10.1016/j.lithos.2006.03.065

De La Roche H., Leterrier J., Grandclaude P., Marchal M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major-element analyses-its relationships with current nomenclature. *Chem. Geol.* **29**:183-210

Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J. 1992. *Rock-forming minerals*. London, 2<sup>nd</sup> Edition, Longmans, 696p.

Eby G.N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenesis and tectonic implications. *Geology*, **20**:641-644. doi:10.1130/0091-7613(1992)020<0641:csotat>2.3.co;2

El-Bouseily A. M., El-Sokkary A. A. 1975. The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. *Chemical Geology*, **16**(3), 207–219. doi:10.1016/0009-2541(75)90029-7

Evensen N.M., Hamilton P.T., O'niions R.K. 1978. Rare earth abundances in chondritic meteorites. *Geochemical and Cosmochimica Acta*, **39**:55-64. doi:10.1016/0016-7037(78)90114-x

Frost B.R, Barnes C.G, Collins W.J, Arculus R.J., Ellis D.J., Frost C.D. 2001. A Geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, **42**(11):2033-2048. doi:10.1093/petrology/42.11.2033

Gaudette, H.E., Lafon, J.M., Macambira, M.J.B., Moura, C.A.V., Scheller, T., 1998. Comparison of single filament Pb evaporation/ionization zircon ages with conventional U-/Pb results: examples from the Precambrian of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **11**(4):351-363. doi:10.1016/s0895-9811(98)00019-4

Hawthorne F.C., Oberti R., Harlow G.E., Maresch W.V., Martin R.F., Schumacher J.C., Welch M.D. 2012. Nomenclature of amphibole supergroup. *American Mineralogist*, **97**(11-12):2031-2048. doi:10.2138/am.2012.4276

Janoušek V., Farrow C.M., Erban V. 2006. Interpretation of Whole-rock Geochemical Data in Igneous Geochemistry: Introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology*, **47**(6):1255–1259. doi:10.1093/petrology/egl013

Klein E.L., Almeida M.E. de, Vasquez M.L., Bahia R.B.C., Espírito Santo M.L., Ferreira A.L. (eds). 2001. *Geologia e Recursos Minerais da Província Mineral do Tapajós: Vila Mamãe Anã (SB.21-V-D), Jacareacanga (SB.21-Y-B), Caracol (SB.21-X-C), Vila Riozinho (SB.21-Z-A) e Rio Novo (SB.21-Z-C). Estados do Pará e Amazonas. Escala 1:500.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Projeto Especial Província Mineral do Tapajós, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1 CD-ROM.*

Klein E.L., Guimarães S.B. Chaves C.L., Rodrigues J.B., Queiroz J.D.S. 2014. U-Pb (LA-ICP-MS) geochronology of detrital zircons from the Novo Progresso and Castelo dos Sonhos sedimentary formations: a preliminary approach to the source areas and implications for province boundaries in the Amazonian Craton. In: 9<sup>th</sup> South American Symposium on Isotope Geology, *Abstracts*, p. 203.

Kober B. 1986. Whole-grain evaporation for 207Pb/206Pb-age-investigations on single zircons using a double-filament thermal ion source. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **93**(4):482–490. doi:10.1007/bf00371718

Lacerda Filho J.V., Abreu Filho W., Valente C.R., Oliveira C.C., Albuquerque M.C. (Eds.). 2004. *Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso*. Goiânia, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. (Convênio CPRM/SICME), 200p. + maps.

Lafon J.M., Rodrigues E., Macambira E.M.B., Pereira E.D. 1995. Magmatisme anorogénique du protérozoïque dans la région de São Felix do Xingu - Tucumã (Amazonie Orientale, Brésil). *Nouvelles données géochronologiques. C. R. Acad. Sci. Paris*, **320**(2):937-944.

Lamarão C.N., Dall’Agnol R., Lafon J.M., Lima E.F. 2002. Geology, geochemistry, and Pb-Pb zircon geochronology of the Paleoproterozoic magmatism of Vila Riozinho, Tapajós Gold Province, Amazonian craton, Brazil. *Precambrian Research*, **119**(1-4):189-223. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0301-9268\(02\)00123-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-9268(02)00123-7).

Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B., Le Bas M.J., Bonin B., Bateman P. (Eds.). *Igneous rocks: a classification and glossary of terms*. 2<sup>nd</sup> Edition, London, Cambridge University Press, 193 p. doi:10.1017/cbo9780511535581

Leake B.E., Woolley A.R., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G. 1997. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *The Canadian Mineralogist*, **35**:219-246. Available In: <[http://www.minsocam.org/MSA/IMA/ima98\(11\).pdf](http://www.minsocam.org/MSA/IMA/ima98(11).pdf)>. Accessed In: 03/13/2015.

Leake B.E., Woolley A.R., Birch W.D., Burke E.A.J., Ferraris G., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Schumacher J.C., Stephenson N.C.N., Whittaker E.J.W. 2004. Nomenclature of amphiboles: Additions and revisions to the International Mineralogical Association's amphibole nomenclature. *American Mineralogist*, **89**:883-887. Available In: <[http://minsocam.org/MSA/AmMin/TOC/Abstracts/2004\\_Abstracts/MJ04\\_Abstracts/Leake\\_p883\\_04.pdf](http://minsocam.org/MSA/AmMin/TOC/Abstracts/2004_Abstracts/MJ04_Abstracts/Leake_p883_04.pdf)>. Accessed In: 13/03/2015.

Lehmann B., Mahawat C. 1989. Metallogeny of tin in central Thailand: A genetic concept. *Geology*, **17**:426-429.

Macambira M.J.B., Moura C.A.V., Lafon J.M., Scheller T., Gaudette H.E. 1994. O método Pb-Pb por evaporação em zircão: avaliação dos dados obtidos no Laboratório de Geologia Isotópica da UFPA. In: Congresso Brasileiro de Geologia. Camboriú, *Boletim de Resumos*, v. 38, p. 404-405.

Melo A.F.F., Santos A.J., Cunha M.T.P., Campos M.J.F., D'Antona R.J.G. 1978. Projeto Molibdênio em Roraima: Relatório Final. Convênio Departamento Nacional de Produção Mineral/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Available In: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/9760>>. Accessed In: 04/18/2016.

Moreton L.C., Martins E.G. 2005. *Geologia e Recursos Minerais da Folha Vila Guarita – Folha SC.21-Z-B*. Escala 1:250.000. Brasília, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/DEPAT/DIEDIG.

Moura C.A.V., Gaudette H.E., Macambira M.J.B., Lafon J.M., Scheller T. 1996. Datação de monocristais de zircão por evaporação de Pb em filamento simples: comparação com resultados U-Pb. In: Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador, *Boletim de Resumos*, v. 39, p. 480-482.

Moura C.A.V., Gorayeb P.S.S., Matsuda N.S. 1999. Geocronologia Pb-Pb em zircão do riolito Vila Raiol, Formação Iriri – sudoeste do Pará. In: 6º Simpósio de Geologia da Amazônia. Manaus, *Resumos expandidos*, p.475-477.

Nachit H., Razafimahefa N., Stussi J.-M., Caron J.-P. 1985. Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoïdes, *C. R. Acad. Sci. Paris*, Ser. II **301**:813–818.

Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, **25**(4):956-983. doi:10.1093/petrology/25.4.956

Pearce J.A. 1996. Sources and settings of granitic rocks. *Episodes*, **19**:(120-125). Available In: <<http://www.episodes.org/index.php/epi/article/viewFile/62996/49159>>. Accessed In: 08/20/2015.



Pe-Piper G. 2007. Relationship of amphibole composition to host-rock geochemistry: the A-type gabbro-granite Wentworth pluton, Cobequid shear zone, eastern Canada. *European Journal of Mineralogy*, **19**(1):29–38. doi:10.1127/0935-1221/2007/0019-0029

Prado E.S., Barros M.A.S., Pinho F.E.C. Pierosan R. 2013. Granito Terra Nova - petrologia e geocronologia: um granito tipo-A da Província Aurífera Alta Floresta - Cráton Amazônico. *Brazilian Journal of Geology*, **43**(1):101–116. doi:10.5327/z2317-48892013000100009

Prado M., Ferron J.M.T.M., Lima E.F., Bastos Neto A.C., Pereira V.P., Minuzzi O.R.R., Pierosan R. 2007. Caracterização petrográfica e geoquímica da parte leste do Granito Europa, Distrito Mineiro de Pitinga, AM. *Pesquisas em Geociências*, **34**(1):77-90.

Prazeres W.V., Santos A.J., Campos M.J.F., Cavalcante O.A. 1979. *Projeto Estanho dos Granitos Maloquinha. Relatório Final, v. I-A*. Departamento Nacional de Produção Mineral/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Available In: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/9862>>. Accessed In: 03/23/2015.

Queiroz J.D.S., Klein E.L., Rodrigues J.B. 2015. Rochas intrusivas na Formação Castelo dos Sonhos, Cráton Amazônico: petrografia, geoquímica e implicações para as idades de sedimentação e da mineralização do depósito aurífero Castelo dos Sonhos. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais*, **10**:341-380.

Rieder M., Cavazzini G., D'Yakonov Y.S., Frank-Kamenetskii V.A., Gottardi G., Guggenheim S., Koval P.V., Müller G., Neiva A.M.R., Radoslovich E.W., Robert J.L., Sassi F.P., Takeda H., Weiss Z., Wones D.R. 1998. Nomenclature of the micas. *The Canadian Mineralogist*, **36**:905-912. Available In: <[http://www.minsocam.org/msa/ima/ima98\(10\).pdf](http://www.minsocam.org/msa/ima/ima98(10).pdf)>. Accessed In: 03/12/2015.

Santos J.O.S. 2003. Geotectônica dos escudos das Guianas e Brasil Central. In: Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Vidotti R.M., Gonçalves J.H. (Eds.). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. Brasília, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, p. 169-226.

Santos J.O.S., Hartmann L.A., Gaudette H.E., Groves D.I., McNaughton N.J., Flecher I.R. 2000. A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd Geochronology. *Gondwana Research*, **3**(4):453-488. doi:10.1016/s1342-937x(05)70755-3.

Santos J.O.S., Groves D.I., Hartmann L.A., Moura M.A, McNaughton N.J. 2001. Gold deposits of the Tapajós and Alta Floresta Domains, Tapajós-Parima orogenic belt, Amazon Craton, Brazil. *Mineralium Deposita*, **36**(3-4):278-299. doi:10.1007/s001260100172.

Santos J.O.S., Hartmann L.A., McNaughton N.J., Fletcher I.R. 2002. Timing of mafic magmatism in the Tapajós Province (Brazil) and implications for the evolution of the Amazon Craton: evidence from baddeleyite and zircon U-Pb SHRIMP geochronology. *Journal of South American Earth Sciences*, **15**(4):409–429. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/s0895-9811\(02\)00061-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0895-9811(02)00061-5).

Santos J.O.S., Van Breemen O.B., Groves D.I., Hartmann L.A., Almeida M.E., McNaughton N.J., Fletcher I.R. 2004. Timing and evolution of multiple Paleoproterozoic magmatic arcs in the Tapajós Domain, Amazon Craton: constraints from SHRIMP and TIMS zircon, baddeleyite and titanite U–Pb geochronology. *Precambrian Research*, **131**(1-2):73–109. doi:10.1016/j.precamres.2004.01.002.

Schumacher J.C. 1997. Appendix 2: the estimate of ferric iron in electron microprobe analysis of amphiboles. *The Canadian Mineralogist*, **35**: 238–246.

Semblano F.R.D., Macambira M.J.B., Vasquez M.L. 2016. Petrography, geochemistry and Sm–Nd isotopes of the granites from eastern of the Tapajós Domain, Pará state. *Brazilian Journal of Geology*, **46**(4), 509–529. doi:10.1590/2317-4889201620160059

Shand S.J. 1951. *Eruptive rocks their genesis, composition, classification and their relation to ore deposit*. New York, John Wiley and Sons, 488p.

Silva J.S. 2010. *Suíte Intrusiva Porquinho, Província Aurífera do Tapajós: novos dados petrográficos, geoquímicos e geocronológicos*. Trabalho de conclusão de curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 92 p.

Tassinari C.C.G., Macambira M.J.B. 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: Mantesso-Neto V. *et al.* (Eds.). *Geologia do continente Sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Beca, p. 471-485.

Teixeira N.P. 1999. *Contribuição ao estudo das rochas granitóides e mineralizações associadas da Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 508p.

Teixeira N.P., Bettencourt J.S., Moura C.A.V., Dall’Agnol R., Macambira E.M.B. 2002. Archean crustal sources for paleoproterozoic tin-granites in the Carajás Province, SSE Pará, Brazil: Pb–Pb geochronology and Nd isotope geochemistry. *Precambrian Research*, **119**(1-4):2257–2275. doi:10.1016/s0301-9268(02)00125-0

Teixeira N.P., Bettencourt J.S., Dall’Agnol R., Moura C.A.V., Fernandes C.M.D., Pinho S.C.C. 2005. Geoquímica dos Granitos Paleoproterozóicos da Suíte Granítica Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **35**(2):217–226. doi:10.25249/0375-7536.2005352217226

Vasquez M.L., Klein E.L., Macambira M.J.B., Santos A. Bahia R.B.C., Quadros M.L.E.S. 2000a. Geochronology of granitoids, mafic intrusions and mineralizations of the Tapajós Gold Province - Amazonian Craton, Brazil. In: 31<sup>st</sup> International Geology Congress, Rio de Janeiro.

Vasquez M.L., Klein E.L., Ricci P.S.F. 2002. Granitóides pós-colisionais da porção leste da Província Tapajós. In: Klein E.L., Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T. (Eds.). *Contribuições à Geologia da Amazônia*. Belém, Sociedade Brasileira de Geologia-Núcleo Norte, **3**:67-84.

Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T. 2008. (Eds.). *Geologia e recursos minerais do Estado do Pará: sistema de informações geográficas – SIG: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do Estado do Pará. Escala 1:1.000.000. 1 CD-ROM*. Programa Geologia do Brasil – PGB, Belém, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.

Vasquez M.L., Macambira M.J.B., Armstrong R.A. 2008a. Zircon geochronology of granitoids from the western Bacajá domain, southeastern Amazonian craton, Brazil: Neoproterozoic to Orosirian evolution. *Precambrian Research*, **161**(3-4), 279–302. doi:10.1016/j.precamres.2007.09.001

Vasquez M.L., Chaves L.C, Moura E.M., Oliveira J.K.M., Lafon J.M. 2013. Eventos magmáticos de 2020 - 1980 Ma nas folhas São Domingos e Jardim do Ouro, porção leste do Domínio Tapajós. *In: 13º Simpósio de Geologia da Amazônia, Anais*, p. 209-212.

Vilalva F.C.J. 2007. *Petrografia e Mineralogia de Granitos Peralcalinos: O Plúton Papanduva, Complexo Morro Redondo (PR/SC)*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 323 p.

Whalen J.B., Currie K.L., Chappell B.W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **95**(4):407–419. doi:10.1007/bf00402202

### 3 CONCLUSÕES

O Granito Porquinho é um batólito subcircular que corta as rochas encaixantes da Formação Aruri (Grupo Iriri) e da Formação Buiuçu, ambas de composição vulcanoclástica, composto, essencialmente, por álcali-feldspato granitos *hypersolvus* hololeucocráticos isotrópicos agrupados em: biotita álcali-feldspato granito, anfibólio álcali-feldspato granito e rochas greisenizadas.

Os anfibólios exibem grande variação composicional, indo desde cálcicos (ferro-edenita, ferro-actinolita e ferro-hornblenda, Leake *et al.* 1997, 2004; hastingsita, ferro-edenita, ferro-actinolita e ferro-ferri-hornblenda, Hawthorne *et al.* 2012) a sódico-cálcicos (ferro-richterita e ferro-winchita, Leake *et al.* 1997, 2004; ferro-ferri-winchita, ferro-ferri-katoforita, ferro-richterita, potássico-ferro-ferri-katoforita e ferro-katoforita, Hawthorne *et al.* 2012) a sódicos (riebeckita), enquanto as biotitas classificam-se todas como annita. Tanto anfibólios quanto biotitas mostram altas razões Fe/(Fe + Mg) (0.84 – 0.98 e 0.97 – 0.98 respectivamente).

Os anfibólios cálcicos plotam no limite entre os campos magmáticos e tardi a pós-magmático, permitindo inferir que estes anfibólios são magmáticos, mas tardios, tendo sua cristalização iniciado-se no fim do estágio magmático e estendido-se até o estágio tardi a pós-magmático, como indicado por seu hábito intersticial. Os sódico-cálcicos, por sua vez, dividem-se em dois grupos: o primeiro, comporta-se de modo similar aos anfibólios cálcicos e é interpretado como mineral de transformação deste; e o segundo é considerado como cristais primários, relacionados à transição do estágio magmático para o tardi a pós-magmático. Os anfibólios sódicos, por fim, são interpretados como minerais de substituição dos anfibólios sódico-cálcicos. As biotitas são predominantemente primárias e primárias reequilibradas, com afinidade subalcalina e comportam-se como biotitas formadas a partir de suítes peraluminosas e alcalinas anorogênicas.

As análises químicas demonstram conteúdos relativamente altos de SiO<sub>2</sub> (68,10 – 77,89%) e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (11,73 – 14,33%), baixos de (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + MgO + TiO<sub>2</sub> + MnO = 1.04 – 5.31%) e teores de Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O de 3 -4% e 4 – 5%, respectivamente.

O GP é classificado como metaluminoso a peraluminoso, localmente peralcalino, com razões K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O entre 1 e 2 e FeO<sub>t</sub>/(FeO<sub>t</sub> + MgO) muito próximas a 1. São granitos ferrosos e reduzidos, geoquimicamente similares a granitos intraplaca Fanerozoicos e granitos tipo-A do subtipo A<sub>2</sub>, o que sugere fonte crustal para o magma destas rochas. Rb mostra enriquecimento no sentido da fácies AAFG para a BAFG, enquanto Sr e Ba empobrecem-se no mesmo sentido, possivelmente relacionados ao fracionamento do álcali-feldspato e à baixa concentração de

plagioclásio (raro ou ausente), respectivamente, nestas rochas. Acerca dos ETR, os AAFG são levemente mais enriquecidos que os BAFG, mas apresentam o mesmo comportamento geral, sendo mais enriquecidos em ETRL em relação aos ETRP, com forte anomalia negativa de Eu, similar àquelas encontradas em granitos altamente fracionados e granitos mineralizados em Sn-Ta-Nb.

Comparações com rochas mineralizadas em Sn-Ta-Nb do Granito Europa (GE, Suíte Intrusiva Madeira; Pitinga) e da Suíte Intrusiva Velho Guilherme (SIVG; Xingu), e com rochas estéreis da Suíte Intrusiva Maloquinha (SIM; Tapajós) indicam que o GP, especialmente a fácies BAFG, apresenta, de modo geral, maiores similaridades com as rochas mineralizadas. Esta observação coaduna com as de Prazeres *et al.* (1979) e Bahia & Quadros (2000), que identificaram mineralizações em Sn no GP associadas à fácies BAFG.

Apesar dos baixos valores de Sn identificados nas análises químicas, a fácies BAFG tende a seguir o *trend* geoquímico dos álcali-feldspato granitos das províncias estaníferas do Xingu e do Pitinga, enquanto a AAFG apresenta maiores similaridades com a SIM.

Em relação aos dados geocronológicos, as idades divergentes de Santos *et al.* (2004,  $1.786 \pm 14$  Ma) e Silva (2010,  $1.889 \pm 2$  Ma) para o GP sugerem que, apesar de o estudo comparativo realizado demonstrar que a segunda idade ajusta-se melhor ao contexto geológico em que o GP está inserido, este corpo precisa ser estudado com mais detalhe, partindo de um mapeamento geológico pormenorizado, a fim de compreender melhor sua evolução e obterem-se novos dados geocronológicos para definir sua verdadeira idade de cristalização.

## REFERÊNCIAS

- Abdel-Rahman A.-F.M. 1994. Nature of Biotites from Alkaline, Calc-alkaline, and Peraluminous Magmas. *Journal of Petrology*, **35**(2):525–541. doi:10.1093/petrology/35.2.525
- Albuquerque O.R. 1922. *Reconhecimento geológico no Valle do Amazonas*. Boletim do DGM/DNPM, 3, 84 p.
- Alkmim F. F. 2011. Stratigraphy and structure of the Castelo dos Sonhos gold mineralization host rocks, southern Pará, Brazil. *TriStar Gold, Report*, 15p.
- Almeida F.F.M., Hasui Y. 1984. O embasamento da Plataforma Sul Americana. *In: Almeida F.F.M., Hasui Y. (Eds.) O Precambriano do Brasil*. São Paulo, Ed. Edgard Blücher, p. 1-5.
- Almeida M.E., Brito M.F.L., Macambira M.J.B. 1999. Caróçal Granite:  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  evaporation age in postcollisional granitoids of Tapajós Gold Province, Amazonian region, Brazil. *In: 2<sup>nd</sup> South American Symposium on Isotope Geology, Actas*, p. 3-6.
- Almeida M.E.S., Brito M.F.L., Ferreira A.L, Monteiro M.A.S. (Eds.). 2000. *Projeto Especial Província Mineral do Tapajós. Geologia e recursos minerais da Folha Vila Mamãe Anã (SB.21-V-D). Estados do Pará e Amazonas. Escala 1:250.000*. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Projeto Especial Província Mineral do Tapajós, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1 CD-ROM.
- Alves C.L., Sabóia A.M., Martins E.G., Stropper J.L. (Eds.). 2010. *Geologia e recursos minerais das Folhas São José do Xingu SC.22-Y-A e Rio Comandante Fontoura SC.22-Y-B*. Escala 1:250.000. Goiânia, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/SICMEMT.
- Amaral G. 1974. *Geologia pré-cambriana da região amazônica*. Tese Livre Docência, Universidade de São Paulo, 212 p.
- Andrade A.F., Santiago A.F., Melo C.F., Bizinella G.A., Moreira H.L., Santos J.O.S., Oliveira J.R., Moura P.A., Lopes R.C., Rosa Filho S.F., Neves S.A.V. 1978. *Projeto Tapajós-Sucunduri: relatório de integração geológica*. Departamento Nacional de Produção Mineral/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 3 v.
- Andrade F.G., Urdininea J.S.A. 1972. *Pesquisa Mineral no Tapajós/Jamanxim: relatório preliminar*. Sudam/Departamento de Recursos Naturais, 162 p.
- Bahia R.B.C., Quadros M.L.E.S., Dreher A.M. 1998a. As rochas vulcanoclásticas da Formação Aruri, Província Mineral do Tapajós, Sudoeste do Estado do Pará. *In: 40<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte. Anais*, 1v, p. 457.
- Bahia R.B.C., Quadros M.L.E.S., Rizzoto G.J. 1998b. Caracterização petrográfica e geoquímica da Suíte Intrusiva Porquinho, região Oeste do Pará. *In: 40<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte. Anais*, 1v, p. 502.
- Bahia R.B.C., Quadros M.L.E.S. 2000. *Projeto especial Província Mineral do Tapajós. PROMIN-Tapajós: geologia e recursos minerais da Folha Caracol - SB.21-X-C, Estado do Pará. Escala 1:250.000*. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, nota explicativa em CD-ROM.

Barbosa O. 1966. *Geologia básica e econômica da área da região do Médio Tapajós, Estado do Pará*. Boletim do DNPM/DNPM, Rio de Janeiro, 55 p.

Barros M.A.S., Chemale Jr. F., Nardi L.V.S., Lima E.F. 2009. Paleoproterozoic bimodal post-collisional magmatism in the southwestern Amazonian Craton, Mato Grosso, Brazil: geochemistry and isotopic evidence. *Journal of South American Earth Sciences*, **27**(1):11-23. doi:10.1016/j.jsames.2008.11.003

Brito M.F.L., Almeida M.E., Macambira M.J.B. 1999.  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  age of calc-alkaline rapakivi granite in Tapajós Gold Province, Amazon Craton - Brazil. In: 2<sup>nd</sup> South-American Symposium on Isotope Geology. Córdoba, *Extend Abstracts*, p. 40-43.

Chayes F. 1956. *Petrographic modal analysis: an elementary statistical appraisal*. New York, John Wiley and Sons, 113 p.

Costi H. T., Dall'Agnol R., Moura C.A.V. 2000. Geology and Pb-Pb Geochronology of Paleoproterozoic Volcanic and Granitic Rocks of Pitinga Province, Amazonian Craton, Northern Brazil. *International Geology Review*, **42**(9):832-849. doi:10.1080/00206810009465114

Costi H.T., Borges R.M.K., Dall'Agnol R. 2005. Depósitos de Estanho da Mina Pitinga, Estado do Amazonas. In: Marini O.J., Queiroz E.T., Ramos B.W. (Eds.). *Caracterização de Depósitos Minerais em Distritos Mineiros da Amazônia*. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral - CT-Mineral/FINEP - ADIMB, p. 391-475.

Coutinho M.G.N. (Eds.) 2008. *Província mineral do Tapajós: geologia, metalogenia e mapa previsional para ouro em SIG*. Rio de Janeiro, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 420 p.

Czamanske G.K., Wones D.R. 1973. Oxidation during magmatic differentiation, Finnmarka Complex, Oslo Area, Norway: Part 2, The Mafic Silicates. *Journal of Petrology*, **14**(3):349-380. doi:10.1093/petrology/14.3.349

Dall'Agnol R., Silva C.M.G., Scheller T. 1999. Fayalite-hedembergite rhyolites of Iri Formation, Tapajós Gold Province, Amazonian Craton: implications for the Uatumã Volcanism. In: Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados, *Boletim de Resumos*, p. 31.

Dall'Agnol R., Oliveira D.C. 2007. Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: Implications for classification and petrogenesis of A-type granites. *Lithos*, **93**(3-4):215-233. doi:10.1016/j.lithos.2006.03.065

De La Roche H., Leterrier J., Grandclaude P., Marchal M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major-element analyses-its relationships with current nomenclature. *Chem. Geol.* **29**:183-210

Deer W.A., Howie, R.A., Zussman, J. 1992. *Rock-forming minerals*. London, 2<sup>nd</sup> Edition, Longmans, 696p.

Eby G.N. 1990. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. *Lithos*, **26**(1-2):15-134. doi:10.1016/0024-4937(90)90043-z

Eby G.N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenesis and tectonic implications. *Geology*, **20**:641-644. doi:10.1130/0091-7613(1992)020<0641:csotat>2.3.co;2

El-Bouseily A. M., El-Sokkary A. A. 1975. The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. *Chemical Geology*, **16**(3), 207–219. doi:10.1016/0009-2541(75)90029-7

Evensen N.M., Hamilton P.T., O'niions R.K. 1978. Rare earth abundances in chondritic meteorites. *Geochemical and Cosmochimica Acta*, **39**:55-64. doi:10.1016/0016-7037(78)90114-x

Ferreira A.L. 2000a. Grupo Jacareacanga. In: Almeida M.E. *et al.* (Eds.). *Geologia e recursos minerais da Folha Vila Mamãe Anã (SB.21-V-D), Estados do Pará e Amazonas. Escala 1:250.000*: Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB), Projeto Especial Província Mineral do Tapajós (Promin Tapajós). Brasília, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1 CD-ROM.

Ferreira A.L. 2000b. Grupo Jacareacanga. In: Ferreira A.L. *et al.* (Eds.). *Geologia e Recursos Minerais da Folha Jacareacanga (SB.21-Y-B). Estados do Pará e Amazonas. Escala 1:250.000*: Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Projeto Especial Província Mineral do Tapajós. Brasília, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1 CD-ROM.

Ferreira A. L., Rizzotto G. J., Quadros M.L. E.; Bahia R. B. C., Lopes R. C., Oliveira M.A. 2004. Folha SB.21-Tapajós. In: Schobbenhaus C., Gonçalves J. H., Santos J. O. S., Abram M.B., Leão Neto R., Matos G. M. M., Vidotti R.M., Ramos M. A. B., Jesus J. D. A. (Eds.) *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: sistema de informações geográficas*. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Programa Geologia do Brasil, 1 CD-ROM.

Forman J.H.A., Nardi J.I.S., Marques J.P.M., Lima M.I.C. 1972. *Pesquisa Mineral no Iriri/Curuá: relatório preliminar*. Belém, Sudam/Departamento de Recursos Naturais, 62 p.

Frost B.R, Barnes C.G, Collins W.J, Arculus R.J., Ellis D.J., Frost C.D. 2001. A Geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, **42**(11):2033-2048. doi:10.1093/petrology/42.11.2033

Gaudette, H.E., Lafon, J.M., Macambira, M.J.B., Moura, C.A.V., Scheller, T., 1998. Comparison of single filament Pb evaporation/ionization zircon ages with conventional U-/Pb results: examples from the Precambrian of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **11**(4):351-363. doi:10.1016/s0895-9811(98)00019-4

Hasui Y., Haralyi N.L.E., Schobbenhaus C. 1984. Elementos geofísicos e geológicos da Região Amazônica: subsídios para o modelo geotectônico. In: 2º Symposium Amazônico. Manaus, *Anais*, Departamento Nacional de Produção Mineral, v. 1, p. 129-148.

Hawthorne F.C., Oberti R., Harlow G.E., Maresch W.V., Martin R.F., Schumacher J.C., Welch M.D. 2012. Nomenclature of amphibole supergroup. *American Mineralogist*, **97**(11-12):2031-2048. doi:10.2138/am.2012.4276

Hutchison C.S. 1974. *Laboratory handbook of petrography techniques*. London, John Wiley and Sons, 527 p



Janoušek V., Farrow C.M., Erban V. 2006. Interpretation of Whole-rock Geochemical Data in Igneous Geochemistry: Introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology*, **47**(6):1255–1259. doi:10.1093/petrology/egl013

Juliani C. 2002. *Alteração hidrotermal e metalogênese em sistemas vulcano-plutônicos paleoproterozóicos na Província Aurífera do Tapajós, Cráton Sul Amazônico, Pará*. Tese Livre Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 183p.

Juliani C., Corrêa-Silva R.H., Monteiro L.V., Bettencourt J.S., Nunes C.M. 2002. The Batalha Au–granite system—Tapajós Gold Province, Amazonian craton, Brazil: hydrothermal alteration and regional implications. *Precambrian Research*, **119**(1-4), 225–256. doi:10.1016/s0301-9268(02)00124-9

Juliani C., Rye R. O., Nunes C. M. D., Snee L. W., Corrêa Silva R. H., Monteiro L. V. S., Alcover Neto A. 2005. Paleoproterozoic high-sulfidation mineralization in the Tapajós gold province, Amazonian Craton, Brazil: geology, mineralogy, alunite argon age, and stable-isotope constraints. *Chemical Geology*, **215**(1-4): 95–125. doi:10.1016/j.chemgeo.2004.06.035

Klein E.L., Vasquez M.L. (Eds.). 2000. *Geologia e recursos minerais da Folha Vila Riozinho – SB.21-Z-A: Estado do Pará, Escala 1:250.000*: Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB), Projeto Especial Província Mineral do Tapajós (Promin Tapajós), CPRM. 1 CD-ROM.

Klein E.L., Almeida M.E. de, Vasquez M.L., Bahia R.B.C., Espírito Santo M.L., Ferreira A.L. (eds). 2001. *Geologia e Recursos Minerais da Província Mineral do Tapajós: Vila Mamãe Anã (SB.21-V-D), Jacareacanga (SB.21-Y-B), Caracol (SB.21-X-C), Vila Riozinho (SB.21-Z-A) e Rio Novo (SB.21-Z-C), Estados do Pará e Amazonas, Escala 1:500.000*: Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Projeto Especial Província Mineral do Tapajós, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1 CD-ROM.

Klein E.L., Guimarães S.B. Chaves C.L., Rodrigues J.B., Queiroz J.D.S. 2014. U-Pb (LA-ICP-MS) geochronology of detrital zircons from the Novo Progresso and Castelo dos Sonhos sedimentary formations: a preliminary approach to the source areas and implications for province boundaries in the Amazonian Craton. In: 9<sup>th</sup> South American Symposium on Isotope Geology, *Abstracts*, p. 203.

Kober B. 1986. Whole-grain evaporation for  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -age-investigations on single zircons using a double-filament thermal ion source. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **93**(4):482–490. doi:10.1007/bf00371718

Lacerda Filho J.V., Abreu Filho W., Valente C.R., Oliveira C.C., Albuquerque M.C. (Eds.). 2004. *Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso*. Goiânia, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. (Convênio CPRM/SICME), 200p. + maps.

Lafon J.M., Rodrigues E., Macambira E.M.B., Pereira E.D. 1995. Magmatisme anorogénique du protérozoïque dans la région de São Felix do Xingu - Tucumã (Amazonie Orientale, Brésil). *Nouvelles données géochronologiques*. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **320**(2):937-944.

Lamarão C.N., Dall'Agnol R., Lafon J.M., Lima E.F. 2002. Geology, geochemistry, and Pb-Pb zircon geochronology of the Paleoproterozoic magmatism of Vila Riozinho, Tapajós Gold Province, Amazonian craton, Brazil. *Precambrian Research*, **119**(1-4):189-223. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0301-9268\(02\)00123-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-9268(02)00123-7).

Lamarão C.N., Dall'Agnol R., Pimentel M.M. 2005. Nd isotopic composition of Paleoproterozoic volcanic rocks of Vila Riozinho: implications for the crustal evolution of the Tapajós gold province, Amazon craton. *Journal of South American Earth Sciences*, **18**:277-292. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2004.11.005>.

Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B., Le Bas M.J., Bonin B., Bateman P. (Eds.). 2002. *Igneous rocks: a classification and glossary of terms*. 2<sup>nd</sup> Edition, London, Cambridge University Press, 193 p. doi:10.1017/cbo9780511535581

Leake B.E., Woolley A.R., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G. 1997. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *The Canadian Mineralogist*, **35**:219-246. Disponível em: [http://www.minsocam.org/MSA/IMA/ima98\(11\).pdf](http://www.minsocam.org/MSA/IMA/ima98(11).pdf)>. Acessado em: 13/03/2015.

Leake B.E., Woolley A.R., Birch W.D., Burke E.A.J., Ferrarris G., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Schumacher J.C., Stephenson N.C.N., Whittaker E.J.W. 2004. Nomenclature of amphiboles: Additions and revisions to the International Mineralogical Association's amphibole nomenclature. *American Mineralogist*, **89**:883-887. Disponível em: [http://minsocam.org/MSA/AmMin/TOC/Abstracts/2004\\_Abstracts/MJ04\\_Abstracts/Leake\\_p883\\_04.pdf](http://minsocam.org/MSA/AmMin/TOC/Abstracts/2004_Abstracts/MJ04_Abstracts/Leake_p883_04.pdf)>. Acessado em: 13/03/2015.

Lehmann B., Mahawat C. 1989. Metallogeny of tin in central Thailand: A genetic concept. *Geology*, **17**:426-429.

Macambira M.J.B., Moura C.A.V., Lafon J.M., Scheller T., Gaudette H.E. 1994. O método Pb-Pb por evaporação em zircão: avaliação dos dados obtidos no Laboratório de Geologia Isotópica da UFPA. In: Congresso Brasileiro de Geologia. Camboriú, *Boletim de Resumos*, v. 38, p. 404-405.

Melo A.F.F., Andrade A.F., Yamaguti H.S., Oliveira J.R., Carmona J.R.M., D'Antona R.J.G., Lopes R.C. 1980. *Projeto Tapajós-Sucunduri*: relatório final. Manaus, Departamento Nacional de Produção Mineral/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, v. I-A, p. 1-356. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/6686>>. Acessado em: 18/04/2016.

Melo A.F.F., Santos A.J., Cunha M.T.P., Campos M.J.F., D'Antona R.J.G. 1978. *Projeto Molibdênio em Roraima*: relatório final. Convênio Departamento Nacional de Produção Mineral/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/9760>>. Acessado em: 18/04/2016.

Moreton L.C., Martins E.G. 2005. *Geologia e Recursos Minerais da Folha Vila Guarita – Folha SC.21-Z-B*: Escala 1:250.000. Brasília, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/DEPAT/DIEDIG.

- Moura C.A.V., Gaudette H.E., Macambira M.J.B., Lafon J.M., Scheller T. 1996. Datação de monocristais de zircão por evaporação de Pb em filamento simples: comparação com resultados U-Pb. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*. Salvador, *Boletim de Resumos*, v. 39, p. 480-482.
- Moura C.A.V., Gorayeb P.S.S., Matsuda N.S. 1999. Geocronologia Pb-Pb em zircão do riolito Vila Raiol, Formação Iriri – sudoeste do Pará. *In: 6º Simpósio de Geologia da Amazônia*. Manaus, *Resumos expandidos*, p.475-477.
- Nachit H., Razafimahefa N., Stussi J.-M., Caron J.-P. 1985. Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoïdes, *C. R. Acad. Sci. Paris*, Ser. II **301**:813–818.
- Nachit H., Ibhi A., Abia E.H., Ohoud M.B. 2005. Discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and neofomed biotites. *Compters Rendus Geoscience*, **337**(16):1415-1420. doi:10.1016/j.crte.2005.09.002
- Nunes C.M.D. 2001. *Caracterização de um sistema epitermal high-sulfidation paleoproterozoico na Província Aurífera do Tapajós, Pará*. MS Dissertação, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 174 p.
- Oliveira A.I., Leonardos O.H. (Eds.). 1940. *Geologia do Brasil*. Rio de Janeiro, comissão brasileira dos centenaries Portugal, 472 p.
- Pearce J.A, Harris N.B.W, Tindle A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, **25**(4):956–983. doi:10.1093/petrology/25.4.956
- Pearce J.A. 1996. Sources and settings of granitic rocks. *Episodes*, **19**:(120-125). Disponível em: <<http://www.episodes.org/index.php/epi/article/viewFile/62996/49159>>. Acessado em: 08/20/2015.
- Pe-Piper G. 2007. Relationship of amphibole composition to host-rock geochemistry: the A-type gabbro-granite Wentworth pluton, Cobequid shear zone, eastern Canada. *European Journal of Mineralogy*, **19**(1):29–38. doi:10.1127/0935-1221/2007/0019-0029
- Pessoa M.R., Santiago A.F., Andrade A.F., Barreto E.L., Nascimento J.O., Santos J.O.S., Oliveira J.R., Lopes R.C., Prazeres W.V. 1977. *Projeto Jamanxim: relatório final, texto – Parte II, v. 1-B*. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Departamento Nacional de Produção Mineral. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/9404>>. Acessado em 24/03/2015.
- Prado E.S., Barros M.A.S., Pinho F.E.C. Pierosan R. 2013. Granito Terra Nova - petrologia e geocronologia: um granito tipo-A da Província Aurífera Alta Floresta - Cráton Amazônico. *Brazilian Journal of Geology*, **43**(1):101–116. doi:10.5327/z2317-48892013000100009
- Prado M., Ferron J.M.T.M., Lima E.F., Bastos Neto A.C., Pereira V.P., Minuzzi O.R.R., Pierosan R. 2007. Caracterização petrográfica e geoquímica da parte leste do Granito Europa, Distrito Mineiro de Pitinga, AM. *Pesquisas em Geociências*, **34**(1):77-90.
- Prazeres W.V., Santos A.J., Campos M.J.F., Cavalcante O.A. 1979. *Projeto Estanho dos Granitos Maloquinha: relatório final, v. 1-A*. Departamento Nacional de Produção Mineral/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/9862>>. Acessado em 23/03/2015.

Quadros M.L.E.S., Bahia R.B.C., Almeida M.E. 1998. Geologia, petrografia e geoquímica preliminar da Suíte Intrusiva Cachoeira Seca, Província Mineral do Tapajós, sudoeste do Pará. *In: 40º Congresso Brasileiro de Geologia, Anais*, p. 46.

Queiroz J.D.S. 2015. *Aspectos geológicos e metalogenéticos do depósito de ouro hospedado em metaconglomerados e metarenitos paleoproterozoicos em Castelo de Sonhos, Província Tapajós, Sudoeste do Pará*. MS Dissertação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 136 p.

Queiroz J.D.S., Klein E.L., Rodrigues J.B. 2015. Rochas intrusivas na Formação Castelo dos Sonhos, Cráton Amazônico: petrografia, geoquímica e implicações para as idades de sedimentação e da mineralização do depósito aurífero Castelo dos Sonhos. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais*, **10**:341-380.

Ragland P.C. 1989. *Basic analytical Petrology*. 2ª edição. New York, Oxford University Press.

Ramgrab G.E, Santos J.O.S. 1974. O Grupo Uatumã. *In: 28º Congresso Brasileiro de Geologia. Resumo das comunicações*, p. 32-33.

Ricci P.S.F. Santos A., Klein E.L., Jorge-João X.S., Martins R.C. 1999. Suíte Intrusiva Creporizão – Província Tapajós: proposta e critérios de definição. *In: 6º Simpósio de Geologia da Amazônia. Resumos expandidos*, p. 519-522.

Rieder M., Cavazzini G., D'Yakonov Y.S., Frank-Kamenetskii V.A., Gottardi G., Guggenheim S., Koval P.V., Müller G., Neiva A.M.R., Radoslovich E.W., Robert J.L., Sassi F.P., Takeda H., Weiss Z., Wones D.R. 1998. Nomenclature of the micas. *The Canadian Mineralogist*, **36**:905-912. Disponível em: <[http://www.minsocam.org/msa/ima/ima98\(10\).pdf](http://www.minsocam.org/msa/ima/ima98(10).pdf)>. Acessado em: 03/12/2015.

Rodrigues J.B. 1875. Exploração e estudo do Valle do Amazonas; Baixo Yamundá e Villa de Faro. *Typographia Nacional*, 1:4-7.

Rollinson H.R. 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. New York, Longman, 352 p.

Santos D.B. Fernandes P.E.C.A, Dreher A.M., Cunha F.MB., Basei M.A.S., Teixeira W. 1975. Geologia da Folha SB.21 – Tapajós. *In: Brasil. Projeto RADAM. Folha SB.21 – Tapajós. Rio de Janeiro*, Departamento Nacional de Pesquisa Mineral.

Santos J.O.S. 2003. Geotectônica dos escudos das Guianas e Brasil Central. *In: Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Vidotti R.M., Gonçalves J.H. (Eds.). Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. Brasília, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, p. 169-226.

Santos J.O.S., Loguercio S.O.C. 1984. A parte meridional do Cráton Amazônico (escudo Brasil Central e as bacias do Alto-Tapajós e Parecis-Alto Xingu). *In: Schobbenhaus C., Campos D. de A., Derze R.G., Asmus H.E. (Eds). Geologia do Brasil. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo depósitos minerais. Departamento Nacional de Produção Mineral, p. 93-127.*

Santos J.O.S., Hartmann L.A., Gaudette H.E., Groves D.I., Mcnaughton N.J., Flecher I.R. 2000. A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd Geochronology. *Gondwana Research*, **3**(4):453-488. doi:10.1016/s1342-937x(05)70755-3.

Santos J.O.S., Groves D.I., Hartmann L.A., Moura M.A, McNaughton N.J. 2001. Gold deposits of the Tapajós and Alta Floresta Domains, Tapajós-Parima orogenic belt, Amazon Craton, Brazil. *Mineralium Deposita*, **36**(3-4):278-299. doi:10.1007/s001260100172.

Santos J.O.S., Hartmann L.A., McNaughton N.J., Fletcher I.R. 2002. Timing of mafic magmatism in the Tapajós Province (Brazil) and implications for the evolution of the Amazon Craton: evidence from baddeleyite and zircon U-Pb SHRIMP geochronology. *Journal of South American Earth Sciences*, **15**(4):409-429. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/s0895-9811\(02\)00061-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0895-9811(02)00061-5).

Santos J.O.S., Van Breemen O.B., Groves D.I., Hartmann L.A., Almeida M.E., McNaughton N J., Fletcher I.R. 2004. Timing and evolution of multiple Paleoproterozoic magmatic arcs in the Tapajós Domain, Amazon Craton: constraints from SHRIMP and TIMS zircon, baddeleyite and titanite U-Pb geochronology. *Precambrian Research*, **131**(1-2):73-109. doi:10.1016/j.precamres.2004.01.002.

Santos J.O.S., Hartmann L.A., Riker S.R., Souza M.M., Almeida M.E., McNaughton N.J. 2006. A compartimentação do Cráton Amazonas em províncias: avanços ocorridos no período 2000-2006. *In: 9º Simpósio de Geologia da Amazônia. Belém, Anais, Sociedade Brasileira de Geologia, resumos expandidos, CD-ROM.*

Sato K., Tassinari C.C.G. 1997. Principais eventos de acreção continental no Cráton Amazônico, baseados em idade modelo Sm-Nd, calculada em evoluções de estágio único e estágio duplo. *In: Costa M.L., Angélica R.S. (Eds.). Contribuições à geologia da Amazônia, v. 1, p. 91-142.*

Schumacher JC. 1997. Appendix 2: the estimate of ferric iron in electron microprobe analysis of amphiboles. *The Canadian Mineralogist*, **35**: 238-246.

Semblano F.R.D., Macambira M.J.B., Vasquez M.L. 2016. Petrography, geochemistry and Sm-Nd isotopes of the granites from eastern of the Tapajós Domain, Pará state. *Brazilian Journal of Geology*, **46**(4), 509-529. doi:10.1590/2317-4889201620160059

Shand S.J. 1951. *Eruptive rocks their genesis, composition, classification and their relation to ore deposit*. New York, John Wiley and Sons, 488p.

Silva G.G, Lima M.I.L, Andrade A.F., Issler R.S., Guimarães G. 1974. Geologia da Folha SB.22-Araguaia e parte da Folha SC.22-Tocantins. *In: Brasil. Projeto RADAM. Folha SB.22-Araguaia e parte da Folha SC.22-Tocantins*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional de Produção Mineral.

Silva J.S. 2010. *Suíte Intrusiva Porquinho, Província Aurífera do Tapajós: novos dados petrográficos, geoquímicos e geocronológicos*. Trabalho de conclusão de curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 92 p.

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

Tassinari C.C.G, Macambira M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 22(3):174-182. Disponível em:<<http://52.172.159.94/index.php/epi/article/viewFile/62773/48972>>. Acessado em: 08/09/2016.

Tassinari C.C.G. 1996. *O mapa geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil: revisão dos dados isotópicos*. Tese Livre Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 139 p.

Tassinari C.C.G., Macambira M.J.B. 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: Mantesso-Neto V. *et al.* (Eds.). *Geologia do continente Sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Beca, p. 471-485.

Teixeira N.P. 1999. *Contribuição ao estudo das rochas granitóides e mineralizações associadas da Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará*. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 508p.

Teixeira N.P., Bettencourt J.S., Moura C.A.V., Dall'Agnol R., Macambira E.M.B. 2002a. Archen crustal sources for paleoproterozoic tin-granites in the Carajás Province, SSE Pará, Brazil: Pb-Pb geochronology and Nd isotope geochemistry. *Precambrian Research.*, 119(1-4):2257-2275. doi:10.1016/s0301-9268(02)00125-0

Teixeira N.P., Bettencourt J.S., Dall'Agnol R., Moura C.A.V., Fernandes C.M.D., Pinho S.C.C. 2005. Geoquímica dos Granitos Paleoproterozóicos da Suíte Granítica Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, 35(2):217-226. doi:10.25249/0375-7536.2005352217226

Teixeira W., Tassinari C.C.G., Cordani U.G., Kawashita K. 1989. A review of the geochronology of the Amazonian Craton: tectonic implications. *Precambrian Research*, 42(3-4):213-27. doi:10.1016/0301-9268(89)90012-0.

Vasquez M. L. 2006. *Geocronologia em zircão, monazita e granada e isótopos de Nd das associações litológicas da porção oeste do Domínio Bacajá: evolução crustal da porção meridional da província Maroni-Itacaiúnas, sudeste do Cráton Amazônico*. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 212 p.

Vasquez M.L., Chaves L.C, Moura E.M., Oliveira J.K.M., Lafon J.M. 2013. Eventos magmáticos de 2020 - 1980 Ma nas folhas São Domingos e Jardim do Ouro, porção leste do Domínio Tapajós. In: 13º Simpósio de Geologia da Amazônia, *Anais*, p. 209-212.

Vasquez M.L., Chaves C.L., Moura E.M., Oliveira J.K.M. 2014. Identificação das fontes das rochas de 2020 - 2010 Ma do leste do Domínio Tapajós com base nos isótopos de Sm-Nd. In: 47º Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador, *Anais*, Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo Bahia.

- Vasquez M.L., Klein E.L. (Eds.). 2000. *Geologia e recursos minerais da Folha Rio Novo (SB.21-Z-C), Estado do Pará, Escala 1: 250.000*. Projeto Especial Província Mineral do Tapajós. Brasília, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1 CD-ROM.
- Vasquez M.L., Klein E.L., Macambira M.J.B., Santos A. Bahia R.B.C., Quadros M.L.E.S. 2000a. Geochronology of granitoids, mafic intrusions and mineralizations of the Tapajós Gold Province - Amazonian Craton, Brazil. *In: 31<sup>st</sup> International Geology Congress, Rio de Janeiro*.
- Vasquez M.L., Klein E.L., Quadros M.L.E.S., Bahia R.B.C., Santos A., Ricci P.S.F., Sachett C.R., Silva C.M.G., Macambira M.J.B. 1999. Magmatismo Uatumã na Província Tapajós – novos dados geocronológicos. *In: 6<sup>o</sup> Simpósio de Geologia da Amazônia. Manaus, Resumos expandidos*, p.471-474.
- Vasquez M.L., Klein E.L., Ricci P.S.F. 2002. Granitóides pós-colisionais da porção leste da Província Tapajós. *In: Klein E.L., Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T. (Eds.). Contribuições à Geologia da Amazônia*. Belém, Sociedade Brasileira de Geologia-Núcleo Norte, **3**:67-84.
- Vasquez M.L., Macambira M.J.B., Armstrong R.A. 2008a. Zircon geochronology of granitoids from the western Bacajá domain, southeastern Amazonian craton, Brazil: Neoproterozoic to Orosirian evolution. *Precambrian Research*, **161**(3-4), 279–302. doi:10.1016/j.precamres.2007.09.001
- Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T. 2008. (Eds.). *Geologia e recursos minerais do Estado do Pará: sistema de informações geográficas – SIG: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do Estado do Pará. Escala 1:1.000.000*. 1 CD-ROM. Programa Geologia do Brasil. Belém, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
- Vilalva F.C.J. 2007. *Petrografia e Mineralogia de Granitos Peralcalinos: O Plúton Papanduva, Complexo Morro Redondo (PR/SC)*. MS Dissertação, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 323 p.
- Whalen J.B., Currie K.L., Chappell B.W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **95**(4):407–419. doi:10.1007/bf00402202
- Yokoi Y.O., Oliveira A.L.A.M., Tachibana J. 2001. General economic geology of the High Tapajós Basin (The “Cachimbo” Gráben) and its boundaries: a regional geological survey with exploratory purpose. *In: 7<sup>o</sup> Simpósio de Geologia da Amazônia. Belém, Resumos expandidos, CD-ROM*.