



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LETÍCIA BRIGLIA RAMOS ARANTES

**GRANITO SERRA ALTA, PROVÍNCIA AURÍFERA DO TAPAJÓS:
PETROGRAFIA E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.**

Belém, Pará

2016

LETÍCIA BRIGLIA RAMOS ARANTES

**GRANITO SERRA ALTA, PROVÍNCIA AURÍFERA DO TAPAJÓS:
PETROGRAFIA E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Geologia da Universidade Federal do
Pará – UFPA, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Geologia.
Orientador: Prof. Dr. Claudio Nery
Lamarão.
Coorientador: Dr. Marcelo Lacerda
Vasquez.

Belém, Pará

2016

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Arantes, Leticia Briglia Ramos, 1991-

Granito Serra Alta, Província Aurífera do Tapajós:
petrografia e microscopia eletrônica de varredura / Leticia
Briglia Ramos Arantes. – 2016.

58 f : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Claudio Nery Lamarão

Coorientador: Marcelo Lacerda Vasquez

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) –
Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências,
Faculdade de Geologia, Belém, 2016.

1. Petrologia - Tapajós, Região (PA). 2. Granito -
Tapajós, Região (PA). 3. Microscopia Eletrônica de
Varredura - Tapajós, Região (PA). I. Título.

CDD 22. ed.: 552.098115

LETÍCIA BRIGLIA RAMOS ARANTES

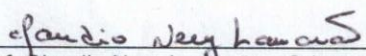
**GRANITO SERRA ALTA, PROVÍNCIA AURÍFERA DO TAPAJÓS:
PETROGRAFIA E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.**

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

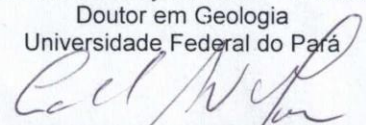
Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

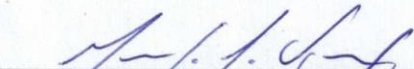
Banca examinadora:



Prof. Claudio Nery Lamarão - Orientador
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Cândido Augusto Veloso Moura - Relator
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará



Dr. Marcelo Lacerda Vasquez – Coorientador
Doutor em Geologia
Companhia de Pesquisas de Recursos
Minerais

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho, em especial:

- A Universidade Federal do Pará, que através do Instituto de Geociências me deu condições para concluir minha graduação;
- A CPRM, por ter cedido parte do acervo referente ao Projeto São - Domingos Jardim do Ouro para realização deste trabalho;
- Ao professor Claudio Nery Lamarão por toda dedicação e auxílio a mim prestados desde o princípio dos nossos trabalhos;
- Ao Dr. Marcelo Lacerda Vasquez pelas inúmeras oportunidades oferecidas e orientações;
- A todos os membros do GPPG, grupo de pesquisa através do qual foi possível a realização deste trabalho;
- Aos meus pais, por toda dedicação e confiança a mim investidos no decorrer destes anos;
- À minha avó Meire;
- Ao meu namorado Paulo Vitor, por todo o amor e cumplicidade destes anos;
- À minha amiga Janylle Trindade, pela amizade e apoio sinceros;
- Aos também amigos Lorena de Freitas, Daiveson (Neymar), Meireani Gonsalves, Adson Pinheiro, Keren Amanda e Edson Santos por todo o apoio e incentivo;
- Ao Laboratório de Microanálises pelas análises de MEV realizadas;
- A Química Industrial Ana Paula Picanço Corrêa, técnica e operadora do MEV no Laboratório de Microanálises;

Muito obrigada

“O problema do mundo é que os tolos e fanáticos estão sempre cheios de convicção, enquanto os sábios estão sempre cheios de dúvidas.”

Bertrand Russell

RESUMO

O Granito Serra Alta (GSA) é representado por um batólito de aproximadamente 35 km de comprimento por 1,0 km de largura, alongado na direção NW-SE e aflorante às proximidades do Rio Tocantinzinho; encontra-se encaixado entre rochas do Complexo Cuiú-Cuiú e das suítes Creporizão e Parauarí. Está localizado na porção centro-norte da Província Aurífera do Tapajós (PAT), na porção mais oriental do Domínio Tapajós (DTJ), próximo ao limite com o Domínio Iriri-Xingu. O Granito Serra Alta é formado predominantemente por rochas sienograníticas e quartzo-sieníticas, isotrópicas, de coloração rosada, leucocráticas a hololeucocráticas de granulação média a grossa, constituídas essencialmente por feldspato-alcálico, quartzo e plagioclásio, contendo rara biotita e anfibólio cloritizados como minerais varietais, além de zircão, apatita, allanita e minerais opacos como principais fases acessórios. É correlacionado aos sienogranitos e feldspato-alcálico-granitos da Suíte Intrusiva Maloquinha, os quais apresentam idade de cristalização Pb-Pb em zircão em torno de 1,88 Ga e grande distribuição na PAT. Estudos petrográficos que tiveram como base descrições macroscópicas, microscópicas e análises de MEV/EDS possibilitaram a separação preliminar do granito em três fácies petrográficas distintas: anfibólio-biotita-sienogranito (ABSG), biotita-sienogranito (BSG) e anfibólio-biotita-quartzo-sienito (ABQS), sendo as rochas das fácies ABSG e BSG mais recorrentes ao longo do corpo, sobretudo na sua porção NW, enquanto as rochas da fácies ABQS ocorrem mais pontualmente nas porções central e SE do corpo.

Palavras-chave: Província Aurífera do Tapajós. Granito Serra Alta. Petrografia.

ABSTRACT

The Serra Alta Granite (SAG) is represented by a batholith of approximately 35 km long by 1.0 km wide, elongated in the NW-SE direction and outcropping in the vicinity of Tocantinzinho River; it is wedged between rocks of the Cuiú-Cuiú Complex and Creporizão and Parauari suites. It is located in the central-north portion of the Tapajós Gold Province (TGP) in the easternmost portion of the Tapajós Domain (TJD), near the Irixi-Xingu Domain. The SAG is formed predominantly by isotropic syenogranites and quartz syenite of pink color, leucocratic to hololeucocratic, medium to coarse grained essentially formed by alkali feldspar, quartz and plagioclase containing rare chloritized biotite and amphibole as varietal minerals; zircon, apatite, allanite and opaque minerals are the main accessory phases. The SAG is correlated with syenogranites and feldspar-alkaline granites of the Maloquinha Intrusive Suite, which present Pb-Pb zircon crystallization age around 1.88 Ga and wide distribution in the TGP. Petrographic studies based on macroscopic and microscopic descriptions, besides analyzes of SEM/EDS allowed a preliminary separation of the granite in three distinct petrographic facies: amphibole-biotite-syenogranite (ABSG), biotite-syenogranite (BSG), and amphibole-biotite-quartz-syenite (ABQS). The rocks of the ABSG and BSG facies are most recurrent along the body, especially in its NW portion, while the rocks of ABQS facies are restricted to central and SE portions of the body.

Keywords: Tapajós Gold Province. Maloquinha Intrusive Suite. Petrography.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico mostrando os domínios tectônicos da Província Tapajós-Parima e localização da área de estudo..... 15
- Figura 2 - Mapa geológico das folhas São Domingos e Jardim do Ouro, com localização do Granito Serra Alta e amostras coletadas para este estudo. 16
- Figura 3 – Mapa do Domínio Tapajós e adjacências. 23
- Figura 4 – Aspectos macroscópicos gerais das rochas do GSA: (A) e (B) são representativas da fácies ABSG de coloração rosada e textura fanerítica média a grossa; (C) é representativa da fácies BSG mostrando cor rosada e textura porfírica média; (D) características da fácies ABQS, também de coloração rosada, mostrando textura heterogranular média. Em termos gerais as rochas são formadas essencialmente formadas por feldspato alcalino e quartzo. Plg – plagioclásio; Afs – feldspato alcalino; Qtz – quartzo. Abreviações conforme Whitney & Evans (2010). .33
- Figura 5 – Aspectos microscópicos gerais das fácies ABSG, BSG e ABQS. (A) e (B) biotita alterando para clorita com inclusões de minerais opacos, em contato com allanita e titanita; (C) biotita entre cristais de plagioclásio e feldspato alcalino; (D) e (E) biotita alterada para clorita, com algumas inclusões de apatita e opacos; (F) anfibólio alterado para clorita. Bt – biotita; Amp – anfibólio; Opq – minerais opacos; Aln – allanita; Ttn – titanita; Plg – plagioclásio; Afs – feldspato alcalino; Qtz – quartzo; Abreviações conforme Whitney & Evans (2010). 34
- Figura 6 - Imagens de elétrons retroespalhados mostrando cristais anédricos e corroídos de Biotita: (A) contendo inclusões de apatita; (B) inclusões de zircão e apatita; (C) mantendo contato reto com cristais de titanita; (D) biotita alterada para clorita associada à ilmenita, clorita e óxido de ferro. Bt – Biotita; Ap – Apatita; Zr – Zircão; Clr – Clorita; Ilm – Ilmenita; Ttn – Titanita. Abreviações conforme Whitney & Evans (2010)..... 36
- Figura 7 - Diagramas (A) $TiO_2-FeO+MnO-MgO$ (NACHIT, 1986, óxidos em % em peso) para as biotitas do GSA..... 40
- Figura 8 - Diagramas $MgO-FeO-Al_2O_3$ e $Al_2O_3 \times MgO$ (ABDEL-RAHMAN, 1994) para classificação de biotitas do GSA, mostrando em ambos a incidência dominante das mesmas no campo peraluminoso..... 41
- Figura 9 - Imagens de EDS mostrando cristais subédricos a anédricos de anfibólio: (A) e (B) associado a minerais opacos, ilmenita e zircão. Ilm – Ilmenita; Zr – Zircão; Amp – Anfibólio. Abreviações conforme Whitney & Evans (2010). 42
- Figura 10 - Diagramas de classificação de anfibólios (LEAKE *et al.*, 1997) das rochas dos pontos CE-R-250 e CE-R250B do GSA. 44
- Figura 11 - Imagens de MEV-CL de zircões representativos do GSA, (amostras CE-R238 e CE-R-252), com hábito bipiramidal, zoneamento magmático bem definido, finas inclusões (não identificadas) e ausência de metamitização evidente..... 45
- Figura 12 - (A) Diagrama mostrando as razões Zr/Hf encontradas em zircões e (B) diagrama Zr/Hf x Hf+Y+Th+U (% peso) mostrando os campos de variações composicionais de zircões de granitos mineralizados e não mineralizados (LAMARÃO *et al.*, 2007); (C) e (D) os mesmos diagramas mostrando as variações composicionais dos zircões analisados do GSA. 48

| | |
|---|----|
| Figura 13 - Imagens de elétrons retroespalhados de minerais opacos e suas associações: (A) Ilmenita e cristais anédricos de zircão; (B) cristal anédrico corroído de magnetita; (C) magnetita e cristais de zircão; (D) Cristais anédricos corroídos de Ilmenita. Ilm – Ilmenita; Mt - Magnetita; Zr – Zircão. Abreviações conforme Whitney & Evans (2010)..... | 49 |
| Figura 14 - Diagrama classificatório (LEAK <i>et al.</i> , 1997) para anfibólios da Suíte Planalto, Província Carajás, mostrando análises de EDS-WDS. | 51 |
| Figura 15 - Diagramas de substituições elementares para anfibólios da Suíte Planalto, Província Carajás, mostrando análises de EDS-WDS. | 52 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1- Síntese dos dados geocronológicos do Domínio Tapajós..... | 28 |
| Tabela 2 - Análises de MEV-EDS representativas de biotitas do Granito Serra Alta, Província Aurífera do Tapajós. | 37 |
| Tabela 4 - Análises de MEV-EDS representativas de anfibólios do Granito Serra Alta, Província Aurífera Tapajós. | 43 |
| Tabela 5 - Análise de MEV-EDS representativas dos zircões do ponto CE-R-238 do Granito Serra Alta, Província Aurífera do Tapajós. | 46 |
| Tabela 6 - Análise de MEV-EDS representativas dos zircões do ponto CE-R-252 do Granito Serra Alta, Província Aurífera do Tapajós. | 47 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 Apresentação e Localização | 14 |
| 2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA | 17 |
| 3 OBJETIVOS | 18 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS | 19 |
| 4.1 Trabalhos de Campo | 19 |
| 4.2 Metodologias de Laboratório | 19 |
| 4.2.1 Pesquisa bibliográfica..... | 19 |
| 4.2.2 Petrografia..... | 19 |
| 4.2.3 Análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) | 20 |
| 5 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL | 22 |
| 5.1 Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico | 22 |
| 5.2 Domínio Tapajós | 25 |
| 5.2.1 Associações de Embasamento | 25 |
| 5.2.2 Vulcano-plutonismo paleoproterozóico | 26 |
| 5.2.3 Coberturas Sedimentares Paleoproterozoicas | 27 |
| 5.2.4 Magmatismo Máfico Proterozoico e Fanerozoico..... | 27 |
| 6 RESULTADOS | 28 |
| 6.1 Geologia do Granito Serra Alta | 28 |
| 6.2 Petrografia | 29 |
| 6.2.1 Variedades Petrográficas | 29 |
| 6.2.1.1 Anfibólio-Biotita-Sienogranito | 29 |
| 6.2.1.2 Biotita-Sienogranito | 30 |
| 6.2.1.3 Anfibólio-Biotita-Quartzo Sienito..... | 31 |
| 6.2.1.4 Veio de Quartzo | 32 |
| 6.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) | 35 |
| 6.3.1 Biotita | 35 |
| 6.3.2 Anfibólio..... | 42 |
| 6.3.3 Zircão | 44 |
| 6.3.4 Opacos | 49 |
| 7. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES | 50 |
| 7.1 Geologia e Petrografia | 50 |

| | |
|--|-----------|
| 7.2 Análises de MEV-EDS vs Microsonda-WDS..... | 50 |
| 7.3 Análises de biotita e anfibólio do GSA..... | 52 |
| 7.4 Análises de zircão | 52 |
| REFERÊNCIAS..... | 54 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação e Localização

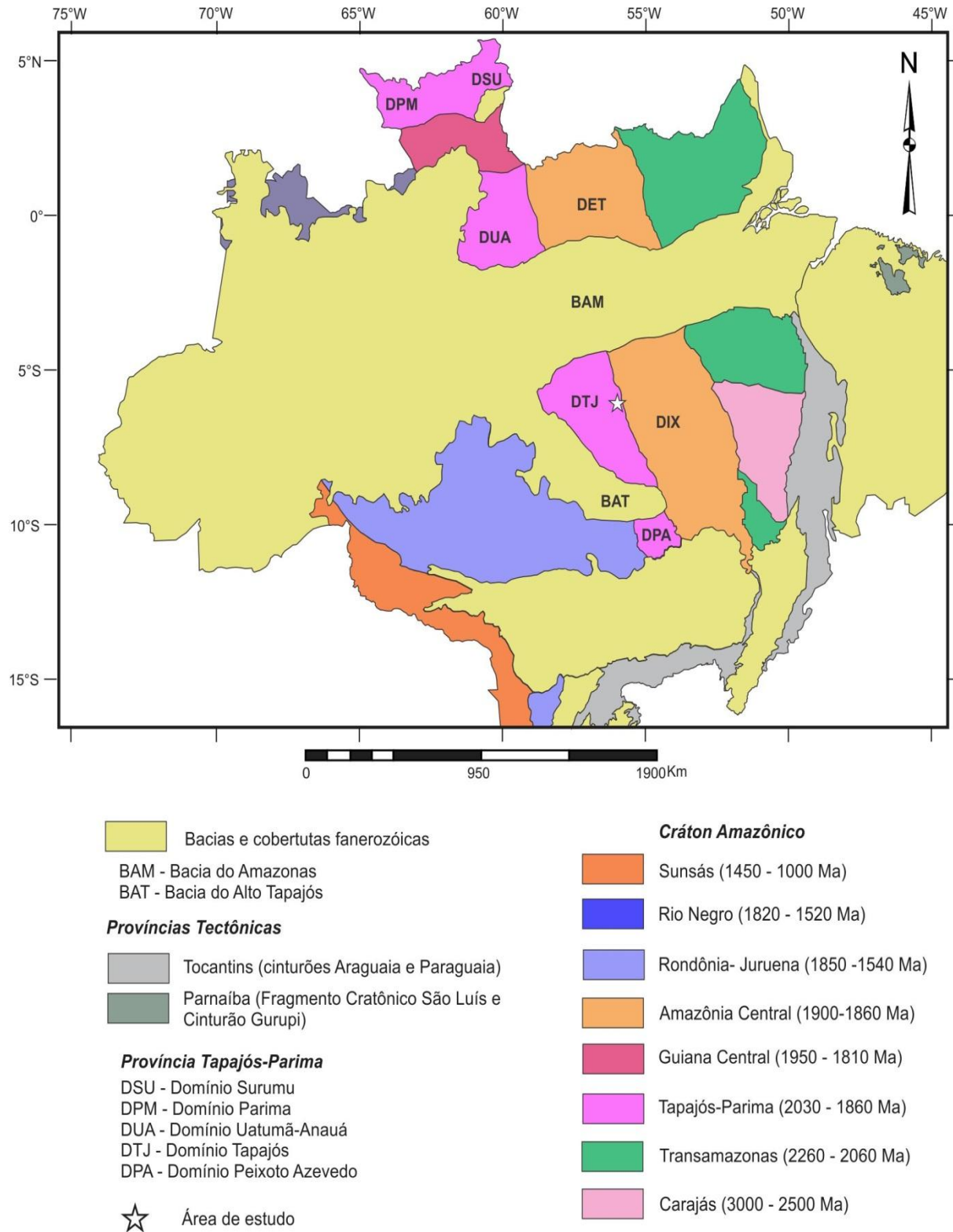
O avanço no conhecimento a respeito da evolução da porção central do Cráton Amazônico trouxe novas propostas sobre sua compartimentação tectônica, sobretudo devido às contribuições das análises de dados isotópicos e geocronológicos. Inicialmente esta região do cráton foi denominada Província Amazônia Central e consistia de rochas com $> 2,1$ Ga (AMARAL, 1974; CORDANI *et al.*, 1979).

O Domínio Tapajós é o maior segmento da Província Tapajós-Parima (Figura 1), e sua orientação NW-SE reflete as principais falhas e zonas de cisalhamento transcorrentes que controlaram o posicionamento da maioria das intrusões ígneas e depósitos vulcânicos e sedimentares da metade meridional do domínio (VASQUEZ *et al.*, 2015).

Os granitos da Suíte Intrusiva Maloquinha tem ampla distribuição no Domínio Tapajós, variando de stocks a batólitos geralmente de orientação NW-SE a N-S. Constituem, em geral, sienogranitos e feldspato-alcálico-granitos, mais raramente quartzo-sienitos, monzogranitos e raros quartzo-monzonitos, classificados como granitos tipo A, metaluminosos a peralcalinos, típicos de ambiente extensional intracontinental (VASQUEZ; RICCI; KLEIN, 2002; LAMARÃO *et al.*, 2002).

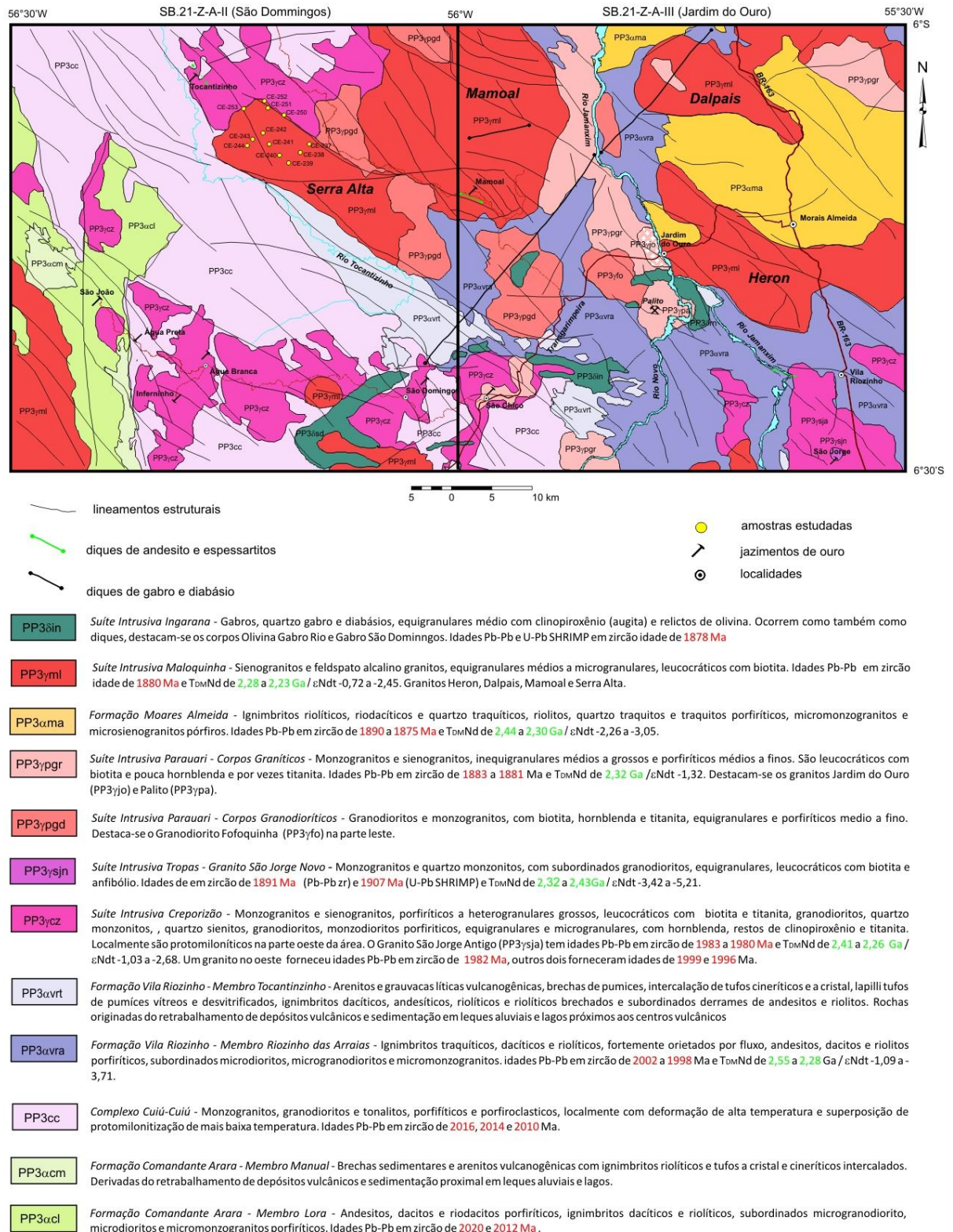
Apesar dos trabalhos desenvolvidos que correlacionam as rochas do Granito Serra Alta aos demais granitos da Suíte Intrusiva Maloquinha, ainda não existem estudos definitivos a respeito do mesmo. O Granito Serra Alta (GSA), localizado na porção centro-norte da Província Aurífera do Tapajós (PAT), na porção mais oriental do Domínio Tapajós (DTJ), próximo ao limite com o Domínio Irixi-Xingu (VASQUEZ *et al.*, 2008) encontra-se situado na área correspondente à Folha São Domingos (AS.21-Z-A-II), referente ao projeto São Domingos-Jardim do Ouro (Figura 2), desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM, Belém-PA, nos domínios da Província Aurífera Tapajós.

Figura 1 - Províncias geocronológicas do Crátom Amazônico mostrando os domínios tectônicos da Província Tapajós-Parima e localização da área de estudo.



Fonte: Modificado de Vasquez *et al.*, (2008).

Figura 2 - Mapa geológico das folhas São Domingos e Jardim do Ouro, com localização do Granito Serra Alta e amostras coletadas para este estudo.



Fonte: Modificado de Vasquez *et al.*, (2015).

2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

O Granito Serra Alta (GSA) está localizado na porção centro-norte da Província Aurífera do Tapajós (PAT), região mais oriental do Domínio Tapajós (DTJ), próximo ao limite com o Domínio Iriri-Xingu. É representado por um batólito de aproximadamente 35 km de comprimento por 5 km de largura, alongado na direção NW-SE e aflorante às proximidades do Rio Tocantinzinho; encontra-se encaixado entre rochas do Complexo Cuiú-Cuiú e das suítes Creporizão e Parauarí.

A realização deste trabalho decorreu da ausência completa de informações geológicas do GSA, o que impossibilitava qualquer tipo de correlação entre ele e outros granitos importantes da PAT como, por exemplo, os granitos das suítes intrusivas Creporizão e Parauarí. A realização de estudos petrográficos de detalhe macroscópico e microscópico por luz transmitida, a caracterização de sua mineralogia acessória realizada através de imagens de elétrons retroespalhados-catodoluminescência (ERE-CL) e análises pontuais semiquantitativas por espectrometria por dispersão de energia (MEV-EDS), trouxeram informações importantes sobre o magmatismo granítico desta porção do Cráton Amazônico.

3 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo principal contribuir para o avanço do conhecimento geológico do GSA e o magmatismo granítico desta porção do Cráton Amazônico, a partir da realização de estudos petrográficos e de microscopia eletrônica de varredura (MEV-EDS). Os objetivos específicos foram:

- 1- Realizar estudos macro e microscópicos por luz transmitida de doze amostras do GSA, análises modais e classificação das diferentes rochas no diagrama QAP (STRECKEISEN, 1976);
- 2- Caracterização geoquímica através de análises de MEV-EDS e classificação em diagramas específicos de anfibólios e biotitas presentes no GSA;
- 3- Caracterizaras fases acessórias, em especial zircão e opacos, a partir de imagens de ERE-CL e análises químicas pontuais por MEV-EDS.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Trabalhos de Campo

O trabalho não contou com atividades de campo, uma vez que amostras e lâminas delgadas e polidas pertencentes ao acervo da CPRM-Belém foram disponibilizadas. A área onde está localizado o GSA faz parte do projeto de mapeamento da CPRM-Belém nas Folhas São Domingos e Jardim do Ouro, PAT, na escala de 1:100.000. Este projeto de mapeamento contou com aerogeofísica e uma significativa amostragem ao longo das vias de acesso.

4.2 Metodologias de Laboratório

4.2.1 Pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi realizada antes e durante as fases de obtenção de dados e envolveu a leitura de artigos sobre as Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico e sua evolução (TASSINARI; MACAMBIRA, 1999, 2004), teses, dissertações e artigos específicos sobre as suítes Maloquinha, Parauarí e Creporizão situadas na PAT (LAMARÃO *et al.*, 2002, 2005; 2004; VASQUEZ *et al.*, 2008a, b). Livros, apostilas e artigos envolvendo princípios básicos e aplicações em MEV (REED, 1996; FRIEL, 2003; LAMARÃO *et al.*, 2007, 2012, 2014), bem como artigos sobre química mineral de anfibólio e biotita e suas aplicações (NACHIT *et al.*, 1985; ABDEL-RAHMAN, 1994; LEAKE *et al.*, 1997; DALL'AGNOL *et al.*, 1999; LAMARÃO; DALL'AGNOL, 2004) também foram consultados.

4.2.2 Petrografia

As amostras (12) foram cedidas pela CPRM-Belém para serem descritas macroscopicamente e posteriormente suas lâminas delgadas e polidas correspondentes foram estudadas em microscopia de luz transmitida com o objetivo de identificar a mineralogia essencial, varietal e acessória, assim como descrever aspectos texturais, feições de alteração presentes e classificação no diagrama QAP (MACKENZIE *et al.*, 1982; STRECKEISEN, 1976; LE MAITRE, 2002). As análises modais foram realizadas segundo Chayes (1956), porém com contagem modal estimada dos minerais. As principais feições foram fotomicrografadas para fins ilustrativos deste trabalho.

4.2.3 Análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para as análises em MEV foram selecionadas 7 (sete) lâminas polidas de diferentes fácies do GSA. As análises foram realizadas no Laboratório da Superintendência Regional de Belém da CPRM – Serviço Geológico do Brasil, sob orientação do Dr. Marcelo Lacerda Vasquez. O MEV utilizado foi um LS15 da Zeiss, sendo utilizado o modo de Alto Vácuo ($3,0 - 1,5 \cdot 10^{-5}$ mPa) e filamento de Tungstênio, para obtenção de imagens de elétrons retroespalhados (ERE), catodoluminescência (CL) e análises pontuais semiquantitativas de espectrometria por dispersão de energia (EDS).

No MEV foram caracterizados através de imagens de ERE e análises de EDS anfibólios, biotitas e minerais acessórios, incluindo zircão. As análises de anfibólios e biotitas foram realizadas no MEV Zeiss-1430 do Instituto de Geociências da UFPA sob as seguintes condições: corrente do feixe de elétrons = 90 μ a, voltagem de aceleração constante = 20 KV, distância de trabalho = 15 mm. As análises de EDS utilizaram o padrão ZAF (Z=n^o atômico, A=absorção atômica, F=fluorescência de Raios-X), que já vem instalado com o software EDS 2008 e faz correções entre pico e background do elemento. O tempo de duração das análises de EDS foi de 30s com 4000 a 5000 contagens/segundo para cada análise. Os cálculos das fórmulas estruturais desses dois minerais foram feitos manualmente com o auxílio do *software* Excel 2007 com base nas planilhas de Deer, Howie e Zussman (2013).

O estudo morfológico e composicional de cristais de zircão foi realizado em seções polidas e envolveu imagens de CL e análises de EDS. De posse das imagens de CL, as análises de EDS foram realizadas em regiões do cristal previamente selecionadas, evitando-se fraturas, inclusões, zonas alteradas e núcleos metamíticos. Foram analisados O, Si, Ca, Y, Zr, Nb, Hf, Ta, Th e U. Os resultados foram tratados em diagramas geoquímicos específicos objetivando interpretações petrológicas e/ou metalogenéticas e comparados com análises de zircão de outros corpos graníticos.

As seções polidas de cristais de zircão foram montadas em seções de resina epoxy a frio. Após o desbaste e polimento dos grãos, as seções foram cobertas por uma película de ouro de 5 μ m de espessura. As imagens de catodoluminescência dos cristais de zircão foram obtidas com um detector EVO15RHS-CL, voltagem de

15 kV, intensidade do feixe entre 550 e 650 nA, distância de trabalho de 10 mm e ampliação entre 500 e 1000 vezes.

Para obter imagens por elétrons retroespalhados (*Backscattered Electron* - BSE) e fazer análises da composição química dos cristais de zircão por espectrometria por dispersão de energia (*Energy Dispersive Spectrometry* – EDS) de raios X as seções polidas foram cobertas por uma película de ouro de 20 µm de espessura. As imagens BSE dos grãos foram obtidas com 20 kV, corrente de chegada entre 70 e 90 pA, distância de trabalho de 8,5 mm e ampliação entre 50 e 2000 vezes.

As análises de EDS de zircão foram obtidas através de um detector X-Act SSD 10mm² da *Oxford Instruments*. Os resultados analíticos foram adquiridos a uma distância de trabalho de 8,5mm, com voltagem de 20kV, corrente de chegada de 330 a 400 pA para manter uma taxa de contagem de saída de cerca de 2000 cps. Os resultados obtidos foram padronizados por espectros de energia de padrões do programa AZTec da *Oxford Instruments*. Resultados com desvio padrão acima de 10% da concentração do elemento foram descartados do cálculo da composição dos minerais, podendo esses estar presentes nos minerais em baixas concentrações como impurezas aprisionadas no retículo cristalino ou marcar incipiente alteração secundária dos minerais analisados.

5 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

5.1 Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico

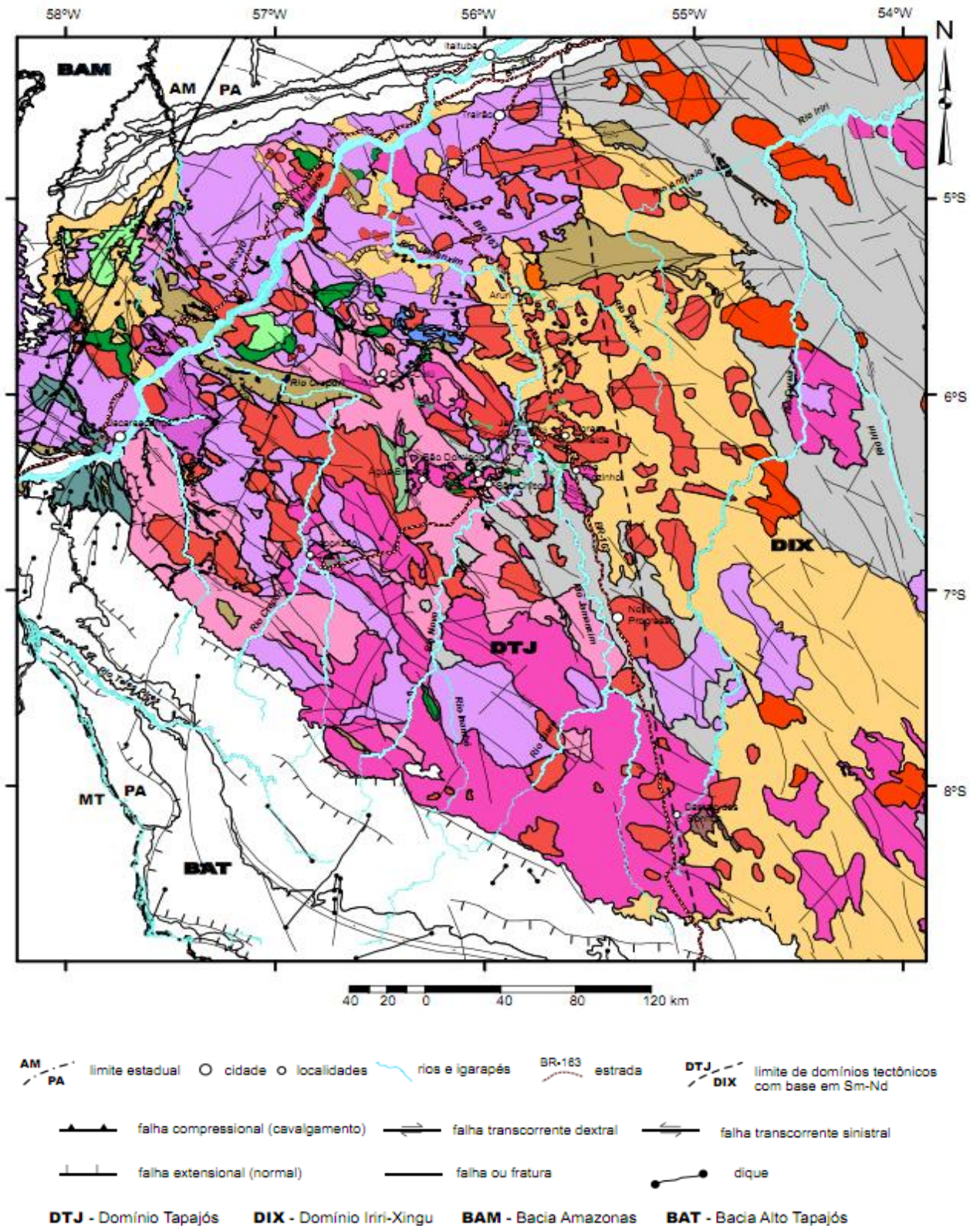
Segundo Almeida e Hassui (1984) a Plataforma Sul-Americana é formada por plataformas pré-cambrianas e bacias sedimentares que juntas abrangem uma superfície de aproximadamente 6.000.000 km² (ALMEIDA *et al.*, 1976; 1977; 1981). É nela que está inserido o Cráton Amazônico, ocupando predominantemente o território brasileiro. Este abrange o norte do país, estendendo seus limites para Venezuela, Guiana, Suriname e Guiana Francesa, sendo estes encobertos por coberturas fanerozóicas. A leste e sudeste é delimitado pelo Cinturão Móvel Araguaia de idade Neoproterozóico e a oeste pela Cadeia Andina (COUTINHO, 2008).

Tassinari & Macambira (1999, 2004), a partir de investigações geocronológicas aliadas a características geotectônicas, *trends* estruturais, proporções litológicas e evidências geofísicas, sugeriram a existência de seis províncias geocronológicas no Cráton Amazônico. Estas províncias geocronológicas foram datadas inicialmente por Rb-Sr cujos dados sugerem uma evolução crustal envolvendo núcleos de idade arqueana, que posteriormente foram amalgamados por cinturões móveis com idades que se relacionam às do Ciclo Transamazônico. Os então fragmentos neoformados foram agregados por uma sucessão de arcos magmáticos de variadas idades. Posteriormente essa área continental foi submetida, na sua porção sudoeste, a dois eventos orogênicos de natureza ensialica, Rondoniana-San Ignácio e Sunsás (TASSINARI, 1996).

Ainda de acordo com Tassinari (1996), as seis províncias geocronológicas foram denominadas, da mais antiga para a mais nova, respectivamente: Província Amazônia Central (2,3 Ga), Província Maroni-Itacaiúnas (2,2-2,95 Ga), Província Ventuari-Tapajós (1,95-1,8 Ga), Província Rio Negro-Juruena (1,8-1,55 Ga), Província Rondoniana-San Ignácio (1,5-1-3 Ga) e Província Sunsás (1,25-1,0 Ga).

Tendo em vista que o Granito Serra Alta está localizado no Domínio Tapajós (Figura 3), neste capítulo serão abordados apenas os aspectos geológicos regionais do mesmo.

Figura 3 – Mapa do Domínio Tapajós e adjacências.



EVENTOS/ASSOCIAÇÕES TECTÔNICAS DO DOMÍNIO TAPAJÓS

| | |
|---|--|
|  | <i>Sedimentação Paleozóica a Cenozóica e Lateritização</i> - rochas pelíticas, pelíticas carbonáceas, psamíticas, carbonáticas das formações paleozóicas das bacias do Amazonas (Siluriano-Permiano) e Alto Tapajós (Devoniano), rochas psamíticas e pelíticas meso-cenozóicas (Cretáceo-Paleoceno), coberturas lateríticas (Neógeno) e aluvionares (Quaternário). |
|  | <i>Magmatismos Toleíticos Tardi-Cambriano e Jurássico</i> - enxames de diques diabásios, toleíticos continental, com 180-200 Ma (Diabásio Cururu ou Penatecaua) e raros com 507 Ma (Diabásio Piranha). Estes eventos marcam a formação dos riftes precursores da bacia do Amazonas e Alto Tapajós no final do Cambriano e os riftes de abertura oceânica no Jurássico. |
|  | <i>Magmatismo Toleítico Calimmiiano</i> - olivina gabros, olivina gabronoritos, olivina diabásios e troctolitos, com idade de 1186 Ma e filiação olivina toleítica continental. As rochas da Suíte Intrusiva Cachoeira Seca estão relacionadas a um ambiente extensional anorogênico do Calimmiiano |
|  | <i>Magmatismo Toleítico Estateriano</i> - soleiras e diques de diabásio, olivina diabásio e microgabros, toleíticos continentais, com idade de 1780 Ma. O Diabásio Crepori é de um ambiente de rifte continental formado no início do Estateriano. |
|  | <i>Plutonismo Félsico Tipo-A Estateriano</i> - feldspato alcalino granitos, quartzo sienitos e feldspato alcalino quartzo sienitos, subordinados leucosienogranitos e monzogranitos, graissens estaníferos, alcalinos (tipo A) com termos peralcalinos (riebeckita), idades de 1786 Ma. O Granito Porquinho é de ambiente extensional intraplaca, marca a formação de um rifte intracontinental no Estateriano. |
|  | <i>Sedimentação Tardi-orosiriana</i> - arenitos, arcóseos, siltitos, argilitos e conglomerados de fonte detrítica de material vulcânico, com níveis de tufos ácidos intercalados. As rochas da Formação Buiçu marcam uma sedimentação fluvial entrelaçada em um rifte continental. |
|  | <i>Plutonismo Félsico Tipo-A de 1882 - 1862 Ma</i> - sienogranitos, monzogranitos, feldspato alcalino granitos e subordinados quartzo sienitos e quartzo monzonitos, alcalinos (tipo A), com idades entre 1882 e 1862 Ma. Os granitos da Suíte Intrusiva Maloquinha são de ambiente extensional intraplaca, um rifte intracontinental. |
|  | <i>Vulcanismo Félsico Tipo-A de 1890- 1869 Ma</i> - Ignimbritos riolíticos, riódacíticos, quartzo traquíticos, derrames de riolitos, quartzo traquitos e traquitos, micromonzogranitos e microsienogranitos, alcalinos (tipo A) com idades de 1890 a 1869 Ma (Formações Moraes Almeida e Salustiano). Associados ocorrem arenitos e brechas vulcanogênicas, tufos a cristal e cinerítico (Formação Aruri). São depósitos vulcânicos efusivos, explosivos e de resedimentação de ambiente extensional intraplaca como um rifte intracontinental. |
| | <i>Plutonismo Máfico de 1887 - 1872 Ma</i> |
|  | - diques de andesitos e lamprófiros (vogesitos, espessartitos e kersantitos), cálcio-alcalinos de alto K a shoshoníticos, cortam os granitos tipo A da Suíte Intrusiva Maloquinha, além de rochas mais antigas. Os Andesito Joel-Mamoal e Lamprofiro Jamanxim são pulsos tardios e |
|  | - gabros, gabronoritos, monzogabros, monzogabros, dioritos e anortositos, cálcio-alcalinos de alto K, com idades entre 1887 e 1878 Ma. As rochas da Suíte Intrusiva Ingarana podem estar relacionadas a um arco magmático maduro ou a um ambiente pós-colonial extensional |
|  | <i>Plutonismo Félsico Tipo-I de 1891 - 1879 Ma</i> - monzogranitos, granodioritos, tonalitos e quartzo monzonitos, basaltos, dacitos e tufos, cálcio alcalinos de alto K, com idades entre 1892 e 1879 Ma. Os granitoides da Suíte Intrusiva Parauari podem estar relacionados a um arco magmático maduro ou a um ambiente pós-colonial extensional. |
|  | <i>Vulcanismo Intermediário de 1898 - 1882 Ma</i> - andesitos, latitos, basaltos, dacitos, traquitos, ignimbritos andesíticos, latíticos e dacíticos, tufos, microdioritos e micromonzonitos, cálcio-alcalinos de alto K a shoshoníticos, com idades entre 1898 e 1882 Ma. São depósitos vulcânicos efusivos e explosivos possivelmente relacionados ao Arco Magmático Tropas. |
|  | <i>Plutonismo Félsico de 1907 - 1893 Ma</i> - tonalitos e monzogranitos, subordinados granodioritos e quartzo monzonitos, cálcio alcalinos normais a alto K com idades entre 1907 e 1893 Ma. Os granitoides da Suíte Intrusiva Tropas, entre estes o Granito São Jorge Jovem, possivelmente compõem um segundo arco magmático de ~ 1900 Ma (Arco Magmático Tropas). |
|  | <i>Plutonismo Félsico de 1997 - 1956 Ma</i> - monzogranitos, sienogranitos e quartzo monzonitos, subordinados granodiorito, quartzo sienitos e monzodioritos, cálcio-alcalinos de alto K e idades entre 1997-1956 Ma. Os granitos da Suíte Intrusiva Creporião podem estar ductilmente deformados (protomilonítica a milonítica) o preservados (ex. Granito São Jorge Antigo). Podem estar relacionados a um arco magmático maduro ou a um ambiente pós-colisional (pós-colisão do Arco Magmatico Cuiú-Cuiú). |
|  | <i>Vulcanismo Félsico de 2002 - 1959 Ma</i> - ignimbritos traquíticos, dacíticos e riolíticos, derrames de andesitos, traquitos, dacitos e riolitos, subordinados microdioritos, microgranodioritos e micromonzogranitos, cálcio-alcalinos de alto K a shoshoníticos, com idades entre 2002 e 1959 Ma (Formação Vila Riozinho - Membro Riozinho das Arraías). Arenitos, grauvacas e brechas vulcanogênicas (Membro Tocantinzinho), bem como arenitos líticos e arcoseanos, siltitos e argilitos tufáceos e conglomerados de fonte detrítica vulcânica (Formação Novo Progresso) ocorrem associados. São depósitos vulcânicos efusivos, explosivos e de resedimentação relacionados a um arco magmático maduro ou a um ambiente pós-colonial. |
|  | <i>Vulcanismo Félsico de 2020 - 2012 Ma</i> - ignimbritos dacíticos a riolíticos, derrames de andesitos a riódacitos, subordinados microdioritos a micromonzogranitos, cálcio-alcalinos, com idades entre 2020 e 2012 Ma (Formação Comandante Arara - Membro Lora). Associados ocorrem brechas sedimentares e arenitos vulcanogênicos intercalados com ignimbritos riolíticos e tufos a cristal e cineríticos (Membro Manual). Marcam depósitos eruptivos explosivos e efusivos com resedimentação, possivelmente relacionados ao Arco Magmático Cuiú-Cuiú. |
|  | <i>Plutonismo Félsico de 2033 - 2005 Ma</i> - tonalitos a monzogranitos, subordinados quartzo dioritos a monzonitos, cálcio alcalinos com idades entre 2033 e 2005 Ma. Os granitoides do Complexo Cuiú-Cuiú apresentam-se em parte deformados ductilmente (deformação dúctil de alta e protomilonítica) e em parte preservados, localmente são gnáissicos e migmatíticos. |
|  | <i>Sedimentação Cedo-orosiriana</i> - xistos pelíticos e máficos, com lentes de rochas metaltramáficas e quartzitos. As rochas do Grupo Jacareacanga marcam uma sedimentação marinha profunda há ~ 2050 Ma em uma bacia de arco magmático. |
|  | <i>Sedimentação Tardi-riaciana</i> - quartzo arenitos, conglomerados oligomíticos quartzosos e arcoseos. As rochas da Formação Castelo dos Sonhos representam uma sedimentação continental (aluvial e fluvial entrelaçada) há > 2085 Ma em uma bacia de rifte ou antepaís de um orógeno colisional transamazônico. |

Fonte: Modificado de Vasquez *et al.*, (2008)

5.2 Domínio Tapajós

O Domínio Tapajós (DTJ) corresponde ao maior segmento da Província Tapajós-Parima (Figura 1), com orientação NW-SE que reflete as principais falhas e zonas de cisalhamento transcorrentes, responsáveis pelo posicionamento da maioria das intrusões ígneas no mesmo (VASQUEZ *et al.*, 2015).

Suas associações de embasamento englobam rochas submetidas a metamorfismo de baixo a alto grau, em sua porção sudeste, granitoides afetados por deformação dúctil fraca a moderada relacionada às zonas de cisalhamento de direção NW-SE, nas porções sudeste e centro-sul, e granitoides afetados por deformação rúptil, que ocorrem nas demais porções do DTJ (VASQUEZ *et al.*, 2015).

Neste capítulo serão apresentadas de forma sucinta as principais informações petrográficas e geocronológicas acerca do DTJ (Tabela 01).

5.2.1 Associações de Embasamento

Ainda de acordo com Vasquez *et al.*, (2015), as rochas representativas desta associação de embasamento são as supracrustais do Grupo Jacareacanga e os granitoides e ortognaisses do Complexo Cuiú-Cuiú.

Segundo Melo *et al.*, (1980), as rochas do Grupo Jacareacanga são metavulcano-sedimentares metamorfizadas na fácies xisto verde a anfibolito, sendo representadas sobretudo por xistos pelíticos com lentes de quartzitos e subordinados xistos máficos, metacherts e metamáficas ou metaultramáficas de afinidade toleítica oceânica, tratando-se de uma sequênciaturbidítica de 2,1 e 2,05 Ga.

Por outro lado, o Complexo Cuiú-Cuiú é formado em geral por ortognaissestonalíticos e granodioríticos, com subordinados termos monzograníticos, quartzo dioríticos, quartzo monzodioríticos e dioríticos. Ocorrem ainda, lentes de leucogranitos com muscovita e granada concordantes com estruturas de cavalgamento relacionadas à colisão de um arco magmático (VASQUEZ; RICCI; KLEIN, 2002). Dados isotópicos de Nd em tonalitos relacionados ao Complexo Cuiú-Cuiú marcam a assinatura juvenil paleoproterozoica para tais rochas.

5.2.2 Vulcano-plutonismopaleoproterozóico

A leste do DTJ, próximo a Formação Vila Riozinho, foram individualizados andesitos basálticos, traquiandesitos basálticos, traquitos e riolitos, com assinatura cálcio-alcálica de alto K a shoshonítica (LAMARÃO *et al.*, 2002). As rochas vulcânicas da Formação Vila Riozinho, cristalizadas por volta de 2000 Ma, são cortadas pelo Granito São Jorge Antigo, um pluton de afinidade cálcio-alcálica de alto K cristalizado a 1981 ± 2 Ma.

Nas porções central e sudeste do DTJ, foram mapeados batólitos compostos de sienogranitos, monzogranitos, granodioritos, tonalitos e quartzo monzodioritosmilonitizados que cortam as rochas do Complexo Cuiú-Cuiú e são cortados por corpos ígneos de aproximadamente 1,88 Ga. Tais batólitos foram reunidos na Suíte Intrusiva Creporizão (RICCI *et al.*, 1999). Os granitos desta Suíte forneceram idades de cristalização entre 1997 e 1957 Ma.

No oeste do DTJ afloram tonalitos, quartzo dioritos, granodioritos, andesitos e basaltos reunidos na Suíte Intrusiva Tropas (SANTOS *et al.*, 2001; 2004; FERREIRA *et al.*, 2004), com assinatura cálcio-alcálica de arco de ilha e idades entre 1907 e 1892 Ma. Um granito que pode ser correlato a esta Suíte é o Granito São Jorge Jovem, que se apresenta como pequenas intrusões de monzogranitos contendo biotita e anfibólio, de afinidade cálcio-alcálica de alto K e idade Pb-Pb em zircão de 1891 ± 3 Ma (LAMARÃO *et al.*, 2002).

No DTJ o vulcanismo paleoproterozóico é representado pelo Grupo Iriri do Supergrupo Uatumã, com ocorrência mais expressiva em sua porção oriental, sendo individualizadas as Formações Salustiano, Aruri, Bom Jardim e Moraes Almeida (VASQUEZ *et al.*, 2015).

O plutonismo mais expressivo do DTJ é o da Suíte Intrusiva Parauari, representando sobretudo por corpos granodioríticos, além de monzogranitos e sienogranitosepizonais relacionados a mineralizações auríferas (granitos Palito, Batalha e Rosa de Maio). Esses granitos forneceram idades de cristalização entre 1883 e 1879 Ma (VASQUEZ *et al.*, 2015).

Nas porções oeste e central do DTJ ocorrem corpos máficos e intermediários, com quartzo monzonitos e quartzo sienitos associados, estes últimos com afinidade

cálcio-alcalina de alto K e idades entre 1887 e 1880 Ma que formam a Suíte Intrusiva Ingarana (ALMEIDA *et al.*, 2000; BAHIA; QUADROS, 2000).

Com ampla distribuição no DTJ os sienogranitos, feldspato alcalino granitos, monzogranitos, quartzo sienitos e quartzo monzonitos da Suíte Intrusiva Maloquinha, ocorrem como *stocks* a batólitos de orientação NW-SE a N-S. São granitos alcalinos tipo A, metaluminosos a peralcalinos, com idades entre 1882 e 1864 Ma, típicos de ambiente extensionalintracontinental, (VASQUEZ; RICCI; KLEIN, 2002; LAMARÃO *et al.*, 2002).

A nordeste deste Domínio ocorre o Granito Porquinho (PRAZERES *et al.*, 1979), contendo mineralizações de Sn, Nb e Ta. Segundo Santos *et al.*, (2004), o Granito Porquinho, com idades de cristalização de 1786 Ma, marca um segundo evento de magmatismo anorogênico no cráton Amazônico, cerca de 100 Ma mais jovem que o da Suíte Intrusiva Maloquinha.

5.2.3 Coberturas Sedimentares Paleoproterozoicas

As coberturas sedimentares do DTJ estão relacionadas a diversos eventos; a mais antiga, localizada na porção sudeste, é denominada de Formação Castelo dos Sonhos e faz limite com o Domínio Iriri-Xingu (VASQUEZ *et al.*, 2015). Zircões detríticos forneceram idades U-Pb de 3,1 a 2,08 Ga (SANTOS 2003). No centro-oeste e nordeste deste domínio ocorrem segmentos de bacias, como o caso da Bacia do Alto Tapajós.

5.2.4 Magmatismo Máfico Proterozoico e Fanerozoico

No Domínio Tapajós além de corpos gabróicos e diques lamprofíricos, estão presentes corpos máficos do Estateriano ao Jurássico, como a Suíte Intrusiva Cachoeira Seca, o Diabásio Crepori, o Diabásio Cururu e o Diabásio Piranhas (VASQUEZ *et al.*, 2015).

Tabela 1- Síntese dos dados geocronológicos do Domínio Tapajós.

| Associações | Unidade Litoestratigráfica | Idade de Formação / Fontes Detriticas (Ma) | Método | T _{DM} (Ga) | ε _{Nd} (t) |
|--|-----------------------------------|--|------------|---------------------------|-----------------------------|
| Magmatismo Toleítico <i>Proterozoico e Fanerozoico</i> | Diabásio Cururu | 180 ± 4 ¹⁰ | K-Ar rt | | |
| | Diabásio Piranha* | 507 ± 4 ⁹ | U-Pb S bd | | |
| | Suíte Intrusiva Cachoeira Seca | 1186 ± 12 ⁸ | U-Pb S bd | | |
| Coberturas Sedimentares <i>Proterozoicas</i> | Diabásio Crepori | 1780 ± 7 ³ | U-Pb S bd | | |
| | Formação Sequeiro* | 1901, 1898, 1895, 2065 ¹ | U-Pb T zrd | | |
| <i>Estateriano</i> <i>Orosiano</i> | Formação Abacaxis* | 1909, 1902, 1899, 1895 ¹ | U-Pb T zrd | | |
| | Granito Porquinho | 1786 ± 14 ⁵ | U-Pb S zr | | |
| | Suíte Intrusiva Maloquinha | 1877 ± 12, 1874 ± 7, 1872 ± 4 ² | U-Pb S zr | 2,60 e 2,53 ¹ | -6,67 e -2,84 ¹ |
| | | 1871 ± 8, 1870 ± 4, 1864 ± 18 ¹ | | | |
| | Lamprófito Jamanxim | 1880 ± 9 ⁴ , 1882 ± 4 ⁸ | Pb-Pb zr | 2,24 e 2,23 ⁵ | -1,64 e -0,72 ⁵ |
| | | 1536 ± 31 ¹⁹ | | | |
| | Andesito Joel-Mamosal | - | - | 2,26 ¹ | -2,38 ¹ |
| | | 1872 ± 8 ¹¹ | | | |
| | Olivina Gabro Rio Novo | 1878 ± 8 ³ | U-Pb S ti | | |
| | | 1881 ± 11 ⁷ | | | |
| | Anostosito Jutai* | 1881 ± 11 ⁷ | U-Pb S bd | 2,24 ¹ | -0,87 ¹ |
| | | 1881 ± 3, 1880 ± 7 ⁷ | | | |
| | Suíte Intrusiva Ingarana | 1887 ± 3 ⁵ | U-Pb S zr | | |
| | | 1887 ± 3 ⁵ | | | |
| | Granitos Palito e Rio Novo* | 1881 ± 4, 1883 ± 11 ¹² | Pb-Pb zr | | |
| | | 1880 ± 3 ⁴ | | | |
| | Granito Jardim do Ouro* | 1879 ± 11 ¹ | U-Pb T zr | 2,32 ⁵ | -1,82 ⁵ |
| | | 1883 ± 2 ⁴ | | | |
| | Suíte Intrusiva Parauari | 1869 ± 9, 1880 ± 8 ¹¹ | U-Pb S z | | |
| | | 1873 ± 3, 1879 ± 24, 1888 ± 7 ¹¹ | | | |
| | Tufos e arenito tufáceo* | 1888 ± 3 ¹⁵ | U-Pb S z | 2,28 ⁵ | -2,45 ⁵ |
| | | 1890 ± 6, 1881 ± 4, 1875 ± 4 ⁴ | | | |
| | Pórfiros riódacíticos* | 1870 ± 8 ² | Pb-Pb zr | 2,44 a 2,29 ⁵ | -3,05 a -1,98 ⁵ |
| | | 1893 ± 3, 1888 ± 2 ⁴ | | | |
| | Pórfiros pórfiros | 1888 ± 2 ¹⁶ , 1888 ± 6 ¹⁷ | U-Pb S z | 2,45 ¹ | -1,37 ¹ |
| | | 1888 ± 2 ¹⁶ , 1888 ± 6 ¹⁷ | | | |
| | Granitos pórfiros | 1891 ± 3 ⁴ | Pb-Pb zr | 2,37 a 2,34 ⁵ | -2,83 a -2,47 ⁵ |
| | | 1907 ± 9 ⁵ | | | |
| | Formação Moraes Almeida | 1892 ± 6 ⁵ | U-Pb S zr | 2,43 e 2,32 ⁵ | -5,21 e -2,68 ⁵ |
| | | 1892 ± 6 ⁵ | | | |
| | Grupo Iriú | 1896 ± 5 ⁵ | U-Pb S zr | | |
| | | 1898 ± 5 ⁵ | | | |
| | (Formações Salustiano e Aruri) | 1956 ± 19, 1959 ± 25, 1980 ± 15 ¹⁴ | U-Pb S zr | | |
| | | 1971 ± 14 ¹¹ | | | |
| | Granito São Jorge Jovem* | 1982 ± 5 ¹³ | U-Pb S zr | | |
| | | 1982 ± 5 ¹³ | | | |
| | Granodiorito São Jorge* | 1996 ± 13, 1987 ± 5 ²⁰ | Pb-Pb zr | 2,55 e ... ²⁰ | -4,71 e ... ²⁰ |
| | | 1968 ± 7, 1963 ± 6 ⁴ | | | |
| | Suíte Intrusiva Tropas | 1997 ± 5, 1984 ± 1, 1968 ± 16 ⁷ | U-Pb S zr | | |
| | | 1997 ± 5, 1984 ± 1, 1968 ± 16 ⁷ | | | |
| | Tufo Uruará* | 1987 ± 2 e 1981 ± 2 ⁴ | Pb-Pb zr | 2,41 a 2,26 ⁵ | -2,68 a -1,03 ⁵ |
| | | 1987 ± 2 e 1981 ± 2 ⁴ | | | |
| | Basalto Tropas* | 1983 ± 8 e 1982 ± 3 ¹⁵ | U-Pb S zr | | |
| | | 1983 ± 8 e 1982 ± 3 ¹⁵ | | | |
| | Suíte Intrusiva Creporizão | 1997 ± 5 ⁵ | Pb-Pb zr | | |
| | | 1997 ± 5 ⁵ | | | |
| | Granitos pórfiros | 1979 ± 3 ¹⁸ | U-Pb L zr | | |
| | | 1979 ± 3 ¹⁸ | | | |
| | Granito São Jorge Antigo* | 1987 ± 10, 1984 ± 5, 1982 ± 14 ¹⁹ | U-Pb L zr | | |
| | | 1987 ± 10, 1984 ± 5, 1982 ± 14 ¹⁹ | | | |
| | Monzogranito Jamanxim* | 1992 ± 17 ¹⁰ | U-Pb L zr | | |
| | | 1992 ± 17 ¹⁰ | | | |
| | Granito hidrotermalizado fase II* | 1997 ± 4 ¹⁸ | U-Pb L zr | | |
| | | 1997 ± 4 ¹⁸ | | | |
| | Granito mineralizado* | 1959 ± 5, 1980 ± 7 ¹⁴ | U-Pb S zr | | |
| | | 1959 ± 5, 1980 ± 7 ¹⁴ | | | |
| | Granodiorito encaixante* | 1966 ± 6, 1967 ± 7, 1970 ± 20, 1975 ± 5, 1966 ± 22 ¹⁴ | U-Pb S zr | | |
| | | 1966 ± 6, 1967 ± 7, 1970 ± 20, 1975 ± 5, 1966 ± 22 ¹⁴ | | | |
| | Microgranito encaixante* | 1990 ± 12 ¹¹ | Pb-Pb zr | | |
| | | 1990 ± 12 ¹¹ | | | |
| | Pórfiros graníticos | 1974 ± 6 ⁶ | U-Pb S zr | | |
| | | 1974 ± 6 ⁶ | | | |
| | Riolito I e II* | 1993 ± 6 Ma ¹⁸ | U-Pb L zr | | |
| | | 1993 ± 6 Ma ¹⁸ | | | |
| | Riolito porfirítico* | 2002 ± 4 ²⁰ | Pb-Pb zr | ... ²⁰ | ... ²⁰ |
| | | 2002 ± 4 ²⁰ | | | |
| | Metandesito Ouro Roxo* | 2000 ± 4, 1998 ± 3 ⁴ | U-Pb S zr | 2,49 a 2,28 ⁵ | -3,71 a -1,09 ⁵ |
| | | 2000 ± 4, 1998 ± 3 ⁴ | | | |
| | Andesito | 2020 ± 2, 2012 ± 2 ²⁰ | Pb-Pb zr | 2,36 e 2,29 ²⁰ | -1,19 e -0,59 ²⁰ |
| | | 2020 ± 2, 2012 ± 2 ²⁰ | | | |
| | Formação Vila Riozinho | 2023 ± 30, 2123 ± 86 ¹⁴ | | | |
| | | 2023 ± 30, 2123 ± 86 ¹⁴ | | | |
| | Formação Comandante Arara | 2003 ± 24 ¹¹ | U-Pb S zr | | |
| | | 2003 ± 24 ¹¹ | | | |
| | Tonalitos do embasamento* | 2016 ± 3, 2014 ± 6, 2010 ± 4 ²⁰ | Pb-Pb zr | 2,58 e 2,41 ²⁰ | -5,45 e -1,49 ²⁰ |
| | | 2016 ± 3, 2014 ± 6, 2010 ± 4 ²⁰ | | | |
| | Monzogranito A* | 2033 ± 7, 2016 ± 5, 2015 ± 9, 2012 ± 8, 2005 ± 7 ¹ | U-Pb S zr | 2,16 e 2,09 ³ | +1,8 e +2,6 ^{3,4} |
| | | 2033 ± 7, 2016 ± 5, 2015 ± 9, 2012 ± 8, 2005 ± 7 ¹ | | | |
| | Complexo Cuiú-Cuiú | 2011 ± 23 ¹ | U-Pb T zr | | |
| | | 2011 ± 23 ¹ | | | |
| | Grupo Jacareacanga | 2125, 2106, 2098, 2875 ¹ | U-Pb T zr | | |

Abreviaturas: S. SHRIMP; T. ID-TIMS, L – LA-ICP-MS; rt. rocha total; bd. baddeleyita; ti. titanita; zr. zircão; zrd. zircodetrítico; Nd (t). calculado para idade de cristalização; recalculado para t=2015Ma; - denominação usada exclusivamente pelos autores.

Referências: 1 – Santos *et al.* (2000); 2 – Santos *et al.* (2001); 3 – Sato e Tassinari (1997); 4 – Lamarão *et al.* (2002); 5 – Lamarão *et al.* (2005); 6 – Santos *et al.* (2004); 7 – Vasquez *et al.* (2000); 8 – Vasquez *et al.* (1999); 9 – Santos *et al.* (2002); 10 – Santos *et al.* (1975); 11 – Bocanegra (2013); 12 – Santos *et al.* (2013); 13 – Villas, Santiago e Castilho (2013); 14 – Tokashiki *et al.* (2013); 15 – Lamarão *et al.* (2008); 16 – Moura, Gorayeb e Matsuda (1999); 17 – Dall'Agnol, Silva e Scheller (1999); 18 – Borgo *et al.* (2014); 19 – Tassinari (1996); 20- neste projeto.

Fonte: Modificado de Vasquez *et al.*, (2016).

6.2 Petrografia

6.2.1 Variedades Petrográficas

6.2.1.1 Anfibólio-Biotita-Sienogranito(lâminas 237, 238, 240, 243, 244, 250, 253)

Macroscopicamente as rochas da fácies Anfibólio-biotita-sienogranito são leucocráticas, de coloração rosada, textura fanerítica variando em granulação média a grossa. Microscopicamente apresentam textura heterogranular, essencialmente formadas por feldspato alcalino ($\pm 50\%$), quartzo ($\pm 30\%$) e plagioclásio ($\pm 15\%$). Como minerais varietais ocorrem biotita ($\pm 3\%$) e anfibólio ($\pm 2\%$). As fases acessórias são minerais opacos, apatita, allanita e zircão ($< 1\%$). Sua mineralogia secundária é formada por argilominerais, sericita, clorita e óxido-hidróxido de ferro.

O feldspato alcalino está presente na forma de cristais em prismas curtos ou tabulares, de forma subédrica a euédrica, medindo entre 5,5 mm e 0,5 mm. Apresentam maclamento do tipo xadrez difuso e baveno, além de albitização e texturas pertítica e mirmequítica. Alguns cristais mostram textura corona formada pela intensa sericitização em suas bordas. Os cristais em geral aparecem muito alterados para argilominerais e, por vezes, para sericita. Seus contatos com os demais cristais são retos e lobados.

O quartzo forma cristais subédricos a euédricos com dimensões variando entre 0,5 e 2,5 mm, mostra forte extinção ondulante e contatos retos ou poligonais com os demais cristais; apresenta por vezes textura mirmequítica. Em algumas amostras ocorrem duas variedades texturais: o Qtz_1 , representado por cristais subédricos fraturados e com forte extinção ondulante, medindo em torno de 4,5 mm; mantém contatos retos e lobados com os demais cristais e contém inclusões de feldspatos; o Qtz_2 , representado por cristais anédricos, medindo em torno de 0,5 mm, dispostos na forma de cristais intersticiais na rocha.

O plagioclásio ocorre com formas subédricas em prismas curtos, medindo entre 0,5 mm e 2,5 mm; exibe maclamento albita, mostra alteração para sericita e por vezes para argilominerais e epídoto. Em determinadas amostras aparece em duas variedades texturais: o Pl_1 , representado por cristais subédricos de hábito prismático; mostram contatos retos com os demais cristais e dimensões em torno de 3 mm; o Pl_2 que ocorre com granulação inferior, em torno de 0,5 mm, na forma de

cristais intersticiais formando agregados monominerálicos entre os cristais mais desenvolvidos.

A biotita está presente como lamelas subédricas, quase totalmente alteradas para clorita e óxido-hidróxido de ferro, associada em geral a minerais opacos. As lamelas por vezes ocorrem levemente estiradas e em geral associadas aos minerais opacos.

A hornblenda forma cristais na forma de prismas, mantendo contatos retos com os demais cristais e mostrando forte alteração para clorita, em geral associado aos minerais opacos.

Os minerais opacos aparecem em formas anédricas a subédricas, em geral associados aos demais minerais máficos da rocha. A apatita ocorre tanto em sua seção basal quanto na longitudinal, mostrando fratura de partição. A allanita ocorre em formas subédricas e na cor laranja. O zircão ocorre como inclusões em geral nos cristais de biotita.

6.2.1.2 Biotita-Sienogranito (lâminas 239, 241, 252)

Macroscopicamente as rochas da fácies Biotita-sienogranito são leucocráticas, de coloração rosada, textura porfirítica e granulação média. Microscopicamente apresentam textura porfirítica, formada essencialmente por feldspato alcalino ($\pm 50\%$), quartzo ($\pm 25\%$) e plagioclásio ($\pm 20\%$), tendo a biotita ($\pm 4\%$) como mineral varietal. Como minerais acessórios foram identificados minerais opacos, apatita, allanita, titanita, zircão e fluorita. Sua fase secundária é formada por argilominerais, sericita, epídoto e clorita.

O feldspato-alkalino se mostra na forma de cristais subédricos, de hábito tabular, com dimensões entre 0,5 e 9 mm. Nota-se maclamento xadrez difuso e textura mirmequítica. Mantém contatos retos com os demais cristais e altera fortemente para argilominerais e albita.

O quartzo possui três variedades texturais: o Qtz₁, representado por cristais euédricos, de hábito prismático, com dimensões em torno de 3 mm e forte extinção ondulante; o Qtz₂ que mostra cristais mais fraturados, apresenta formas subédricas e dimensões em torno de 5,5 mm, e o Qtz₃, representado por cristais subédricos a

anédricos intersticiais aos demais cristais da rocha, com tamanhos em torno de 0,5 mm; formam intercrescimentos granofíricos.

O plagioclásio ocorre com formas subédricas e hábito prismático, com dimensões entre 0,1 e 2 mm. Mantém contatos retos com os demais cristais. Apresenta maclamento do tipo albita e forte alteração para argilominerais.

A biotita ocorre como lamelas subédricas, com dimensões em torno de 1,5 mm e intensamente alterada para clorita; aparece por vezes estirada e, em geral, associada aos minerais acessórios. O epídoto ocorre na forma de cristais subédricos, de cor verde amarelada.

Os minerais opacos ocorrem muito pontualmente na rocha como cristais subédricos; a apatita ocorre em geral em sua seção longitudinal mostrando fratura de partição, ambos associados à biotita. O zircão forma inclusões pontuais nos cristais de biotita, enquanto a fluorita ocorre na forma de cristais subédricos também associados à biotita. A allanita está presente com formas granulares na cor alaranjada, geralmente associada à biotita e aos opacos. A titanita ocorre como cristais subédricosbipiramidais associados aos demais minerais máficos da rocha.

6.2.1.3 Anfibólio-Biotita-QuartzoSienito(lâmina 242)

Macroscopicamente as rochas da fácies Anfibólio-biotita-quartzo-sienito são leucocráticas, de coloração rosada, textura heterogranular e granulação média. Microscopicamente a rocha apresenta textura granular hipidiomórfica, de granulação grossa, formada essencialmente por feldspato alcalino (60%), quartzo (15%) e plagioclásio (10%). Sua fase varietal é formada por biotita ($\pm 3\%$) e anfibólio ($\pm 1\%$). Sua mineralogia acessória é composta por minerais opacos, apatita, allanita e zircão. Os minerais secundários são argilominerais, sericita, clorita e óxido-hidróxido de ferro.

O feldspato alcalino ocorre na forma de cristais subédricos, de hábito prismático, medindo entre 4 e 10 mm; mostra contatos retos com os demais cristais, textura pertítica e alteração para argilominerais.

O quartzo, com tamanho entre 1 e 3 mm, é subédrico, intensamente fraturado e com forte extinção ondulante; mostra contatos retos e lobados com os demais cristais.

O plagioclásio ocorre em formas subédricas e hábito prismático, medindo entre 0,5 e 5,5 mm. Mantém contatos retos com os demais minerais; altera para sericita e, por vezes, para argilominerais.

A biotita apresenta-se na forma de lamelas subédricas, por vezes estiradas entre os demais cristais; faz contatos retos e mostra alteração para clorita e óxido-hidróxido de ferro.

A hornblenda, com dimensões em torno de 1 mm, possui forma subédrica e hábito prismático curto; mantém contatos retos com os demais cristais; geralmente associa-se aos minerais opacos.

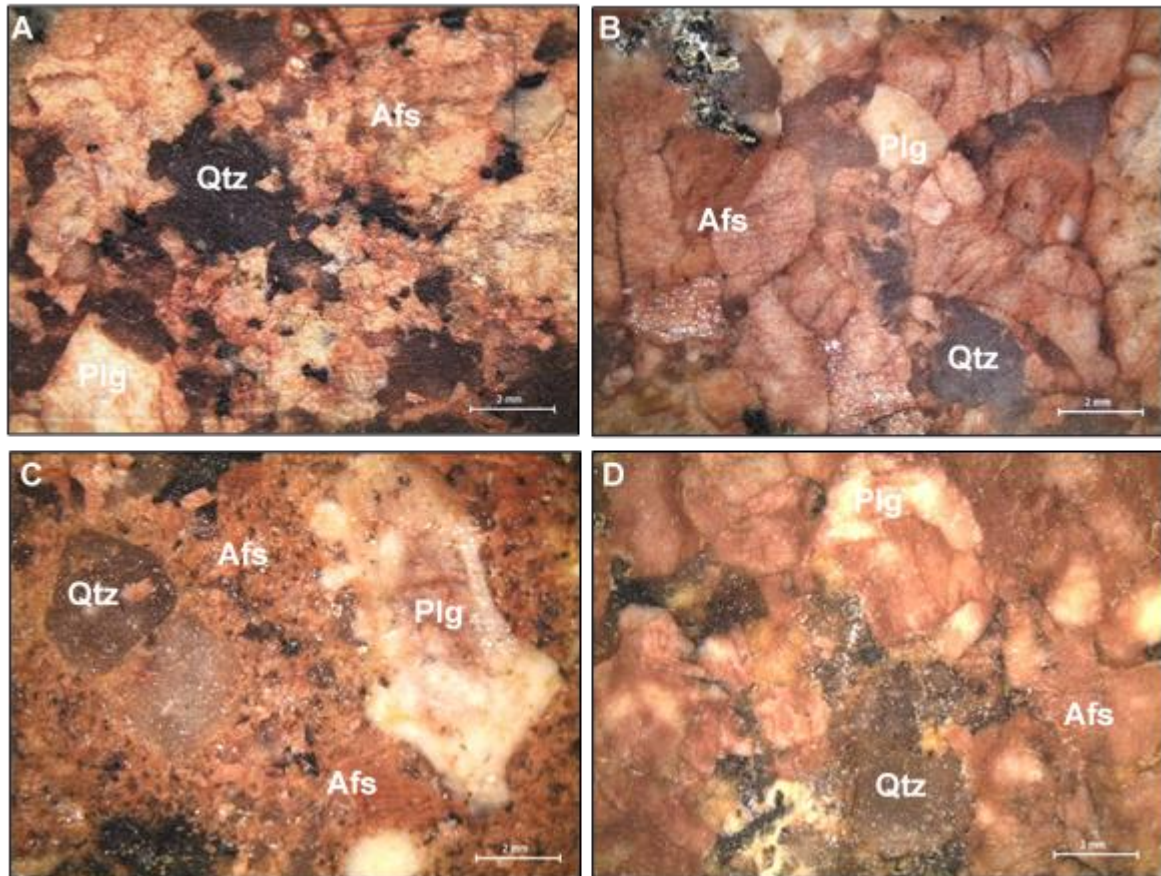
Estão presentes, ainda, minerais opacos em formas anédricas, geralmente associados aos minerais máficos da rocha. A apatita ocorre pontualmente em geral como seções basais. A allanita é anédrica e em geral associada aos máficos. O zircão ocorre muito pontualmente incluso nos feldspatos e biotita.

6.2.1.4 Veio de Quartzo(lâmina 251)

Macroscopicamente a rocha mostra textura afanítica e cor branca, com algumas porções avermelhadas. Microscopicamente trata-se de um veio de quartzo muito fraturado, formando por vezes porções cominuídas e recristalizadas.

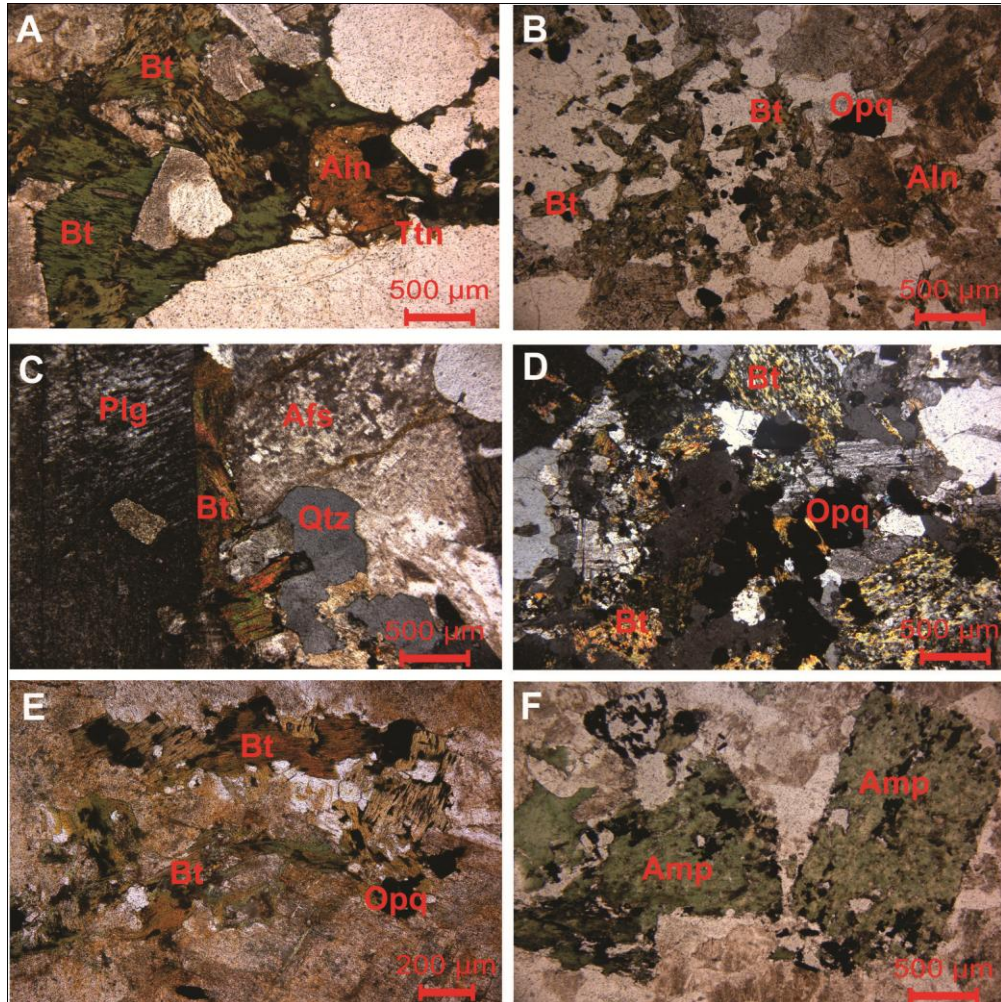
Os cristais de quartzo dominantes são microcristais de granulação fina, por vezes de granulação mais grossa. Ocorrem ainda, porções de cor mais avermelhada na rocha, indicando oxidação. Pontualmente ocorrem minerais opacos finos.

Figura 4 – Aspectos macroscópicos gerais das rochas do GSA: (A) e (B) são representativas da fácies ABGS de coloração rosada e textura fanerítica média a grossa; (C) é representativa da fácies BSG mostrando cor rosada e textura porfírica média; (D) características da fácies ABQS, também de coloração rosada, mostrando textura heterogranular média. Em termos gerais as rochas são formadas essencialmente por feldspato alcalino e quartzo. Plg – plagioclásio; Afs – feldspato alcalino; Qtz – quartzo. Abreviações conforme Whitney & Evans (2010).



Fonte: Do autor.

Figura 5 – Aspectos microscópicos gerais das fácies ABSG, BSG e ABQS. (A) e (B) biotita alterando para clorita com inclusões de minerais opacos, em contato com allanita e titanita; (C) biotita entre cristais de plagioclásio e feldspato alcalino; (D) e (E) biotita alterada para clorita, com algumas inclusões de apatita e opacos; (F) anfibólio alterado para clorita. Bt – biotita; Amp – anfibólio; Opq – minerais opacos; Aln – allanita; Ttn – titanita; Plg – plagioclásio; Afs – feldspato alcalino; Qtz – quartzo; Abreviações conforme Whitney & Evans (2010).



Fonte: Do autor.

6.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A caracterização dos anfibólios, biotitas, zircões e opacos encontrados no Granito Serra Alta foi realizada a partir de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), onde foram obtidas imagens por elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas por EDS (*Energy Dispersive Spectrometry*), que possibilitaram a identificação destes. Os dados obtidos destas análises foram então comparados em diagramas geoquímicos elementares.

6.3.1 Biotita

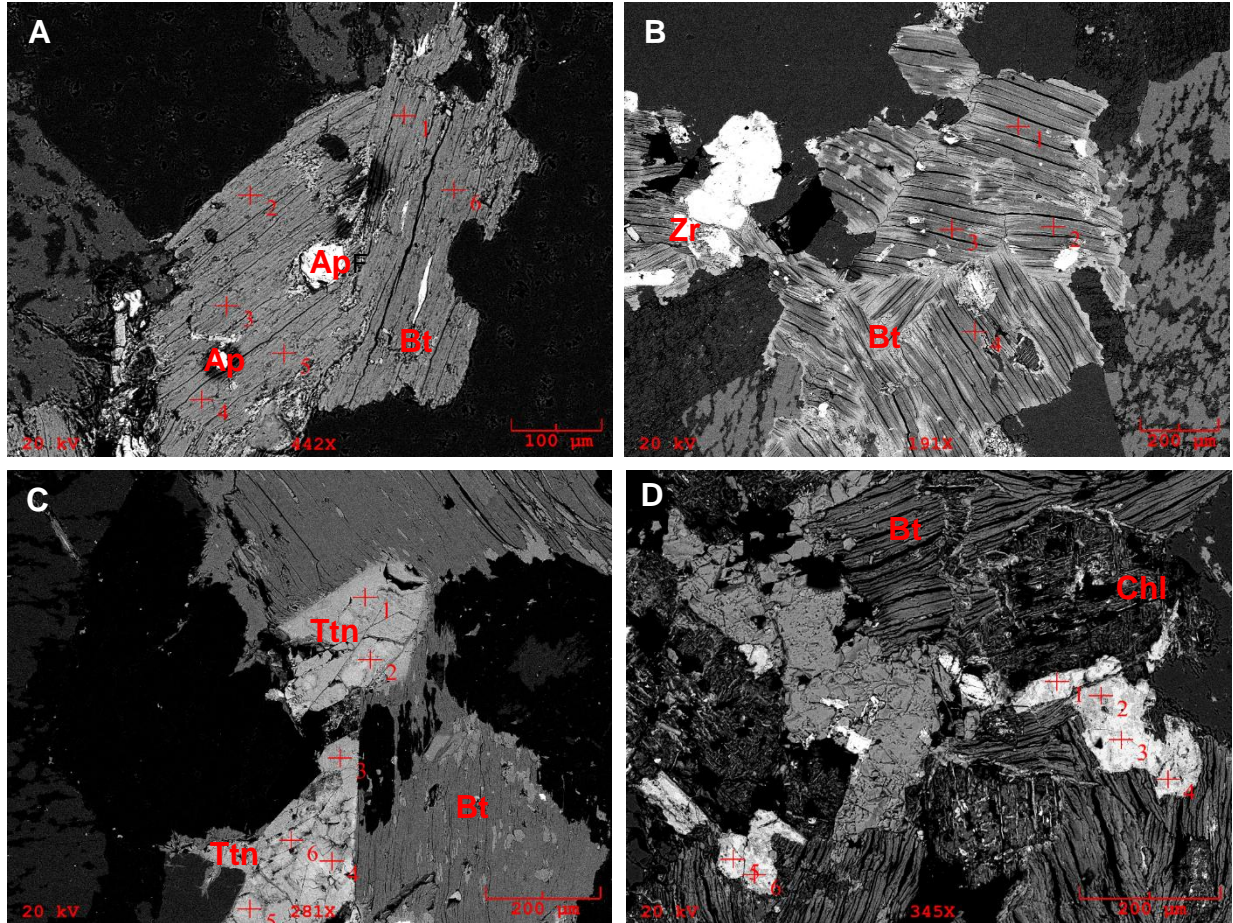
A biotita ocorre em todas as fácies do GSA, exceto no veio de quartzo, mostrando hábito lamelar e em geral contatos retos com os demais minerais. Sempre associada a opaco, apatita, allanita, titanita e zircões. Estes em geral aparecendo na forma de inclusões em seus cristais (Figura 6).

Mostra-se intensamente alterada para óxido de ferro e clorita, chegando a modificar seus padrões morfológicos e químicos. De acordo com as análises de EDS suas razões de $Fe/(Fe+Mg)$ variam de 0,50 a 0,75 (Tabela 2).

Biotitas de rochas plutônicas são frequentemente afetadas por reequilíbrio pós-magmático (SPEER, 1984). No diagrama $TiO_2-FeO+MnO-MgO$ (NACHIT, 1986) as biotitas do GSA formaram um *trend* entre o campo das biotitas primárias reequilibradas e das biotitas secundárias, plotando predominantemente neste último (Figura 7).

Da mesma forma, nos diagramas $MgO-FeO-Al_2O_3$ e $Al_2O_3 \times MgO$ (ABDEL-RAHMAN, 1994) de classificação de biotitas, as mesmas plotaram predominantemente no campo dos granitos peraluminosos (Figura 8). Tais variações composicionais provavelmente se devem ao alto grau de alteração dessas biotitas.

Figura 6 - Imagens de elétrons retroespalhados mostrando cristais anédricos e corroídos de Biotita: (A) contendo inclusões de apatita; (B) inclusões de zircão e apatita; (C) mantendo contato reto com cristais de titanita; (D) biotita alterada para clorita associada à ilmenita, clorita e óxido de ferro. Bt – Biotita; Ap – Apatita; Zr – Zircão; Chl – Clorita; Ilm – Ilmenita; Ttn – Titanita. Abreviações conforme Whitney & Evans (2010).



Fonte: Do autor.

Tabela 2 - Análises de MEV-EDS representativas de biotitas do Granito Serra Alta, Província Aurífera do Tapajós.

(continua)

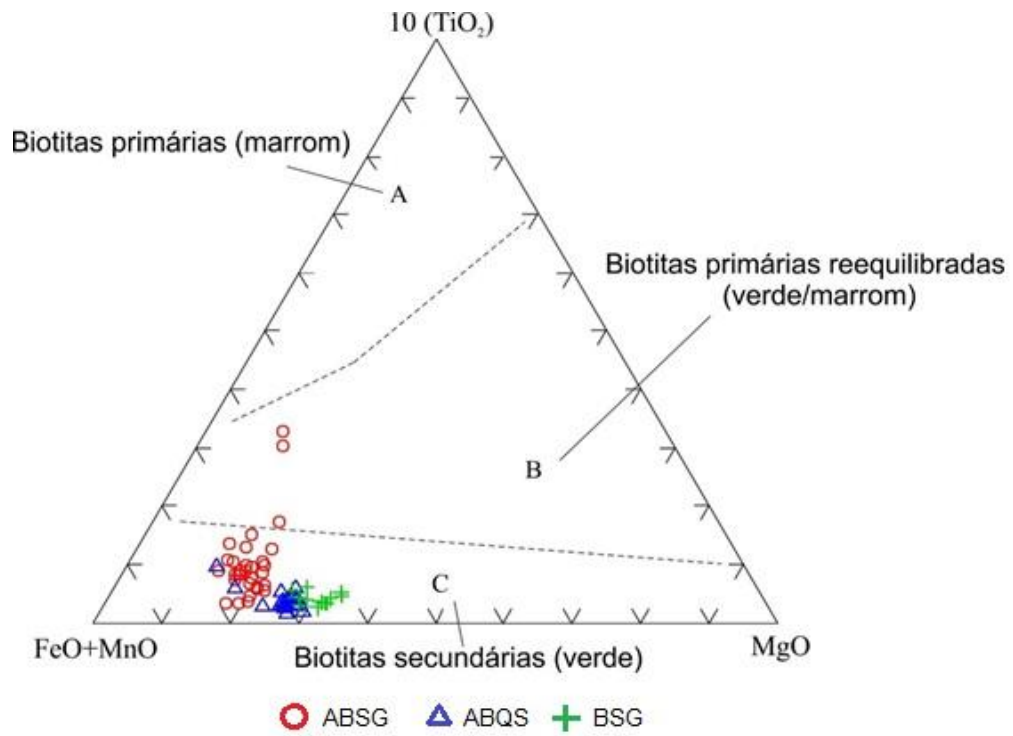
| | CER-238-240 - Anfibólio-biotita-sienogranito | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----|
| SiO ₂ | 45,48 | 43,91 | 47,29 | 42,17 | 41,55 | 41,80 | 39,18 | 40,95 | 42,09 | 44,19 | 41,98 | 42,47 | 42,92 | 43,65 | 43,22 | 42,51 | 46,26 | 46,34 | 42,16 | 50,06 | 38,33 | 36,82 | 36,26 | 37,55 | 37,27 | 34,04 | 32,64 | 34,97 | 34,07 | 32,53 | 36,37 | |
| TiO ₂ | 0,11 | 0,27 | 0,20 | 0,13 | 0,66 | 1,72 | 0,39 | 0,35 | 1,50 | 0,67 | 0,59 | 0,40 | 0,32 | 0,49 | 0,31 | 0,53 | 0,19 | 0,32 | 0,19 | 0,25 | 0,45 | 0,32 | 0,40 | 0,48 | 0,40 | 0,28 | 0,21 | 0,46 | 0,29 | 0,16 | 0,37 | |
| Al ₂ O ₃ | 19,64 | 19,69 | 18,95 | 17,72 | 16,63 | 17,98 | 17,01 | 17,24 | 17,26 | 18,01 | 15,36 | 17,10 | 16,79 | 16,46 | 18,00 | 16,74 | 19,59 | 19,63 | 21,32 | 22,97 | 21,16 | 21,37 | 20,46 | 20,75 | 21,25 | 22,68 | 23,73 | 24,16 | 24,36 | 23,82 | 24,66 | |
| FeO* | 23,42 | 24,16 | 21,04 | 27,55 | 29,45 | 28,68 | 32,64 | 29,59 | 27,84 | 24,51 | 31,14 | 27,91 | 28,47 | 25,51 | 26,80 | 28,45 | 22,05 | 22,87 | 23,58 | 17,24 | 30,89 | 31,77 | 31,98 | 32,58 | 31,17 | 31,07 | 31,97 | 29,71 | 30,67 | 32,10 | 27,96 | |
| MgO | 6,10 | 6,62 | 6,55 | 6,25 | 6,83 | 5,95 | 5,99 | 7,00 | 6,18 | 7,21 | 5,76 | 6,80 | 6,38 | 7,56 | 6,41 | 6,48 | 6,58 | 5,94 | 7,56 | 5,12 | 6,50 | 7,30 | 8,06 | 6,35 | 7,30 | 9,31 | 9,20 | 8,56 | 8,43 | 9,20 | 8,36 | |
| MnO | 0,59 | 0,72 | 0,43 | 0,52 | 0,73 | 0,53 | 0,79 | 0,85 | 0,51 | 0,40 | 0,57 | 0,59 | 0,53 | 0,52 | 0,65 | 0,61 | 0,69 | 0,60 | 0,76 | 0,42 | 0,79 | 0,73 | 0,89 | 0,79 | 0,83 | 1,35 | 1,45 | 1,15 | 1,27 | 1,42 | 1,15 | |
| CaO | 0,64 | 0,56 | 0,52 | 0,69 | 0,61 | 0,59 | 0,58 | 0,40 | 0,35 | 0,35 | 0,42 | 0,48 | 0,32 | 0,37 | 0,29 | 0,35 | 0,63 | 0,67 | 0,53 | 1,15 | 0,21 | 0,22 | 0,18 | 0,30 | 0,27 | 0,18 | 0,11 | 0,20 | 0,15 | 0,14 | 0,18 | |
| Na ₂ O | 0,19 | 0,47 | 0,50 | 0,35 | 0,05 | 0,25 | 0,19 | 0,20 | 0,22 | 0,46 | 0,15 | 0,22 | 0,06 | 0,40 | 0,20 | 0,18 | 0,22 | 0,19 | 0,48 | 0,45 | 0,47 | 0,39 | 0,45 | 0,14 | 0,38 | 0,41 | 0,45 | 0,44 | 0,53 | 0,48 | 0,57 | |
| K ₂ O | 3,80 | 3,59 | 4,53 | 4,63 | 3,50 | 2,50 | 3,22 | 3,42 | 4,04 | 4,20 | 4,04 | 4,03 | 4,20 | 5,03 | 4,10 | 4,14 | 3,79 | 3,45 | 3,44 | 2,35 | 1,19 | 1,06 | 1,32 | 1,05 | 1,13 | 0,69 | 0,23 | 0,35 | 0,23 | 0,14 | 0,37 | |
| F | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd |
| OH- | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd |
| TOTAL | 99,97 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | |
| | fórmula estrutural na base de 22 átomos de oxigênio | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 6,32 | 6,15 | 6,50 | 6,08 | 6,02 | 5,98 | 5,79 | 5,94 | 6,05 | 6,22 | 6,15 | 6,11 | 6,18 | 6,23 | 6,16 | 6,13 | 6,38 | 6,39 | 5,90 | 6,61 | 5,53 | 5,36 | 5,31 | 5,47 | 5,40 | 4,97 | 4,79 | 5,04 | 4,94 | 4,77 | 5,17 | |
| ^{IV} Al | 1,68 | 1,85 | 1,50 | 1,92 | 1,98 | 2,02 | 2,21 | 2,06 | 1,95 | 1,78 | 1,85 | 1,89 | 1,82 | 1,77 | 1,84 | 1,87 | 1,62 | 1,61 | 2,10 | 1,39 | 2,47 | 2,64 | 2,69 | 2,53 | 2,60 | 3,03 | 3,21 | 2,96 | 3,06 | 3,23 | 2,83 | |
| Soma 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 | 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 | |
| ^{VI} Al | 1,54 | 1,40 | 1,57 | 1,09 | 0,86 | 1,01 | 0,76 | 0,89 | 0,97 | 1,21 | 0,80 | 1,00 | 1,03 | 1,00 | 1,18 | 0,97 | 1,56 | 1,59 | 1,42 | 2,18 | 1,13 | 1,02 | 0,84 | 1,03 | 1,03 | 0,88 | 0,89 | 1,14 | 1,10 | 0,89 | 1,31 | |
| Ti | 0,01 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,07 | 0,19 | 0,04 | 0,04 | 0,16 | 0,07 | 0,06 | 0,04 | 0,03 | 0,05 | 0,03 | 0,06 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,05 | 0,03 | 0,02 | 0,04 | |
| Fe* | 2,72 | 2,83 | 2,42 | 3,32 | 3,57 | 3,43 | 4,04 | 3,59 | 3,35 | 2,88 | 3,81 | 3,36 | 3,43 | 3,04 | 3,19 | 3,43 | 2,54 | 2,64 | 2,76 | 1,90 | 3,73 | 3,86 | 3,91 | 3,97 | 3,78 | 3,80 | 3,92 | 3,58 | 3,72 | 3,94 | 3,32 | |
| Mn | 0,07 | 0,09 | 0,05 | 0,06 | 0,09 | 0,06 | 0,10 | 0,10 | 0,06 | 0,05 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,08 | 0,07 | 0,08 | 0,07 | 0,09 | 0,05 | 0,10 | 0,09 | 0,11 | 0,10 | 0,10 | 0,17 | 0,18 | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,14 | |
| Mg | 1,26 | 1,38 | 1,34 | 1,34 | 1,47 | 1,27 | 1,32 | 1,51 | 1,33 | 1,51 | 1,26 | 1,46 | 1,37 | 1,61 | 1,36 | 1,39 | 1,35 | 1,22 | 1,58 | 1,01 | 1,40 | 1,58 | 1,76 | 1,38 | 1,58 | 2,03 | 2,01 | 1,84 | 1,82 | 2,01 | 1,77 | |
| Soma O | 5,60 | 5,73 | 5,40 | 5,82 | 6,06 | 5,96 | 6,26 | 6,14 | 5,87 | 5,72 | 6,00 | 5,93 | 5,92 | 5,76 | 5,85 | 5,93 | 5,56 | 5,55 | 5,87 | 5,16 | 6,41 | 6,59 | 6,67 | 6,53 | 6,54 | 6,90 | 7,03 | 6,74 | 6,83 | 7,04 | 6,58 | |
| Ca | 0,10 | 0,08 | 0,08 | 0,11 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,07 | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,05 | 0,09 | 0,10 | 0,08 | 0,16 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | |
| Na | 0,05 | 0,13 | 0,13 | 0,10 | 0,01 | 0,07 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,12 | 0,04 | 0,06 | 0,02 | 0,11 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,13 | 0,11 | 0,13 | 0,11 | 0,13 | 0,04 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,12 | 0,15 | 0,14 | 0,16 | |
| K | 0,67 | 0,64 | 0,79 | 0,85 | 0,65 | 0,46 | 0,61 | 0,63 | 0,74 | 0,75 | 0,75 | 0,74 | 0,77 | 0,92 | 0,75 | 0,76 | 0,67 | 0,61 | 0,61 | 0,40 | 0,22 | 0,20 | 0,25 | 0,20 | 0,21 | 0,13 | 0,04 | 0,06 | 0,04 | 0,03 | 0,07 | |
| Sítio A | 0,82 | 0,85 | 1,00 | 1,06 | 0,76 | 0,62 | 0,75 | 0,75 | 0,86 | 0,93 | 0,86 | 0,87 | 0,84 | 1,08 | 0,85 | 0,87 | 0,82 | 0,76 | 0,82 | 0,67 | 0,39 | 0,34 | 0,40 | 0,28 | 0,36 | 0,27 | 0,19 | 0,22 | 0,21 | 0,18 | 0,25 | |
| Mg/(Mg+Fet) | 0,32 | 0,33 | 0,36 | 0,29 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,30 | 0,28 | 0,34 | 0,25 | 0,30 | 0,29 | 0,35 | 0,30 | 0,29 | 0,35 | 0,32 | 0,36 | 0,35 | 0,27 | 0,29 | 0,31 | 0,26 | 0,29 | 0,35 | 0,34 | 0,34 | 0,33 | 0,34 | 0,35 | |
| Al _{IV+VI} | 3,22 | 3,25 | 3,07 | 3,01 | 2,84 | 3,03 | 2,96 | 2,95 | 2,92 | 2,99 | 2,65 | 2,90 | 2,85 | 2,77 | 3,02 | 2,84 | 3,18 | 3,19 | 3,52 | 3,57 | 3,60 | 3,66 | 3,53 | 3,56 | 3,63 | 3,90 | 4,10 | 4,10 | 4,16 | 4,12 | 4,13 | |
| Fet/(Fet+Mg) | 0,68 | 0,67 | 0,64 | 0,71 | 0,71 | 0,73 | 0,75 | 0,70 | 0,72 | 0,66 | 0,75 | 0,70 | 0,71 | 0,65 | 0,70 | 0,71 | 0,65 | 0,68 | 0,64 | 0,65 | 0,73 | 0,71 | 0,69 | 0,74 | 0,71 | 0,65 | 0,66 | 0,66 | 0,67 | 0,66 | 0,65 | |
| | FeO*=Fe total | | | | | | | | | | | | | | | | nd= não determinado | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabela 2 - Análises de MEV-EDS representativas de biotitas do Granito Serra Alta, Província Aurífera do Tapajós.

(continua)

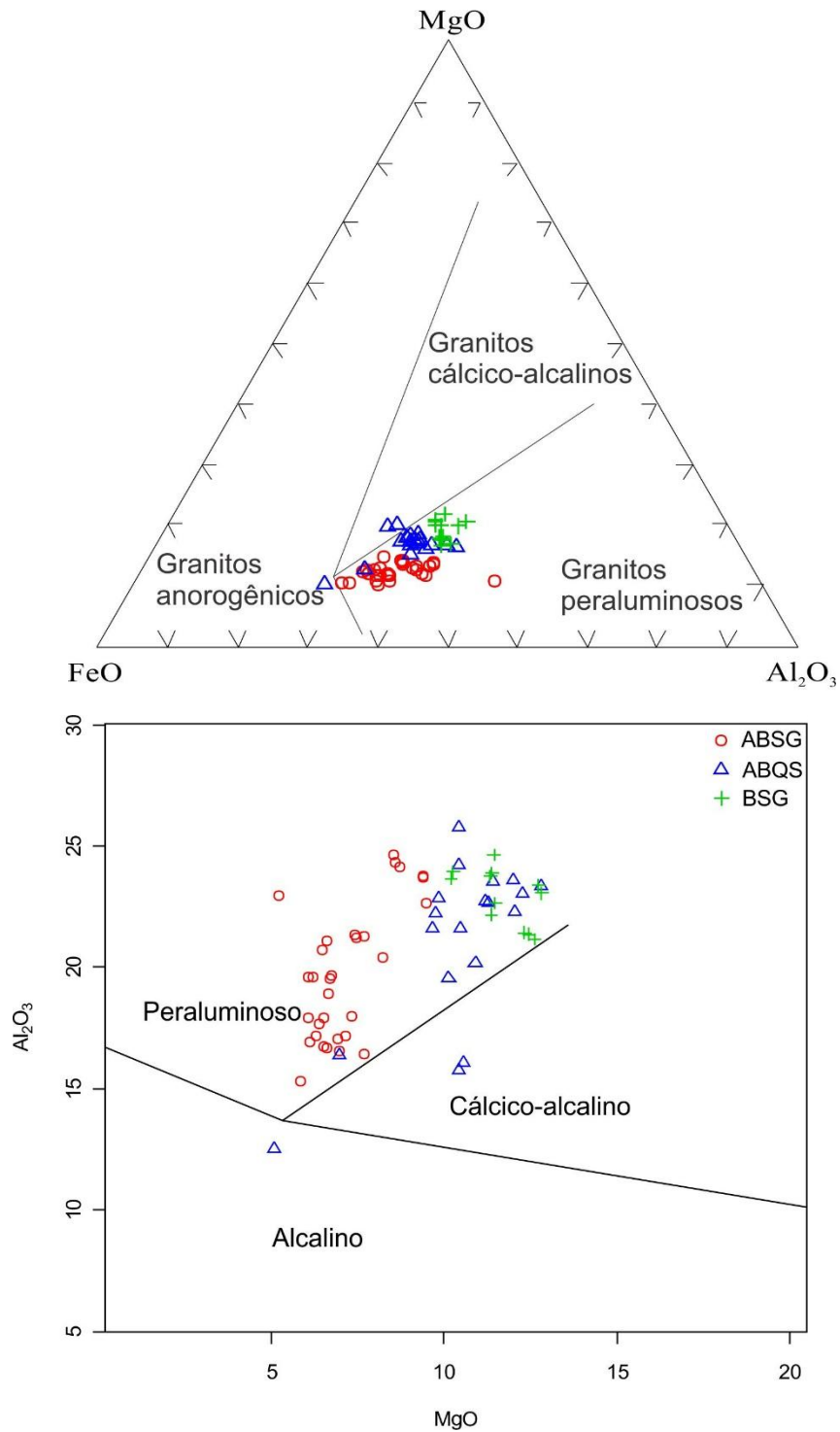
| CER-242 - Anfibólio-biotita-quartzo-sienito | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| SiO ₂ | 31,49 | 31,09 | 32,43 | 35,76 | 33,61 | 41,49 | 32,10 | 40,06 | 35,39 | 38,60 | 35,32 | 37,87 | 40,61 | 37,06 | 43,57 | 37,48 | 43,86 | 49,71 | 43,79 |
| TiO ₂ | 0,21 | 0,18 | 0,24 | 0,16 | 0,08 | 0,22 | 0,16 | 0,12 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,14 | 0,15 | 0,10 | 0,23 | 0,13 | 0,07 | 0,37 | 0,15 |
| Al ₂ O ₃ | 23,38 | 23,06 | 23,59 | 22,72 | 22,32 | 19,60 | 23,61 | 20,23 | 22,77 | 22,25 | 22,91 | 24,26 | 21,64 | 25,83 | 16,45 | 21,66 | 16,16 | 12,62 | 15,84 |
| FeO* | 30,70 | 32,07 | 30,72 | 27,69 | 29,70 | 24,83 | 30,80 | 24,92 | 28,13 | 26,06 | 29,47 | 24,71 | 24,21 | 24,44 | 28,76 | 26,99 | 23,48 | 28,64 | 24,45 |
| MgO | 12,55 | 12,03 | 11,18 | 11,06 | 11,80 | 9,94 | 11,75 | 10,69 | 10,96 | 9,58 | 9,63 | 10,24 | 9,48 | 10,21 | 6,84 | 10,28 | 10,35 | 5,01 | 10,22 |
| MnO | 0,74 | 0,86 | 0,96 | 0,67 | 0,77 | 0,44 | 0,63 | 0,62 | 0,76 | 0,60 | 0,83 | 0,60 | 0,58 | 0,63 | 0,50 | 0,59 | 0,46 | 0,56 | 0,42 |
| CaO | 0,06 | 0,07 | 0,10 | 0,25 | 0,17 | 0,40 | 0,16 | 0,30 | 0,32 | 0,48 | 0,42 | 0,37 | 0,66 | 0,38 | 0,30 | 0,27 | 0,24 | 0,22 | 0,31 |
| Na ₂ O | 0,53 | 0,47 | 0,48 | 0,53 | 0,60 | 0,54 | 0,49 | 0,55 | 0,51 | 0,40 | 0,56 | 0,51 | 0,57 | 0,59 | 0,23 | 0,44 | 0,40 | 0,09 | 0,47 |
| K ₂ O | 0,33 | 0,17 | 0,30 | 1,16 | 0,94 | 2,54 | 0,30 | 2,51 | 1,06 | 1,93 | 0,74 | 1,29 | 2,10 | 0,76 | 3,12 | 2,16 | 4,98 | 2,77 | 4,35 |
| F | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd |
| OH- | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd |
| TOTAL | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,03 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| fórmula estrutural na base de 22 átomos de oxigênio | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 4,61 | 4,58 | 4,73 | 5,12 | 4,89 | 5,83 | 4,68 | 5,66 | 5,08 | 5,46 | 5,10 | 5,31 | 5,68 | 5,17 | 6,23 | 5,36 | 6,20 | 7,00 | 6,20 |
| ^{IV} Al | 3,39 | 3,42 | 3,27 | 2,88 | 3,11 | 2,17 | 3,32 | 2,34 | 2,92 | 2,54 | 2,90 | 2,69 | 2,32 | 2,83 | 1,77 | 2,64 | 1,80 | 1,00 | 1,80 |
| Soma 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 | 8,00 |
| ^{VI} Al | 0,64 | 0,58 | 0,78 | 0,95 | 0,72 | 1,08 | 0,74 | 1,02 | 0,94 | 1,18 | 0,99 | 1,31 | 1,25 | 1,42 | 1,01 | 1,00 | 0,89 | 1,09 | 0,84 |
| Ti | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,02 |
| Fe* | 3,75 | 3,95 | 3,75 | 3,31 | 3,61 | 2,92 | 3,76 | 2,94 | 3,38 | 3,08 | 3,56 | 2,90 | 2,83 | 2,85 | 3,44 | 3,23 | 2,77 | 3,37 | 2,89 |
| Mn | 0,09 | 0,11 | 0,12 | 0,08 | 0,09 | 0,05 | 0,08 | 0,07 | 0,09 | 0,07 | 0,10 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,05 | 0,07 | 0,05 |
| Mg | 2,74 | 2,64 | 2,43 | 2,36 | 2,56 | 2,08 | 2,56 | 2,25 | 2,35 | 2,02 | 2,07 | 2,14 | 1,98 | 2,13 | 1,46 | 2,19 | 2,18 | 1,05 | 2,16 |
| Soma O | 7,24 | 7,30 | 7,11 | 6,73 | 6,99 | 6,16 | 7,15 | 6,30 | 6,76 | 6,37 | 6,73 | 6,43 | 6,15 | 6,49 | 5,99 | 6,51 | 5,91 | 5,62 | 5,96 |
| Ca | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,03 | 0,06 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,10 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,05 |
| Na | 0,15 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,17 | 0,15 | 0,14 | 0,15 | 0,14 | 0,11 | 0,16 | 0,14 | 0,15 | 0,16 | 0,06 | 0,12 | 0,11 | 0,03 | 0,13 |
| K | 0,06 | 0,03 | 0,06 | 0,21 | 0,17 | 0,45 | 0,06 | 0,45 | 0,19 | 0,35 | 0,14 | 0,23 | 0,37 | 0,14 | 0,57 | 0,39 | 0,90 | 0,50 | 0,79 |
| Sítio A | 0,22 | 0,18 | 0,21 | 0,40 | 0,37 | 0,66 | 0,22 | 0,65 | 0,38 | 0,53 | 0,36 | 0,43 | 0,63 | 0,35 | 0,68 | 0,56 | 1,04 | 0,56 | 0,96 |
| Mg/(Mg+Fe _i) | 0,42 | 0,40 | 0,39 | 0,42 | 0,41 | 0,42 | 0,40 | 0,43 | 0,41 | 0,40 | 0,37 | 0,42 | 0,41 | 0,43 | 0,30 | 0,40 | 0,44 | 0,24 | 0,43 |
| Al _i = ^{IV} Al + ^{VI} Al | 4,03 | 4,00 | 4,05 | 3,83 | 3,83 | 3,25 | 4,06 | 3,37 | 3,85 | 3,71 | 3,90 | 4,01 | 3,57 | 4,25 | 2,77 | 3,65 | 2,69 | 2,09 | 2,64 |
| Fet/(Fet+Mg) | 0,58 | 0,60 | 0,61 | 0,58 | 0,59 | 0,58 | 0,60 | 0,57 | 0,59 | 0,60 | 0,63 | 0,58 | 0,59 | 0,57 | 0,70 | 0,60 | 0,56 | 0,76 | 0,57 |
| FeO*=Fe total | | | | | | | | | | nd= não determinado | | | | | | | | | |

Figura 7 - Diagramas (A) $\text{TiO}_2\text{-FeO+MnO-MgO}$ (NACHIT, 1986, óxidos em % em peso) para as biotitas do GSA.



Fonte: Do autor.

Figura 8 - Diagramas MgO-FeO-Al₂O₃ e Al₂O₃ x MgO (ABDEL-RAHMAN, 1994) para classificação de biotitas do GSA, mostrando em ambos a incidência dominante das mesmas no campo peraluminoso.



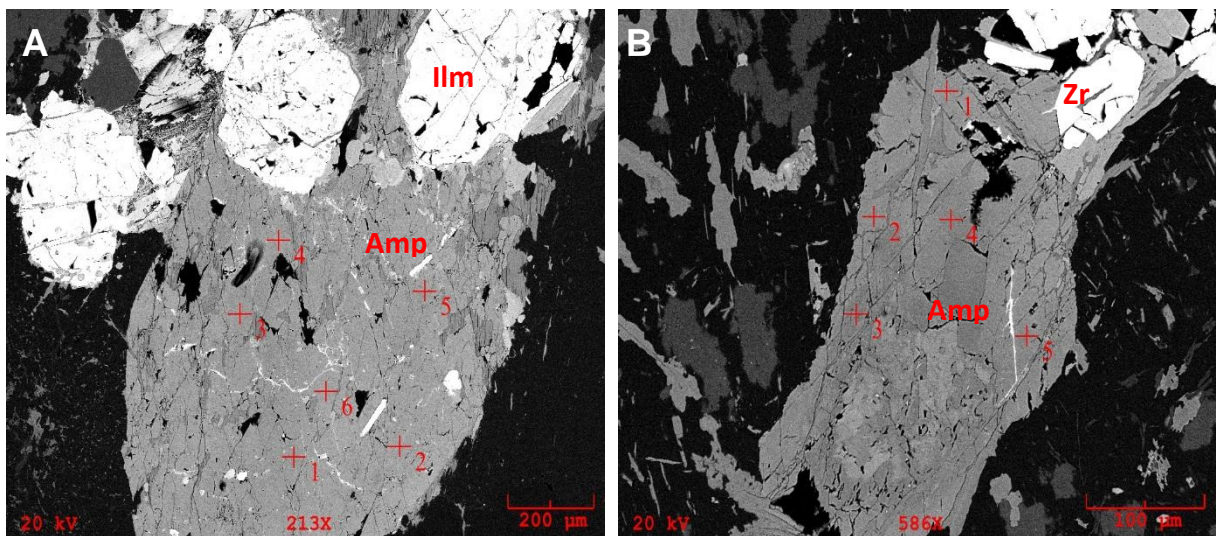
Fonte: Do autor.

6.3.2 Anfibólio

No GSA o anfibólio ocorre nas fácies ABSG e ABQS, com hábito prismático curto, mantendo em geral contatos retos e lobados com os demais cristais, apresentando alto grau de alteração para clorita e em geral associado aos minerais opacos e zircão (Figura 9).

Mostra razões de $Mg/(Mg+Fe_t)$ e $Fe_t/(Fe_t+Mg)$ em torno de 0,40 e 0,50, respectivamente, de acordo com as análises de EDS (Tabela 3). A partir dos dados obtidos pode-se classificar os anfibólios com base no diagrama de classificação de anfibólios (LEAKE *et al.*, 1997) como Fe-Hornblenda e Mg-Hornblenda (Figura 10).

Figura 9 - Imagens de EDS mostrando cristais subédricos a anédricos de anfibólio: (A) e (B) associado a minerais opacos, ilmenita e zircão. Ilm – Ilmenita; Zr – Zircão; Amp – Anfibólio. Abreviações conforme Whitney & Evans (2010).



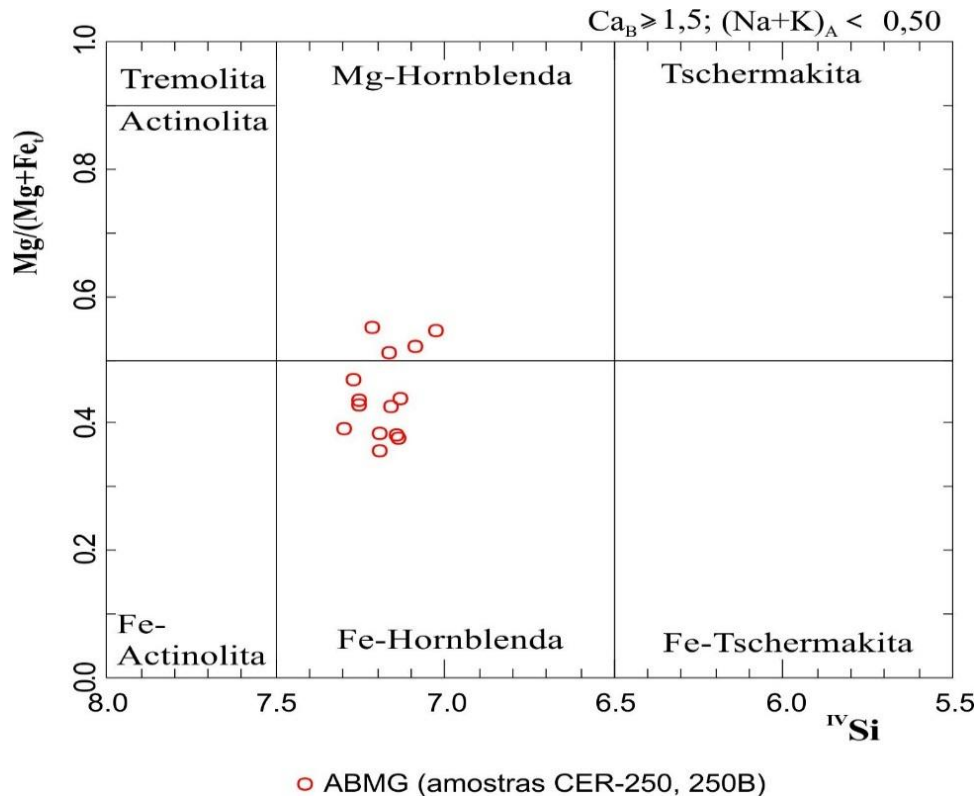
Fonte: Do autor.

Tabela 3 - Análises de MEV-EDS representativas de anfibólios do Granito Serra Alta, Província Aurífera Tapajós.

| Amostras=CER-250 e 250B | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|--------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|--------------|--------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Tipo | Fe-Hb | Fe-Hb | Fe-Hb | Fe-Hb | Fe-Hb | Fe-Hb | Fe-Hb | Fe-Hb | Fe-Hb | Fe-Hb | Mg-Hb | Mg-Hb | Mg-Hb | Mg-Hb |
| SiO ₂ | 48,01 | 48,12 | 48,57 | 48,57 | 48,68 | 48,73 | 49,45 | 49,50 | 49,67 | 50,05 | 49,13 | 49,16 | 49,61 | 50,11 |
| TiO ₂ | 1,35 | 1,44 | 1,42 | 1,02 | 1,51 | 1,15 | 1,28 | 1,02 | 1,15 | 1,13 | 1,41 | 1,40 | 0,81 | 1,42 |
| Al ₂ O ₃ | 6,83 | 6,52 | 6,56 | 6,50 | 6,71 | 6,86 | 6,39 | 5,85 | 6,17 | 5,79 | 7,32 | 6,96 | 6,56 | 6,55 |
| FeO* | 21,63 | 22,16 | 21,62 | 22,69 | 20,11 | 20,46 | 20,07 | 21,71 | 20,48 | 19,56 | 16,98 | 17,77 | 18,21 | 16,40 |
| MgO | 7,46 | 7,48 | 7,55 | 7,06 | 8,82 | 8,52 | 8,74 | 7,90 | 8,65 | 9,64 | 11,47 | 10,84 | 10,64 | 11,30 |
| MnO | 1,26 | 1,28 | 1,29 | 1,54 | 1,26 | 1,18 | 1,03 | 1,26 | 1,37 | 1,23 | 0,88 | 0,89 | 1,15 | 0,97 |
| CaO | 10,52 | 10,20 | 10,26 | 10,01 | 10,05 | 10,13 | 10,48 | 10,25 | 9,89 | 10,12 | 9,67 | 10,04 | 10,26 | 10,40 |
| Na ₂ O | 2,09 | 1,99 | 2,03 | 1,81 | 2,13 | 2,06 | 1,84 | 1,87 | 2,03 | 1,91 | 2,47 | 2,18 | 2,02 | 2,24 |
| K ₂ O | 0,84 | 0,81 | 0,71 | 0,80 | 0,73 | 0,91 | 0,73 | 0,64 | 0,59 | 0,57 | 0,65 | 0,74 | 0,74 | 0,63 |
| F | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd |
| OH- | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd |
| TOTAL | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| fórmula estrutural na base de 23 átomos de oxigênio | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 7,14 | 7,14 | 7,19 | 7,19 | 7,13 | 7,16 | 7,25 | 7,30 | 7,26 | 7,27 | 7,03 | 7,08 | 7,16 | 7,22 |
| ^{IV} Al | 0,86 | 0,86 | 0,81 | 0,81 | 0,87 | 0,84 | 0,75 | 0,70 | 0,74 | 0,73 | 0,97 | 0,92 | 0,84 | 0,78 |
| Soma 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 |
| ^{VI} Al | 0,34 | 0,28 | 0,34 | 0,33 | 0,29 | 0,35 | 0,36 | 0,32 | 0,32 | 0,26 | 0,26 | 0,27 | 0,28 | 0,33 |
| Ti | 0,15 | 0,16 | 0,16 | 0,11 | 0,17 | 0,13 | 0,14 | 0,11 | 0,13 | 0,12 | 0,15 | 0,15 | 0,09 | 0,15 |
| Fe ³⁺ | 0,09 | 0,30 | 0,19 | 0,41 | 0,35 | 0,29 | 0,15 | 0,26 | 0,39 | 0,43 | 0,64 | 0,50 | 0,50 | 0,20 |
| Mn | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,19 | 0,16 | 0,15 | 0,13 | 0,16 | 0,17 | 0,15 | 0,11 | 0,11 | 0,14 | 0,12 |
| Mg | 1,66 | 1,65 | 1,67 | 1,56 | 1,93 | 1,87 | 1,91 | 1,74 | 1,88 | 2,09 | 2,45 | 2,33 | 2,29 | 2,43 |
| Fe ²⁺ | 2,60 | 2,45 | 2,49 | 2,40 | 2,11 | 2,22 | 2,31 | 2,42 | 2,11 | 1,95 | 1,39 | 1,65 | 1,70 | 1,77 |
| SOMA C | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Mg | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe ²⁺ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca | 1,68 | 1,62 | 1,63 | 1,59 | 1,58 | 1,59 | 1,65 | 1,62 | 1,55 | 1,58 | 1,48 | 1,55 | 1,59 | 1,60 |
| Na | 0,32 | 0,38 | 0,37 | 0,41 | 0,42 | 0,41 | 0,35 | 0,38 | 0,45 | 0,42 | 0,52 | 0,45 | 0,41 | 0,40 |
| Soma B | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| Na | 0,28 | 0,19 | 0,21 | 0,11 | 0,18 | 0,18 | 0,17 | 0,16 | 0,12 | 0,11 | 0,17 | 0,16 | 0,15 | 0,23 |
| K | 0,16 | 0,15 | 0,13 | 0,15 | 0,14 | 0,17 | 0,14 | 0,12 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,14 | 0,14 | 0,12 |
| Soma A | 0,44 | 0,34 | 0,34 | 0,26 | 0,32 | 0,35 | 0,31 | 0,28 | 0,23 | 0,22 | 0,29 | 0,30 | 0,29 | 0,34 |
| Total | 15,44 | 15,34 | 15,34 | 15,26 | 15,32 | 15,35 | 15,31 | 15,28 | 15,23 | 15,22 | 15,29 | 15,30 | 15,29 | 15,34 |
| Mg/(Mg+Fe _t) | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,36 | 0,44 | 0,43 | 0,44 | 0,39 | 0,43 | 0,47 | 0,55 | 0,52 | 0,51 | 0,55 |
| Si | 7,15 | 7,14 | 7,19 | 7,19 | 7,13 | 7,16 | 7,25 | 7,30 | 7,26 | 7,27 | 7,03 | 7,09 | 7,17 | 7,22 |
| Fe _t /(Fe _t +Mg) | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,64 | 0,56 | 0,57 | 0,56 | 0,61 | 0,57 | 0,53 | 0,45 | 0,47 | 0,49 | 0,45 |
| Al _t = ^{IV} Al+ ^{VI} Al | 1,20 | 1,14 | 1,15 | 1,13 | 1,16 | 1,19 | 1,10 | 1,02 | 1,06 | 0,99 | 1,23 | 1,18 | 1,12 | 1,11 |
| | FeO*=Fe total | | nd= não determinado | | | | Fe-Hb=Fe-hornblenda | | | Mg-Hb=Mg-hornblenda | | | | |

Fonte: Do autor.

Figura 10 - Diagramas de classificação de anfibólios (LEAKE *et al.*, 1997) das rochas dos pontos CE-R-250 e CE-R250B do GSA.



Fonte: Do autor.

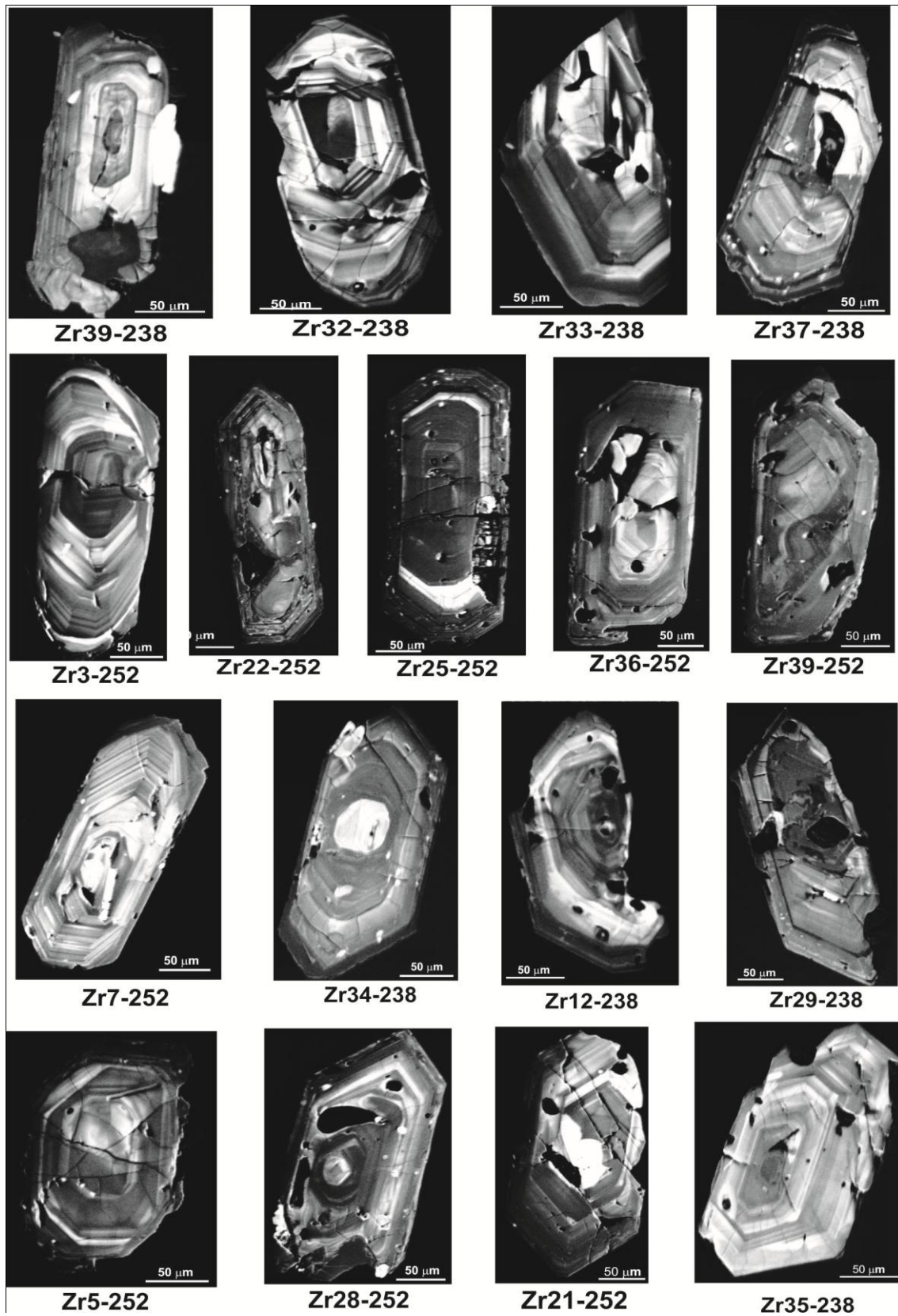
6.3.3 Zircão

Os zircões do GSA ocorrem predominantemente como inclusões na biotita, mostram hábito bipiramidal, zoneamento magmático bem definido e ausência de metamitização (Figura 11). Para as análises de MEV-EDS foram separados cristais das amostras CE-R-238 e CE-R-252 (Tabelas 4 e 5, respectivamente).

As Figuras 12 A e B (LAMARÃO *et al.*, 2007) apresentam as razões Zr/Hf e os conteúdos de Hf+Y+Th+U de zircões de granitos mineralizados e não mineralizados das Províncias Estaníferas do Sul do Pará (granitos Serra da Queimada, Mocambo, Antônio Vicente, Velho Guilherme), Pitinga no Amazonas (Granito Água Boa) e Rondônia (Granito Bom Futuro). Comparando os dados geoquímicos obtidos nos zircões do GSA, percebe-se que o mesmo não é especializado.

Os diagramas das Figuras 12 C e D mostram claramente teores extremamente baixos de Hf, Y, U e Th e razões Zr/Hf comparativamente mais elevadas, muito diferentes daquelas encontradas nos zircões dos corpos especializados.

Figura 11 - Imagens de MEV-CL de zircões representativos do GSA, (amostras CE-R238 e CE-R-252), com hábito bipiramidal, zoneamento magmático bem definido, finas inclusões (não identificadas) e ausência de metamitização evidente.



Fonte: Do autor.

Tabela 4 - Análise de MEV-EDS representativas dos zircões do ponto CE-R-238 do Granito Serra Alta, Província Aurífera do Tapajós.

| FÁCIES | Amostra | O | Si | Ca | Y | Zr | Nb | La | Hf | Ta | Th | U | Zr/Hf | Hf+Y+Th+U | |
|--------|-----------|-----------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|--------|-----------|------|
| ABS | Zr_238_04 | 34,90 | 12,52 | 0,40 | 0,00 | 45,61 | 2,62 | 0,10 | 0,90 | 2,91 | 0,00 | 0,05 | 50,68 | 0,95 | |
| | | 36,03 | 13,32 | 1,05 | 0,00 | 45,28 | 1,58 | 0,00 | 1,24 | 1,20 | 0,00 | 0,30 | 36,52 | 1,54 | |
| | | 36,37 | 12,37 | 1,27 | 0,00 | 44,23 | 0,00 | 0,07 | 1,49 | 1,55 | 0,03 | 0,00 | 29,68 | 1,52 | |
| | | | 37,54 | 12,40 | 1,07 | 0,00 | 44,47 | 1,08 | 0,07 | 1,46 | 1,56 | 0,16 | 0,19 | 30,46 | 1,81 |
| | | | 33,58 | 12,77 | 0,00 | 0,00 | 47,34 | 1,76 | 0,05 | 0,97 | 3,51 | 0,02 | 0,00 | 48,80 | 0,99 |
| | | | 34,97 | 13,23 | 0,08 | 0,00 | 47,25 | 2,08 | 0,40 | 0,00 | 1,92 | 0,06 | 0,00 | 47,25 | 0,06 |
| | | Zr_238_19 | 33,04 | 13,81 | 0,00 | 0,00 | 49,23 | 1,46 | 0,00 | 0,49 | 1,90 | 0,08 | 0,00 | 100,47 | 0,57 |
| | | | 32,84 | 14,14 | 0,07 | 0,00 | 49,14 | 1,98 | 0,06 | 0,67 | 1,00 | 0,11 | 0,00 | 73,34 | 0,78 |
| | | | 32,04 | 13,20 | 0,04 | 0,00 | 49,76 | 2,05 | 0,00 | 0,56 | 2,28 | 0,00 | 0,07 | 88,86 | 0,63 |
| | | | 32,69 | 13,99 | 0,00 | 0,00 | 48,38 | 2,33 | 0,18 | 1,02 | 0,91 | 0,00 | 0,51 | 47,43 | 1,53 |
| | | | 33,35 | 12,94 | 0,02 | 0,00 | 47,42 | 1,99 | 0,30 | 1,09 | 2,79 | 0,10 | 0,00 | 43,50 | 1,19 |
| | | | 33,54 | 13,76 | 0,00 | 0,00 | 48,44 | 2,09 | 0,11 | 0,83 | 0,93 | 0,28 | 0,00 | 58,36 | 1,11 |
| | | Zr_238_23 | 34,94 | 13,56 | 0,00 | 0,00 | 47,51 | 1,77 | 0,00 | 1,04 | 1,02 | 0,16 | 0,00 | 45,68 | 1,20 |
| | | | 32,72 | 13,01 | 0,00 | 0,00 | 48,34 | 2,81 | 0,00 | 0,77 | 2,35 | 0,00 | 0,00 | 62,78 | 0,77 |
| | | | 32,85 | 13,38 | 0,04 | 0,00 | 47,91 | 2,09 | 0,00 | 1,28 | 2,21 | 0,00 | 0,24 | 37,43 | 1,52 |
| | Zr_238_32 | 34,33 | 13,88 | 0,03 | 0,00 | 48,02 | 1,38 | 0,02 | 0,79 | 1,20 | 0,35 | 0,00 | 60,78 | 1,14 | |
| | | 33,82 | 13,75 | 0,00 | 0,00 | 48,42 | 2,19 | 0,00 | 1,05 | 0,76 | 0,00 | 0,00 | 46,11 | 1,05 | |
| | | 33,70 | 13,83 | 0,06 | 0,00 | 48,69 | 1,37 | 0,10 | 0,75 | 1,34 | 0,00 | 0,16 | 64,92 | 0,91 | |
| | | 34,05 | 12,43 | 0,01 | 0,00 | 47,66 | 2,07 | 0,00 | 0,30 | 3,38 | 0,00 | 0,09 | 158,87 | 0,39 | |
| | | 34,97 | 13,27 | 0,07 | 0,00 | 46,40 | 1,91 | 0,08 | 1,03 | 2,19 | 0,00 | 0,09 | 45,05 | 1,12 | |
| | | 33,94 | 13,23 | 0,05 | 0,00 | 47,85 | 2,15 | 0,00 | 0,42 | 2,18 | 0,19 | 0,00 | 113,93 | 0,61 | |
| | Zr_238_35 | 33,76 | 13,32 | 0,00 | 0,00 | 48,08 | 2,28 | 0,17 | 0,74 | 1,64 | 0,00 | 0,00 | 64,97 | 0,74 | |
| | | 34,27 | 13,35 | 0,09 | 0,00 | 47,20 | 1,84 | 0,00 | 0,50 | 2,10 | 0,50 | 0,15 | 94,40 | 1,15 | |
| | | 33,21 | 13,24 | 0,06 | 0,00 | 48,47 | 1,63 | 0,00 | 0,40 | 2,53 | 0,10 | 0,36 | 121,18 | 0,86 | |
| | | 33,60 | 14,20 | 0,16 | 0,00 | 48,62 | 2,03 | 0,00 | 0,76 | 0,52 | 0,10 | 0,00 | 63,97 | 0,86 | |
| | | 33,43 | 13,42 | 0,00 | 0,00 | 48,72 | 1,65 | 0,10 | 0,29 | 2,18 | 0,00 | 0,21 | 168,00 | 0,50 | |
| | | 33,57 | 13,26 | 0,00 | 0,00 | 48,38 | 1,75 | 0,00 | 0,79 | 1,99 | 0,27 | 0,00 | 61,24 | 1,06 | |
| | Zr_238_37 | 34,16 | 12,91 | 0,00 | 0,00 | 47,94 | 1,78 | 0,00 | 0,00 | 3,00 | 0,00 | 0,21 | 47,94 | 0,21 | |
| | | 33,92 | 13,26 | 0,13 | 0,00 | 48,53 | 1,51 | 0,00 | 0,80 | 1,86 | 0,00 | 0,00 | 60,66 | 0,80 | |
| | | 33,16 | 13,83 | 0,01 | 0,00 | 47,87 | 2,83 | 0,08 | 0,97 | 0,82 | 0,42 | 0,00 | 49,35 | 1,39 | |
| | | 34,60 | 13,09 | 0,22 | 0,00 | 47,63 | 1,61 | 0,01 | 0,87 | 1,92 | 0,00 | 0,06 | 54,75 | 0,93 | |
| | | 35,47 | 13,10 | 0,10 | 0,00 | 45,94 | 2,12 | 0,00 | 1,49 | 1,77 | 0,00 | 0,00 | 30,83 | 1,49 | |
| | | 33,50 | 13,41 | 0,00 | 0,00 | 48,85 | 1,53 | 0,00 | 0,41 | 2,30 | 0,00 | 0,00 | 119,15 | 0,41 | |
| | | 33,68 | 13,74 | 0,00 | 0,00 | 47,61 | 1,45 | 0,00 | 0,91 | 2,37 | 0,00 | 0,24 | 52,32 | 1,15 | |
| | | 33,92 | 12,94 | 0,00 | 0,00 | 48,08 | 1,94 | 0,00 | 0,11 | 2,70 | 0,11 | 0,19 | 437,09 | 0,41 | |
| | | 32,78 | 13,14 | 0,07 | 0,00 | 48,00 | 2,12 | 0,43 | 0,53 | 2,84 | 0,01 | 0,08 | 90,57 | 0,62 | |
| | Zr_238_45 | 31,70 | 13,62 | 0,00 | 0,00 | 48,60 | 2,40 | 0,00 | 1,58 | 2,01 | 0,00 | 0,09 | 30,76 | 1,67 | |
| | | 32,33 | 13,72 | 0,00 | 0,00 | 49,00 | 1,73 | 0,27 | 1,02 | 1,43 | 0,00 | 0,51 | 48,04 | 1,53 | |
| | | 33,57 | 13,42 | 0,09 | 0,00 | 47,94 | 1,51 | 0,00 | 0,70 | 2,17 | 0,60 | 0,00 | 68,49 | 1,30 | |
| | | 33,78 | 14,30 | 0,00 | 0,00 | 47,92 | 1,22 | 0,18 | 1,18 | 0,99 | 0,44 | 0,00 | 40,61 | 1,62 | |
| | | 34,94 | 13,45 | 0,00 | 0,00 | 47,09 | 1,58 | 0,00 | 1,66 | 1,10 | 0,00 | 0,18 | 28,37 | 1,84 | |
| | | 34,23 | 13,27 | 0,04 | 0,00 | 46,99 | 2,44 | 0,00 | 1,08 | 1,71 | 0,00 | 0,24 | 43,51 | 1,32 | |
| | Zr_238_50 | 34,33 | 13,14 | 0,04 | 0,00 | 46,96 | 1,58 | 0,00 | 0,86 | 3,07 | 0,02 | 0,00 | 54,60 | 0,88 | |
| | | 36,93 | 13,21 | 0,94 | 0,00 | 44,42 | 1,85 | 0,00 | 1,53 | 0,98 | 0,00 | 0,13 | 29,03 | 1,66 | |
| | | 37,76 | 11,85 | 1,23 | 0,00 | 42,17 | 1,76 | 0,00 | 0,95 | 2,88 | 0,33 | 0,06 | 44,39 | 1,34 | |
| | | 37,52 | 12,74 | 0,54 | 0,00 | 43,56 | 2,19 | 0,03 | 1,42 | 0,39 | 0,00 | 0,60 | 30,68 | 2,02 | |
| | | 33,07 | 12,88 | 0,09 | 0,00 | 47,96 | 2,00 | 0,03 | 0,50 | 3,14 | 0,33 | 0,00 | 95,92 | 0,83 | |
| | | 33,60 | 13,27 | 0,10 | 0,00 | 46,64 | 0,54 | 0,00 | 1,13 | 1,80 | 0,54 | 0,12 | 41,27 | 1,79 | |
| | | 34,63 | 12,85 | 0,24 | 0,00 | 46,62 | 1,91 | 0,00 | 1,21 | 2,37 | 0,11 | 0,08 | 38,53 | 1,40 | |
| | | 34,85 | 12,83 | 0,10 | 0,00 | 46,75 | 2,26 | 0,14 | 0,75 | 1,99 | 0,24 | 0,09 | 62,33 | 1,08 | |
| | | 36,28 | 13,06 | 0,52 | 0,00 | 44,71 | 1,69 | 0,14 | 0,87 | 1,86 | 0,00 | 0,27 | 51,39 | 1,14 | |

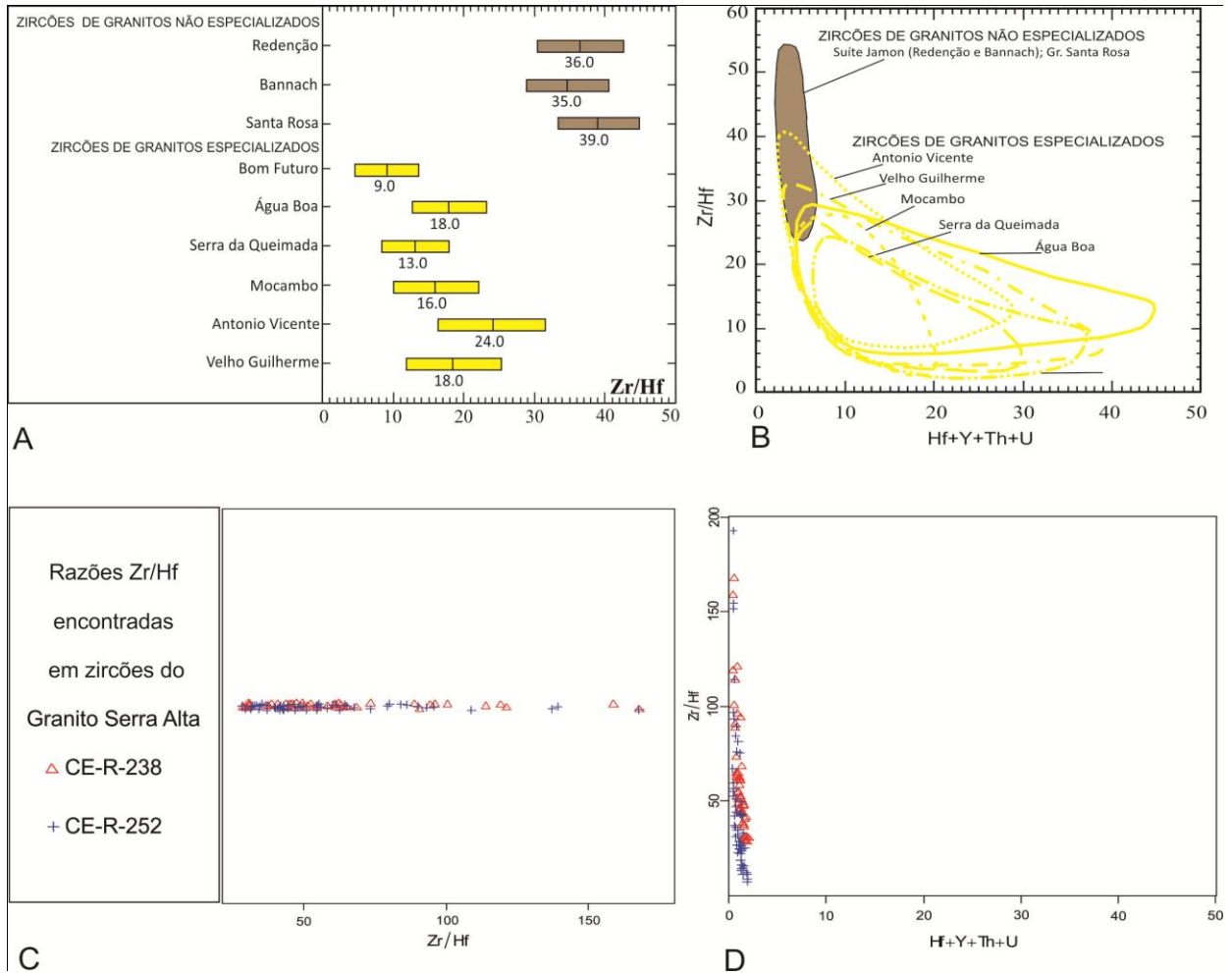
Fonte: Do autor.

Tabela 5 - Análise de MEV-EDS representativas dos zircões do ponto CE-R-252 do Granito Serra Alta, Província Aurífera do Tapajós.

| FÁCIES | Amostra | O | Si | Ca | Y | Zr | Nb | La | Hf | Ta | Th | U | Zr/Hf | Hf+Y+Th+U | |
|--------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|---------|-----------|------|
| BS | Zr_252_03 | 4,30 | 13,53 | 0,01 | 0,00 | 44,29 | 0,12 | 0,20 | 0,59 | 0,94 | 0,00 | 0,00 | 75,07 | 0,59 | |
| | | 39,50 | 12,86 | 0,00 | 0,00 | 44,27 | 0,58 | 0,10 | 1,12 | 1,43 | 0,00 | 0,25 | 39,53 | 1,37 | |
| | 40,39 | 12,91 | 0,00 | 0,00 | 43,23 | 0,48 | 0,20 | 0,85 | 1,34 | 0,38 | 0,42 | 50,86 | 1,65 | | |
| | | | 38,24 | 13,51 | 0,09 | 0,00 | 44,94 | 0,00 | 0,10 | 1,61 | 1,62 | 0,00 | 0,00 | 27,91 | 1,61 |
| | | | 39,74 | 12,89 | 0,00 | 0,00 | 43,93 | 0,53 | 0,00 | 1,56 | 0,85 | 0,48 | 0,00 | 28,16 | 2,04 |
| | | Zr_252_05 | 40,81 | 13,70 | 0,00 | 0,00 | 44,35 | 0,00 | 0,20 | 0,39 | 0,66 | 0,09 | 0,00 | 113,72 | 0,48 |
| | | | 39,06 | 12,64 | 0,09 | 0,00 | 44,50 | 1,15 | 0,18 | 0,25 | 2,06 | 0,01 | 0,06 | 178,00 | 0,32 |
| | | | 40,37 | 13,17 | 0,00 | 0,00 | 43,84 | 1,13 | 0,00 | 0,42 | 0,63 | 0,00 | 0,45 | 104,38 | 0,87 |
| | | | 40,44 | 12,50 | 0,00 | 0,00 | 42,98 | 0,67 | 0,00 | 0,78 | 2,62 | 0,00 | 0,00 | 55,10 | 0,78 |
| | | Zr_252_07 | 41,07 | 12,40 | 0,00 | 0,00 | 44,28 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,02 | 0,21 | 0,02 | 48,28 | 0,23 |
| | | | 39,20 | 12,74 | 0,03 | 0,00 | 44,44 | 1,01 | 0,00 | 1,06 | 1,14 | 0,00 | 0,39 | 41,92 | 1,45 |
| | | | 39,25 | 12,41 | 0,00 | 0,00 | 43,21 | 1,16 | 0,00 | 0,72 | 2,42 | 0,71 | 0,12 | 60,01 | 1,55 |
| | | | 41,71 | 13,10 | 0,00 | 0,00 | 43,54 | 0,04 | 0,08 | 0,20 | 1,33 | 0,00 | 0,00 | 217,70 | 0,20 |
| | | Zr_252_09 | 40,05 | 12,51 | 0,00 | 0,00 | 43,83 | 0,92 | 0,00 | 0,40 | 1,72 | 0,05 | 0,52 | 109,58 | 0,97 |
| | | | 37,93 | 11,86 | 0,01 | 0,00 | 44,79 | 0,86 | 0,00 | 0,33 | 3,79 | 0,20 | 0,23 | 135,73 | 0,76 |
| | | | 43,62 | 12,05 | 0,27 | 0,73 | 40,48 | 1,00 | 0,00 | 0,40 | 1,44 | 0,00 | 0,00 | 101,20 | 1,13 |
| | | | 41,01 | 12,38 | 0,03 | 0,00 | 42,13 | 0,81 | 0,00 | 1,27 | 2,16 | 0,00 | 0,21 | 33,17 | 1,48 |
| | | | 38,94 | 13,55 | 0,10 | 0,00 | 44,19 | 0,00 | 0,26 | 1,53 | 1,00 | 0,42 | 0,00 | 28,88 | 1,95 |
| | | | 39,24 | 13,36 | 0,00 | 0,00 | 44,24 | 1,72 | 0,09 | 0,72 | 0,00 | 0,00 | 0,63 | 61,44 | 1,35 |
| | | | 39,04 | 12,36 | 0,03 | 0,00 | 43,98 | 0,78 | 0,00 | 1,03 | 2,02 | 0,36 | 0,40 | 42,70 | 1,79 |
| | | Zr_252_14 | 38,80 | 12,62 | 0,05 | 0,00 | 44,80 | 0,46 | 0,32 | 0,63 | 2,32 | 0,00 | 0,00 | 71,11 | 0,63 |
| | | | 39,95 | 13,29 | 0,00 | 0,00 | 44,04 | 0,65 | 0,04 | 0,71 | 1,10 | 0,22 | 0,00 | 62,03 | 0,93 |
| | | | 39,23 | 13,08 | 0,00 | 0,00 | 44,95 | 0,34 | 0,10 | 0,86 | 1,26 | 0,00 | 0,19 | 52,27 | 1,05 |
| | | | 39,31 | 12,45 | 0,00 | 0,00 | 43,53 | 0,86 | 0,28 | 0,64 | 2,10 | 0,44 | 0,38 | 68,02 | 1,46 |
| | | | 39,47 | 12,50 | 0,00 | 0,00 | 44,13 | 0,45 | 0,41 | 0,82 | 2,18 | 0,04 | 0,00 | 53,82 | 0,86 |
| | | | 38,63 | 12,54 | 0,00 | 0,00 | 43,92 | 1,55 | 0,26 | 0,73 | 2,38 | 0,00 | 0,00 | 60,16 | 0,73 |
| | | | 41,37 | 12,88 | 0,00 | 0,00 | 42,67 | 1,45 | 0,00 | 0,45 | 0,35 | 0,49 | 0,35 | 94,82 | 1,29 |
| | | Zr_252_20 | 40,78 | 12,95 | 0,05 | 0,00 | 43,82 | 1,45 | 0,00 | 0,63 | 0,09 | 0,00 | 0,23 | 69,56 | 0,86 |
| | | | 39,40 | 13,06 | 0,11 | 0,00 | 44,58 | 0,23 | 0,00 | 0,90 | 1,50 | 0,11 | 0,10 | 49,53 | 1,11 |
| | | | 40,62 | 13,54 | 0,11 | 0,00 | 43,75 | 0,62 | 0,00 | 0,67 | 0,48 | 0,00 | 0,22 | 65,30 | 0,89 |
| | | | 40,08 | 12,83 | 0,00 | 0,00 | 43,07 | 0,27 | 0,12 | 1,70 | 1,57 | 0,00 | 0,35 | 25,34 | 2,05 |
| | | | 40,68 | 12,38 | 0,09 | 0,00 | 42,65 | 0,63 | 0,00 | 1,04 | 2,03 | 0,16 | 0,33 | 41,01 | 1,53 |
| | | 40,94 | 12,33 | 0,00 | 0,00 | 42,36 | 1,40 | 0,00 | 1,78 | 0,92 | 0,00 | 0,27 | 23,80 | 2,05 | |
| | | 39,96 | 13,09 | 0,00 | 0,00 | 44,26 | 0,41 | 0,00 | 1,06 | 1,02 | 0,18 | 0,02 | 41,75 | 1,26 | |
| | | 40,82 | 13,18 | 0,00 | 0,00 | 43,48 | 0,79 | 0,00 | 0,99 | 0,74 | 0,00 | 0,00 | 43,92 | 0,99 | |
| | | 39,85 | 12,99 | 0,09 | 0,00 | 43,24 | 0,03 | 0,00 | 0,71 | 2,33 | 0,63 | 0,13 | 60,90 | 1,47 | |
| | | 39,54 | 12,71 | 0,03 | 0,00 | 42,96 | 0,84 | 0,04 | 1,39 | 2,48 | 0,00 | 0,00 | 30,91 | 1,39 | |
| | Zr_252_21 | 37,63 | 13,30 | 0,01 | 0,00 | 44,88 | 1,02 | 0,13 | 1,03 | 1,50 | 0,35 | 0,15 | 43,57 | 1,53 | |
| | | 36,96 | 12,98 | 0,13 | 0,00 | 45,15 | 1,11 | 0,22 | 1,13 | 2,31 | 0,00 | 0,00 | 39,96 | 1,13 | |
| | | 39,58 | 13,83 | 0,00 | 0,00 | 45,74 | 0,74 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 2287,00 | 0,12 | |
| | | 37,85 | 13,03 | 0,00 | 0,00 | 44,89 | 1,08 | 0,14 | 0,52 | 2,49 | 0,00 | 0,00 | 86,33 | 0,52 | |
| | | 39,46 | 13,03 | 0,06 | 0,00 | 44,64 | 0,71 | 0,29 | 0,38 | 1,18 | 0,00 | 0,26 | 117,47 | 0,64 | |
| | | 40,33 | 13,70 | 0,10 | 0,00 | 44,21 | 0,83 | 0,14 | 0,60 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 73,68 | 0,60 | |
| | | 40,40 | 12,79 | 0,00 | 0,00 | 43,77 | 0,33 | 0,03 | 0,25 | 2,43 | 0,00 | 0,00 | 175,08 | 0,25 | |
| | Zr_252_28 | 38,89 | 12,60 | 0,21 | 0,00 | 43,86 | 0,52 | 0,18 | 1,38 | 2,09 | 0,16 | 0,12 | 31,78 | 1,66 | |
| | | 41,08 | 11,90 | 0,88 | 0,00 | 40,62 | 1,05 | 0,07 | 1,25 | 2,10 | 0,25 | 0,21 | 32,50 | 1,71 | |
| | | 39,57 | 13,22 | 0,06 | 0,00 | 43,34 | 1,10 | 0,15 | 1,44 | 1,09 | 0,01 | 0,00 | 30,10 | 1,45 | |
| | | 39,67 | 13,17 | 0,00 | 0,00 | 43,71 | 1,16 | 0,10 | 0,99 | 0,78 | 0,20 | 0,23 | 44,15 | 1,42 | |
| | | 39,50 | 12,79 | 0,00 | 0,00 | 44,27 | 0,71 | 0,00 | 0,96 | 1,47 | 0,02 | 0,28 | 46,11 | 1,26 | |
| | | 40,59 | 12,82 | 0,06 | 0,00 | 43,43 | 1,55 | 0,00 | 0,94 | 0,39 | 0,23 | 0,00 | 46,20 | 1,17 | |
| | Zr_252_32 | 37,57 | 13,72 | 0,08 | 0,00 | 45,74 | 0,98 | 0,00 | 1,28 | 0,53 | 0,00 | 0,10 | 35,73 | 1,38 | |
| | | 38,97 | 12,53 | 0,05 | 0,00 | 44,04 | 0,55 | 0,14 | 0,46 | 2,71 | 0,54 | 0,02 | 95,74 | 1,02 | |
| | | 39,33 | 13,02 | 0,01 | 0,00 | 44,45 | 0,98 | 0,08 | 0,91 | 1,23 | 0,00 | 0,00 | 48,85 | 0,91 | |
| | | 39,56 | 13,48 | 0,09 | 0,00 | 44,66 | 0,03 | 0,09 | 1,01 | 0,88 | 0,21 | 0,00 | 44,22 | 1,22 | |
| | | 39,85 | 13,32 | 0,06 | 0,00 | 44,47 | 0,52 | 0,00 | 1,06 | 0,58 | 0,03 | 0,10 | 41,95 | 1,19 | |
| | | 39,82 | 12,59 | 0,00 | 0,00 | 43,77 | 1,06 | 0,00 | 0,56 | 2,09 | 0,11 | 0,00 | 78,16 | 0,67 | |

Fonte: Do autor.

Figura 12 - (A) Diagrama mostrando as razões Zr/Hf encontradas em zircões e (B) diagrama Zr/Hf x Hf+Y+Th+U (% peso) mostrando os campos de variações composicionais de zircões de granitos mineralizados e não mineralizados (LAMARÃO *et al.*, 2007); (C) e (D) os mesmos diagramas mostrando as variações composicionais dos zircões analisados do GSA.

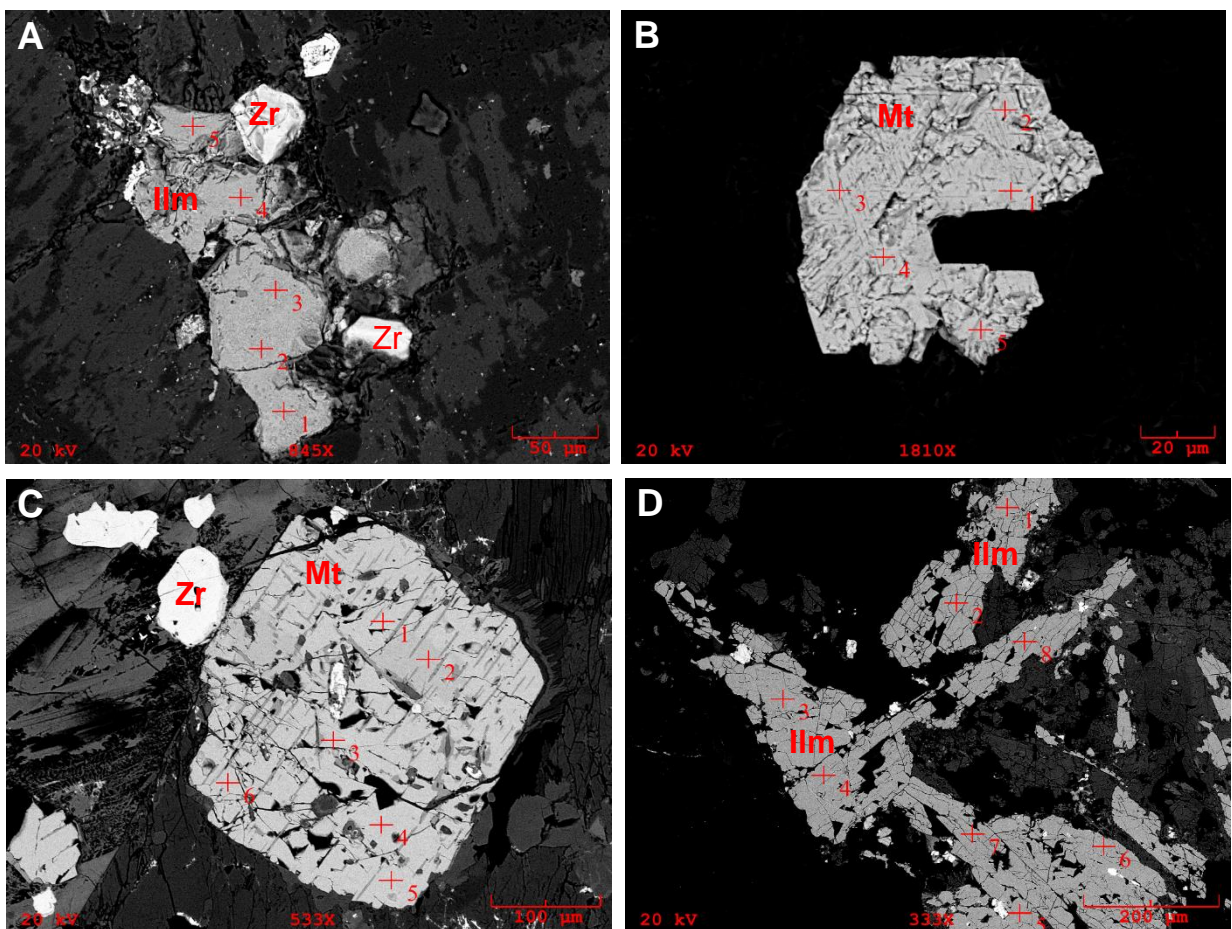


Fonte: Do autor.

6.3.4 Opacos

Os minerais opacos existentes nas rochas do GSA são representados, em geral, por Ilmenita e magnetita, sempre associados aos raros minerais ferromagnesianos e aos acessórios, ocorrendo tanto como inclusões, quando na forma de cristais intersticiais (Figura 13).

Figura 13 - Imagens de elétrons retroespalhados de minerais opacos e suas associações: (A) Ilmenita e cristais anédricos de zircão; (B) cristal anédrico corroído de magnetita; (C) magnetita e cristais de zircão; (D) Cristais anédricos corroídos de Ilmenita. Ilm – Ilmenita; Mt - Magnetita; Zr – Zircão. Abreviações conforme Whitney & Evans (2010).



Fonte: Do autor.

7. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

7.1 Geologia e Petrografia

O Granito Serra Alta (GSA) é um batólito de 35 km de comprimento por 1,0 km de largura, que aflora próximo ao Rio Tocantinzinho, encaixado entre rochas do Complexo Cuiú-Cuiú e das suítes Creporizão e Parauarí, com *trend* NW-SE, na porção centro-norte da Província Aurífera do Tapajós (PAT), no Domínio Tapajós (DTJ), próximo ao limite com o Domínio Irixi-Xingu.

Os dados petrográficos mostraram que o GSA é formado por três fácies distintas, Anfibólio-biotita-sienogranito (ABSG), Biotita-sienogranito (BSG) e Anfibólio-biotita-quartzo-sienito (ABQS), além de um veio de quartzo pontual. A paragênese essencial das diferentes fácies do GSA é representada por álcali-feldspato, quartzo e plagioclásio, tendo biotita e anfibólio como principais minerais varietaisferromagnesianos.

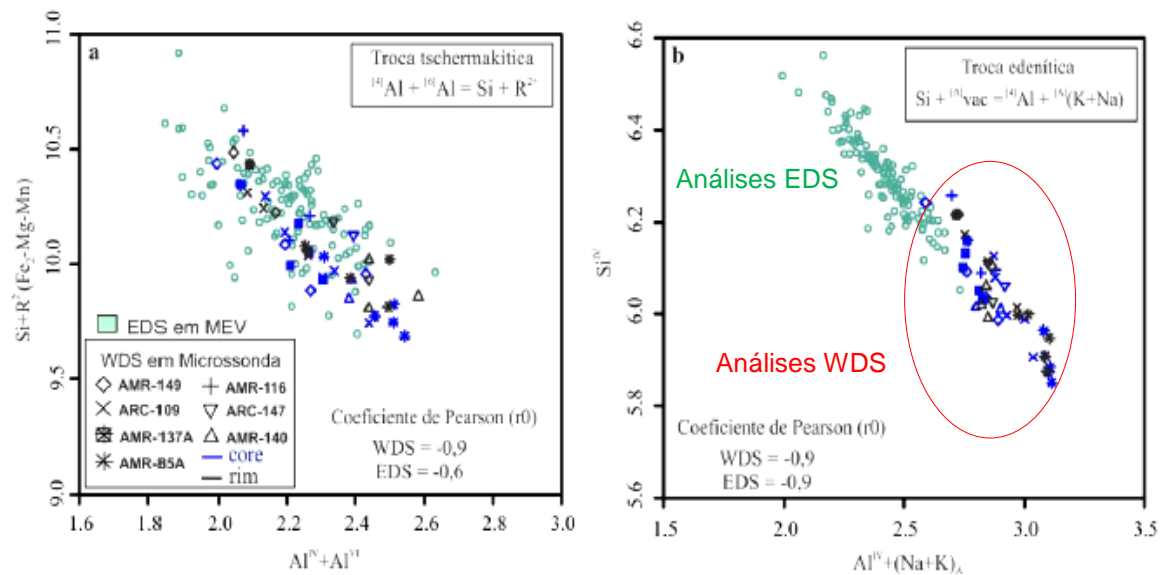
Os principais minerais acessórios que ocorrem nas diferentes fácies do GSA foram identificados em microscópio petrográfico e caracterizados em microscópio eletrônico de varredura como sendo: Ilmenita, magnetita, apatita, titanita, allanita, fluorita e zircão.

A composição mineralógica essencial e varietal, somada a variedade de minerais acessórios encontrados nas rochas do GSA são similares às encontradas na Suíte Intrusiva Maloquinha, formada por sienogranitos, feldspato-alcálico-granitos, monzogranitos, quartzo-sienitos e quartzo-monzonitos ocorrendo como batólitos de orientação NW-SE. São granitos alcalinos tipo A, metaluminosos a peralcalinos, com idades entre 1,88 e 1,86 Ga, típicos de ambiente extensional intracontinental, (VASQUEZ; RICCI; KLEIN, 2002; LAMARÃO *et al.*, 2002).

7.2 Análises de MEV-EDS vs Microsonda-WDS

Análises de EDS, por serem semiquantitativas, sempre são questionadas quanto a sua utilização para classificação de minerais, como, por exemplo, anfibólios e biotitas. Inúmeros trabalhos têm demonstrado que análises de EDS quando realizadas para determinar elementos maiores e menores (Si, Ti, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Na, K) de minerais formadores de rochas fornecem resultados muito próximos daqueles obtidos em WDS por microsonda eletrônica. Para elementos traço, o EDS

Figura 15 - Diagramas de substituições elementares para anfibólios da Suíte Planalto, Província Carajás, mostrando análises de EDS-WDS.



Fonte: Compilado de Cunha *et al.*, (2015).

7.3 Análises de biotita e anfibólio do GSA

As análises de MEV-EDS em cristais de biotita do GSA nos diagramas discriminantes $TiO_2-FeO+MnO-MgO$ (NACHIT, 1986) e $MgO-FeO-Al_2O_3$ e $Al_2O_3 \times MgO$ (ABDEL-RAHMAN, 1994) mostram que tais biotitas são predominantemente secundárias e pertencentes a granitos peraluminosos. Entretanto, a classificação do GSA como sendo um corpo peraluminoso e não anorogênico ou alcalino, como era de se esperar, provavelmente se deve ao elevado grau de alteração apresentado por suas biotitas, com teores de Al_2O_3 muito elevados, variando predominantemente entre 16 – 22% e de K_2O muito baixos, entre 0,1 e 4,0%, com raras análises alcançando 5,0% (Tabela 2).

Os anfibólios analisados e classificados no diagrama discriminante $Mg/(Mg+Fe_t) \times {}^{IV}Si$ plotaram predominantemente no campo Fe-Hornblenda, com quatro amostras apresentando composição Mg-Hornblenda.

7.4 Análises de zircão

As análises dos cristais de zircão do GSA possibilitaram o estudo comparativo entre ele e granitos mineralizados e não mineralizados das Províncias Estaníferas do Sul do Pará (granitos Serra da Queimada, Mocambo, Antônio Vicente, Velho Guilherme), Pitinga no Amazonas (Granito Água Boa) e Rondônia (Granito Bom

Futuro). As razões de Zr/Hf do GSA são comparativamente mais elevadas do que as encontradas nos zircões dos corpos especializados. Também, os conteúdos extremamente baixos de Hf+Y+Th+U de seus zircões o diferem daqueles encontrados nos zircões dos corpos especializados, sugerindo que o GSA é um corpo desprovido de mineralizações de Sn.

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram uma boa caracterização petrográfica e de química mineral do GSA, além de correlações mineralógicas e petrográficas com rochas da Suíte Intrusiva Maloquinha. Trabalhos futuros que envolvam datação geocronológica são necessários para que se confirme a inclusão do GSA nesta importante Suíte. O estudo composicional de cristais de zircão do GSA, quando comparado a zircões de granitos especializados, mostrou que o mesmo não apresenta potencial para mineralizações de Sn.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-RAHMAN A.M. *Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline, and peraluminous magmas*. *J. Petrol.*, v. 35, p. 525-541, 1994.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y. **O Pré-cambriano do Brasil**. São Paulo: Edgard Blucher, 1984. 378 p.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. *The Upper Precambrian of South America*. **Boletim do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo**, 1976. n. 7, 45-80.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. *Brazilian structural provinces: An introduction*. **Earth Science Review**, 1981. v. 17, n. 1/2, 1-29.
- _____. Províncias estruturais brasileiras. In: **SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE**, 8., 1977, Campina Grande. *Atas...* Campina Grande: SBG/Núcleo Nordeste, 1977. p. 363-391
- ALMEIDA, M.E.; BRITO, M.F.L.; FERREIRA, A.L.; MONTEIRO, M.A.S. (Org.). **Geologia e recursos minerais da Folha Vila Mamão Anã – SB.21-V-D**: Estados do Amazonas e Pará: Escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 2000. 1 CD-ROM. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). Projeto Especial Província Mineral do Tapajós (Promin Tapajós).
- AMARAL, G. **Geologia Pré-cambriana da Região Amazônica**. 1974. 212 f. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1974.
- BAHIA, R.B.C.; QUADROS, M.L.E.S. (Org.). **Geologia e recursos minerais da Folha Caracol SB.21-X-C**: Estado do Pará e Amazonas. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 2000. 1 CD-ROM. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). Projeto Especial Província Mineral do Tapajós (Promin Tapajós).
- BOCANEGRA, M.A.A. **Mineralizações epitermais *low-sulfidation* do tipo pórfiros superpostas associadas ao magmatismo félsico de 1,88 Ga na parte norte da Província Mineral do Tapajós (PA)**. 2013. 188 f. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- BORGO, A. et al. Depósito de ouro Tocantinzinho (Pará): Análise preliminar do controle das alterações hidrotermais e da deformação sobre a mineralização. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, 47., 2014. Salvador, Anais..., Salvador: SBG, 2014. CD-ROM.
- CHAYES, F. **Petrografical modal analysis**. New York, John Wiley & Sons. 1956, 113p.
- CORDANI, U.G.; TASSINARI, C.C.G.; TEIXEIRA, W., BASEI, M.A.S.; KAWASHITA, K. Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos, In: **CONGRESSO GEOLÓGICO CHILENO**, 2., 1979, Arica, Chile. *Actas...* Arica, Chile: 1979. V. 4, p. 137-148.

COUTINHO, M.G.N. **Província Mineral do Tapajós: geologia, metalogenia e mapa preliminar para Ouro em SIG** / [organizado por] Maria Glícia da Nóbrega Coutinho – Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 420p.:il.;28 cm + 3 capas + 1 CD-ROM.

CUBUKÇU, E.H.; ERSOY, O.; AYDAR, E.; ÇAKIR, U. *WDS versus silicon drift detector EDS: A case report for the comparison of quantitative chemical analyses of natural silicate minerals*. **Science Direct Review**. 2008.

CUNHA, I.R.V.; DALL'AGNOL, R.; FEIO, G.R.L. *Mineral chemistry and crystallization parameters of the archaean Planalto Suite, Carajás Province – Amazonia Craton*. In: **8th Hutton Symposium on Granites and Related Rocks**, 2015, Florianópolis. 8th Hutton Symposium on Granites and Related Rocks, 2015.

DALL'AGNOL, R.; SILVA, C.M.G.; SCHELLER, T. *Fayalite-hedenbergite rhyolites of Iri Formation, Tapajós Gold Province, Amazonian Craton: implication for Uatumã volcanism*. In: **SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS**, 1., 1999, Gramado. **Boletim de resumos...** Gramado: SBG, 1999 C.P. 31.

DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. **An introduction to rock-forming minerals**. 3rd ed. 2013. British library, 549 p.

FERREIRA, A.L.; RIZZOTTO, G.J.; QUADROS, M.E.L.E.S.; BAHIA, R.B.C.; OLIVEIRA, M.A. **Folha SB.21 – Tapajós**. In: SCHOBENHAUS, C. et al. (Ed.) Carta geológica do Brasil ao milionésimo: Sistema de informações geográficas – SIG. Programa Geologia do Brasil. Brasília, Brasília: 2004. 1 CD-ROM.

FRIEL, J.J. **X-Ray and image analysis in electron microscopy**. 2nd ed. Princeton Gamma-Tech, Inc. 2003, 88 p.

LAMARÃO C.N.; DALL'AGNOL R. *Química mineral de anfíbólios e biotitas e condições de cristalização de granitóides Paleoproterozóicos Da Região De Vila Riozinho, Província Aurífera Do Tapajós, Cráton Amazônico*. **Revista Brasileira de Geociências**. 34(1):95-108, março de 2004.

LAMARÃO, C.N.; DALL'AGNOL, R.; LAFON J.M.; LIMA E.F. **Geology, geochemistry and Pb-Pb zircon geochronology of the Paleoproterozoic magmatism of Vila Riozinho, Tapajós Gold Province, Amazonian craton, Brazil**. *Precambrian Res.*, 2002. (119): 189-223.

LAMARÃO, C.N.; DALL'AGNOL, R.; PIMENTEL, M.M. *Nd isotopic composition Paleoproterozoic volcanic rocks of Vila Riozinho: implications for the crustal evolution of the Tapajós gold province, Amazon craton*. **Jornal de Ciências da Terra da América do Sul**, v. 18, p. 277-292, 2005.

LAMARÃO, C.N.; DALL'AGNOL, R.; SOLEDADE, G.L.; SILVA, J.S. *Variações composicionais de zircão em granitos anorogênicos proterozóicos do Cráton Amazônico: implicações metalogenéticas*. **Revista Brasileira de Geociências**. 37(4): 693-704, dezembro de 2007.

LAVRENT'EV, Y.G.; Korolyuk, V.N.; Usova, L.V.; Nigmatulina, E.N. *Electron probe microanalysis of rock-forming minerals with a JXA-8100*

electronprobe microanalyzer. Russian Geology and Geophysics Volume 56, Issue 10, October 2015, Pages 1428-1436.

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

LEAKE, B.E.; WOOLLEY, A.R.; ARPS, C.E.S.; BIRCH, W.D.; et al. **Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, commission on new minerals and mineral names**. *Am. Mineral.*, 1997.82:1019-1037.

MACKENZIE, W. S.; DONALDSON, C. H.; GUILFORD, C. **Atlas of igneous rocks and their textures**. Longman Scientific & Technical. John Wiley & Sons, New York, 1982. 148p.

MELO, A.F.F.; ANDRADE, A.F.; YAMAGUTI, H.S.; OLIVEIRA, J.R.; CARMONA, J.R.M.; D'ANTONA, R.J.G.; LOPES, R.C. **Projeto Tapajós-Sucunduri: relatório final**. Manaus: CPRM/DNPM, 1980. v. I-A, p. 1-356.

MOURA, C.A.V.; GORAYEB, P.S.S.; MATSUDA, N.S. Geocronologia Pb-Pb em zircão do riolito Vila Rayol, Formação Irirí – sudeste do Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6, 1999, Manaus. **Resumos expandidos...** Manaus: SBG, 1999. p. 475-477.

NACHIT H. **Contribution à l'étude analytique et expérimentale des biotites des granitoides. Application typologiques**, Tese de doutoramento, Université de Bretagne Occidentale, 1986. 181 pg.

NEWBURY, D.E.; RITCHIE, N.W.M. *Quantitative SEM/EDS, Step 1: What Constitutes a Sufficiently Flat Specimen?* **Microscopy and Microanalysis**, Volume 19, Issue S2 (Proceedings of Microscopy & Microanalysis 2013) August 2013, pp. 1244-1245.

PRAZERES, W.V.; SANTOS, A.J.; dos, CAMPOS, M.J.F.; de & CAVALCANTE, O.A. **Projeto Estanho dos Granitos Maloquinha: relatório final**. Texto. Manaus: DNPM/CPRM, 1979. v. 1-A, 301, p., il.

REED, S.J.B. **Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology**. Cambridge University Press, 1996. p 201.

RICCI, P.S.F. VASQUEZ, M.L.; SANTOS, A.; KLEIN, E.L.; JORGE JOÃO, X.S.; MARTINS, R.C. Suíte Intrusiva Creporizão – Província Aurífera Tapajós: proposta e critérios de definição. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6, 1999, Manaus. **Resumos expandidos...** Manaus: SBG, 1999. p. 519-522.

SANTOS, D.B. FERNANDES, P.E.C.A.; DREHER, A.M.; CUNHA, F.M.B.; DA, BASEI, M.A.S.; TEIXEIRA, J.B.G.; Geologia. In: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto Radam. Folha SB-21 – Tapajós: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1975. Il. p. 15-99. (Levantamento de Recursos Naturais, 7).

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

SANTOS, J.O.S. *Timing of mafic magmatism in the Tapajós Province (Brazil) and implication for the evolution of the Amazon Craton: evidence from baddeleyite and zircon U-Pb SHRIMP geochronology*. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 15, p. 409-429, 2002.

SANTOS, J.O.S. BREEMEN, O.B.; V.; GROVES, D.I.; HARTMANN, L.A.; ALMEIDA, M.E.; MCNAUGHTON, N.J.; FLETCHER, I.R. *Timing and evolution of multiple Paleoproterozoic magmatic arcs in the Tapajós Domain, Amazon Craton: constraints from SHRIMP and TIMS zircon, baddeleyite and titanite U-Pb geochronology*. **Precambrian Research**, v. 13, p. 73-109, 2004.

SANTOS, J.O.S.; GROVES, D.I.; HARTMANN, L.A.; MOURA, M.A.; McNAUGHTON, N.J. **Gold deposits of the Tapajós and Alta Floresta domains, Tapajós-Parima orogenic belt, Amazonian craton, Brazil**. *Mineralium Deposita*, 2001. (36): 278-299.

SANTOS, J.O.S.; HARTMANN, L.A.; GAUDETTE, H.E.; GROVES, D.I.; McNAUGHTON, N. J.; FLETCHER, I.R. **A new understanding of the provinces of the Amazon craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology**. 2000. *Gond. Res.* (3): 453-488.

SANTOS, M.D. et al. Geocronologia das rochas hospedeiras e do minério com implicações na gênese do depósito aurífero Palito, Província Tapajós, sudeste do Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 13, Belém, 2013. **Resumos Expandidos...**, SBG:Belém, 2013, 1 CD-ROM.

SATO, K.; TASSINARI, C.C.G. Principais eventos de acreção continental no Cráton Amazônico, baseados em idade modelo Sm-Nd, calculada em evoluções de estágio único e estágio duplo. In: COSTA, M.L.; ANGÉLICA, R.S. (Coord.). **Contribuições à Geologia da Amazônia**. Belém: SBG, 1997. v. 1, p. 91-142

SPEER J.A. Micas in igneous rocks. In: BAILEY, S. W. (Ed.). *Micas*. Washington, DC: **Mineralogical Society of America**, 1984. p. 299-356. (Reviews in Mineralogy, 13).

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

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

TASSINARI, C.C.G.; MACAMBIRA, M.J.B. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito Neves, B.B. **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. p. 471-485. 2004.

_____. 1999. **Geochronological Provinces of the Amazonian Craton**. *Episodes*, v. 22, n. 3, p. 174-182.

TOKASHIKI, C.C.; JULIANI, C.; MONTEIRO, L. V. S.; MISAS, C. M. E.; AGUJA, M. A.; ARRAIS, L.B. Caracterização petrográfica e geoquímica das rochas vulcânicas de 1,97 Ga mineralizadas em ouro na porção sul da Província Aurífera Tapajós (PA). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 13, Belém, 2013. **Resumos Expandidos...**, SBG: Belém. 2013. CD-ROM.

VASQUEZ, M.L.; CHAVES, C.L.; MOURA, E.M.; OLIVEIRA, J.K.M. Geologia dos Recursos Minerais das **Folhas São Domingos - AS.21-Z-A-II E Jardim do Ouro - AS.21-Z-A-III, Estado do Pará**, Escala: 1:100.000. Belém: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2015. p.: il. Color. Programa de Geologia do Brasil – PGB. Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil.

_____. Geologia e recursos minerais das **folhas São Domingos (SB.21-Z-A-II) e Jardim do Ouro (SB.21-Z-A-III)**. CPRM -Serviço Geológico do Brasil, Nota explicativa, SIG, Belém, (em revisão) 2016.

VASQUEZ M.L.; KLEIN E.L. (Org.). Geologia e recursos minerais da Folha Rio Novo – SB.21-Z-C: Estado do Pará. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 2000. 1 CD-ROM. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). **Projeto Especial Província Mineral do Tapajós (Promin Tapajós)**.

VASQUEZ M.L.; KLEIN E.L.; QUADROS M.L.E.S.; BAHIA R.B.C.; SANTOS A., RICCI P.S.F.; SACHETT C.R.; SILVA C.M.G. Magmatismo Uatumã na Província Tapajós: Novos dados geocronológicos. In: **Simpósio de Geologia da Amazônia**, 6, Belém. Boletim de Resumos, 1999. p. 471-474.

VASQUEZ, M.L.; RICCI, P.; dos S.F. KLEIN, E.L. Granitóides pós-colisionais da porção leste da Província Tapajós. In: KLEIN E.L.; VASQUEZ M.L.; ROSA-COSTA L.R. L.T. (Ed.). **Contribuições à geologia da Amazônia**. Belém: SBG, 2002. v. 3, p. 67-84.

VASQUEZ, M.L.; 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. **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. Organizadores, Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T. 2008. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM.

VILLAS, R.N.N.; SANTIAGO, E.S.B.; CASTILHO, M.P. Contexto geológico, estudos isotópicos (C, O e Pb) e associação metálica do depósito aurífero Tocantinzinho, Domínio Tapajós, Província Tapajós-Parima. **Revista o Instituto de Geociências – USP**, v. 13, n.1, p. 111-138, 2013.

WHITNEY, D.L.; and EVANS, B.W.; **Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist**, 2010. 95, 185-187.