



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
FACULDADE DE GEOLOGIA**

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ESTUDO COMPARATIVO POR MEV-EDS DE  
BIOTITAS DE GRANITOS PALEOPROTEROZOICOS  
REDUZIDOS E OXIDADOS, PROVÍNCIA CARAJÁS:  
INTERPRETAÇÕES PETROLÓGICAS E  
METALOGENÉTICAS**

**Apresentada por:**

**NOME: CESAR AUGUSTO AMADOR PESSÔA**

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

---

**BELÉM – PA**

**2022**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
FACULDADE DE GEOLOGIA**

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ESTUDO COMPARATIVO POR MEV-EDS DE  
BIOTITAS DE GRANITOS PALEOPROTEROZOICOS  
REDUZIDOS E OXIDADOS, PROVÍNCIA CARAJÁS:  
INTERPRETAÇÕES PETROLÓGICAS E  
METALOGENÉTICAS**

**Apresentada por:**

**NOME: CESAR AUGUSTO AMADOR PESSÔA**

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

---

**BELÉM – PA**

**2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará

Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

P475e Pessôa, Cesar Augusto Amador.  
Estudo comparativo por MEV-EDS de biotitas de granitos paleoproterozoicos reduzidos e oxidados, Província Carajás: interpretações petrológicas e metalogenéticas. / Cesar Augusto Amador Pessôa. — 2022.  
xi, 59 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Claudio Nery Lamarão  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2022.

1. Granito Reduzido. 2. Granito Oxidado. 3. Biotita.  
4. Mineralização. 5. Província Carajás. I. Título.

CDD 551.9

---



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Faculdade de Geologia**

**ESTUDO COMPARATIVO POR MEV-EDS DE BIOTITAS  
DE GRANITOS PALEOPROTEROZOICOS REDUZIDOS  
E OXIDADOS, PROVÍNCIA CARAJÁS:  
INTERPRETAÇÕES PETROLÓGICAS E  
METALOGENÉTICAS**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentada por:**

**CESAR AUGUSTO AMADOR PESSÔA**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Bacharel em Geologia na  
Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA e Linha de PESQUISA  
PETROLOGIA E EVOLUÇÃO CRUSTAL**

**Data da Aprovação: 21/01/2022**

**Banca Examinadora:**

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

Prof. Dr. Davis Carvalho de Oliveira  
(Membro - UFPA)

Prof. Dr. Hilton Túlio Costi  
(Membro – MPEG)

## **AGRADECIMENTOS**

- Aos meus pais, Chagas Pessôa e Dulce Pessôa, e à minha irmã, Mariely Pessôa, por estarem presentes na minha vida e não medirem esforços para me proporcionar as melhores condições.
- À Universidade Federal do Pará (UFPA), ao Instituto de Geociências (IG) e a Faculdade de Geologia (FAGEO) pela infraestrutura disponível para o meu desenvolvimento acadêmico.
- Ao Prof. Dr. Claudio Lamarão pela orientação e suporte incomensurável no desenvolvimento desse Trabalho de Conclusão de Curso.
- Ao Laboratório de Microanálises do IG-UFPA, juntamente com seus técnicos Renan Carvalho, Ana Paula Corrêa e Gisele Marques pela excelente recepção e serviços prestados nas atividades ali desenvolvidas.
- Aos familiares e amigos próximos, especialmente Thamires, Anderson, Rodrigo, Karolina, Patrícia, Lilian e Anna Clara que demonstraram apoio durante minha jornada.

## RESUMO

Os granitos oxidados Bannach e Redenção, pertencentes à Suíte Jamon, e os granitos reduzidos Antônio Vicente, Velho Guilherme e Serra da Queimada, inseridos na Suíte Intrusiva Velho Guilherme, são alguns dos granitos anorogênicos paleoproterozoicos da Província Carajás. São compostos predominantemente por sienogranitos e monzogranitos, alterados em diferentes intensidades, tendo a biotita como fase máfica representativa. As biotitas do Granito Bannach exibem razões  $Fe/(Fe+Mg)$  entre 0,72 e 0,79 e conteúdo de  $Al^{IV}$  entre 2,52 e 2,96, enquanto as do Granito Redenção mostram razões  $Fe/(Fe+Mg)$  variando de 0,62 a 0,66 e  $Al^{IV}$  entre 2,56 e 2,82, plotando próximo ao polo das siderofilitas. Nos granitos reduzidos, as razões  $Fe/(Fe+Mg)$  e os valores de  $Al^{IV}$  das rochas menos evoluídas e isentas de mineralizações são similares às obtidas nos granitos oxidados. Por outro lado, nas fácies mais evoluídas, hidrotermalizadas e portadoras de Sn, as biotitas se enriquecem em Fe, possuem razões  $Fe/(Fe+Mg)$  mais elevadas (variando entre 0,85 e 1,00), valores de  $Al^{IV}$  levemente inferiores a 2,5 e se distribuem próximo ao polo annita. As biotitas dos granitos oxidados e reduzidos estéreis incidem predominantemente no campo das biotitas magmáticas primárias, sugerindo pouco ou nenhum reequilíbrio. As biotitas das rochas com Sn plotam predominantemente no campo das biotitas reequilibradas, indicando modificações no final ou após sua cristalização. Os baixos conteúdos de Mg, Ti e das razões  $Mg/(Mg+Fe)$ , bem como os elevados valores de Si, Al e de  $Fe/(Fe+Mg)$  encontrados nas biotitas das rochas mineralizadas, permitiram uma boa separação entre as rochas portadoras de Sn e as estéreis, indicando sua utilização preliminar na prospecção deste tipo de mineralização.

**Palavras-chave:** granito reduzido; granito oxidado; biotita; mineralização; Província Carajás.

## ABSTRACT

The oxidized Bannach and Redenção granites, belonging to the Jamon Suite, and the reduced Antônio Vicente, Velho Guilherme and Serra da Queimada granites, inserted in the Velho Guilherme Intrusive Suite, are some of the anorogenic paleoproterozoic granites of the Carajás Province. They are predominantly composed of syenogranites and monzogranites, altered in different intensities, with biotite as the representative mafic phase. Biotites from Bannach granite exhibit Fe/(Fe+Mg) ratios between 0.72 and 0.79 and Al<sup>IV</sup> content between 2.52 and 2.96, while those from Redenção granite show Fe/(Fe+Mg) ratios varying from 0.62 to 0.66 and Al<sup>IV</sup> between 2.56 and 2.82, plotting near the pole of the siderophyllite. In reduced granites, the Fe/(Fe+Mg) ratios and the Al<sup>IV</sup> values of biotites from less evolved rocks and free from mineralization are similar to those obtained in biotites from oxidized granites. On the other hand, in the more evolved, hydrothermalized and Sn-bearing facies, biotites are enriched in Fe, have higher Fe/(Fe+Mg) ratios (ranging between 0.85 and 1.00), Al<sup>IV</sup> values slightly lower than 2.5 and are distributed close to the annita pole. Biotites from oxidized and reduced sterile granites dominate in the field of primary magmatic biotites, suggesting little or no rebalancing. Biotites from rocks with Sn plot dominantly in the field of reequilibrated biotites, indicating changes at the end or after their crystallization. The low contents of Mg, Ti and the Mg/(Mg+Fe) ratios, as well as the high values of Si, Al and Fe/(Fe+Mg) found in the biotites of mineralized rocks, allowed a good separation between Sn-bearing and sterile rocks, indicating its preliminary use in prospecting for this type of mineralization.

**Keywords:** reduced granite; oxidized granite; biotite; mineralization; Carajás Province.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Mapa de localização da área de ocorrência dos corpos graníticos estudados. (A) Mapa do Estado do Pará; (B) Região sudeste do Estado do Pará onde ocorrem os granitos estudados. ....3
- Figura 2 - Mapa das Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico com a localização da área estudada em destaque. Fonte: Bizzi *et al.* (2003).....5
- Figura 3 – Contexto geológico da área estudada. (a) Mapa esquemático do Cráton Amazônico com a localização da área estudada em destaque. (b) Mapa geológico simplificado da Província Carajás (modificado de Dall’Agnol *et al.* 2005) com a distribuição dos granitos paleoproterozoicos tipo A das suítes Velho Guilherme, Jamon e Serra dos Carajás, com destaque para os granitos Antônio Vicente, Serra da Queimada, Velho Guilherme, Bannach e Redenção (em negrito) estudados neste trabalho. DRM=Domínio Rio Maria. RX=Região do Xingu, BC=Bacia Carajás. Suíte Jamon: granitos oxidados; Suíte Velho Guilherme: granitos reduzidos; Suíte Serra dos Carajás: granitos moderadamente reduzidos; Outros granitos paleoproterozoicos: moderadamente reduzidos.....10
- Figura 4 - Aspectos gerais das rochas do GBANN. (A) Fácies BAMzG caracterizada pelo maior conteúdo de máficos formando agregados com opacos. (B) Intercrescimento entre quartzo e feldspato potássico definindo localmente a textura granofírica. (C) Cristal de biotita pouco alterado entre feldspatos da fácies LMzG. (D) Cristal de biotita intensamente alterado para clorita (fácies LMzG). Anf= anfibólio, Bt= biotita, Chl= clorita, Fk= feldspato potássico, Pl= plagioclásio.....21
- Figura 5 - Características das rochas estudadas do GRED. (A) Aspecto geral dos ABMzG ricos em máficos formando agregados juntamente com os opacos. (B) Cristal de plagioclásio (centro) bordejado por intercrescimento entre quartzo e feldspato potássico (intercrescimento granofírico). (C) Fácies leucogranítica pobre em minerais máficos. (D) Textura granofírica localizada (fácies leucogranítica). (E) Cristal de biotita com bordas corroídas, substituído por clorita+prehnita+titanita secundária devido à alteração sofrida pela rocha. A e B=ABMzG. C – E=Leucomonzogranitos. Chl= clorita, Fk= feldspato potássico, Pl= plagioclásio, ser= sericita.....23

- Figura 6 - Aspectos texturais das rochas estudadas do GAV. (A) Textura granular hipidiomórfica da fácies ABSMG. Notar a mancha escura no cristal de plagioclásio denotando alteração para sericita. (B) Cristal de anfibólio verde parcialmente substituído por biotita, biotita primária e opaco (fácies ABSMG). (C) Agregado de biotita da fácies BSGA. (D) Aspecto da intensa alteração dos BSGIA. Notar nos cristais de biotita bordas e planos de clivagem corroídos e alterados para clorita (centro), bem como as manchas escuras (argilominerais) nos feldspatos. Anf= anfibólio, Bt= biotita, Fk= feldspato potássico, Pl= plagioclásio, Qtz= quartzo.....25
- Figura 7 - Aspecto textural dos BMG do GVG. Em (A) nicóis paralelos e (B) nicóis cruzados.....26
- Figura 8 - Aspectos texturais das rochas estudadas do GSQ. (A) Textura granular hipidiomórfica dos BMG. (B) Detalhe de cristais de biotita em avançado estado de alteração para clorita. (C) Minerais da fácies BSG intensamente alterados para argilominerais (k-feldspato) e clorita (biotita). (D) Intercrescimentos granofírico nos BSG. Arg= argilominerais, Bt= biotita, Chl= clorita, Fk= feldspato potássico, Pl= plagioclásio, Qtz= quartzo.....27
- Figura 9 - Imagens de elétrons retroespalhados (ERE) de cristais de biotita dos granitos oxidados Bannach (GBANN) e Redenção (GRED). (A e B) Biotitas subédricas com bordas levemente corroídas e pouco alteradas, representativas dos BAMzG e LMzG (GBANN), respectivamente. (C e D) Cristais subédricos a anédricos de biotita da fácies BMzG e LMzG representativas do GRED, respectivamente. Os cristais de biotita da fácies LMzG mostram-se fortemente corroídos e alterados, com frequentes inclusões de opacos (magnetita) e zircão. Bt= biotita; Qtz= quartzo; Pl= plagioclásio; Fk = feldspato potássico; Cruz vermelha= análises de MEV-EDS.....28

- Figura 10 - Imagens de elétrons retroespalhados (ERE) mostrando cristais de biotita dos granitos reduzidos Antônio Vicente (GAV), Velho Guilherme (GVG) e Serra da Queimada (GSQ). (A, B, C e D) Aspecto morfológico dos cristais de biotita do GAV. De (A) para (C) mudança textural da biotita da rocha menos evoluída para a mais evoluída. Em (D) detalhe de cristais de apatita inclusos na biotita da fácies BSGIA. (E e F) Biotitas dos BMG e BSGEm do GVG. (G e H) Biotitas dos BMG e BSG do GSQ. Anf= anfibólio, Ap= apatita, Bt= biotita, Chl= clorita, Fk = feldspato potássico, Qtz= quartzo, Zrn= zircão, Pl= plagioclásio, Cruz vermelha = análises de EDS.....30
- Figura 11 - Comportamento das biotitas estudadas nos diagramas: (A)  $Al_{IV} \times Fe/(Fe+Mg)$  (Deer *et al.* 1992) e (B)  $Al \text{ total} \times Fe/(Fe+Mg) \times 100$  (Eklund & Shebanov 2005). Abreviações conforme Tabela 3. AFG=Álcali-feldspato granito; TGE=Topázio granito equigranular.....38
- Figura 12 - Diagramas de variação para as biotitas estudadas. (A)  $Mg \times Fe \text{ total}$ ; (B)  $Ti \times Fe \text{ total}$ ; (C)  $Ti+Mg \times Si+Al$  e (D)  $Mg/(Mg+Fe) \times Si+Al$ . Abreviações conforme Tabela 3. AFG=Álcali-feldspato granito; TGE=Topázio granito equigranular.....39
- Figura 13 - Diagramas (A)  $FeO+MnO - 10^* TiO_2 - MgO$  (Nachit *et al.* 2005) e (B)  $Fe/(Fe+Mg) \times Al \text{ total}$ ; campos aproximados para as séries magnetita e ilmenita e valores do tampão QFM (quartzo-faiálita-magnetita), segundo Anderson *et al.* (2008). Legendas conforme Figura 11 e Tabela 3.....42
- Figura 14 - Diagramas de variação composicional das biotitas estudadas. (A)  $Sn \times Mg/(Mg+Fe)$ ; (B)  $Sn+W \times Mg/(Mg+Fe)$ ; (C)  $Al_2O_3 \times MgO$ ; (D)  $Ti+Mg \times Mg/(Mg+Fe)$ . Abreviações conforme Tabela 3. AFG=Álcali-feldspato granito; TGE=Topázio granito equigranular.....44

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	iv
<b>RESUMO</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	vii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA .....	2
<b>2 GEOLOGIA REGIONAL</b> .....	4
2.1 DOMÍNIO RIO MARIA .....	6
2.2 REGIÃO DO XINGU .....	7
2.3 GRANITOS ANOROGÊNICOS .....	8
<b>3 ASPECTOS GEOLÓGICOS DOS GRANITOS ESTUDADOS</b> .....	12
3.1 GRANITOS OXIDADOS .....	12
<b>3.1.1 Granito Bannach</b> .....	12
<b>3.1.2 Granito Redenção</b> .....	12
3.2 GRANITOS REDUZIDOS .....	13
<b>3.2.1 Granito Antônio Vicente</b> .....	13
<b>3.2.2 Granito Velho Guilherme</b> .....	13
<b>3.2.3 Granito Serra da Queimada</b> .....	14
<b>4 JUSTIFICATIVA</b> .....	15
<b>5 OBJETIVOS</b> .....	16
<b>6 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	17
6.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA .....	17
6.2 ESTUDOS PETROGRÁFICOS .....	17
6.3 ANÁLISES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS POR MEV-EDS.....	17
6.4 TRATAMENTO DE DADOS .....	18
<b>7 RESULTADOS</b> .....	19
7.1 PETROGRAFIA.....	19
<b>7.1.1 Granitos Oxidados</b> .....	20
7.1.1.1 <i>Granito Bannach (GBANN)</i> .....	20
7.1.1.2 <i>Granito Redenção (GRED)</i> .....	21
<b>7.1.2 Granitos Reduzidos</b> .....	24
7.1.2.1 <i>Granito Antônio Vicente (GAV)</i> .....	24
7.1.2.2 <i>Granito Velho Guilherme (GVG)</i> .....	25
7.1.2.3 <i>Granito Serra da Queimada (GSQ)</i> .....	26

7.2 ASPECTOS MORFOLÓGICOS E TEXTURAIS DAS BIOTITAS.....	28
<b>7.2.1 Biotita dos Granitos Oxidados .....</b>	<b>28</b>
<b>7.2.2 Biotita dos Granitos Reduzidos .....</b>	<b>29</b>
<b>8 VARIAÇÕES COMPOSICIONAIS .....</b>	<b>31</b>
<b>9 DISCUSSÃO .....</b>	<b>40</b>
9.1 ANÁLISES MORFOLÓGICO-TEXTURAIS .....	40
9.2 CLASSIFICAÇÃO E SÉRIE GRANITOIDE.....	40
9.3 BIOTITA COMO INDICADOR METALOGENÉTICO .....	42
<b>10 CONCLUSÕES.....</b>	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>.....</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

A Província Carajás (Santos *et al.* 2000, Santos 2003) compreende o núcleo arqueano mais antigo e bem preservado do Cráton Amazônico (Almeida *et al.* 1981). Segundo a divisão proposta por Santos (2003) e Vasquez *et al.* (2008), ela subdivide-se em dois domínios tectônicos: Domínio Carajás (DC) à norte, e Domínio Rio Maria (DRM), situado na porção sul. A Província Carajás se destaca pelo seu vasto potencial metalogenético, visto que abriga depósitos de ferro, ouro, manganês, níquel, dentre outros metálicos (DOCEGEO 1988).

A oeste do DRM, nas proximidades de São Félix do Xingu, ocorre uma extensa sequência de rochas vulcânicas intermediárias a félsicas pertencentes ao Supergrupo Uatumã (Melo *et al.* 1978, Macambira & Vale 1997, Teixeira *et al.* 1998, 2002a, Fernandes *et al.* 2006, 2008, Juliani & Fernandes 2010, Ferreira & Lamarão 2013) e corpos graníticos de idade paleoproterozoica e caráter reduzido. Esses granitos foram inseridos na Suíte Intrusiva Velho Guilherme (SIVG; Dall’Agnol *et al.* 1993, Macambira & Vale 1997, Teixeira 1999, Teixeira & Bettencourt 2000, Teixeira *et al.* 2002b, 2005, Lamarão *et al.* 2007, 2012) e juntos compõem a Província Estanífera do Sul do Pará (Abreu & Ramos 1974). Fazem parte os granitos Antônio Vicente, Velho Guilherme, Benedita, Ubim Sul, Rio Xingu, Serra da Queimada, Mocambo e Bom Jardim, todos contendo mineralizações de Sn e W ( $\pm$ Mo, Ta, Nb) em suas rochas mais evoluídas e alteradas hidrotermalmente e em corpos de *greisens* associados. Rochas sienograníticas são dominantes sobre as monzograníticas e a biotita é o principal mineral máfico, com o anfibólio ocorrendo apenas nas fácies menos evoluídas do Granito Antônio Vicente. A ausência, ou ocorrência muito restrita, de magnetita e titanita indicam que esses granitos pertencem à Série Ilmenita (Ishihara 1981).

A leste de São Félix do Xingu, nos arredores das cidades de Bannach, Rio Maria, Redenção e Xinguara, ocorrem vários granitos paleoproterozoicos de caráter oxidado e intrusivos em unidades arqueanas; são representados pelos plútons Jamon, Musa, Bannach, Redenção, Marajoara e Manda Saia que compõem a Suíte Jamon (Dall’Agnol *et al.* 2005). São rochas dominadas por monzogranitos, com sienogranitos ocorrendo subordinadamente. A biotita é mais abundante que o anfibólio, porém nas rochas menos evoluídas este último é dominante. Zircão, apatita, magnetita, ilmenita, allanita e titanita

são os principais acessórios (Dall'Agnol *et al.* 2005) e a magnetita é dominante sobre a ilmenita, classificando esses como típicos granitos da série a magnetita (Ishihara1981).

Ao longo dos anos inúmeros trabalhos, envolvendo temáticas diversas, foram desenvolvidos nos granitos dessas duas importantes suítes (Magalhães & Dall'Agnol 1992, Dall'Agnol *et al.* 1993, 1994, 1999b, 2005, Teixeira *et al.* 2002, 2005, Almeida *et al.* 2005, Dall'Agnol & Oliveira 2007, Oliveira & Dall'Agnol 2009, Pinho 2009, Lamarão *et al.* 2007, 2012, 2018, Santos *et al.* 2018), porém poucos abordaram o estudo das micas presentes nessas rochas (Teixeira 1999, Dall'Agnol *et al.* 2005), principalmente relacionando suas composições com a presença de mineralizações associadas (Fernandes *et al.* 2006, Abrantes Jr. 2008, 2009).

### 1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

Os granitos paleoproterozoicos estudados estão inseridos nas províncias Carajás e Amazônia Central (Vasquez *et al.* 2008) e fazem parte de duas compartimentações distintas: o Domínio Rio Maria (DRM), pertencente a Província Carajás, e a Região do Xingu (RX), pertencente ao Domínio Iriri-Xingu. Os granitos Bannach e Redenção, pertencentes ao DRM, localizam-se no sudeste do Estado do Pará, nas circunvizinhanças das cidades homônimas, enquanto os granitos Antônio Vicente, Serra da Queimada e Velho Guilherme estão localizados nas proximidades de São Félix do Xingu, porção sul-sudeste do Estado do Pará (Figura 1).

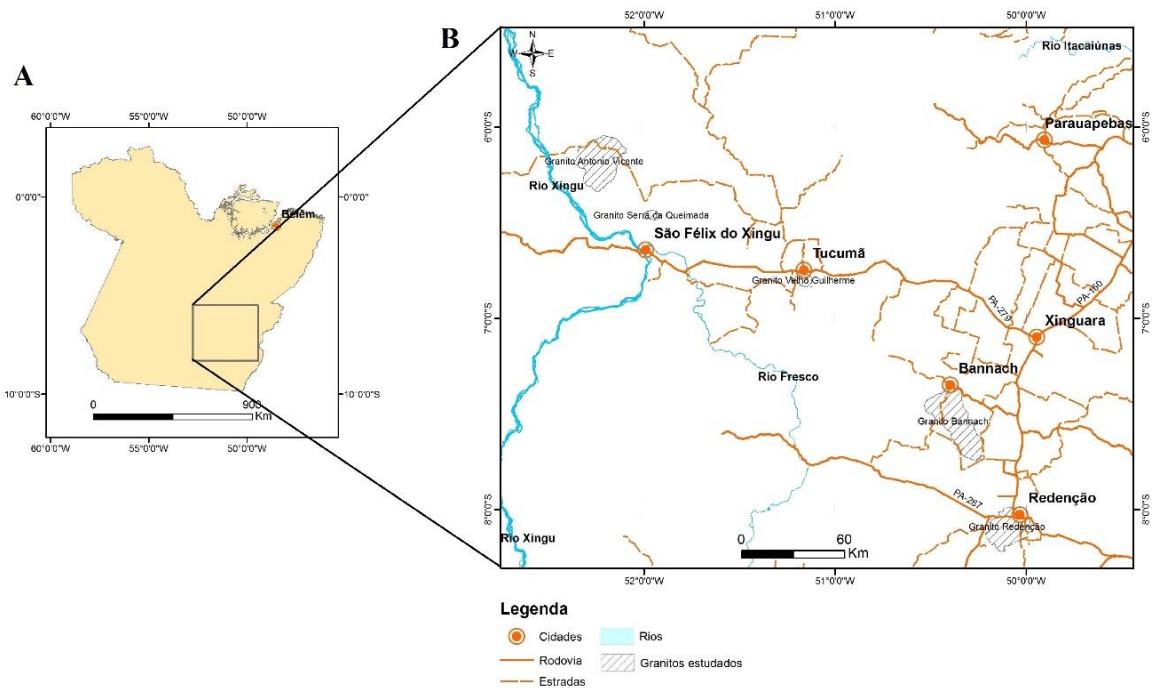


Figura 1 - Mapa de localização da área de ocorrência dos corpos graníticos estudados. (A) Mapa do Estado do Pará; (B) Região sudeste do Estado do Pará onde ocorrem os granitos estudados.

## 2 GEOLOGIA REGIONAL

O Cráton Amazônico (CA, Figura 2), localizado no norte da América do Sul, compreende uma das maiores áreas cratônicas do mundo, com cerca de 4.500.000 Km<sup>2</sup>. É dividido em dois escudos pré-cambrianos, denominados de Escudo das Guianas e Escudo Brasil Central, os quais são separados pelas bacias paleozoicas do Solimões e Amazonas. Comporta-se como uma área estável desde 1,0 Ga (Tassinari & Macambira 1999, Vasquez *et al.* 2008). Segundo a proposta de Santos (2003), o CA é dividido em sete províncias tectônicas ou geocronológicas, denominadas Carajás (3000 – 2500 Ma), Transamazonas (2260 – 1990 Ma), Tapajós – Parima (2030 – 1860 Ma), Amazônia – Central (1900 – 1860 Ma), Rondônia – Juruena (1850 – 1540 Ma), Rio Negro (1820 – 1520 Ma) e Sunsás (1450 – 1000 Ma). Cada província foi compartimentada em domínios tectônicos, caracterizados por padrões geocronológicos, litotipos, *trends* estruturais e assinaturas geofísicas similares (Vasquez *et al.* 2008).

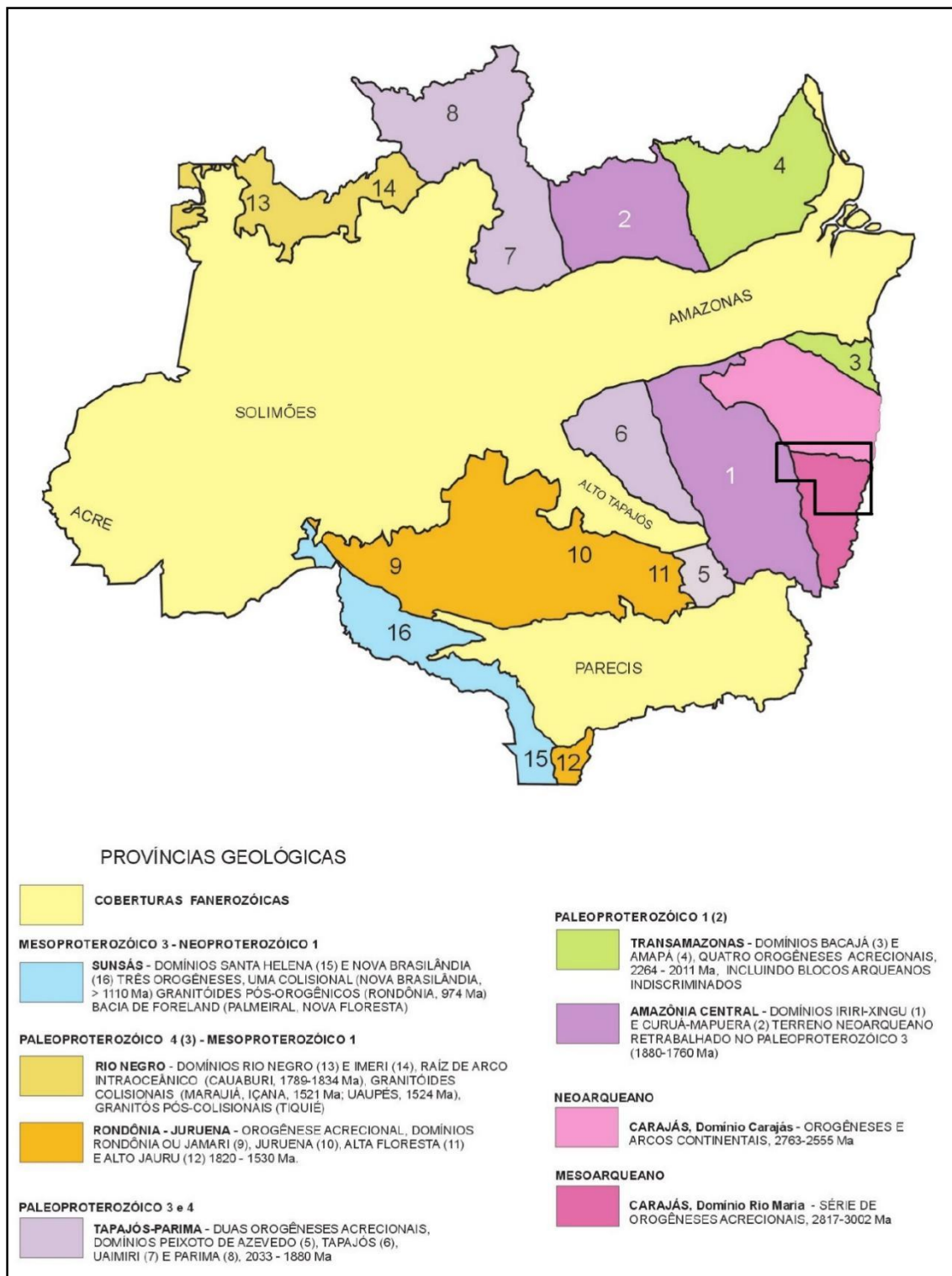


Figura 2 - Mapa das Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico com a localização da área estudada em destaque. Fonte: Bizzi *et al.* (2003).

Os domínios Rio Maria e Carajás fazem parte da Província Carajás que é apontada como o principal núcleo arqueano preservado do CA (Almeida *et al.* 1981). É delimitada a norte pelo Domínio Bacajá, a leste pelo Cinturão Araguaia e a oeste pelos domínios

Irixi-Xingu e Santana do Araguaia. Vasquez *et al.* (2008), em revisão à geologia do Estado do Pará e seguindo a proposta de Santos (2003), dividiram a Província Carajás nos domínios Rio Maria, localizado na porção sul, e Carajás, na porção norte. Com o avanço do conhecimento geológico na área, Dall’Agnol *et al.* (2013) subdividiu o Domínio Carajás nos domínios Sapucaia, Canaã dos Carajás e Bacia Carajás. A proposta de Santos (2003) ainda subdivide a Província Amazônia Central em dois domínios, denominados Irixi-Xingu e Erepecuru-Trombetas.

## 2.1 DOMÍNIO RIO MARIA

O Domínio Rio Maria (DRM), essencialmente mesoarqueano (3,0 – 2,87 Ga), é formado por sequências metavulcanossedimentares tipo *greenstone-belts*, associações TTG e diversos granitoides com características geoquímicas distintas. As unidades litoestratigráficas mais antigas do DRM são compostas por *greenstone belts* agrupados no Supergrupo Andorinhas (Macambira & Lancelot 1991, Pimentel & Machado 1994, Avelar 1996, Souza *et al.* 2001, Rolando & Macambira 2002, 2003). Fazem parte dessa grande unidade o Grupo Babaçu, que compreende a porção basal, e o Grupo Lagoa Seca, definido como o topo da sequência (DOCEGEO 1988). Ambas as unidades são compostas por rochas metaultramáficas, metamáficas, metassedimentares e formações ferríferas (DOCEGEO 1988). Alguns autores atribuem os *greenstones* Sapucaia, Identidade, Seringa, Lagoa Seca e Babaçu como faixas individuais do Supergrupo Andorinhas. A datação dessa unidade mostra idades que variam de 2,98 Ga a 2,90 Ga (Macambira 1992, Pimentel & Machado 1994, Macambira & Lafon 1995).

Os granitoides da série tonalito-trondhjemitó-granodiorito (TTG) são representados pelo Tonalito Arco Verde (2,98 – 2,93 Ga; Macambira & Lafon 1995, Rolando & Macambira 2002, 2003, Almeida *et al.* 2011), pelo Trondhjemitó Mogno (2,96 Ga; Huhn *et al.* 1988, DOCEGEO 1988, Almeida *et al.* 2011) e pelo Tonalito Mariazinha (~2,92 Ga; Almeida *et al.* 2011).

Granodioritos ricos em Mg, dominantes no Domínio Rio Maria, são representados pela Suíte Sanukitoide Rio Maria (DOCEGEO 1988, Costa *et al.* 1995, Avelar *et al.* 1999, Oliveira *et al.* 2009, 2010); apresentam idades de cristalização ~2,87 Ga (Macambira 1992, Macambira & Lancelot 1996, Dall’Agnol *et al.* 1999b, Silva *et al.* 2018) e são intrusivos em *greenstones* do Supergrupo Andorinhas e no Tonalito Arco Verde. Outros

granodioritos correlacionáveis aos Sanukitoides Rio Maria foram descritos nas regiões de Inajá (Rolando & Macambira 2003), Água Azul do Norte (Gabriel & Oliveira 2014, Santos *et al.* 2013), Ourilândia do Norte (Santos & Oliveira 2016) e Xingu (Avelar *et al.* 1999, Lamarão *et al.* 2012), todos inseridos nos domínios da Província Carajás.

Leucogranitos potássicos, representados pelos granitos Mata Surrão (Duarte *et al.* 1991, Duarte 1992, Althoff *et al.* 2000) e pequenos *stocks* graníticos, ocorrem espalhados no domínio em questão (Almeida *et al.* 2013). O Granito Mata Surrão, com idade de  $2872 \pm 10$  Ma (Pb-Pb em rocha total, Lafon 1994, Macambira & Lafon 1995) e intrusivo no Tonalito Arco Verde (Dall'Agnol *et al.* 2006), é formado por rochas predominantemente monzograníticas.

Leucogranodioritos e granitos ricos em Ba e Sr compõem a Suíte Guarantã (2,87 a 2,86 Ga; Althoff *et al.* 2000, Almeida *et al.* 2010), formada pelos granodioritos Azulona e Trairão e pelo Granito Guarantã, além do Granodiorito Grotão, localizado a sudeste de Xinguara (Dias 2009, Guimarães 2009, Almeida *et al.* 2010, Silva & Oliveira 2013, Oliveira *et al.* 2014).

As coberturas sedimentares são representadas pelas formações Tocandera e Rio Naja, pertencentes ao Grupo Rio Fresco (Cunha *et al.* 1984). Segundo DOCEGEO (1988), essa unidade compreende um depósito transgressivo composto por sedimentos de granulometria grosseira na base que grada para siltitos e sedimentos químicos no topo. A idade de deposição do Grupo Rio Fresco é de 2,76 Ga (Macambira 1992).

## 2.2 REGIÃO DO XINGU

A Região do Xingu, localizada no sul-sudeste do estado do Pará e pertencente ao Domínio Iriri-Xingu, é representada por rochas arqueanas do Complexo Xingu (Avelar *et al.* 1999), por sequências metavulcanossedimentares do Grupo São Félix, pela Suíte Intrusiva Cateté (Macambira & Vale 1997), por unidades metavulcanossedimentares do Grupo Tucumã (Macambira & Vale 1997), pela Suíte Intrusiva Parauari (Brito 2000), por sequências vulcânicas do Supergrupo Uatumã (Melo *et al.* 1978) e pela Suíte Intrusiva Velho Guilherme (Macambira & Vale 1997, Teixeira 1999, Teixeira *et al.* 2002, 2005).

A Suíte Intrusiva Cateté representa o magmatismo máfico-ultramáfico neoarqueano e é composta por um conjunto de corpos alongados segundo as direções N-

S e E-W litologicamente constituídos por gabros, noritos, piroxenitos, serpentinitos e peridotitos, não mostrando aspectos deformacionais e metamórficos (Macambira & Vale 1997). Lafon *et al.* (2000) obtiveram idade de 2,76 Ga (U-Pb em zircão) em um gabro desta unidade.

Segundo a proposta de Brito (2000), a Suíte Intrusiva Parauari é dividida em três fácies distintas. A fácies granodiorítica varia de termos equigranulares e inequigranulares de granulação média a grossa, com alguns tipos porfiríticos de colorações acimentadas a rosadas. São granitoides isotrópicos com biotita e/ou hornblenda. A fácies granítica é constituída principalmente por monzogranitos e sienogranitos e possui textura semelhante a fácies granodiorítica. Localmente apresenta cristais de feldspato orientados, denotando feições de fluxo magmático. A fácies granítica a titanita difere das demais pela ocorrência de titanita junto com os máficos biotita e/ou hornblenda. A idade dessa unidade é de aproximadamente 1,88 Ga (Santos 1999, Brito *et al.* 1999, Lamarão *et al.* 1999).

O Supergrupo Uatumã, no âmbito da Folha São Félix do Xingu (Macambira & Vale 1997), é formado por um conjunto de rochas vulcânicas, com subordinadas intercalações de tufos e rochas sedimentares, agrupadas nas Formações Sobreiro (base) e Santa Rosa (topo) (Fernandes *et al.* 2006, 2008, Juliani & Fernandes 2010). Andesitos e dacitos da Formação Sobreiro mostraram idades Pb-Pb em zircão de  $1865 \pm 5$  e  $1880 \pm 6$  Ma (Teixeira *et al.* 2002, Fernandes 2005), enquanto amostras de tufo e riolito da Formação Santa Rosa, datadas pelo método Pb-Pb em zircão forneceram, respectivamente, idades de  $1884 \pm 1,7$  Ma e  $1879 \pm 2$  Ma (Fernandes 2009).

### 2.3 GRANITOS ANOROGÊNICOS

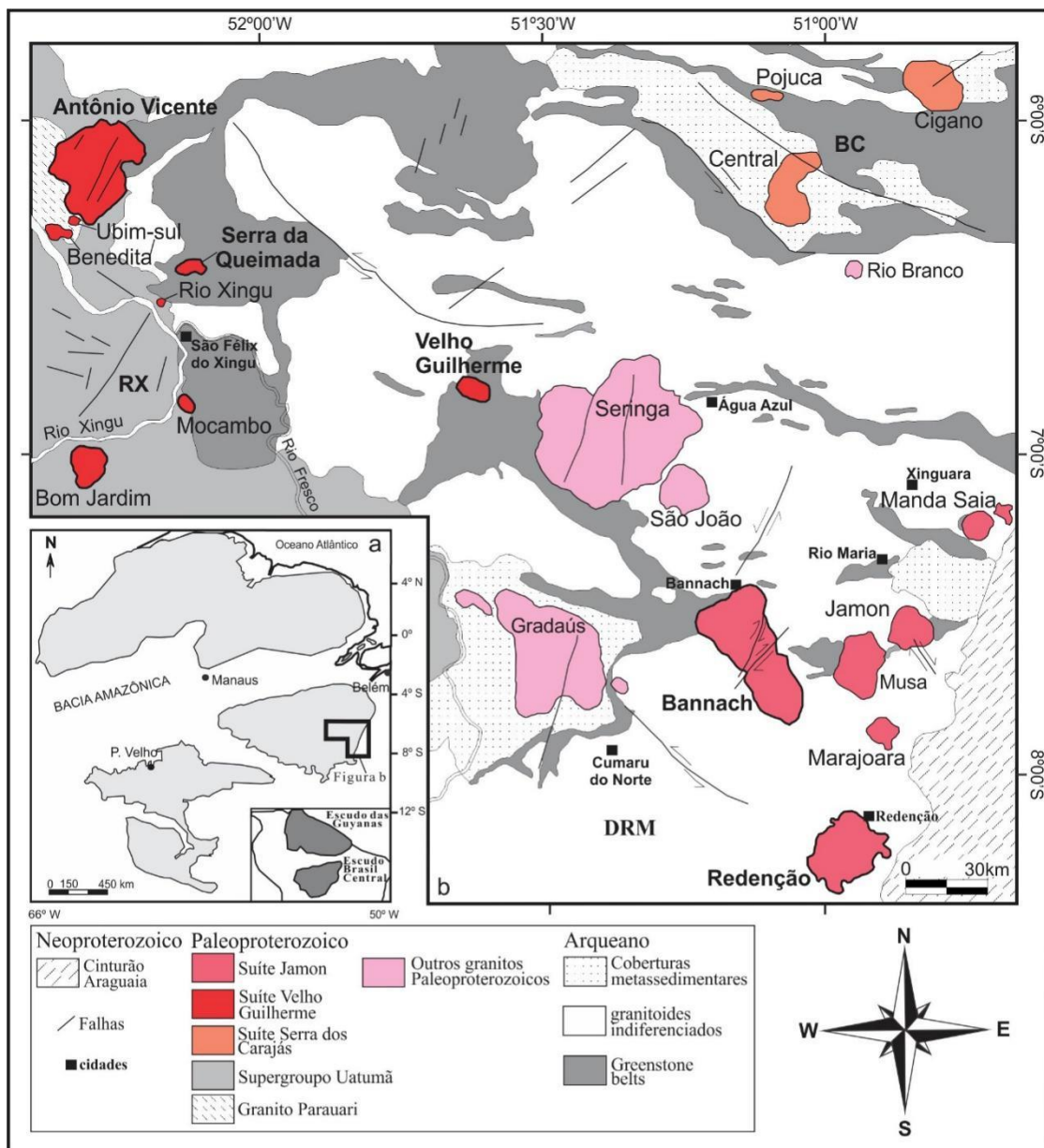
Durante o Paleoproterozoico, ocorreu um amplo magmatismo granítico anorogênico que afetou a Província Carajás (PC; Figura 3; Tabela 1). A Suíte Jamon (Dall'Agnol *et al.* 2005), localizada na porção sul da PC, é composta pelos plútons Jamon (Dall'Agnol 1982, Dall'Agnol *et al.* 1999a, b), Musa (Gastal 1987), Marajoara (Rocha Jr. 2004, Santos *et al.* 2018), Bannach (Almeida 2005), Redenção (Montalvão *et al.* 1982, Vale & Neves 1994, Barbosa *et al.* 1995, Oliveira 2001, Oliveira *et al.* 2002, Oliveira & Dall'Agnol 2009) e Manda Saia (Leite 2001, Santos 2020). São granitos de nível crustal elevado que se colocaram em uma crosta rígida, cortando discordantemente as unidades da província (Dall'Agnol *et al.* 1985, Soares 1996). Datações pelos métodos U-Pb e Pb-

Pb em zircão mostraram idades de cristalização próximas de 1,88 Ga (Almeida *et al.* 2008). Além desses plútons, ocorrem em toda província diques félsicos e máficos contemporâneos à granitogênese (Rivalenti *et al.* 1998, Silva Jr. *et al.* 1999, Ferreira 2009, Silva *et al.* 2016).

A Suíte Serra dos Carajás, localizada na porção norte da PC, é composta pelos granitos Central, Cigano, Pojuca e Rio Branco (Dall'Agnol *et al.* 2005). Monzogranitos e sienogranitos são as litologias dominantes, com conteúdo de máficos geralmente < 15%. Segundo Dall'Agnol *et al.* (2005), o óxido de Fe-Ti dominante nesses granitos é a magnetita, porém a ilmenita ocorre com frequência.

A Suíte Intrusiva Velho Guilherme, localizada na Região do Xingu, porção oeste do Domínio Rio Maria, é representada pelos plútons Antônio Vicente (Dall'Agnol 1980, Teixeira *et al.* 2002, 2005), Benedita (Sá 1985), Rio Xingu (Teixeira 1999, Melo *et al.* 2019), Ubim/Sul (Teixeira & Andrade 1992), Velho Guilherme (Abreu & Ramos 1974), Bom Jardim (Abreu & Ramos 1974, Lamarão *et al.* 2012), Mocambo (Abreu & Ramos 1974, Teixeira 1999, Teixeira *et al.* 2002, 2005, Barros Neto *et al.* 2020) e Serra da Queimada (Macambira & Vale 1997, Melo 2019, Melo *et al.* 2021). Esses corpos ocorrem como *stocks* e batólitos subarredondados, apresentam composição sienogranítica a monzogranítica, com álcali feldspato-granitos e *greisens* subordinados mineralizados em Sn e W, que juntos formam a Província Estanífera do Sul do Pará (Abreu & Ramos 1974). Datações geocronológicas revelaram idades entre 1862 e 1867 Ma (Teixeira *et al.* 2002, Pinho 2005, Lamarão *et al.* 2012).

Outros corpos já estudados (granitos Seringa, Paiva Jr. *et al.* 2011; São João, Lima *et al.* 2014; e Gradaús, Carvalho 2017, Nery 2019), mas ainda não incluídos em nenhuma das três suítes graníticas, aparecem dispostos entre os granitos das suítes Jamon e Velho Guilherme (Figura 3).



FFigura 3 – Contexto geológico da área estudada. (a) Mapa esquemático do Cráton Amazônico com a localização da área estudada em destaque. (b) Mapa geológico simplificado da Província Carajás (modificado de Dall'Agnol *et al.* 2005) com a distribuição dos granitos paleoproterozoicos tipo A das suítes Velho Guilherme, Jamon e Serra dos Carajás, com destaque para os granitos Antônio Vicente, Serra da Queimada, Velho Guilherme, Bannach e Redenção (em negrito) estudados neste trabalho. DRM=Domínio Rio Maria. RX=Região do Xingu, BC=Bacia Carajás. Suíte Jamon: granitos oxidados; Suíte Velho Guilherme: granitos reduzidos; Suíte Serra dos Carajás: granitos moderadamente reduzidos; Outros granitos paleoproterozoicos: moderadamente reduzidos.

Tabela 1 - Síntese dos dados geocronológicos dos granitos anorogênicos e diques paleoproterozoicos da Província Carajás.

<b>Unidade</b>	<b>Método</b>	<b>Material analisado</b>	<b>Idade/Referência</b>
<b>Suíte Serra dos Carajás</b>			
Granito Cigano	U-Pb	Zircão	1883 ± 2 Ma <sup>(1)</sup>
Granito Serra dos Carajás	U-Pb	Zircão	1880 ± 2 Ma <sup>(1)</sup>
Granito Pojuca	U-Pb	Zircão	1874 ± 2 Ma <sup>(1)</sup>
<b>Suíte Jamon</b>			
Granito Musa	U-Pb	Zircão	1883 ± 52 Ma <sup>(1)</sup>
Granito Jamon	Pb-Pb	Zircão	1885 ± 32 Ma <sup>(2)</sup>
Granito Redenção	Pb-Pb	Zircão	1870 ± 68 Ma <sup>(3)</sup>
Granito Seringa	Pb-Pb	Zircão	1890 ± 2 Ma <sup>(4)</sup>
Granito Marajoara	Rb-Sr	Rocha total	1724 ± 50 Ma <sup>(5)</sup>
Granito São João	Pb-Pb	Zircão	1895 ± 50 Ma <sup>(6)</sup>
<b>Suíte Velho Guilherme</b>			
Granito Velho Guilherme	Pb-Pb	Rocha total	1823 ± 13 Ma <sup>(7)</sup>
Granito Antônio Vicente	Pb-Pb	Zircão	1867 ± 4 Ma <sup>(7)</sup>
Granito Mocambo	Pb-Pb	Zircão	1865 ± 4 Ma <sup>(7)</sup>
Granito Rio Xingu	Pb-Pb	Zircão	1866 ± 2 Ma <sup>(7)</sup>
Granito Bom Jardim	Pb-Pb	Zircão	1884 ± 4 Ma <sup>(8)</sup>
Granito Serra da Queimada	Pb-Pb	Zircão	1867 ± 1 Ma <sup>(8)</sup>
<b>Granitos indiferenciados</b>			
Granito Seringa	Pb-Pb	Zircão	1895 ± 1 Ma <sup>(9)</sup>
	SHRIMP		1875 ± 6 Ma <sup>(10)</sup>
Granito São João	Pb-Pb	Zircão	1890 ± 2 Ma <sup>(11)</sup>
	SHRIMP		1880 ± 3 Ma <sup>(10)</sup>
Granito Gradaús	Pb-Pb	Zircão	1882 ± 9 Ma <sup>(12)</sup>
<b>Diques</b>			
Dique félsico	Pb-Pb	Zircão	1885 ± 2 Ma <sup>(13)</sup>
Dique intermediário	Rb-Sr	Rocha total	1874 ± 110 Ma <sup>(14)</sup>
Dique riolítico	Pb-Pb	Zircão	1887 ± 2 Ma <sup>(15)</sup>
Diques riolíticos	U-Pb	Zircão	1880 ± 3 Ma <sup>(16)</sup>
	SHRIMP		

Fonte: (1) Machado *et al.* (1991); (2) Dall'Agnol *et al.* (1999a); (3) Barbosa *et al.* (1995); (4) Paiva Jr. (2009); (5) Macambira (1992); (6) Lima (2011); (7) Teixeira (1999); (8) Pinho (2005); (9) Paiva Jr. *et al.* (2011); (10) Teixeira *et al.* (2018); (11) Lima *et al.* (2014); (12) Abrantes Jr. (2011); (13) Oliveira (2006); (14) Rivalenti *et al.* (1998); (15) Ferreira (2009); (16) Silva *et al.* (2016).

### 3 ASPECTOS GEOLÓGICOS DOS GRANITOS ESTUDADOS

#### 3.1 GRANITOS OXIDADOS

##### 3.1.1 Granito Bannach

O Granito Bannach, localizado no município homônimo, sudeste do estado do Pará, consiste em um batólito de forma elíptica e alongado segundo a direção NNW, com área aflorante de aproximadamente 800 Km<sup>2</sup>. É formado essencialmente por rochas monzograníticas isotrópicas, com variações mineralógicas que permitiram individualizar três conjuntos petrográficos: (1) Rochas de granulação grossa portadoras de anfibólio + biotita ± clinopiroxênio, representadas por: clinopiroxênio-biotita-anfibólio-monzogranito grosso, biotita-anfibólio-monzogranito grosso e anfibólio-biotita-monzogranito grosso; (2) Rochas portadora de biotita com textura porfirítica e (3) Rochas leucograníticas, com granulação variando de grossa a fina (Almeida 2005, Almeida *et al.* 2006).

Devido ao expressivo conteúdo de minerais opacos, somado à paragênese magnetita-titanita-quartzo, Almeida (2005) concluiu que o Granito Bannach possui características similares a de granitos da Série Magnetita (Ishihara 1981). Possui afinidades metaluminosa a peraluminosa e natureza subalcalina, com razões K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O e FeO<sub>t</sub>/(FeO<sub>t</sub>+MgO) relativamente elevadas, tendendo a aumentar com a diferenciação magmática. Exibe similaridades com granitos tipo-A ferroso (Whalen *et al.* 1987, Frost *et al.* 2001).

##### 3.1.2 Granito Redenção

O Granito Redenção, caracterizado inicialmente por Montalvão *et al.* (1982), mostra forma circular com área aproximada de 625 Km<sup>2</sup>. Segundo Oliveira (2001), consiste essencialmente em monzogranitos hololeucocráticos compostos por cinco fácies petrográficas: (1) Clinopiroxênio-biotita-anfibólio monzogranitos, (2) Biotita-anfibólio monzogranitos, (3) Anfibólio-biotita monzogranitos, (4) Biotita monzogranitos e, (5) Leucomonzogranitos. As fácies enriquecidas em máficos são portadoras de anfibólio + biotita + clinopiroxênio e derivadas de líquidos menos evoluídos; os leucomonzogranitos são derivados de líquidos mais empobrecidos em ferromagnesianos e em anortita (Oliveira 2001).

Quanto às características geoquímicas, o Granito Redenção é metaluminoso a peraluminoso, possui natureza subalcalina, altos conteúdos de K<sub>2</sub>O e razões

$FeO_t/(FeO_t+MgO)$  no sentido das fácies mais ricas em sílica. Mostra afinidade com os granitos intraplaca de Pearce *et al.* (1984), e se assemelha a granitos do tipo-A de Whalen *et al.* (1987). Segundo Oliveira (2001), o Granito Redenção teria se formado sob condições relativamente oxidante, semelhante àquelas dos outros granitos da Suíte Jamon. Datações Pb-Pb em rocha total revelaram uma idade de  $1870 \pm 68$  Ma (Barbosa *et al.* 1995).

## 3.2 GRANITOS REDUZIDOS

### 3.2.1 Granito Antônio Vicente

O Granito Antônio Vicente, localizado a noroeste da cidade de São Félix do Xingu, é o maior corpo da Suíte Intrusiva Velho Guilherme, com cerca de 600 Km<sup>2</sup> de área (Teixeira 1999, Teixeira *et al.* 2002, 2005). É intrusivo nas vulcânicas do Supergrupo Uatumã e na Suíte Intrusiva Parauarí, e constituído por sienogranitos a monzogranitos hololeucocráticos a leucocráticos, contendo álcali feldspato-granitos subordinados. Teixeira & Dall'Agnol (1991) individualizaram quatro domínios petrográficos principais: (1) Biotita-anfibólio sienogranito com biotita-anfibólio-monzogranito subordinado, pouco afetados por alterações pós-magmáticas; (2) Anfibólio-biotita sienogranito, biotita-anfibólio-sienogranito a álcali feldspato-granito, biotita-sienogranito com clorita e álcali feldspato-granito; (3) Biotita-sienogranito com biotita-monzogranito subordinado; esta última afetada, em diferentes graus, por alterações pós-magmáticas; (4) Biotita-monzogranito, sem alterações importantes, com biotita-sienogranito subordinado. As rochas alteradas hidrotermalmente hospedam mineralizações de Sn, Ta, Nb em suas fácies mais evoluídas e em corpos de *greisens* associados. Datações Pb-Pb em rocha total e em zircão mostraram idades de  $1867 \pm 4$  Ma, interpretada como idade de cristalização do corpo (Teixeira 1999, Teixeira *et al.* 2002, 2005).

### 3.2.2 Granito Velho Guilherme

Apresenta forma subcircular e ocorre a sul da cidade de Tucumã, encaixado discordantemente nas rochas do Grupo Tucumã e do Granodiorito Rio Maria (Macambira & Vale 1997). É formado por biotita-sienogranito equigranular médio, sienogranito heterogranular e microssienogranito, todos afetados por alterações tardi a pós-magmáticas em diferentes intensidades (Teixeira 1999). Mostra caráter peraluminoso e natureza subalcalina. Datações Pb-Pb em rocha total revelaram idade de  $1874 \pm 30$  Ma (Rodrigues *et al.* 1992).

### 3.2.3 Granito Serra da Queimada

Está localizado ao norte da cidade de São Félix do Xingu (Figura 3); foi estudado inicialmente por Macambira & Vale (1997) e posteriormente por Pinho (2005) e Melo (2019). Consiste em um corpo elíptico com maior extensão no sentido E-W, com cerca de 20 Km<sup>2</sup> de área aflorante, intrusivo em rochas supracrustais do Grupo São Félix e mineralizado em Sn e W. Apresenta três domínios petrográficos principais: (1) Biotita monzogranitos moderadamente afetados por alterações pós-magmáticas, evidenciadas pelo desenvolvimento de fases secundárias como clorita, epidoto, sericita e fluorita; (2) Biotita sienogranitos, dominantes, com o par sericita-muscovita como principal produto de alteração pós-magmática; Zircão, allanita, apatita e fluorita são os principais acessórios. (3) Sienogranitos porfíricos aflorantes na porção SW do corpo; apresentam granulação média a grossa e textura porfírica, caracterizados pela presença de fenocristais médios a grossos de quartzo, K-feldspato e plagioclásio imersos em matriz fina heterogranular, constituída principalmente por quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotitas cloritizadas (Pinho 2005, Melo 2019). As três fácies possuem conteúdo de máficos < 10% e frequentes intercrescimentos esferulítico e granofírico, sugerindo que as rochas do Granito Serra da Queimada cristalizaram em níveis crustais rasos. Datações Pb-Pb em zircão revelaram uma idade de  $1867 \pm 1$  Ma (Pinho 2005).

#### 4 JUSTIFICATIVA

Micas trioctaédricas, como a biotita, são comuns em rochas ígneas félsicas a máficas e mostram variações químicas e estruturais consideráveis que permitem sua utilização como um indicador das condições físico-químicas em que cristalizaram ( $fO_2$ ,  $T^\circ$ ), assim como da natureza (tipologia) e do potencial metalogenético de sua rocha hospedeira (Foster 1960, Neiva 1981, Černý & Burt 1984, Speer 1984, Nachit *et al.* 1985, 2005, Abdel-Rahman 1994, Selby & Nesbitt 2000, Wang *et al.* 2013, Sarjoughian *et al.* 2015).

A importância atribuída ao presente estudo deve-se, entre outras coisas, aos poucos trabalhos envolvendo a caracterização de minerais micáceos de granitos estaníferos pertencentes à Suíte Intrusiva Velho Guilherme (Teixeira 1999, Fernandes *et al.* 2006, Abrantes Jr. 2008, 2009). A caracterização desses minerais complementará os estudos realizados até agora nos granitos reduzidos Antônio Vicente, Velho Guilherme e Serra da Queimada, permitindo avançar no conhecimento da evolução magmática e na caracterização de suas mineralizações através das modificações registradas em seus minerais micáceos. O estudo comparativo com biotitas de outros granitos oxidados e não mineralizados da Suíte Jamon, possibilitará um avanço no conhecimento deste importante magmatismo anorogênico da Província Carajás.

## 5 OBJETIVOS

O objetivo principal dessa pesquisa visa, sobretudo, realizar análises químicas através de MEV-EDS de cristais de biotita das diferentes fácies de granitos reduzidos estaníferos da região do Xingu e de granitos oxidados estéreis do Domínio Rio Maria, Província Carajás, com intuito de identificar, através dessas análises, os diferentes tipos, suas alterações e utilizá-las como indicador metalogenético preliminar para granitos mineralizados em estanho.

Dentre os objetivos específicos a serem atingidos destacam-se:

- Identificar, descrever e selecionar cristais de biotita a serem analisados em MEV-EDS;
- Obter imagens de elétrons retroespalhados (ERE) e determinar suas composições;
- Discutir as implicações em decorrência das variações composicionais e associações com a mineralização;
- Comparar os dados obtidos com os de outros granitos mineralizados.

## 6 MATERIAIS E MÉTODOS

### 6.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Consistiu no levantamento bibliográfico referente ao contexto geológico da Província Carajás e da Região do Xingu, com ênfase ao magmatismo anorogênico que afetou a região. A pesquisa incluiu teses, dissertações, artigos científicos e livros com temática específica no que se refere a petrografia, geoquímica, metalogênese e gênese de granitos.

### 6.2 ESTUDOS PETROGRÁFICOS

Inicialmente foram selecionadas lâminas delgadas e seções polidas representativas dos granitos oxidados Bannach (GBANN) e Redenção (GRED), e dos granitos reduzidos Antônio Vicente (GAV), Velho Guilherme (GVG) e Serra da Queimada (GSQ), as quais fazem parte do acervo do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides (GPPG). O estudo petrográfico constou com descrição sucinta da mineralogia das diferentes fácies estudadas, da obtenção de fotomicrografias de feições texturais características, bem como dos cristais de biotita analisados por MEV-EDS.

### 6.3 ANÁLISES QUÍMICAS SEMIQUANTITATIVAS POR MEV-EDS

Nessa etapa, com suporte do Laboratório de Microanálises do IG-UFGA, foram realizadas análises químicas semiquantitativas por MEV-EDS nos cristais de biotita previamente selecionados. Para fins comparativos, foram utilizadas lâminas do granito especializado Kymi, da Finlândia, bem como análises de biotita do Granito Porquinho, da Província Mineral do Tapajós mineralizado em Sn, estudadas por Silva (2018). Análises de microsonda em biotita realizadas por Teixeira (1999) nos granitos Antônio Vicente, Velho Guilherme e Mocambo também foram comparadas nos diagramas geoquímicos utilizados.

O equipamento utilizado foi o MEV LEO-ZEISS 1430 equipado com sistema de EDS Sirius-SD. As lâminas e seções polidas foram previamente metalizadas com carbono. As condições de operação para obtenção de imagens de ERE e análises por EDS foram: corrente do feixe de elétrons = 90  $\mu$ A, voltagem de aceleração constante = 20 KV, distância de trabalho = 15 mm. As análises de EDS utilizam o fator de correção ZAF ( $Z=n^{\circ}$  atômico,  $A=$ absorção atômica,  $F=$ fluorescência de Raios-X), que já vem instalado com o software e faz correções entre pico e background do elemento. O tempo de duração das análises foi de 30s, com 4000 a 5000 contagens/segundo para cada uma.

#### 6.4 TRATAMENTO DE DADOS

De posse dos dados analíticos, fez-se necessário o tratamento dos mesmos com o intuito de descartar as análises inconsistentes. Após esta etapa, foram utilizados diagramas específicos obtidos pelos *softwares* *GCDkit* e *Corel Draw X5*, que serviram de base para discussões e interpretações acerca da pesquisa.

## 7 RESULTADOS

Para o estudo comparativo entre as biotitas dos granitos oxidados e reduzidos foram selecionadas onze lâminas delgadas e duas seções polidas, sendo uma representativa de uma fácies menos evoluída e uma mais evoluída de cada corpo, com exceção do granito reduzido Antônio Vicente, onde foram analisadas três fácies distintas. O estudo petrográfico prévio foi de grande valia para a identificação dos cristais de biotita preservados, visto que a alteração para fases secundárias é algo frequente nos corpos estudados. Os cristais analisados pertencem, em sua maioria, a rochas com composição monzograníticas e sienograníticas, com variados graus de alteração hidrotermal. A relação das amostras estudadas encontra-se na Tabela 2; os elementos químicos analisados por EDS foram: Si, Al, K, Ca, Fe, Mg, Na, Ti, Mn, F, Cl, Sn, W, Nb e Ta.

Tabela 2.-Relação das lâminas petrográficas das suítes Jamon (granitos oxidados) e Velho Guilherme (granitos reduzidos) utilizadas nesse estudo.

Granitos Oxidados		Granitos Reduzidos		
GBANN	GRED	GAV	GVG	GSQ
ADR-136C (BAMzG)	DCR-36B (ABMzG)	IE-05 (ABSMG)	NN-VG-57A (BMG)	SQ-11 (BMG)
ADR-32A (LMzG)	ADR-10 (LMzG)	NN-AV-BA-4 (BSGA)	NN-VG-31 (BSGEm)	SQ-27 (BSG)
		NE-B-83 (BSGIA)		

GBANN: Granito Bannach; GRED: Granito Redenção; GAV: Granito Antônio Vicente; GVG: Granito Velho Guilherme; GSQ: Granito Serra da Queimada; BAMzG: biotita-anfibólio monzogranito; BMG: biotita monzogranito; ABMSG: anfibólio-biotita monzogranito a sienogranito; LMzG: leucomonzogranito; A: alterado; IA: intensamente alterado; Em: equigranular médio.

### 7.1 PETROGRAFIA

A descrição petrográfica de algumas das fácies dos corpos graníticos estudados é um complemento aos trabalhos em detalhe feitos por Oliveira (2001) para o Granito Redenção, Almeida (2005) para o Granito Bannach, Teixeira (1999) para os granitos Antônio Vicente e Velho Guilherme, e Melo (2019) para o Granito Serra da Queimada. Esses trabalhos serviram como apoio para o desenvolvimento desta pesquisa. São descritas a seguir as principais características texturais e mineralógicas das fácies estudadas.

## 7.1.1 Granitos Oxidados

### 7.1.1.1 Granito Bannach (GBANN)

A fácies menos evoluída do GBANN estudada no presente trabalho é representada pelo biotita-anfibólio monzogranito (BAMzG), enquanto a fácies mais evoluída utilizada foi o leucomonzogranito (LMzG). Ambas são constituídas essencialmente pela mesma mineralogia, representada por quartzo, feldspato potássico e plagioclásio, porém com minerais máficos distintos, visto que o BAMzG é rico em anfibólio e biotita (Figura 4A), enquanto no LMzG ocorre apenas biotita (Figura 4C e D).

O BAMzG possui textura granular hipidiomórfica média a grossa, sendo formado essencialmente por quartzo, feldspato potássico e plagioclásio, tendo anfibólio e biotita com principais máficos. Os minerais acessórios identificados são zircão, titanita, apatita, magnetita e ilmenita, e os secundários biotita (alteração do anfibólio), sericita, argilominerais e clorita. O feldspato potássico é a fase dominante, com estimativa modal de 37%. Seus cristais são tabulares, anédricos a subédricos, com dimensões entre 0,7 e 3,2 mm. Apresentam intercrescimentos micropertítico e alteração para argilominerais. O quartzo ocorre com proporção modal de cerca de 30%. Forma grãos médios (0,2 a 1,2 mm) dispersos na rocha ou preenchendo espaços intersticiais entre os feldspatos. Localmente ocorre intercrescido ao feldspato potássico dando origem à textura granofírica (Figura 4B). O plagioclásio (~25% modal) ocorre como cristais subédricos, com tamanhos médios de 1,5 mm, levemente alterado para sericita.

Os minerais máficos ocupam cerca de 8% da proporção modal da rocha, e o anfibólio é dominante em relação à biotita. O anfibólio ocorre como cristais subédricos médios de cor verde (0,7 mm), hábito tabular e com maclamento simples em alguns cristais. Possui pleocroísmo moderado e intensa alteração, ora para clorita, ora para biotita (secundária). Os minerais varietais ocorrem comumente em agregados, juntamente com opacos. A biotita primária ocorre como lamelas subédricas de cor marrom, com dimensões entre 0,4 e 1,3 mm. Exibe forte pleocroísmo (Z e Y = marrom, X = marrom pálido) e apresenta inclusões de apatita e zircão.

A fácies mais evoluída do GBANN (LMzG), apresenta uma leve diminuição na estimativa modal de quartzo (27%) e plagioclásio (20%), e aumento no conteúdo de feldspato potássico (45%). A única fase varietal presente é a biotita, com estimativa modal <3% (Figura 4C). Nota-se também um aumento na intensidade da alteração nas fases minerais, onde é possível observar o feldspato potássico fortemente alterado para

argilominerais, o plagioclásio moderada a fortemente sericitizado e a biotita quase que inteiramente substituída por clorita (Figura 4D). Essas alterações estão relacionadas a eventos pós-magmáticos (Almeida, 2005).

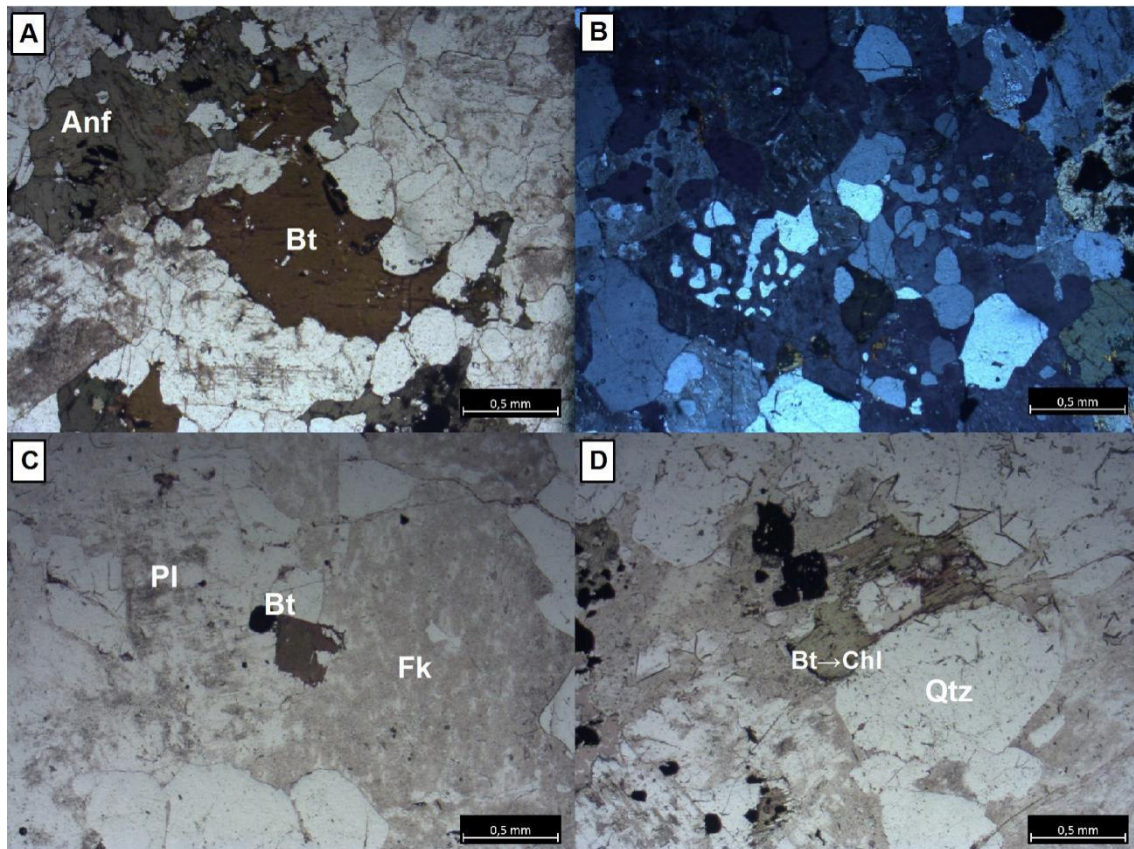


Figura 4 - Aspectos gerais das rochas do GBANN. (A) Fácies BAMzG caracterizada pelo maior conteúdo de máficos formando agregados com opacos. (B) Intercrecimento entre quartzo e feldspato potássico definindo localmente a textura granofírica. (C) Cristal de biotita pouco alterado entre feldspatos da fácies LMzG. (D) Cristal de biotita intensamente alterado para clorita (fácies LMzG). Anf= anfibólio, Bt= biotita, Chl= clorita, Fk= feldspato potássico, Pl= plagioclásio.

#### 7.1.1.2 Granito Redenção (GRED)

As fácies estudadas do GRED são similares às do GBANN, com diminuição na proporção modal de máficos e aumento na intensidade da alteração no sentido das rochas menos evoluídas para as mais evoluídas.

A fácies menos evoluída (anfíbólio-biotita monzogranito - ABMzG), possui textura granular hipidiomórfica média e é enriquecida em minerais máficos (Figura 5A). É constituída essencialmente por quartzo, plagioclásio e feldspato potássico. Os minerais máficos são representados por biotita e anfibólio, enquanto os minerais acessórios são zircão, titanita, apatita e opacos (magnetita e ilmenita). Os minerais secundários são sericita, argilominerais e clorita.

Os cristais de quartzo, com estimativa modal de 40%, formam grãos anédricos com tamanhos médios de 0,8 e leve extinção ondulante. O plagioclásio é dominante em relação ao feldspato potássico, 30% e 20%, respectivamente; ocorre como cristais prismáticos subédricos a anédricos, com tamanho médio de 1,3 mm, levemente alterados para sericita. O feldspato potássico ocorre como cristais subédricos a anédricos (entre 0,7 e 3,3 mm), exibem maclamento xadrez típico da microclina, intercrescimentos peritéticos e, localmente, granofíricos (Figura 5B).

A biotita é o ferromagnésiano dominante nessa fácies; forma cristais lamelares subédricos a anédricos, com tamanhos entre 0,3 e 2,2 mm, pleocroísmo moderado (Z e Y = marrom escuro, X = marrom pálido) e com inclusões de zircão, apatita e opacos. Exibe leve alteração para clorita. O anfibólio, em menor proporção do que a biotita, ocorre como cristais subédricos de cor verde e tamanhos entre 0,3 e 0,5 mm; mostra pleocroísmo forte (verde escuro para verde pálido) e maclamento simples em alguns cristais.

Os leucomonzogranitos (LMzG), rochas mais evoluídas do GRED, apresentam um aumento na proporção modal de quartzo e feldspato potássico (50 e 35%, respectivamente) e uma diminuição nos conteúdos de plagioclásio e máficos (15 e < 5%, respectivamente) em relação à fácies anterior, sendo a biotita a única fase máfica presente (Figura 5C). Além dos minerais citados, completam a mineralogia da rocha zircão e opacos como minerais acessórios, e argilominerais, sericita, clorita e prehnita como minerais secundários. A granulação mais fina e o elevado grau de alteração, sobretudo dos cristais de biotita (Figura 5E), são outras feições que distinguem os LMzG dos ABMzG.

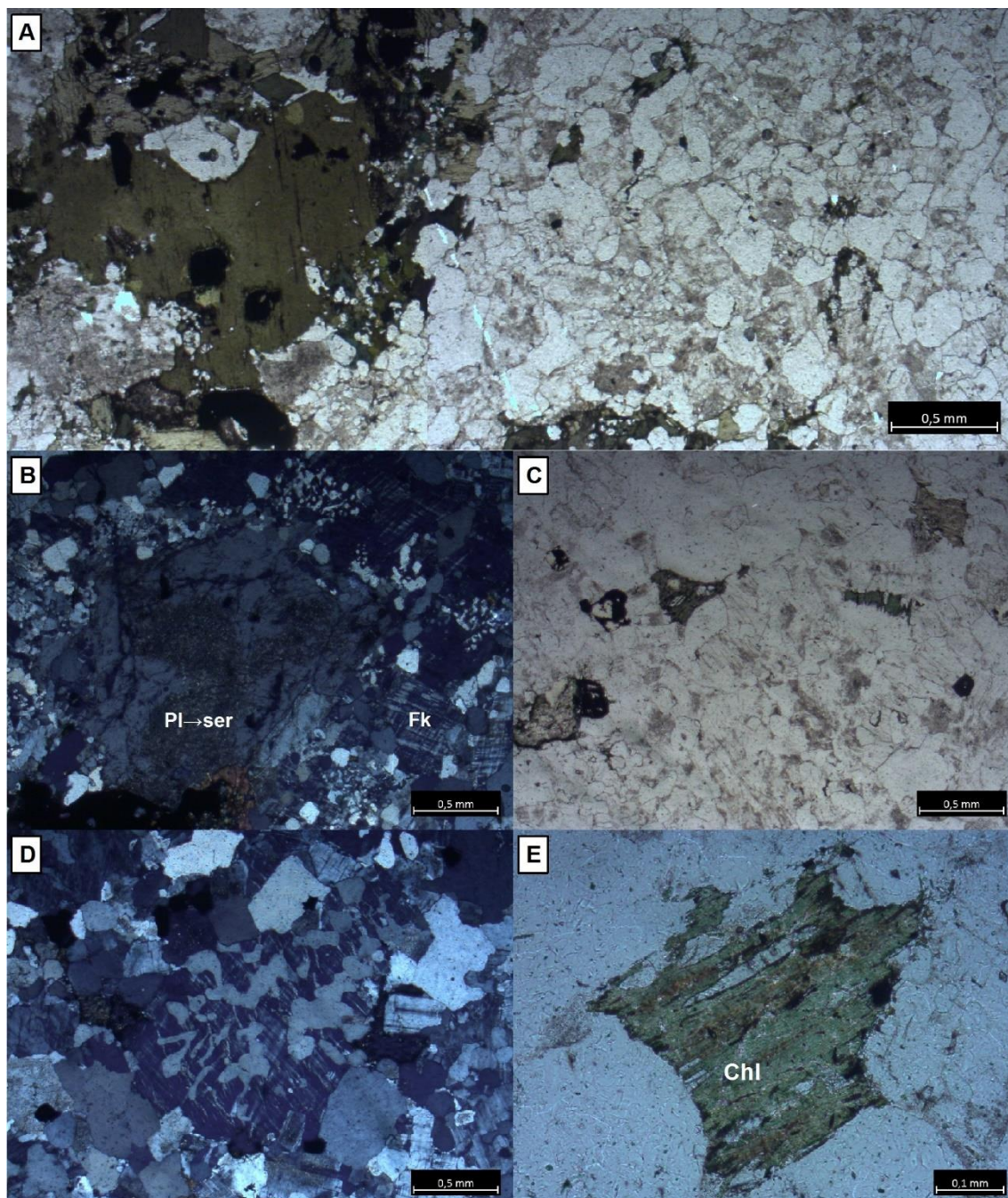


Figura 5 - Características das rochas estudadas do GRED. (A) Aspecto geral dos ABMzG ricos em máficos formando agregados juntamente com os opacos. (B) Cristal de plagioclásio (centro) bordejado por intercrescimento entre quartzo e feldspato potássico (intercrescimento granofírico). (C) Fácies leucogranítica pobre em minerais máficos. (D) Textura granofírica localizada (fácies leucogranítica). (E) Cristal de biotita com bordas corroídas, substituído por clorita+prehnita+titanita secundária devido à alteração sofrida pela rocha. A e B=ABMzG. C - E=Leucomonzogranitos. Chl= clorita, Fk= feldspato potássico, Pl= plagioclásio, ser= sericita.

## 7.1.2 Granitos Reduzidos

### 7.1.2.1 Granito Antônio Vicente (GAV)

Foram estudadas três fácies petrográficas: (1) Anfibólio-biotita sienogranito a monzogranito (ABSMG), considerada a menos evoluída; (2) Biotita sienogranito alterado (BSGA), considerada intermediária; (3) Biotita sienogranito intensamente alterado (BSGIA), a mais evoluída e contendo cassiterita.

Os ABSMG apresentam granulação média a grossa, textura granular hipidiomórfica, e são constituídos essencialmente por quartzo, feldspato potássico e plagioclásio, tendo como minerais varietais biotita e anfibólio (Figura 6A). As principais fases acessórias identificadas foram zircão, apatita e opacos. Os minerais secundários são representados por argilominerais, sericita e clorita.

O quartzo ocorre como cristais anédricos médios a grossos intensamente fraturados e com tamanhos entre 0,4 e 2,2 mm. O feldspato potássico forma cristais prismáticos anédricos a subédricos grossos (3 mm), levemente argilizados, apresentando pertitas e inclusões de plagioclásio, quartzo e biotita. O plagioclásio é preferencialmente prismático, anédrico a subédrico com até 3,2 mm e moderadamente sericitizado. As fases máficas ocorrem geralmente formando agregados. O anfibólio mostra bordas irregulares e alteração para biotita, com inclusões de apatita e opacos (Figura 6B). A biotita primária ocorre como finas lamelas leve a moderadamente cloritizadas.

A fácies intermediária (BSGA) distingue-se da anterior por não apresentar anfibólio e por possuir uma maior quantidade de cristais de biotita (~ 7% modal). Sua mineralogia essencial é composta por quartzo, feldspato potássico e plagioclásio. Como mineral máfico apenas a biotita está presente, e os minerais acessórios são zircão, apatita, muscovita e opacos (dominantemente ilmenita). Os cristais de quartzo são anédricos com tamanhos que variam de 0,3 a 1,1 mm. O feldspato potássico apresenta-se como cristais anédricos a subédricos pertíticos, com tamanhos entre 0,6 e 3mm e moderadamente argilizados. O plagioclásio ocorre como cristais subédricos prismáticos, com tamanhos entre 0,3 e 1,1 mm e moderadamente sericitizados. A biotita (0,2 a 1 mm) forma lamelas subédricas moderadamente pleocróicas (Z e Y = marrom, X = marrom pálido), geralmente em agregados (Figura 6C). Altera para clorita e possui inclusões de opacos e apatita.

A fácies mais evoluída do GAV (BSGIA), possui características mineralógicas e texturais similares à fácies BSGA, porém com menor conteúdo de máficos (~1%) e maior grau de alteração para argilominerais e clorita (Figura 6D).

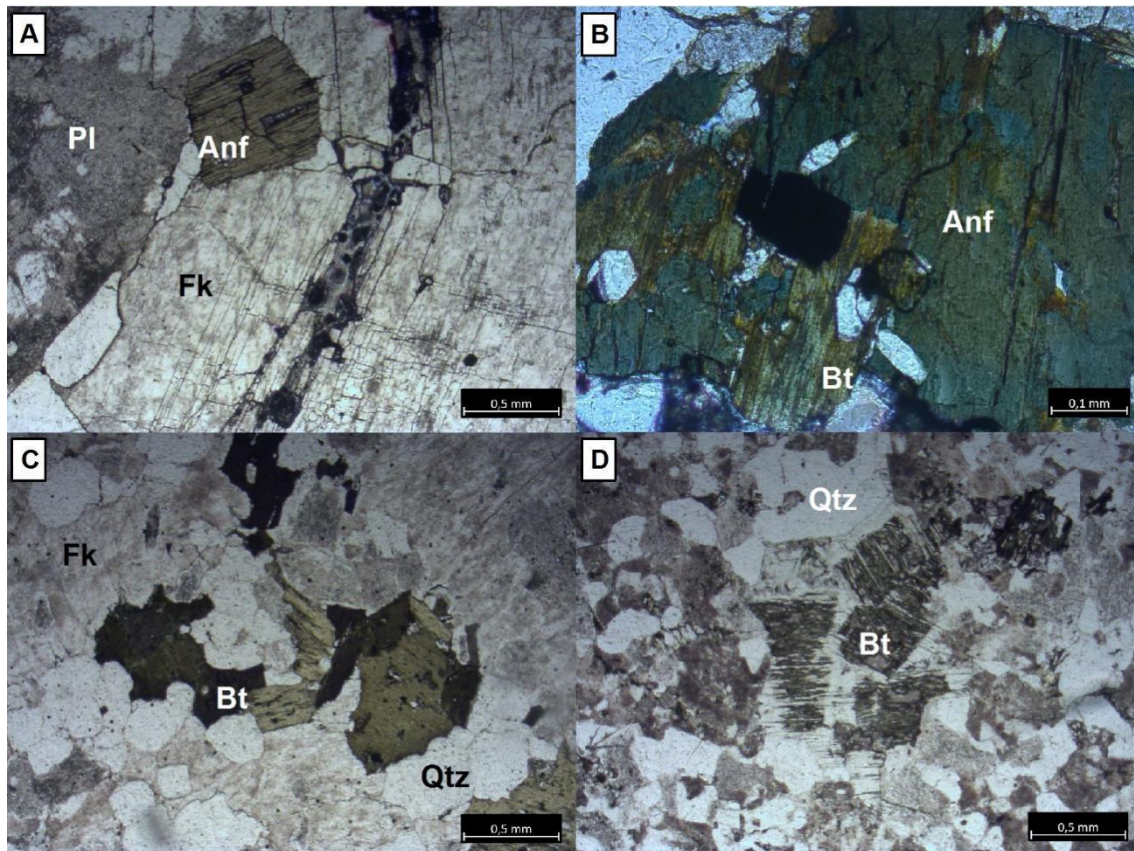


Figura 6 - Aspectos texturais das rochas estudadas do GAV. (A) Textura granular hipidiomórfica da fácies ABSMG. Notar a mancha escura no cristal de plagioclásio denotando alteração para sericita. (B) Cristal de anfibólio verde parcialmente substituído por biotita, biotita primária e opaco (fácies ABSMG). (C) Agregado de biotita da fácies BSGA. (D) Aspecto da intensa alteração dos BSGIA. Notar nos cristais de biotita bordas e planos de clivagem corroídos e alterados para clorita (centro), bem como as manchas escuras (argilominerais) nos feldspatos. Anf= anfibólio, Bt= biotita, Fk= feldspato potássico, Pl= plagioclásio, Qtz= quartzo.

#### 7.1.2.2 Granito Velho Guilherme (GVG)

Os biotita monzogranito (BMG) possuem textura granular hipidiomórfica média e são mineralogicamente similares a fácies BSGA do GAV (Figura 7). O quartzo (40% estimativa modal) ocorre como grãos anédricos médios (0,3 a 1,2 mm) com leve extinção ondulante. Os cristais de plagioclásio ocorrem como prismas médios (0,3 a 0,9 mm) levemente sericitizados e moderadamente argilizados. O feldspato potássico forma cristais subédricos médios (0,5 a 0,9 mm), exibe lamelas de albita, conferindo-lhe uma textura pertítica, além de intensa argilização. A biotita, única fase máfica, dispõem-se como cristais subédricos com intensa alteração para clorita.

A fácies mais evoluída, biotita sienogranito equigranular médio (BSGEm), possui textura hipidiomórfica média e é composta essencialmente por quartzo, feldspato potássico e plagioclásio. A biotita é a única fase varietal e os acessórios são zircão e opacos. Segundo Teixeira (1999), os constituintes minerais ocorrem de maneira similar aos descritos nas rochas do Granito Antônio Vicente, mais precisamente nas variedades sienograníticas.

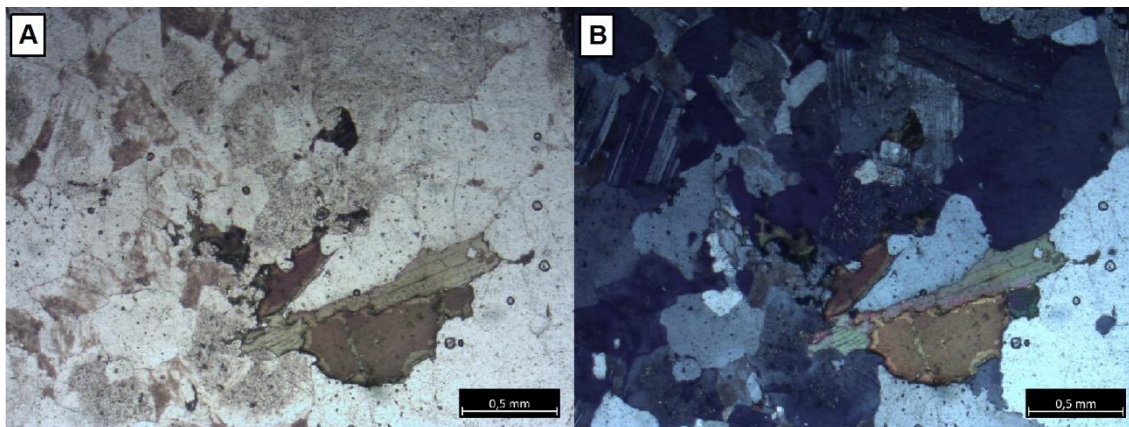


Figura 7 - Aspecto textural dos BMG do GVG. Em (A) nicóis paralelos e (B) nicóis cruzados.

#### 7.1.2.3 Granito Serra da Queimada (GSQ)

Foram estudadas duas fácies: (1) Biotita monzogranito (BMG), menos evoluída, e (2) Biotita sienogranito (BSG), mais evoluída. Ambas mostram características texturais e mineralógicas semelhantes, porém com diminuição no conteúdo de minerais máficos e plagioclásio, aumento na quantidade de quartzo e feldspato potássico e maior alteração no sentido das fácies menos evoluída para a mais evoluída.

Os BMG possuem textura granular hipidiomórfica fina a média e são formados essencialmente por quartzo, feldspato potássico e plagioclásio (Figura 8A). A única fase máfica é a biotita e os minerais acessórios identificados foram apatita, muscovita, zircão ilmenita e magnetita. O quartzo ocorre como finos cristais (<0,2 mm), mostra extinção levemente ondulante e contatos geralmente lobados com os demais minerais félsicos. O feldspato potássico é a microclina anédrica média (1 mm), com intercrescimento microperitítico que oculta seu maclamento albita-periclina típico na maioria dos cristais. O plagioclásio ocorre como cristais anédricos a subédricos médios (0,3 a 0,7 mm) fortemente alterados para sericita. A biotita é fina a média ( $\leq 0,5$  mm) com elevado grau de alteração para clorita, quase sempre substituindo completamente o cristal (Figura 8B).

Os BSG possuem textura predominantemente granular hipidiomórfica média, localmente granofírica. São constituídos essencialmente por quartzo, feldspato potássico e plagioclásio, tendo a biotita como único mineral máfico; os minerais acessórios são zircão, muscovita, allanita, opacos e fluorita, e as fases secundárias argilominerais, sericita e clorita. O quartzo, com estimativa modal de 50%, ocorre como cristais com tamanhos variados (0,1 a 1 mm) e leve extinção ondulante; localmente ocorre intercrescido no feldspato potássico, definindo intercrescimentos granofíricos (Figura 8D). O feldspato potássico, com estimativa modal de 30%, forma cristais anédricos a subédricos pertícticos, intensamente argilizados, por vezes com hábito tabular e tamanhos  $\leq 1,5$  mm (Figura 8C). O plagioclásio (20% modal) forma cristais prismáticos subédricos, com tamanhos entre 0,4 e 0,6 mm, moderadamente alterado para sericita. A biotita, dispersa na rocha ou preenchendo espaços intersticiais, forma lamelas subédricas a anédricas intensamente alteradas para clorita (Figura 8C).

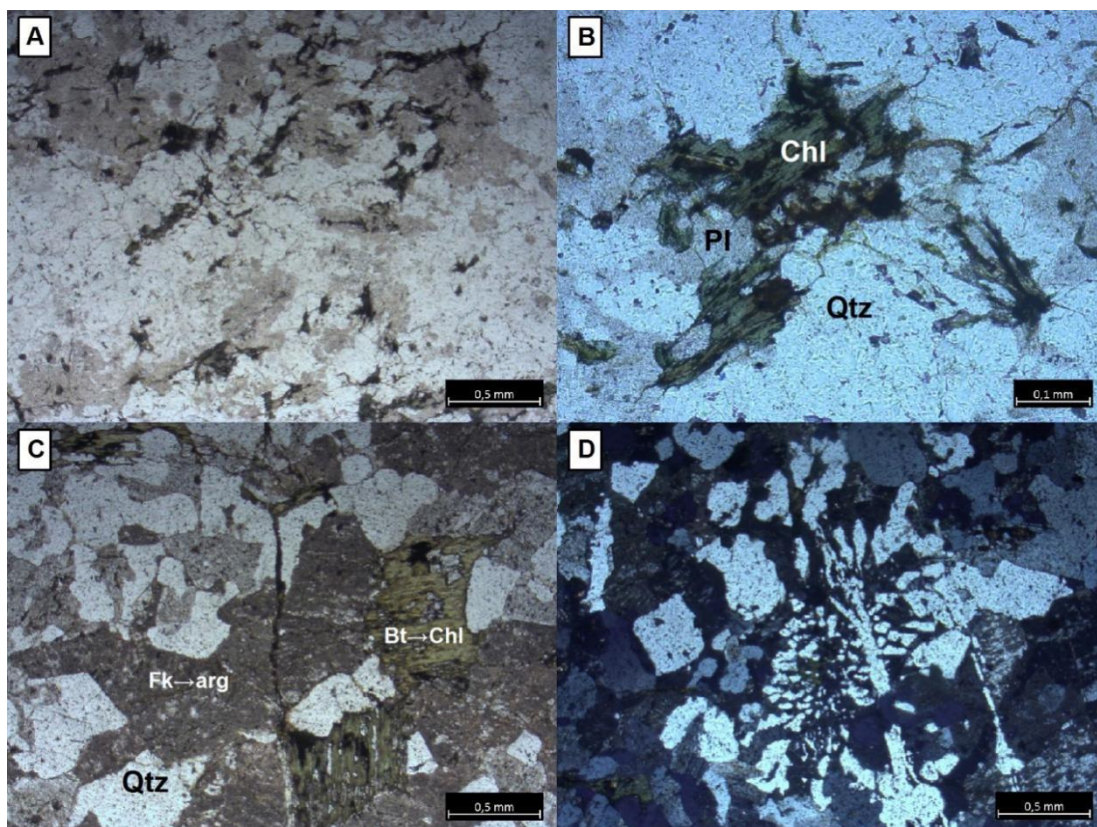


Figura 8 - Aspectos texturais das rochas estudadas do GSQ. (A) Textura granular hipidiomórfica dos BMG. (B) Detalhe de cristais de biotita em avançado estado de alteração para clorita. (C) Minerais da fácies BSG intensamente alterados para argilominerais (k-feldspato) e clorita (biotita). (D) Intercrescimentos granofírico nos BSG. Arg= argilominerais, Bt= biotita, Chl= clorita, Fk= feldspato potássico, Pl= plagioclásio, Qtz= quartzo.

## 7.2 ASPECTOS MORFOLÓGICOS E TEXTURAIS DAS BIOTITAS

As feições morfológicas e texturais das biotitas foram estudadas por microscopia de luz transmitida e imagens de elétrons retroespalhados (ERE). Neste tópico, é dado destaque apenas para as imagens de ERE, uma vez que imagens por luz transmitida constam no item 7.1.

### 7.2.1 Biotita dos Granitos Oxidados

Cristais de biotita dos granitos oxidados Bannach e Redenção, tanto na fácies menos evoluída, quanto na mais evoluída, exibem características semelhantes, principalmente em relação a forma e estado de preservação. As imagens de ERE das biotitas do BAMzG (GBANN) e do ABMzG (GRED) mostram cristais subédricos bem preservados, com bordas levemente corroídas, porém isentos de alterações marcantes (Figura 9A e C). Por outro lado, as biotitas dos LMzG desses dois granitos apresentam cristais de biotita predominantemente anédricos, fortemente corroídos e com maior quantidade de inclusões, denotando alterações mais intensas (Figura 9B e D).

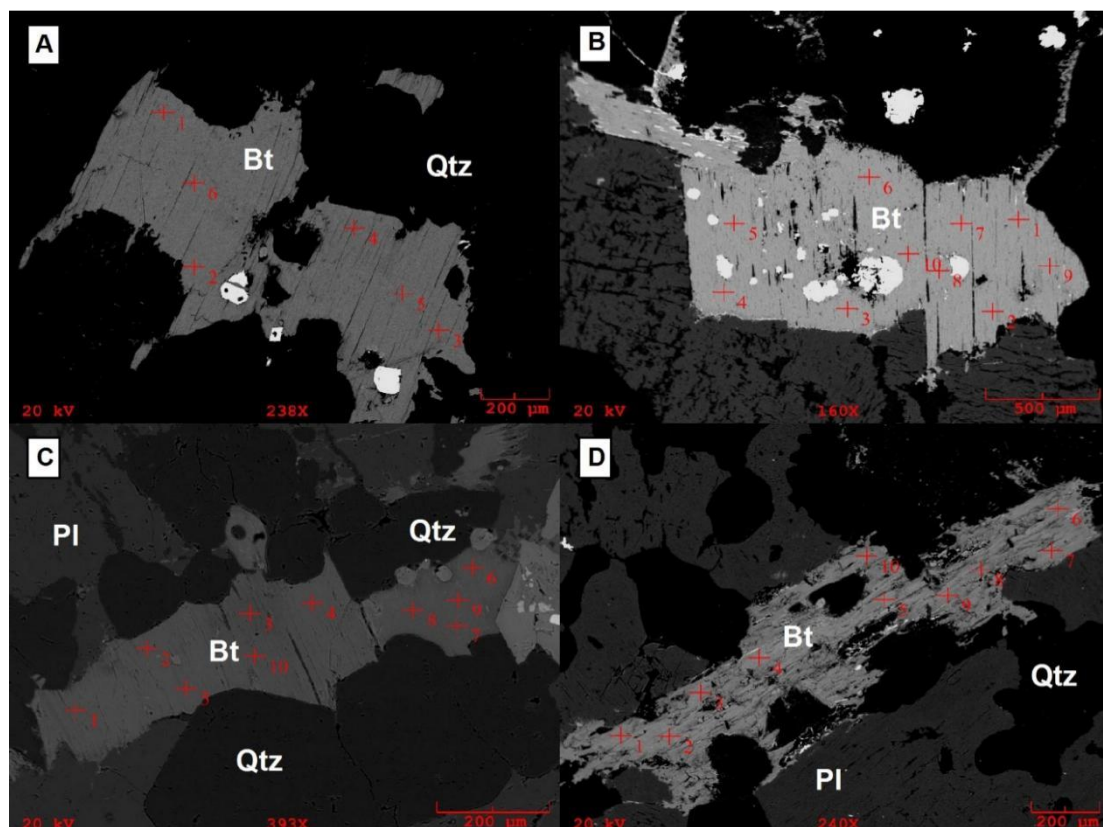


Figura 9 - Imagens de elétrons retroespalhados (ERE) de cristais de biotita dos granitos oxidados Bannach (GBANN) e Redenção (GRED). (A e B) Biotitas subédricas com bordas levemente corroídas e pouco alteradas, representativas dos BAMzG e LMzG (GBANN), respectivamente. (C e D) Cristais subédricos a anédricos de biotita da fácies BMzG e LMzG representativas do GRED, respectivamente. Os cristais de biotita da fácies LMzG mostram-se fortemente corroídos e alterados, com frequentes inclusões de opacos (magnetita) e zircão. Bt= biotita; Qtz= quartzo; Pl= plagioclásio; Fk = feldspato potássico; Cruz vermelha= análises de MEV-EDS.

### 7.2.2 Biotita dos Granitos Reduzidos

Ao contrário dos granitos oxidados, as imagens de ERE das biotitas dos granitos reduzidos exibem maiores diferenças em seus aspectos morfológico-texturais. No GAV é possível observar tais variações nas biotitas das três fácies estudadas. Nos anfibólio-biotita sienogranitos a monzogranitos (ABSMG), fácies menos evoluída, os cristais de biotita são bem formados e com aspecto bem preservado, apresentando pouca ou nenhuma alteração; comumente estão associados a cristais de anfibólio (Figura 10A). Nas fácies intermediária (biotita sienogranitos alterados – BSGA) e mais evoluída (biotita sienogranito intensamente alterado – BSGIA), os cristais encontram-se mais alterados para fases secundárias, como clorita e muscovita, além de exibirem corrosão nas bordas e ao longo dos planos de clivagens (Figuras 10B e C).

No GVG os cristais de biotita são finos a médios e bem preservados. Nas rochas menos evoluídas (biotita monzogranitos - BMG), formam cristais subédricos a anédricos quase sempre pouco alterados (Figura 10E), enquanto nas mais evoluídas (biotita sienogranito equigranular médio - BSGEm) aparecem fortemente alterados e com inclusões de zircão e apatita (Figura 10F).

As biotitas do GSQ ocorrem de maneira semelhante às biotitas do GVG, são mais preservadas nas rochas menos evoluídas (biotita monzogranitos - BMG) e mais alteradas para clorita nas mais evoluídas (biotita sienogranitos - BSG) (Figuras 10G e H).

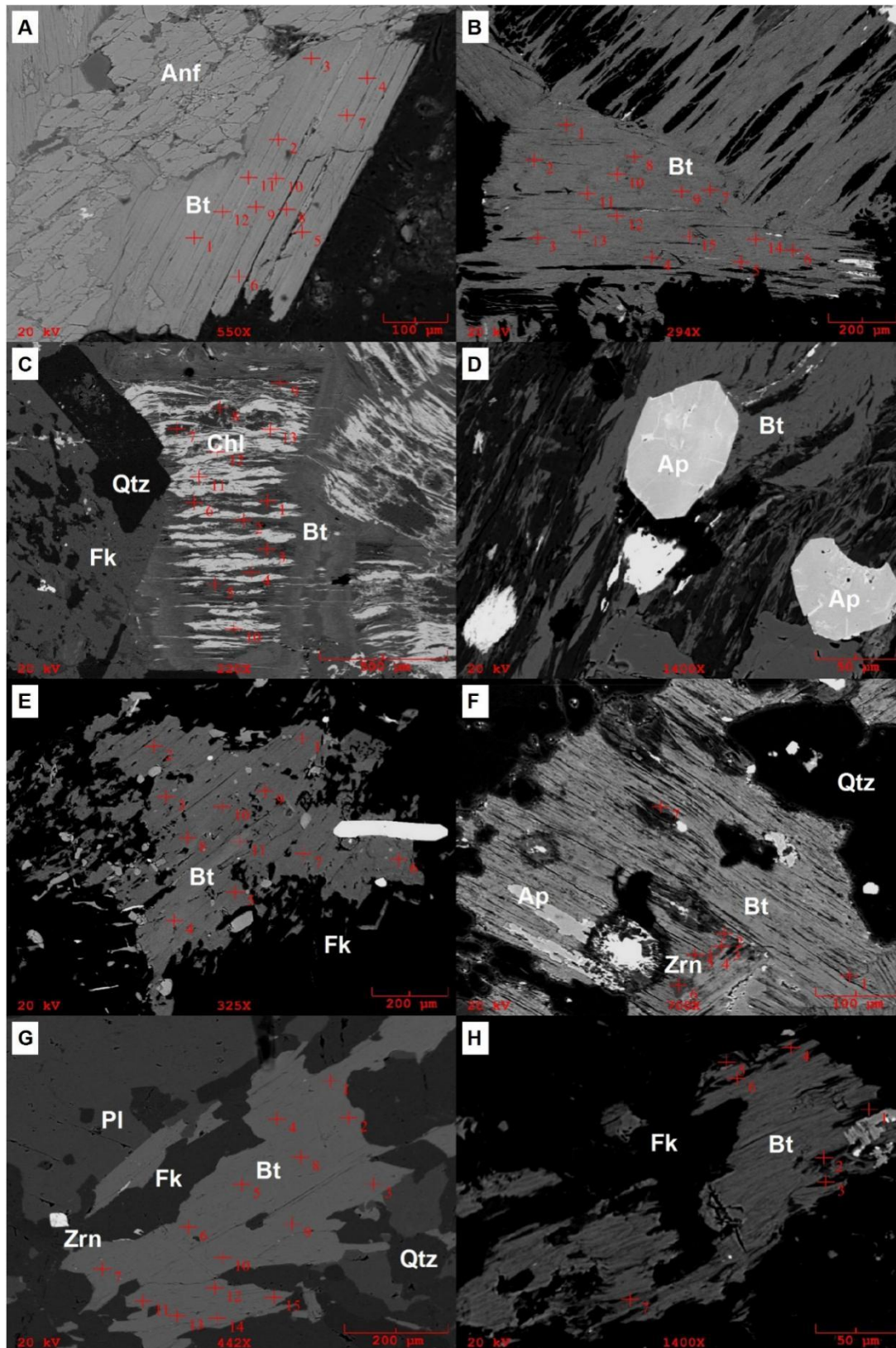


Figura 10 - Imagens de elétrons retroespalhados (ERE) mostrando cristais de biotita dos granitos reduzidos Antônio Vicente (GAV), Velho Guilherme (GVG) e Serra da Queimada (GSQ). (A, B, C e D) Aspecto morfológico dos cristais de biotita do GAV. De (A) para (C) mudança textural da biotita da rocha menos evoluída para a mais evoluída. Em (D) detalhe de cristais de apatita inclusos na biotita da fácies BSGIA. (E e F) Biotitas dos BMG e BSGEM do GVG. (G e H) Biotitas dos BMG e BSG do GSQ. Anf= anfibólio, Ap= apatita, Bt= biotita, Chl= clorita, Fk = feldspato potássico, Qtz= quartzo, Zrn= zircão, Pl= plagioclásio, Cruz vermelha = análises de EDS.

## 8 VARIAÇÕES COMPOSICIONAIS

Análises de MEV-EDS representativas das biotitas dos granitos oxidados e reduzidos são apresentadas na Tabela 3. As fórmulas estruturais foram calculadas com base em 22 átomos de oxigênio e o ferro total foi assumido como  $\text{Fe}^{2+}$  (Dimek 1983). A somatória do sítio octaédrico é  $> 5,5$  e confirma a natureza trioctaédrica dessas micas (Deer *et al.* 1992). A exceção são as biotitas das rochas portadoras de Sn (granitos reduzidos), onde esta somatória varia de 4,1 a 4,7 (Tabela 3).

Tabela 3- Composições químicas por MEV-EDS (% peso) representativas das biotitas estudadas.

(continua)

GRANITO BANNACH																		
FÁCIES	BAMzG									LMzG								
SiO <sub>2</sub>	34,53	34,38	33,03	34,98	31,99	34,02	33,50	33,02	33,68	32,31	34,75	34,37	34,21	35,15	35,16	34,79	33,18	32,89
TiO <sub>2</sub>	3,43	4,11	4,20	4,49	4,71	4,57	4,83	4,54	4,59	4,36	5,02	4,55	4,46	4,11	4,03	4,16	3,39	4,38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,19	16,96	15,89	15,50	15,70	15,56	15,35	15,93	15,89	17,32	14,95	15,60	14,98	14,98	15,02	14,53	16,77	15,52
FeO	29,65	29,02	30,35	26,36	28,01	27,39	27,63	28,12	27,93	29,04	27,66	27,64	27,38	27,75	26,99	28,07	30,98	28,79
MgO	4,56	5,18	5,05	5,43	5,36	5,88	5,34	5,68	4,78	5,18	4,64	4,81	4,85	4,96	4,96	4,47	4,89	4,25
MnO	0,49	0,33	0,42	0,14	0,30	0,33	0,45	0,29	0,25	0,66	0,55	0,31	0,44	0,28	0,48	0,59	0,57	0,44
CaO	0,10	0,00	0,00	0,07	0,15	0,00	0,05	0,05	0,07	0,08	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,14	0,00	0,15
Na <sub>2</sub> O	0,12	0,10	0,34	0,14	0,22	0,08	0,15	0,11	0,13	0,17	0,09	0,13	0,11	0,21	0,18	0,29	0,08	0,12
K <sub>2</sub> O	8,90	8,88	9,77	10,63	11,16	10,34	10,68	10,86	10,53	9,04	10,70	10,56	10,98	10,65	10,87	10,85	8,76	10,52
SnO <sub>2</sub>	0,47	0,18	0,96	0,34	0,64	0,46	0,22	1,00	0,58	0,44	0,46	0,53	0,49	0,41	0,36	0,33	0,20	0,00
WO <sub>3</sub>	1,65	1,63	1,25	1,95	1,03	0,96	1,18	0,76	1,30	1,44	1,83	1,83	1,29	1,10	0,97	1,19	1,41	0,71
F	1,64	0,72	1,55	1,96	2,03	1,53	1,63	1,12	1,87	1,58	1,28	1,78	2,18	1,55	1,94	1,69	1,07	2,48
Cl	0,40	0,32	0,33	0,30	0,37	0,29	0,37	0,29	0,29	0,27	0,37	0,24	0,41	0,34	0,36	0,42	0,32	0,46
Total	102,12	101,81	103,14	102,29	101,67	101,42	101,40	101,76	101,88	101,88	102,29	102,36	101,78	101,51	101,33	101,52	101,61	100,71
O ≈ F,Cl	0,78	0,38	0,73	0,89	0,94	0,71	0,77	0,54	0,85	0,73	0,62	0,81	1,01	0,73	0,90	0,81	0,52	1,15
TOTAL	101,34	101,43	102,42	101,40	100,73	100,72	100,63	101,22	101,03	101,16	101,67	101,56	100,77	100,78	100,43	100,71	101,09	99,56
Fórmula estrutural calculada na base de 22 átomos de oxigênio																		
Si (apfu)	5,32	5,27	5,15	5,42	5,07	5,28	5,24	5,15	5,27	5,04	5,40	5,35	5,37	5,47	5,48	5,46	5,18	5,23
<sup>IV</sup> Al	2,68	2,73	2,85	2,58	2,93	2,72	2,76	2,85	2,73	2,96	2,60	2,65	2,63	2,53	2,52	2,54	2,82	2,77
Sítio T	<b>8,00</b>	<b>8,00</b>	<b>8,00</b>	<b>8,00</b>	<b>8,00</b>	<b>8,00</b>	<b>8,00</b>	<b>8,00</b>	<b>8,00</b>	<b>8,00</b>	<b>8,00</b>	<b>8,00</b>	<b>8,00</b>	<b>8,00</b>	<b>8,00</b>	<b>8,00</b>	<b>8,00</b>	<b>8,00</b>
<sup>VI</sup> Al	0,26	0,34	0,08	0,24	0,01	0,13	0,07	0,08	0,20	0,23	0,14	0,21	0,15	0,21	0,24	0,15	0,26	0,14
Ti	0,40	0,47	0,49	0,52	0,56	0,53	0,57	0,53	0,54	0,51	0,59	0,53	0,53	0,48	0,47	0,49	0,40	0,52
Sn	0,03	0,01	0,06	0,02	0,04	0,03	0,01	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00
W	0,08	0,08	0,06	0,10	0,05	0,05	0,06	0,04	0,07	0,07	0,09	0,09	0,07	0,06	0,05	0,06	0,07	0,04
Mg	1,05	1,18	1,18	1,25	1,27	1,36	1,25	1,32	1,11	1,20	1,08	1,12	1,14	1,15	1,15	1,05	1,14	1,01
Mn	0,06	0,04	0,06	0,02	0,04	0,04	0,06	0,04	0,03	0,09	0,07	0,04	0,06	0,04	0,06	0,08	0,08	0,06
Fe total	3,82	3,72	3,96	3,41	3,71	3,56	3,62	3,67	3,65	3,79	3,60	3,60	3,60	3,61	3,52	3,68	4,04	3,83
Sítio O	<b>5,71</b>	<b>5,86</b>	<b>5,89</b>	<b>5,57</b>	<b>5,68</b>	<b>5,70</b>	<b>5,64</b>	<b>5,75</b>	<b>5,64</b>	<b>5,92</b>	<b>5,59</b>	<b>5,63</b>	<b>5,57</b>	<b>5,57</b>	<b>5,52</b>	<b>5,52</b>	<b>6,00</b>	<b>5,59</b>
Ca	0,02	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03
Na	0,04	0,03	0,10	0,04	0,07	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,03	0,06	0,06	0,09	0,02	0,04
K	1,77	1,74	1,95	2,10	2,26	2,05	2,13	2,16	2,10	1,80	2,12	2,10	2,20	2,11	2,16	2,17	1,74	2,13
Sítio A	<b>1,82</b>	<b>1,77</b>	<b>2,05</b>	<b>2,15</b>	<b>2,35</b>	<b>2,07</b>	<b>2,19</b>	<b>2,20</b>	<b>2,15</b>	<b>1,86</b>	<b>2,15</b>	<b>2,14</b>	<b>2,24</b>	<b>2,18</b>	<b>2,22</b>	<b>2,28</b>	<b>1,77</b>	<b>2,20</b>
Fe/Mg	0,78	0,76	0,77	0,73	0,75	0,72	0,74	0,74	0,77	0,76	0,77	0,76	0,76	0,76	0,75	0,78	0,78	0,79
Si+Al	8,34	8,34	8,08	8,24	8,01	8,13	8,07	8,08	8,20	8,23	8,14	8,21	8,15	8,21	8,24	8,15	8,26	8,14
Mg/Fe	0,22	0,24	0,23	0,27	0,25	0,28	0,26	0,26	0,23	0,24	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,22	0,22	0,21
F+Sn+W (% peso)	3,36	2,13	3,29	3,86	3,39	2,65	2,82	2,25	3,30	2,92	2,19	2,98	3,29	2,41	2,96	2,71	1,95	3,76

(continuação)

GRANITO REDENÇÃO																		
FÁCIES	ABMzG									LMzG								
SiO <sub>2</sub>	33,54	33,90	34,82	34,19	34,67	34,70	34,87	34,63	35,52	34,61	34,38	34,36	33,68	33,79	34,39	34,37	34,35	33,40
TiO <sub>2</sub>	2,74	2,91	3,13	3,00	2,93	2,52	2,74	2,84	2,39	3,30	3,21	3,45	3,23	3,68	3,44	3,77	3,69	3,52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,17	17,07	15,59	15,98	15,99	16,41	15,54	15,81	15,73	15,11	14,84	15,15	15,80	15,68	14,99	15,15	15,28	15,18
FeO	25,52	25,74	24,98	24,31	25,51	23,97	25,24	24,51	25,67	26,00	25,53	25,39	25,29	24,49	25,58	24,99	24,57	25,01
MgO	7,61	7,63	7,22	8,26	7,68	8,36	7,95	7,71	7,62	7,45	7,94	7,22	7,79	7,87	7,74	7,45	7,79	8,01
MnO	0,70	0,67	0,55	0,40	0,35	0,36	0,44	0,52	0,58	0,46	0,44	0,52	0,58	0,44	0,42	0,59	0,55	0,56
CaO	0,02	0,02	0,06	0,00	0,08	0,04	0,05	0,01	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,05	0,04	0,04	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,36	0,54	0,15	0,14	0,15	0,12	0,17	0,17	0,17	0,21	0,31	0,35	0,25	0,37	0,17	0,24	0,20	0,34
K <sub>2</sub> O	10,13	9,57	11,36	11,19	10,64	10,99	11,40	11,23	10,94	11,11	11,19	11,25	11,53	11,28	11,32	11,39	11,33	11,11
SnO <sub>2</sub>	0,35	0,26	0,26	0,27	0,33	0,55	0,63	0,70	0,26	0,37	0,51	0,50	0,09	0,38	0,78	0,28	0,48	0,37
WO <sub>3</sub>	0,88	0,89	0,88	0,96	0,94	1,32	2,11	0,97	1,29	0,99	1,90	1,22	1,01	1,34	0,67	1,33	0,78	1,20
F	2,06	1,83	1,92	2,33	1,80	2,30	1,42	2,34	1,15	1,56	1,95	2,09	1,62	2,20	1,68	1,75	2,11	2,62
Cl	0,15	0,13	0,23	0,21	0,20	0,23	0,18	0,21	0,19	0,17	0,20	0,20	0,21	0,15	0,23	0,27	0,13	0,26
Total	101,23	101,15	101,14	101,23	101,27	101,87	102,74	101,67	101,55	101,36	102,41	101,72	101,10	101,72	101,45	101,61	101,26	101,57
O ≈ F,Cl	0,90	0,80	0,86	1,03	0,81	1,02	0,64	1,03	0,53	0,70	0,87	0,93	0,73	0,96	0,76	0,80	0,92	1,16
TOTAL	100,32	100,36	100,28	100,20	100,47	100,84	102,10	100,63	101,03	100,66	101,54	100,79	100,36	100,76	100,69	100,82	100,34	100,41
Fórmula estrutural calculada na base de 22 átomos de oxigênio																		
Si (apfu)	5,18	5,21	5,39	5,29	5,34	5,34	5,37	5,36	5,44	5,36	5,34	5,34	5,23	5,24	5,33	5,33	5,32	5,23
<sup>IV</sup> Al	2,82	2,79	2,61	2,71	2,66	2,66	2,63	2,64	2,56	2,64	2,66	2,66	2,77	2,76	2,67	2,67	2,68	2,77
Sítio T	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
<sup>VI</sup> Al	0,31	0,30	0,23	0,20	0,24	0,31	0,19	0,25	0,28	0,11	0,06	0,12	0,12	0,11	0,07	0,09	0,11	0,03
Ti	0,32	0,34	0,36	0,35	0,34	0,29	0,32	0,33	0,28	0,38	0,38	0,40	0,38	0,43	0,40	0,44	0,43	0,41
Sn	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,02	0,05	0,02	0,03	0,02
W	0,04	0,04	0,05	0,05	0,07	0,04	0,01	0,05	0,06	0,05	0,01	0,06	0,05	0,07	0,03	0,07	0,04	0,06
Fe total	3,30	3,31	3,23	3,15	3,29	3,08	3,25	3,17	3,29	3,37	3,32	3,30	3,28	3,18	3,32	3,24	3,18	3,27
Mg	1,75	1,75	1,66	1,90	1,76	1,92	1,83	1,78	1,74	1,72	1,84	1,67	1,80	1,82	1,79	1,72	1,80	1,87
Mn	0,09	0,09	0,07	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,06	0,06	0,07	0,08	0,06	0,06	0,08	0,07	0,07
Sítio O	5,83	5,84	5,63	5,72	5,78	5,75	5,69	5,69	5,75	5,71	5,69	5,66	5,72	5,68	5,71	5,66	5,66	5,74
Ca	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
Na	0,11	0,16	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,05	0,06	0,09	0,11	0,08	0,11	0,05	0,07	0,06	0,10
K	2,00	1,88	2,24	2,21	2,09	2,16	2,24	2,22	2,14	2,19	2,22	2,23	2,28	2,23	2,24	2,25	2,24	2,22
Sítio A	2,11	2,04	2,29	2,25	2,15	2,20	2,30	2,27	2,20	2,26	2,31	2,34	2,36	2,35	2,30	2,33	2,30	2,32
Fe/Mg	0,65	0,65	0,66	0,62	0,65	0,62	0,64	0,64	0,65	0,66	0,64	0,66	0,65	0,64	0,65	0,65	0,64	0,64
Si+Al	8,31	8,30	8,23	8,20	8,24	8,31	8,19	8,25	8,28	8,11	8,06	8,12	8,12	8,11	8,07	8,09	8,11	8,03
Mg/Fe	0,35	0,35	0,34	0,38	0,35	0,38	0,36	0,36	0,35	0,34	0,36	0,34	0,35	0,36	0,35	0,35	0,36	0,36
F+Sn+W (% peso)	3,09	2,74	3,34	3,35	3,00	3,31	2,42	3,46	2,16	2,71	3,94	3,49	2,51	3,59	2,86	3,06	3,12	3,89

(continuação)

GRANITO ANTÔNIO VICENTE																		
FÁCIES	ABSMG						BSGA						BSGIA (Sn)					
SiO <sub>2</sub>	33,68	33,53	33,84	34,37	35,58	35,53	32,73	33,75	33,88	34,12	34,09	32,63	47,15	46,19	44,69	46,49	45,04	42,54
TiO <sub>2</sub>	2,40	3,67	3,94	3,78	3,55	3,72	3,66	3,43	3,55	3,84	4,31	4,18	0,16	0,16	0,22	0,30	0,11	0,21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,49	15,29	14,92	14,77	15,86	15,06	17,58	16,95	17,00	16,16	16,48	17,00	37,77	36,49	36,71	37,43	40,80	37,18
FeO	29,50	27,51	28,00	27,29	26,03	26,99	32,45	30,99	30,67	30,30	28,95	31,41	3,02	4,55	5,32	3,76	1,96	9,46
MgO	6,06	6,54	5,89	6,51	6,88	5,90	2,64	2,75	2,70	3,00	2,86	2,86	0,03	0,12	0,06	0,17	0,12	0,14
MnO	0,26	0,34	0,38	0,30	0,20	0,28	0,37	0,33	0,17	0,55	0,38	0,38	0,25	0,18	0,16	0,15	0,07	0,11
CaO	0,12	0,26	0,39	0,19	0,11	0,11	0,11	0,09	0,06	0,00	0,02	0,31	0,05	0,06	0,00	0,04	0,12	0,08
Na <sub>2</sub> O	0,04	0,16	0,15	0,21	0,18	0,13	0,18	0,15	0,19	0,11	0,06	0,06	0,20	0,34	0,36	0,18	0,34	0,29
K <sub>2</sub> O	8,40	10,53	10,61	10,84	9,04	10,14	9,24	9,42	9,85	10,55	10,19	8,77	10,65	11,34	11,91	11,20	11,13	9,62
SnO <sub>2</sub>	0,81	0,39	0,51	0,06	0,37	0,06	0,20	0,52	0,07	0,59	0,73	0,14	0,45	0,95	0,78	0,64	0,97	0,37
WO <sub>3</sub>	1,53	1,20	1,66	0,96	0,80	1,64	0,81	1,66	1,31	1,80	1,42	1,55	0,62	0,82	0,40	0,58	0,81	0,68
F	2,36	1,37	1,29	1,03	1,91	1,40	0,60	1,60	1,39	0,92	2,23	1,87	0,62	0,47	0,49	0,23	0,23	0,30
Cl	0,69	0,78	0,59	0,71	0,66	0,74	0,43	0,54	0,54	0,45	0,43	0,53	0,10	0,10	0,07	0,05	0,09	0,07
Total	102,34	101,59	102,17	101,02	101,17	101,70	101,01	102,18	101,38	102,39	102,15	101,69	101,07	101,77	101,18	101,23	101,78	101,05
O ≈ F,Cl	1,15	0,75	0,68	0,59	0,95	0,76	0,35	0,79	0,71	0,49	1,03	0,91	0,28	0,22	0,22	0,11	0,12	0,14
TOTAL	101,19	100,84	101,49	100,43	100,22	100,94	100,66	101,38	100,67	101,90	101,11	100,78	100,79	101,55	100,96	101,12	101,66	100,91
Fórmula estrutural calculada na base de 22 átomos de oxigênio																		
Si (apfu)	5,28	5,25	5,30	5,35	5,46	5,50	5,14	5,31	5,32	5,35	5,36	5,16	6,04	6,00	5,86	5,98	5,75	5,63
<sup>IV</sup> Al	2,72	2,75	2,70	2,65	2,54	2,50	2,86	2,69	2,68	2,65	2,64	2,84	1,96	2,00	2,14	2,02	2,25	2,37
Sítio T	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
<sup>VI</sup> Al	0,33	0,08	0,05	0,06	0,32	0,24	0,39	0,45	0,46	0,34	0,41	0,33	3,75	3,58	3,53	3,66	3,89	3,43
Ti	0,28	0,43	0,46	0,44	0,41	0,43	0,43	0,41	0,42	0,45	0,51	0,50	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02
Sn	0,05	0,02	0,03	0,00	0,02	0,00	0,01	0,03	0,00	0,04	0,05	0,01	0,02	0,05	0,04	0,03	0,05	0,02
W	0,08	0,06	0,08	0,05	0,04	0,08	0,04	0,08	0,07	0,09	0,07	0,08	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03
Fe total	3,87	3,60	3,67	3,56	3,34	3,49	4,26	4,08	4,03	3,97	3,81	4,15	0,32	0,49	0,58	0,40	0,21	1,05
Mg	1,42	1,53	1,38	1,51	1,57	1,36	0,62	0,64	0,63	0,70	0,67	0,68	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,03
Mn	0,04	0,04	0,05	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04	0,02	0,07	0,05	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
Sítio O	6,06	5,77	5,73	5,67	5,73	5,65	5,81	5,74	5,64	5,67	5,57	5,80	4,17	4,22	4,22	4,20	4,22	4,58
Ca	0,02	0,04	0,07	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,05	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01
Na	0,01	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04	0,06	0,05	0,06	0,03	0,02	0,02	0,05	0,09	0,09	0,04	0,08	0,08
K	1,68	2,10	2,12	2,15	1,77	2,00	1,85	1,89	1,97	2,11	2,04	1,77	1,74	1,88	1,99	1,84	1,81	1,62
Sítio A	1,71	2,20	2,23	2,25	1,84	2,06	1,93	1,95	2,04	2,14	2,07	1,84	1,80	1,97	2,08	1,89	1,91	1,71
Fe/Mg	0,73	0,70	0,73	0,70	0,68	0,72	0,87	0,86	0,86	0,85	0,85	0,86	0,98	0,95	0,98	0,93	0,90	0,98
Si+Al	8,33	8,08	8,05	8,06	8,32	8,24	8,39	8,45	8,46	8,34	8,41	8,33	11,75	11,58	11,53	11,66	11,89	11,43
Mg/Fe	0,27	0,30	0,27	0,30	0,32	0,28	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,14	0,02	0,05	0,02	0,07	0,10	0,02
F+Sn+W (% peso)	4,28	2,68	3,08	1,87	2,82	2,79	1,84	1,75	1,68	1,52	1,60	1,86	1,59	2,02	1,55	1,32	1,82	1,23

(continuação)

GRANITO VELHO GUILHERME															
FÁCIES	BMG									BSGEm (Sn)					
SiO <sub>2</sub>	35,33	35,76	35,56	35,16	35,48	35,50	35,05	34,71	36,29	42,79	43,67	42,96	45,14	42,92	43,95
TiO <sub>2</sub>	1,21	1,38	1,32	1,32	1,20	1,17	1,03	1,17	1,17	0,31	0,57	0,90	0,92	0,21	1,22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,84	19,46	19,68	20,05	20,08	19,56	19,59	19,34	19,16	35,51	33,57	35,18	34,33	37,41	35,38
FeO	19,07	18,65	18,72	18,94	19,67	19,21	19,55	21,51	19,22	8,64	9,85	6,29	6,56	6,39	6,62
MgO	10,94	10,75	10,64	10,83	10,41	10,49	10,50	10,80	10,14	0,32	0,21	0,21	0,37	0,22	0,22
MnO	0,37	0,34	0,37	0,32	0,36	0,57	0,31	0,33	0,32	0,23	0,24	0,20	0,18	0,19	0,16
CaO	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,05	0,00	0,00	0,07	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,33	0,20	0,27	0,10	0,20	0,08	0,31	0,30	0,21	0,25	0,21	1,36	0,30	0,30	0,23
K <sub>2</sub> O	10,57	11,24	11,03	11,18	10,91	11,50	11,46	9,89	11,15	10,82	10,78	11,38	11,27	11,51	11,54
SnO <sub>2</sub>	0,35	0,42	0,39	0,42	0,14	0,59	0,51	0,53	0,52	0,39	0,76	0,43	0,66	0,53	0,74
WO <sub>3</sub>	0,89	0,70	0,68	0,60	1,03	0,86	1,04	1,27	0,69	0,93	0,56	1,21	0,81	0,65	0,66
F	2,27	2,08	2,28	2,04	1,60	1,80	2,05	1,84	2,21	0,89	0,70	0,79	0,71	0,73	0,57
Cl	0,05	0,14	0,13	0,06	0,08	0,12	0,14	0,11	0,12	0,09	0,13	0,73	0,22	0,07	0,11
Total	101,24	101,12	101,07	101,02	101,17	101,45	101,55	101,80	101,21	101,32	101,32	101,64	101,47	101,18	101,40
O ≈ F,Cl	0,97	0,91	0,99	0,87	0,69	0,78	0,89	0,80	0,96	0,39	0,32	0,50	0,35	0,32	0,26
TOTAL	100,27	100,21	100,08	100,14	100,48	100,67	100,65	101,00	100,25	100,93	100,99	101,15	101,12	100,86	101,14
Fórmula estrutural calculada na base de 22 átomos de oxigênio															
Si (apfu)	5,25	5,31	5,29	5,23	5,26	5,29	5,25	5,19	5,40	5,72	5,86	5,75	5,96	5,67	5,81
<sup>IV</sup> Al	2,75	2,69	2,71	2,77	2,74	2,71	2,75	2,81	2,60	2,28	2,14	2,25	2,04	2,33	2,19
Sítio T	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
<sup>VI</sup> Al	0,73	0,72	0,74	0,74	0,77	0,72	0,70	0,60	0,76	3,31	3,17	3,29	3,30	3,50	3,32
Ti	0,14	0,15	0,15	0,15	0,13	0,13	0,12	0,13	0,13	0,03	0,06	0,09	0,09	0,02	0,12
Sn	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,04	0,02	0,03	0,03	0,04
W	0,04	0,03	0,03	0,03	0,05	0,04	0,05	0,06	0,03	0,04	0,02	0,05	0,03	0,03	0,03
Fe total	2,37	2,32	2,33	2,35	2,44	2,39	2,45	2,69	2,39	0,97	1,11	0,70	0,72	0,71	0,73
Mg	2,42	2,38	2,36	2,40	2,30	2,33	2,34	2,41	2,25	0,06	0,04	0,04	0,07	0,04	0,04
Mn	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,07	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Sítio O	5,77	5,68	5,68	5,74	5,74	5,72	5,73	5,97	5,64	4,46	4,46	4,23	4,28	4,35	4,30
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
Na	0,10	0,06	0,08	0,03	0,06	0,02	0,09	0,09	0,06	0,07	0,06	0,35	0,08	0,08	0,06
K	2,00	2,13	2,09	2,12	2,06	2,19	2,19	1,89	2,12	1,84	1,85	1,94	1,90	1,94	1,95
Sítio A	2,10	2,19	2,17	2,15	2,12	2,21	2,28	1,98	2,18	1,93	1,91	2,30	1,98	2,03	2,01
Fe/Mg	0,49	0,49	0,50	0,50	0,51	0,51	0,51	0,53	0,52	0,94	0,96	0,94	0,91	0,94	0,94
Si+Al	8,73	8,72	8,74	8,74	8,77	8,72	8,70	8,60	8,76	11,31	11,17	11,29	11,30	11,50	11,32
Mg/Fe	0,51	0,51	0,50	0,50	0,49	0,49	0,49	0,47	0,48	0,06	0,04	0,06	0,09	0,06	0,06
F+Sn+W (% peso)	3,27	2,98	3,14	2,85	2,53	2,99	3,31	3,29	3,20	2,01	1,80	2,16	1,92	1,70	1,75

(conclusão)

GRANITO SERRA DA QUEIMADA																		
FÁCIES	BMG									BSG (Sn)								
SiO <sub>2</sub>	34,09	33,79	33,81	33,21	34,51	33,53	34,14	32,23	33,41	46,17	49,86	45,80	48,61	40,98	40,37	43,72	43,64	44,89
TiO <sub>2</sub>	2,95	3,34	3,30	3,06	3,40	3,29	3,35	3,19	3,29	0,11	0,17	0,13	0,26	0,35	0,30	0,29	0,19	0,31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,39	20,18	20,58	20,82	20,21	21,07	20,55	21,15	20,58	27,83	24,02	25,10	33,23	35,39	34,43	36,65	37,87	35,67
FeO	22,90	22,87	21,55	22,37	22,07	22,35	22,76	22,81	22,13	13,58	13,16	18,54	6,41	11,72	12,60	6,49	5,38	5,74
MgO	6,60	6,67	7,09	6,89	6,54	6,81	6,68	6,91	6,78	0,22	0,03	0,22	0,07	0,38	0,21	0,36	0,34	0,24
MnO	0,54	0,51	0,47	0,81	0,62	0,34	0,47	0,54	0,70	0,17	0,11	0,23	0,08	0,10	0,22	0,09	0,16	0,12
CaO	0,00	0,10	0,00	0,02	0,06	0,07	0,50	0,06	0,00	0,08	0,22	0,22	0,00	0,00	0,15	0,06	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,27	0,09	0,22	0,21	0,27	0,27	0,24	0,34	0,14	0,14	0,18	0,26	2,55	0,16	0,19	0,09	0,09	0,21
K <sub>2</sub> O	11,05	11,04	11,29	11,27	11,18	11,27	10,20	11,30	11,23	11,32	11,92	8,94	8,28	10,25	10,26	11,77	11,88	12,24
SnO <sub>2</sub>	0,67	0,64	0,57	0,34	0,52	0,42	0,34	0,45	0,40	0,66	0,48	0,09	0,34	0,52	0,42	0,71	0,59	0,37
WO <sub>3</sub>	1,11	0,85	0,77	1,06	0,77	0,94	0,81	1,02	0,68	1,05	0,46	0,88	0,44	0,88	0,80	0,79	0,87	0,66
F	1,09	1,25	1,54	1,25	0,97	0,85	1,04	1,34	1,67	0,32	0,26	0,46	0,45	0,57	1,24	0,40	0,33	0,55
Cl	0,12	0,17	0,15	0,10	0,17	0,15	0,08	0,12	0,07	0,06	0,05	0,11	0,05	0,10	0,02	0,07	0,12	0,03
<b>Total</b>	101,78	101,49	101,34	101,40	101,29	101,36	101,15	101,47	101,08	101,71	100,94	100,97	100,78	101,40	101,22	101,50	101,46	101,03
O ≈ F,Cl	0,49	0,56	0,68	0,55	0,45	0,39	0,46	0,59	0,72	0,15	0,12	0,22	0,20	0,26	0,53	0,19	0,17	0,24
<b>TOTAL</b>	101,30	100,93	100,66	100,86	100,84	100,97	100,70	100,88	100,36	101,56	100,82	100,75	100,58	101,14	100,69	101,31	101,30	100,79
Fórmula estrutural calculada na base de 22 átomos de oxigênio																		
Si (apfu)	5,14	5,10	5,09	5,02	5,18	5,04	5,11	4,90	5,06	6,29	6,77	6,34	6,28	5,54	5,53	5,76	5,72	5,91
<sup>IV</sup> Al	2,86	2,90	2,91	2,98	2,82	2,96	2,89	3,10	2,94	1,71	1,23	1,66	1,72	2,46	2,47	2,24	2,28	2,09
Sítio T	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
<sup>VI</sup> Al	0,75	0,70	0,74	0,73	0,75	0,76	0,74	0,69	0,73	2,76	2,61	2,44	3,34	3,18	3,09	3,46	3,57	3,44
Ti	0,33	0,38	0,37	0,35	0,38	0,37	0,38	0,36	0,37	0,01	0,02	0,01	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03
Sn	0,04	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03	0,00	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03	0,02
W	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,03	0,05	0,02	0,04	0,02	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03
<b>Fe total</b>	2,89	2,89	2,71	2,83	2,77	2,81	2,85	2,90	2,80	1,55	1,49	2,15	0,69	1,33	1,44	0,72	0,59	0,63
Mg	1,48	1,50	1,59	1,55	1,46	1,52	1,49	1,57	1,53	0,05	0,01	0,04	0,01	0,08	0,04	0,07	0,07	0,05
Mn	0,07	0,07	0,06	0,10	0,08	0,04	0,06	0,07	0,09	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01
Sítio O	5,62	5,61	5,56	5,63	5,51	5,58	5,58	5,66	5,58	4,47	4,19	4,72	4,12	4,70	4,69	4,36	4,33	4,21
Ca	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,08	0,01	0,00	0,01	0,03	0,03	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00
Na	0,08	0,03	0,06	0,06	0,08	0,08	0,07	0,10	0,04	0,04	0,05	0,07	0,64	0,04	0,05	0,02	0,02	0,05
K	2,12	2,13	2,17	2,17	2,14	2,16	1,95	2,19	2,17	1,97	2,06	1,58	1,37	1,77	1,79	1,98	1,99	2,06
Sítio A	2,20	2,17	2,23	2,24	2,23	2,25	2,10	2,30	2,21	2,02	2,14	1,68	2,00	1,81	1,86	2,01	2,01	2,11
Fe/Mg	0,66	0,66	0,63	0,65	0,65	0,65	0,66	0,65	0,65	0,97	1,00	0,98	0,98	0,95	0,97	0,91	0,90	0,93
Si+Al	8,75	8,70	8,74	8,73	8,75	8,76	8,74	8,69	8,73	10,76	10,61	10,44	11,34	11,18	11,09	11,46	11,57	11,44
Mg/Fe	0,34	0,34	0,37	0,35	0,35	0,35	0,34	0,35	0,35	0,03	0,00	0,02	0,02	0,05	0,03	0,09	0,10	0,07
F+Sn+W (% peso)	2,56	2,49	2,66	2,41	2,05	1,98	1,99	2,56	2,57	1,75	1,67	1,29	1,24	1,42	2,40	1,06	1,49	1,55

Abreviações: ABMzG=Anfibólio-biotita monzogranito; ABSMG=Anfibólio-biotita sieno a monzogranito; BAMzG=Biotita -anfibólio monzogranito; BMG=Biotita monzogranito; BSG=Biotita sienogranito; BSGEm: Biotita sienogranito equigranular médio; BSGA=Biotita sienogranito alterado; BSGIA=Biotita sienogranito intensamente alterado; LMzG=Leucomonzogranito; Sn: mineralizado em Sn; Fe/Mg: Fe/(Fe+Mg); Mg/Fe: Mg/(Mg+Fe).

As biotitas do Granito oxidado Bannach possuem razões  $Fe/(Fe+Mg)$  entre 0,72 e 0,79 e conteúdo de  $Al^{IV}$  entre 2,52 e 2,96 para ambas as fácies (BAMzG e LMzG). As biotitas do Granito Redenção apresentam, para ambas as fácies (ABMzG e LMzG), razões  $Fe/(Fe+Mg)$  levemente mais baixas (0,62 a 0,66) e  $Al^{IV}$  entre 2,56 e 2,82. No diagrama  $Al^{IV}$  x  $Fe/(Fe+Mg)$ , se aproximam do polo das siderofilas (Figura 11A).

As biotitas dos granitos reduzidos mostraram comportamentos diferentes em termos de razões  $Fe/Mg$  e conteúdo de  $Al^{IV}$ . Aquelas pertencentes às rochas menos evoluídas e isentas de mineralizações, apresentaram razões  $Fe/(Fe+Mg)$  e valores de  $Al^{IV}$  similares aos obtidos nas biotitas dos granitos oxidados e plotaram próximas no diagrama  $Al^{IV}$  x  $Fe/(Fe+Mg)$ , com as biotitas dos BMG do Granito Velho Guilherme claramente mais enriquecidas em Mg e com razões  $Fe/(Fe+Mg)$  comparativamente mais baixas (entre 0,49-0,52). As razões  $Fe/(Fe+Mg)$  das biotitas dos BSGA do Granito Antônio Vicente são mais elevadas (0,85-0,87) e se separam nos diagramas (Figura 11). Por outro lado, as biotitas das rochas portadoras de Sn possuem as maiores razões  $Fe/Mg$  (0,85 a 1,00) e valores de  $Al^{IV} < 2,5$  e se distribuem próximo ao polo annita (Figura 11A). Este comportamento também é evidente no diagrama  $Al^{IV}+Al^{VI}$  x  $Fe/(Fe+Mg)$  x 100, com a nítida separação entre biotitas de rochas mineralizadas e estéreis (Figura 11B).

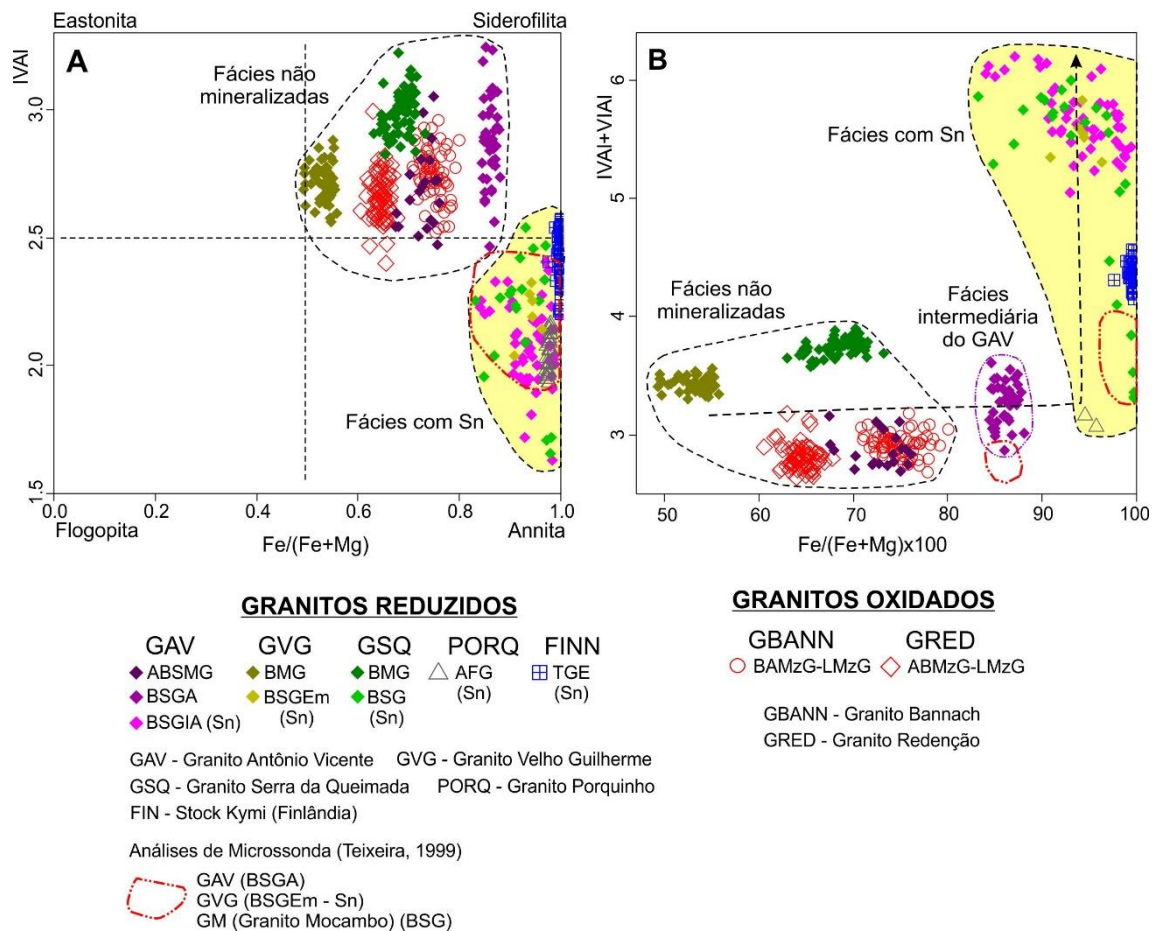


Figura 11 - Comportamento das biotitas estudadas nos diagramas: (A)  $Al^{IV} \times Fe/(Fe+Mg)$  (Deer *et al.* 1992) e (B)  $Al \text{ total} \times Fe/(Fe+Mg) \times 100$  (Eklund & Shebanov 2005). Abreviações conforme Tabela 3. AFG=Álcali-feldspato granito; TGE=Topázio granito equigranular.

As biotitas dos granitos oxidados e dos granitos reduzidos isentos de mineralizações são mais enriquecidas em Mg, Ti e nas razões  $Mg/(Mg+Fe)$  quando comparadas às biotitas dos granitos reduzidos portadores de Sn (Figura 12A, B). Por outro lado, as biotitas das rochas portadoras de Sn mostram conteúdos mais expressivos de Si e Al e se separam das demais (Figura 12C e D).

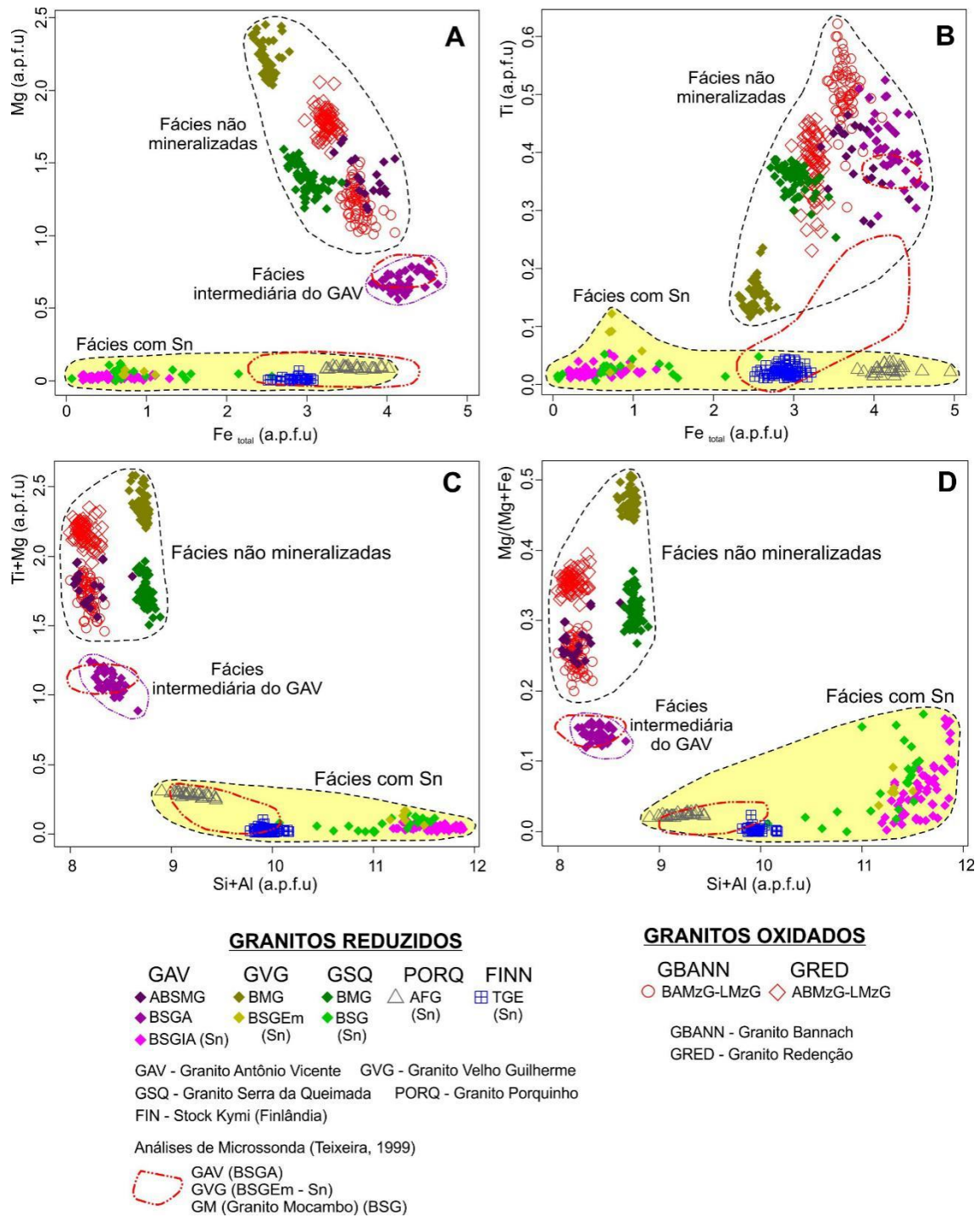


Figura 12 - Diagramas de variação para as biotitas estudadas. (A) Mg x Fe total; (B) Ti x Fe total; (C) Ti+Mg x Si+Al e (D) Mg/(Mg+Fe) x Si+Al. Abreviações conforme Tabela 3. AFG=Álcali-feldspato granito; TGE=Topázio granito equigranular.

## 9 DISCUSSÃO

### 9.1 ANÁLISES MORFOLÓGICO-TEXTURAI

O estudo morfológico-textural de cristais de biotita de granitos oxidados e reduzidos da Província Carajás, realizados por luz transmitida e imagens de elétrons retroespalhados (ERE), permitiu identificar cristais euédricos a subédricos isentos ou com pouca alteração, contendo inclusões de apatita e zircão nas fácies menos evoluída e levemente alterada, tanto nos granitos oxidados (Bannach e Redenção; Figuras 4A e 5A), quanto nos granitos reduzidos não mineralizados (Antônio Vicente, Velho Guilherme e Serra da Queimada; Figuras 6B, 7 e 8A-B). Nas fácies mais evoluídas dos granitos oxidados (leucomonzogranitos), as biotitas formam cristais subédricos a anédricos com bordas corroídas e alteração mais marcante para clorita, óxido de ferro, prehnita e titanita (Figuras 4C e D, 5C e E). Por outro lado, nas rochas reduzidas e mineralizadas a Sn os cristais de biotita são predominantemente anédricos e alterados para clorita e óxido de ferro, localmente contendo finos grãos de titanita secundária dispostos ao longo dos planos de clivagem (Figuras 6D, 8C).

Nas rochas mineralizadas observa-se um aumento acentuado no grau de alteração das biotitas, com intensa corrosão das bordas e desenvolvimento de clorita ao longo dos planos de clivagem, muitas vezes chegando a substituir completamente o cristal original. O processo de cloritização se dá a baixas temperaturas quando há disponibilidade de água (Winter 2010). No caso das biotitas, além de promover a corrosão das bordas dos cristais também age de maneira intensa nos planos de clivagem. Outros processos de alteração por hidratação presentes nas rochas estudadas são a formação de biotita a partir do anfibólio, a argilização nos feldspato potássicos e a seritização dos plagioclásios. Esse grau de alteração mais intenso está relacionado aos processos hidrotermais que deram origem à mineralização, visto que granitos mineralizados em estanho da Suíte Intrusiva Velho Guilherme mostram intensa alteração relacionada a ação de fluidos hidrotermais nos estágios tardi a pós magmáticos (Dall'Agnol 1980, Teixeira *et al.* 2005).

### 9.2 CLASSIFICAÇÃO E SÉRIE GRANITOIDE

No diagrama ternário  $\text{FeO}+\text{MnO} - 10^* \text{TiO}_2 - \text{MgO}$  (Nachit *et al.* 2005), que permite distinguir entre biotitas magmáticas, reequilibradas e neoformadas, as biotitas dos granitos oxidados e reduzidos estéreis plotam predominantemente no campo das biotitas magmáticas primárias, sugerindo que sofreram pouco ou nenhum reequilíbrio no final de sua cristalização; a exceção são as biotitas dos BMG do Granito Velho Guilherme que

incidem totalmente no campo das biotitas reequilibradas. As biotitas dos BSGA do Granito Antônio Vicente iniciam a cristalização no campo primário e passam a cristalizar em reequilíbrio, indicando mudanças ao longo de sua cristalização. As biotitas dos granitos com Sn, geralmente com bordas corroídas e alteradas para clorita, plotam predominantemente no campo das biotitas reequilibradas, indicando modificações no final ou após sua cristalização. As biotitas do granito especializado Kymi, da Finlândia, se destacam das demais e plotam no campo das biotitas neoformadas (Figura 13A).

As condições de fugacidade de oxigênio durante a evolução de um magma podem ser avaliadas através das composições de minerais como anfibólios e biotitas, bem como pela presença de minerais óxidos de Fe-Ti, como magnetita, ilmenita e titanita (Ishihara 1981, Wones 1989, Frost 1991, Dall'Agnol *et al.* 2005, Dall'Agnol & Oliveira 2007, Anderson *et al.* 2008). No diagrama  $Fe/(Fe+Mg) \times Al$  total (Figura 13B), as biotitas dos granitos oxidados e reduzidos estéreis mostraram conteúdos mais baixos de Al e das razões Fe/Mg, incidindo predominantemente no campo dos granitos da série magnetita (Ishihara 1981). Por outro lado, as biotitas das rochas portadoras de mineralização são mais enriquecidas em Al e nas razões Fe/Mg, incidindo no campo dos granitos a Ilmenita (Ishihara 1981). Este comportamento confirma o caráter reduzido e portador de ilmenita > magnetita das rochas com Sn em relação àquelas oxidadas estéreis e mais enriquecidas em magnetita. Apesar das rochas menos evoluídas e estéreis dos granitos estaníferos apresentarem ilmenita > magnetita, suas biotitas são menos aluminosas, mostram razões  $Fe/(Fe+Mg)$  mais baixas do que as biotitas das fácies mineralizadas (Tabela 3) e tendem a acompanhar as rochas oxidadas (Figura 13B). A exceção são as biotitas dos BSGA do Granito Antônio Vicente que mostram composições intermediárias na maioria dos diagramas geoquímicos, sugerindo tratar-se de biotitas transicionais para as fácies com Sn (Figuras 11B, 12, 13B e 14).

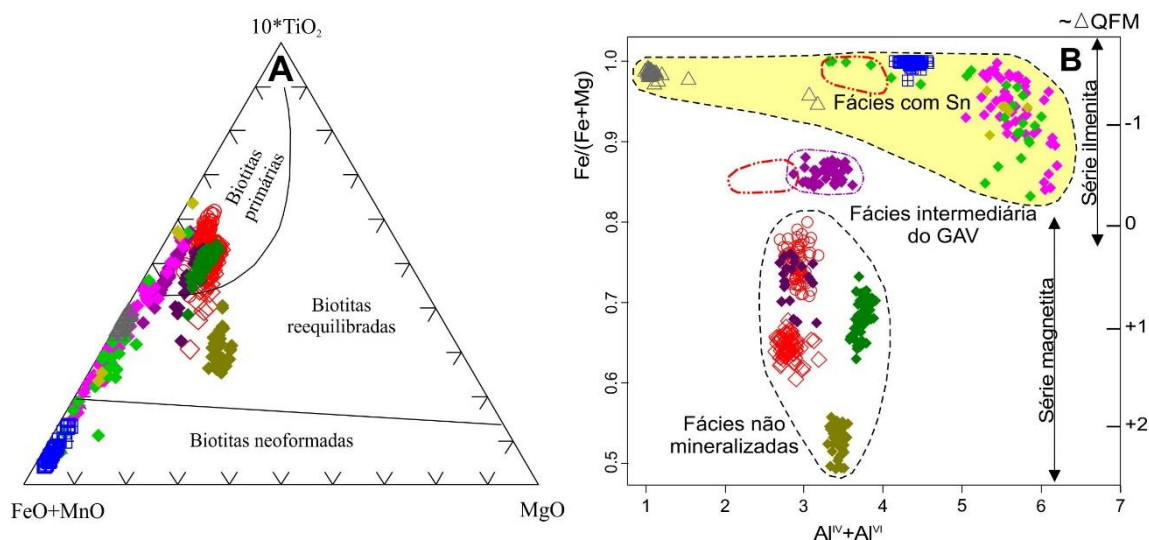


Figura 13 - Diagramas (A)  $\text{FeO}+\text{MnO} - 10^* \text{TiO}_2 - \text{MgO}$  (Nachit *et al.* 2005) e (B)  $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}) \times \text{Al total}$ ; campos aproximados para as séries magnetita e ilmenita e valores do tampão QFM (quartzo-faiálita-magnetita), segundo Anderson *et al.* (2008). Legendas conforme Figura 11 e Tabela 3.

### 9.3 BIOTITA COMO INDICADOR METALOGENÉTICO

Granitos portadores de Sn geralmente mostram elevado grau de diferenciação magmática ( $\text{SiO}_2 > 75\%$ ), predomínio de sienogranitos e álcali feldspato-granitos alterados em diferentes intensidades, ilmenita como opaco dominante (muitas vezes o único opaco presente) sobre a magnetita. Geoquimicamente possuem natureza subalcalina e caráter predominantemente peraluminoso, afinidade com granitos tipo-A (Whalen *et al.* 1987, Pearce *et al.* 1984), do subtipo A2 (Eby 1992), possuem baixos conteúdos de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CaO, MgO,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Sr, Ba, Eu e Cl e elevados de  $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ , Rb, Y, F, Li, Th, Nb, Ta e Ga. Se comportam como granitos da Série Ilmenita (Ishihara 1981) e plotam sempre no campo dos granitos reduzidos (Dall’Agnol *et al.* 1993, Frost *et al.* 2001, Costi *et al.* 2005, Teixeira *et al.* 2005, Dall’Agnol *et al.* 2005, Dall’Agnol & Oliveira 2007, Souza & Botelho 2009, Lamarão *et al.* 2012, Melo *et al.* 2021).

Minerais acessórios de granitos estaníferos, como zircão e apatita, apresentam assinaturas geoquímicas características que permitem que atuem como indicadores preliminares de mineralizações de Sn-W. No zircão, as concentrações mais elevadas de ETR leves, Hf, Y, Nb, U, Th e as baixas razões Zr/Hf se destacam (Lamarão *et al.* 2012, 2018). Na apatita, dominam conteúdos elevados de F, Mn, Fe, Y, Sn e baixos de Cl, Sr, U, Th, além das razões  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  e  $\text{La}/\text{Yb}$  (Ding *et al.* 2015, Fonseca 2016, Nery 2017).

De acordo com Teixeira *et al.* (2005), a cristalização fracionada foi o principal processo petrogenético que comandou a evolução da Suíte Intrusiva Velho Guilherme.

Os fluidos hidrotermais pós-magmáticos que percolaram suas rochas foram os responsáveis pela extração do  $\text{Sn}^{2+}$  de minerais portadores de Sn, como a biotita, incorporando-o às soluções residuais onde foi oxidado e transformado para  $\text{Sn}^{4+}$ , precipitando posteriormente como cassiterita nas rochas mais evoluídas.

As biotitas, principal mineral hospedeiro do Sn, não apresentaram conteúdos de Sn nas análises de EDS que permitissem a distinção entre rochas mineralizadas e estéreis. Os valores de Sn identificados mostraram grande espalhamento e superposição com aqueles obtidos nas rochas estéreis, sugerindo que análises de Sn nas biotitas (assim como de W e F) não foi um bom parâmetro para este tipo de pesquisa (Figura 14A-B). A exceção foram as biotitas do *stock* Kymi, da Finlândia, um topázio granito equigranular fortemente peraluminoso e enriquecido em F, Li, Rb e Ga, contendo veios de quartzo com cassiterita, wolframita, berilo e sulfetos (Figura 14B; Haapala & Lukkari 2005). Outra possibilidade seria admitir que o  $\text{Sn}^{2+}$  presente já teria sido removido das biotitas e precipitado como  $\text{Sn}^{4+}$  na forma de cassiterita, ou ainda, que as análises semiquantitativas de EDS não foram eficazes o suficiente para tal distinção.

Por outro lado, os baixos conteúdos de Mg, Ti e das razões  $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ , bem como os elevados valores de Si, Al e de  $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$  encontrados nas biotitas das rochas mineralizadas (Figuras 12, 13B e 14C-D), permitiram uma boa separação entre as rochas portadoras de Sn e as estéreis, indicando que tais elementos e razões podem ser utilizados preliminarmente na prospecção deste tipo de mineralização.

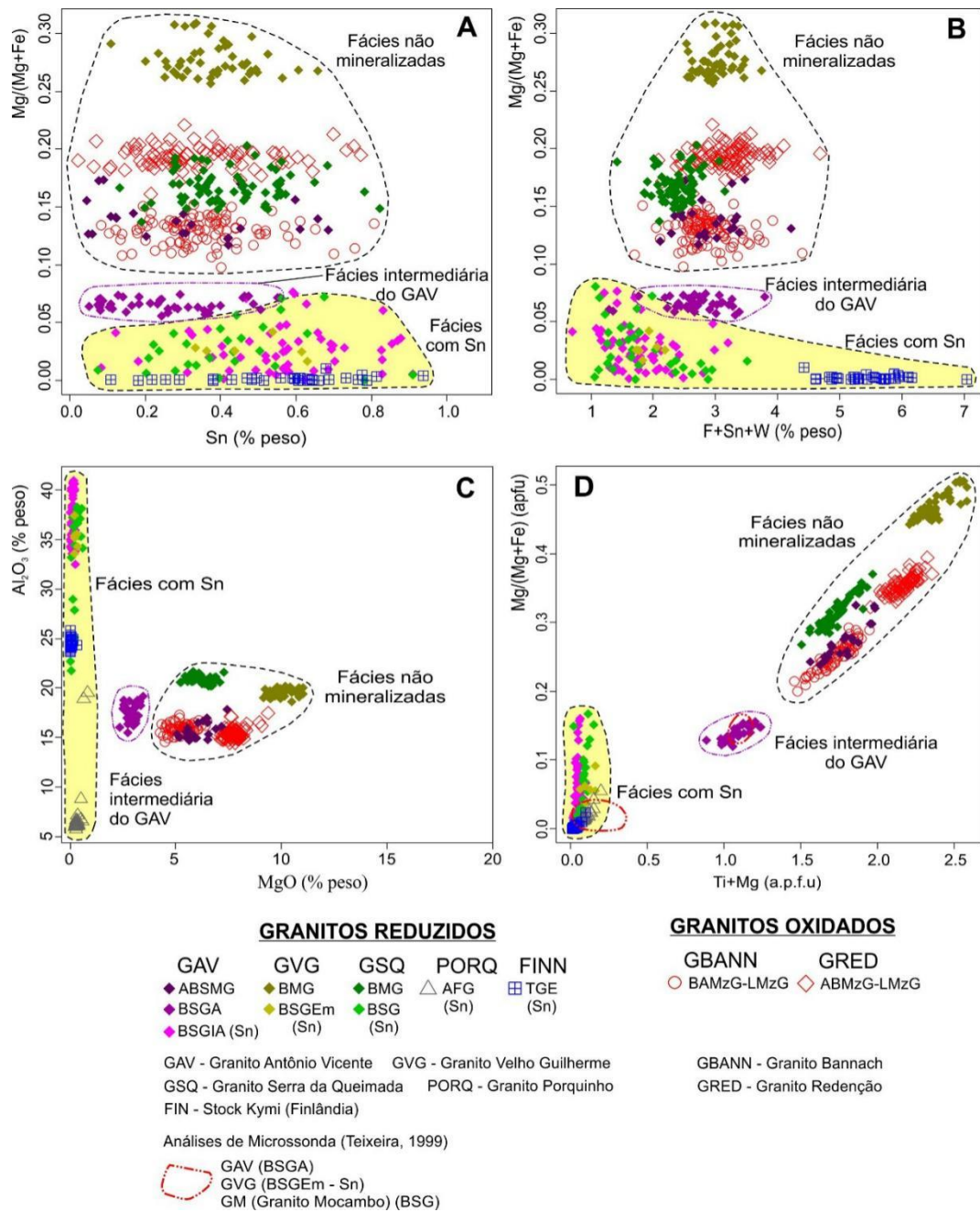


Figura 14 - Diagramas de variação composicional das biotitas estudadas. (A) Sn x Mg/(Mg+Fe); (B) Sn+W x Mg/(Mg+Fe); (C) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> x MgO; (D) Ti+Mg x Mg/(Mg+Fe). Abreviações conforme Tabela 3. AFG=Álcali-feldspato granito; TGE=Topázio granito equigranular.

## 10 CONCLUSÕES

Os resultados do presente estudo permitiram avaliar características morfológicas, texturais e geoquímicas de cristais de biotita de dois grupos de granitos anorogênicos pertencentes à Província Carajás: granitos oxidados e isentos de mineralização e granitos reduzidos mineralizados a Sn.

Nos granitos oxidados, as biotitas exibem características morfológicas e texturais semelhantes: cristais bem formados e isentos de alterações expressivas. Por outro lado, nos granitos reduzidos são observadas variações mais intensas. Na fácies menos evoluída (ABSMG) do Granito Antônio Vicente, as biotitas são bem formadas e apresentam pouca ou nenhuma alteração, enquanto nas fácies intermediária (BSGA) e mais evoluída (BSGIA) encontram-se mais corroídas e alteradas para clorita, muscovita e titanita. Nas fácies menos evoluídas (monzogranitos) dos granitos Velho Guilherme e Serra da Queimada os cristais de biotita estão pouco alterados, porém mostram alteração intensa nas fácies mais evoluídas (sienogranitos). Nas rochas mineralizadas em Sn a atuação de processos hidrotermais tardi a pós-magmáticos, responsáveis pela mineralização, é marcante e está presente em todos os minerais, com destaque para os cristais de biotita (intensa cloritização), de álcali feldspato (argilização) e de plagioclásio (sericitização).

As biotitas dos granitos oxidados Bannach (GBANN) e Redenção (GRED) mostram razões  $Fe/(Fe+Mg)$  entre 0,72 e 0,79 e conteúdo de  $Al^{IV}$  entre 2,52 e 2,96 para ambas as fácies do GBANN, e razões  $Fe/(Fe+Mg)$  de 0,62 a 0,66 e  $Al^{IV}$  entre 2,56 e 2,82 para as fácies do GRED, e se aproximam do polo das siderofilitas. Em relação às biotitas dos granitos reduzidos, as razões  $Fe/(Fe+Mg)$  e os valores de  $Al^{IV}$  das fácies menos evoluídas e isentas de mineralização tendem a acompanhar àquelas obtidas nos granitos oxidados. Por outro lado, as biotitas das fácies mais evoluídas e portadoras de Sn desses granitos se enriquecem em Si, Fe e Al, possuem razões  $Fe/Mg$  mais elevadas (entre 0,85 e 1,00) e se distribuem próximas ao polo annita. O enriquecimento em Fe, Si e Al e o empobrecimento em Mg e Ti nas biotitas das rochas portadoras de Sn, quando comparados às biotitas dos granitos oxidados e às fácies estéreis dos granitos reduzidos, permitiram uma clara separação entre esses dois grupos de rochas (mineralizadas e estéreis).

As biotitas dos granitos oxidados e reduzidos estéreis se comportam como biotitas primárias a reequilibradas e se enquadram na série de granitos a magnetita. As biotitas dos granitos reduzidos e portadores de Sn, tipicamente pertencentes à Série Ilmenita,

incidem predominantemente no campo das biotitas que sofreram reequilíbrio durante seu processo de cristalização ou pós-cristalização.

Análises de microsonda eletrônica em biotitas dos granitos estaníferos Antônio Vicente, Velho Guilherme e Mocambo (Teixeira 1999), inseridas comparativamente em alguns dos diagramas geoquímicos, tendem a acompanhar ou se sobrepor às análises obtidas por MEV-EDS deste estudo, aumentando a confiabilidade dos dados obtidos.

Os dados de química mineral obtidos neste estudo mostraram que granitos anorogênicos oxidados estéreis e reduzidos portadores de Sn podem ser distinguidos com base nos conteúdos de Si, Al, Mg, Fe e nas razões  $Fe/(Fe+Mg)$  e  $Mg/(Mg+Fe)$  de seus cristais de biotita. Tais elementos e razões podem ser utilizados preliminarmente como indicadores metalogênicos para este tipo de mineralização.

## REFERÊNCIAS

- Abrantes Jr. F.R. 2008. Caracterização de minerais micáceos do granito especializado Bom Jardim, Região de São Félix do Xingu, através de microscopia eletrônica de varredura (MEV). *In: 19º Seminário de Iniciação Científica da UFPA, Belém, Resumos [...]*.
- Abrantes Jr. F.R. 2009. Caracterização de minerais micáceos dos granitos estaníferos Antônio Vicente, Mocambo e Serra da Queimada, Região de São Félix do Xingu, através de microscopia eletrônica de varredura (MEV). *In: 20º Seminário de Iniciação Científica da UFPA, Belém, Resumos [...]*.
- Abrantes Jr. F.R. & Lamarão C.N. 2011. Petrografia e variação composicional de zircão do Granito Gradaús, Província Carajás, Centro-Sul do Pará. *In: SBGq, 13º Congresso Brasileiro de Geoquímica & 3º Simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul, Gramado. Anais[...]*, p. 713-716.
- Abdel-Rahman A.M. 1994. Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline, and peraluminous magmas. *Journal of Petrology*, **35** (2): 525-541.
- Abreu F.A.M. & Ramos C.R. 1974. Estanho do Sul do Pará. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 28. Porto Alegre. *Anais, SBG*, (5): 11-23.
- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1981. Brazilian Structural Provinces: an introduction. *Earth Science Review*, **17**: 1-29.
- Almeida J.A.C. 2005. *Geologia, petrografia e geoquímica do granito anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, PA*. MS Dissertation, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 171 p.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Oliveira D.C. 2006. Geologia, petrologia e geoquímica do granito anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **36** (2): 282-295.
- Almeida J.A.C., Oliveira M.A., Moura C.A.V., Oliveira D.C., Althoff F.J., Costi H.T., Borges R.M.K. 2008. *Relatório de mapeamento geológico na escala 1:100.000 da Folha Marajoara (SB.22-Z-C-V)*. Programa Geologia do Brasil, CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 110 p.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Dias S.B., Althoff F.J. 2010. Origin of the Archean leucogranodiorite-granite suites: Evidence from the Rio Maria terrane and implications for granite magmatism in the Archean. *Lithos*, **120**: 235-257.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Macambira M.J.B., Pimentel M.M., Rämö O.T., Guimarães F.V., Leite A.A.S. 2011. Zircon geochronology, geochemistry and origin of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for the growth of the Archean crust of the Carajás Province, Brazil. *Precambrian Research*, **187**: 201-221.

Almeida J.A.C., Dall'Agnol, R.; Leite A.A.S. 2013. Geochemistry and zircon geochronology of the Archean granite suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane, Carajás Province, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **42**: 103-126.

Althoff F.J.; Barbey P., Boullier A.M. 2000. 2.8-3.0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral Province, Brazil). *Precambrian Research*, **104**: 187-206.

Anderson J.L., Barth A.P., Wooden J.L., Mazdab F. 2008. Thermometers and thermobarometers in granitic systems. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, **69**: 121-142.

Avelar V.G. 1996. *Geocronologia Pb-Pb por evaporação em monocristal de zircão do magmatismo da região de Tucumã, SE do estado do Pará, Amazônia Oriental*. MS Dissertation, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 149 p.

Avelar V.G., Lafon J.M., Correia JR, F.C., Macambira E.M.B. 1999. O Magmatismo arqueano da região de Tucumã-Província Mineral de Carajás: novos resultados geocronológicos. *Revista Brasileira de Geociências*, **29** (2): 454-460.

Barbosa A.B., Lafon J.M., Neves A.P., Vale A.G. 1995. Geocronologia Rb-Sr e Pb-Pb do Granito Redenção, SE do Pará: implicações para a evolução do magmatismo proterozoico da região de Redenção. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra*, **7**: 147-164.

Barros Neto R.S.B., Lamarão C.N., Marques G.T., Pinto-Coelho C.V. 2020. Morphological and compositional study of quartz and cassiterite of the Mocambo Granite, South Pará Tin Province, Amazonian Craton. *Brazilian Journal of Geology*, **50** (4). <https://doi.org/10.1590/2317-4889202020190096>.

Bizzi L. A., Schobbenhaus C. Vidott, R. M., Gonçalves, J. H. 2003. *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG*. Brasília, DF, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 692p.

Brito M.F.L. Suíte Intrusiva Parauari. In: Almeida M.E., Brito M.F.L.; Ferreira A.L.; Monteiro M.A.S. (orgs.). *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. Nota explicativa. Manaus: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2000.

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° South-American Symposium on Isotope Geology, Cordoba, *Extend Abstracts...* Córdoba, Argentina, p.40-43.

Carvalho T.A. 2017. *Petrografia, geoquímica e suscetibilidade magnética do Granito Gradaús, Província Carajás, SE do Pará*. MS Dissertation, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 61p.

Černý P. & Burt D.M. 1984. Paragenesis, crystallochemical characteristics, and geochemical evolution of micas in granite pegmatites. *In: Bailey SW (ed) Micas, Ver. Mineralogical Soc of America, 13: 257-297*

Costa J.B.S., Araújo J.B., Santos A., Jorge João X.S., Macambira M.J.B., Lafon J.M. 1995. A Província Mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra, Belém, 7: 199-235.*

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.*

Cunha B.C.C., Santos D.B., Prado P. 1984. Contribuição ao estudo da estratigrafia da região dos Gradaús, com ênfase no Grupo Rio Fresco. *In: SBG, 33º Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro. Anais[...], v. 2, p. 873-885.*

Dall'Agnol R. 1980. *Etudes sur des granites du type "Rondonian" en Amazonie Orientale et leurs transformations tardi-magmatiques.* PhD Thesis, Labor. Geól. Petrol., Univ. Paul Sabatier, Toulouse, 348 p.

Dall'Agnol R. 1982. Maciço Jamon: evolução petrológica de um granito da Amazônia oriental. *In: SBG, 1º Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém. Anais[...], v. 2, p. 139-161.*

Dall'Agnol R., Teixeira N.P., Magalhães M.S. 1993. Diagnostic features of the Tin-specialized anorogenic granites of the Eastern Amazonian Region. *Anais Academia Brasileira de Ciências, 65 (1): 33-50.*

Dall'Agnol R., Lafon J.M., Macambira M.J.B. 1994. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian Province, Amazonian Craton: geochronological, petrological and geochemical aspects. *Mineralogy and Petrology, 50: 113-138.*

Dall'Agnol R., Ramö O.T., Magalhães M.S., Macambira M.J.B. 1999a. Petrology of the anorogenic, oxidized Jamon and Musa granites, Amazonian craton: implications for the genesis of Proterozoic A-type granites. *Lithos, 46: 431-462.*

Dall'Agnol R. *et al.* 1999b. Rapakivi granites from Brazil and adjacent areas. *Precambrian Research, 95 (1-2): 9-39.*

Dall'Agnol R., Teixeira N.P., Ramo O.T., Moura C.A.V., Macambira M.J.B., Oliveira D.C. 2005. Petrogenesis of the Paleoproterozoic, rapakivi, A-type granites of the Archean Carajás Metallogenic Province, Brazil. *Lithos, 80: 101-129.*

Dall’Agnol R., Oliveira M.A., Almeida J.A.C., Althoff F.J., Leite A.A.S., Oliveira D.C., Barros C.E.M. 2006. Archean and Paleoproterozoic granitoids of the Carajás metallogenic province, eastern Amazonian craton. *In: Dall’Agnol R., Rosa-Costa L.T., Klein E.L. (eds.). Symposium on Magmatism, Crustal Evolution, and Metallogenesis of the Amazonian Craton. Abstracts Volume and Field Trips Guide.* Belém, PRONEX-UFGA/SBG-NO, 150p.

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.

Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. 1992. *Rock-forming Minerals*, second ed. London, Longmans, p. 696.

Dias S.B. 2009. *Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica de granitos Arqueanos da Folha Marajoara, terreno granito–greenstone de Rio Maria, Sudeste do Pará.* MS Dissertation, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 129 p.

Ding T., Ma D., Lu J., Zhang R. 2015. Apatite in granitoids related to polymetallic mineral deposits in southeastern Hunan Province, Shi–Hang zone, China: Implications for petrogenesis and metallogenesis. *Ore Geol. Rev.*, **69**: 104 -117.

Dymek R.F. 1983. Titanium, Aluminium and Interlayer Cation Substitutions in Biotite from High Grade Gneisses, West Greenland. *American Mineralogist*, **68**: 880–899.

DOCEGEO. 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. *In: SBG, 35º Cong. Bras. Geol., Belém, Anais[...]*, p.11-54.

Duarte K.D., Pereira E.D., Dall’Agnol R., Lafon J.M. 1991. Geologia e geocronologia do Granito Mata Surrão – sudoeste de Rio Maria (PA). *In: SBG-Núcleo Norte, 3º Simpósio de Geologia da Amazônia, Anais[...]*, Belém, p. 7-20.

Duarte K.D. 1992. *Geologia e geoquímica do granito Mata Surrão SW de Rio Maria – PA: um exemplo de granito “stricto sensu” arqueano.* MS Dissertation, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 217 p.

Eby G.N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenese and tectonic implications. *Geology*, **20**: 641-644.

Eklunda O. & Shebanov A. 2005. Prolonged postcollisional shoshonitic magmatism in the southern Svecofennian domain – a case study of the Ava granite–lamprophyre ring complex. *Lithos*, **80**: 229-247.

Fernandes C.M.D. 2005. *Geologia, geoquímica e geocronologia das rochas vulcânicas do Grupo Uatumã, região de São Félix do Xingu (PA), Província Mineral de Carajás.* MS Dissertation, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 130 p.

Fernandes C.M.D., Lamarão C.N., Teixeira N.P. 2006. O vulcanismo bimodal do tipo Uatumã da região de São Félix do Xingu (PA). Província Mineral de Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, **36**: 565-576.

Fernandes C.M.D., Juliani C., Moura C.A.V., Lagler B. 2008. Paleoproterozoic bimodal volcanism of the São Félix do Xingu region, South Pará state, Amazonian Craton, Brazil. In: 33rd International Geological Congress, Oslo, *Abstracts*[...].

Fernandes C.M. 2009. *Estratigrafia e petrogênese das sequências vulcânicas paleoproterozoicas na região de São Félix do Xingu (PA), Província Mineral de Carajás*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 190 p.

Ferreira A.T.R. 2009. *Petrografia, geoquímica e geocronologia dos diques da área de Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, SE do Pará*. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 55 p.

Ferreira A.T.R. & Lamarão C.N. 2013. Geologia, petrografia e geoquímica das rochas vulcânicas Uatumã na área sul de São Félix do Xingu (PA), Província Carajás. *Brazilian Journal of Geology*, **43** (1): 152-167.

Fonseca C.S. 2016. *Apatita como indicador de granitos estaníferos do sudoeste do Pará*. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 83 p.

Foster M.D. 1960. Interpretation of the composition of trioctahedral micas. U. S. Geol. Surv., *Prof. Paper*, 354-B: 1-49.

Frost B.R. 1991. Introduction to oxygen fugacity and its petrologic importance. In: Lindsley D.H. (ed.). *Oxide minerals: petrologic and magnetic significance*. [S.l.], Mineralogical Society of America, p. 1-9. (Reviews in Mineralogy, 25).

Frost B.R., Arculus R.J., Barnes C.G., Collins W.J., Ellis D.J, Frost C.D. 2001. A geochemical classification of granitic rocks. *Journal of Petrology*, **42**: 2033-2048.

Gabriel E.O. & Oliveira D.C. 2014. Geologia, petrografia e geoquímica dos granitoides arqueanos de alto magnésio da região de Água Azul do Norte, porção sul do Domínio Carajás. Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências Naturais*, **9**: 533-564.

Gastal M.C.P. 1987. *Petrologia do maciço granítico Musa, sudeste do Pará*. MS Dissertation, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 316 p.

Guimarães F.V. 2009. *Geologia, petrografia e geoquímica do Trondhjemitó Mogno e rochas arqueanas associadas, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria - SE do Pará*. MS Dissertation, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 102 p.

Guimarães F.V.G., Dall'Agnol, R., Almeida, J.A.C., Oliveira, M.A. 2010. Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica do trondhjemitó Mogno e tonalito Mariazinha, terreno granito-greenstone de Rio Maria – Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **40** (2): 196–211.

Haapala I. & Lukkari S. 2005. Petrological and geochemical evolution of the Kymi stock, a topaz granite cupola within the Wiborg rapakivi batholiths. Finland. *Lithos*, **80**: 347-362.

Huhn S.R.B., Santos A.B.S., Amaral A.F., Ledsham E.J., Gouveia J.L., Martins L.B.P., Montalvão R.M.G., Costa V.G. 1988. O terreno granito-greenstone da região de Rio Maria - Sul do Pará. In: SBG, 35º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, *Anais[...]*, v.3, p. 1438-1453.

Ishihara S. 1981. The granitoid series and mineralization. *Economic Geology*, 75th anniversary volume, p. 458-484.

Juliani C. & Fernandes C.M.D. 2010. Well-preserved late paleoproterozoic volcanic centers in the São Félix do Xingu region, Amazonian Craton, Brazil. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **191** (3-4): 167-179.

Lafon J.M., Rodrigues E., Duarte K.D. 1994. Le granite mata surrão: un magmatisme monzogranitique contemporain des associations tonalitiques-trondhjemitiques-granodioritiques archéennes de la région de Rio Maria - Amazonie Orientale, Brésil. *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2. Sciences de la terre et des planètes*, **318** (5): 643-649.

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

Lafon J.M., Macambira M.J.B., Pidgeon R.T. 2000. Zircon U-Pb SHRIMP dating of Neoproterozoic magmatism in the southwestern part of the Carajás Province (eastern Amazonian Craton, Brazil). In: 31º International Geological Congress, Rio de Janeiro, *Abstracts[...]*, 1 CD-ROM.

Lamarão C.N., Dall'Agnol R., Lafon J.M., Lima E.F. 1999. As associações vulcânicas e plutônicas de Vila Riozinho e Moraes Almeida, Província Aurífera do Tapajós, SW do Estado do Pará. In: SBG, Simpósio Sobre Vulcanismo e Ambientes Associados, Gramado-RS. *Boletim de resumos[...]*, Gramado-RS., p. 93.

Lamarão C.N., Dall'Agnol R., Soledade G.L., Silva J.S. 2007. Variações composicionais de zircão em granitos anorogênicos proterozoicos do Cráton Amazônico: implicações metalogênicas. *Revista Brasileira de Geociências*, **37**: 693-704.

Lamarão C.N., Pinho S.C.C., Paiva Junior A.L., Galarza Toro M.A. 2012. Mineralogy and geochemistry of the Paleoproterozoic, tin-mineralized Bom Jardim Granite of the Velho Guilherme Suite, eastern Amazonian Craton. *Journal of South American Earth Science*, **38**: 159-173.

Lamarão C.N., Marques G.T., Oliveira D.C., Costi H.T., Borges R.M.K., Dall'Agnol R. 2018. Morphology and composition of zircons in rare metal granites from Brazilian tin provinces. *Journal of South American Earth Science*, **84**: 1-15.

Leite A.A.S. 2001. *Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitoides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico*. PhD Thesis, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 330 p.

Lima P.H.A. 2011. *Geologia, petrografia e geocronologia do Granito São João, Província Carajás, SSE do Pará*. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 64 p.

Lima P.H.A., Lamarão C.N., Santos M.J.P. 2014. Petrografia, geoquímica e suscetibilidade magnética do Granito Paleoproterozoico São João, sudeste do Cráton Amazônico, Província Carajás. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais*, **9**: 47-72.

Linnen R.L., Pichavant M., Holtz F., 1996. The combined effect of f(O<sub>2</sub>) and melt composition on SnO<sub>2</sub> solubility and tin diffusivity in haplogranitic melts. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **60**: 4965-4976.

Macambira M.J.B. & Lancelot J. 1991. Em busca do embasamento arqueano da região de Rio Maria, sudeste do Estado do Pará. In: 3º Simpósio de Geologia da Amazônia. Belém, *Resumos Expandidos*, p. 49-58.

Macambira M.J.B. 1992. *Chronologie U/Pb, Rb/Sr, K/Ar et croissance de la croûte continentale dans L'Amazonie du sud-est: exemple de la région de Rio Maria, Province de Carajás, Brésil*. PhD Thesis, Université Montpellier II-France, Montpellier, 212 p.

Macambira M.J.B. & Lafon J.M. 1995. Geocronologia da província mineral de Carajás: síntese dos dados e novos desafios. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra*, Belém, (7): 263-287.

Macambira M.J.B. & Lancelot J. 1996. Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria crust, southeastern Amazonian craton, Brazil. *International Geology Review*, **38** (12): 1134-1142.

Macambira E.M.B. & Vale A.G. 1997. *São Félix do Xingu: folha SB.22-Y-B, Estado do Pará, escala 1:250.000*. Texto explicativo. Brasília,DF, CPRM, 344 p. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil -PLGB).

- Machado N., Lindenmayer Z., Krogh T.H., Lindenmayer D. 1991. U-Pb geochronology of Archaean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research*, **49**: 329-354.
- Magalhães M.S. & Dall'Agnol R. 1992. Estudos de minerais opacos e suscetibilidade magnética nos Granitos Musa e Jamon (Região de Rio Maria - SE do Pará) e suas implicações petrológicas. *Revista Brasileira de Geociências*, **22**: 184-197.
- Medeiros H. 1987. *Petrologia da porção leste do batólito granodiorítico Rio Maria, sudeste do Pará*. MS Dissertation, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 166 p.
- 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. Manaus, DNPM/CPRM,
- Melo L.M.C. 2019. *Granito Serra da Queimada, Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Carajás: tipologia, aspectos petrológicos e afinidades metalogenéticas*. MS Dissertation, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 53 p.
- Melo L.M.C., Gomes R.N.S., Pinto J.A.E., Lamarão C.N., Nascimento R.S. 2019. Zircão dos granitos Rio Xingu e Benedita, Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Carajás: morfologia, composição e implicações metalogenéticas. In: Teixeira S.G. & Chaves C.L. (org.). *Contribuições à Geologia da Amazônia*, v. 11, p. 20-40.
- Melo L.M.C., Lamarão C.N., Conceição H., Oliveira D.C., Silva Rosa M.L., Costa U.A.P. 2021. Serra da Queimada Granite, Velho Guilherme Intrusive Suite, Carajás Province: Typology, petrological aspects and metallogenetic affinities, *Journal of South American Earth Science*, **112**: 103608.
- Montalvão R.M.G., Bezerra P.E.L., Prado P., Fernandes C.A.C., Silva G.H., Brim R.J.P. 1982. Características petrográficas e geoquímicas do Granito Redenção e suas possibilidades metalogenéticas. In: SBG, 32º Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador. *Anais[...]*, v. 2, p. 520-548.
- Nachit H., Ibhi A., Abia E.H., Ohoud M.B. 2005. Discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and neofomed biotites. *C.R. Geoscience*, **337**: 1415-1420.
- Nachit H., Razafimahefa N., Stussi J.M., Carron J.P. 1985. Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoides. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **301**, Serie II: 813-818.
- Neiva A.M.R. 1981. Geochemistry of hybrid granitoid rocks and of their biotites from Central Northern Portugal and their petrogenesis. *Lithos*, **14**: 149-163.
- Nery P.H.S. 2017. *Composição química de apatita de granitos paleoproterozoicos da Província Carajás: implicações petrológicas e metalogenéticas*. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 70p.

Nery P.H.S. 2019. *Química mineral e condições de cristalização do Granito Gradaús, sul do Pará, Província Carajás*. MS Dissertation, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 86p.

Oliveira D.C. 2001. *Geologia, geoquímica e petrologia magnética do granito paleoproterozoico Redenção, SE do Cráton Amazônico*. MS Dissertation, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 207 p

Oliveira D.C., Dall'Agnol R., Barros C.E.M., Figueiredo M.A.B.M. 2002. Petrologia magnética do Granito Paleoproterozoico Redenção, SE do Cráton Amazônico. In: SBG-NO. Klein E.L, Vasquez M.L, Rosa Costa L.T. (eds.) *Contribuições à geologia da Amazônia*, Belém, v.3, p. 115-132.

Oliveira D.C. 2006. *Modelos de evolução e colocação dos granitos Paleoproterozoicos da suíte Jamon, SE do cráton Amazônico*. PhD Thesis, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 171 p.

Oliveira D.C. & Dall'Agnol R. 2009. Geology, geochemistry and magmatic evolution of the Paleoproterozoic, anorogenic oxidized A-type Redenção granite of the Jamon suite, eastern Amazonian Craton, Brazil. *The Canadian Mineralogist*, **47**: 1441-1468.

Oliveira M.A., Dall'Agnol R., Althoff F.J., Leite A.A.S. 2009. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **27** (2):146-160.

Oliveira M.A., Dall'Agnol R., Scaillet B. 2010. Petrological constraints on crystallization conditions of Mesoarchean sanukitoid rocks, southeastern Amazonian Craton, Brazil. *Journal of Petrology*, **51**: 2121-2148.

Oliveira D.C., Gabriel E.O., Santos P.J.L., Silva C.R.P., Rodrigues D.S., Santos R.D., Galarza M.A., Marangoanha B., Santos M.S., Souza D.B. 2014. Geologia da região de Água Azul do Norte (PA) - Implicações para a compartimentação tectônica do Domínio Carajás. In: SBG, 47º Congresso Brasileiro de Geologia, *Anais[...]*, Salvador, 1 CD-ROM.

Paiva Júnior A.L. 2009. *Geologia, petrografia, geocronologia e geoquímica do Granito anorogênico Seringa, Província Mineral de Carajás, SSE do Pará*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 120 p.

Paiva Junior A.L., Lamarão C.N., Lima P.H.A. 2011. Geologia, petrografia e geoquímica do batólito Seringa, Província Carajás, SSE do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **41** (2): 185-202.

Pearce J.A, Harris N.B.W., Tindle A.G. 1984. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granite Rocks. *Journal of Petrology*, **25**(4): 956-983.

Pimentel M.M. & Machado N. 1994. Geocronologia U-Pb dos Terrenos Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. In: 38º Congresso Brasileiro de Geologia. Camboriú, *Resumos Expandidos*, p. 390-391.

Pinho S.C.C. 2005. *Petrografia e geocronologia da borda ENE do Granito Serra da Queimada e da borda SE do Granito Bom Jardim, Província Estanífera do Sul do Pará*. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.

Pinho S.C.C. 2009. *Geologia, petrografia, geoquímica do granito Bom Jardim, região de São Félix do Xingu, Província Mineral de Carajás*. MS Dissertation, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 135 p.

Rivalenti G., Mazzuchelli M., Girardi V.A.V., Cavazzini G., Finatti C., Barbieri M. A., Teixeira W. 1998. Petrogenesis of the Paleoproterozoic basaltic andesite-rhyolite dykes association in the Carajás region, Amazonian craton. *Lithos*, **43**: 235-265.

Rocha Junior. G.L.D. 2004. *Caracterização petrográfica do granito paleoproterozoico Marajoara, terreno granito-greenstone de Rio Maria, SE do Estado do Pará*. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 46 p.

Rocha K.K.N. 2011. *Variações morfológicas e texturais de quartzo do Granito Antonio Vicente, Província Estanífera do sul do Pará, reveladas através de imagens de MEV-Catodoluminescência*. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 62 p.

Rodrigues E., Lafon J.M., Scheller T. 1992. Geocronologia Pb-Pb da Província Mineral de Carajás: Primeiros resultados. In: SBG, 32º Congr. Bras. Geol., São Paulo, *Anais[...]*, v. 1, p. 183-184.

Rolando A.P. & Macambira M.J.B. 2002. Geocronologia dos granitoides arqueanos da região da Serra do Inajá, novas evidências sobre a formação da crosta continental no sudeste do Cráton Amazônico, SE Pará. In: SBG, 41º Congresso Brasileiro de Geologia, João Pessoa. *Anais[...]* João Pessoa, p. 525.

Rolando A.P. & Macambira M.J.B. 2003. Archean crust formation in Inajá range area, SE of Amazonian craton, Brazil, based on zircon ages and Nd isotopes. In: South American Symposium on Isotope Geology, 4, Salvador. *Expanded Abstracts[...]* Salvador, 1 CD-ROM.

Sá C.A.S. 1985. Esboço da geologia da área do granito Antônio Vicente, São Félix do Xingu (Pa). In: SBG, 2º Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém. *Anais[...]*, Belém, v.2, p. 182-191.

Santos D.B., Fernandes P.E.C.A., Dreher A.M., Cunha F.M.B., Basei M.A.S., Teixeira W. Geologia In: BRASIL. DNPM. Projeto RADAM. *Folha SB.21 Tapajós*, Rio de Janeiro, 1975 (Levantamento de Recursos Naturais, 7).

Santos J.O.S. 2003. Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. In: Bizzi L.A. et al. (ed.). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG*. Brasília,DF, CPRM-Serviço Geológico do Brasil, p. 169-226.

Santos J.O.S., Hartmann L.A., Gaudette I.E., Groves D.I., McNaughton N.J., Fletcher 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**: 453-488.

Santos M.J.P., Lamarão C.N., Lima P.H.A., Galarza M.A., Mesquita J.C.L. 2013. Granitoides arqueanos da região de Água Azul do Norte. Província Carajás, sudeste do estado do Pará: petrografia, geoquímica e geocronologia. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências Naturais*, **8** (3): 325-354.

Santos M.N. & Oliveira D.C. 2016. Rio Maria granodiorite and associated rocks of Ourilândia do Norte – Carajás Province: Petrography, geochemistry and implications for sanukitoid petrogenesis. *Journal of South American Earth Sciences*, **72**: 279-301.

Santos R.F.S., Oliveira D.C., Silva F.F. 2018. Geocronologia U-Pb, classificação e aspectos evolutivos do Granito Marajoara, Província Carajás. *Geologia USP. Série Científica*, **18**: 89-124.

Santos M.R. 2020. *Petrografia e Geoquímica do Granito Manda Saia, SE do Pará*. MS Dissertation, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 42 p.

Santos, R.A. 1999. Controle estrutural das mineralizações de ouro da Província Mineral do Tapajós. Síntese da análise estrutural dos prospectos. Salvador, CPRM/DIGEOP.

Sarjoughian F., Kananian A., Ahmadian J., Murata M. 2015. Chemical composition of biotite from the Kuh-e Dom Pluton, Central Iran: implication for granitoid magmatism and related Cu–Au mineralization. *Arabian Journal of Geosciences*, **8**: 1521-1533.

Selby D. & Nesbitt B.E. 2000. Chemical composition of biotite from the Casino porphyry Cu–Au–Mo mineralization, Yukon, Canada: evaluation of magmatic and hydrothermal fluid chemistry. *Chemical Geology*, **171**: 77-93.

Silva C.R.P. & Oliveira D.C. 2013. Geologia, geoquímica e geocronologia do Diopsídio-Norito Pium, Província Carajás, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, **8** (3): 355-382.

Silva Junior. R.O., Dall’Agnol R., Oliveira E.P. 1999. Geologia, petrografia e geoquímica dos diques proterozoicos da região de Rio Maria, Sudeste do Pará. *Geochimica Brasiliensis*. **13** (2): 163-181.

Silva F.F., Oliveira D.C., Antonio P.Y., Dagrella Filho M.S., Lamarão C.N. 2016. Bimodal magmatism of the Tucumã area, Carajás province: U-Pb geochronology, classification and processes. *Journal of South American Earth Sciences*, :94-114.

Silva J.S. 2018. *Granito Porquinho, Domínio Tapajós: Exemplo de magmatismo alcalino-peralcalino e considerações metalogenéticas*. MS Dissertation, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 71 p.

Silva L.R., Oliveira D.C., Santos M.N.S. 2018. Diversity, origin, and tectonic significance of the Mesoarchean granitoids of Ourilândia do Norte, Carajás Province (Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, **82**: 33-61.

Soares C.M. *Estudo das relações de contato do granodiorito Rio Maria com os granitos Jamon e Musa e com diques do Proterozoico*. 1996. MS Dissertation, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 208 p.

Souza Z.S., Potrel A., Lafon J.M., Althoff F.J., Pimentel M.M., Dall'Agnol R., Oliveira C.G. 2001. Nd, Pb and Sr isotopes in the Identidade Belt, an Archean greenstone belt of Rio Maria region (Carajás Province, Brazil): implications for the geodynamic evolution of the Amazonian craton. *Precambrian Research*, **109** (3-4): 293-315.

Souza V.S. & Botelho N.F. 2009. Composição química e isótopos de oxigênio em cassiterita e wolframita nos greisens do albita granito Palanqueta, depósito de estanho do Bom Futuro (RO). *Revista Brasileira de Geociências*, **39**: 694-703.

Speer J.A. 1984. Micas in igneous rocks. In: Bailey S. W. (ed.). *Micas*. [S.l., s.n] p. 299-356. (Review in *Mineralogy*, 13).

Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, **22** (3): 174-182.

Teixeira M.F.B. Dall'Agnol R., Santos J.O.S, Oliveira D.C., Lamarão C.L., McNaughton N.J. 2018. Crystallization ages of Paleoproterozoic A-type granites of Carajás province, Amazon Craton: constraints from U-Pb geochronology of zircon and titanite. *Journal of South American Earth Sciences*, **88**: 312-331.

Teixeira N.P. & Dall'Agnol R. 1991. Geologia e petrografia do Maciço Granítico Antonio Vicente. Região de São Félix do Xingu/PA. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciência da Terra*, **3**: 45-73.

Teixeira N.P. & Andrade W.L.G. 1992. Caracterização Petrográfica dos stocks graníticos Benedita e Ubim/Sul. Região de São Felix do Xingu/ PA. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências da Terra*, **4**: 3-33.

Teixeira N.P., Bettencourt J.S., Moura C.A.V., Dall'Agnol R. 1998. Pb/Pb and Sm-Nd constraints of the Velho Guilherme intrusive suite and volcanic rocks of the Uatumã Group. South-Southeast Pará-Brasil. In: Van Schmus, W.R., Brown, B.A., Mudrey, M.G. Jr. (Eds.), *Proterozoic Granite Systems of the Penokean Terrane in Wisconsin, USA*. IGCP Project 426 International Field Conference, September 13/19, 1998. *Wisconsin Geol. Nat. Hist. Surv. Open File Rep.* p. 178-180.

Teixeira N.P. 1999. *Contribuição ao estudo das rochas granitoides e mineralizações associadas da Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará*. PhD Thesis, Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 508 p.

Teixeira N.P. & Bettencourt J.S. 2000. Velho Guilherme Intrusive Suite. Pará, Brazil: petrogenetic aspects and associated mineralization. *In: Intern. Geol. Congr.*, 31, Rio de Janeiro. *Abstract[...]* Granite Systems and Proterozoic Lithospheric Processes IGCP-426, IAGC/IMA. 1 CDROM.

Teixeira N.P., Fernandes C.M.D., Moura C.A.V.; Pinho S.C.C., Bettencourt J.S. 2002a. Geologia, geoquímica, geocronologia e isótopos de Sm-Nd de rochas vulcânicas paleoproterozoicas do Grupo Uatumã ocorrentes na região de São Félix do Xingu, Província Mineral de Carajás, Cráton Amazônico, Brasil. *In: SBG, 2º Simp. sobre Vulc. e Amb. Assoc.*, Belém, *Boletim de Resumos e Roteiro da Excursão*, p.28.

Teixeira N.P., Bettencourt J.S., Moura C.A.V., Dall'Agnol R., Macambira E.M.B. 2002b. Archean crustal sources for Paleoproterozoic tin-mineralized granites in the Carajás Province, SSE Pará, Brazil: Pb-Pb geochronology and Nd isotope geochemistry. *Precambrian Research*, **119** (1-4): 257-275.

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 paleoproterozoicos da Suíte Granítica Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **35**: 217- 226.

Vale A.G. & Neves P.N. 1994. O granito Redenção: estado do Pará. *In: SBG, 38º Congresso Brasileiro de Geologia, Balneário Camboriú. Resumos[...]*. Balneário Camboriú, v. 1, p. 149-150.

Vasquez L.V., Rosa-Costa L.R., Silva C.G., Ricci P.F., Barbosa J.O., Klein E.L., Lopes E.S., Macambira E.B., Chaves C.L., Carvalho J.M., Oliveira J.G., Anjos G.C., Silva H.R. 2008. *Geologia e recursos minerais do Estado do Pará: sistema de informações geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará*. Belém, CPRM.

Wang R.C., Xie L., Chen J., Yu A., Wang L., Lu J., Zhu J. 2013. Tin-carrier minerals in metaluminous granites of the western Nanling Range (Southern China): Constraints on processes of tin mineralization in oxidized granites. *Journal of Asian Earth Sciences*, **74**: 361-372.

Whalen J.B., Currie K.L., Chappell B.W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **95**: 407-419.

Winter J.D. *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology*. New York, Prentice Hall, 2010.

Wones D.R. 1989. Significance of the assemblage titanite-magnetite-quartz in granitic rocks. *Am. Mineralogist*, **74**: 744-749.