



Universidade Federal do Pará



Instituto de Geociências



Faculdade de Geologia

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

THIAGO ANDRADE DE CARVALHO

**ESTUDO MORFOLÓGICO E COMPOSICIONAL DE ZIRCÃO DOS
GRANITOS SÃO JORGE ANTIGO E SÃO JORGE JOVEM,
PROVÍNCIA AURÍFERA DO TAPAJÓS, COM BASE EM
MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA E ANÁLISES DE
EDS: IMPLICAÇÕES PETROLÓGICAS E METALOGENÉTICAS**

**GEOCIÊNCIAS
U F P A**

BELÉM-PARÁ

DEZEMBRO-2014

THIAGO ANDRADE DE CARVALHO

**ESTUDO MORFOLÓGICO E COMPOSICIONAL DE ZIRCÃO DOS
GRANITOS SÃO JORGE ANTIGO E SÃO JORGE JOVEM,
PROVÍNCIA AURÍFERA DO TAPAJÓS, COM BASE EM
MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA E ANÁLISES DE
EDS: IMPLICAÇÕES PETROLÓGICAS E METALOGENÉTICAS**

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

Orientador: prof. Dr. Claudio Nery Lamarão.

BELÉM

2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

C331e Carvalho, Thiago Andrade de, 1992

Estudo morfológico e composicional de zircão dos granitos São Jorge Antigo e São Jorge Jovem, Província Aurífera do Tapajós, com base em Microscopia Eletrônica de Varredura e análises de EDS: implicações petrológicas e metalogenéticas / Thiago Andrade de Carvalho. – 2015

78 f. : il. ; 30 cm

Orientador: Claudio Nery Lamarão

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2015.

1. Microscopia Eletrônica de Varredura. 2. Geoquímica. 3. Zircão. I. Título.

CDD 22. ed.: 502.825

THIAGO ANDRADE DE CARVALHO

**ESTUDO MORFOLÓGICO E COMPOSICIONAL DE ZIRCÃO DOS
GRANITOS SÃO JORGE ANTIGO E SÃO JORGE JOVEM,
PROVÍNCIA AURÍFERA DO TAPAJÓS, COM BASE EM
MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA E ANÁLISES DE
EDS: IMPLICAÇÕES PETROLÓGICAS E METALOGENÉTICAS**

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: _____

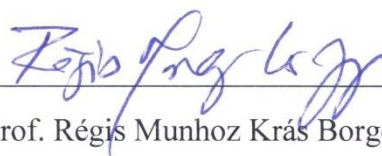
Banca examinadora:



Prof. Claudio Nery Lamarão – Orientador

Doutor em Geologia e Geoquímica

Universidade Federal do Pará



Prof. Régis Munhoz Krás Borges - Membro

Doutor em Geologia e Geoquímica

Universidade Federal do Pará



Prof. Hilton Túlio Costi - Membro

Doutor em Geologia e Geoquímica

Museu Paraense Emílio Goeldi

Aos meus pais,
meus eternos professores.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo à minha família, meus pais, Raimundo e Josyane Carvalho, e meus avós Alcindo Andrade e Eunice Botelho, por todo apoio, carinho, compreensão e paciência.

A Universidade Federal do Pará e ao Instituto de Geociências pela infraestrutura.

À Secretaria de Educação Superior (SESU) do Ministério da Educação (MEC) pela bolsa do Programa de Educação Tutorial (PET).

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Geociências da Amazônia (ICNT GEOCIAM).

Ao professor e orientador Dr. Claudio Nery Lamarão pela orientação, redação e correções.

Ao professor Dr. Vladimir de Araújo Távora pela tutoria no grupo PET- Geologia e aos demais integrantes do grupo.

Aos componentes do Grupo de Pesquisa de Petrologia de Granitoides (GPPG), em especial: Msc. Gisele Marques, Aldemir Sotero, Paulo Soares, Prof. Dr. Davis Oliveira.

Aos técnicos e responsáveis pelos laboratórios do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará (UFPA), especialmente Joelma Lobo (Laboratório de Laminação) e Ana Paula (Laboratório Microscopia Eletrônica de Varredura).

A todos os professores do curso de Geologia, pela grande contribuição acadêmica.

Aos amigos do curso de geologia, pelo companheirismo e apoio ao longo do curso de graduação, em especial: Tayna Cunha, Pablio Henrique, Rômulo Amaral, Renan Malone, Daiveson Abreu, Meireanny Gonçalves, Thiago Souza, Jully Afonso, Raiza Santos, Daniella Vieira, Vedrana Costa e Helder Oliveira.

A todos os meus amigos, pelo companheirismo, apoio, carinho e compreensão, em especial: Verena Muniz, Paulo Lessa, Aline Saraiva, Flávia Rodrigues, Josemare Silva, Luciana Gadelha, Janane Nunes e Roberta Barros.

RESUMO

Zircões de granitos mineralizados a Sn (\pm W, Ta, Nb) mostram conteúdos elevados de Hf e baixas razões Zr/Hf, as quais podem ser interpretadas como uma assinatura herdada de fusões graníticas evoluídas ou como resultado de alteração hidrotermal de suas rochas hospedeiras por fluídos ricos em flúor. Por outro lado, zircões de granitos não especializados mostram conteúdos mais baixos de Hf e razões Zr/Hf comparativamente mais elevadas. Granitos especializados das províncias estaníferas do Sul do Pará, Pitinga (AM), Rondônia, Goiás e SE da Finlândia possuem zircões enriquecidos em Hf, Y, Th, U e Ca e com baixas razões Zr/Hf quando comparados a zircões dos granitos não mineralizados Redenção e Bannach, pertencentes à Suíte Jamon, sudeste do Cráton Amazônico, e do granito pórfiro Santa Rosa, região de São Félix do Xingu, indicando que a composição do zircão pode ser um guia útil na avaliação preliminar do potencial metalogenético de granitos estaníferos. Neste trabalho, foram realizadas análises semiquantitativas de elementos-traço por EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) em zircões dos granitos São Jorge Antigo (GSJA) e São Jorge Jovem (GSJJ) ocorrentes na Província Aurífera do Tapajós (PAT), Estado do Pará, com idades de cristalização Pb-Pb em zircão de 1981 ± 2 Ma e 1891 ± 3 Ma, respectivamente. O GSJJ secciona o GSJA e é portador do depósito hidrotermal de ouro São Jorge. O principal objetivo deste estudo é verificar se zircões do GSJJ guardam, assim como zircões de granitos estaníferos, uma assinatura geoquímica característica dos processos hidrotermais responsáveis pela sua mineralização, comparando-a com zircões do GSJA não mineralizado. Foram analisados cristais de zircão provenientes de amostras de afloramento do GSJA e de furos de sondagem do GSJJ, desde as rochas pouco até as mais intensamente hidrotermalizadas e com os maiores teores de ouro. Diagramas binários envolvendo Zr, Bi, Te e U, as razões Zr/Bi e Zr/Te e a somatória Hf+U+As+Te+Bi permitiram um melhor agrupamento dos zircões do corpo mineralizado e uma separação mais clara entre esses e os do GSJA estéril. Os zircões da zona mineralizada apresentaram as menores razões Zr/Bi (≤ 50) e Zr/Te em relação a dos zircões do GSJA, embora com uma pequena superposição. A metodologia MEV-EDS na caracterização composicional de zircão pode ser, à semelhança dos estudos realizados em zircão de rochas estaníferas, uma ferramenta complementar importante no estudo de depósitos hidrotermais de ouro.

Palavras-chave: MEV-EDS. Zircão. Assinatura Geoquímica.

ABSTRACT

Zircons from Sn-mineralized granites (\pm W, Ta, Nb) show high contents of Hf and low Zr/Hf ratios, which can be interpreted as an inherited signature of evolved granitic melts or as a result of hydrothermal alteration of host rocks by fluorine rich fluids. Moreover, not specialized granite zircons show lower contents of Hf and comparatively high Zr/Hf ratios. Specialized granites of the tin-Provinces of southern Pará, Pitinga (AM), Rondônia, Goiás and SE Finland have zircons enriched in Hf, Y, Th, U and Ca and lower Zr/Hf ratios when compared to zircons from not mineralized Redenção and Bannach granites, belonging to the Jamon Suite, southeastern Amazonian Craton, and Santa Rosa porphyry granite, São Félix do Xingu region, indicating that the zircon composition can be a useful guide for the preliminary assessment of the metallogenic potential of tin-granites. In this paper, semiquantitative analysis of trace elements were performed by EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) in zircons from Old São Jorge Granite (OSJG) and Young São Jorge (YSJG) occurring in the Tapajós Gold Province (TGP), State of Pará, with Pb-Pb crystallization ages in zircon of 1981 ± 2 Ma and 1891 ± 3 Ma, respectively. The YSJG cut OSJG and carries the São Jorge hydrothermal gold deposit. The aim of this study is to verify if the YSJG zircons keep, as well as tin-granites zircons, a characteristic geochemical signature of hydrothermal processes responsible for mineralization, comparing it to the OSJG zircons, which is not mineralized. Zircon crystals were analyzed from OSJG outcrop and borehole samples of the YSJG, from less to the most intensely hydrothermalized rocks and with the largest gold content. Binary diagrams involving Zr, Bi, Te and U, the Zr/Bi and Zr/Te ratios and the Hf+U+As+Bi+Te sum allowed a better grouping of the mineralized body zircons and a clearer separation between these and that from barren OSJG. The zircons of the mineralized zone had the lowest Zr/Bi (≤ 50) and Zr/Te ratios when compared with the zircons of OSJG, although there is a small overlap. The SEM-EDS methodology for the zircon compositional characterization can be, like the studies of tin-rock zircons, an important complementary tool in the study of hydrothermal gold deposits.

Keywords: SEM-EDS. Zircon. Geochemical Signature.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 01 - Localização dos principais corpos graníticos das proximidades de Itaituba (São Jorge em vermelho). 16
- Figura 02 - Diagrama mostrando os valores mínimo, médio e máximo das razões Zr/Hf encontradas em zircões dos corpos graníticos estudados por Lamarão et al. (2007). 17
- Figura 03 - A) Diagrama Zr/Hf *versus* Hf+Y+Th+U mostrando os campos de variações composicionais dos zircões dos corpos graníticos estudados. B) Diagrama Hf-Y-Nb (% em peso) mostrando os campos de variações composicionais dos zircões dos corpos graníticos estudados, com indicação do número de análises realizadas (entre parênteses). 18
- Figura 04 - A) Estado do Pará com a localização da Província Aurífera do Tapajós e a Região de Vila Riozinho (em vermelho). B) Geologia da Região de Vila Riozinho. C) Mapa de localização dos furos de sondagem realizados pela empresa RTDM Ltda. 21
- Figura 05 - Equipamentos utilizados para preparação e análise de amostras. A) Britador, utilizado na trituração; B) *Shatterbox* utilizado na pulverização das amostras; C) separador isodinâmico Frantz; D) etapa de separação de minerais pesados (bromofórmio); E) Sistema automático de metalização das amostras. Modelo EMITECH – K550XR; F) MEV LEO-ZEISS modelo 1430. 24
- Figura 06 - Fluxograma de atividades realizadas durante a pesquisa e elaboração do TCC. 25
- Figura 07 - Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico. 27
- Figura 08 - Mapa geológico da Província Aurífera do Tapajós. 30
- Figura 09 - Mapa geológico da região de Vila Riozinho, mostrando a localização das diferentes unidades geológicas e as idades dos granitos São Jorge Antigo e São Jorge Jovem. 33
- Figura 10 - Fotomicrografias do GSJJ, em luz natural, demonstrativas das principais características da associação 1. A) cristais de anfibólio euédricos cloritizados; B) biotita apresentando substituição por óxidos de Fe; C,D) plagioclásio moderadamente saussuritizado, anfibólio substituído por óxidos de Fe e titanita euédrica. 35
- Figura 11 - Fotomicrografias do GSJJ, em luz natural, demonstrativas das principais características da associação 2. A, B, C, D) Cristais de anfibólio 36

substituídos por clorita e óxidos de Fe, cristais de titanita oxidados e corroídos, plagioclásio fortemente sericitizado.

- Figura 12 - Fotomicrografias do GSJJ, em nicóis cruzados (exceto em A) demonstrativas das principais características da associação 3. A) Anfibólios substituídos por clorita e óxidos de Fe; B) Substituição por óxidos de Fe em anfibólios e titanita corroída; C) Plagioclásio intensamente alterado; D) Ocorrência de carbonatos em quantidade moderada. 37
- Figura 13 - Fotomicrografias do GSJJ, em nicóis cruzados, demonstrativas das principais características da associação 4. A; B; D) Plagioclásio apresentando substituição por sericita e carbonatos. C) ocorrência em grandes quantidades de carbonatos e óxidos de Fe, presença de pirita. 38
- Figura 14 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura – elétrons retroespalhados (MEV-ERE), de zircões representativos do Granito São Jorge Antigo. A, B, C, D – zircões da amostra RCR-27/BMZG. E, F, G, H – zircões da amostra RCR-35/BLMZG/SG; I, J, K, L – zircões da amostra RCR-58/BAMD. 39
- Figura 15 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura – elétrons retroespalhados (MEV-ERE), de zircões representativos do Granito São Jorge Jovem. A, B, C, D, E – zircões pertencentes ao furo 02; F, G, H, I – zircões pertencentes ao furo 06; J – zircão pertencente ao furo 07; K, L – zircões pertencentes ao furo 09. 41
- Figura 16 - A e B - Diagramas mostrando os valores mínimo, médio e máximo dos elementos encontrados em zircões dos corpos graníticos estudados. 44
- Figura 17 - Diagrama Bi *versus* Zr para os zircões do GSJA e GSJJ (valores em % peso). 45
- Figura 18 - Diagrama Te *versus* Zr para os zircões do GSJA e GSJJ (valores em % peso). 46
- Figura 19 - Diagrama Zr/Bi *versus* razão Zr/Te para os zircões do GSJA e GSJJ. 47
- Figura 20 - Diagrama Zr/Bi *versus* U para os zircões do GSJA e GSJJ (valores em % peso para U). 48
- Figura 21 - Diagrama somatório Hf+U+As+Te+Bi *versus* Zr para os zircões do GSJA e GSJJ (valores em % peso). 49
- Figura 22 - Mapa mostrando o alinhamento dos depósitos auríferos ao longo do lineamento Tocantinzinho (NW-SE), PAT. Outros depósitos de ouro são mostrados para comparação. 50

- Figura 23 - Fotomicrografias dos granitoides pouco alterados em luz natural e nicóis cruzados. A) Textura hipidiomórfica. B) Textura rapakivi evidenciada por bordas de oligoclásio (Olg) em torno de cristal de microclina (Mic). C) Lamelas de biotita cloritizadas, alteradas para fengita nos planos de clivagem e com inclusões de zircão, rutilo e apatita. D) Cristais de anfibólio. (Ap: apatita; Clo: clorita; Fe-ed: Fe-edenita; Mic: microclina; Olg: oligoclásio; Ph: fengita; Rt: rutilo e Zr: zircão). 51
- Figura 24 - Fotomicrografias das variedades salame e smoky. Nicóis cruzados, exceto em A. A) Zonas ricas em clorita presente em vênulas e em substituição à biotita; B) Cristais de plagioclásio com planos de maclas contorcidos e substituídos parcialmente por fengita e piritita; C) Porções brechoides ricas em sulfetos e densamente cortadas por finas vênulas de fengita; D) Veio de quartzo±clorita que corta zona sericitizada e mineralizada. (Clo: clorita; Esf: esfalerita; Mag: magnetita; Mic: microclina; Olg: oligoclásio; Ph: fengita; Py: piritita; Qtz: quartzo). 52
- Figura 25 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura – elétrons retroespalhados (MEV-ERE), mostrando aspectos morfológicos de zircões representativos do Granito Tocantinzinho. A, B, C, D, E, F – zircões das amostras da porção estéril do Granito Tocantinzinho. G, H, I, J, K, L – zircões das amostras da porção mineralizada do Granito Tocantinzinho 53
- Figura 26 - Diagrama Bi *versus* Zr para os zircões do GSJA, GSJJ e Tocantinzinho (valores em % peso). 56
- Figura 27 - Diagrama Te *versus* Zr (% peso) para os zircões do GSJA, GSJJ e Tocantinzinho. 57
- Figura 28 - Diagrama Zr/Bi *versus* razão Zr/Te para os zircões do GSJA, GSJJ e Tocantinzinho. 58
- Figura 29 - Diagrama Zr/Bi *versus* U para os zircões do GSJA, GSJJ e Tocantinzinho (valores em % peso para U). 59
- Figura 30 - Diagrama Hf+U+As+Te+Bi *versus* Zr para os zircões do GSJA, GSJJ e Tocantinzinho (valores em % peso). 60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lâminas e seções polidas utilizadas neste estudo.	24
Tabela 2 - Características dos zircões estudados do corpo São Jorge.	40
Tabela 3 - Valores médios máximos e mínimos de Zr, Hf, Y, Nb, Bi, Te, Ta, razões Zr/Te, Zr/Bi e somatório Hf+U+As+Te+Bi de zircões do GSJA e GSJJ (valores em % peso).	43
Tabela 4 - Valores médios máximos e mínimos de Zr, Hf, Y, Nb, Bi, Te, Ta, razões Zr/Te, Zr/Bi e somatório Hf+U+As+Te+Bi de zircões do Granito Tocantinzinho.	55
Tabela 5 - Análises químicas por EDS de partículas de ouro inclusas em pirita e quartzo da Associação mineral 4 de Borges et al. (2009) do GSJJ.	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	APRESENTAÇÃO	14
1.2	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	15
1.3	JUSTIFICATIVA	17
1.4	OBJETIVOS	19
2	MATERIAIS E MÉTODOS	20
2.1	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	20
2.2	AMOSTRAGEM	20
2.3	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	22
2.4	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	22
3	CONTEXTO GEOLÓGICO	26
3.1	PROVÍNCIAS GEOCRONOLÓGICAS DO CRÁTON AMAZÔNICO	26
3.1.1	Província Amazônia Central	29
3.1.2	Província Ventuari-Tapajós	28
3.2	PROVÍNCIA AURÍFERA DO TAPAJÓS	29
3.2.1	Contexto Geológico da Região de Vila Riozinho	31
3.2.1.1	Formação Vila Riozinho	31
3.2.1.2	Granitóides São Jorge Antigo e São Jorge Jovem	31
3.2.1.2.1	<i>Granito São Jorge Antigo (GSJA)</i>	31
3.2.1.2.2	<i>Granito São Jorge Jovem (GSJJ)</i>	32
3.2.1.3	Formação Moraes Almeida	32
3.2.1.4	Suíte Intrusiva Maloquina	32
3.2.1.5	Granito Jardim Do Ouro	34
3.2.1.6	Granitos Pórfiros (GP)	34
4	RESULTADOS	35
4.1	ASPECTOS PETROGRÁFICOS	35
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS ZIRCÕES	38
4.2.1	Aspectos Morfológicos	38
4.2.2	Aspectos Geoquímicos	42
4.3	DIAGRAMAS GEOQUÍMICOS	45
5	ESTUDO COMPARATIVO	50
5.1	INTRODUÇÃO	50
5.2	CONTEXTO GEOLÓGICO E LOCALIZAÇÃO DO DEPÓSITO	50

5.3	ASPECTOS PETROGRÁFICOS	51
5.4	CARACTERIZAÇÃO DOS ZIRCÕES	52
5.4.1	Aspectos Morfológicos	52
5.4.2	Aspectos Geoquímicos	54
5.5	DIAGRAMAS GEOQUÍMICOS	56
6	DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	61
6.1	COMPORTAMENTO COMPOSICIONAL DOS ZIRCÕES DO GRANITO SÃO JORGE	61
6.2	COMPORTAMENTO COMPOSICIONAL DOS ZIRCÕES DO GRANITO TOCANTINZINHO	61
6.3	ANÁLISES DE PARTÍCULAS DE OURO DO DEPÓSITO SÃO JORGE	61
6.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
	REFERÊNCIAS	63
	APÊNDICES	68
	APÊNDICE A – Valores médios dos elementos analisados obtidos de zircões da amostra RCR-27 do GSJA.	69
	APÊNDICE B – Valores médios dos elementos analisados obtidos de zircões da amostra RCR-35 do GSJA.	70
	APÊNDICE C – Valores médios dos elementos analisados obtidos de zircões da amostra RCR-58 do GSJA.	71
	APÊNDICE D – Valores médios dos elementos analisados obtidos de zircões da amostra do Furo 02 do GSJJ.	72
	APÊNDICE E – Valores médios dos elementos analisados obtidos de zircões da amostra do Furo 06 do GSJJ.	73
	APÊNDICE F – Valores médios dos elementos analisados obtidos de zircões da amostra dos Furos 07 e 09 do GSJJ.	74
	APÊNDICE G – Valores médios dos elementos analisados obtidos de zircões das amostras do Granito Tocantinzinho.	75

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - APRESENTAÇÃO

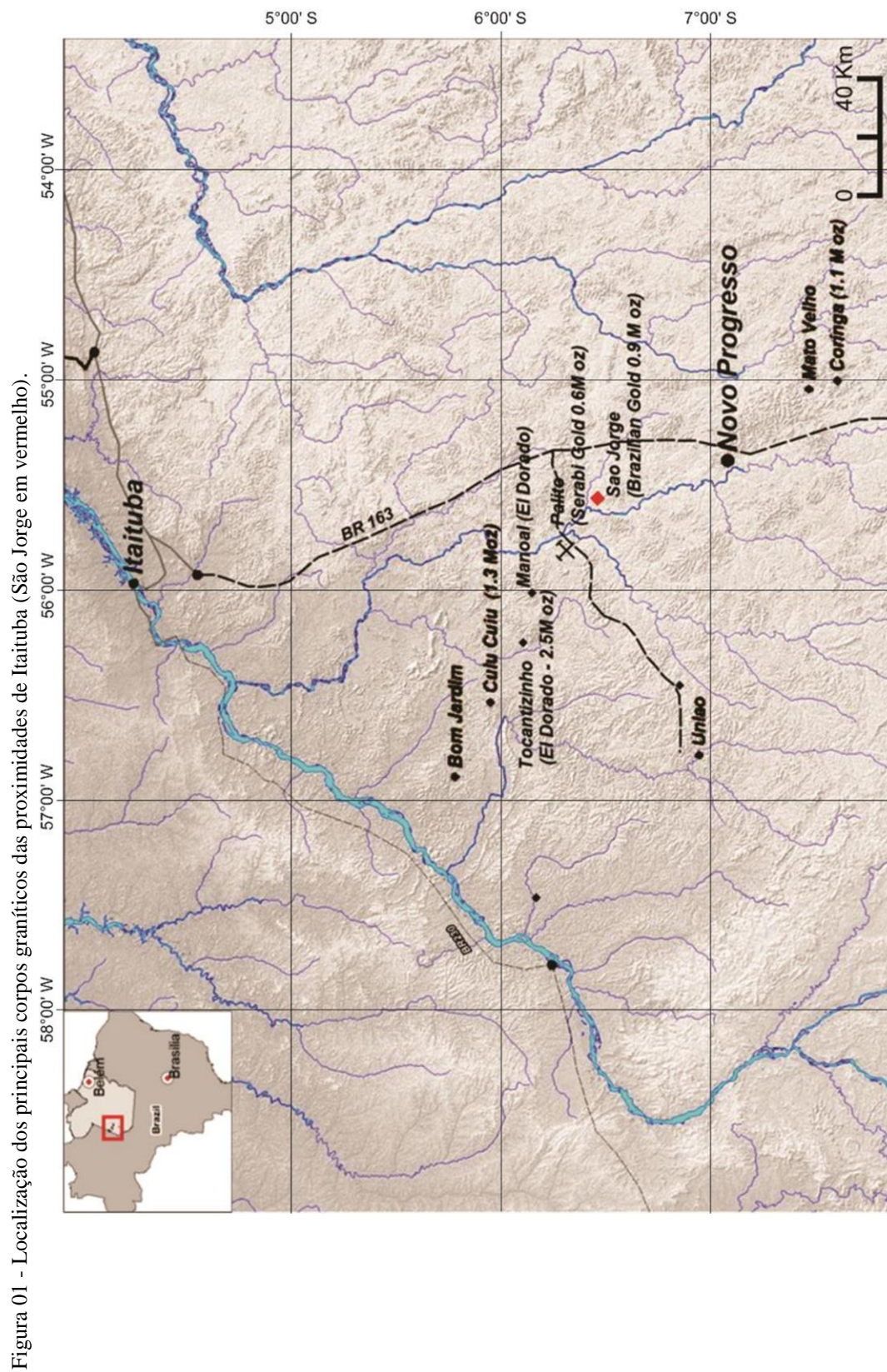
Diversos autores vêm utilizando zircões de rochas graníticas como indicadores petrogenéticos (MURALI et al., 1983; UHER et al., 1998; PUPIN 1980; 2000; WANG et al., 2000; BELOUSOVA; GRIFFIN, 2002; KEMPE et al., 2004). Sua elevada estabilidade química, que o preserva de alterações *subsolidus*, aliada à presença em sua estrutura de elementos-traço característicos como Hf, Y, Nb, Th, U, Ca, e ETR, permitiram o avanço com relação à caracterização de rochas-fonte, identificação de fracionamento de rochas ígneas, mistura de magmas e estudos de proveniências (MURALI et al., 1983; HEAMAN et al., 1990; HOSKIN; IRELAND, 2000).

Somando-se a isto, zircões de granitos mineralizados a metais raros (Sn, Mo, Ta, W, Li) apresentam conteúdos elevados de Hf e, por consequência, razões Zr/Hf extremamente baixas, as quais podem ser interpretadas como uma assinatura herdada de fusões graníticas evoluídas (WANG et al., 2000) ou como resultado de alteração hidrotermal de suas rochas hospedeiras por fluídos ricos em flúor (KEMPE et al., 2004). Por sua vez, zircões de granitos não especializados mostram conteúdos mais baixos de Hf e razões Zr/Hf comparativamente mais elevadas. Granitos especializados das províncias estaníferas do Sul do Pará, Pitinga (AM), Rondônia, Goiás e SE da Finlândia possuem zircões enriquecidos em Hf, Y, Th, U e Ca e baixas razões Zr/Hf, enquanto zircões de granitos não mineralizados da Suíte Jamon (Redenção e Bannach), sudeste do Cráton Amazônico, e do granito pórfiro Santa Rosa, região de São Félix do Xingu, mostram uma assinatura geoquímica distinta daquela de zircões de corpos mineralizados, indicando que a composição do zircão pode ser um guia útil na avaliação preliminar do potencial metalogenético de granitos especializados (LAMARÃO et al., 2007; 2010; 2012; 2014).

1.2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O corpo São Jorge, que é constituído pelos granitoides São Jorge Antigo (GSJA) e São Jorge Jovem (GSJJ), está localizado na região de Vila Riozinho, na folha homônima (SB.21-Z-A). Este povoado se distancia cerca de 300 km ao sul da cidade de Itaituba (Figura 01) e engloba as localidades de Jardim do Ouro, Moraes Almeida e Vila Riozinho. Sua principal via de acesso é a rodovia Cuiabá-Santarém (BR-163), que o secciona de norte a sul, e a rodovia Transgarimpeira, que interliga as duas primeiras localidades. A drenagem mais importante é o rio Jamanxim que contorna toda a sua borda oeste, além do Riozinho das Arraias e o igarapé São Jorge, na sua porção central (LAMARÃO et al., 2002).

A região de Vila Riozinho se encontra na porção leste da Província Aurífera do Tapajós (PAT – FARACO et al., 1997) que, por sua vez, está localizada na porção central do Cráton Amazônico e abrange parte das províncias geocronológicas Ventuari-Tapajós (ou Tapajós-Parima – SANTOS et al., 2000) e Amazônia Central (TASSINARI; MACAMBIRA, 1999; 2004).



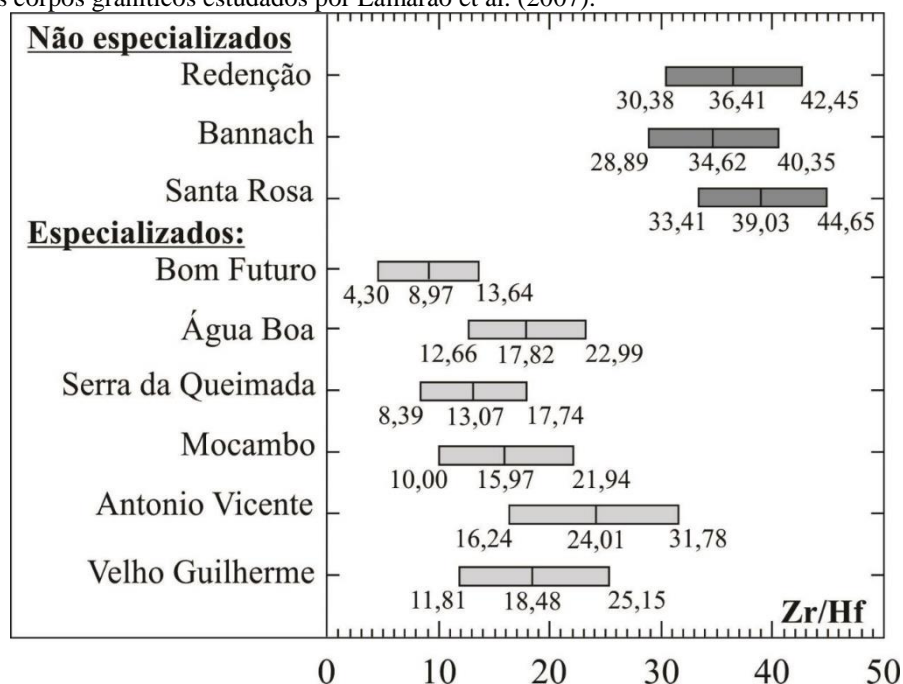
Fonte: Modificado de Monteiro (2012).

1.3 - JUSTIFICATIVA

Este trabalho é baseado em imagens de elétrons retroespalhados (ERE) e análises químicas semiquantitativas por espectroscopia por dispersão de energia (EDS) obtidas com o auxílio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV) de cristais de zircão do GSJA e GSJJ, situados na região de Vila Riozinho, Província Aurífera do Tapajós, com idades de cristalização Pb-Pb em zircão de 1981 ± 2 Ma e 1891 ± 3 Ma, respectivamente (LAMARÃO et al., 2002).

Lamarão et al. (2007) mostram que as concentrações elevadas de Hf encontradas nos zircões de granitos estaníferos, e por consequência baixas razões Zr/Hf, diferem daquelas encontradas em granitos não mineralizados analisados em tal estudo. A Figura 02 compara essas razões e separa as rochas estudadas em dois grupos distintos: o dos granitos especializados com baixas razões Zr/Hf e o dos granitos não mineralizados com razões mais elevadas.

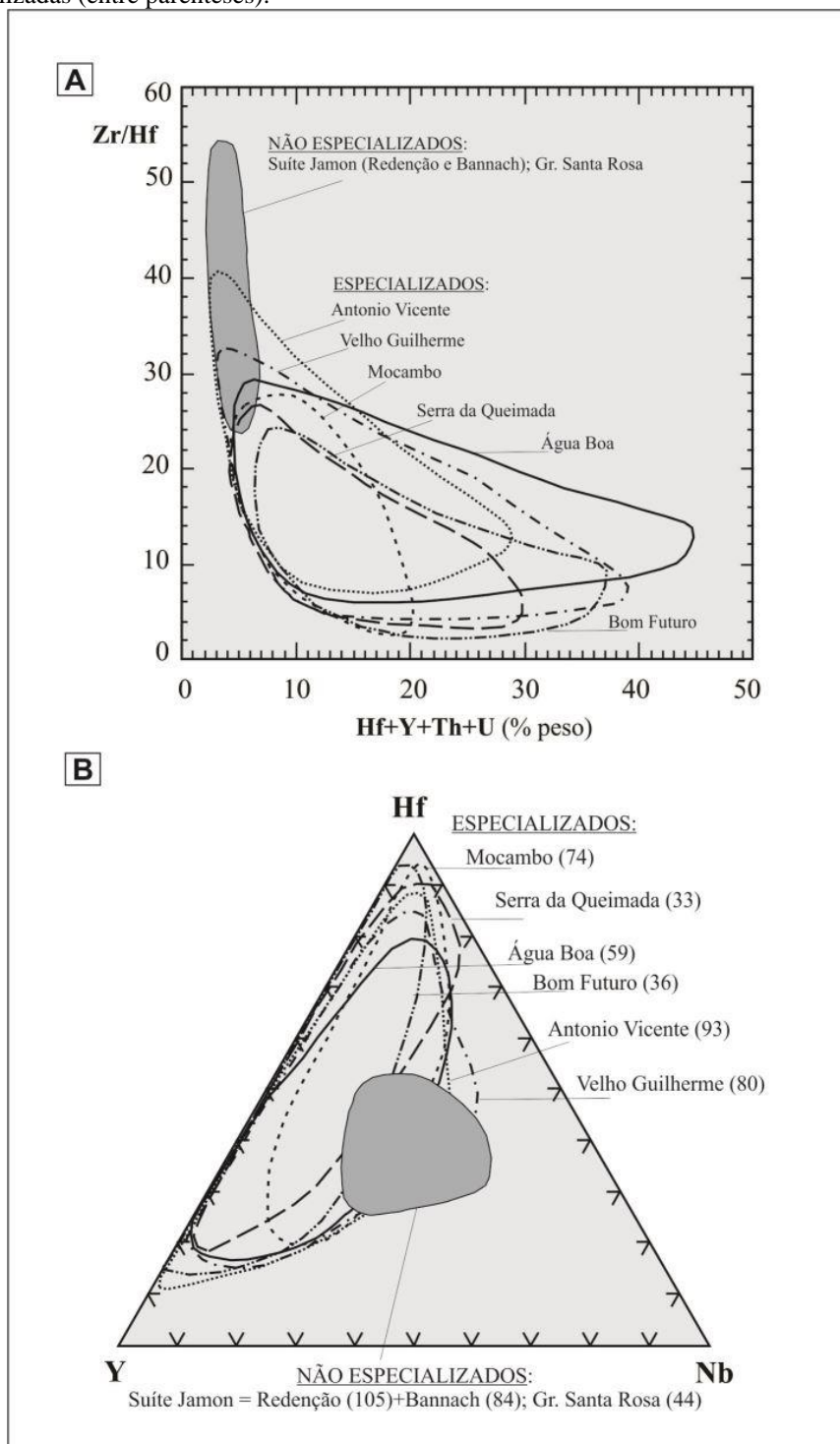
Figura 02 - Diagrama mostrando os valores mínimo, médio e máximo das razões Zr/Hf encontradas em zircões dos corpos graníticos estudados por Lamarão et al. (2007).



Fonte: Lamarão et al. (2007)

Além de Hf e Y, os zircões dos granitos especializados mostram comumente teores mais elevados de Th e U quando comparados aos zircões dos granitos não mineralizados. O diagrama Zr/Hf versus Hf+Y+Th+U (Figura 03 A) mostra claramente o enriquecimento desses elementos nos zircões dos granitos especializados, proporcionando sua nítida separação dos corpos estéreis. No diagrama Hf-Y-Nb, é possível observar o conteúdo relativamente menor de Hf e Y dos zircões de granitos não especializados em contrapartida de seu maior conteúdo de Nb.

Figura 03 - A) Diagrama Zr/Hf versus Hf+Y+Th+U mostrando os campos de variações composicionais dos zircões dos corpos graníticos estudados. B) Diagrama Hf-Y-Nb (% em peso) mostrando os campos de variações composicionais dos zircões dos corpos graníticos estudados, com indicação do número de análises realizadas (entre parênteses).



Fonte: Lamarão et al. (2007)

Os resultados obtidos por Lamarão et al. (2007) revelam que a composição do zircão pode ser utilizada não apenas como traçador de regiões-fonte e como indicador da natureza geoquímica de suas rochas ígneas hospedeiras, mas também na avaliação do potencial metalogenético das mesmas. A confirmação de que uma avaliação preliminar

do potencial estanífero de granitos evoluídos pode ser baseada na variação composicional de zircão atua como suporte para o presente estudo.

O principal objetivo deste trabalho é verificar se zircões do GSJJ, situado em área intensamente hidrotermalizada e portador do depósito de ouro São Jorge, possuem concentrações mais elevadas de elementos afins com o ouro (Bi, Te, As, Nb, Ta, etc.) que permitam diferenciá-los de zircões do GSJA não mineralizado. Espera-se estabelecer, à semelhança do verificado em zircões de granitos estaníferos, uma assinatura geoquímica característica para zircões de rochas graníticas portadoras de depósitos hidrotermais de ouro.

1.4 - OBJETIVOS

Esta pesquisa se desenvolveu objetivando o estudo de cristais de zircão presentes nos granitos São Jorge Antigo e São Jorge Jovem utilizando-se imagens de ERE e análises semiquantitativas por espectroscopia por dispersão de energia (EDS) com o auxílio de um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Os resultados obtidos serão comparados aos zircões do granito Tocantinzinho, também localizados na Província Aurífera do Tapajós (PAT). Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Caracterizar cristais de zircão presentes nas diferentes fácies dos granitos São Jorge Antigo e São Jorge Jovem através de seus aspectos morfológicos e composicionais utilizando imagens de ERE, além de análises semiquantitativas por EDS através do MEV do IG da UFPA;
- Identificar possíveis inclusões e transformações presentes nesses cristais;
- Utilizando diagramas geoquímicos, comparar as composições químicas de cristais de zircão desses dois granitos buscando assinaturas geoquímicas específicas para cada corpo;
- Comparar essas análises com as de zircões de outros corpos graníticos do Cráton Amazônico;
- Avaliar o potencial da composição do zircão como guia prospectivo para granitos especializados em ouro.

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica foi realizada anterior e concomitantemente às fases de obtenção e interpretação dos dados.

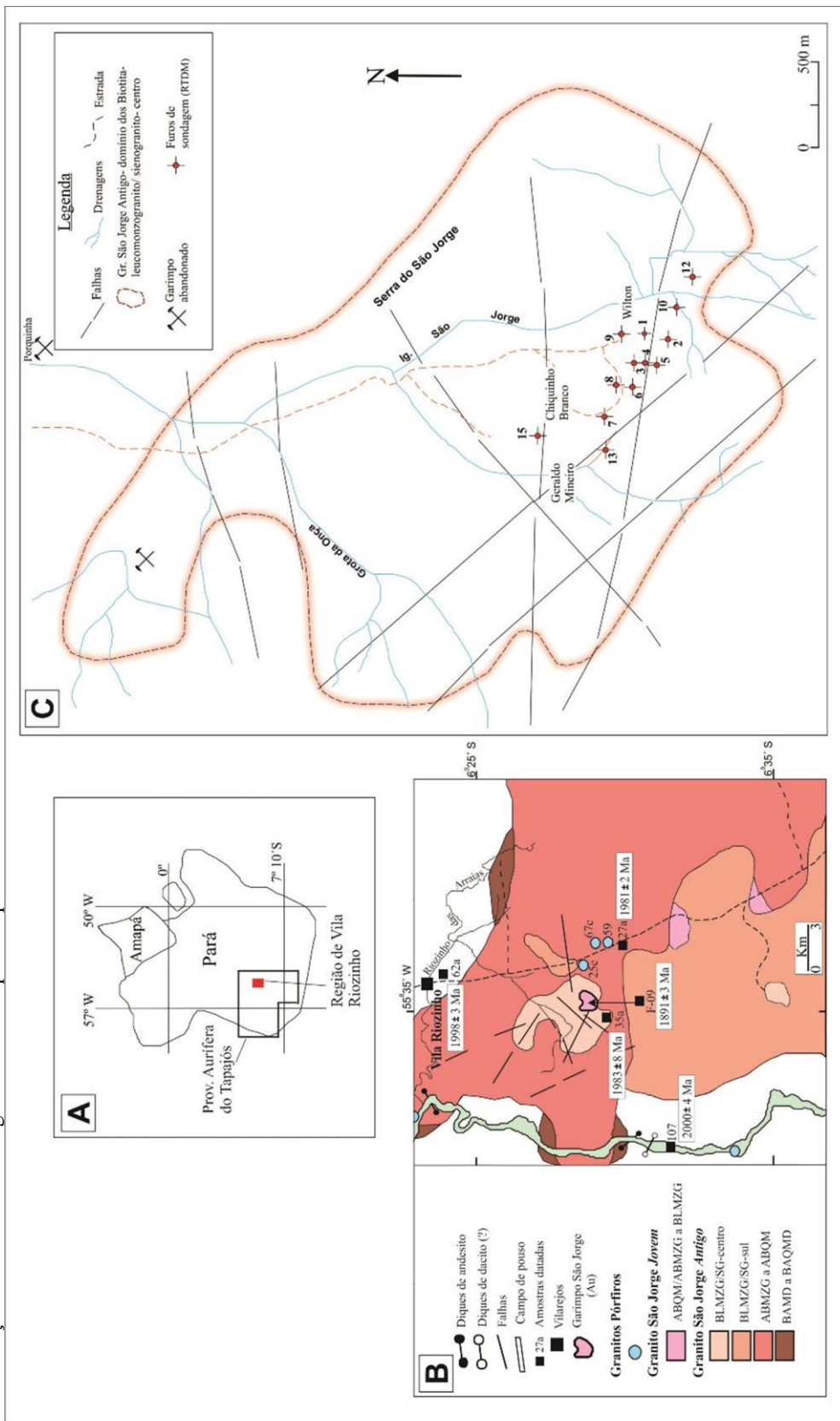
Foram pesquisados temas relacionados principalmente à geologia e geoquímica dos corpos graníticos estudados (LAMARÃO, 2001; LAMARÃO et al., 2002; BORGES et al., 2009); livros e apostilas envolvendo princípios básicos e aplicações em MEV (REED, 1996; FRIEL, 2003); publicações abordando o estudo morfológico e composicional de zircões através de MEV-EDS (UHER et al., 1998; PUPIN, 2000; WANG et al., 2000; BELOUSOVA; GRIFFIN, 2002; KEMPE et al., 2004; LAMARÃO et al., 2007; 2011; 2012; 2014).

2.2 - AMOSTRAGEM

O presente trabalho não envolveu trabalhos de campo; desta forma, foi desenvolvido a partir de amostras de mão e furos de sondagem (Figura 04) rotativa realizados pela empresa Rio Tinto Desenvolvimento Minerais Ltda. (RTDM) no garimpo São Jorge e cedidos pela mesma ao Grupo de Pesquisa de Petrologia de Granitóides (GPPG) da UFPA. Esses furos atingiram profundidades de 150 a 200 metros e tiveram disposição inclinada com ângulos de 50° a 55° e mergulhos predominantemente para norte ou, eventualmente, leste ou sul.

Dos testemunhos amostrados e descritos no GSJJ pela empresa RTDM, quatro foram usados neste trabalho. Duas amostras do GSJA já possuíam lâminas polidas prontas, as quais foram utilizadas no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

Figura 04 - A) Estado do Pará com a localização da Província Aurífera do Tapajós e a Região de Vila Riozinho. B) Mapa de localização dos furos de sondagem realizados pela empresa RTDM Ltda.



Fonte: Modificado de Borges et al. (2009).

2.3 - PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Foram selecionadas lâminas e seções polidas, disponíveis no acervo do GPPG, dos granitoides estudados com o intuito de se obter imagens e análises químicas semiquantitativas em cristais de zircão no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LABMEV) do IG-UFPA.

O testemunho do furo de sondagem FSJ-06 foi utilizado para confecção de novas lâminas polidas na Oficina de Laminação (OL) do IG-UFPA, uma vez que este furo não possuía lâminas relativas às porções mineralizadas.

A amostra RCR-58 do GSJA foi preparada na Oficina de Preparação de Amostras (OPA), com auxílio de britador (Figura 05A), *shatterbox* (Figura 05B), peneiras e posteriormente tratada no separador magnético Frantz (Figura 05C) e líquido pesado (bromofórmio, Figura 05D) para separação de zircões e posterior confecção de seção polida.

Seções e lâminas polidas foram recobertas por uma fina camada de carbono (metalização), a fim de torná-las eletricamente condutivas, em um sistema automático de metalização, modelo EMITECH – K550XR® (Figura 05E), pertencente ao LABMEV.

2.4 - MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

As análises de MEV foram realizadas no LABMEV sob orientação do Prof. Claudio Nery Lamarão.

O MEV utilizado foi o LEO-ZEISS 1430 (Figura 05F) com sistema de Mono-CL3 da Gatan e detector de EDS Sirius-SD acoplados. As lâminas polidas foram previamente metalizadas a carbono. As condições de operação para obtenção de imagens de elétrons retroespalhados (ERE) e análises por EDS foram: 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 ($Z = n^\circ$ atômico, $A =$ absorção atômica e $F =$ fluorescência de Raios X), que já vem instalado com o software e faz correções entre pico e *background* do elemento. O tempo de duração das análises de zircão foi de 30s, com 4.000 a 5.000 contagens/segundo para cada análise.

O funcionamento do EDS se faz a partir de um feixe de elétrons, que ao incidir sobre a amostra excita os elétrons mais internos dos seus átomos, deslocando-os de suas órbitas, criando vacâncias e assim ionizando o átomo. Para retornar o átomo a um estado mais equilibrado possível, elétrons das camadas mais externas são trazidos para preencher as vacâncias. Quando esses elétrons são transferidos para os orbitais mais internos, são bruscamente desacelerados, e a diferença de energia cinética entre os orbitais é então

emitida na forma de fóton. Um detector instalado na câmara de vácuo do MEV mede a energia associada a esses fótons. Considerando que, no ponto no qual o feixe incide, os elétrons de um determinado átomo possuem energias distintas, é possível determinar quais elementos químicos estão presentes naquele ponto e, desta forma, identificar a composição química do mineral que está sendo analisado.

Foram realizadas de 1684 análises pontuais nos zircões dos Granitos São Jorge Jovem e Antigo e 233 nos zircões do Granito Tocantinzinho, situadas tanto no núcleo quanto nas bordas dos cristais, evitando-se, com ajuda de imagens de ERE, regiões de fraturas e proximidade de inclusões. A Tabela 1 apresenta a relação das seções e lâminas polidas utilizadas neste estudo; os Apêndices A a G apresentam os valores médios dos elementos analisados em zircões neste estudo.

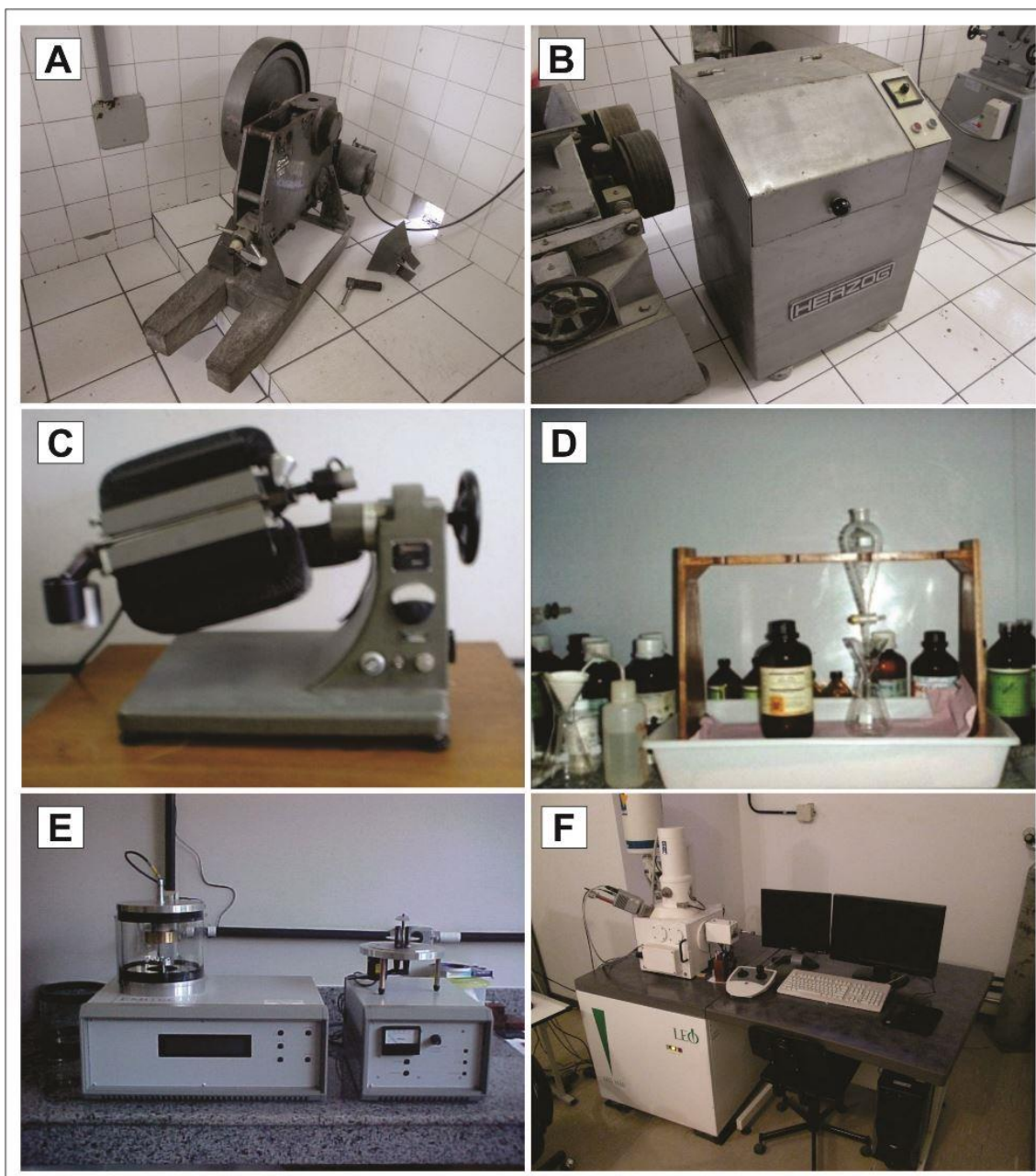
Tabela 1 - Lâminas e seções polidas utilizadas neste estudo.

Granito	Seção	Lâmina	Zircões analisados
São Jorge Antigo	RCR-27		27
	RCR-35		40
		RCR-58	12
São Jorge Jovem		FSJ02-24	7
		FSJ02-39	9
		FSJ02-43	10
		FSJ02-46	3
		FSJ06-23	6
		FSJ06-25	9
		FSJ07-36	5
		FSJ09-7	7
Tocantinzinho		FSJ09-14	5
		01-175	7
		04-175	7
		08-177	6
		04-139	6
		05-177	4

Fonte: Elaborado pelo autor

Os elementos analisados foram O, Si, P, S, Ca, Cu, As, Y, Zr, Nb, Sb, Te, Ba, Ce, Hf, Ta, Hg, Bi, Th e U. Os resultados obtidos nas análises semiquantitativas foram organizados em planilhas e tratados em diagramas geoquímicos específicos utilizando-se o programa GCDkit 2.3.

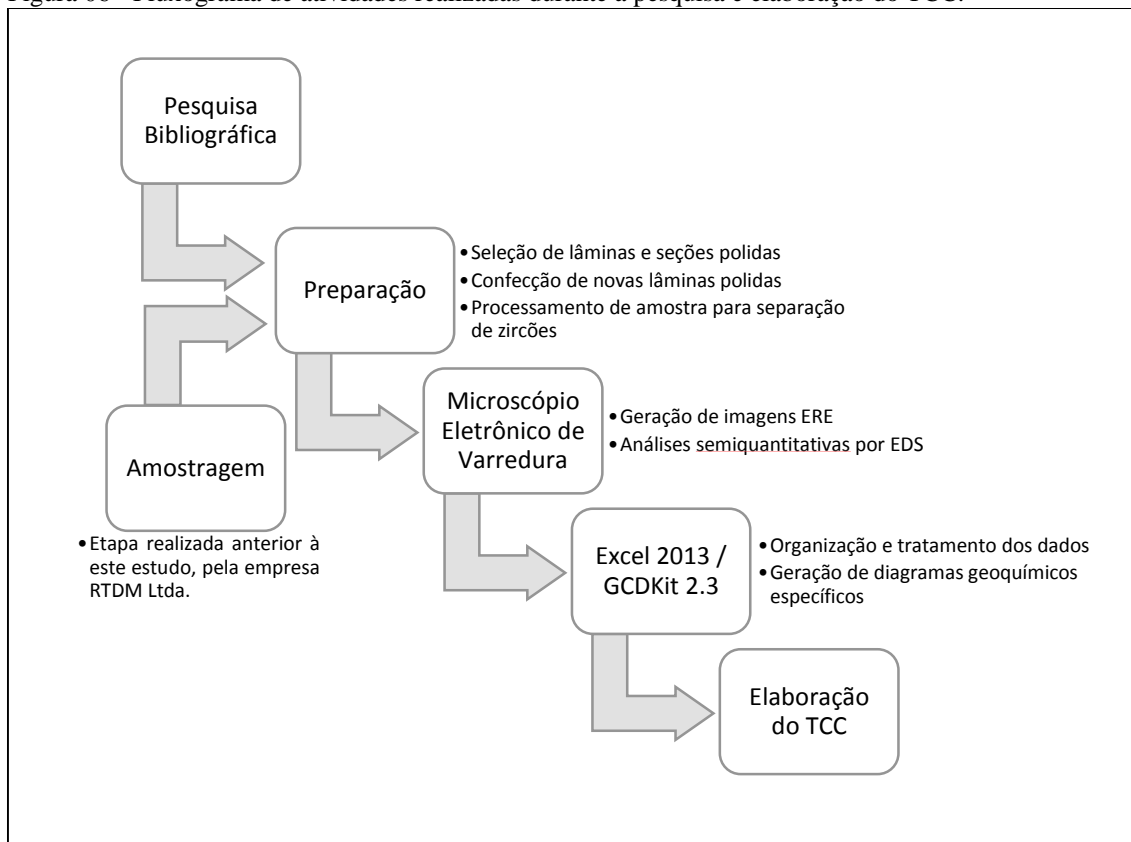
Figura 05 - Equipamentos utilizados para preparação e análise de amostras. A) Britador, utilizado na trituração; B) *Shatterbox* utilizado na pulverização das amostras; C) separador isodinâmico Frantz; D) etapa de separação de minerais pesados (bromofórmio); E) Sistema automático de metalização das amostras. Modelo EMITECH – K550XR; F) MEV LEO-ZEISS modelo 1430.



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 06 mostra um fluxograma, apresentando de forma resumida as atividades realizadas durante este trabalho.

Figura 06 - Fluxograma de atividades realizadas durante a pesquisa e elaboração do TCC.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3 - CONTEXTO GEOLÓGICO

3.1 - PROVÍNCIAS GEOCRONOLÓGICAS DO CRÁTON AMAZÔNICO

O Cráton Amazônico corresponde a uma das maiores áreas pré-cambrianas do mundo, com área total de aproximadamente 4.500.000 km². Está localizado no norte da América do Sul, abrangendo grande parte do Brasil, Guiana Francesa, Suriname, Venezuela, Colômbia e Bolívia. É formado pelos Escudos das Guianas e Brasil Central, separados pelas Bacias Paleozoicas do Amazonas e Solimões, representando, desta forma, uma das principais unidades tectônicas da plataforma Sul-Americana (TASSINARI; MACAMBIRA, 1999).

Seus limites a leste, sul e sudeste são representados, respectivamente, pelo Grupo Baixo Araguaia, e Grupos Alto Paraguai, Cuiabá e Corumbá, unidades do Ciclo Orogênico Brasileiro (930-540 Ma – PIMENTEL; FUCK, 1992).

É admitida a existência de seis províncias no Cráton Amazônico, segundo Tassinari e Macambira (1999; 2004 – Figura 07), baseadas em dados geocronológicos, *trends* estruturais, proporções litológicas e evidências geofísicas, sendo elas, da mais antiga para mais nova: Província Amazônia Central - PAC (>2,5 Ga), Província Maroni-Itacaiunas - PMI (2,2-1,95 Ga), Província Ventuari-Tapajós - PVT (1,95-1,8 Ga), Província Rio Negro-Juruena - PRNJ (1,8-1,55 Ga), Província Rondoniana-San Ignácio - PRSI (1,55-1,3 Ga) e Província Sunsas - PS (1,3-1,0 Ga).

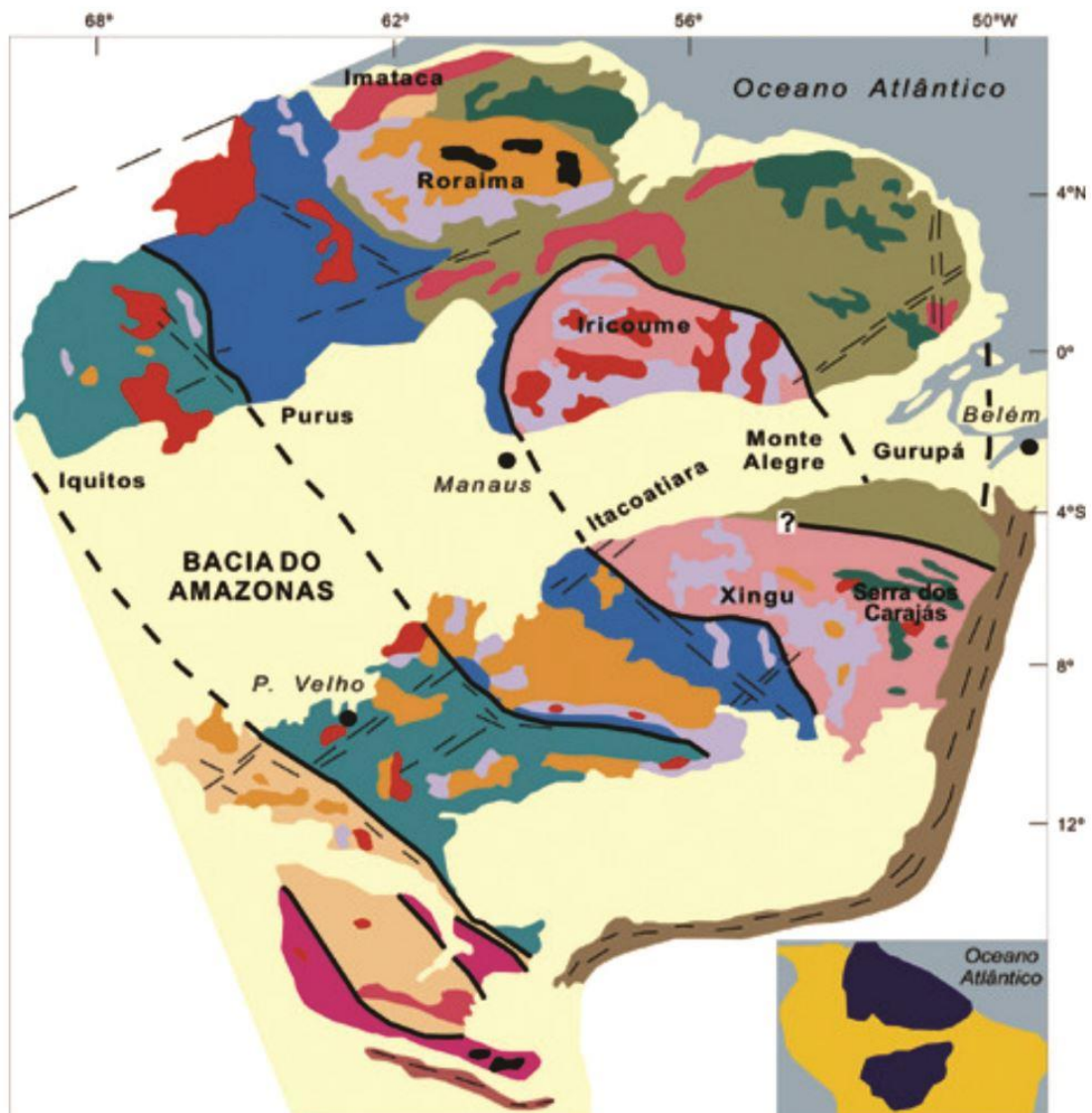
3.1.1 - Província Amazônia Central

A Província Amazônia Central tem sido considerada como um núcleo arqueano (TASSINARI et al., 1996; SANTOS et al., 2000), onde, nas bordas, várias faixas móveis proterozóicas foram acrescidas. A distinção entre os dois modelos principais de entendimento do cráton é que, enquanto Santos et al. (2000) consideram a região de Carajás como uma província distinta da Província Amazônia Central, enquanto que Tassinari (1996) aglutina-as em uma única província.

Cabe mencionar que Geraldtes et al. (2001) ampliaram a área da Província Amazônia Central (núcleo arqueano), nela introduzindo a região de Ventuari, a qual Santos et al. (2000) incorporaram na província Rio Negro. Parte da abrangência da PAC foi reduzida com a criação (TASSINARI, 1996) e ampliação da Província Tapajós-Parima (SANTOS et al., 2000).

A área resultante é composta por um embasamento muito pouco conhecido, em geral apenas fotointerpretado, e por uma associação cratogênica constituída por:

Figura 07 - Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico.

**PROVÍNCIAS GEOCRONOLÓGICAS**

- Amazônia Central
> 2,5 Ga
- Maroni - Itacaiúnas
2,2 - 1,9 Ga
- Ventuari - Tapajós
1,9 - 1,8 Ga
- Rio Negro - Juruena
1,8 - 1,55 Ga
- Rondoniana - San Ignácio
1,55 - 1,3 Ga
- Sunsás
1,25 - 1,0 Ga

UNIDADES GEOLÓGICAS

- Cobertura fanerozoica
- Granitóide
- Cobertura sedimentar pré-cambriana
- Vulcanismo ácido intermediário
- Vulcanismo máfico
- "Greenstone belt"
- Complexo granulítico
- Faixas neoproterozóicas
- Alto estrutural do embasamento

Fonte: Tassinari e Macambira (2004).

a) rochas vulcânicas félsicas a intermediárias (grupos/formações Iriri, Surumu, Burro-Burro, Caicara e Iricoumé); b) Granitos tipo A (Suítes Intrusivas Maloquinha, Mapuera e Saracura); c) coberturas sedimentares de plataforma, dominadas por depósitos fluviais entrelaçados (Formações Triunfo, Novo Progresso e Gorotire), que têm sido comparados com as coberturas tipo Roraima, Urupi e Buiuçu; e d) *Sills* e diques tholeíticos (Figueira Branca e Guadalupe, supostamente equivalentes das intrusões tipo Avanavero). As rochas da Província Amazônia Central que estão mais expostas em superfície não mostram evidências de metamorfismo regional e de dobramentos associados à compressão regional, sendo caracterizadas por uma tectônica de *block-faulting*. As rochas vulcânicas félsicas a intermediárias e os granitos tipo A foram gerados pelo Magmatismo Uatumã (SANTOS; REIS NETO, 1982), com evolução na faixa de tempo de 1,88 a 1,70 Ga. Rochas de embasamento têm sido assinaladas tanto na parte norte (Mapuera-Tumucumaque) como na parte sul (Iriri-Xingu) da Província e referidas aos chamados “Complexos” Xingu e Guianense, que têm sido posicionados no arqueano.

3.1.2 - Província Ventuari-Tapajós

Desde Amaral (1974), a região do Tapajós foi incluída na Província Amazônia Central (Arqueano), da qual foi individualizada somente em 1996 por Tassinari (1996) que, com base essencialmente em dados Rb-Sr, a chamou de “Província Ventuari-Tapajós”, formada entre 1,90 e 1,80 Ga e constituída por um arco magmático. A obtenção de dados isotópicos mais robustos (U-Pb) por Santos et al. (1997) mostraram que a província é mais antiga que 1,90-1,80 Ga, tendo sido gerada entre 2,10 e 1,87 Ga. Com isso, a correlação do Domínio Tapajós com a região de Ventuari na Venezuela ficou comprometida, pois surgiram muitas dissimilaridades geológicas, isotópicas, estruturais e metalogenéticas entre as duas regiões. A mais importante é a de que o embasamento Tapajós é 250 a 290 Ma mais antigo que o embasamento Ventuari, com base em dados U-Pb de Gaudette e Olszewski (1985). As rochas mais antigas de Ventuari têm idades entre 1840 e 1790 Ma, todas elas mais jovens que as rochas mais jovens da orogênese Tapajós (> 1,87 Ga). Apesar dessas idades, Geraldés et al. (2001) consideram-na como parte de um núcleo arqueano. Santos et al. (2000) mostraram que a região Ventuari faz parte da Província Rio Negro da qual não se distingue em relação aos dados U-Pb e Sm-Nd disponíveis (SANTOS et al., 2000; GAUDETTE; OLSZEWSKI, 1985).

A faixa orogênica Tapajós-Parima (LIMA, 1998) constitui uma das principais províncias do cráton e é bordejada a oeste por províncias paleoproterozóicas mais jovens que foram acrescentadas ao cráton entre 1,85-1,70 Ga (Províncias Rio Negro e Rondônia-

Juruena). A faixa orogênica Tapajós-Parima representa nova crosta adicionada à Província Amazônica Central (Arqueana), durante parte do Paleoproterozóico (2,10 a 1,87 Ga; SANTOS et al., 2000). Mapeamento mais recentes da CPRM (ALMEIDA et al., 2000; BAHIA; QUADROS, 2000; KLEIN; VASQUEZ, 2000) e de geocronologia (SANTOS et al., 1997; 2000; 2001; 2002) possibilitaram a montagem de um quadro evolutivo detalhado para o Domínio Tapajós, com base em dados de campo e geocronológicos por U-Pb.

3.2 - PROVÍNCIA AURÍFERA DO TAPAJÓS

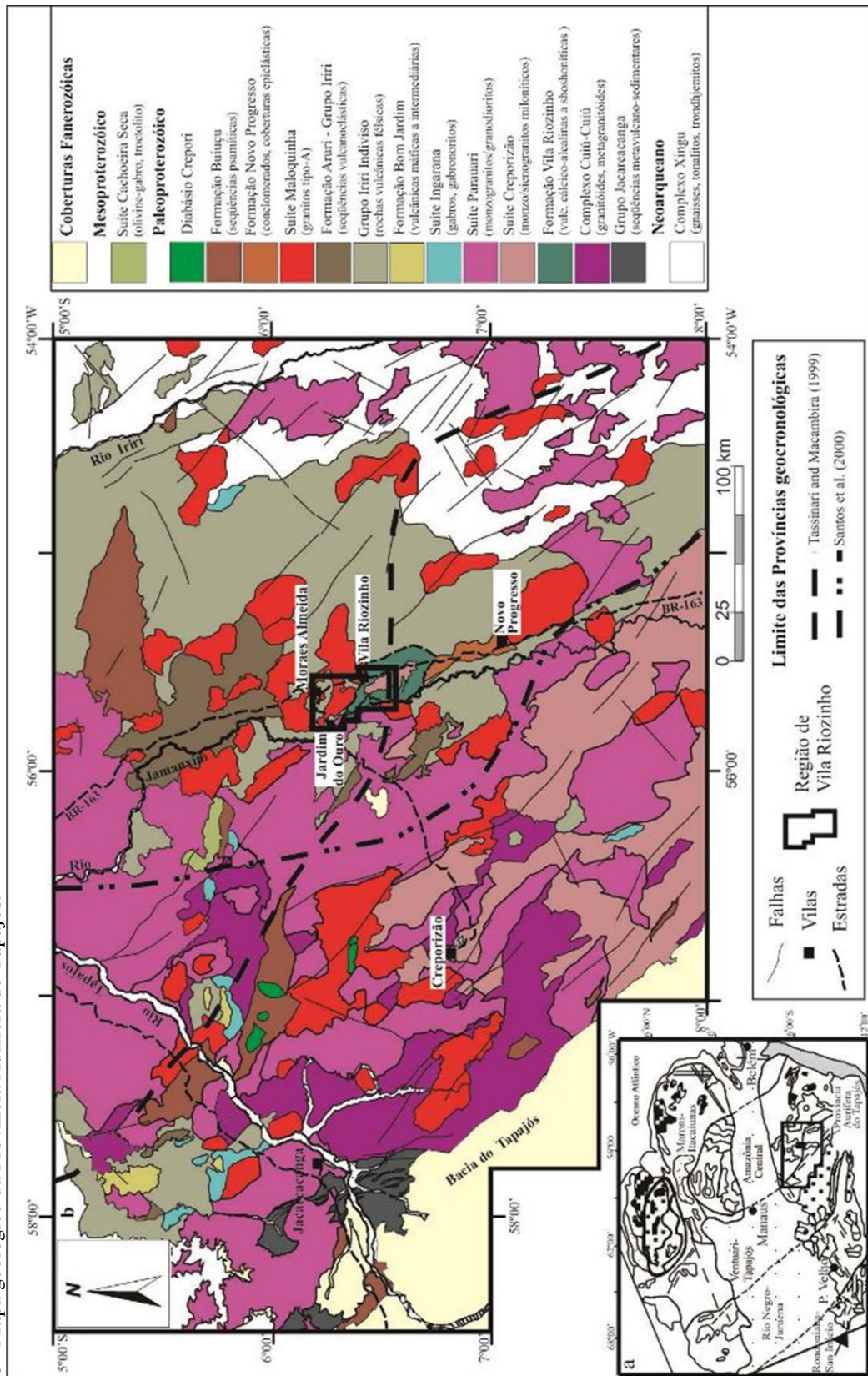
A Província Aurífera do Tapajós (PAT – Figura 08), área na qual está inserido o corpo granítico deste estudo, fica localizada no limite entre as Províncias Ventuari-Tapajós (TASSINARI; MACAMBIRA, 1999) ou Tapajós-Parima (SANTOS et al., 2000) e Amazônia Central. A PAT é constituída predominantemente por rochas vulcânicas e plutônicas do final do Paleoproterozóico.

As rochas magmáticas mais antigas da PAT são representadas por granodioritos e tonalitos cálcico-alcálicos do Complexo Cuiú-Cuiú, com idades U-Pb de 2033 ± 4 Ma e 2011 ± 33 Ma, respectivamente (SANTOS et al., 2000; 2004). Rochas vulcanossedimentares do Grupo Jacareacanga, com idades U-Pb em zircões detríticos variando de 2,10-2,87 Ga, são consideradas mais antigas ou contemporâneas com as rochas do Complexo Cuiú-Cuiú (SANTOS et al., 2000; 2004). Ambas unidades podem representar os estágios iniciais de desenvolvimento do arco magmático Cuiú-Cuiú (FERREIRA et al., 2000; KLEIN; VASQUEZ, 2000; KLEIN et al., 2001).

Imediatamente acima na sequência estratigráfica, ocorrem as rochas vulcânicas intermediárias a félsicas de afinidade cálcico-alcálica alto potássio a shoshonítica da Formação Vila Riozinho (LAMARÃO et al., 2002); esta é constituída por andesitos basálticos, traquiandesitos basálticos, traquitos e riolitos com idades Pb-Pb em zircão próximas de 2,0 Ga, seguidas dos granitoides cálcico-alcálicos sin a tardi-orogênicos da Suíte Creporizão, com idades U-Pb e Pb-Pb em zircão entre 2,0 e 1,96 Ga (KLEIN; VASQUEZ 2000; VASQUEZ et al., 2000; LAMARÃO et al., 2002).

Um extenso magmatismo cálcico-alcálico, representado pela Suíte Parauari, ocorreu entre 1,89-1,87 Ga (idades Pb-Pb em zircão entre 1893 e 1883 Ma; VASQUEZ et al., 1999; SANTOS et al., 2000). Ele representa uma geração mais jovem de granitoides cálcico-alcálicos pós-orogênicos e aflora principalmente na região nordeste da PAT, sendo constituído predominantemente por monzogranitos e granodioritos, geralmente isentos de deformação.

Figura 08 - Mapa geológico da Província Aurifera do Tapajós.



Fonte: Compilado de Lamarão et al. (2005).

Em torno de 1,88 Ga ocorreu também na PAT um volumoso magmatismo de natureza alcalina (tipo-A), representado pela Suíte Intrusiva Maloquinha, Granito Caracol e vulcânicas félsicas do Grupo Iriri e da Formação Moraes Almeida (FARACO et al., 1997; KLEIN; VASQUEZ 2000; LAMARÃO et al., 2002), estas duas últimas formadas por rochas piroclásticas ácidas (ignibritos) e derrames de composição riolítica e traquítica com idades U-Pb e Pb-Pb em zircão em torno de 1,88 Ga (DALL'AGNOL et al., 1999; LAMARÃO et al., 1999; MOURA et al., 1999; VASQUEZ et al., 1999; SANTOS et al., 2000). Localmente são identificados derrames andesíticos da Formação Bom Jardim, além de diques máficos do diabásio Crepori e intrusões máficas a intermediárias incluídas nas Suítes Ingarana e Cachoeira Seca. Coberturas sedimentares fanerozóicas completam o quadro estratigráfico da PAT (SANTOS et al., 1975; BAHIA; QUADROS 2000; KLEIN; VASQUEZ, 2000).

3.2.1 - Contexto Geológico da Região de Vila Riozinho

O mapa geológico da região de Vila Riozinho (LAMARÃO, 2002 – Figura 09) é mostrado a seguir. Neste estão presentes as seguintes unidades magmáticas.

3.2.1.1 - Formação Vila Riozinho

Sequência vulcânica mais antiga, representada por andesitos basálticos, traquiandesitos basálticos, traquitos e riolitos, aflorantes em áreas topograficamente arrasadas ao longo do rio Jamaxim e nas proximidades de Vila Riozinho. Os traquitos, predominantes, apresentaram idades Pb-Pb em zircão de 2000 ± 4 e 1998 ± 3 Ma (LAMARÃO et al., 2002).

3.2.1.2 - Granitóides São Jorge Antigo e São Jorge Jovem

O Granito São Jorge foi identificado por Lamarão (2001) na região de Vila Riozinho, Província Aurífera do Tapajós (PAT).

Lamarão et al. (2002) mostraram que o corpo granítico São Jorge é formado por dois granitos distintos. O Granito São Jorge Antigo (GSJA), constitui a maior parte do corpo, com idades Pb-Pb em zircão de 1981 ± 9 Ma e 1981 ± 2 Ma, e o Granito São Jorge Jovem (GSJJ), com idade Pb-Pb em zircão de 1891 ± 3 Ma, no qual está localizado o depósito aurífero do São Jorge.

3.2.1.2.1 - Granito São Jorge Antigo (GSJA)

O GSJA é um corpo de dimensões batolíticas, formado por rochas geralmente isotrópicas, pouco deformadas. Ele aflora nos arredores e a sul de Vila Riozinho, bem como ao longo do rio Jamaxim e margeando o Riozinho das Arraias. A distribuição espacial das diferentes fácies identificadas indica que o GSJA é composicionalmente zonado.

Localmente, nas bordas nordeste, noroeste e oeste, afloram rochas monzodioríticas a quartzo-monzodioríticas. Nas porções leste e norte tem-se um domínio de anfibólio-biotita-monzogranito, o qual constitui a fácies dominante no corpo, com anfibólio-biotita-quartzomonzonito subordinado. Nas áreas central e sul do corpo estão expostos biotita-leucomonzogranitos a sienogranitos que constituem a fácies mais evoluída do corpo.

Na porção central do GSJA, em uma área rebaixada topograficamente, localiza-se o depósito São Jorge. Neste local foi identificado em subsuperfície o GSJJ, petrograficamente semelhante ao GSJA, porém com características geoquímicas contrastantes e idade Pb-Pb em zircão cerca de 100 Ma mais jovem.

3.2.1.2.2 - *Granito São Jorge Jovem (GSJJ)*

O GSJJ foi estudado com base nos testemunhos de sondagem dos furos realizados na área mineralizada, e a sul de Vila Riozinho, onde aflora na forma de grandes blocos. Em testemunhos de sondagem da área mineralizada, nas porções menos afetadas pelos processos hidrotermais, apresenta coloração acinzentada e mineralogia e feições texturais semelhantes às identificadas no GSJA. Nos afloramentos a sul de Vila Riozinho, mostra-se hidrotermalizado e com coloração avermelhada, sendo formado predominantemente por quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio. A fácies petrográfica predominante do GSJJ é um anfibólio-biotita-monzogranito cinza, de granulação média, constituído por feldspato alcalino, plagioclásio (andesina sódica a oligoclásio), quartzo, biotita, anfibólio, titanita e opacos.

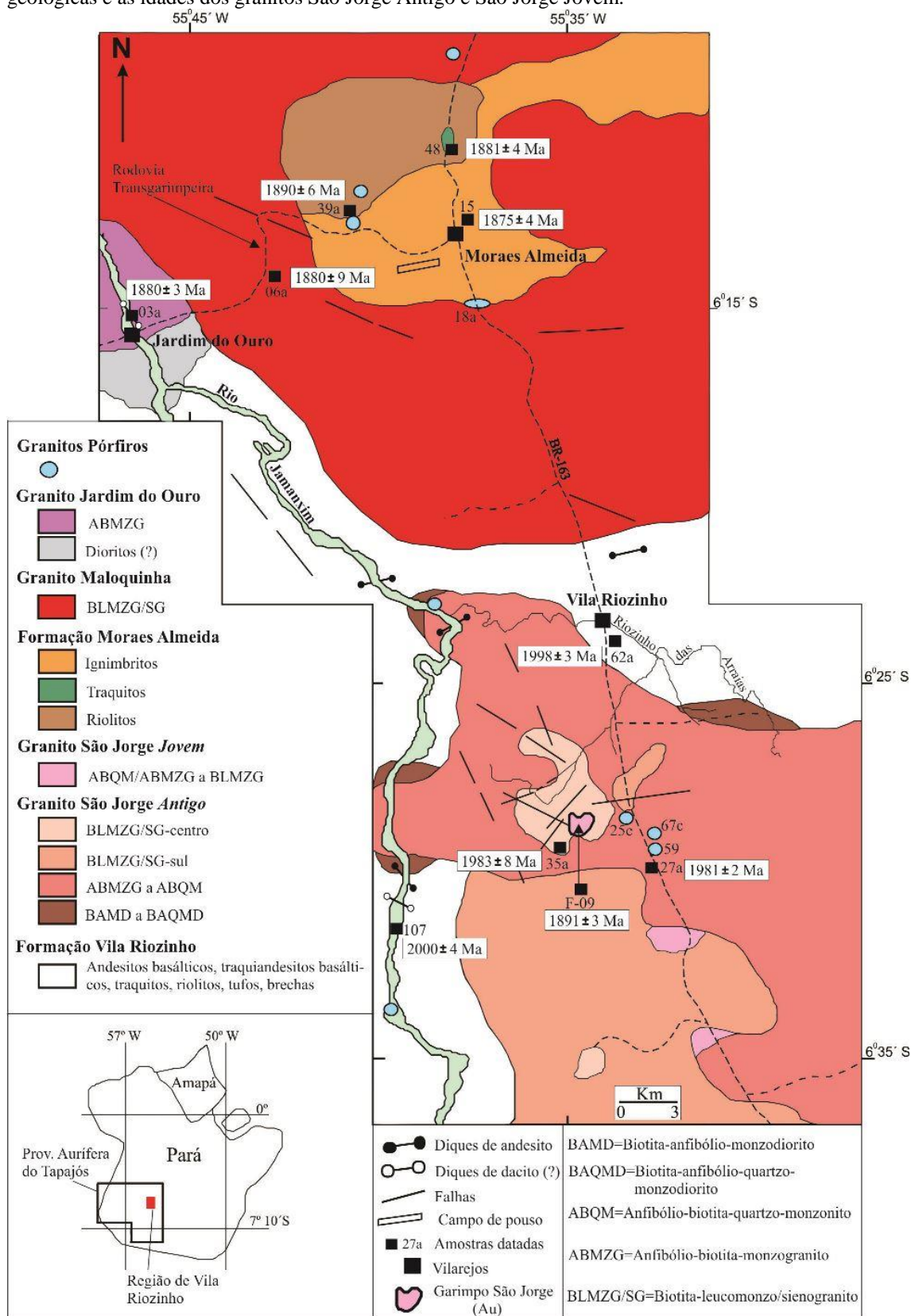
3.2.1.3 - Formação Moraes Almeida

Constituída predominantemente por ignimbritos, com derrames de composição riolítica e traquítica subordinados. Aflora em torno da localidade tipo, em áreas arrasadas ou como pequenos morrotes abaulados e mostra contatos bruscos com a Suíte Maloquinha associada. Riólitos, traquitos e ignimbritos apresentaram idades Pb-Pb em zircão de 1890 ± 6 Ma, 1881 ± 4 Ma e 1875 ± 4 Ma, respectivamente (LAMARÃO et al., 2002).

3.2.1.4 - Suíte Intrusiva Maloquinha

Aflora como morrotes abaulados e pequenas serras alongadas associada às vulcânicas ácidas da Formação Moraes Almeida. Apresenta similaridades mineralógicas e composicionais com granitos do tipo-A. Datações Pb-Pb em zircão indicaram idade de 1880 ± 9 Ma.

Figura 09 - Mapa geológico da região de Vila Riozinho, mostrando a localização das diferentes unidades geológicas e as idades dos granitos São Jorge Antigo e São Jorge Jovem.



Fonte: Compilado de Lamarão et al. (2002).

3.2.1.5 - Granito Jardim Do Ouro

Corresponde a um pluton isotrópico e sem transformações hidrotermais intensas que aflora na localidade homônima, às margens do Rio Jamanxim e ao longo da rodovia Transgarimpeira. Apresenta coloração rosa-acinzentada e cristais centimétricos (<5 cm) de álcali-feldspato rosado. Datações Pb-Pb em zircão indicaram idade de 1880 ± 3 Ma para este corpo.

3.2.1.6 - Granitos Pórfiros (GP)

São rochas porfíricas que ocorrem na forma de pequenos afloramentos sem grandes extensões laterais. Associam-se tanto ao Granito São Jorge Antigo e à Formação Vila Riozinho, quanto às rochas ácidas da Formação Moraes Almeida e à Suíte Maloquinha, sem mostrar, entretanto, claras relações de contato. Datações Pb-Pb em zircão forneceram idades de 1987 ± 3 Ma e 1982 ± 3 Ma para os GP RCR-59 e RCR-657C associados ao GSJA e foram interpretadas como idades de cristalização. Tais idades são próximas àquelas encontradas nos monzogranitos do GSJA e confirmam a ligação temporal entre este corpo e os GP associados. Idades mais antigas (1996 ± 7 e 2018 ± 6 Ma) encontradas na amostra RCR-59 são próximas a das rochas traquíticas da Formação Vila Riozinho (2000 ± 4 Ma e 1998 ± 3 Ma) e foram interpretadas como idades herdadas. O GP que aflora no contato entre ignimbritos da Formação Moraes Almeida e leucogranitos da Suíte Maloquinha forneceu idade de cristalização Pb-Pb em zircão de 1888 ± 3 Ma, similar a dos leucogranitos da Suíte Intrusiva Maloquinha, confirmando a ligação temporal entre elas (LAMARÃO et al., 2008).

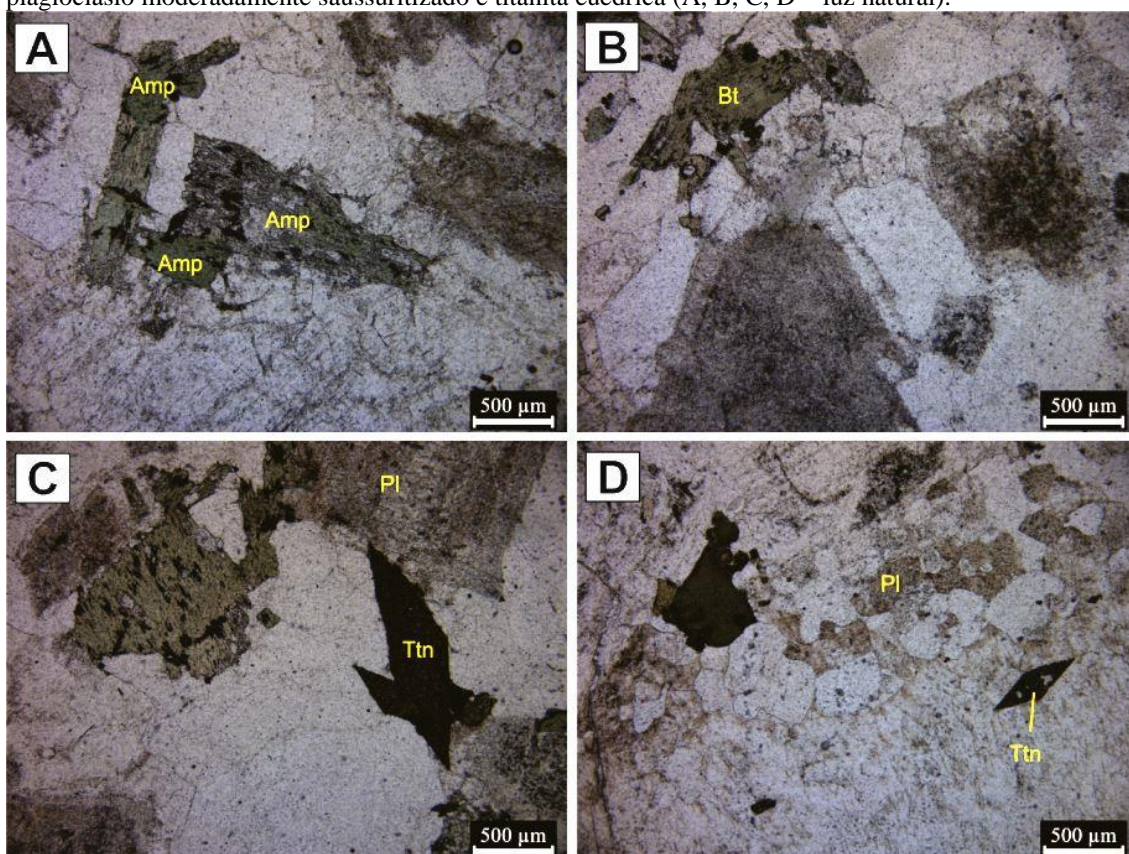
4 - RESULTADOS

4.1 - ASPECTOS PETROGRÁFICOS

As rochas que ocorrem nos furos de sondagem da área mineralizada do depósito São Jorge são anfibólio-biotita-monzogranitos (ABMZG) de granulação predominantemente média. A intensidade do hidrotermalismo nos furos de sondagem estudados é crescente, na sequência: 06<02<07<09. Borges et al. (2009) propuseram uma classificação para as rochas do depósito São Jorge baseada em quatro associações mineralógicas, onde cada associação corresponde a um estágio hidrotermal evolutivo do GSJJ:

Associação 1 (Figura 10): É definida pela presença de anfibólio juntamente com biotita marrom (biotita 1), ambas formando cristais subédricos a euédricos com mais de 1 mm, plagioclásio (andesina sódica a oligoclásio; An₃₂₋₁₂) com zoneamento marcante, magnetita e titanita euédrica a subédrica. Esta associação seria a que mais se aproxima daquela formada no estágio magmático.

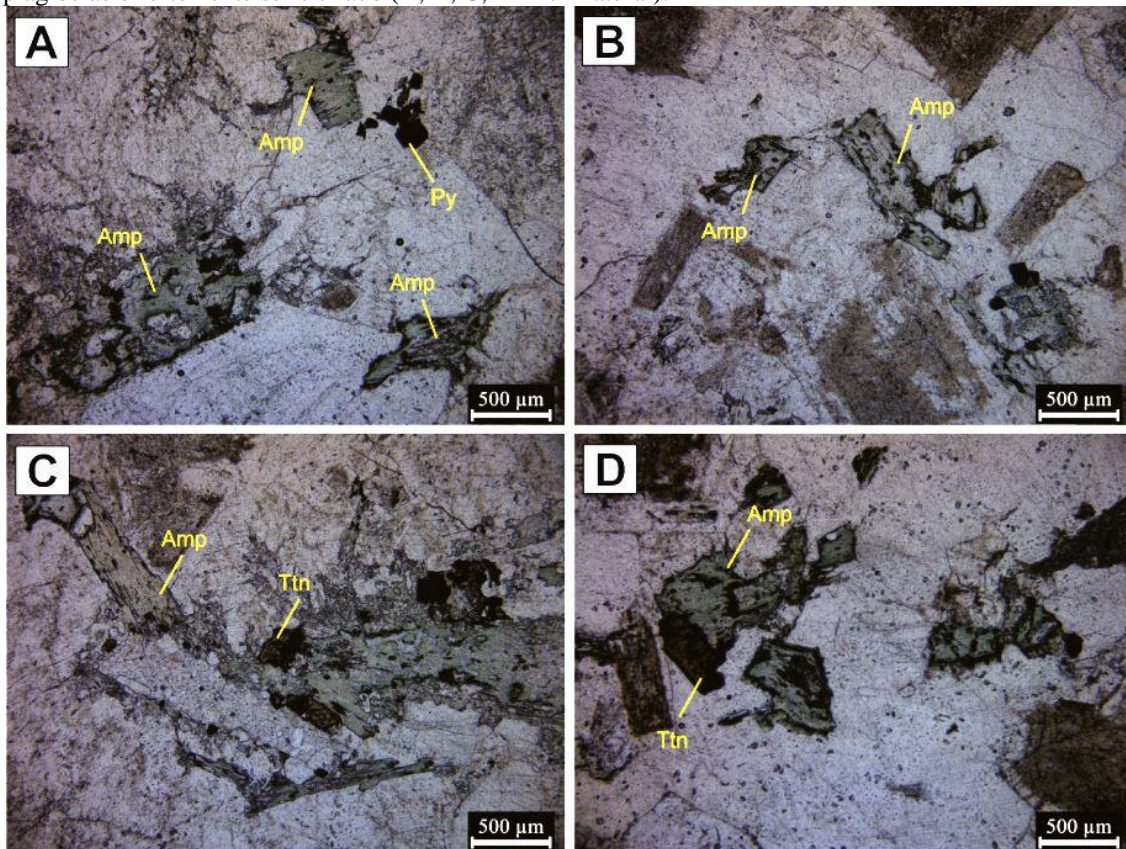
Figura 10 - Fotomicrografias do GSJJ demonstrativas das principais características da Associação 1. A) cristais de anfibólio euédricos cloritizados; B) biotita apresentando substituição por óxidos de Fe; C,D) plagioclásio moderadamente saussuritizado e titanita euédrica (A, B, C, D – luz natural).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Associação 2 (Figura 11): O anfibólio ígneo encontra-se inteiramente pseudomorfisado e substituído por clorita + carbonatos + óxidos de Fe e Ti e titanita \pm biotita \pm epidoto. A biotita 1 acha-se parcialmente cloritizada, mas ainda presente na rocha. O plagioclásio preserva sua textura, porém a saussuritização é intensa e generalizada, mascarando as maclas e o zoneamento dos cristais. A titanita e os opacos primários encontram-se ainda preservados. Esta associação corresponderia a um estágio de alteração pós-magmática precoce.

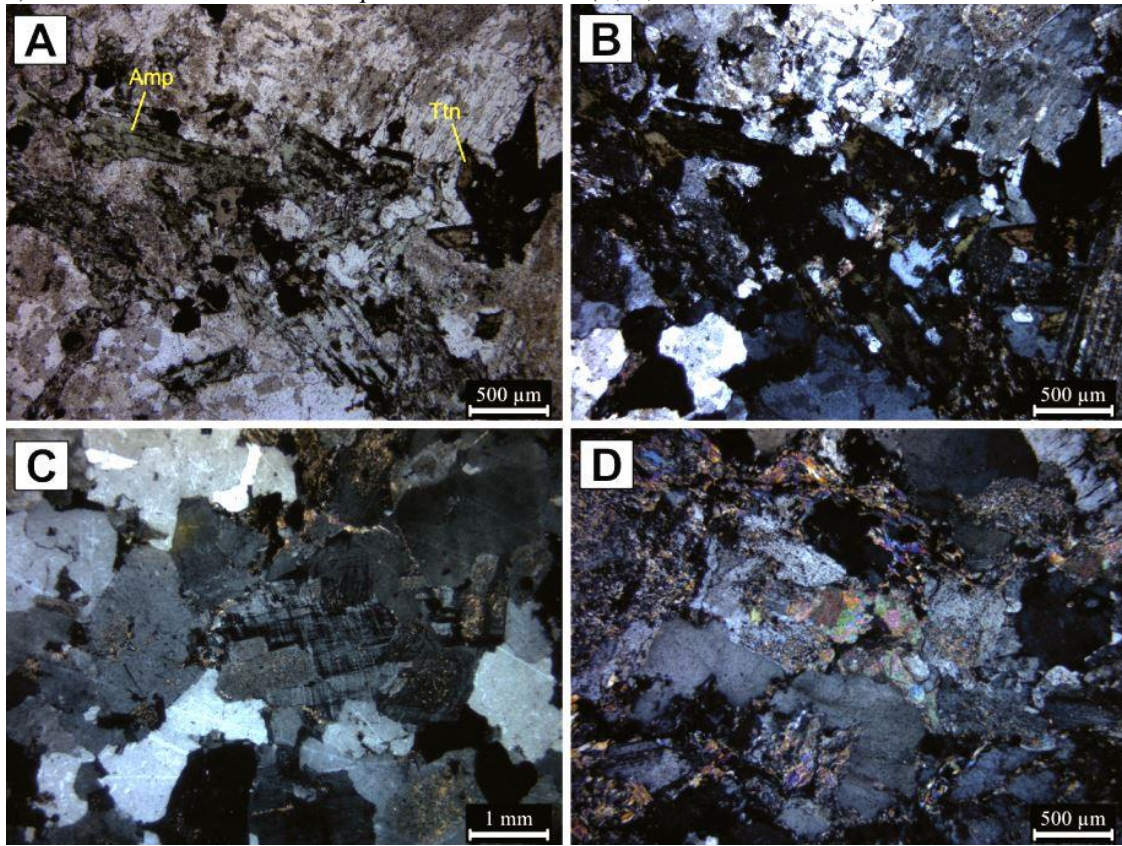
Figura 11 - Fotomicrografias do GSJJ demonstrativas das principais características da associação 2. A, B, C, D) Cristais de anfibólio substituídos por clorita e óxidos de Fe, cristais de titanita oxidados e corroídos, plagioclásio fortemente sericitizado (A, B, C, D – luz natural).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Associação 3 (Figura 12): Nestas rochas, além da substituição total do anfibólio, ocorre a alteração da biotita 1 para clorita. O plagioclásio sofre alteração intensa, mostrando-se sempre descalcificado e substituído por sericita e carbonatos. A titanita, bem como magnetita e ilmenita, mostram evidências de substituição por minerais opacos. Corresponde a um estágio hidrotermal propilítico.

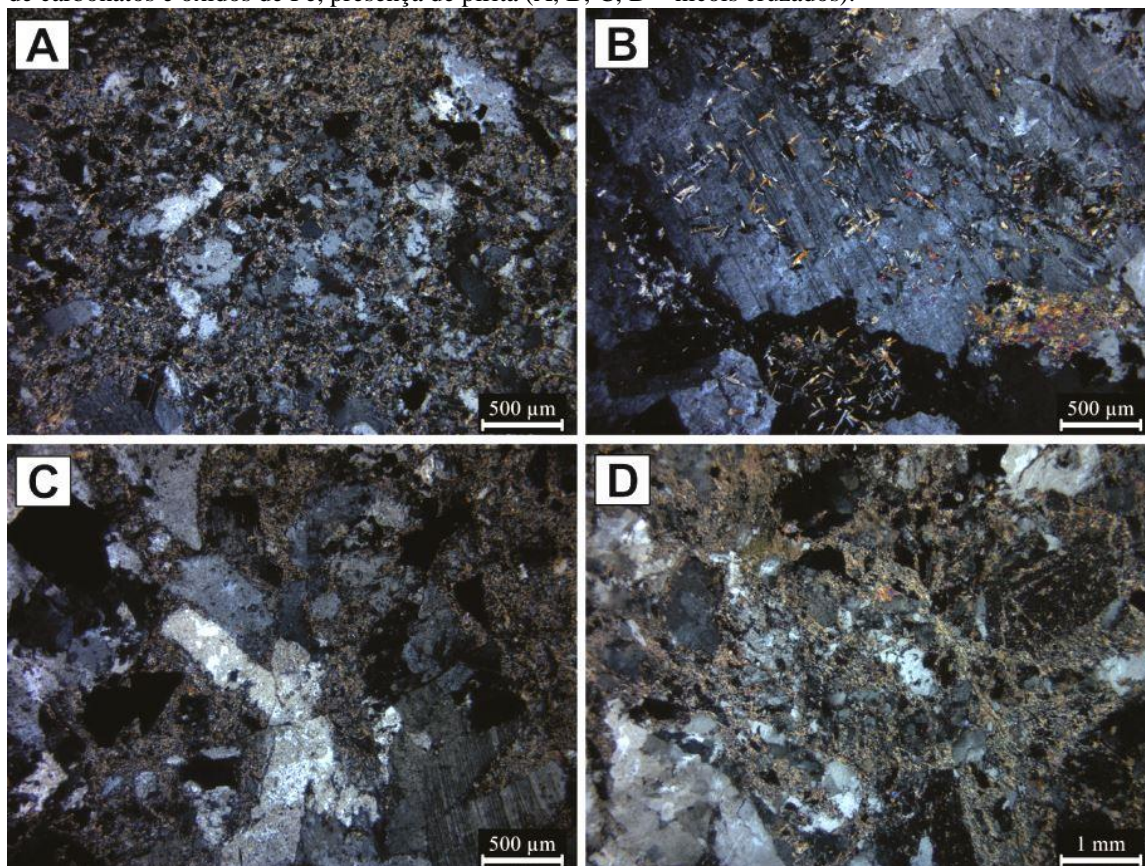
Figura 12 - Fotomicrografias do GSJJ demonstrativas das principais características da associação 3. A) Anfibólios substituídos por clorita e óxidos de Fe e titanita corroída. C) Plagioclásio intensamente alterado; D) Ocorrência de carbonatos em quantidade moderada (B, C, D – nicóis cruzados).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Associação 4 (Figura 13): Caracterizada pela presença de elevados conteúdos modais de sericita e carbonatos, bem como de pirita. O plagioclásio não mostra zoneamento e geralmente encontra-se substituído por sericita e carbonatos, mas tem aspecto relativamente límpido e maclas nítidas, sendo interpretado como um plagioclásio albitico resultante do processo de descalcificação e reorganização do plagioclásio original. O epidoto é inteiramente ausente nestas rochas, mostrando claramente que foi desestabilizado pelos processos hidrotermais de baixa temperatura. Esta associação corresponde ao estágio de alteração fílica diretamente associado com a mineralização do depósito.

Figura 13 - Fotomicrografias do GSJJ demonstrativas das principais características da associação 4. A; B; D) Plagioclásio apresentando substituição por sericita e carbonatos. C) ocorrência em grandes quantidades de carbonatos e óxidos de Fe, presença de pirita (A, B, C, D – nicóis cruzados).



Fonte: Elaborado pelo autor.

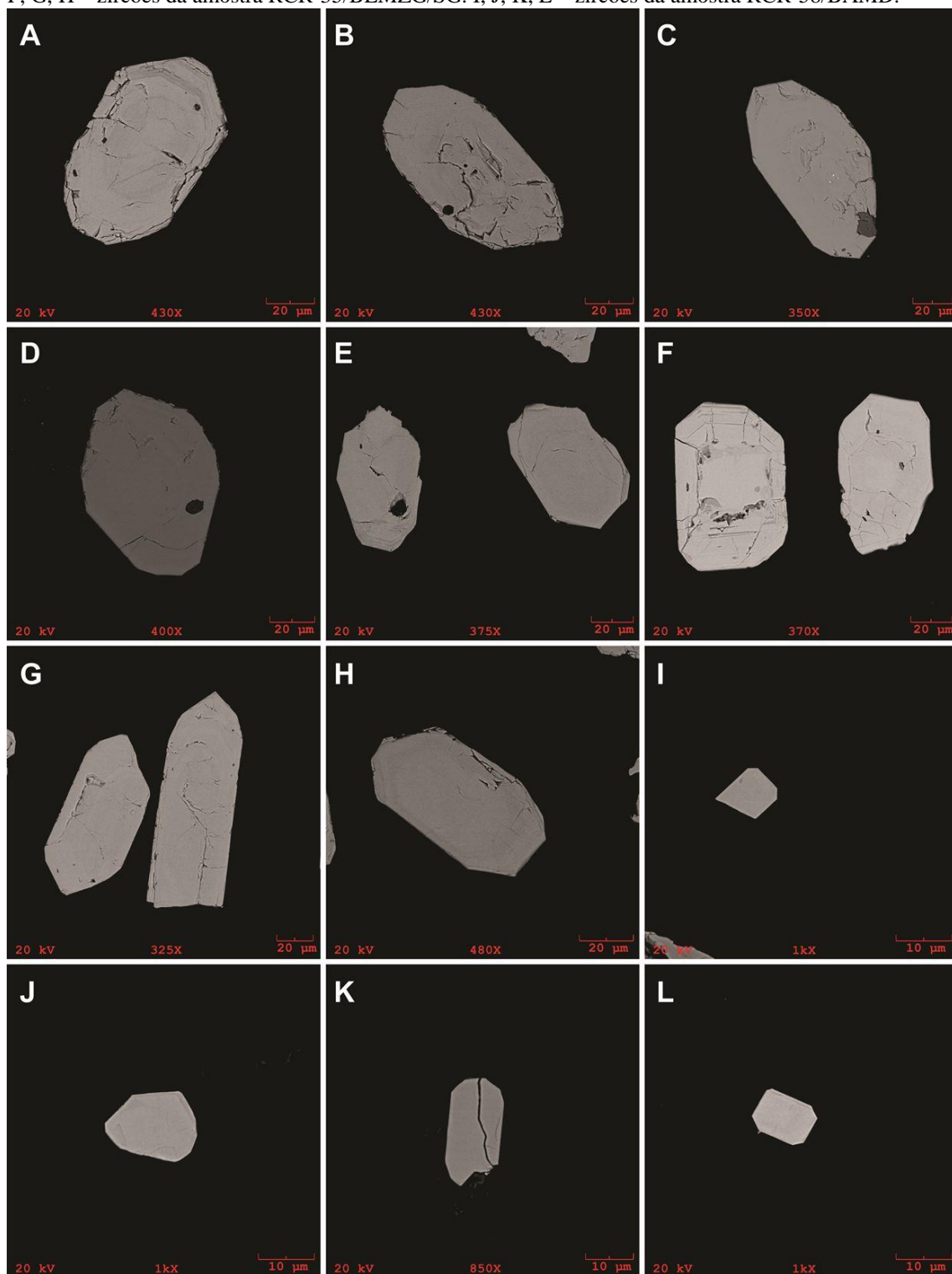
A fácies ABMZG do GSJJ, ocorre perfeitamente preservada (associação 1) no furo 09, mas também ocorre no furo 07. No entanto é possível observar em determinadas profundidades no furo 09 a ocorrência da associação 3, o que mostra que o hidrotermalismo agiu de modo heterogêneo afetando até mesmo algumas porções mais preservadas do granito.

4.2 - CARACTERIZAÇÃO DOS ZIRCÕES

4.2.1 - Aspectos Morfológicos

Os zircões do GSJA são predominantemente subédricos a euédricos, localmente anédricos, pouco alterados, apresentando localmente fraturas e inclusões de apatita e, mais raramente, quartzo. Seus comprimentos nos biotita-monzogranitos (BMZG) é em torno de 100 μm, nos biotita-leucomonzogranitos-sienogranitos (BLMZG-SG) variam de 80 a 110 μm e nos biotita-anfibólio-monzodioritos (BAMZD) são, em geral, inferiores a 40 μm (Figura 14).

Figura 14 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura – elétrons retroespalhados (MEV-ERE) de zircões representativos do Granito São Jorge Antigo. A, B, C, D – zircões da amostra RCR-27/BMZG. E, F, G, H – zircões da amostra RCR-35/BLMZG/SG. I, J, K, L – zircões da amostra RCR-58/BAMD.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na zona estéril do GSJJ, representada pelos furos 07 e 09, os cristais de zircão são subédricos a localmente euédricos, pouco alterados e com poucas fraturas. Apresentam comprimentos em torno de 30 a 50 μm (Figura 15). Inclusões de apatita foram identificadas em quantidades bem mais reduzidas em comparação com os zircões do GSJA.

Na zona hidrotermalizada e mineralizada do GSJJ, representada pelos furos 06 e 02, os zircões são anédricos a subédricos, comumente corroídos, fraturados e alterados em diferentes intensidades. Em geral mostram dimensões inferiores a 20 μm , pontualmente chegando a 30 μm (Figura 15).

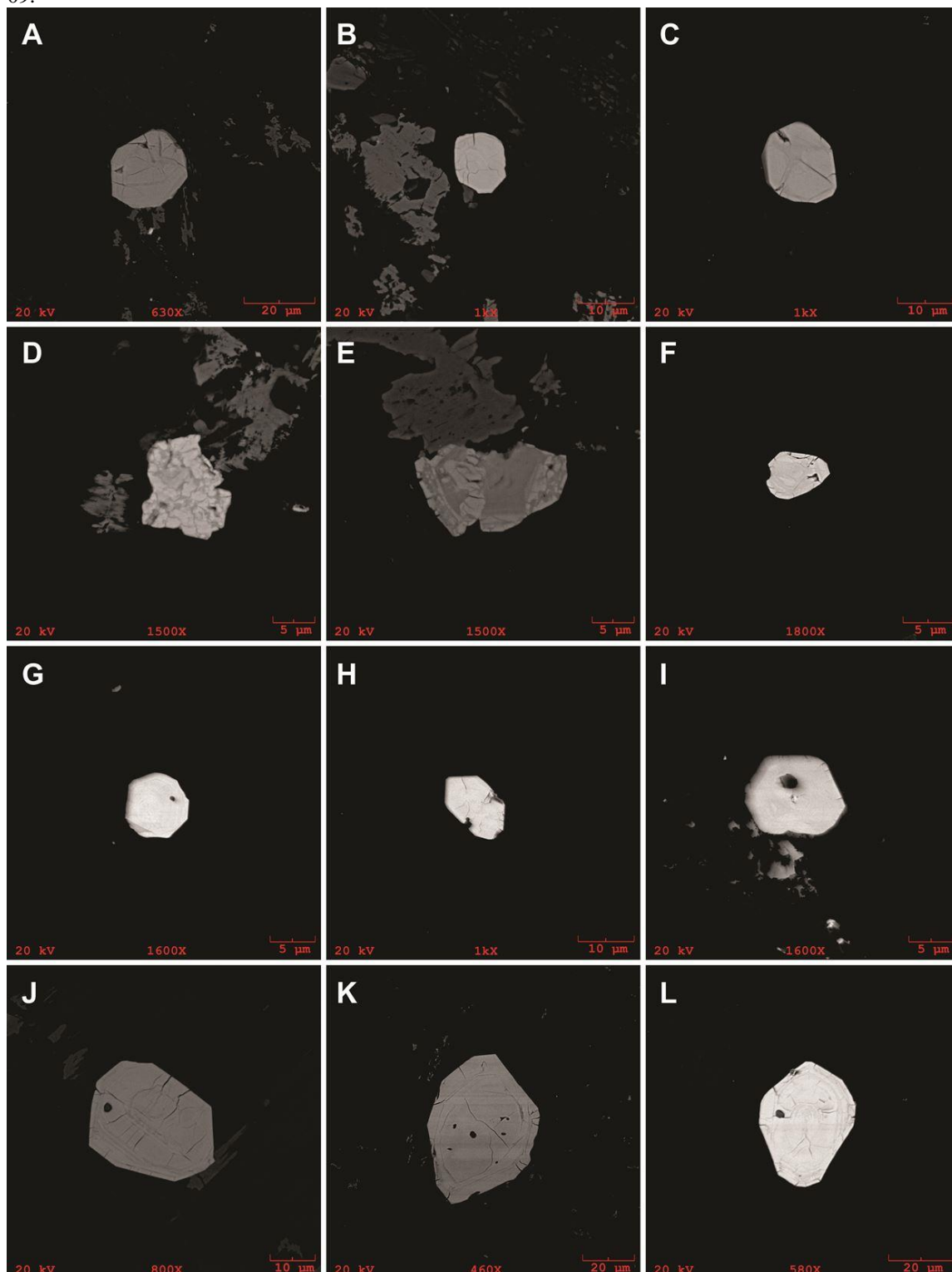
Um resumo dos tipos dominantes de zircão encontrados nos Granitos São Jorge Antigo e Jovem é mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Características dos zircões estudados do corpo São Jorge.

Fácies	Amostra	Feições morfológicas
Granito São Jorge Antigo		
BAMD	RCR-58	Subédricos a anédricos, pouco fraturados, 10-40 μm
BLMZG/SG	RCR-35	Subédricos, localmente euédricos, pouco fraturados 80-110 μm
BMZG	RCR-27	Subédricos a euédricos, finas inclusões de apatita e quartzo, fraturados, 90-100 μm
Granito São Jorge Jovem		
	FSJ-02/24, 39, 43, 46;	
ABMZG	FSJ-06/23, 25;	Anédricos a subédricos, fraturados, 20-50 μm
	FSJ-07/36;	
	FSJ-09/7, 14.	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 15 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura – elétrons retroespalhados (MEV-ERE), de zircões representativos do Granito São Jorge Jovem. A, B, C, D, E – zircões pertencentes ao furo 02. F, G, H, I – zircões pertencentes ao furo 06. J – zircão pertencente ao furo 07. K, L – zircões pertencentes ao furo 09.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2 - Aspectos Geoquímicos

Foram realizadas 1684 análises químicas por EDS nos zircões estudados pertencentes ao corpo granítico São Jorge, distribuídas da seguinte forma:

978 análises em zircões do GSJA, sendo 101 nos biotita-anfibólio-monozodioritos, 472 nos biotita-monzogranitos e 405 nos biotita-leucomonzogranito a sienogranitos.

No GSJJ foram estudados os furos de sondagem FSJ-02, FSJ-06, FSJ-07 e FSJ-09, sendo os furos 02 e 06 situados na zona mineralizada e os furos 07 e 09 em áreas estéreis do mesmo granito. Nos furos mineralizados foram realizadas 548 análises e nos furos não mineralizados 158, totalizando 706 análises em zircões deste corpo.

Dentre os elementos utilizados na rotina de análise (O, Si, P, S, Ca, Cu, As, Y, Zr, Nb, Sb, Te, Ba, Ce, Hf, Ta, Hg, Bi, Th e U), aqueles que apresentaram pouca variação em seus teores (P, S e Cu), dentro de um único grupo (mineralizado e estéril) ou comparando-se os dois, foram excluídos. Os elementos Zr, Hf, Nb, Ta, Te e Bi apresentaram concentrações distintas e foram utilizados como parâmetros de diferenciação geoquímica entre os grupos de zircão estudados.

Os zircões pertencentes ao GSJA possuem conteúdo de Zr entre 53,1 e 58,1%, enquanto que os zircões do GSJJ mostram valores mais baixos, entre 42,9 e 54,5%, indicando substituição do Zr por outros elementos. Os conteúdos de Nb são menos variáveis no GSJJ, tanto na zona mineralizada quanto na estéril, e situam-se entre 2,2 e 3,4%, enquanto no GSJA variam de 1,6 a 2,1% nas rochas menos evoluídas (biotita-anfibólio-monozodioritos e anfibólio-biotita-monzogranitos) e 3,7 a 4,3% nas mais evoluídas (biotita-leucogranitos).

Na zona mineralizada do GSJJ os zircões analisados mostram conteúdos de Hf mais elevados e variáveis, situando-se entre 1,5 e 4,2%, enquanto na zona desprovida de mineralização ficam entre 1,5 e 2,3%. O GSJA apresentou zircões com conteúdos de Hf próximos àqueles encontrados nos zircões da zona estéril do GSJJ (1,3 a 2,0%).

Te, Ta e Bi possuem variação mais discreta nos zircões do GSJA e levemente mais variável e elevada nos zircões do GSJJ (Tabela 3), com os maiores valores registrados nos zircões da zona mineralizada (Tabela 3).

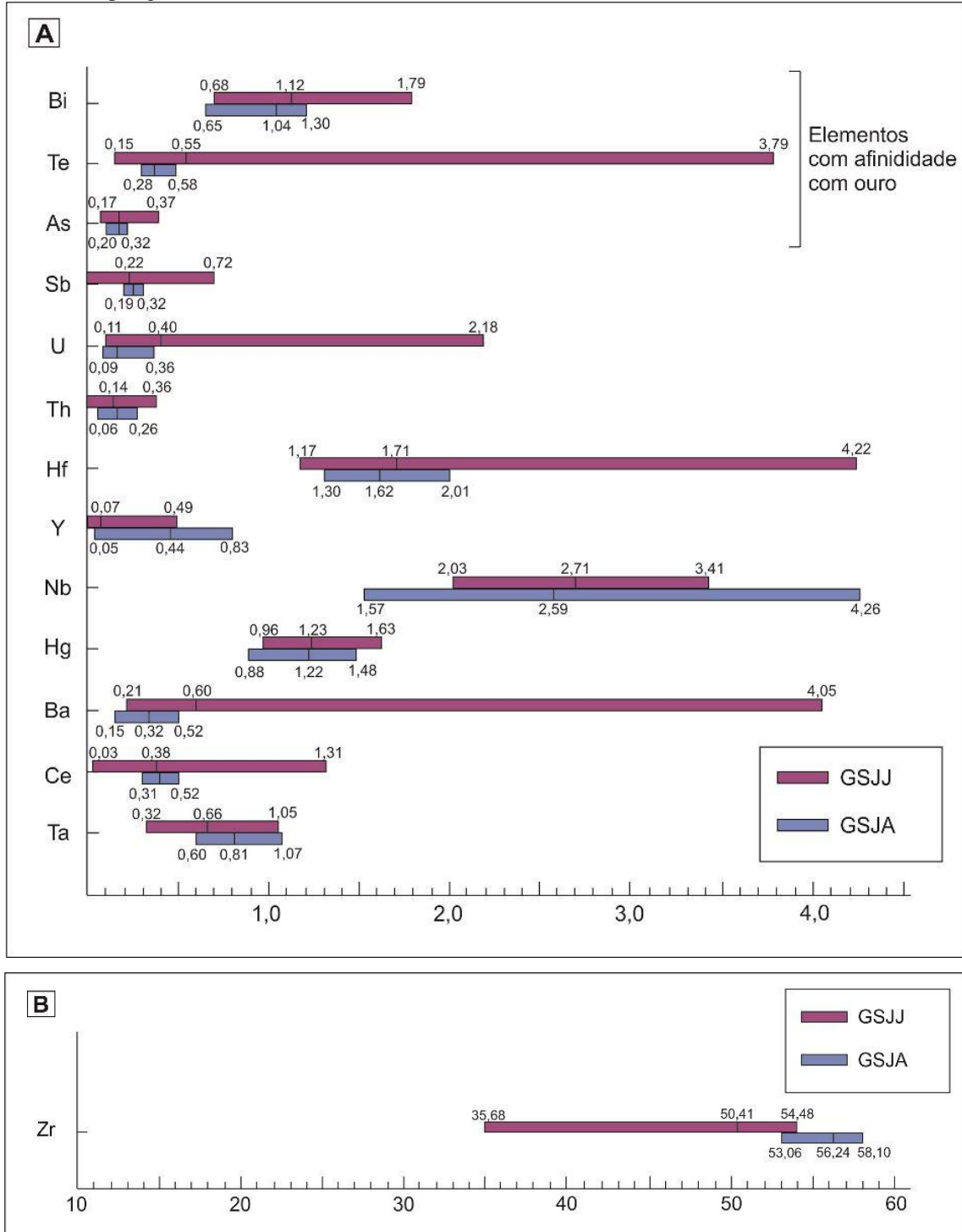
Tabela 3 - Valores médios máximos e mínimos de Zr, Hf, Y, Nb, Bi, Te, Ta, razões Zr/Te, Zr/Bi e somatório Hf+U+As+Te+Bi de zircões do GSJA e GSJJ (valores em % peso).

Amostra	Zr	Hf	Y	Nb	Bi	Te	Ta	Zr/Te	Zr/Bi	Hf+U+As+Te+Bi
GSJA										
RCR-27	55,9-58,1	1,5-2,0	0,5-0,8	1,7-2,2	0,6-1,3	0,3-0,6	0,6-1,1	99,7-187,0	43,9-89,1	3,2-3,9
RCR-35	53,1-54,9	1,3-1,7	0,0-0,2	3,7-4,3	0,8-1,2	0,3-0,4	0,6-0,9	137,2-195,1	43,8-64,2	2,9-3,7
RCR-58	56,3-58,1	1,5-1,8	0,5-0,7	1,6-2,1	0,9-1,2	0,3-0,5	0,6-0,9	119,9-187,5	45,3-63,6	3,2-3,8
GSJJ										
FSJ-02 24	51,3-53,5	1,5-1,9	0,0-0,3	2,5-2,8	1,0-1,4	0,3-0,4	0,4-0,9	128,2-163,5	36,1-53,9	3,3-4,2
FSJ-02 39	51,6-53,7	1,3-1,9	0,1-0,5	2,3-2,8	1,0-1,4	0,3-0,5	0,7-0,9	94,5-160,9	39,4-51,2	3,3-3,9
FSJ-02 43	47,7-54,5	1,5-2,3	0,0-0,2	2,2-2,7	0,7-1,8	0,3-0,7	0,6-1,0	74,8-188,3	26,7-76,0	3,3-5,4
FSJ-02 46	42,9-50,7	2,4-4,2	0,0-0,3	2,5-2,8	0,9-1,3	0,5-1,1	0,3-0,4	37,6-96,0	38,4-55,8	5,0-7,8
FSJ-06 23	38,0-52,2	1,4-1,7	0,0-0,0	2,1-3,1	0,8-1,4	0,2-0,5	0,5-0,7	92,4-253,7	35,6-50,6	3,4-4,4
FSJ-06 25	35,7-51,6	1,2-1,5	0,0-0,1	2,0-3,1	0,7-1,6	0,3-3,8	0,5-0,8	10,3-189,0	31,4-57,7	3,7-7,5
FSJ-07 36	51,6-53,6	1,5-1,9	0,0-0,1	2,4-2,7	1,0-1,7	0,3-0,6	0,6-0,7	87,6-189,2	30,0-53,3	3,5-4,5
FSJ-09 7	53,0-54,2	1,5-1,8	0,0-0,1	3,1-3,4	0,9-1,2	0,3-0,5	0,5-0,7	96,7-157,2	42,4-63,6	3,1-3,8
FSJ-09 14	50,7-53,5	1,5-1,8	0,0-0,0	3,1-3,4	0,8-1,1	0,3-0,7	0,4-0,7	77,1-166,6	46,3-66,5	3,1-3,8

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 16 mostra a variação média dos principais elementos encontrados nos zircões estudados do GSJA e GSJJ para uma melhor comparação visual.

Figura 16 - A e B- Diagramas mostrando os valores mínimo, médio e máximo dos elementos encontrados em zircões dos corpos graníticos estudados.



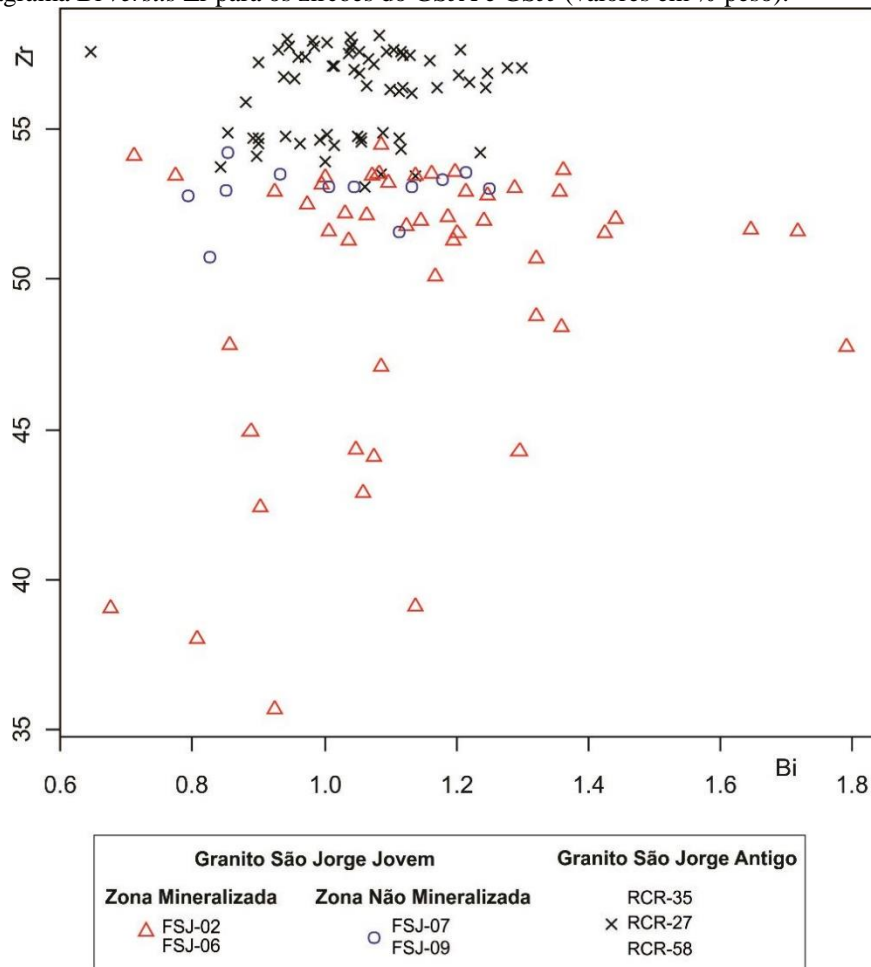
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 - DIAGRAMAS GEOQUÍMICOS

Os diagramas geoquímicos resumem de maneira sistemática o comportamento composicional dos zircões estudados. Os diagramas binários envolvendo os elementos Zr, Bi, Te e U, as razões Zr/Bi e Zr/Te e a somatória Hf+U+As+Te+Bi permitem melhor agrupamento dos zircões, ao mesmo tempo em que possibilitam uma separação mais evidente entre os zircões da zona mineralizada e estéril do GSJJ e os zircões do granito GSJA também desprovido de mineralização.

No diagrama Bi *versus* Zr (Figura 17), o conteúdo médio de Zr é mais elevado nos zircões do GSJA em comparação com zircões do GSJJ como um todo. A zona mineralizada do GSJJ apresenta zircões mais empobrecidos em Zr, apesar de uma pequena sobreposição com zircões da zona não mineralizada; estes se concentram em uma faixa próxima aos zircões do GSJA. Com relação ao Bi, existe uma faixa de 0,8 a 1,3% na qual os zircões do GSJA e GSJJ se sobrepõem, entretanto, um grupo de zircões do GSJJ apresenta valores de Bi mais elevados.

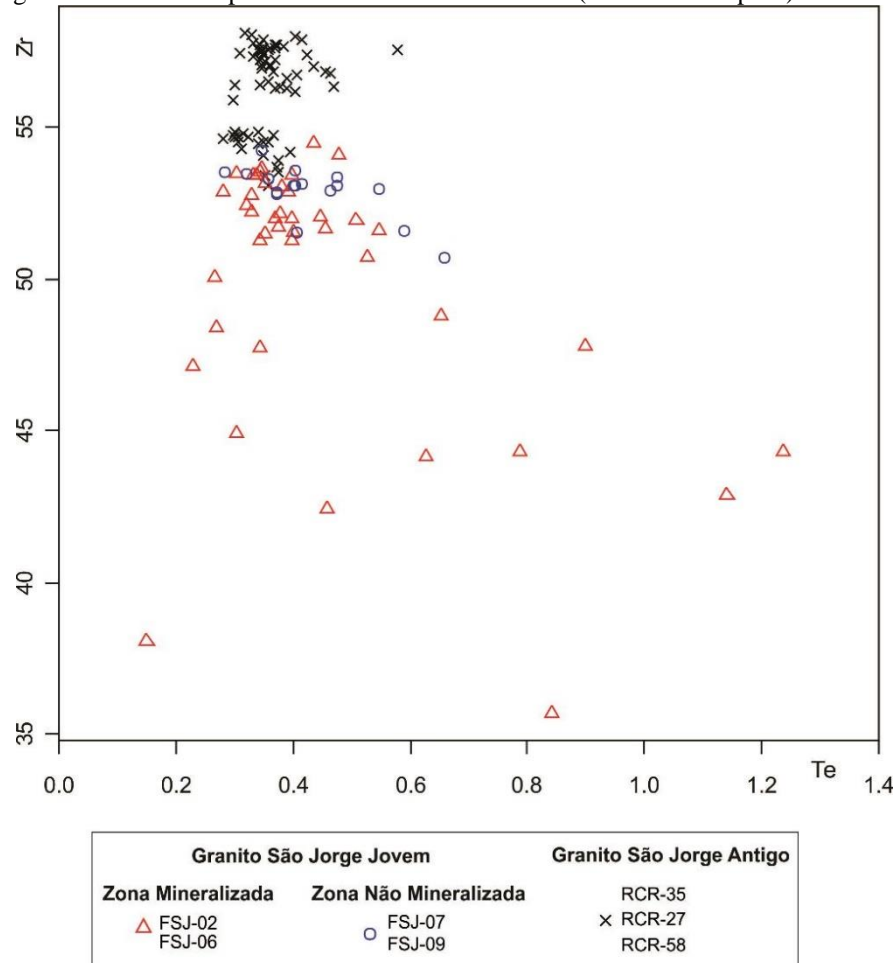
Figura 17 - Diagrama Bi *versus* Zr para os zircões do GSJA e GSJJ (valores em % peso).



Fonte: Elaborado pelo autor.

No diagrama Te *versus* Zr (Figura 18) é mostrado o enriquecimento de Te nos zircões pertencentes à zona mineralizada do GSJJ; é possível observar que quanto menor o valor de Zr, maior o enriquecimento em Te. Os zircões do GSJA, com conteúdos mais elevados de Zr e isentos de hidrotermalismo e mineralização, concentram-se no canto superior esquerdo. Os zircões da zona estéril do GSJJ plotam imediatamente abaixo daqueles do GSJA e se sobrepõem aos zircões pouco alterados da zona mineralizada do GSJJ.

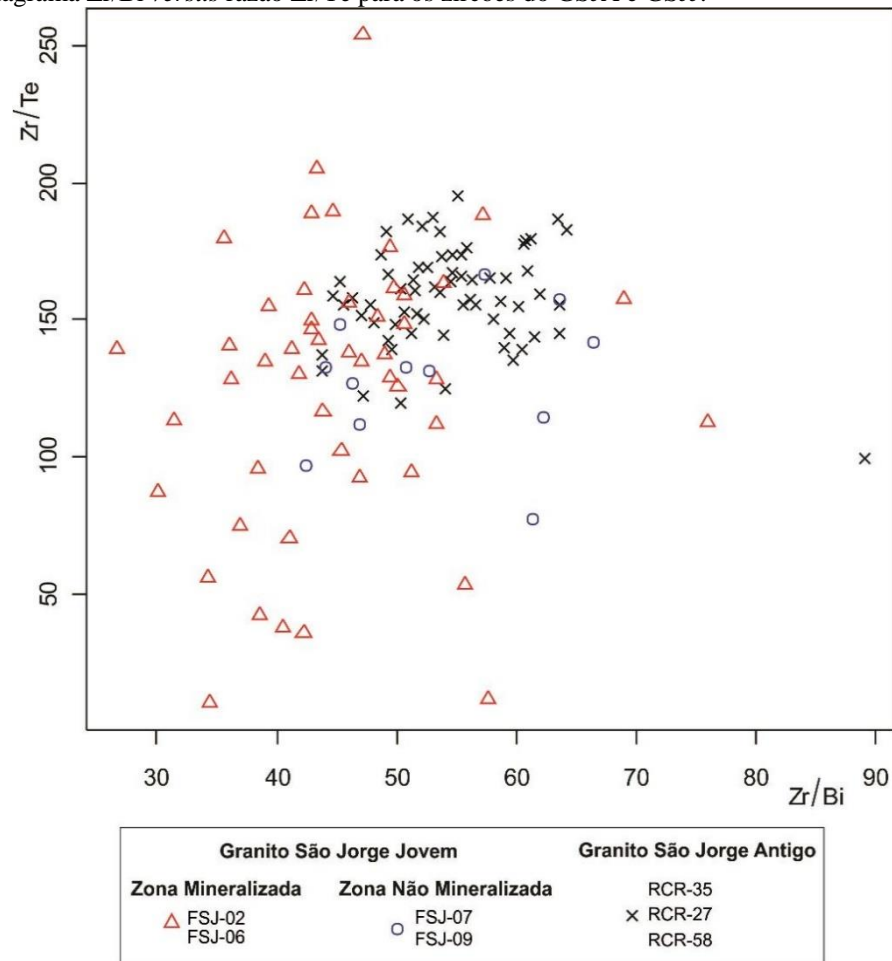
Figura 18 - Diagrama Te *versus* Zr para os zircões do GSJA e GSJJ (valores em % peso).



Fonte: Elaborado pelo autor.

O diagrama Zr/Bi *versus* Zr/Te (Figura 19) separa, de modo geral, os zircões do GSJA, com variações de 45 a 65 para Zr/Bi e de 130 a 200 para Zr/Te. Os zircões do GSJJ apresentam, em geral, razões Zr/Bi abaixo de 50 e Zr/Te abaixo de 170.

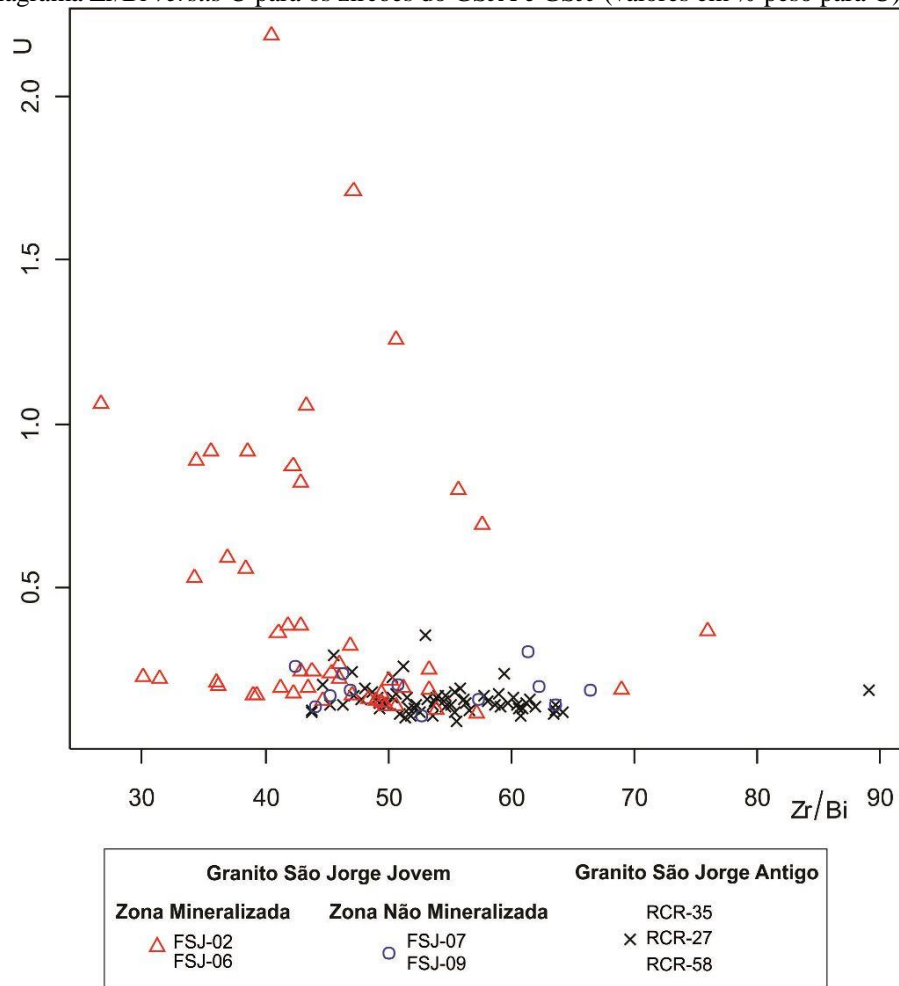
Figura 19 - Diagrama Zr/Bi versus razão Zr/Te para os zircões do GSJA e GSJJ.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O diagrama Zr/Bi versus U (Figura 20) mostra enriquecimento em U em um grupo de zircões pertencentes à zona mineralizada do GSJJ, enquanto outro grupo de zircões do GSJJ apresenta valores para U abaixo de 0,5% e plota junto com zircões do GSJA, sugerindo que o primeiro grupo trata-se, provavelmente, de zircões mais alterados hidrotermalmente, uma vez que os zircões da zona não mineralizada e grande parte dos zircões da zona mineralizada do GSJJ possuem baixos teores de U.

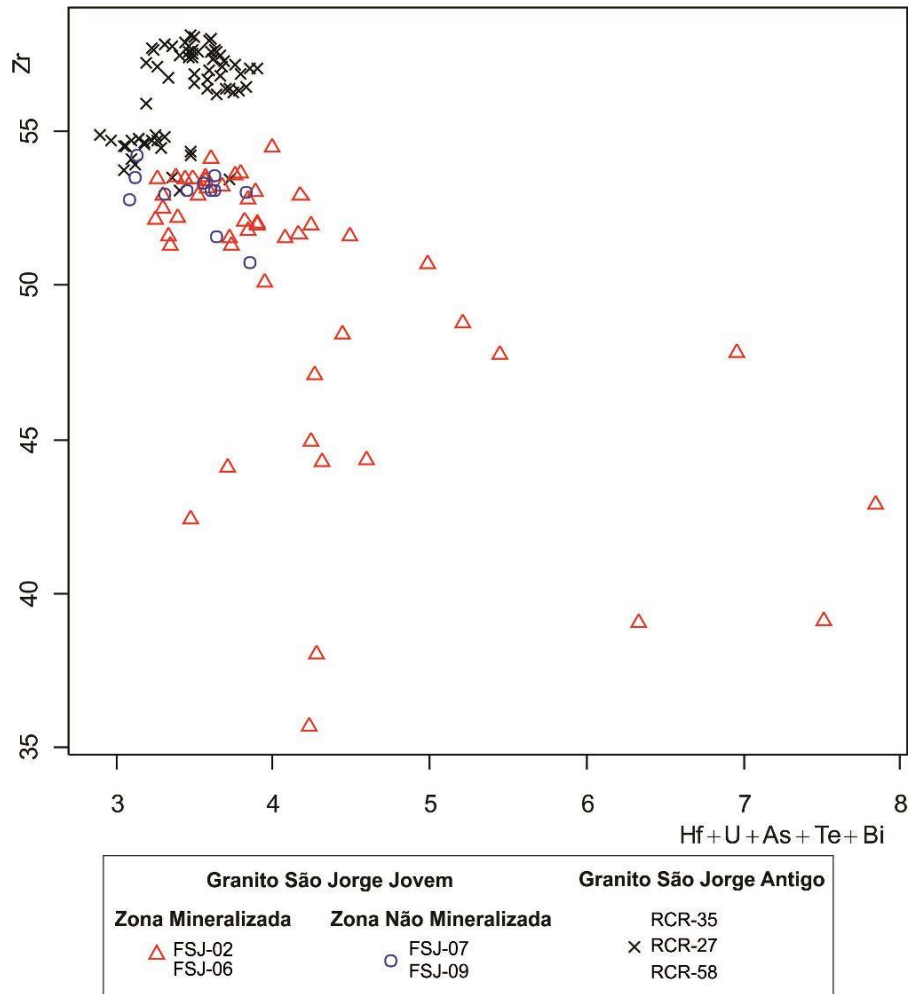
Figura 20 - Diagrama Zr/Bi versus U para os zircões do GSJA e GSJJ (valores em % peso para U).



Fonte: Elaborado pelo autor.

O diagrama envolvendo Hf+U+As+Te+Bi versus Zr (Figura 21) separa novamente os zircões do GSJA, com valores mais elevados de Zr, daqueles do GSJJ, em geral com valores abaixo de 55%, e mostra que os zircões do GSJJ apresentam tendência a se enriquecerem em elementos afins com Au (As, Te, Bi), Hf e U.

Figura 21 - Diagrama envolvendo Hf+U+As+Te+Bi *versus* Zr para os zircões do GSJA e GSJJ (valores em % peso).



Fonte: Elaborado pelo autor.

5 - ESTUDO COMPARATIVO

5.1 - INTRODUÇÃO

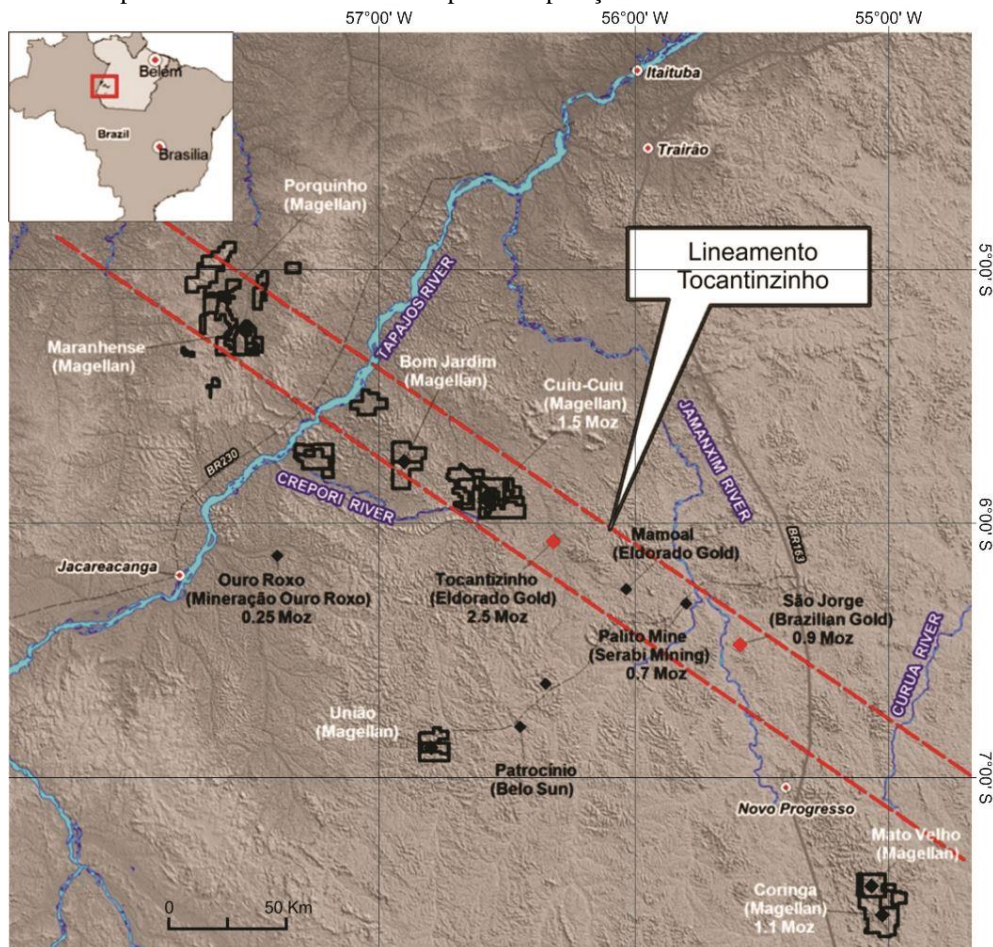
Para fins comparativos, foi realizado um estudo em cristais de zircão do Granito Tocantinzinho que, assim como o Granito São Jorge, localiza-se no lineamento homônimo (Figura 22) e é hospedeiro de mineralização de ouro.

O objetivo deste estudo é verificar se os zircões do depósito Tocantinzinho apresentam a mesma assinatura geoquímica que os do depósito São Jorge, tendo em vista que ambos são depósitos hidrotermais de ouro e estão inseridos na mesma província mineral (PAT).

5.2 - CONTEXTO GEOLÓGICO E LOCALIZAÇÃO DO DEPÓSITO

O depósito Tocantinzinho está localizado na porção central da PAT e alinhado, junto com vários outros depósitos auríferos (Palito, São Jorge, Batalha, Bom Jardim e Cuiú-Cuiú), ao longo de um *trend* NW-SE (Figura 23), sugerindo tratar-se de uma zona de cisalhamento (FARACO et al., 1997), a qual provavelmente controlou a colocação dos corpos graníticos relacionados a esses depósitos (JULIANI et al., 2002).

Figura 22 - Mapa mostrando o alinhamento dos depósitos auríferos ao longo do lineamento Tocantinzinho (NW-SE), PAT. Outros depósitos de ouro são mostrados para comparação.



Fonte: Modificado de Monteiro (2012).

O depósito Tocantinzinho está situado às margens do rio Tocantins, afluente dos rios Jamanxim/Tapajós, a aproximadamente 200 km a sudoeste da cidade de Itaituba, estado do Pará.

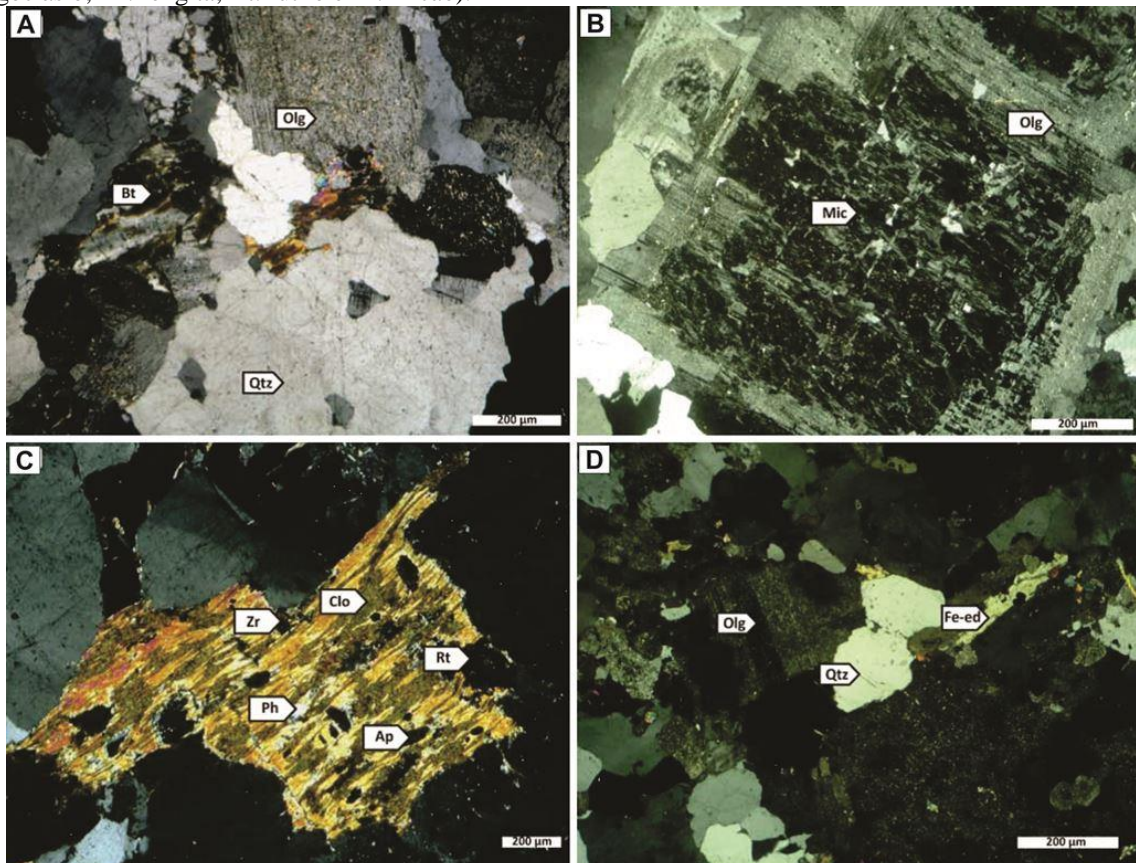
Segundo Santiago (2012), fluidos hidrotermais alteraram e mineralizaram o Granito Tocantinzinho produzindo, além do depósito de ouro, rochas hematitizadas informalmente designadas de salame e *smoky* pelos técnicos das empresas que operaram na área.

5.3 - ASPECTOS PETROGRÁFICOS

Os estudos petrográficos de Santiago (2012) separam as rochas do Granito Tocantinzinho em granitoides pouco alterados e granitoides moderadamente alterados. O primeiro grupo é caracterizado por apresentar de 5 a 10% de produtos hidrotermais e pouca evidência de deformação, e o segundo por exibir mais de 10% de minerais de alteração.

Os granitoides pouco alterados (Figura 23) são rochas predominantemente monzograníticas de granulação grossa a média, hololeucocráticas a leucocráticas e coloração rosa clara, mais representativas na área do depósito Tocantinzinho.

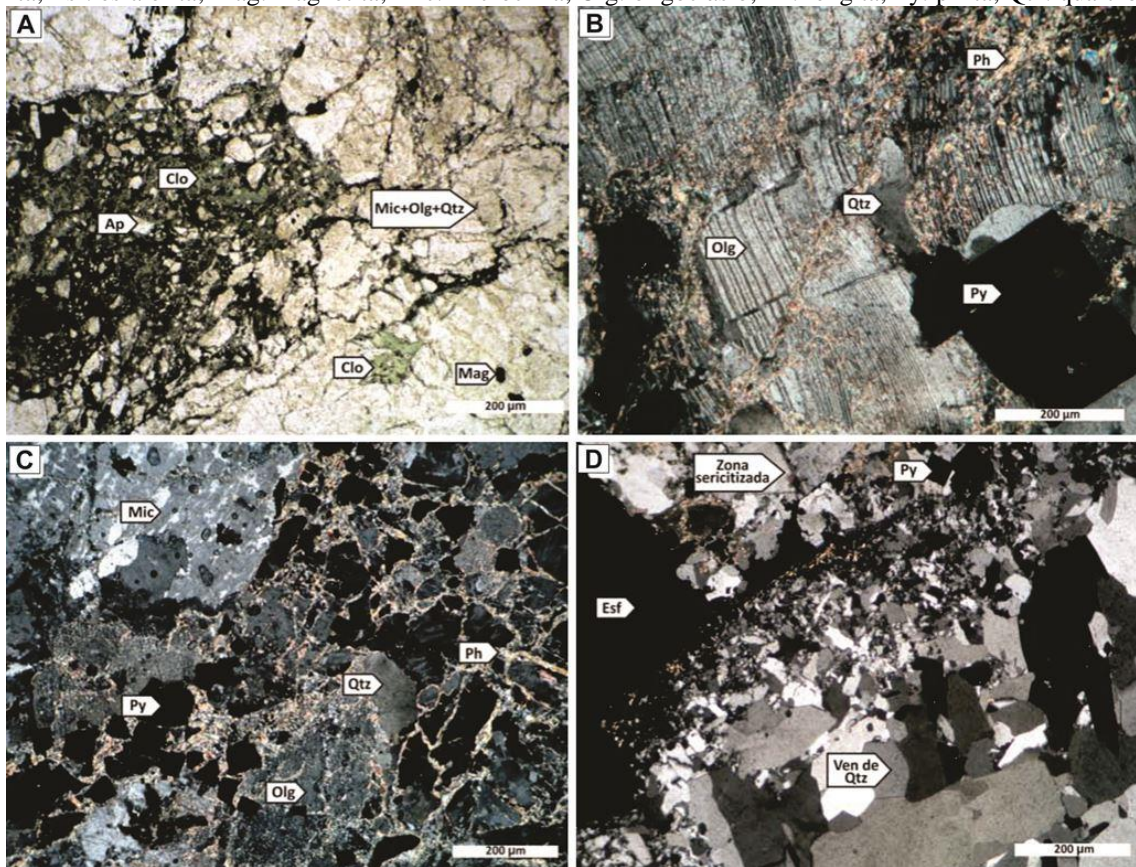
Figura 23 - Fotomicrografias em luz natural e nicóis cruzados dos granitoides pouco alterados. A) Textura hipidiomórfica. B) Textura rapakivi evidenciada por bordas de oligoclásio (Olg) em torno de cristal de microclina (Mic). C) Lamelas de biotita cloritizadas, alteradas para fengita nos planos de clivagem e com inclusões de zircão, rutilo e apatita. D) Cristais de anfibólio. (Ap: apatita; Clo: clorita; Fe-ed: Fe-edenita; Mic: microclina; Olg: oligoclásio; Ph: fengita; Rt: rutilo e Zr: zircão).



Fonte: Santiago (2012).

Os granitoides moderadamente alterados (Figura 24) correspondem às variedades salame e *smoky*, em escala microscópica apresentam notáveis similaridades texturais e composicionais. Suas texturas magmáticas foram mascaradas, especialmente em zonas catacladasas, onde evidências de intenso fraturamento, brechação e cominuição dos cristais são muito comuns.

Figura 24 - Fotomicrografias das variedades salame e *smoky*. Nicóis cruzados, exceto em A. A) Zonas ricas em clorita presente em vênulas e em substituição à biotita; B) Cristais de plagioclásio com planos de maclas contorcidas e substituídos parcialmente por fengita e pirita; C) Porções brechoides ricas em sulfetos e densamente cortadas por finas vênulas de fengita; D) Veio de quartzo±clorita que corta zona sericitizada e mineralizada. (Clo: clorita; Esf: esfalerita; Mag: magnetita; Mic: microclina; Olg: oligoclásio; Ph: fengita; Py: pirita; Qtz: quartzo).



Fonte: Santiago (2012).

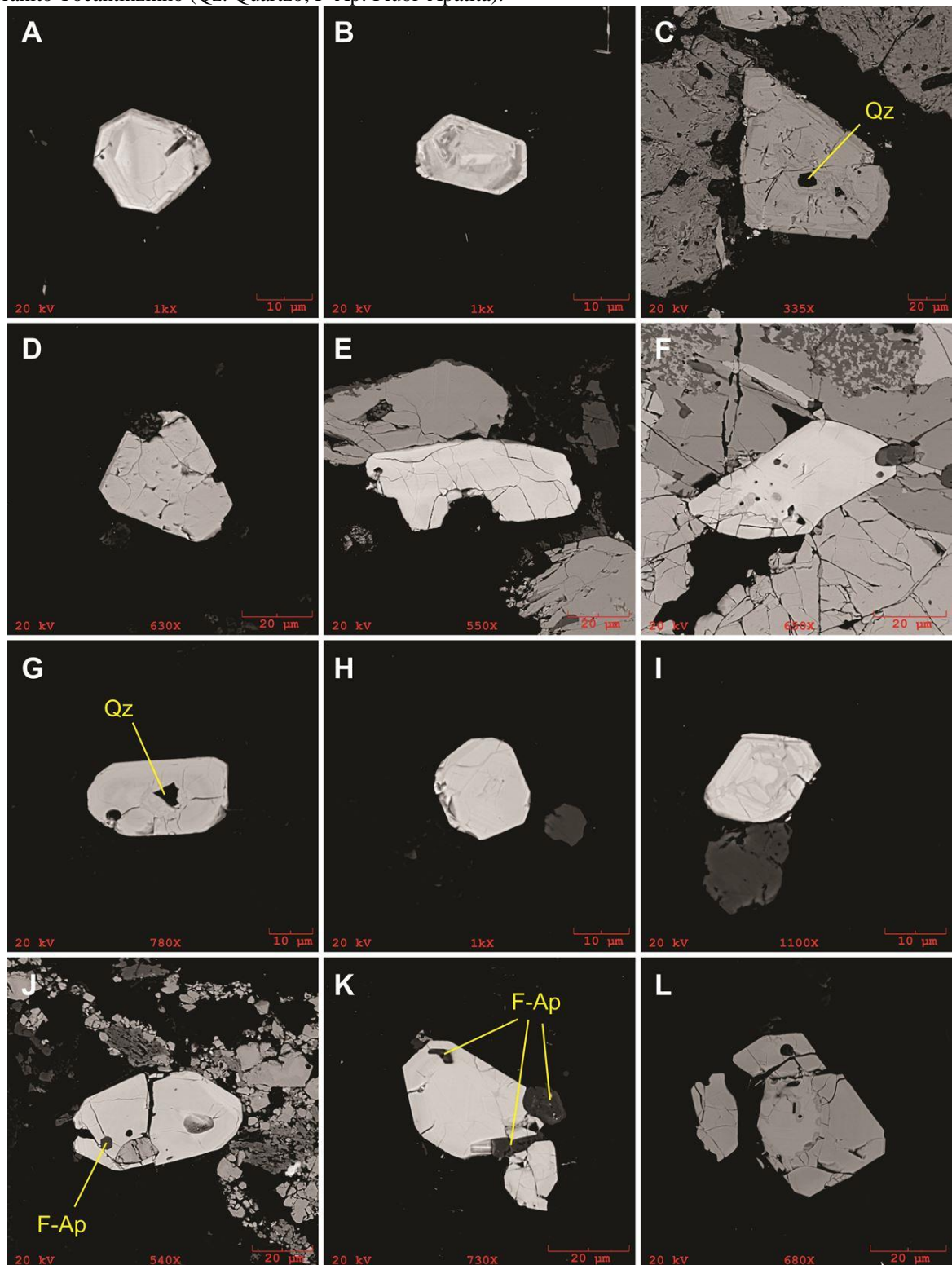
5.4 - CARACTERIZAÇÃO DOS ZIRCÕES

5.4.1 - Aspectos Morfológicos

Os zircões da porção estéril do granito Tocantinzinho são predominantemente subédricos, pouco alterados e fraturados. Dois grupos com tamanhos distintos, foram identificados: um com zircões menores que 20 µm de comprimento e outro com tamanhos em torno de 80 µm (Figura 25). Foram identificadas inclusões de apatita e raras inclusões de quartzo.

Os zircões da área mineralizada são anédricos a subédricos, moderadamente fraturados, por vezes, corroídos, contendo inclusões de F-apatita; em geral, variam de 30 a 50 µm.

Figura 25 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura – elétrons retroespalhados (MEV-ERE), mostrando aspectos morfológicos de zircões representativos do Granito Tocantinzinho, A, B, C, D, E, F – zircões das amostras da porção estéril do Granito Tocantinzinho. G, H, I, J, K, L – zircões das amostras da porção mineralizada do Granito Tocantinzinho (Qz: Quartzo; F-Ap: Flúor-Apatita).



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4.2 - Aspectos Geoquímicos

Foram realizadas 233 análises químicas por EDS nos zircões do Granito Tocantinzinho distribuídas da seguinte forma: nos furos correspondentes à área mineralizada foram realizadas 93 análises (lâminas 04-139 e 05-177), enquanto que nos furos da zona estéril do corpo foram realizadas 140 análises (lâminas 01-175, 04-175 e 08-177).

Para fins comparativos, foram utilizadas as mesmas condições analíticas e mantida a mesma rotina elementar dos zircões do Granito São Jorge (O, Si, P, S, Ca, Cu, As, Y, Zr, Nb, Sb, Te, Ba, Ce, Hf, Ta, Hg, Bi, Th e U), bem como os mesmos diagramas geoquímicos. Entretanto, os zircões do Granito Tocantinzinho são mostrados indistintamente nos diagramas, sem levar em consideração a zona estéril e mineralizada.

Os zircões do Granito Tocantinzinho possuem conteúdos de Zr entre 46,2 e 55,3%, valores um pouco mais elevados que os dos zircões do GSJJ (42,9 e 54,5%).

O Nb nos zircões do Granito Tocantinzinho (1,0 e 2,2%) é comparativamente inferior aos valores encontrados nos zircões do GSJJ (2,2 e 3,4%). Hf, Ta e Bi apresentam conteúdos semelhante nos zircões dos dois granitos (1,3-4,2, 0,4-0,8, 0,8-1,7% no Granito Tocantinzinho e 1,2-4,2, 0,3-0,9, 0,7-1,8% nos zircões do GSJJ, respectivamente). Os conteúdos de Te são mais baixos nos zircões do Granito Tocantinzinho (0,3-0,7) em comparação àqueles encontrados nos zircões do GJJJ (0,2-3,8%; Tabela 2).

A Tabela 4 apresenta os valores máximos e mínimos médios dos elementos e razões utilizadas na confecção dos diagramas geoquímicos (Item 5.5).

Tabela 4 - Valores máximos e mínimos médios de Zr, Hf, Y, Nb, Bi, Te, Ta, Zr/Te, Zr/Bi e somatória Hf+U+As+Te+Bi de zircões do Granito Tocantinzinho.

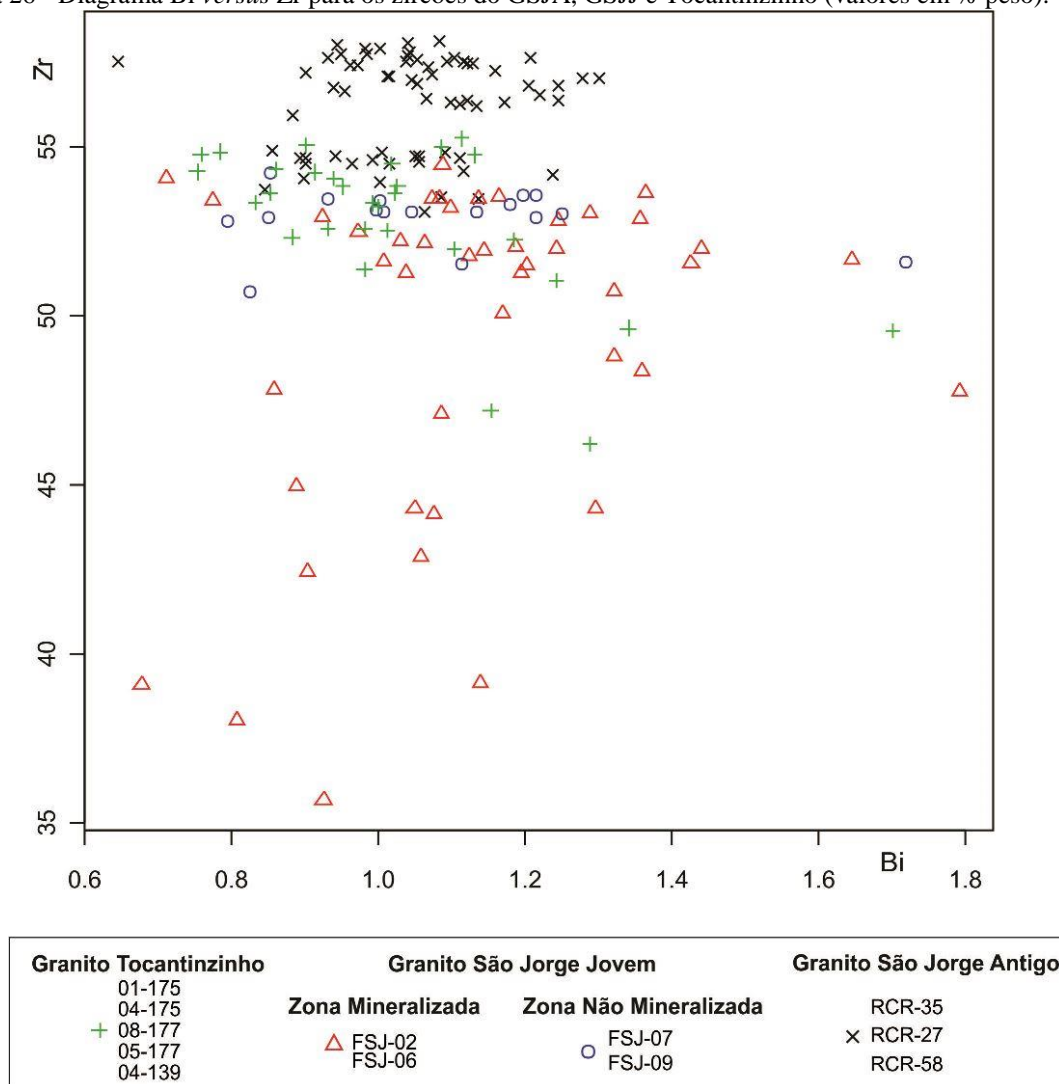
Amostra	Zr	Hf	Y	Nb	Bi	Te	Ta	Zr/Te	Zr/Bi	Hf+U+As+Te+Bi
Tocantinzinho										
01-175	46,2-53,8	1,5-4,2	0,3-3,8	1,0-1,9	0,9-1,3	0,4-0,7	0,5-0,6	65,2-150,8	35,9-56,6	3,4-7,8
04-175	49,6-55,1	1,5-2,6	0,3-1,0	1,7-2,0	0,8-1,7	0,4-0,7	0,5-0,8	68,4-150,8	29,1-72,1	3,1-5,5
08-177	53,3-55,3	1,4-1,7	0,3-0,7	1,9-2,1	0,8-1,1	0,3-0,4	0,5-0,7	124,0-217,3	48,4-69,9	3,0-3,3
05-177	54,3-54,8	1,3-1,5	0,3-0,4	2,0-2,1	0,8-1,0	0,3-0,4	0,4-0,6	140,2-170,8	53,5-72,2	2,9-3,1
04-139	52,3-54,1	1,5-1,9	0,1-0,4	1,9-2,2	0,9-1,2	0,3-0,4	0,5-0,7	124,0-191,6	44,1-57,5	3,4-3,8

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.5 - DIAGRAMAS GEOQUÍMICOS

No diagrama Bi *versus* Zr (Figura 26), o conteúdo médio de Zr dos zircões do Granito Tocantinzinho (50 a 55%) se sobrepõe ao dos zircões do GSJJ, tanto da área mineralizada quanto da área estéril, embora um grupo de zircões do GSJJ mostre conteúdos mais baixos (47-36%). Entretanto, os zircões do Granito Tocantinzinho são mais empobrecidos neste elemento em comparação aos zircões do GSJA. O Bi mostra comportamento semelhante nos zircões dos dois primeiros granitos (0,7 a 1,8%).

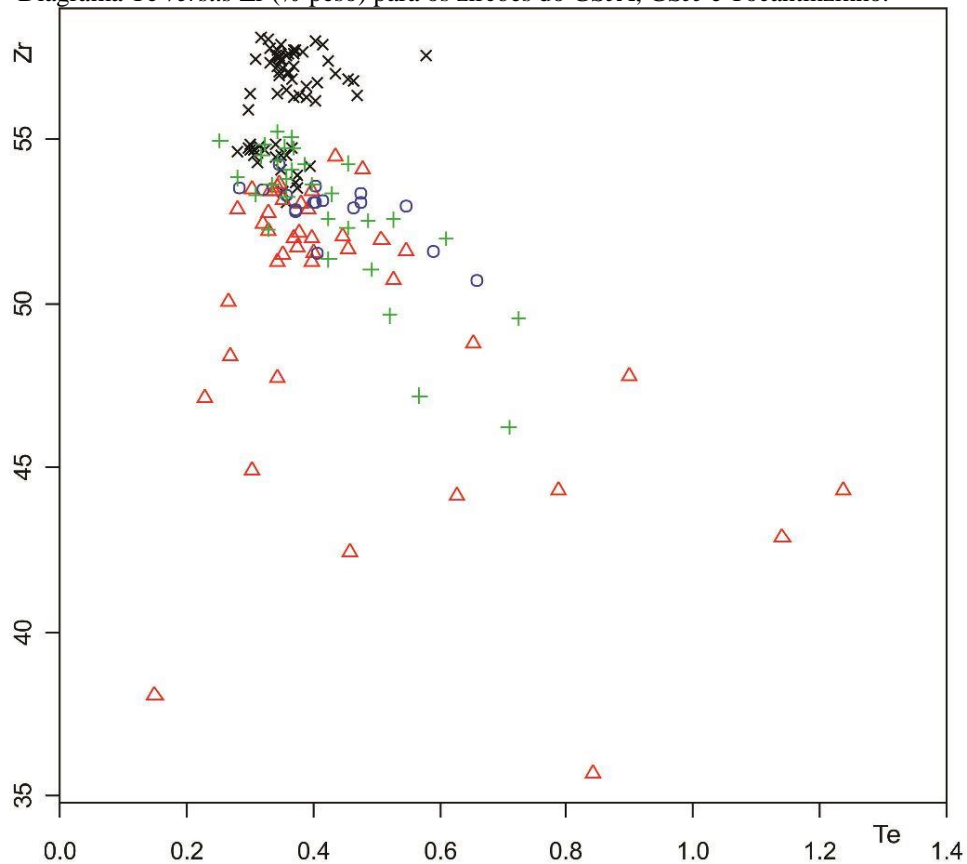
Figura 26 - Diagrama Bi *versus* Zr para os zircões do GSJA, GSJJ e Tocantinzinho (valores em % peso).



Fonte: Elaborado pelo autor.

No diagrama Te *versus* Zr (Figura 27) os zircões pertencentes ao Granito Tocantinzinho mostram comportamento semelhante aos do GSJJ e tendem a se enriquecer em Te a medida que empobrecem em Zr, sugerindo substituição entre eles.

Figura 27 - Diagrama Te versus Zr (% peso) para os zircões do GSJA, GSJJ e Tocantinzinho.

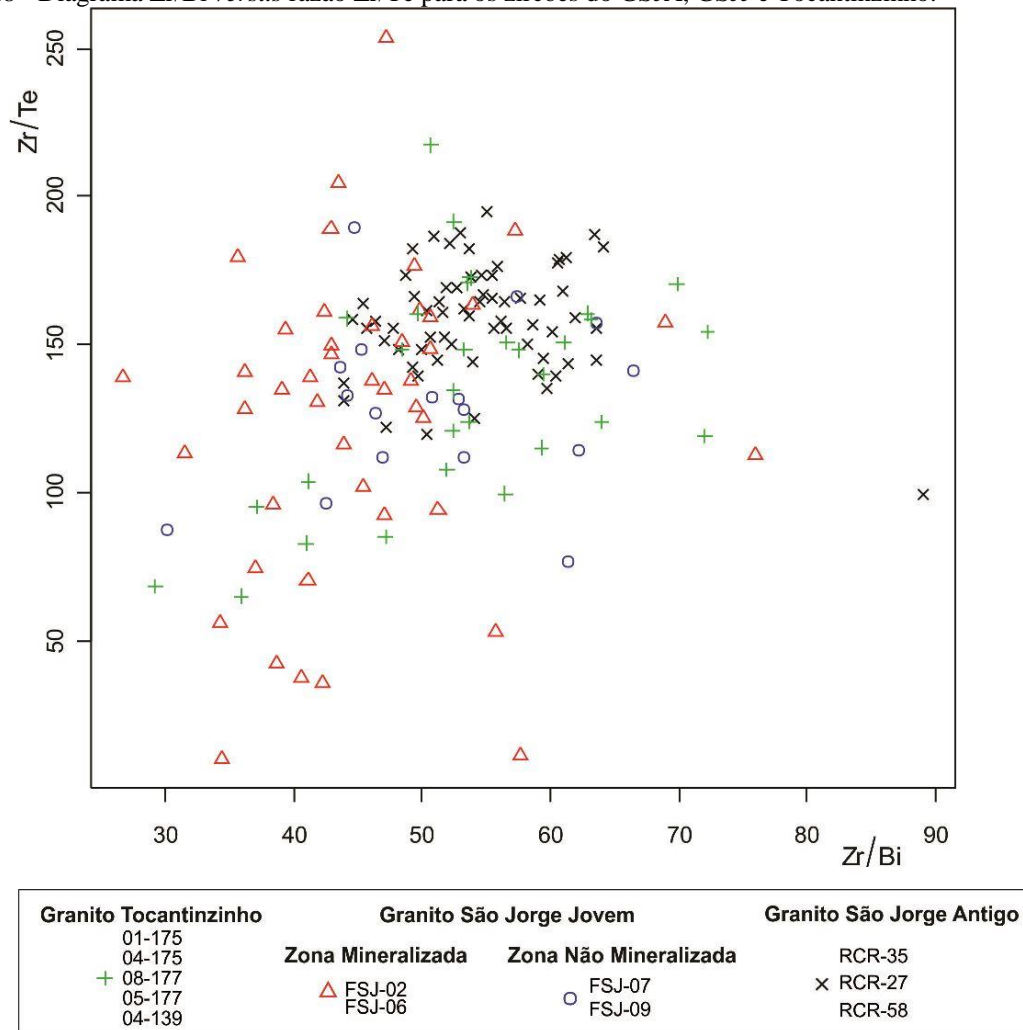


Granito Tocantinzinho	Granito São Jorge Jovem		Granito São Jorge Antigo
01-175			
04-175			
+ 08-177	Zona Mineralizada	Zona Não Mineralizada	
05-177	△ FSJ-02	○ FSJ-07	× RCR-35
04-139	△ FSJ-06	○ FSJ-09	× RCR-27
			RCR-58

Fonte: Elaborado pelo autor.

No diagrama Zr/Bi versus Zr/Te (Figura 28) parte dos zircões do Granito Tocantinzinho se sobrepõem aos zircões do GSJA e GSJJ (porção central do diagrama), provavelmente representantes da zona estéril do granito. Por outro lado, um grupo de zircões do Granito Tocantinzinho apresenta razões Zr/Bi inferiores a 50 e Zr/Te abaixo de 150 e acompanham os zircões do GSJJ, indicando maior afinidade com a área mineralizada do depósito.

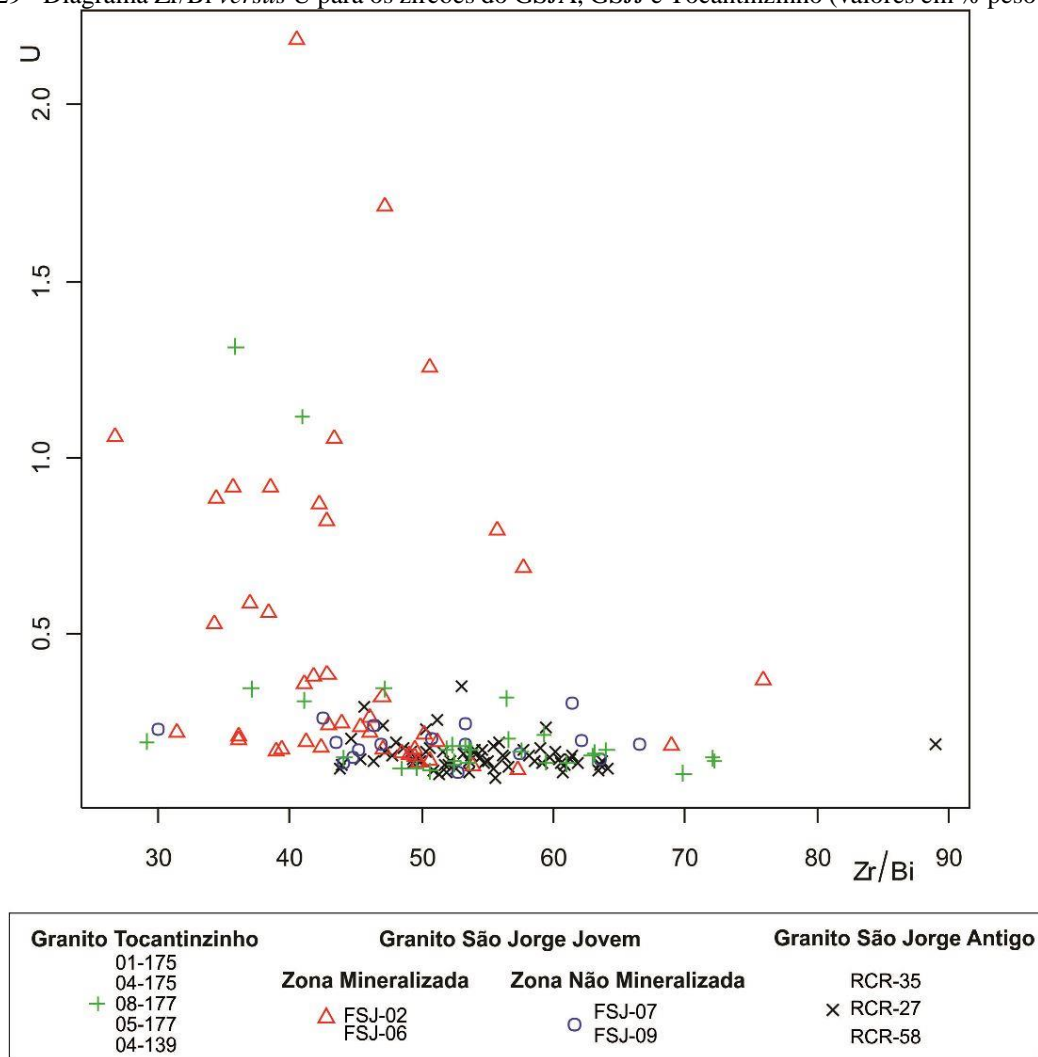
Figura 28 - Diagrama Zr/Bi versus razão Zr/Te para os zircões do GSJA, GSJJ e Tocantinzinho.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O diagrama Zr/Bi versus U (Figura 29) mostra que os zircões do Granito Tocantinzinho são, em geral, pouco alterados hidrotermalmente ($U < 0,5\%$) e acompanham os zircões do GSJJ e do GSJA.

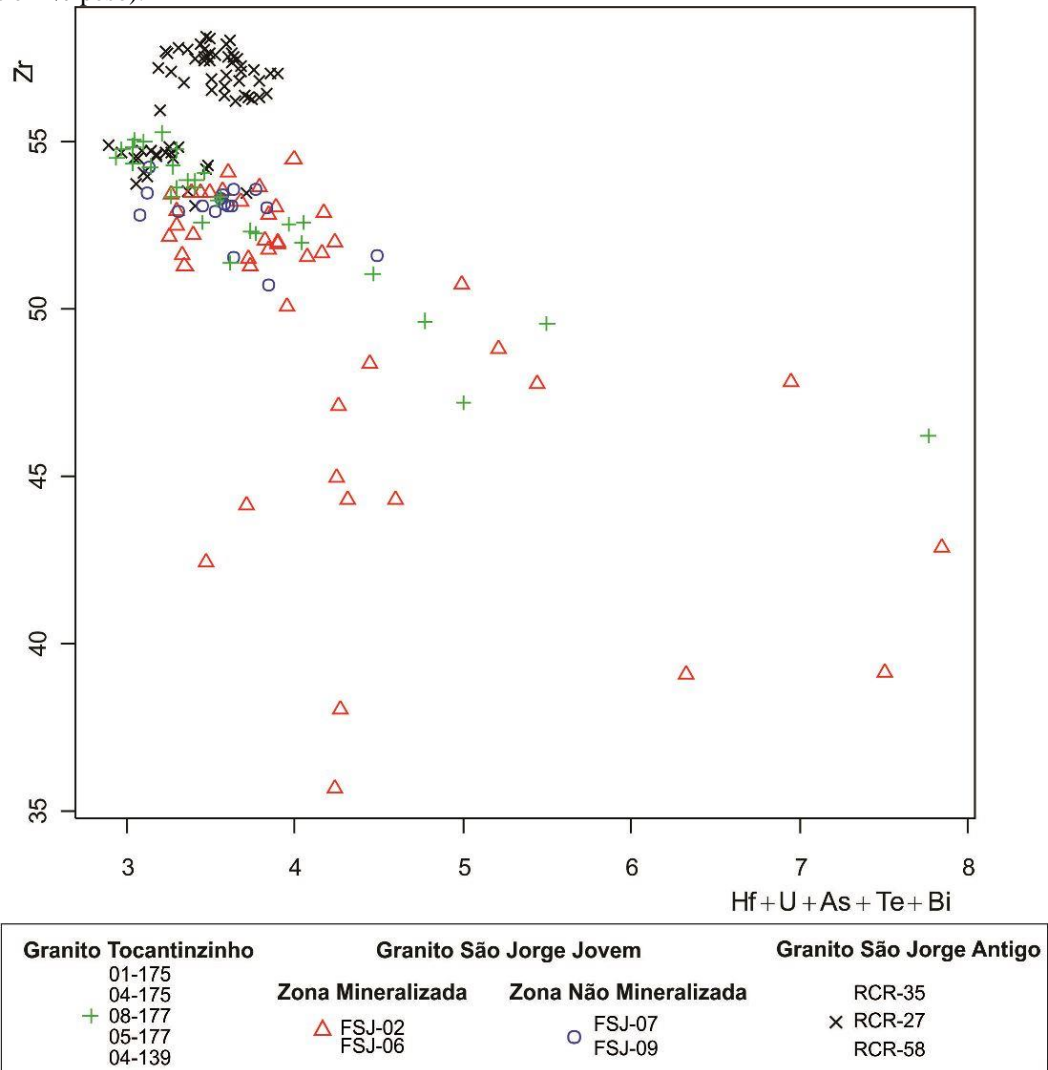
Figura 29 - Diagrama Zr/Bi versus U para os zircões do GSJA, GSJJ e Tocantinzinho (valores em % peso para U).



Fonte: Elaborado pelo autor.

No diagrama Hf+U+As+Te+Bi versus Zr (Figura 30) os zircões do Granito Tocantinzinho tendem a acompanhar os do GSJJ e se enriquecem em Hf+U+As+Te+Bi à medida que os de Zr diminuem, indicando uma clara substituição do Zr pelos outros elementos.

Figura 30 - Diagrama somatório Hf+U+As+Te+Bi *versus* Zr para os zircões do GSJA, GSJJ e Tocantinzinho (valores em % peso).



Fonte: Elaborado pelo autor.

6 - DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

6.1 - COMPORTAMENTO COMPOSICIONAL DOS ZIRCÕES DO GRANITO SÃO JORGE

Os diagramas gerados a partir das análises químicas por EDS realizadas nos zircões do Granito São Jorge mostram que o conteúdo de Zr nos zircões do GSJA (53,1-58,1%) é mais elevado que no GSJJ (42,9-54,5%). Tal fato indica que os zircões do GSJA são mais preservados e que os processos hidrotermais que atuaram no GSJJ e originaram sua mineralização aurífera, afetaram também os cristais de zircão presentes, promovendo corrosões, alterações e substituições de Zr por outros elementos afins com o ouro como, por exemplo, Bi, Te e As, presentes em sua estrutura e identificados em maiores concentrações nos zircões da zona mineralizada do GSJJ. Zircões com as maiores concentrações nesses elementos pertencem às Associações minerais 3 e 4 de Borges et al. (2009), definidas como as mais intensamente hidrotermalizadas e portadoras da mineralização aurífera. Zircões dos furos não mineralizados (zona estéril) do depósito São Jorge mostram teores mais baixos nesses elementos e se separam dos anteriores nos diagramas geoquímicos.

6.2 - COMPORTAMENTO COMPOSICIONAL DOS ZIRCÕES DO GRANITO TOCANTINZINHO

Os zircões do Granito Tocantinzinho, utilizados no estudo comparativo, mostram comportamento geoquímico similar e tendem a se agrupar com os zircões da zona mineralizada do GSJJ nos diferentes diagramas geoquímicos utilizados. Entretanto, seus conteúdos de U são mais baixos que os dos zircões do GSJJ, porém similares aos encontrados nos zircões do GSJA, indicando tratar-se de zircões igualmente menos metamórficos.

6.3 – ANÁLISES DE PARTÍCULAS DE OURO DO DEPÓSITO SÃO JORGE

Análises químicas por EDS de partículas de ouro inclusas em cristais de quartzo hidrotermal (FSJ02-25 – SOTERO, em fase de elaboração)¹ e pirita (FSJ02-43 – este estudo) da Associação 4 do GSJJ, acusaram a presença de Te, Bi e As em proporções variáveis (Tabela 5), mesmos elementos identificados nos cristais de zircão deste estudo. Este fato sugere que os fluidos hidrotermais que mineralizaram o GSJJ contribuíram para a assinatura geoquímica dos zircões dos granitos São Jorge Jovem e Tocantinzinho.

¹Quartzo magmático e hidrotermal do depósito de ouro São Jorge, Província Aurífera do Tapajós-PA: Petrografia, MEV-CL e implicações metalogenéticas, de autoria de Aldemir de Melo Sotero, a ser defendido no Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará.

Tabela 5 - Análises químicas por EDS de partículas de ouro inclusas em pirita e quartzo da Associação mineral 4 de Borges et al. (2009) do GSJJ.

Furo/Associação	Elemento	Concentração (% peso)	Elemento	Concentração (% peso)
F02-25/4	As	0,46	As	0,49
	Ag	0,0	Ag	0,0
	Te	3,27	Te	11,99
	Au	94,27	Au	85,49
	Bi	2,0	Bi	2,02
FSJ02-43/4*	As	0,7	As	0,6
	Ag	12,8	Ag	11,5
	Sb	0,3	Sb	0,0
	Te	1,1	Te	1,0
	Au	82,6	Au	84,8
	Bi	2,5	Bi	2,1

*=Dados obtidos pelo autor.

Fonte: Sotero (em preparação).

6.4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que a metodologia MEV-EDS aplicada em cristais de zircão pode ser utilizada preliminarmente para separar corpos graníticos estéreis daqueles contendo mineralização hidrotermal de ouro; esta separação pode ser observada em diagramas geoquímicos envolvendo elementos afins com o ouro (Bi, As, Te, Ag, etc.) que são mais enriquecidos nos zircões das zonas intensamente hidrotermalizadas e mineralizadas, como no caso dos granitos São Jorge Jovem e Tocantinzinho, em comparação com zircões de granitos estéreis, como o Granito São Jorge Antigo, todos situados na Província Aurífera do Tapajós. Os zircões dos depósitos hidrotermais de ouro São Jorge Jovem e Tocantinzinho mostram, portanto, uma assinatura geoquímica característica, com teores mais elevados em Te, Bi, As, U e Hf, indicando substituição com o Zr que é sempre mais empobrecido nos zircões das rochas desses depósitos.

Assinatura geoquímica similar foi observada em zircões de granitos especializados de diversas províncias estaníferas (LAMARÃO et al., 2007, 2011, 2012, 2014), com os zircões dessas rochas apresentando enriquecimento em Hf, Y, Th e U e baixas razões Zr/Hf em comparação com zircões de granitos não estaníferos.

Trabalhos futuros envolvendo outros depósitos hidrotermais de ouro e análises de zircão com técnicas mais precisas como microsonda eletrônica serão importantes para confirmar os dados desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M.E.; BRITO, M.F.L.; FERREIRA, A. *Geologia da folha SB.21-V-D- Mamãe Anã. Projeto Tapajós*. Rio de Janeiro: CPRM, 2000. 238 p.
- ALTHOFF, F.J.; BARBEY, P.; BOULLIER, A.M.; DALL'AGNOL, R. Regime tectônico e composição dos granitóides arqueanos da região de Marajoara. In: SIMPÓSIO GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., 1995, Belém. *Resumos Expandidos*. Belém: SBG, 1995, p. 291–294.
- ALTHOFF, F.J.; DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z.C. Região de Marajoara - SE do Pará: prolongamento dos terrenos Arqueanos de Rio Maria ou retrabalhamento? In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3., 1991, Belém. *Resumos Expandidos*. Belém: SBG, 1991, p.130-141.
- BAHIA, R.B.C.; QUADROS, M.L.E.S. *Geologia e recursos minerais da Folha Caracol (SB-21-X-C), Estado do Pará*. Escala 1:250.000. Nota explicativa. [S.l.]: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2000. CD-ROM.
- BELOUSOVA, E.A.; GRIFFIN, W.L. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, n. 143, p. 602-622, 2002.
- BORGES, R.M.K.; DALL'AGNOL, R.; LAMARÃO, C.N.; FIGUEIREDO, M.A.B.M.; LEITE, A.A.S.; BARROS, C.E.M.; COSTI, H.T. Petrografia, química mineral e processos hidrotermais associados ao depósito de ouro São Jorge, Província Aurífera do Tapajós, Cráton Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 39, n. 2, p. 375-393, 2009.
- COSTA, J.B.S.; ARAÚJO, O.J.B.; SANTOS, A.; JORGE JOÃO, X.S.; MACAMBIRA, M.J.B.; LAFON, J.M. A província mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, v.7, p.199-235, 1995.
- DALL'AGNOL, R.; COSTI, H.T.; LEITE, A.A.S.; MAGALHÃES M.S.; TEIXEIRA N.P. Rapakivi granites from Brazil and adjacent areas. *Precambrian Research*, v. 95, n. 1-2, p. 3-39, 1999.
- DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z.S.; ALTHOFF, F.J.; MACAMBIRA, M.J.B. & LEITE, A.A.S. Geology and geochemistry of the Archean Rio Maria Granite-greenstone Terrain, Carajás province, Amazonian craton. In: SYMPOSIUM ARCHEAN TERRAIN SOUTH AMERICAN PLATFORM. 1996, Brasília. *Extended abstracts*. Brasília: SBG, 1996, p. 29-30.
- DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z.S.; ALTHOFF, F.J.; BARROS, C.E.M.; LEITE, A.A.S.; JORGE JOÃO, X.S. General aspects of the granitogenesis of the Carajás metallogenic province. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 2., 1997, Salvador. *Excursions Guide*. Salvador: Superintendência de Geologia e Recursos Minerais-SGRM, 1997, p.135-161.
- FARACO, M.T.L.; CARVALHO, J.M.A.; KLEIN, E.L. Carta Metalogenética da Província Aurífera do Tapajós. In: COSTA M.L.; ANGÉLICA R.S. (eds.) *Contribuições à Geologia da Amazônia*. Belém: FINEP, SBG – NO, 1997. p. 423-437.

FERREIRA, A.L.; ALMEIDA, M.E.; BRITO, M.F.L., MONTEIRO M.A.S. *Projeto especial Província Mineral do Tapajós. Geologia e recursos minerais da folha SB.21-Y-B – Jacareacanga, Estado do Pará e Amazonas*. Escala 1:250.000. Nota Explicativa. [S.l.]: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2000. CD-ROM.

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

GAUDETTE, H.E.; OLSZEWSKI, W.J. Geochronology of the basement rocks, Amazonas Territory, Venezuela and the tectonic evolution of the western Guiana Shield. *Geologie en Mijnbouw*. n. 64, p. 131-144, 1985.

GERALDES, M.C.; VAN SCHMUS, W.R.; CONDIE, K.C.; BELL, S.; TEIXEIRA, W.; BABINSKY, M. Proterozoic geologic evolution of the SW part of the Amazonian Craton in Mato Grosso State, Brazil. *Precambrian Research*, n. 111, p. 91-128, 2001

HEAMAN, L.M.; BOWINS, R.; CROCKET, J. The chemical composition of igneous zircon suites: Implications for geochemical tracer studies. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, n. 54, p. 1597-1607, 1990.

HOSKIN, P.W.O.; IRELAND T.R. Rare earth element chemistry of zircon and its use as a provenance indicator. *Geology*, n. 28, p. 627-630, 2000.

JULIANI, C.A.; CORRÊA-SILVA, R.H.A.; MONTEIRO, L.V.S.A.; BETTENCOURT J.S.; NUNES C.M.D.A. The Batalha Au-granite system–Tapajós Gold Province, Amazonian craton, Brazil: hydrothermal alteration and regional implications. *Precambrian Research*, n. 119, p. 225-256, 2002.

KEMPE, U.; GRUNER, T.; RENNO, A.D.; WOLF, D.; RENÉ, M. Discussion on Wang et al. (2000) ‘Chemistry of Hf-rich zircons from the Laoshan I- and A-type granites, Eastern China’. *Mineralogical Magazine*, n. 68, p. 669-675, 2004.

KLEIN, E.L.; SANTOS, R.A.; FUZIKAWA, K.; ANGÉLICA, R.S. Hydrothermal fluid evolution and structural control of the Guarim gold mineralization, Tapajós Province, Amazonian Craton, Brazil. *Mineralium Deposita*, v. 36, n. 2, p. 149-164, 2001.

KLEIN, E.L.; VASQUEZ, M.L. Geologia e recursos minerais da Folha Vila Riozinho - SB.21-Z-A. Estado do Pará Escala 1:250.000. Nota explicativa. In: KLEIN E.L. (ed.) *Projeto Especial Província Mineral do Tapajós*. PROMIM Tapajós/CPRM, Brasília, 2000, CD-ROM.

LAMARÃO, C.N. *Geologia, Geoquímica e Geocronologia do Magmatismo Paleoproterozóico da Região de Vila Riozinho, Província Aurífera do Tapajós, Cráton Amazônico*. 2001. 285 f. Tese (Doutorado) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.

LAMARÃO, C.N.; BORGES, R.M.K.; MARQUES, G.T. Novos dados composicionais de zircão como indicadores de granitos estaníferos: os granitos Campinas (RS), Pedra Branca (GO) e Kymi (Finlândia). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 8., 2011, Gramado (RS). *Resumos expandidos*.

LAMARÃO, C.N.; DALL'AGNOL, R.; LAFON, J.M.; LIMA, E.F. Associações vulcânicas e plutônicas de Vila Riozinho e Moraes Almeida, Província Aurífera do Tapajós, SW do Estado do Pará. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 1., 1999, Gramado. *Boletim de resumos*. Gramado: SBG, 1999, p. 93.

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 Research*, n. 119, p. 189-223, 2002.

LAMARÃO, C.N.; DALL'AGNOL, R.; PIMENTEL, M.M. Nd Isotopic composition of Paleoproterozoic volcanic and granitoid rocks of Vila Riozinho: Implications for the crustal evolution of the Tapajós Gold Province, Amazon craton. *Journal of South America Earth Sciences*, n. 18, p. 277-292, 2005.

LAMARÃO, C.N.; DALL'AGNOL, R.; SILVA, J.S.; SOLEDADE, G. L. Morphological and compositional variation in zircons of tin-specialized Paleoproterozoic A-type granites of the Amazonian craton: Metallogenic implications. *International Conference on A-type Granites and Related Rocks through Time (IGCP-510)*. Helsinki, Finland. Abstract vol., p. 68-70, 2010.

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*. RBG, v. 37, n. 4, p. 693-704, 2007.

LAMARÃO, C.N.; PINHO, S.C.C.; PAIVA JUNIOR, A.L.; GALARZA, M.A. Mineralogy and geochemistry of the Paleoproterozoic, tin-mineralized Bom Jardim Granite of the Velho Guilherme Suite, eastern Amazonian Craton. *Journal of South American Earth Science*, v. 38, p. 159-173, 2012.

LAMARÃO, C.N.; ROCHA, K.K.N.; MARQUES, G.T.; BORGES, R.M.K. Quartzo e zircão como marcadores da evolução magmático-hidrotermal do Granito Antônio Vicente, Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Carajás. *Geologia USP. Série Científica*, v. 13, p. 49-68, 2013.

LAMARÃO, C.N.; SOUZA, K.S. de; DALL'AGNOL, R.; GALARZA, M.A. Granitos pórfiros da região de Vila Riozinho, província aurífera do Tapajós: petrografia e geocronologia. *Revista Brasileira de Geociências*. v. 38, p. 533-543, 2008.

LAMARÃO, C.N.; SILVA, J.S.; BORGES, R.M.K.; DALL'AGNOL, R. Morphological and compositional variations of zircon and their metallogenic implications: the example of Jamon, Serra dos Carajás and Velho Guilherme suites, Amazonian Craton. *Brazilian Journal of Geology*, v. 44, p. 105-120, 2014.

LIMA, M.I.C. 1998. Cinturões móveis e núcleos preservados pré-cambrianos da Província Estrutural Amazônica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., 1998, Belo Horizonte. *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*. Belo Horizonte: SBG, 1998, n. 1, p. 18.

- MONTEIRO, T. *Mineradoras valem ouro nos projetos hidrelétricos do Tapajós e Teles Pires*. [S.l.]: Correio da Cidadania, 2012. Disponível em: <http://www.correiodacidade.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=7672>. Acesso em: 08 out. 2014.
- MOURA, C.A.V.; GORAYEB, P.S.S.; MATSUDA, N.S. Geocronologia Pb-Pb em zircão do Riolo Vila Raiol, Formação Irii-sudoeste do Pará. In: SBG, SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6., 1999, Manaus. *Boletim de resumos expandidos*. Manaus: SBG, 1999, p.475-477.
- MURALI, A.V.; PARTHASARATHY, R.; MAHADEVAN, T.M.; SANKAR Das M. Trace element characteristics, REE patterns and partition coefficients of zircons from different geological environments- a case study on Indian zircons. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, n. 47, p. 2047-2052, 1983.
- PIMENTEL, M.; FUCK, R.A. Neoproterozoic crustal accretion in Central Brazil. *Geology*, v.20, n. 4, p. 375-379, 1992.
- PUPIN, J.P. Granite genesis related to geodynamics from Hf-Y in zircon. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh Earth Sciences*, n. 91, p. 245-256, 2000.
- PUPIN, J.P. Zircon and granite petrology. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, n. 73, p. 207-220, 1980.
- REED, S.J.B. Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology. *Cambridge University Press*. p 201, 1996.
- ROLANDO, A.P.; MACAMBIRA, M.J.B. Geocronologia dos granitóides arqueanos da região da Serra do Inajá, novas evidências sobre a formação da crosta continental no sudeste do Cráton Amazônico, SSE Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41., 2002. *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*. João Pessoa: SBG, 2002, p. 525.
- SANTIAGO, E.S.B. *Rochas hospedeiras, alteração hidrotermal e avaliação do balanço geoquímico de massa do depósito aurífero Tocantinzinho, Província do Tapajós-PA*. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.
- 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. 131, n. 1-2, p. 73-109, 2004.
- SANTOS, J.O.S.; FERNANDES, P.E.; DREHER, A.M.; CUNHA, F.M.B.; BASEI, M.A.S.; TEIXEIRA, J.B.G. *Geologia da Folha SB-21-Tapajós – Projeto RADAM*. DNPM. Rio de Janeiro. Levantamento dos Recursos Naturais. 1975. v.7, p. 15-116.
- SANTOS, J.O.S.; GROVES, D.I.; HARTMANN, L.A.; MCNAUGHTON, N.J.; MOURA, M.B. Gold deposits of the Tapajós Province, Amazon Craton. *Mineralium Deposita*, v. 36, n. 3, p. 278-299, 2001.

SANTOS, J.O.S.; HARTMANN, L.A.; GAUDETTE, H.E. Reconnaissance U-Pb in zircon, Pb-Pb in sulfides and review of Rb-Sr geochronology in the Tapajós gold Province, Pará and Amazonas States of Brazil. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 1., 1997, Campos do Jordão, São Paulo, Brazil. *Extended Abstracts*, 1997, p. 280-282.

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 and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, n. 3, p. 453-488, 2000.

SANTOS, J.O.S.; RIZZOTTO, G.; EASTON, M.R.; POTTER, P.E.; HARTMANN, L.A.; MCNAUGHTON, N.J. The Sunsás Orogen in Western Amazon Craton, South America and Correlation with the Grenville Orogen of Laurentia, based on U-Pb Isotopic Study of Detrital and Igneous Zircons. In: GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA, Denver Annual Meeting, 2002. *Precambrian Geology*, paper 122-8.

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

TASSINARI, C.C.G.; MACAMBIRA, M.J.B. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, n. 22, p. 174-182, 1999.

TASSINARI, C.C.G.; MACAMBIRA, M.J.B. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: MANTESO-NETO V., BARTORELLI A., CARNEIRO C.D.R., BRITO-NEVES B.B. (orgs.) *Geología do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Beca, 2004, p.471-485.

UHER, P.; BREITER, K.; KLECKA, M.; PIVEC, E. Zircon in highly evolved Hercynian Homolka Granite, Moldanubian Zone, Czech Republic: indicator of magma source and petrogenesis. *Geologica Carpathica*, v. 49, n. 3, p. 151-160, 1998.

VASQUEZ, M.L.; KLEIN, E.L.; MACAMBIRA, M.J.B.; SANTOS, A.; BAHIA, R.B.C.; RICCI, P.S.F.; QUADROS, M.L.E.S. *Geochronology of granitoids, mafic intrusions, and mineralizations of the Tapajós Gold Province, Amazonian craton, Brazil*. International Geology Congress, 31., 2000. CD-ROM.

VASQUEZ, M.L.; KLEIN, E.L.; QUADROS, M.L.E.; BAHIAM R.B.C.; SANTOSM A.; RICCI, P.; SACHETT, C.R.; SILVA, C.M.G.; MACAMBIRAM M.J.B. Magmatismo Uatumã na Província Tapajós – Novos dados geocronológicos. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6., 1999, Manaus. *Boletim de resumos expandidos*. Manaus: SBG, 1999, p. 471-474.

WANG, R.C.; ZHAO, G.T.; LU, J.J.; CHEN, X.M.; XU, S.J.; WANG, D.Z. Chemistry of Hf-zircons from the Laoshan I- and A-type granites, Eastern China. *Mineralogical Magazine*. n. 64, p. 867-877, 2000.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Valores médios dos elementos analisados obtidos de zircões da amostra RCR-27 do GSJA.

Amostras	O	Si	P	S	Ca	Cu	As	Y	Zr	Nb	Sb	Te	Ba	Ce	Hf	Ta	Hg	Bi	Th	U
RCR-27	19,5	13,5	0,0	0,0	0,2	0,0	0,3	0,8	57,1	1,7	0,3	0,4	0,4	0,4	1,9	0,8	1,4	1,0	0,2	0,2
RCR-27	19,6	13,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,6	57,2	1,8	0,3	0,3	0,3	0,4	1,7	0,9	1,4	1,2	0,2	0,1
RCR-27	18,7	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6	58,1	2,0	0,3	0,3	0,3	0,4	1,7	0,9	1,3	1,1	0,2	0,1
RCR-27	19,5	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	57,5	1,9	0,3	0,3	0,3	0,4	1,7	0,8	1,3	1,0	0,1	0,2
RCR-27	19,8	13,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,6	57,0	2,0	0,3	0,3	0,3	0,4	1,7	0,9	1,4	1,0	0,2	0,2
RCR-27	19,6	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,5	57,5	2,0	0,3	0,4	0,3	0,4	1,6	0,8	1,3	1,1	0,2	0,1
RCR-27	21,9	13,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5	55,9	2,0	0,2	0,3	0,4	0,3	1,7	0,8	1,2	0,9	0,2	0,1
RCR-27	19,2	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6	57,7	2,1	0,3	0,4	0,4	0,3	1,5	0,9	1,4	1,0	0,2	0,1
RCR-27	19,5	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	57,4	2,0	0,2	0,4	0,3	0,5	1,7	0,9	1,3	1,0	0,2	0,2
RCR-27	19,5	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	57,4	2,0	0,3	0,3	0,3	0,4	1,8	0,8	1,3	1,0	0,2	0,1
RCR-27	19,2	13,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,7	58,0	1,7	0,2	0,4	0,3	0,3	1,9	0,8	1,2	0,9	0,2	0,2
RCR-27	19,7	13,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,7	57,6	1,7	0,2	0,4	0,3	0,4	1,6	0,9	1,2	0,9	0,2	0,1
RCR-27	19,0	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,7	57,9	1,8	0,3	0,4	0,3	0,4	1,7	0,9	1,3	1,0	0,2	0,2
RCR-27	19,3	13,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,7	57,6	1,9	0,3	0,3	0,3	0,4	1,7	1,0	1,3	1,1	0,2	0,1
RCR-27	19,4	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6	57,8	1,9	0,2	0,3	0,3	0,4	1,5	0,9	1,2	1,0	0,2	0,1
RCR-27	19,3	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5	57,5	2,1	0,3	0,3	0,3	0,4	1,7	0,8	1,3	1,1	0,2	0,1
RCR-27	19,0	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6	57,7	2,0	0,3	0,4	0,4	0,4	1,6	0,9	1,4	1,0	0,2	0,1
RCR-27	19,3	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	57,4	2,0	0,3	0,3	0,3	0,4	1,8	0,9	1,4	1,1	0,2	0,2
RCR-27	20,3	13,5	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,6	56,2	2,0	0,2	0,4	0,3	0,4	1,7	0,9	1,4	1,1	0,3	0,1
RCR-27	19,1	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	57,5	2,2	0,3	0,3	0,3	0,4	1,9	0,8	1,3	1,1	0,2	0,1
RCR-27	19,9	13,9	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,7	56,7	2,0	0,2	0,4	0,4	0,4	1,8	0,8	1,3	1,0	0,2	0,2
RCR-27	19,0	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6	57,9	2,1	0,2	0,4	0,3	0,4	1,6	0,9	1,2	1,0	0,1	0,2
RCR-27	19,3	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6	57,5	1,9	0,2	0,4	0,3	0,4	1,7	0,9	1,2	1,1	0,2	0,2
RCR-27	19,8	13,7	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,7	56,3	1,9	0,3	0,4	0,5	0,4	1,8	0,9	1,4	1,1	0,2	0,3
RCR-27	18,9	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6	57,7	2,0	0,3	0,3	0,3	0,4	1,8	0,9	1,4	0,9	0,2	0,1
RCR-27	19,1	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5	57,6	1,9	0,3	0,4	0,3	0,4	1,7	1,0	1,3	1,2	0,2	0,2
RCR-27	19,1	13,6	0,0	0,0	0,2	0,0	0,3	0,6	57,0	1,9	0,3	0,4	0,4	0,5	1,7	1,0	1,4	1,3	0,2	0,1
RCR-27	20,2	13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	57,5	2,0	0,2	0,6	0,2	0,4	2,0	0,6	0,9	0,6	0,1	0,2
RCR-27	19,3	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6	57,7	1,8	0,3	0,4	0,3	0,5	1,6	0,9	1,3	1,1	0,2	0,1
RCR-27	19,4	13,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,6	57,0	1,9	0,3	0,4	0,4	0,4	1,8	1,0	1,4	1,3	0,2	0,2
RCR-27	19,1	13,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,5	57,2	1,9	0,3	0,4	0,4	0,4	1,8	1,1	1,5	1,1	0,2	0,2

APÊNDICE B – Valores médios dos elementos analisados obtidos de zircões da amostra RCR-35 do GSJA.

Amostras	O	Si	P	S	Ca	Cu	As	Y	Zr	Nb	Sb	Te	Ba	Ce	Hf	Ta	Hg	Bi	Th	U
RCR-35	21,6	13,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	54,7	3,9	0,2	0,4	0,3	0,4	1,4	0,8	1,1	0,9	0,1	0,2
RCR-35	21,8	13,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,2	54,2	3,8	0,2	0,4	0,3	0,4	1,5	0,7	1,1	1,2	0,2	0,1
RCR-35	22,2	13,3	0,0	0,0	0,2	0,0	0,3	0,1	53,4	3,8	0,2	0,4	0,4	0,5	1,7	0,8	1,2	1,1	0,1	0,2
RCR-35	21,6	13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	54,6	3,9	0,3	0,3	0,4	0,4	1,5	0,9	1,1	1,0	0,1	0,1
RCR-35	21,8	13,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,1	54,5	3,9	0,3	0,3	0,3	0,4	1,5	0,7	1,1	1,0	0,1	0,1
RCR-35	21,4	13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	54,7	4,0	0,3	0,3	0,3	0,4	1,4	0,8	1,1	1,1	0,1	0,2
RCR-35	21,7	13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	54,3	3,8	0,3	0,3	0,3	0,4	1,6	0,7	1,1	1,1	0,2	0,2
RCR-35	22,7	13,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	53,5	4,0	0,2	0,4	0,3	0,4	1,5	0,8	1,1	1,1	0,1	0,1
RCR-35	21,9	13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	54,5	3,9	0,2	0,4	0,3	0,4	1,4	0,8	1,1	1,0	0,1	0,1
RCR-35	22,0	13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	54,7	3,8	0,3	0,3	0,3	0,3	1,4	0,7	1,2	0,9	0,1	0,1
RCR-35	21,6	13,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	54,8	3,7	0,2	0,3	0,3	0,4	1,4	0,7	1,0	1,1	0,1	0,2
RCR-35	22,1	13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	54,5	3,8	0,2	0,4	0,3	0,3	1,4	0,7	1,1	1,1	0,1	0,1
RCR-35	21,7	13,6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	54,8	3,8	0,2	0,3	0,3	0,3	1,6	0,6	1,0	1,0	0,1	0,2
RCR-35	21,9	13,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	54,7	3,7	0,3	0,3	0,3	0,3	1,4	0,7	1,0	1,1	0,1	0,1
RCR-35	22,6	13,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,2	53,1	4,3	0,2	0,4	0,4	0,4	1,6	0,8	1,1	1,1	0,1	0,1
RCR-35	22,7	13,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,1	53,7	3,8	0,2	0,4	0,3	0,4	1,4	0,8	1,1	0,8	0,1	0,1
RCR-35	22,6	13,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,2	53,9	3,8	0,2	0,4	0,4	0,4	1,3	0,7	1,1	1,0	0,1	0,2
RCR-35	22,0	13,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	54,9	3,9	0,2	0,3	0,2	0,4	1,4	0,7	1,0	0,9	0,1	0,1
RCR-35	21,8	13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	54,7	3,9	0,2	0,3	0,3	0,4	1,4	0,8	1,0	1,1	0,1	0,1
RCR-35	22,3	13,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,2	54,1	3,9	0,2	0,4	0,3	0,4	1,5	0,8	1,1	0,9	0,1	0,2
RCR-35	21,6	13,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	54,7	4,0	0,2	0,3	0,3	0,4	1,7	0,7	1,0	0,9	0,1	0,1
RCR-35	22,3	13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	54,5	3,9	0,3	0,3	0,2	0,4	1,5	0,7	0,9	0,9	0,1	0,1

APÊNDICE C – Valores médios dos elementos analisados obtidos de zircões da amostra RCR-58 do GSJA.

Amostra	O	Si	P	S	Ca	Cu	As	Y	Zr	Nb	Sb	Te	Ba	Ce	Hf	Ta	Hg	Bi	Th	U
RCR-58	19,4	13,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	58,1	1,6	0,2	0,3	0,3	0,3	1,7	0,7	1,3	1,0	0,2	0,2
RCR-58	19,7	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,7	56,8	1,9	0,2	0,4	0,3	0,5	1,6	0,8	1,5	1,2	0,1	0,3
RCR-58	20,8	13,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,6	56,3	1,9	0,3	0,4	0,4	0,4	1,8	0,7	1,1	1,1	0,2	0,2
RCR-58	20,7	13,6	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,6	56,5	2,0	0,3	0,4	0,3	0,4	1,6	0,6	1,3	1,2	0,1	0,1
RCR-58	20,4	13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,7	56,8	1,8	0,2	0,5	0,4	0,4	1,6	0,9	1,1	1,2	0,2	0,2
RCR-58	20,3	13,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6	56,8	2,0	0,2	0,5	0,3	0,5	1,5	0,7	1,2	1,1	0,2	0,2
RCR-58	20,4	13,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5	57,1	2,1	0,3	0,3	0,3	0,3	1,5	0,7	1,3	1,0	0,2	0,2
RCR-58	20,3	13,6	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,6	56,4	2,0	0,2	0,5	0,4	0,5	1,7	0,8	1,2	1,1	0,1	0,2
RCR-58	20,0	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5	57,2	2,0	0,3	0,4	0,3	0,5	1,5	0,8	1,3	0,9	0,2	0,1
RCR-58	20,4	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	56,7	2,0	0,2	0,4	0,3	0,4	1,6	0,7	1,3	0,9	0,2	0,1
RCR-58	20,7	13,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,7	56,4	2,0	0,2	0,3	0,3	0,3	1,5	0,7	1,2	1,2	0,2	0,1
RCR-58	19,7	13,7	0,1	0,0	0,2	0,0	0,3	0,6	56,4	2,0	0,3	0,3	0,3	0,4	1,8	0,9	1,5	1,1	0,1	0,4
RCR-58	20,5	13,7	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,6	56,3	2,0	0,2	0,4	0,3	0,5	1,8	0,7	1,2	1,2	0,2	0,2

APÊNDICE D – Valores médios dos elementos analisados obtidos de zircões da amostra do Furo 02 do GSJJ.

Amostra	O	Si	P	S	Ca	Cu	As	Y	Zr	Nb	Sb	Te	Ba	Ce	Hf	Ta	Hg	Bi	Th	U
FSJ02-24	24,5	13,6	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	51,7	2,6	0,2	0,4	0,6	0,4	1,9	0,9	1,4	1,1	0,2	0,2
FSJ02-24	25,0	13,5	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,2	52,5	2,5	0,2	0,3	0,3	0,3	1,6	0,6	1,1	1,0	0,3	0,1
FSJ02-24	24,4	13,5	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,1	52,0	2,7	0,2	0,4	0,3	0,4	1,6	0,7	1,3	1,4	0,3	0,2
FSJ02-24	23,0	13,7	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4	0,1	52,9	2,8	0,2	0,4	0,4	0,4	1,9	0,7	1,3	1,4	0,2	0,2
FSJ02-24	26,4	13,3	0,0	0,0	0,2	0,1	0,2	0,3	51,3	2,5	0,2	0,4	0,2	0,4	1,5	0,6	1,1	1,0	0,2	0,2
FSJ02-24	24,0	13,7	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,0	53,5	2,7	0,2	0,3	0,2	0,4	1,7	0,4	1,1	1,1	0,1	0,1
FSJ02-24	24,7	13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	51,5	2,6	0,2	0,4	0,4	0,5	1,8	0,8	1,3	1,4	0,3	0,2
FSJ02-39	25,2	13,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,1	52,1	2,5	0,2	0,4	0,6	0,4	1,4	0,9	1,2	1,1	0,1	0,2
FSJ02-39	23,3	13,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	53,0	2,7	0,3	0,4	0,4	0,3	1,8	0,8	1,5	1,3	0,2	0,2
FSJ02-39	23,7	13,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	52,8	2,5	0,3	0,3	0,3	0,4	1,9	0,8	1,5	1,2	0,2	0,2
FSJ02-39	23,3	13,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	53,7	2,4	0,2	0,3	0,4	0,4	1,7	0,8	1,2	1,4	0,2	0,2
FSJ02-39	24,9	13,1	0,0	0,0	0,3	0,0	0,2	0,2	51,9	2,3	0,2	0,5	0,3	0,4	1,8	0,8	1,3	1,1	0,3	0,2
FSJ02-39	25,1	13,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,3	0,5	51,6	2,5	0,1	0,5	1,0	0,1	1,3	0,7	1,3	1,0	0,1	0,2
FSJ02-39	23,8	13,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,1	53,2	2,5	0,3	0,4	0,3	0,4	1,8	0,8	1,3	1,1	0,1	0,2
FSJ02-39	22,9	13,7	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,1	53,5	2,8	0,2	0,3	0,7	0,3	1,5	0,9	1,2	1,2	0,1	0,3
FSJ02-39	24,7	13,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	52,1	2,5	0,2	0,4	0,3	0,5	1,7	0,8	1,4	1,2	0,1	0,2
FSJ02-43	21,6	13,7	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,1	54,5	2,7	0,3	0,4	0,5	0,4	1,9	0,9	1,2	1,1	0,1	0,2
FSJ02-43	23,9	13,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	53,5	2,6	0,3	0,3	0,3	0,4	1,6	0,8	1,2	1,1	0,1	0,2
FSJ02-43	25,5	14,8	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	47,7	2,3	0,5	0,3	0,5	0,5	1,9	0,9	1,6	1,8	0,1	1,1
FSJ02-43	24,7	13,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	52,9	2,5	0,3	0,3	0,4	0,3	1,8	0,7	1,0	0,9	0,1	0,1
FSJ02-43	23,7	13,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,1	53,5	2,6	0,3	0,4	0,4	0,4	1,5	0,7	1,2	1,1	0,1	0,2
FSJ02-43	27,0	12,8	0,0	0,0	0,6	0,1	0,3	0,1	48,8	2,4	0,1	0,7	0,3	0,5	2,3	0,6	1,1	1,3	0,4	0,6
FSJ02-43	23,7	13,7	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	52,0	2,5	0,2	0,4	0,7	0,4	1,9	1,0	1,3	1,2	0,1	0,4
FSJ02-43	24,5	13,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,2	53,4	2,2	0,2	0,3	0,3	0,4	1,7	0,8	1,1	0,8	0,1	0,2
FSJ02-43	22,7	13,6	0,0	0,0	0,1	0,0	0,4	0,2	54,1	2,4	0,3	0,5	0,4	0,5	1,7	0,9	1,2	0,7	0,1	0,4
FSJ02-43	26,7	13,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	51,3	2,2	0,2	0,3	0,3	0,4	1,7	0,7	1,1	1,2	0,1	0,2
FSJ02-46	28,5	13,0	0,0	0,0	1,1	0,1	0,2	0,3	42,9	2,5	0,0	1,1	0,5	1,3	3,3	0,4	1,3	1,1	0,3	2,2
FSJ02-46	25,3	13,3	0,0	0,0	0,3	0,1	0,2	0,0	50,7	2,8	0,1	0,5	0,4	0,4	2,4	0,4	1,1	1,3	0,1	0,6
FSJ02-46	24,6	13,7	0,0	0,0	0,7	0,2	0,2	0,0	47,8	2,8	0,2	0,9	0,7	0,6	4,2	0,3	1,2	0,9	0,2	0,8

APÊNDICE E – Valores médios dos elementos analisados obtidos de zircões da amostra do Furo 06 do GSJJ.

Amostra	O	Si	P	S	Ca	Cu	As	Y	Zr	Nb	Sb	Te	Ba	Ce	Hf	Ta	Hg	Bi	Th	U
FSJ 06-23	30,3	18,7	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,0	42,4	2,4	0,2	0,5	0,3	0,4	1,5	0,5	1,1	0,9	0,1	0,3
FSJ 06-23	24,7	13,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	52,2	3,0	0,2	0,3	0,3	0,5	1,7	0,7	1,2	1,0	0,2	0,1
FSJ 06-23	24,8	13,7	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0	51,5	3,1	0,2	0,4	0,5	0,4	1,5	0,6	1,3	1,2	0,1	0,4
FSJ 06-23	28,1	14,5	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,0	47,1	2,9	0,4	0,2	0,4	0,3	1,6	0,5	1,2	1,1	0,0	1,1
FSJ 06-23	26,8	14,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0	48,4	3,0	0,4	0,3	0,3	0,3	1,6	0,6	1,4	1,4	0,1	0,9
FSJ 06-23	35,2	15,8	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	38,0	2,1	0,7	0,2	2,0	0,3	1,4	0,5	1,0	0,8	0,0	1,7
FSJ06-25	24,3	13,4	0,0	0,0	0,2	0,1	0,3	0,0	51,6	3,1	0,2	0,5	0,3	0,3	1,5	0,6	1,5	1,6	0,1	0,2
FSJ06-25	25,1	14,3	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,0	50,1	3,1	0,4	0,3	0,3	0,4	1,4	0,7	1,2	1,2	0,1	0,8
FSJ06-25	39,2	14,7	0,0	0,0	0,9	0,0	0,3	0,0	35,7	2,0	0,1	0,8	1,0	0,2	1,3	0,7	1,1	0,9	0,0	0,9
FSJ06-25	27,1	16,5	0,0	0,0	0,3	0,1	0,2	0,0	44,1	2,9	0,0	0,6	3,5	0,0	1,5	0,5	1,1	1,1	0,0	0,4
FSJ06-25	28,2	14,6	0,3	0,0	1,7	0,1	0,3	0,1	44,3	2,2	0,2	1,2	1,2	0,3	1,2	0,7	1,3	1,0	0,2	0,9
FSJ06-25	31,7	12,9	0,0	0,0	4,6	0,1	0,3	0,0	39,1	2,5	0,0	3,4	1,0	0,3	1,3	0,6	1,0	0,7	0,0	0,7
FSJ06-25	26,3	15,7	0,0	0,0	0,4	0,1	0,3	0,0	44,3	2,7	0,1	0,8	4,1	0,1	1,4	0,6	1,3	1,3	0,0	0,5
FSJ06-25	29,3	13,1	0,0	0,0	5,9	0,0	0,3	0,0	39,1	2,3	0,0	3,8	0,3	0,4	1,4	0,8	1,3	1,1	0,0	0,9
FSJ06-25	27,6	14,5	0,0	0,0	0,2	0,1	0,3	0,0	44,9	2,7	0,4	0,3	3,4	0,1	1,5	0,7	1,2	0,9	0,0	1,3

APÊNDICE F – Valores médios dos elementos analisados obtidos de zircões da amostra dos Furos 07 e 09 do GSJJ.

Amostras	O	Si	P	S	Ca	Cu	As	Y	Zr	Nb	Sb	Te	Ba	Ce	Hf	Ta	Hg	Bi	Th	U
FSJ07-36	24,0	13,6	0,0	0,0	0,3	0,1	0,3	0,1	51,6	2,4	0,3	0,6	0,3	0,5	1,7	0,7	1,5	1,7	0,2	0,2
FSJ07-36	23,9	13,7	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,0	53,2	2,5	0,2	0,4	0,3	0,4	1,6	0,7	1,2	1,0	0,2	0,3
FSJ07-36	23,5	13,7	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	53,4	2,6	0,2	0,5	0,4	0,4	1,7	0,7	1,3	1,0	0,2	0,2
FSJ07-36	23,5	13,7	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,1	52,9	2,7	0,3	0,4	0,3	0,4	1,5	0,7	1,5	1,2	0,3	0,2
FSJ07-36	23,1	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	53,6	2,7	0,3	0,3	0,4	0,3	1,9	0,6	1,1	1,2	0,1	0,2
FSJ09-7	23,0	13,8	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,0	53,3	3,3	0,2	0,4	0,3	0,4	1,6	0,6	1,2	1,2	0,2	0,2
FSJ09-7	23,8	13,7	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	53,1	3,1	0,2	0,4	0,3	0,4	1,6	0,5	1,1	1,0	0,2	0,2
FSJ09-7	23,1	13,7	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	53,1	3,3	0,2	0,5	0,3	0,4	1,6	0,7	1,3	1,1	0,1	0,2
FSJ09-7	23,0	13,8	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,1	53,1	3,2	0,2	0,4	0,5	0,4	1,8	0,5	1,3	1,0	0,2	0,1
FSJ09-7	23,1	13,7	0,0	0,0	0,2	0,1	0,3	0,0	53,0	3,2	0,2	0,5	0,3	0,4	1,5	0,6	1,1	1,2	0,3	0,3
FSJ09-7	22,6	14,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	54,2	3,4	0,2	0,3	0,3	0,3	1,6	0,5	1,2	0,9	0,1	0,1
FSJ09-7	22,5	13,8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	53,6	3,3	0,2	0,4	0,4	0,3	1,6	0,7	1,3	1,2	0,2	0,1
FSJ09-14	24,1	13,7	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,0	52,9	3,2	0,2	0,5	0,4	0,4	1,5	0,6	1,0	0,9	0,1	0,2
FSJ09-14	25,9	13,3	0,0	0,0	0,5	0,1	0,3	0,0	50,7	3,1	0,1	0,7	0,2	0,4	1,8	0,5	1,2	0,8	0,1	0,3
FSJ09-14	23,9	13,7	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	53,5	3,4	0,2	0,3	0,3	0,2	1,5	0,4	1,1	0,9	0,1	0,2
FSJ09-14	25,4	13,3	0,0	0,0	0,2	0,1	0,2	0,0	51,5	3,2	0,2	0,4	0,3	0,4	1,6	0,7	1,1	1,1	0,1	0,2
FSJ09-14	24,7	13,6	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	52,8	3,3	0,2	0,4	0,2	0,4	1,5	0,5	1,0	0,8	0,1	0,2

APÊNDICE G – Valores médios dos elementos analisados obtidos de zircões das amostras do Granito Tocantinzinho.

Amostras	O	Si	P	S	Ca	Cu	As	Y	Zr	Nb	Sb	Te	Ba	Ce	Hf	Ta	Hg	Bi	Th	U
01-175	23,17	13,44	0,00	0,00	0,85	0,09	0,29	3,78	46,22	1,04	0,05	0,71	0,35	0,95	4,17	0,50	1,71	1,29	0,10	1,31
01-175	25,53	13,47	0,01	0,00	0,51	0,12	0,33	1,23	49,64	1,52	0,20	0,52	0,31	0,50	2,24	0,53	1,57	1,34	0,10	0,35
01-175	25,62	13,13	0,00	0,00	0,70	0,06	0,32	0,29	51,03	1,84	0,06	0,49	0,39	0,44	2,10	0,55	1,28	1,24	0,15	0,31
01-175	23,83	13,75	0,00	0,00	0,15	0,06	0,33	0,39	53,82	1,88	0,19	0,36	0,30	0,40	1,52	0,60	1,12	0,95	0,15	0,20
01-175	24,47	13,41	0,00	0,00	0,39	0,07	0,29	0,79	51,99	1,68	0,10	0,61	0,41	0,43	1,69	0,65	1,17	1,10	0,41	0,35
01-175	26,98	12,71	0,00	0,00	0,63	0,03	0,28	2,55	47,19	1,79	0,12	0,57	0,39	0,45	1,89	0,54	1,41	1,15	0,19	1,12
01-175	24,05	13,74	0,00	0,00	0,42	0,05	0,27	0,38	52,57	1,89	0,17	0,53	0,25	0,41	2,01	0,55	1,37	0,93	0,10	0,32
04-175	26,22	13,21	0,00	0,00	0,19	0,07	0,22	0,38	51,36	1,79	0,21	0,43	0,33	0,36	1,81	0,62	1,48	0,98	0,17	0,19
04-175	24,66	13,51	0,00	0,00	0,22	0,05	0,21	0,31	52,53	1,97	0,20	0,49	0,33	0,34	2,08	0,62	1,15	1,01	0,15	0,18
04-175	23,73	13,87	0,00	0,00	0,04	0,03	0,19	0,38	54,26	1,78	0,16	0,46	0,30	0,33	1,74	0,58	1,16	0,75	0,11	0,15
04-175	24,28	13,69	0,00	0,00	0,10	0,07	0,26	0,49	53,24	1,86	0,18	0,36	0,28	0,42	1,74	0,51	1,14	1,00	0,20	0,18
04-175	25,88	12,82	0,00	0,00	0,49	0,11	0,32	0,43	49,55	1,79	0,20	0,72	0,25	0,44	2,56	0,80	1,65	1,70	0,09	0,20
04-175	25,05	13,51	0,00	0,00	0,22	0,05	0,20	1,05	52,32	1,73	0,15	0,45	0,24	0,32	1,99	0,45	1,07	0,88	0,11	0,22
04-175	23,22	13,83	0,00	0,00	0,02	0,04	0,17	0,54	55,06	1,83	0,23	0,37	0,26	0,31	1,48	0,61	0,93	0,90	0,08	0,13
08-177	22,96	13,96	0,00	0,00	0,02	0,05	0,23	0,34	54,76	1,97	0,24	0,37	0,23	0,41	1,45	0,48	1,09	1,13	0,18	0,12
08-177	22,72	13,89	0,00	0,00	0,02	0,04	0,16	0,34	54,97	2,03	0,25	0,25	0,37	0,36	1,50	0,61	1,17	1,09	0,13	0,11
08-177	23,77	13,79	0,00	0,00	0,18	0,06	0,24	0,67	53,34	2,06	0,21	0,43	0,27	0,39	1,59	0,60	1,27	0,83	0,13	0,17
08-177	23,99	13,70	0,00	0,00	0,12	0,02	0,29	0,43	53,61	1,89	0,14	0,33	0,28	0,38	1,67	0,68	1,28	0,85	0,19	0,16
08-177	23,04	13,97	0,00	0,00	0,03	0,05	0,27	0,35	54,85	1,96	0,20	0,32	0,37	0,33	1,56	0,47	1,17	0,79	0,18	0,11
08-177	22,48	13,98	0,00	0,00	0,01	0,02	0,27	0,31	55,25	2,03	0,29	0,34	0,30	0,31	1,37	0,56	1,14	1,11	0,12	0,12
05-177	23,56	13,89	0,00	0,00	0,00	0,03	0,18	0,27	54,76	2,07	0,19	0,36	0,25	0,32	1,54	0,55	1,06	0,76	0,07	0,14
05-177	24,10	13,88	0,00	0,00	0,01	0,04	0,18	0,38	54,34	2,02	0,17	0,34	0,19	0,31	1,50	0,50	0,90	0,86	0,11	0,17
05-177	23,90	13,88	0,00	0,00	0,02	0,04	0,19	0,28	54,50	2,07	0,22	0,32	0,27	0,28	1,28	0,45	1,05	1,02	0,10	0,14
05-177	23,53	13,89	0,00	0,00	0,04	0,04	0,18	0,32	54,25	2,07	0,25	0,39	0,27	0,35	1,52	0,57	1,14	0,91	0,14	0,14
04-139	24,83	13,90	0,00	0,00	0,29	0,09	0,25	0,23	52,26	1,92	0,24	0,33	0,29	0,31	1,85	0,53	1,22	1,19	0,14	0,15
04-139	23,80	13,78	0,00	0,00	0,03	0,04	0,30	0,36	53,64	2,08	0,18	0,40	0,34	0,42	1,54	0,57	1,23	1,02	0,13	0,14
04-139	24,29	13,76	0,00	0,00	0,02	0,06	0,22	0,18	53,32	2,08	0,22	0,31	0,26	0,33	1,87	0,59	1,18	0,99	0,14	0,17
04-139	25,22	13,57	0,00	0,00	0,13	0,04	0,24	0,29	52,58	2,05	0,17	0,42	0,30	0,30	1,63	0,57	1,21	0,98	0,12	0,18
04-139	23,38	13,89	0,00	0,00	0,02	0,08	0,25	0,14	54,07	2,23	0,27	0,37	0,37	0,35	1,74	0,52	1,12	0,94	0,11	0,17
04-139	23,44	13,83	0,00	0,00	0,01	0,03	0,20	0,17	53,84	2,11	0,28	0,28	0,27	0,48	1,78	0,66	1,33	1,03	0,14	0,13