

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

PETROLOGIA DOS TOPÁZIO RIÓLITO PÓRFIRO E TOPÁZIO GRANITO PÓRFIRO
DO MORRO BOM FUTURO, MINA BOM FUTURO, RONDÔNIA

Matheus Ramos Ciotta

Prof. Dr. Washington Barbosa Leite Junior (orientador)

Prof. Dr. Jorge Silva Bettencourt (coorientador)

Rio Claro (SP)

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

MATHEUS RAMOS CIOTTA

PETROLOGIA DOS TOPÁZIO RIÓLITO PÓRFIRO E TOPÁZIO
GRANITO PÓRFIRO DO MORRO BOM FUTURO, MINA BOM
FUTURO, RONDÔNIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Rio Claro - SP

2019

C576p

Ciotta, Matheus Ramos

Petrologia dos topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro do morro Bom Futuro, mina Bom Futuro, Rondônia / Matheus Ramos Ciotta. -- Rio Claro, 2019

69 f. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geologia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: Washington Barbosa Leite Junior

Coorientador: Jorge Silva Bettencourt

1. Geology. 2. Geologia Econômica. 3. Granito. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

MATHEUS RAMOS CIOTTA

PETROLOGIA DOS TOPÁZIO RIÓLITO PÓRFIRO E TOPÁZIO GRANITO
PÓRFIRO DO MORRO BOM FUTURO, MINA BOM FUTURO,
RONDÔNIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual
Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção
do grau de Geólogo.

Comissão Examinadora

Washington Barbosa Leite Junior (orientador)

Antenor Zanardo

Antonio Misson Godoy

Rio Claro, 26 de Novembro de 2019.

Assinatura do aluno

assinatura do orientador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais, Mario e Rosana, por todo o amor e apoio, que tornaram possível essa minha graduação. À minha irmã, Mariana, por todo o auxílio ao longo desse curso e de quem, de agora em diante, serei colega de profissão.

Agradeço ao professor Washington que, desde meu segundo ano de graduação, me acolheu como orientando e amigo e que me possibilitou a oportunidade única de conhecer o estado de Rondônia, quanto à sua geologia e cultura. Minha atual graduação como geólogo não seria a mesma sem você, que tanto me fez evoluir como pessoa e profissional.

À Suelen Portughesi da Mata, a quem sou grato todos os dias por ter conhecido. Agradeço imensamente pela companhia nos altos e baixos pelo qual passei durante essa graduação. Por tudo que me ensinou e me permitiu ensinar, por todos os momentos, do acordar ao dormir. Te amo <3.

Aos amigos da república Kaizuka, sobretudo aos que à proclamaram junto comigo! André Ponce Figols (Ponce), Bruno Santiago Avelar Cuellar (Beck), Gustavo Battaglini Job (Job), Matheus Mistrinel Pacine Feitoza do Nascimento (Bigode), Otávio Sant'ana Gonçalves Silva (Toto), Renan de Salles Flores Garcia Ferraz (Mundrongo) e Rodrigo Esteves Rocha (Silte/Silvio) e é claro, dona Joseja! Aos agregados que passaram tanto tempo nessa casa: Su, Mari, Peteca, Lara, Amanda, Prozac, Caxaxa, Laura, Luciana. Sou enormemente grato a todos vocês, que fizeram cada manhã, tarde e noite valerem a pena. Dos rolês no tempo de kitnet às conversas absurdas na cozinha. Dos aniversários regados à muito comida e canções em diferentes idiomas aos momentos de conversa séria e conselhos. Obrigado por terem passado em minha vida e pelas memórias inesquecíveis.

À turma XLVI do curso de graduação em geologia da UNESP (Turmalinda!) e agregados, por esses cinco anos inesquecíveis de minha vida que não seriam os mesmos sem vocês.

Aos amigos com quem tive o prazer de dividir ônibus, estágios, laboratórios de pesquisa e outros momentos de discussões sobre geologia, Rondônia e coisas da vida: Vanderlei, Prozac, Caique e todos os demais de nosso grupo de pesquisa.

Aos professores Antenor Zanardo e Antônio Misson Godoy pelas discussões acerca deste trabalho e a todos os demais professores com quem tive aula e troquei experiências, que

me possibilitaram chegar onde estou e me formar como geólogo. Aos técnicos e servidores da UNESP que, cada um de sua forma, me auxiliaram a chegar até aqui.

À SEG e ao EGRIC, grupos extracurriculares dos quais tive o prazer de participar, por ajudar em minha complementação como pessoa e profissional.

Aos amigos dos tempos de Valribeira e do Lolzin, com os quais sempre mantive contato e a jogatina em dia! Bruno, Khin, Gustavo e Pixu.

Cada um aqui citado me marcou e me moldou de alguma forma nesses cinco anos de graduação. Desejo tudo que há de bom para o que vem a seguir em suas vidas.

Resumo

A mina Bom Futuro possui a segunda maior reserva e produção de estanho do Brasil, com cerca de 192.000 toneladas produzidas desde sua descoberta em 1987. A mina está localizada no município de Ariquemes, na porção centro-norte do estado de Rondônia e congrega os morros Bom Futuro e Palanqueta e áreas aplainadas adjacentes. O morro Bom Futuro reúne as principais frentes de lavra de minério primário da mina, onde afloram gnaisses e anfibolitos do embasamento, diques de sienito e traquito, brechas polimíticas sob forma de *pipe*, diques de topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro, lentes de pegmatito e veios de quartzo estaníferos e vênulas tardias com quartzo, calcita, fluorita e sulfetos. Os pórfiros graníticos com topázio (topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro) e os pórfiros sieníticos são incluídos, respectivamente, nas subsuítas tardias subalcalina/peraluminosa e alcalina/peralcalina da Suíte Intrusiva Granitos Últimos de Rondônia (998 - 974 Ma). No morro Bom Futuro, as relações de contato definem uma sequência temporal entre os pórfiros: pórfiros sieníticos, topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro. O topázio riólito pórfiro ocorre sob a forma de diques anelares, com espessuras (< 10 m) e atitudes variadas, nas porções leste e norte do morro. O contato com as rochas hospedeiras é abrupto, localmente com a presença de brechas tanto no endocontato como no exocontato. O topázio granito pórfiro corta todas as litologias presentes no morro, com exceção do pegmatito e veios de quartzo da segunda fase e das vênulas tardias. Os diques de topázio granito pórfiro são anelares e radiais com contatos abruptos com as rochas encaixantes, por vezes com brechas, e localmente, contém pegmatitos subhorizontais (*stockscheider*) e bolsões de endogreisen. Os pórfiros graníticos com topázio são leucocráticos, com textura porfirítica caracterizada por fenocristais de quartzo e microclínio com textura bola de neve e albita em matriz de granulação fina a muito fina composta, essencialmente, pelos mesmos minerais acima mais topázio, Li-mica e fluorita. Agregados de sulfetos (pirita, esfalerita e galena) de alguns centímetros conferem localmente um aspecto mosqueado à rocha. Geoquimicamente, os pórfiros graníticos com topázio são rochas peraluminosas e apresentam características de granitos tipo-A, intraplaca e de granitos altamente diferenciados e especializado em metais raros. Apresentam padrão de distribuição de ETRs com fraco a inexistente enriquecimento em ETRL sobre ETRP e moderada anomalia negativa de európio. O topázio granito pórfiro apresenta características que sugerem uma maior diferenciação em relação ao topázio riólito pórfiro. A gênese desses pórfiros se deve a combinação de processos magmáticos (ex: cristalização fracionada) e hidrotermais.

Palavras-Chave: Topázio riólito pórfiro, Topázio granito pórfiro, mina Bom Futuro

Abstract

The Bom Futuro mine has the second largest tin reserve and production in Brazil, with about 192,000 tons produced since its discovery in 1987. The mine is located in the county of Ariquemes, north-central region of Rondonia State, and brings together two adjacent hills called Bom Futuro and Palanqueta and adjacent planed areas. The main primary mining front is located in the Bom Futuro hill, where are recognized gnaisses and amphibolites from the basement, syenite and trachyte dykes, pipe breccias, topaz rhyolite porphyry and topaz granite porphyry dykes, staniferous pegmatite lenses and quartz veins, and later quartz, calcite, fluorite and sulphide veinlets. Topaz granitic porphyry (topaz rhyolite porphyry and topaz granite porphyry) and syenitic porphyry are included, respectively, in the late subalkaline/peraluminous and alkaline/peralkaline subsuites of the Intrusive Suite Younger Granites of Rondonia (998 - 974 Ma). In the Bom Futuro Hill, contact relations define a temporal sequence between porphyry: syenitic porphyry, topaz rhyolite porphyry and topaz granite porphyry. The topaz rhyolite porphyry occurs as ring dikes, with diferente thicknesses (<10 m) and attitudes in the eastern and northern portions of the hill. Contact with host rocks is abrupt, sometimes with breccias in both endocontact and exocontact. Topaz granite porphyry cut all the remain lithologies in the hill, except for pegmatites and quartz veins of the second phase and later veinlets. The topaz granite porphyry occurs as ring and radial dikes, with abrupt contact with the host rocks, sometimes with breccias, and locally, contain subhorizontal pegmatites (*stockscheider*) and endogreisen pockets. The topaz granitic porphyry are leucocratic and porphyritic in texture, with quartz and microcline phenocrystals showing snowball texture and albite, in fine to very fine grained matrix composed essentially of the same minerals besides topaz, Li-mica and fluorite. Sulphide aggregates (pyrite, sphalerite and galena) of a few centimeters locally give a mottled appearance to the rock. Geochemically, topaz granitic porphyry are peraluminous rocks and have characteristics of A-type granites, within plate, highly differentiated and rare-metal granites. Topaz granitic porphyry have weak to non-existent LREE enrichment over HREE and moderate negative europium anomaly. Topaz granite porphyry presents characteristics that suggest a greater differentiation from topaz rhyolite. The genesis of these porphyries is due to the combination of magmatic (eg fractional crystallization) and hydrothermal processes.

Keywords: Topaz rhyolite porphyry, Topaz granite porphyry, Bom Futuro mine

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Produção Brasileira de Estanho - 1980 – 1997. Extraído de DNPM, 2001	14
Figura 1.2. Mapa da localização da mina de Bom Futuro	15
Figura 1.3. Domínios geomorfológicos para o estado de Rondônia, com destaque para a mina Bom Futuro. Modificado de CPRM (2010).	17
Figura 1.4. Distribuição dos tipos climas no Brasil segundo a classificação de Köppen-Geiger, com destaque para o estado de Rondônia. Modificado de Peel et al. (2007).	18
Figura 1.5. Bacias hidrográficas do estado de Rondônia, com destaque para os rios Madeira e Candeias e para a localização da mina Bom Futuro. Modificado de Rondônia (2002).	18
Figura 3.1 Distribuição das províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico com base em Tassinari e Macambira 1999 (extraído e modificado de Tassinari & Macambira 2004) e localização da Província Estanífera de Rondônia.....	23
Figura 4.1. Mapa geológico simplificado do distrito Bom Futuro (Modificado de Souza, 2003, segundo Dias, 2012)	31
Figura 4.2. Aspectos gerais das rochas do Complexo Jamari na área de estudo. A) Paragnaisse acinzentado; B) Dobras parasíticas em gnaisse; C) Ortognaisse róseo com aparente transposição de foliação; D) Anfibolito verde escuro a preto.	32
Figura 4.3. Mapa geológico simplificado do morro Bom Futuro, com amostras representativas de cada litologia. Extraído e modificado de Leite Junior et al. (2003).....	34
Figura 4.4. Aspectos gerais das rochas intrusivas intermediárias do morro Bom Futuro. A) Melassienito pórfiro com textura porfirítica; B) Contato brusco entre melassienito (a direita) e gnaisse (a esquerda).....	35
Figura 4.5. Aspectos gerais da brecha subvulcânica. Brechas sustentadas por clastos angulosos de diferentes granulações, A) de seixo a calhau e B) de grânulo a seixo.....	35
Figura 4.6. A) Veio pegmatito em brecha subvulcânica; B) Detalhe de zona granítica de veio pegmatito do morro Bom Futuro.....	36
Figura 5.1. Aspectos geológicos dos topázio riólito pórfiro. A) e B) Diques subverticais de topázio riólito pórfiro cinza no morro Bom Futuro; C) Dique de topázio riólito pórfiro cortado por veios pegmatitos centimétricos; D) <i>Network-veined breccia</i> no exocontato de dique de topázio riólito pórfiro. Fragmentos de gnaisse encaixante.....	37
Figura 5.2. A) Estrutura de fluxo em topázio riólito; B) Enclave de gnaisse (> 30cm) em dique de topázio riólito; C) Enclaves centimétricos de quartzo vítreo e anguloso; D) Fragmentos de quartzo, granito equigranular róseo e aglomerados micáceos orientados em topázio riólito...38	38

Figura 5.3. Diagrama QAP (Quartzo, Feldspato alcalino e Plagioclásio) com a composição modal estimada para os topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro do morro Bom Futuro.	40
Figura 5.4 Aspectos petrográficos macroscópicos do topázio riólitos pórfiros. A) Cinza porfirítico com estrutura maciça; B) Cinza rosado com estrutura xenolítica (brecha intrusiva); C) Cinza porfirítico com estrutura fluidal; D) Cinza porfirítico com aspecto manchado.	41
Figura 5.5. Aspectos petrográficos microscópicos do topázio riólito pórfiro a nicóis cruzados. A) Textura porfirítica com sutil anisotropia denotada por fenocristais de albita e quartzo sutilmente orientados; B) Fragmento de granito róseo em topázio riólito pórfiro. A nicóis descruzados; C) Fluorita no interstício de fenocristais de albita e topázios da matriz; D) Mineral opaco anédrico sob forma alongada. Legenda: Qz-quartzo, Plg-plagioclásio/albita, Fk-feldspato potássico/microclínio, Mic-micas, Tpz-topázio, Fl-fluorita.....	42
Figura 5.6. Aspectos petrográficos macroscópicos do topázio granito pórfiro. A) Róseo porfirítico com estrutura maciça; B) Cinza porfirítico com estrutura fracamente bandada; C e D) cinza porfirítico com estrutura maciça e aspecto manchado.....	44
Figura 5.7. Aspectos microscópicos do topázio granito pórfiro. A) Fenocristais de quartzo com textura bola de neve. B) Matriz granítica com textura inequigranular seriada. C) Fenocristal de microclínio com geminação em grade e inclusões. Cristais de topázio em vênula no contato fenocristal/matriz. D) Fluorita preenchendo planos de geminação da albita. Legenda: Qz-quartzo, Plg-plagioclásio/albita, Fk-feldspato potássico/microclínio, Mic-micas, Tpz-topázio, Fl-fluorita.....	45
Figura 5.8. Diagrama de Harcker (1909) para o topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro do morro Bom Futuro.....	48
Figura 5.9. Diagramas de A) e B) elementos maiores baseados na classificação de granitoides de Frost et al. (2001) e C) e A/CNK versus A/NK de Shand (1943) para o topázio riólito pe topázio granito pórfiro do morro Bom Futuro´.	49
Figura 5.10. Diagramas de classificação de Whalen et al. (1987) para o topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro do morro Bom Futuro.....	49
Figura 5.11. Diagrama de classificação tectônica de granitoides de Pearce et al. (1984) para o topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro do morro Bom Futuro.	49
Figura 5.12. Diagrama ternário Rb-Ba-Sr de El Bouseily e El Sokkary (1975) para o topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro do morro Bom Futuro.	50
Figura 5.13 A) composição normativa Q-Ab-Or. Ternário mínimo úmido (*) a 1 Kbar e com 0, 1, 2 e 4% de flúor de Turtle & Bowen (1958, em Manning 1982) e de Manning (1982),	

respectivamente; e de variação de Nb/Ta em função de Ta em B e Zr/Hf em C, com campos delimitados por Ballouard et al. (2016). Campos em amarelo representam os granitos do morro Palanqueta de Foster (2016).51

Figura 5.14. A e B) Diagramas multi-elementares normalizados pelo condrito Thompson et al., (1982); C e D) Padrão de ETR normalizado pelo condrito de Boynton (1984) para os pórfiros graníticos com topázio do morro Bom Futuro. Campos em amarelo representam à fácies topázio-zinnwaldita-álcali feldspato granito pórfiro do morro Palanqueta de Foster (2016)...52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	IMPORTÂNCIA HISTÓRICA DA MINA BOM FUTURO.....	13
1.2	LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE ESTUDO	15
1.3	ASPECTOS SÓCIO ECONÔMICOS	16
1.4	ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....	16
1.5	OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA.....	19
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
2.1	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA E INVENTÁRIO DAS INFORMAÇÕES.....	20
2.2	RECONHECIMENTO DA ÁREA.....	20
2.3	PESQUISA LABORATORIAL	21
2.4	TRATAMENTO E INTERPRETAÇÃO DAS INFORMAÇÕES OBTIDAS.....	21
3	GEOLOGIA REGIONAL.....	22
3.1	SUDOESTE DO CRÁTON AMAZÔNICO	23
3.1.1	Província Rio Negro-Juruena	24
3.1.2	Província Rondoniana-San Ignácio	24
3.1.3	Província Sunsas-Aguapeí.....	25
3.2	PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE RONDÔNIA.....	25
3.2.1	Complexo Jamari.....	26
3.2.2	Suítes Intrusivas.....	28
4	GEOLOGIA DA MINA BOM FUTURO.....	30
4.1	COMPLEXO JAMARI.....	31
4.2	SUÍTE INTRUSIVA GRANITOS ÚLTIMOS DE RONDÔNIA	33
4.2.1	Morro Palanqueta	33
4.2.2	Morro Bom Futuro	33
5	RESULTADOS	37
5.1	GEOLOGIA.....	37

5.2	PETROGRAFIA	40
5.2.1	Topázio Riólito Pórfiro.....	41
5.2.2	Topázio Granito Pórfiro.....	43
5.3	LITOGEOQUÍMICA.....	46
6	DISCUSSÃO.....	53
7	CONCLUSÃO.....	57
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

1 INTRODUÇÃO

O estanho tem diversas aplicações industriais, desde o revestimentos de placas metálicas (estanhagem), que confere propriedades antioxidantes ao material, à formação de ligas com outros metais, principalmente para a fabricação de solda. Também é usado em produtos químicos, como em tintas e plásticos, e de alta tecnologia, como nas telas sensíveis ao toque de aparelhos eletrônicos.

A cassiterita (SnO_2) é a única fonte comercialmente importante de estanho, e sua gênese remete a processos de diferenciação magmática, associada a rochas graníticas. Também são comuns, e economicamente viáveis, os depósitos de cassiterita do tipo placer, formados a partir da erosão dos depósitos primários e acumulação devido a densidade e resistência do mineral.

As mineralizações primárias de estanho são associadas a magmas mais evoluídos, ricos em voláteis, álcalis e elementos incompatíveis, com assinaturas geoquímicas típicas de granitos do tipo S ou A (BOWDEN, 1981; MANNING, 1986; LEHMANN, 1990; SAWKA et al., 1990; AUDÉTAT et al., 2000; ISHIHARA & MURAKAMI, 2006; MOURA et al., 2014), comumente relacionadas a granitos peraluminosos com topázio (RAIMBAULT et al., 1995)

Os topázio granitos são rochas raras no registro geológico e, além de sua importância petrológica, estão frequentemente associadas no espaço e no tempo com depósitos primários de Sn-W e Ta-Sn (POLLARD & TAYLOR, 1991; TAYLOR, 1992). A ocorrência destas rochas altamente evoluídas em corpos graníticos do tipo A é comum em diversas províncias pós-orogênicas e anorogênicas pelo mundo (EXLEY, 1958; MOURA & BOTELHO, 2000; AUDÉTAT et al., 2000; ŠTEMPROK et al., 2005; HAAPALA et al., 2007; LUKKARI et al., 2009; GU et al., 2011).

A mina Bom Futuro reúne algumas variedades de topázio granitos, associados espacialmente e temporalmente à ao menos duas fases de mineralização primária de estanho metais associados (Nb, Ta, Zn, Cu, Pb) em veios pegmatito e de quartzo. Os trabalhos acerca da geologia e metalogenia da mina Bom Futuro passam a ter destaque a partir da década de 90 (ver p. ex., SILVA et al., 1995; VILLANOVA & FRANKE, 1995; SANTOS & LEITE JÚNIOR, 1998; SOUZA & BOTELHO, 2002; LEITE JÚNIOR, 2003; LEITE JÚNIOR et al., 2001, 2002a, b, 2004, 2005, 2006, 2008; OLIVEIRA et al., 2002; BARRETO, 2010; DIAS, 2012; FOSTER, 2016). O presente trabalho busca reunir os aspectos geológicos (forma de

ocorrência, relações de contato, estrutura interna), petrográficos e litogeoquímicos dos pórfiros graníticos com topázio do Morro Bom Futuro.

1.1 IMPORTÂNCIA HISTÓRICA DA MINA BOM FUTURO

A cassiterita é o principal mineral de minério de estanho (Sn) e sua primeira referência histórica de ocorrência no Brasil data de 28 de fevereiro de 1765, em uma Carta Régia que conferiu a Domingos Ferreira o direito de pesquisar o mineral na Comarca de São Paulo. No entanto, os primeiros registros de extração do minério de estanho no país são de 1903, em aluviões do rio Camaquã, no município de Encruzilhada do Sul (RS).

As primeiras descobertas de ocorrência de cassiterita em Rondônia datam de 1952, nas terras abandonadas do seringalista Joaquim Pedro da Rocha (Macedo, 1975). A descoberta atraiu trabalhadores de outras atividades do setor primário e garimpeiros de outras regiões do país e, durante as décadas de 1960 e 1970, provocou um crescimento de 70% da população do território (MACEDO, 1975). A mecanização da lavra se consolidou somente a partir de 1970, o que resultou no aumento da produção e relevância econômica do recurso mineral para o estado.

Atualmente, as principais reservas de estanho do Brasil estão localizadas nos estados do Amazonas, Rondônia e Pará (Tabela 1). A importância da região Norte para a produção nacional do metal remonta à década de 1980, com dois surtos de crescimento de produção devido à descoberta das jazidas de classe internacional de Pitinga, no Amazonas, e Bom Futuro, em Rondônia (figura 1.1), que projetaram o Brasil como o maior produtor de estanho mundial durante o triênio 1988-1990 (DNPM, 2001).

Segundo Prandi (1990) a cassiterita de Bom Futuro foi descoberta em 1987 durante a ocupação da linha C-75 do INCRA, referente a um dos projetos de assentamento agrário promovidos por aquela instituição. Em outubro de 1987 a área foi ocupada por grandes contingentes de garimpeiros, que iniciaram a produção em pequenos aluviões e leques coluviais, valendo-se da pouca água no local. Em maio de 1990 os direitos minerários da MS Mineração Ltda. foram incorporados à Empresa Brasileira de Estanho Ltda., constituída também do Grupo Paranapanema. Desde 2001 a mina é operada pela COOPERSANTA - Cooperativa dos Garimpeiros de Santa Cruz Ltda., com uma produção média anual da ordem de 3.000 t de estanho.

Recursos	Minério (t)	Teor (kg/t)	Sn-contido (t Sn)
BRASIL*	1.051.102.220	0,564	592.597
Primário	453.156.627	1,018	461.500
Secundário	597.945.593	0,219	131.097
RESERVAS LAVRÁVEIS			
AMAZÔNIA	381.577.331	0,956	364.800
Amazonas	224.709.805	1,425	320.273
Primário	202.937.434	1,501	304.708
Secundário	21.772.371	0,715	15.565
Rondônia	145.810.534	0,293	42.668
Primário	12.732.314	0,227	2.896
Secundário	133.078.220	0,299	39.773
Pará	11.056.992	0,168	1.858
Primário	5.518.368	0,236	1.303
Secundário	5.538.624	0,100	556

Tabela 1. Recursos e reservas de estanho, com base no ano de 2008. Extraído de AMB, 2009

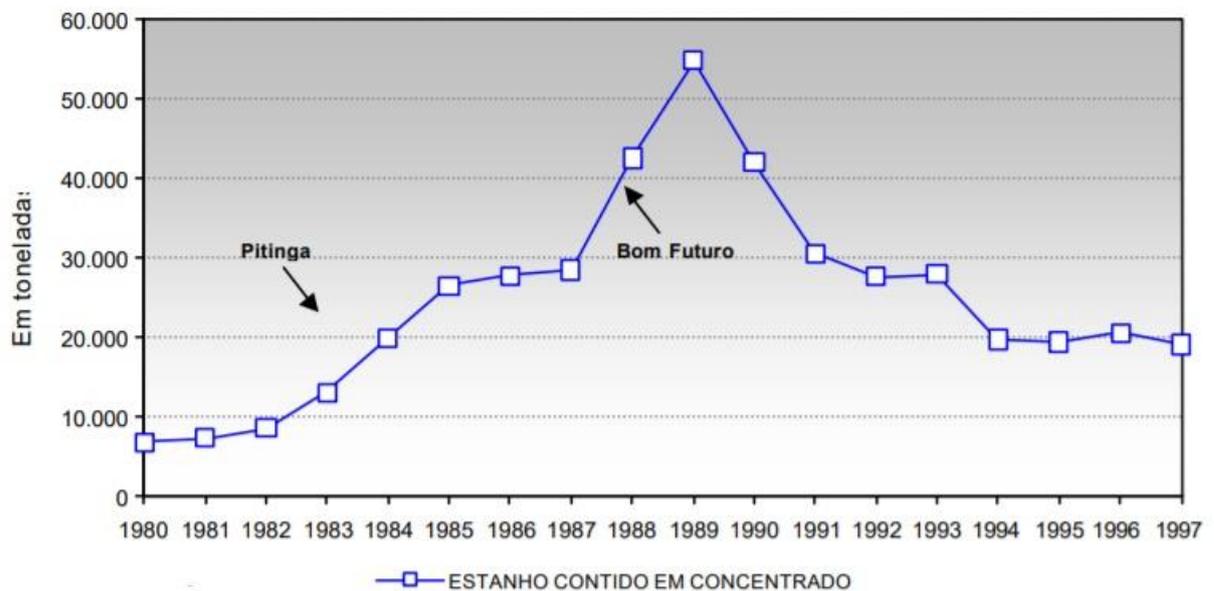


Figura 1.1. Produção Brasileira de Estanho - 1980 – 1997. Extraído de DNPM, 2001

A mina Bom Futuro possui a segunda maior reserva e produção de estanho do Brasil, com cerca de 192.000 toneladas produzidas desde sua descoberta, em 1987. A região de Ariquemes, considerando outros depósitos, produziu cerca de 3% de toda a oferta mundial de estanho nos últimos 30 anos. A cassiterita do morro Bom Futuro tem cerca de 60% de seu teor

em Sn. Atualmente, no ano de 2019, o preço do estanho no mercado internacional é de aproximadamente \$20.000,00/tonelada.

1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE ESTUDO

A mina Bom Futuro está localizada na porção centro-norte do estado de Rondônia (figura 1.2), no distrito Bom Futuro, inserida na Folha Topográfica Alto Candeias (SC.20-V-D-V), na escala 1:100.000, da Diretoria de Serviço Geográfico do Ministério do Exército. O distrito situa-se a 75 km a NW da cidade de Ariquemes e a cerca de 200 km ao sul da capital Porto Velho.

O acesso a mina é feito a partir da cidade de Ariquemes, por cerca de 27 Km pela BR-364, sentido Porto Velho, tomando a saída pela BR-459 até a estradas secundárias não pavimentadas B-40, rumo ao sul até a estrada secundária C-80. Da última, segue-se a oeste até a estrada B-20, que levará até a estrada secundária C-75, a qual, rumo a oeste, leva ao distrito Bom Futuro. A mina dista cerca de 4 Km da vila e o acesso é feito por estrada de terra de tráfego permanente.

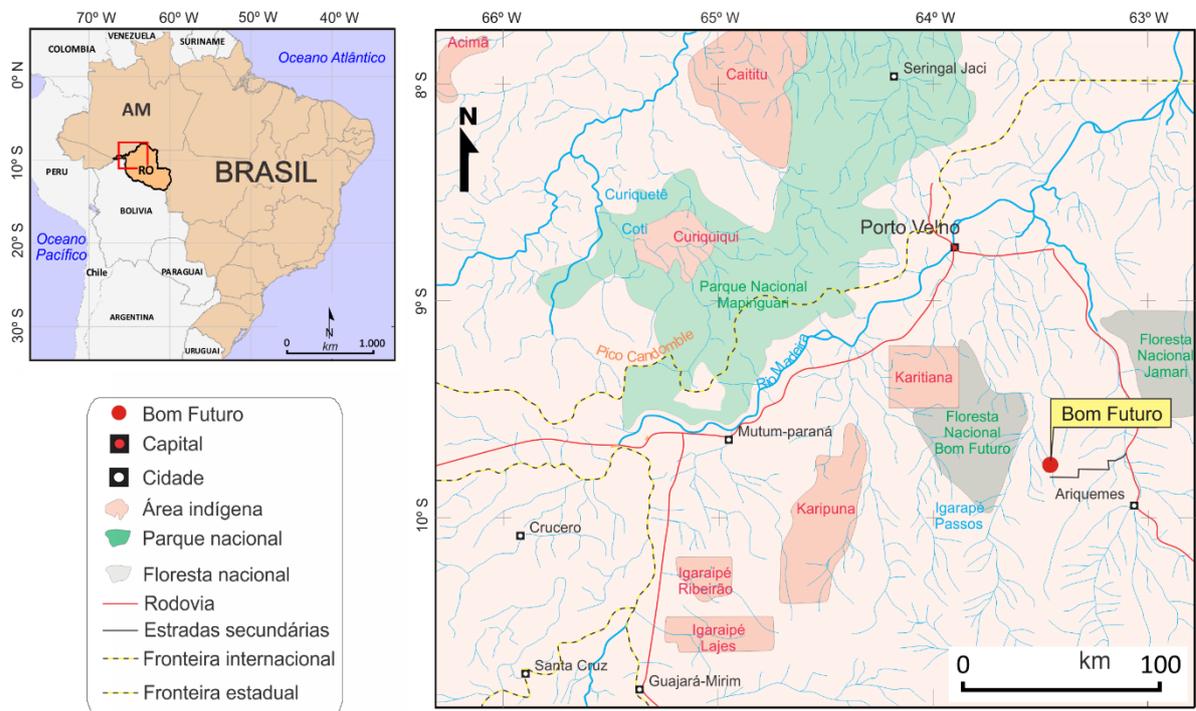


Figura 1.2. Mapa da localização da mina de Bom Futuro

1.3 ASPECTOS SÓCIO ECONÔMICOS

O estado de Rondônia tem uma população estimada em 1.757.589 habitantes com cerca de 6,28 hab/km² (IBGE, 2018a). O rendimento nominal mensal domiciliar per capita da população é de 1.113,00 R\$, sendo a agricultura, pecuária, indústria alimentícia e o extrativismo vegetal e mineral os principais setores responsáveis pela renda (IBGE, 2018b). O estado é o terceiro mais rico da Região Norte, responsável por 11% do PIB da região, e possui IDH 0,725 (IPEA, 2017) e índice de alfabetização de 93,3% (IBGE, 2012), 19° e 14° do Brasil, respectivamente.

O estado tem cerca de 237.765,233 km², sendo Ariquemes a terceira maior cidade, com 4.426,00 km² (IBGE, 2011) e um dos maiores polos de educação superior da região. O município de Ariquemes tem o 4° maior PIB de Rondônia, com R\$ 1.005.152,296 mil (IBGE, 2008) e um IDH alto de 0,702 (PNUD, 2013). A economia do município depende da pecuária, da produção de café, cacau, guaraná e cereais, e ainda de minas e garimpos de cassiterita (IBGE, 2008).

1.4 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

Conforme CPRM (2010), o estado de Rondônia pode ser dividido em nove domínios geomorfológicos: (1) Planície Fluvial dos Rios Madeira-Mamoré-Guaporé, (2) Depressão do Rio Guaporé, (3) Tabuleiros da Amazônia Centro-Occidental, (4) Superfícies Aplainadas do Sul da Amazônia, (5) Planaltos Dissecados do Sul da Amazônia, (6) Planaltos Sedimentares do Sul da Amazônia, (7) Planalto dos Rios Roosevelt-Aripuanã, (8) Depressão de Pimenta Bueno e Planalto e (9) Chapada dos Parecis (Figura 1.3).

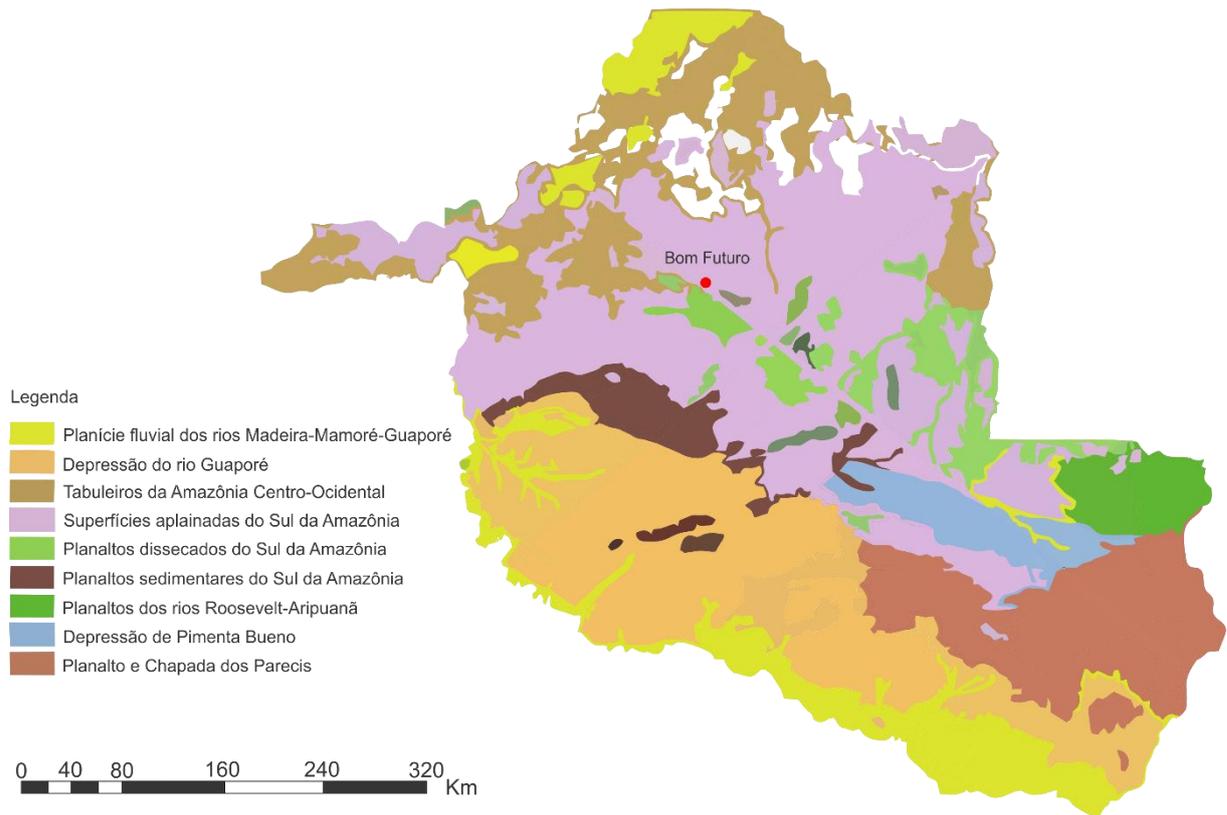


Figura 1.3. Domínios geomorfológicos para o estado de Rondônia, com destaque para a mina Bom Futuro. Modificado de CPRM (2010).

O município de Ariquemes está situado em uma região com variação de altitude entre 100 e 300 metros, dentro do domínio de Superfícies Aplainadas do Sul da Amazônia. Este domínio ocupa toda a porção central do estado de Rondônia, estendendo-se para noroeste até a Ponta do Abunã-Extrema-Nova Califórnia (CPRM, 2010), e é caracterizado por extensas áreas aplainadas, com colinas de baixa amplitude, mas apresentam algumas feições residuais como *inselbergs* e pequenas cristas ou baixos de alinhamentos de morrotes. Tais formas residuais estão associadas essencialmente às rochas pertencentes à suítes intrusivas proterozoicas.

O clima do estado de Rondônia é tropical úmido e quente, com pouca variação de temperaturas ao longo do ano, mas notáveis durante o dia (RONDÔNIA, 2002). Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o estado apresenta essencialmente os tipos Aw e As, ambos tropicais savânicos (figura 1.4). A área de estudo está inserida uma região de clima Aw, caracterizada por dois períodos definidos de seca no inverno (junho a agosto) e chuvas no verão (outubro a abril). A temperatura média anual da região é de 25°C, com pluviosidade média anual de 2181 mm, com cerca de 90% das chuvas no verão.

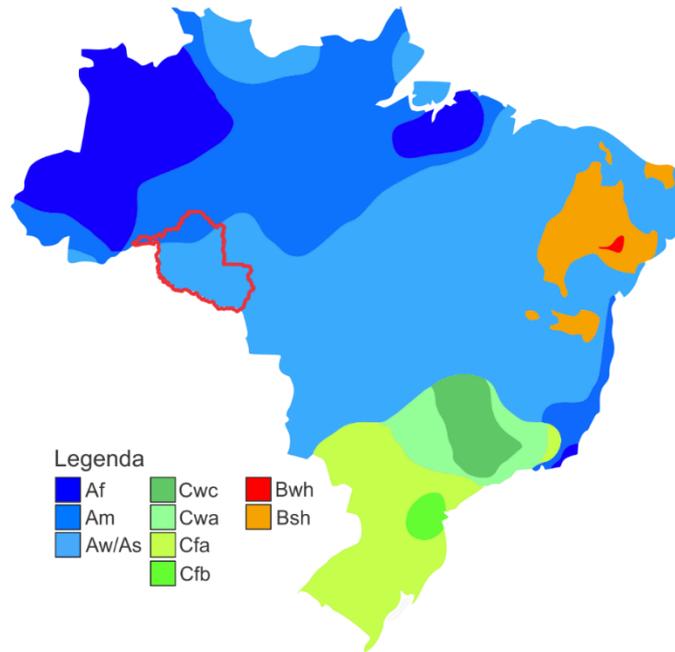


Figura 1.4. Distribuição dos tipos climas no Brasil segundo a classificação de Köppen-Geiger, com destaque para o estado de Rondônia. Modificado de Peel et al. (2007).

Quanto a hidrografia, o estado de Rondônia têm como principal bacia a do rio Madeira, que é integrada por cinco bacias tributárias principais (figura 1.5): Mamoré, Guaporé, Abunã, Jamari e Machado, além da bacia do rio Roosevelt, no sudeste do estado (RONDÔNIA, 2002). A cidade de Ariquemes é rodeada pelos rios Jamari, responsável pelo abastecimento de água no município, Canaã e Rio Branco, ao norte da cidade, além de pequenos igarapés. A mina Bom Futuro está próxima ao igarapé Santa Cruz, tributário do rio Candeias, inserido na bacia do rio Jamari.

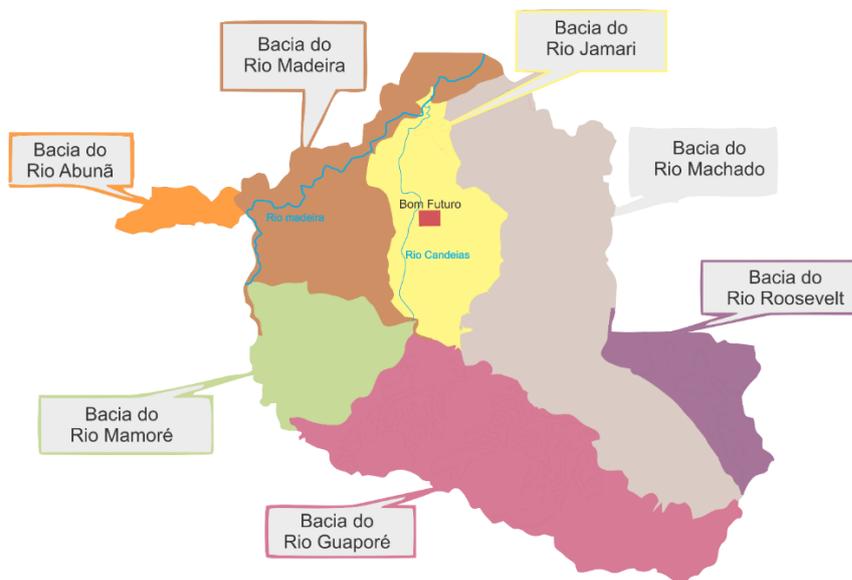


Figura 1.5. Bacias hidrográficas do estado de Rondônia, com destaque para os rios Madeira e Candeias e para a localização da mina Bom Futuro. Modificado de Rondônia (2002).

1.5 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

O presente trabalho tem como objetivo a revisão e homogeneização de informações prévias acerca dos topázio granito pórfiro e topázio riólito pórfiro do Morro Bom Futuro e a adição de novos dados e interpretações sobre a gênese e evolução dessas rochas.

Topázio granitos são rochas raras no registro geológico e sua ocorrência é frequentemente associada, no espaço e no tempo, a depósitos de metais raros. A mina Bom Futuro apresenta uma qualidade de exposição singular dessas litologias em todo o mundo, que permite a observação de diferentes corpos e variações laterais e verticais dos topázio granitos, em função do constante avanço das frentes de lavras. Sendo assim, o local de estudo apresenta uma ótima oportunidade para a melhor compreensão das relações entre topázio o granito pórfiro e topázio riólito pórfiro, bem como a evolução do sistema magmático-hidrotermal associado a estes no Brasil e no mundo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida nas seguintes etapas de trabalho: 1) pesquisa bibliográfica; 2) reconhecimento da área; 3) pesquisa laboratorial; e 4) tratamento e interpretação das informações obtidas.

2.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA E INVENTÁRIO DAS INFORMAÇÕES

Nessa etapa foi realizada uma compilação bibliográfica sobre a geologia regional, com ênfase para a Província Estanífera de Rondônia (PER), e local da área de estudo. Também foi feito um levantamento bibliográfico sobre as características geológicas, petrográficas e litogeoquímicas de topázio granitos associados a granitos tipo A e intraplaca no Brasil e no mundo, visando a obtenção de parâmetros comparativos para a área de estudo.

Nessa etapa também ocorreu a integração das informações geológicas de trabalhos anteriores na área, como mapas, fotos, amostras coletadas, lâminas delgadas e análises litogeoquímicas. Para fins de convenção e homogeneização da classificação nominal das litologias estudadas, foram adotados os termos topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro para designar os álcali feldspato granito com topázio do morro Bom Futuro, conforme a nomenclatura utilizada em outras suítes semelhantes ao redor do mundo (ex. PICHAVANT & MANNING, 1984; TAYLOR & FALLICK, 1997). O termo pórfiros graníticos com topázio foi adotado para se referir à ambas as classes de pórfiros do morro Bom Futuro.

2.2 RECONHECIMENTO DA ÁREA

Foi realizada em duas etapas, durante os dias 14 de fevereiro a 01 de março de 2017 e entre 06 e 27 de julho de 2018. Durante as atividades de campo, foi feito o reconhecimento das litologias, estruturas e texturas descritas nas referências bibliográficas de trabalhos anteriores, bem como a descrição de afloramentos dos pórfiros graníticos com topázio, com coleta de amostras para os estudos de laboratório.

2.3 PESQUISA LABORATORIAL

Essa etapa exigiu uma maior carga de tempo, na qual as amostras coletadas durante o campo e as amostradas inventariadas de trabalhos anteriores foram então identificadas, e submetidas às seguintes análises:

- Descrição petrográfica macroscópica de 49 amostras de mão coletadas em etapas de campo de trabalhos anteriores, para reconhecimento de parte da mineralogia, estruturas e texturas macroscópicas para posterior análise de detalhe.
- Descrição petrográfica de 29 lâminas delgadas polidas de rochas, ressaltando os arranjos texturais e as associações minerais, realizadas no Laboratório de Microscopia do Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE-UNESP, Campus de Rio Claro, com utilização de microscópio petrográfico binocular sob luzes transmitida. Nessa etapa, foi utilizado o microscópio binocular de luz polarizada da marca ZEISS modelo Axioskop 40 com objetivas de 5; 10; e 40x, do DPM - IGCE. As fotomicrografias obtidas por uma máquina fotográfica CANON modelo EOS 5D MARK II, com zoom de 4x acoplada ao microscópio.
- Preparação de amostras para análises litogeoquímicas realizadas no Laboratório de Preparação de amostras do DPM/ IGCE – UNESP, seleção de amostras, cominuição mecânica manual com auxílio de uma marreta e pulverização em moinho oscilante em panela de tungstênio. Um total de 15 amostras, devidamente preparadas, foram analisadas para elementos maiores e menores por fluorescência de raios X no Laboratório de Geoquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE-UNESP, Campus de Rio Claro, enquanto os elementos-traço foram analisados por ICP-MS pela SGS Geosol Laboratórios Ltda.

2.4 TRATAMENTO E INTERPRETAÇÃO DAS INFORMAÇÕES OBTIDAS

Nessa etapa, foi feito o tratamento de todos os resultados obtidos durante a análise de cada uma das etapas prévias. Os resultados das análises geoquímicas expressos em porcentagens em peso, proporções moleculares, cátions e normas foram tratados com auxílio dos programas Microsoft Office Excel Professional Plus 2016 e GCDkit 4.1. Finalmente, foi feita a integração final das informações obtidas nas demais etapas, com discussões e conclusões, expressas com auxílio de gráficos e ilustrações, que serão apresentados neste Trabalho de Conclusão de Curso.

3 GEOLOGIA REGIONAL

O Cráton Amazônico está situado na porção setentrional da América do Sul e abrange grande parte da região Norte do Brasil, situado em uma área com cerca de 4,4 milhões de km². Sua extensão é limitada a leste pelo Sistema Orogênico Tocantins, a nordeste pela Província Margem Continental Equatorial e é encoberta nos demais limites pelos sedimentos fanerozóicos periandianos (HASUI, 2014).

O Cráton Amazônico é separado em dois núcleos cristalinos, o escudo das Guianas (a norte) e do Guaporé (a sul), divididos pela Bacia Sedimentar Amazônica, sendo estes sua principal fonte de sedimentos. A compartimentação geocronológica do cráton apresenta controversas, em função da dificuldade de acesso, datações discordantes e unidades pouco reconhecidas e estudadas.

Atualmente, a concepção mais aceita admite que o Cráton Amazônico se desenvolveu a partir de um núcleo Arqueno, com acreção de material mais novo e retrabalhamento crustal, e com o desenvolvimento de diversos cinturões orogênicos durante o proterozoico. Com base em informações geológicas, geofísicas e, principalmente, isotópicas, o Cráton Amazônico foi subdividido em províncias geocronológicas por Cordani et al. (1979), cujo modelo foi atualizado por Tassinari & Macambira (1999, 2004) e por Santos et al. (2000, 2008). De forma geral, os autores apontam um sistema de faixas paralelas diferenciadas em sua constituição litológica e características evolucionais.

No presente trabalho, adota-se o modelo proposto por Tassinari & Macambira (2004), com revisões e atualizações propostas por Cordani & Teixeira (2007), Quadros & Rizzoto (2007), Cordani et al. (2009), Betencourt et al. (2010), CPRM (2007) e Teixeira et al. (2010). Tassinari e Macambira (2004) reconhecem seis faixas de direção geral NW-SE, tidas como províncias geocronológicas, em geral, com idades mais recentes de nordeste para sudoeste do cráton, descritas como: (1) Maroni – Itacaiúnas (2.2 – 1.9 Ga); (2) Central da Amazônia (núcleo mais antigo > 2.5 Ga); (3) Ventuari – Tapajós (2.0 – 1.81 Ga); (4) Rio Negro – Juruena (1.78 – 1.55 Ga); (5) Rondoniana San – Ignácio (1.56 – 1.30 Ga) e (6) Sunsás ou Sunsas-Aguapeí (1.2 – 0.95 Ga). (figura 3.1)

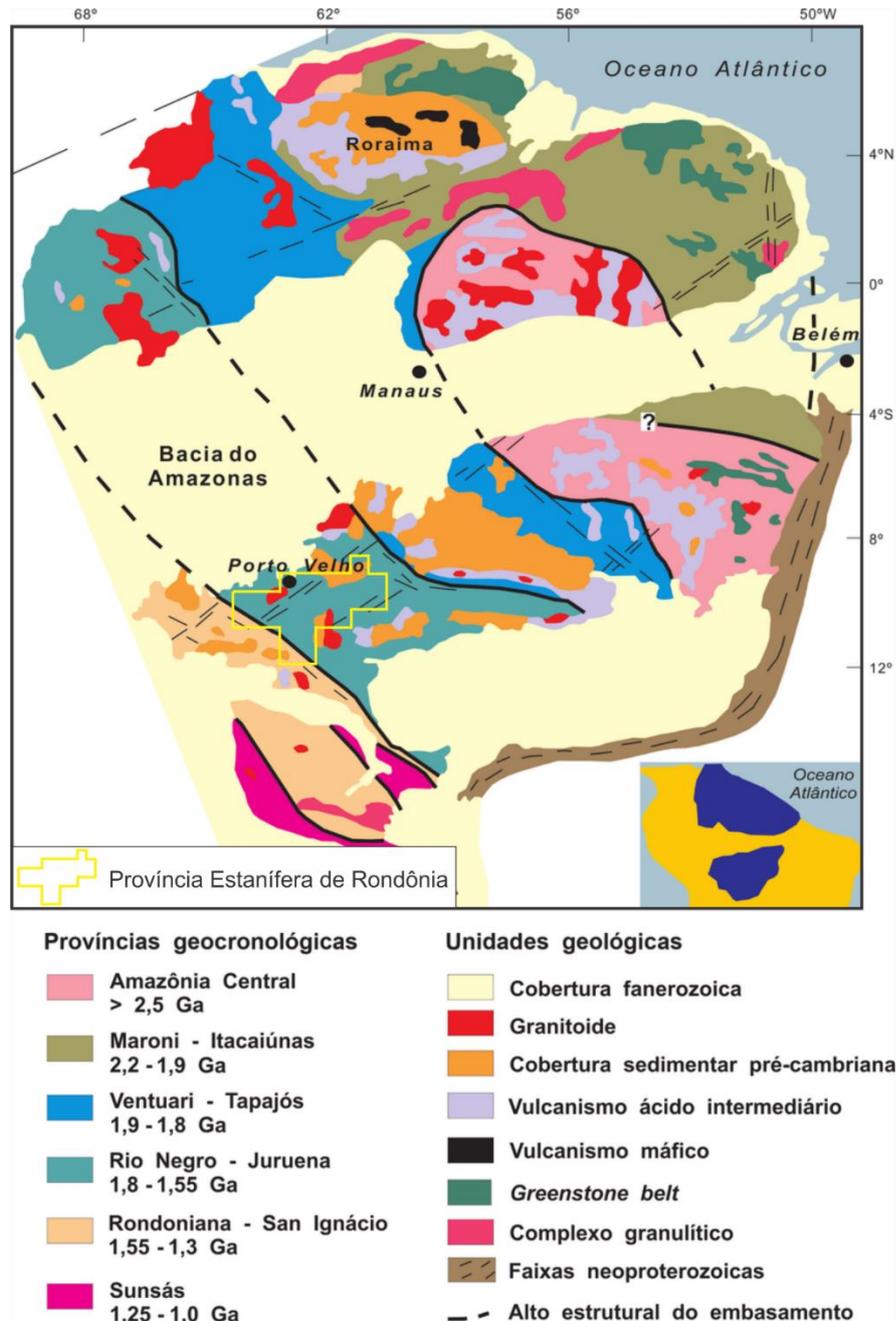


Figura 3.1 Distribuição das províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico com base em Tassinari e Macambira 1999 (extraído e modificado de Tassinari & Macambira 2004) e localização da Província Estanífera de Rondônia.

3.1 SUDOESTE DO CRÁTON AMAZÔNICO

O sudoeste do Cráton Amazônico, conforme Rizzotto et al. (2004), Quadros e Rizzotto (2007) e Bettencourt et al. (2010a), é formado pelas províncias geocronológicas Rio Negro – Juruena (1.78 – 1.55 Ga), Rondoniana-San Ignácio (1.56 – 1.30 Ga) e Sunsás-Aguapei (1.2 – 0.95 Ga) de Tassinari e Macambira (2004). (figura 3.1)

3.1.1 Província Rio Negro-Juruena

A província Rio Negro-Juruena (1.78 – 1.55 Ga) apresenta, em geral, rochas de idade mais recente de nordeste para sudoeste (TASSINARI, 1996). A província se desenvolveu em um cinturão de acreção (TASSINARI, 1996), com uma colisão final de arco – continente no intervalo de 1.67 – 1.63 Ga, e respectivo magmatismo pós-colisional do tipo A de 1.60 – 1.53 Ga (SCANDOLARA, 2006). As rochas mais recorrentes na província correspondem a gnaisses-graníticos e granitoides, com assinaturas de isótopos de Nd positivas a fracamente negativas, que sugerem que os eventos de acreção mais jovens tiveram grande influência na evolução tectônica (CORDANI & TEIXEIRA, 2007).

As unidades litoestratigráficas mais antigas e relacionadas com a província Rio Negro-Juruena são: Complexo Jamari (1,76-1,73 Ga) composto principalmente por gnaisses tonalíticos e granodioritos, sequências metavulcanossedimentares MutumParaná (ca. 1,73 Ga), sequência metassedimentar Quatro Cachoeiras (1,67-1,57 Ga) e granitos rapakivi, charnoquitos, gabros e respectivos ortognaisses da Suíte Intrusiva Serra da Providência (1,57-1,53 Ga) (SCANDOLARA, 2006; QUADROS & RIZZOTTO, 2007).

O limite ao Sul entre a Província Rio Negro-Juruena e a Província Rondoniana-San Ignácio abrange vários cinturões metamórficos, alguns até fácies granulito, diversas zonas de cisalhamento e intrusões plutônicas (ex BETTENCOURT et al., 1999; PAYOLLA et al., 2002; TOHVER et al., 2004, 2005), que são evidências de um limite de natureza colisional (CORDANI & TEIXEIRA, 2007).

3.1.2 Província Rondoniana-San Ignácio

A formação da província Rondoniana San-Ignácio (1.56 – 1.30 Ga) é limitada a norte e leste pela província Rio Negro – Juruena e a sul, pela província Sunsas-Aguapei, com sua parte ocidental coberta por sequências sedimentares fanerozoicas (BETTENCOURT et al. 2010a). A província é interpretada como um sistema orogênico composto, formada por antigos orógenos acrescionários (1.56 – 1.43 Ga), e uma fase orogênica final (1.34 – 1.32 Ga) que envolve a colisão de microcontinentes e continentes (Orogenia Rondoniana San Ignácio) (BETTENCOURT et al., 2010a).

As unidades litoestratigráficas relacionadas com a província Rondoniana-San Ignácio são: gnaisses graníticos e granulitos charnoquíticos da Suíte Intrusiva Rio Crespo (ca. 1,50 Ga) (Bettencourt et al., 2006) e granitos do tipo-A não deformados e rochas associadas das suítes

intrusivas Teotônio (1,38-1,37 Ga), Santo Antônio (ca. 1,37 Ga), Alto Candeias (1,34-1,33 Ga) e São Lourenço-Caripunas (1,31-1,30 Ga) (BETTENCOURT et al., 1999; BETTENCOURT et al., 2010b). As três primeiras suítes são interpretadas como formadas em ambiente intraplaca no início do desenvolvimento da província, enquanto as duas últimas em ambiente pós-colisional (BETTENCOURT et al., 2010a).

3.1.3 Província Sunsas-Aguapeí

A província Sunsas-Aguapeí (1.2 – 0.95 Ga) ocorre no extremo sudoeste do Cráton Amazônico e é constituída por rochas metamorfisadas em baixo a médio grau e granitoides plutônicos associados (LITHERLAND et al., 1986, 1989; TASSINARI et al., 2000).

De acordo com trabalhos de Litherland et al. (1986) e Sadowski e Bettencourt (1996), o cinturão Sunsas corresponde a um ambiente extensional, representado pelas sequências sedimentares de margem passiva Vibosi e Sunsas, que foi deformado durante um evento colisional cronocorrelato ao ciclo orogênico Grenville na Laurentia e Baltica (BETTENCOURT et al., 1999; CORDANI et al., 2009; TEIXEIRA et al., 2010). Essa sequência deformada foi intrudida por granitoides sin- a tardi-tectônicos, e posteriormente por intrusões pós-tetônicas a anarogênicas.

As unidades litoestratigráficas relacionadas com o desenvolvimento da Província Sunsás-Aguapeí são: Formação Nova Floresta (1,19-1,06 Ga), Suíte Intrusiva Santa Clara (1,08-1,07 Ga), Formação Palmeiral (< 1,03 Ga) e Suíte Intrusiva Granitos Últimos de Rondônia (0,99-0,97 Ga) (BETTENCOURT et al., 1999; QUADROS & RIZZOTTO, 2007; TEIXEIRA et al., 2010). As unidades se desenvolveram em domínio cratônico, em regime de extensão continental, durante as fases de construção de margem continental passiva (Formações Nova Floresta e Palmeiral), orogênica – orogênese colisional Sunsás (Suíte Intrusiva Santa Clara) e pós-colisional (Suíte Granitos Últimos de Rondônia) (TEIXEIRA et al., 2010).

3.2 PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE RONDÔNIA

A Província Estanífera de Rondônia (PER) está localizada na porção sudoeste do Cráton Amazônico, e abrange parte da porção setentrional do estado de Rondônia e o extremo noroeste do estado do Mato Grosso. A PER compreende uma área de 87.000 Km², com produção média

anual de 4.000 t de estanho contido ao ano (DNPM, 2016), associada a diversos depósitos primários e secundários de cassiterita, com destaque para a mina Bom Futuro.

A PER situa-se em uma área que compreende parte de duas províncias geotectônicas, conforme a compartimentação geocronológica de Tassinari & Macambira (1999, 2004): Província Rio Negro-Juruena (1,8-1,55 Ga) e Província Rondoniana-San Ignácio (1,5-1,3 Ga), porém congrega rochas associadas a evolução geológica das Províncias Rondoniana-San Ignácio (1,5-1,3 Ga) e Sunsás (1,25-1,0 Ga). Segundo a concepção de Santos et al. (2000, 2008), a Província Estanífera de Rondônia está inserida nos domínios das províncias Rondônia-Juruena (1,82-1,54 Ga) e Sunsás (1,45-1,0 Ga).

Geologicamente a PER situa-se sobre o Complexo Jamari (embasamento) e suítes granitoides rapakivi, ambas Proterozoicas, além de sequências metassedimentares, metavulcano-sedimentares e derrames basálticos. As coberturas sedimentares cenozoicas são as principais unidades Fanerozoicas da PER (figura 3.2). As suítes intrusivas Santa Clara e Granitos Últimos de Rondônia estão associadas aos principais depósitos primários e secundários de cassiterita da Província Estanífera de Rondônia.

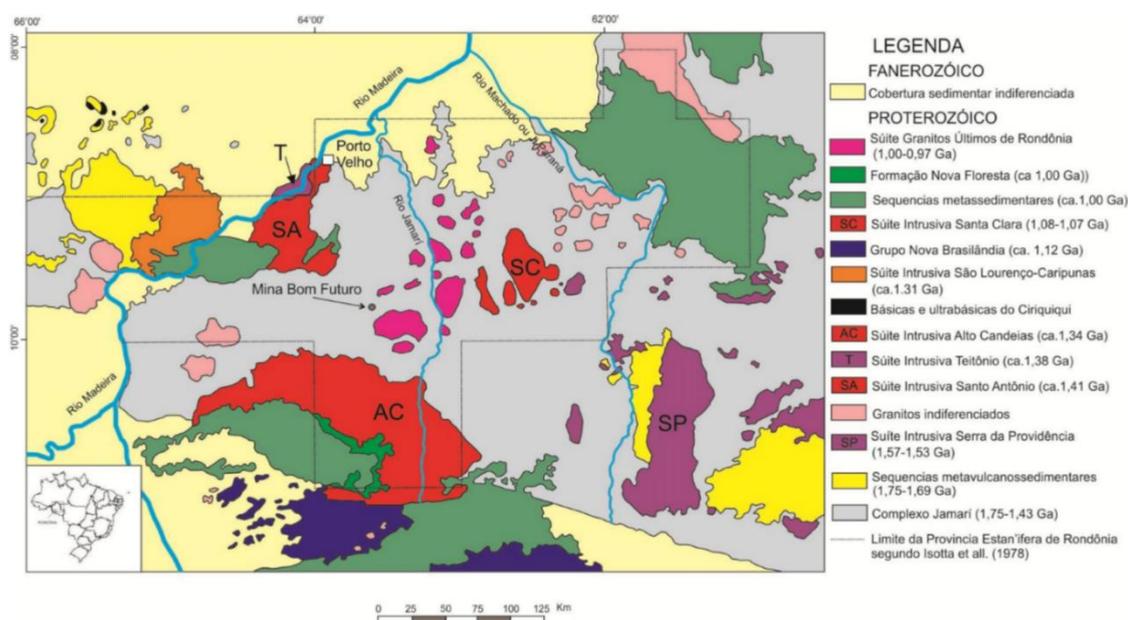


Figura 3.2. Mapa geológico simplificado da porção Centro-Norte do estado de Rondônia com a localização da Província Estanífera de Rondônia e da mina Bom Futuro. Modificado de Bettencourt et al., 1999.

3.2.1 Complexo Jamari

Inicialmente denominada de Complexo Xingu por Leal et al. (1978), o Complexo Jamari teve seu nome definido por Isotta et al. (1978), devido à bacia hidrográfica de nome homônimo.

A unidade tem ampla distribuição na porção centro-leste de Rondônia, em Ariquemes a Ji-Paraná, mas também ocorre no extremo oeste do Estado, próximo à divisa com o Acre (CPRM, 2007).

Segundo Isotta et al. (1978), o Complexo Jamari é constituído essencialmente por rochas ortoderivadas, como gnaisses, migmatitos, granulitos e anfibolitos. Entretanto, Amorim et al. (1999a, 1999b) sugerem que o Complexo Jamari é composto por uma associação de rochas supracrustais, representadas por paragneisses quartzo-feldspáticos, granada-biotita gnaisse, sillimanita gnaisse, biotititos, kinzigitos e anfibolitos, localmente interdigitados com augen gnaisses graníticos da Suíte Intrusiva Serra da Providência.

Scandolara et al. (2001) e Scandolara (2006), em revisões acerca de subdivisões prévias, afirmam que o Complexo Jamari é constituído por rochas orto e paraderivadas, com rochas intrusivas associadas às Suítes Intrusivas Serra da Providência, Santo Antônio-Teotônio, Alto Candeias, São Lourenço/Caripunas, Santa Clara e Granitos Últimos de Rondônia (BETTENCOURT et al., 1999a), além de coberturas supracrustais da Formação Mutum-Paraná e Grupo Roosevelt (LOBATO et al., 1966; SCANDOLARA et al., 1999; SANTOS et al., 2000) e coberturas sedimentares indeformadas da Formação Palmeiral (LOBATO et al., 1966; SOUZA et al., 1975).

No entanto, Payolla et al. (2002) não utilizam a denominação Complexo Jamari e caracterizam na região centro-nordeste de Rondônia uma associação de rochas paleo a mesoproterozóicas, formada por ortognaisses, paragneisses, anfibolitos e granulitos charnoquíticos a enderbiticos. As rochas dessa unidade foram datadas pelo método U-Pb, de 1750 ± 24 Ma (PAYOLLA et al., 2002).

Mais recentemente, Quadros (2007) reconsidera que o Complexo Jamari represente uma associação de ortognaisses tonalíticos e quartzo-dioríticos com subordinadas intercalações de gnaisses calcissilicáticos e raros anfibolitos, enquanto o conjunto de rochas paraderivadas passa a constituir outra unidade designada de Suíte Metamórfica Quatro Cachoeiras. No geral, essas rochas foram submetidas a um evento metamórfico regional de grau médio a alto relacionado à orogênese Rondoniana-San Ignácio (TASSINARI & MACAMBIRA, 1999; SCANDOLARA et al., 2001; PAYOLLA et al., 2002; SILVA et al., 2002; SOUZA et al., 2005, 2006; SCANDOLARA, 2006).

3.2.2 Suítes Intrusivas

As primeiras referências a granitos anorogênicos no sudoeste do Cráton Amazônico foram de Kloosterman (1966, 1968). Os granitos rapakivi do Cráton Amazônico tem grande importância em termos de extensão em área, distribuição no tempo e potencial metalogenético (BETTENCOURT, 1996; BETTENCOURT et al., 1999; DALL'AGNOL, 1996). Bettencourt et al. (1999) propõem que os granitos rapakivi da Província Estanífera de Rondônia constituem sete suítes distintas: I) Suíte Intrusiva Serra da Providencia (1,606 a 1,532 Ga); II) Suíte Intrusiva Santo Antonio (1,406 Ga); III) Suíte Intrusiva Teotônio (1,387 Ga); IV) Suíte Intrusiva Alto Candeias (1,346 a 1,338 Ga); V) Suíte Intrusiva São Lourenço – Caripunas (1,314 a 1,309 Ga); VI) Suíte Intrusiva Santa Clara (1,082 a 1,074 Ga) e; VII) Suíte Intrusiva Granitos Últimos de Rondônia (0,998 a 0,974 Ga). A área de estudo congrega rochas pertencentes à suíte intrusiva Granitos Últimos de Rondônia.

Segundo Bettencourt et al. (1999), os granitos rapakivi da PER correspondem, em geral, a sieno- e monzogranitos, apesar de ocorrências de álcali-feldspato granito na suíte Granitos Últimos de Rondônia, com características geoquímicas de granitos do tipo A, de ambiente intra-placa e com diferentes fontes magmáticas.

Segundo Veneziani et al. (2001) e Okida (2001), a alternância de movimentos transpressivos e transtensivos regionais ao longo das principais linhas de fraqueza crustais, gerou estruturas de alívio dos tipos *releasing bends* e *rhombo-chasms*, que permitiram o alojamento das Suítes Intrusivas Santa Clara e Granitos Últimos de Rondônia no Complexo Jamari.

A Suíte Intrusiva Granitos Últimos de Rondônia inclui, como sugere o nome, os granitos mais jovens da PER (< 1000 Ma) e ocorre como batólitos e *stocks* multifásicos, em uma faixa NNW de extensão limitada na porção Centro-Norte do estado de Rondônia (figura 3.2). A suíte é representada pelos maciços Ariquemes, Massangana, São Carlos, Pedra Branca, Caritianas, Santa Bárbara e Jacundá. Seu desenvolvimento relacionado à granitogênese pós-colisional do tipo A (TEIXEIRA et al., 2010) com contribuições de materiais que provém da base da crosta e de origem mantélica (BETTENCOURT et al., 2016), e afinidade geoquímica subalcalina e metaluminosa. Datações realizadas por Bettencourt et al. (1999) nos maciços Pedra Branca, São Carlos e Massangana, apresentaram idades U-Pb em zircão, respectivamente, de 995 ± 5 Ma, 995 ± 73 Ma e 991 ± 14 Ma.

Segundo Bettencourt et al. (1999), os Granitos Últimos de Rondônia ainda podem ser divididos em duas subsuítes tardias: I) granitoides subsolvus, com afinidade geoquímica subalcalina e peraluminosa, representada por sienogranito e álcali-feldspato granito porfirítico e equigranular, localmente por topázio-Li-mica albita granito e topázio quartzo-feldspato pórfiro; II) granitoides hipersolvus, com afinidade geoquímica alcalina e peralcalina, constituída por álcali-feldspato sienito e microsienito, álcali-feldspato microgranito e feldspato-quartzo pórfiro.

Segundo Leite Júnior et al. (2002), os pórfiros graníticos com topázio especialmente associados a corpos pegmatíticos, mineralizados ou não, mostram caráter peraluminoso e características geoquímicas de granitos tipo A e intraplaca (BETTENCOURT et al., 1999; SOUZA, 2003).

4 GEOLOGIA DA MINA BOM FUTURO

A mina Bom Futuro congrega os morros Palanqueta (ao norte) e Bom Futuro (ao sul), e áreas aplainadas adjacentes. Os trabalhos geológicos da década de 90 (SILVA et al., 1995; SILVA et al., 1997; VILLANOVA & FRANKE, 1995; BETTENCOURT et al., 1995) identificaram inicialmente, no morro Bom Futuro, gnaisses, anfibolitos, topázio granito pórfiro, topázio riólito pórfiro e dois centros vulcânicos brechados, além de veios e vênulas mineralizados em estanho, e, no morro Palanqueta, albita granitos e greisens mineralizados em estanho, com sulfetos de metais base (figura 4.2).

No morro Bom Futuro afloram gnaisses e anfibolitos do embasamento, diques de sienito e traquito, brechas polimíticas sob forma de *pipe*, diques de pórfiros graníticos com topázio, lentes de pegmatitos e veios de quartzo estaníferos e vênulas tardias com quartzo, calcita fluorita e sulfetos.

O morro Palanqueta é constituído por um maciço granítico multifásico (FOSTER, 2016). As áreas aplainadas são constituídas por sedimentos coluvionares e aluvionares arenosos, argilosos e conglomeráticos. Segundo Souza et al. (2003), o morro Bom Futuro reúne rochas associadas à um sistema vulcânico e o morro Palanqueta à um sistema plutônico.

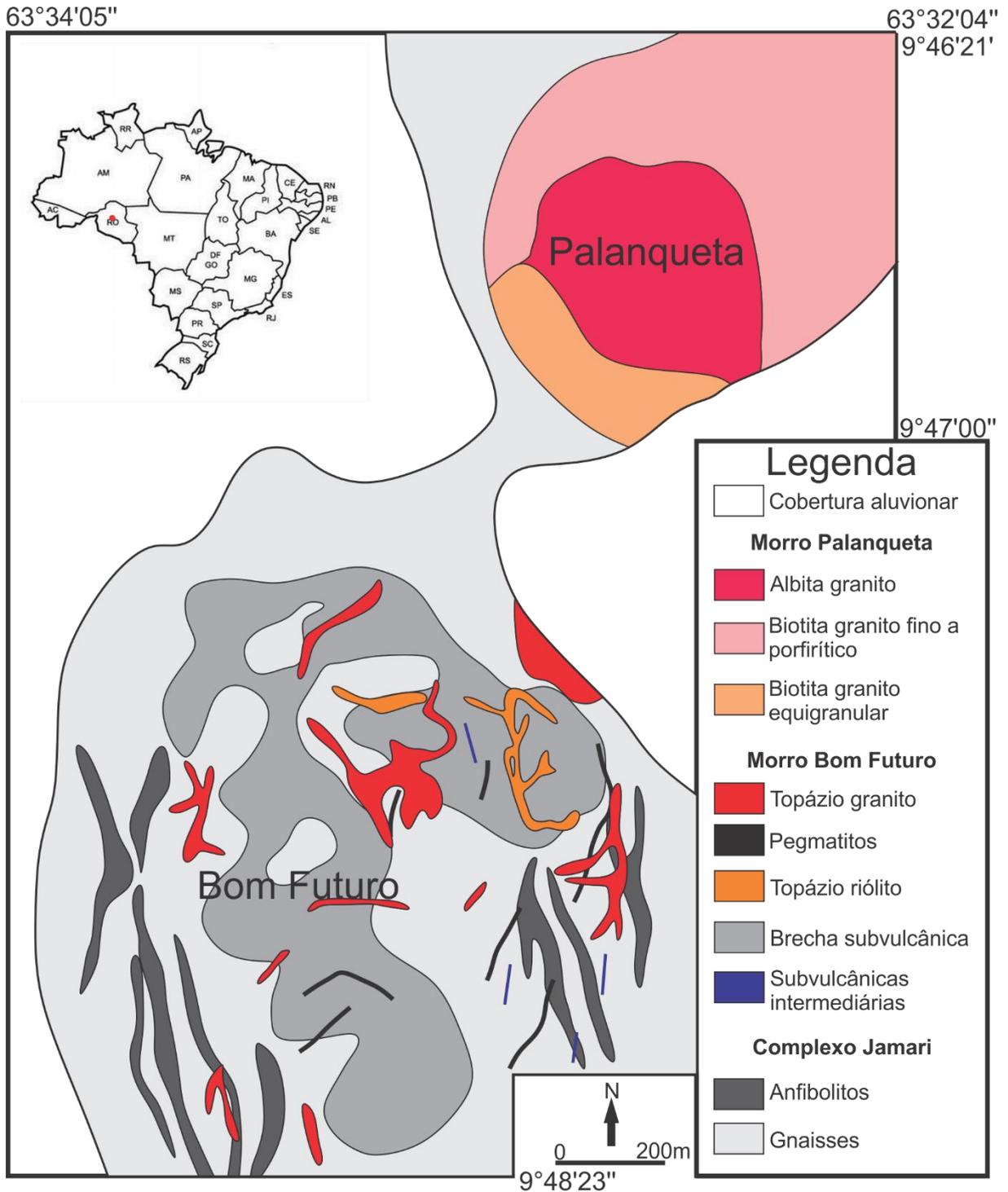


Figura 4.1. Mapa geológico simplificado do distrito Bom Futuro (Modificado de Souza, 2003, segundo Dias, 2012)

4.1 COMPLEXO JAMARI

Souza (2003) e Souza et al. (2005), caracterizam as rochas do Complexo Jamari no depósito de estanho do Bom Futuro, como uma associação intercalada de ortogneisse,

paragneisse, ortoanfibolito, paraanfibolito e xisto, este último pouco frequente na área. Os gnaisses são as principais litologias da unidade na região (figura 4.3A, B e C), com coloração cinza a cinza escura ou rósea, granulação média a fina e característico bandamento composicional metamórfico, definido pela alternância de bandas ricas em minerais félsicos (quartzo-feldspática) e máficos (micas). Os anfibolitos ocorrem com lentes centimétricas a decamétricas, com coloração verde escura à preta (figura 4.3D), composto essencialmente por hornblenda e plagioclásio. A orientação preferencial da foliação Sn na área é NNW-SEE, com mergulho por volta de 50° para NEE.

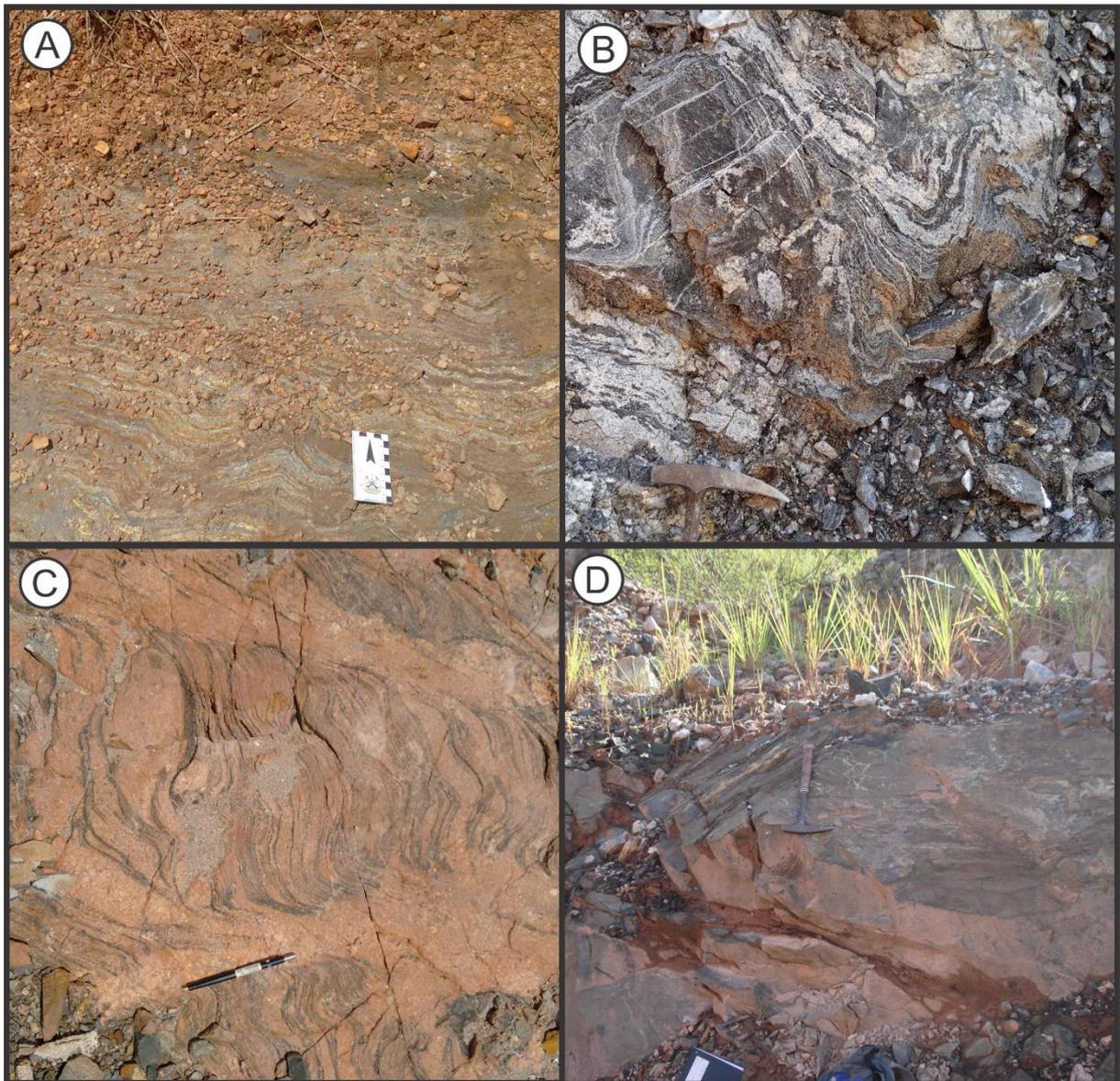


Figura 4.2. Aspectos gerais das rochas do Complexo Jamari na área de estudo. A) Paragneisse acinzentado; B) Dobras parasíticas em gnaisse; C) Ortogneisse róseo com aparente transposição de foliação; D) Anfibolito verde escuro a preto.

4.2 SUÍTE INTRUSIVA GRANITOS ÚLTIMOS DE RONDÔNIA

No distrito Bom Futuro, a Suíte Intrusiva Granitos Últimos de Rondônia é representada por rochas ígneas intermediárias e ácidas no morro Bom Futuro e álcali-feldspato granitos no morro Palanqueta. Segundo Souza (2003), apesar das diferentes características observadas, todas se desenvolveram a partir de uma mesma fonte magmática.

4.2.1 Morro Palanqueta

O morro Palanqueta representa um maciço granítico com forma ovalada a arredondada, individualizado em fácies biotita-álcali-feldspato granito e quatro fácies de topázio granito, além de diques aplíticos e veios pegmatito e zonas de greisens sob forma de *pipe* mineralizados em cassiterita e wolframita (SILVA et al., 1995, 1997; SOUZA & BOTELHO, 2002; SOUZA, 2003; FOSTER, 2016).

As fácies com topázio, caracteristicamente mais evoluídas, foram classificadas como topázio-zinnwaldita-álcali-feldspato granito equigranular, topázio-zinnwaldita-álcali-feldspato granito porfirítico, topázio-zinnwaldita-álcali-feldspato granito miarolítico e topázio-zinnwaldita-álcali-feldspato granito pórfiro. Geoquimicamente, os granitos do Maciço Palanqueta são metaluminosos a peraluminosos, com afinidade geoquímica com granitos do tipo A, intraplaca e fracionados (FOSTER, 2016).

Os greisens ocorrem sob forma de *pipe* ou veios, associados essencialmente à fácies topázio-zinnwaldita-álcali-feldspato granito pórfiro. Os *pipes* tem até 2m de diâmetro e 4m de profundidade e são distinguidos petrograficamente em: topázio-quartzo-mica greisen, mica-topázio-quartzo greisen e quartzo greisen.

Segundo Foster (2016), o Maciço Palanqueta está relacionado com o Sistema Subvulcânico Bom Futuro, com características petrográficas e geoquímicas semelhantes aos topázio riólitos e topázio granitos encontrados no morro Bom Futuro.

4.2.2 Morro Bom Futuro

O morro Bom Futuro (figura 4.5) é constituído por diques anelares e radiais de rochas intrusivas ácidas e intermediárias hospedados em gnaisses e anfibolitos do embasamento e brechas polimíticas sob forma de *pipe*, além de múltiplos veios pegmatito e de quartzo e vênulas tardias com quartzo, calcita fluorita e sulfetos. As rochas sieníticas (intermediárias) e graníticas

(ácidas) são representantes, respectivamente, das subsuítas tardias alcalina/peralcalina e subalcalina/peraluminosa da Suíte Intrusiva Granitos Últimos de Rondônia (998 - 974 Ma).

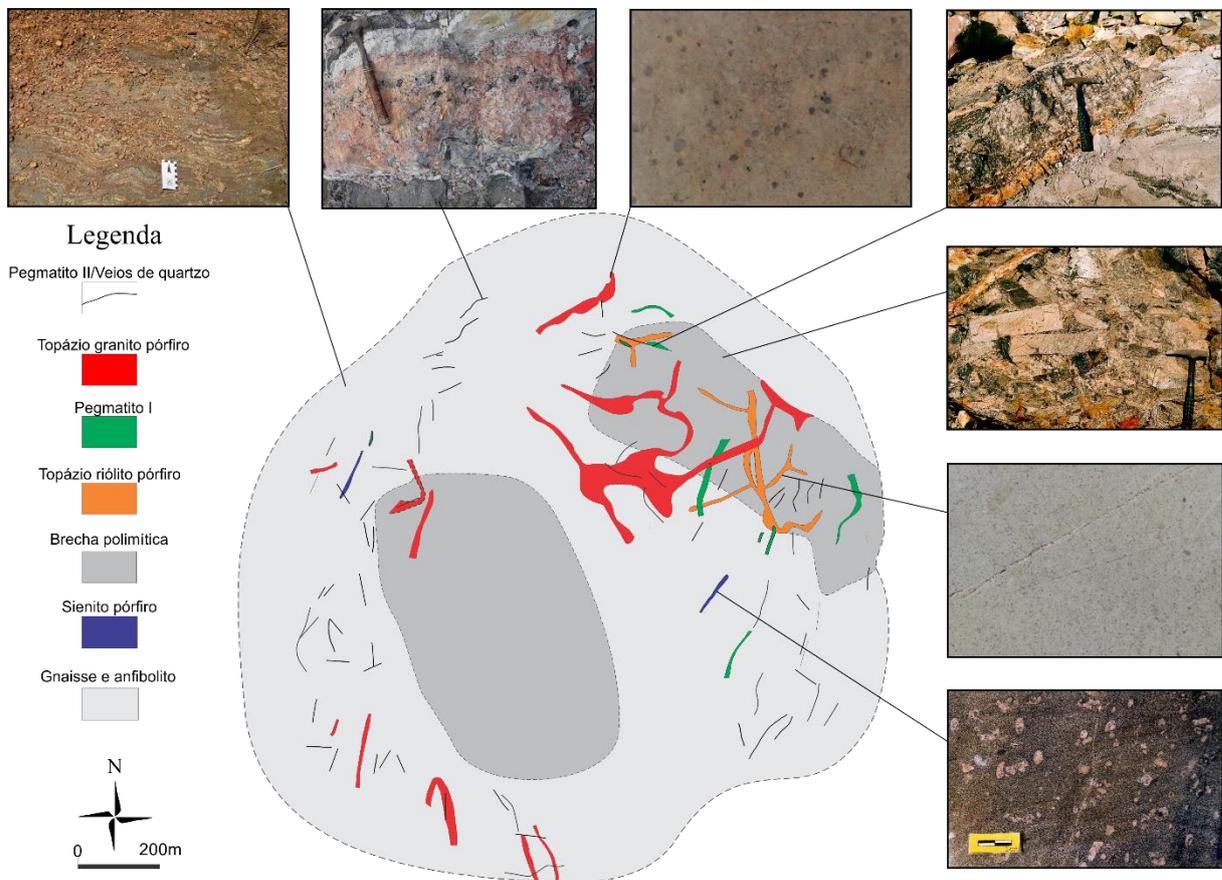


Figura 4.3. Mapa geológico simplificado do morro Bom Futuro, com amostras representativas de cada litologia. Extraído e modificado de Leite Junior et al. (2003).

4.2.2.1 Rochas subvulcânicas intermediárias

As rochas intermediárias do morro Bom Futuro ocorrem como diques métricos a decamétricos, subverticais, com direção NE-SW (figura 4.6). Petrograficamente, são caracterizadas como biotita-hornblenda melamicrosienito pórfiro, biotita melassienito pórfiro e traquito (LEITE JÚNIOR et al., 2002; SOUZA, 2003; SOUZA et al., 2007). Souza et al. (2007) obtiveram uma idade U-PB em zircão de $1001 \pm 5,2$ Ma para essas rochas, consideradas uma fase no mínimo contemporânea com as fases topázio riólito. Entretanto, Dias (2012) reconheceu quatro diques de sienitos pórfiros e, a partir das relações de campo, identificou que são mais antigos que as brechas de *pipe*. Sendo assim, as rochas intermediárias representam a primeira fase intrusiva aflorante no morro Bom Futuro.

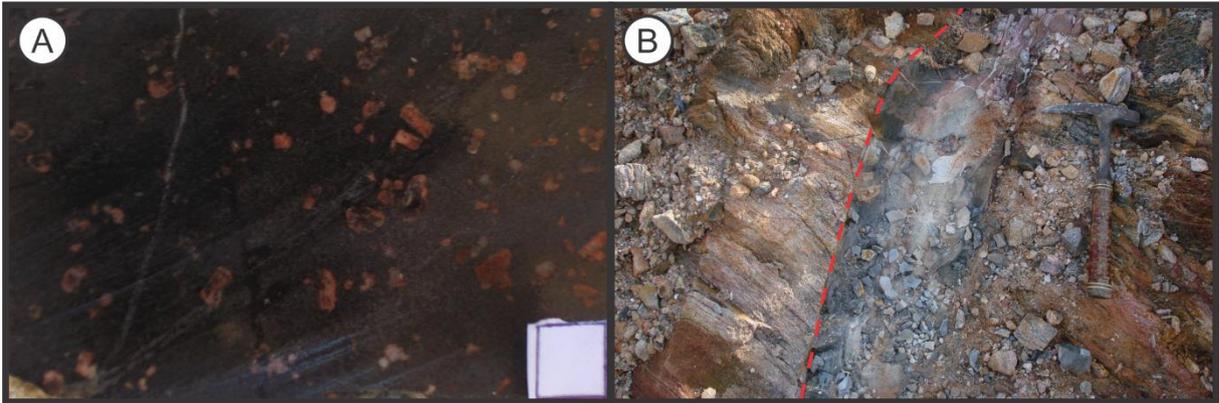


Figura 4.4. Aspectos gerais das rochas intrusivas intermediárias do morro Bom Futuro. A) Melassienito pórfiro com textura porfirítica; B) Contato brusco entre melassienito (a direita) e gnaiss (a esquerda)

4.2.2.2 Brechas Subvulcânicas

Villanova & Franke (1995) reconheceram e definiram dois centros vulcânicos brechados, com fragmentos de gnaisses e anfibolitos do embasamento e de rochas intermediárias, desde grânulos à matacões. As brechas são sustentadas por clastos (figura 4.7), com matriz fina a afanítica de composição riolítica a topázio riolítica, dispostas sob forma de *pipe*, de geometria cilíndrica a cônica (SOUZA & BOTELHO, 2002). Segundo Dias (2012), as brechas de *pipe* tem contatos bruscos e discordantes tanto em relação as atitudes dos gnaisses e anfibolitos, quanto dos diques de rochas de composição intermediária. Essa litologia é dominante na porção central do morro Bom Futuro e, segundo Souza & Botelho (2002), tem origem associada ao alojamento de um magma ácido rico em voláteis (H_2O , F, Cl) em subsuperfície, que elevou à temperatura da água à um estado supercrítico e iniciou um processo freatomagmático. Tal processo alivia a pressão acumulada através da brechação das rochas encaixantes, ao longo de um conjunto de fraturas, que resultam na forma de *pipe* (SOUZA & BOTELHO, 2002).

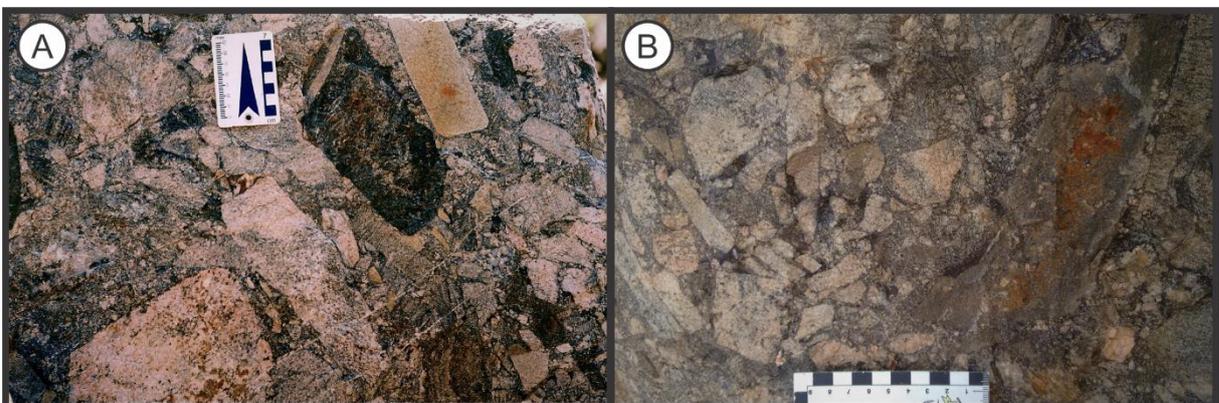


Figura 4.5. Aspectos gerais da brecha subvulcânica. Brechas sustentadas por clastos angulosos de diferentes granulações, A) de seixo a calhau e B) de grânulo a seixo.

4.2.2.3 Pórfiros graníticos com topázio

Duas fases de colocação de magma granítico são reconhecidas no morro Bom Futuro: topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro. A diferenciação entre as fases tem como base as relações de campo. O topázio riólito pórfiro foi primeiramente reconhecidos por Villanova e Franke (1995) e descrito com detalhes por Leite Júnior et al. (2002b). O topázio granito pórfiro é mais jovem, possui granulação ligeiramente maior e, assim como o topázio riólito pórfiro, pertence a subsuíte peraluminosa tardia da Suíte Granitos Últimos de Rondônia (0.97-0.98 Ga). O topázio granito pórfiro apresenta características que sugerem uma maior diferenciação em relação ao topázio riólito pórfiro. Esses litotipos serão o foco de estudo do presente trabalho e melhor descritos adiante.

4.2.2.4 Pegmatitos

No morro Bom Futuro, a mineralização de estanho está confinada a duas fases de pegmatitos e veios de quartzo em padrão anelar, com os maiores teores restritos à fase mais antiga. As fases são distinguidas temporalmente pela intrusão do topázio granito entre estas, como observado pelas relações de campo. Segundo Dias (2012), os pegmatitos apresentam um zoneamento interno irregular, de composição à granítica (figura 4.8) à quatzo-topazítica e, segundo Foster (2012), possuem zonas de alteração no contato com as rochas encaixantes. São pegmatitos do tipo complexo, a elemento-raro, da família LCT (lítio-césio-tântalo), associados espacialmente e temporalmente aos pórfiros graníticos com topázio do morro Bom Futuro (DIAS, 2012).

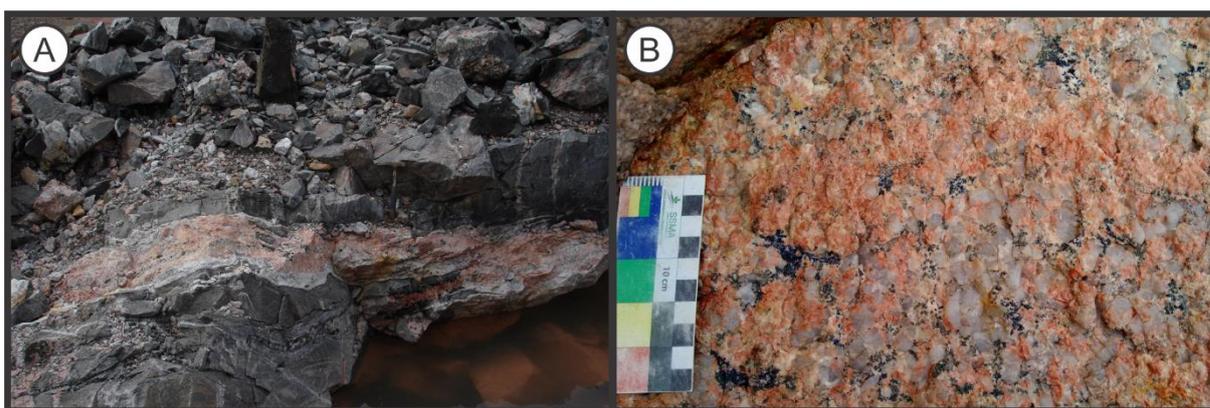


Figura 4.6. A) Veio pegmatito em brecha subvulcânica; B) Detalhe de zona granítica de veio pegmatito do morro Bom Futuro.

5 RESULTADOS

5.1 GEOLOGIA

O topázio riólito pórfiro ocorre nas porções leste e norte do morro Bom Futuro, sob forma de diques anelares de espessuras variadas (<10 m) e exibem mergulhos de médio a alto ângulo (ver figura 5.1A, B e C). Estão encaixados em lentes de anfibolito e gnaisses do embasamento e brechas polimíticas sob forma de *pipe*, com contato abrupto, por vezes delimitado por brechas.

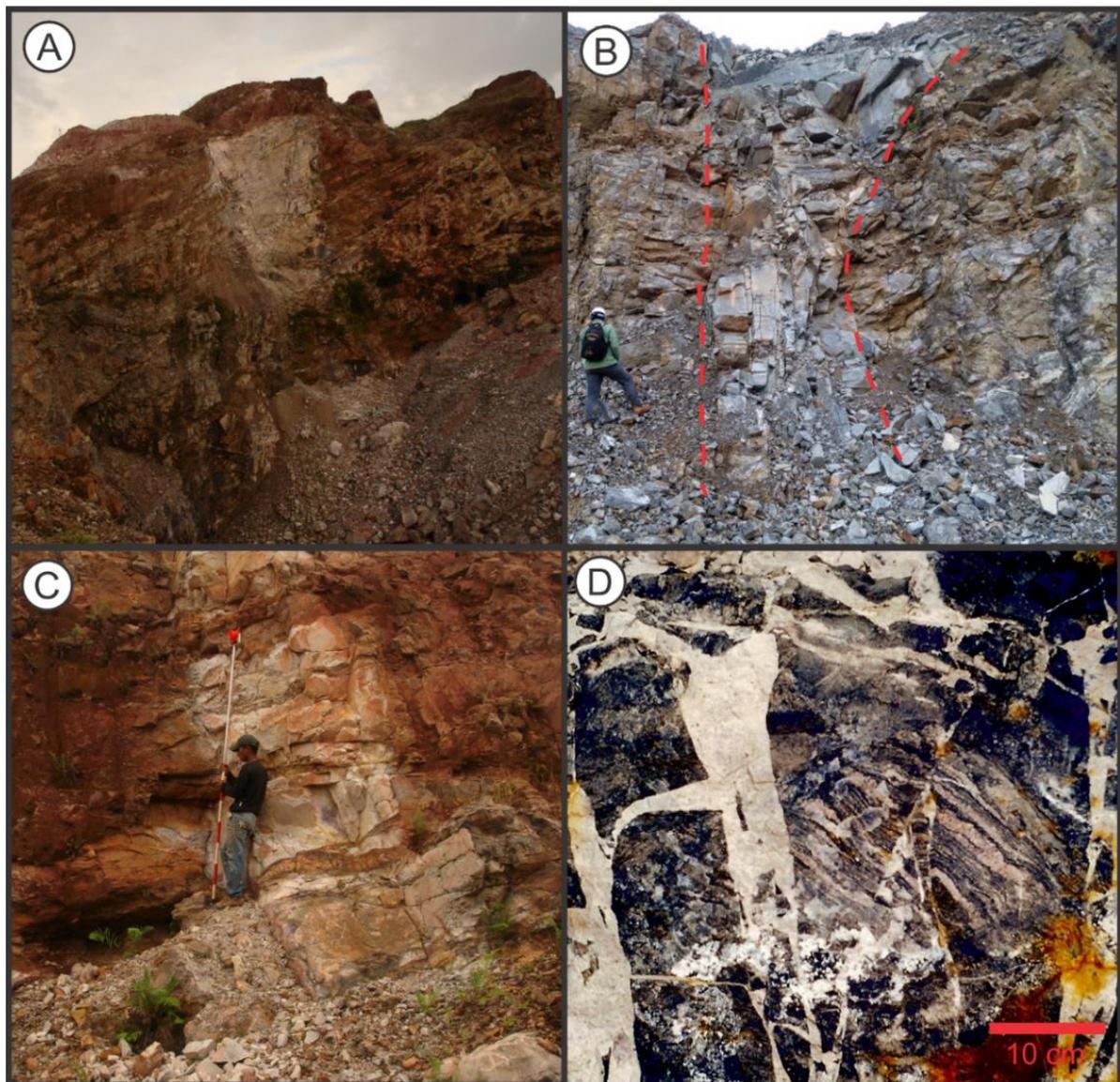


Figura 5.1. Aspectos geológicos dos topázio riólito pórfiro. A) e B) Diques subverticais de topázio riólito pórfiro cinza no morro Bom Futuro; C) Dique de topázio riólito pórfiro cortado por veios pegmatitos centimétricos; D) *Network-veined breccia* no exocontato de dique de topázio riólito pórfiro. Fragmentos de gnaixe encaixante.

No exocontato são reconhecidas brechas polimíticas sustentadas por clastos angulosos (figura 5.1 D), decimétricos a métricos, de gnaixe e anfibolito (*network-veined breccias* e

rubble breccias) ou da brecha de *pipe* (*breccias in breccias*), com matriz de composição riolítica, maciça a fluidal (figura 5.2A). No endocontato a brecha é sustentada pela matriz, constituída por fragmentos de rocha encaixante, de biotita granito, quartzo, feldspato potássico róseo e aglomerados micáceos de dimensões de 2 a 15 cm, angulosos a subarredondados, por vezes caracterizando uma feição xenolítica (figura 5.2B, C e D).

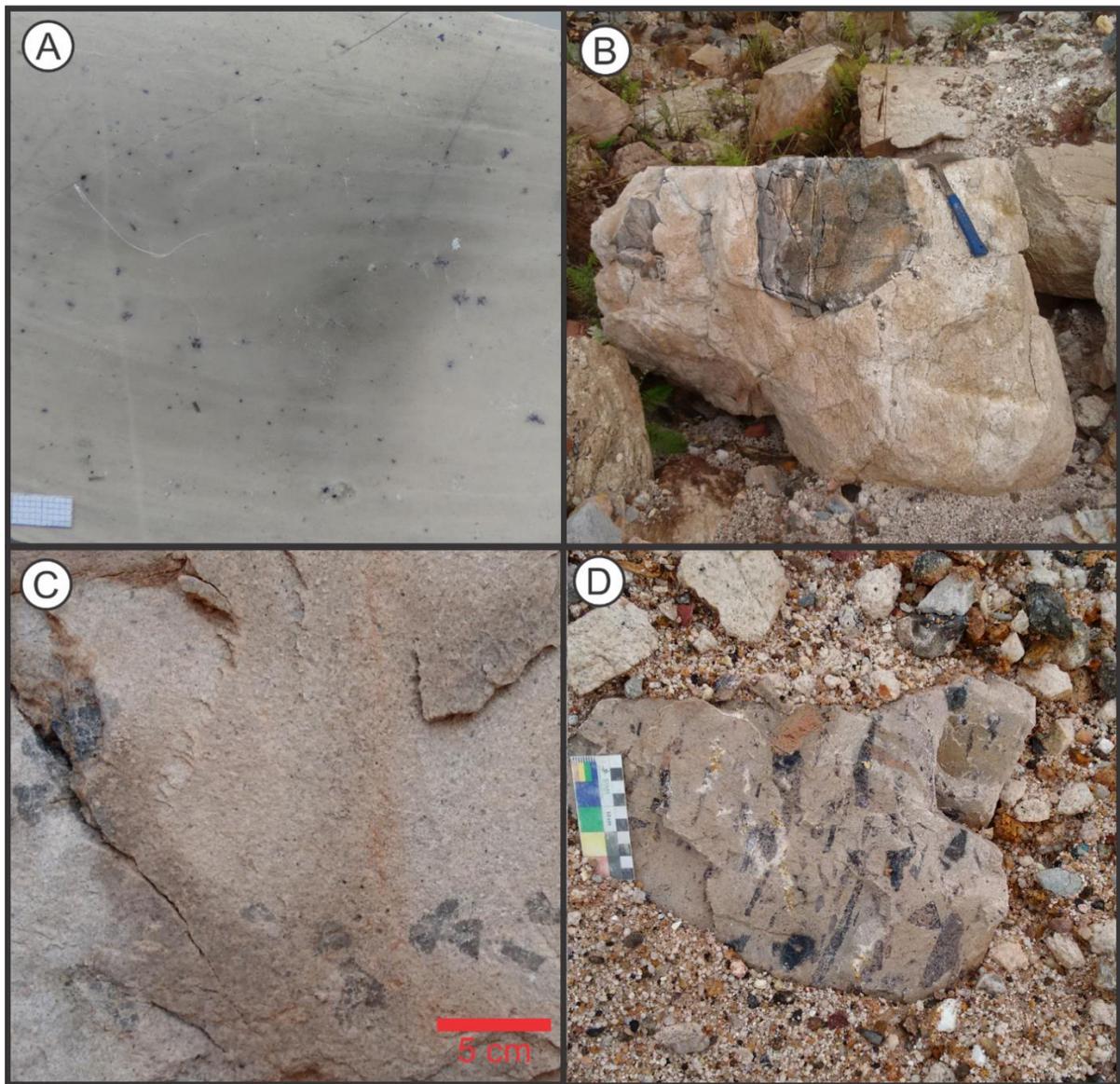


Figura 5.2. A) Estrutura de fluxo em topázio riólito; B) Enclave de gnaiss (> 30cm) em dique de topázio riólito; C) Enclaves centimétricos de quartzo vítreo e anguloso; D) Fragmentos de quartzo, granito equigranular róseo e aglomerados micáceos orientados em topázio riólito.

O topázio granito pórfiro ocorre como diques anelares e radiais (figura 5.3), e estão, aparentemente, ligados a um plug central (LEITE JÚNIOR et al., 2003; 2006). Os diques cortam todos os litotipos presentes no morro Bom Futuro, com exceção dos pegmatitos II, veios de quartzo e vênulas tardias. O contato com as rochas encaixantes é abrupto (figura 5.3B), por vezes com presença de brechas (figura 5.3C), semelhantes às descritas no topázio riólito.

Localmente ocorrem bolsões de endogreisen e pegmatitos sub-horizontais marginais com textura UST (*Unidirectional Solidification Texture*), caracterizados como *stockscheider* (LEITE JÚNIOR et al., 2003, 2004), como mostra a figura 5.3D.

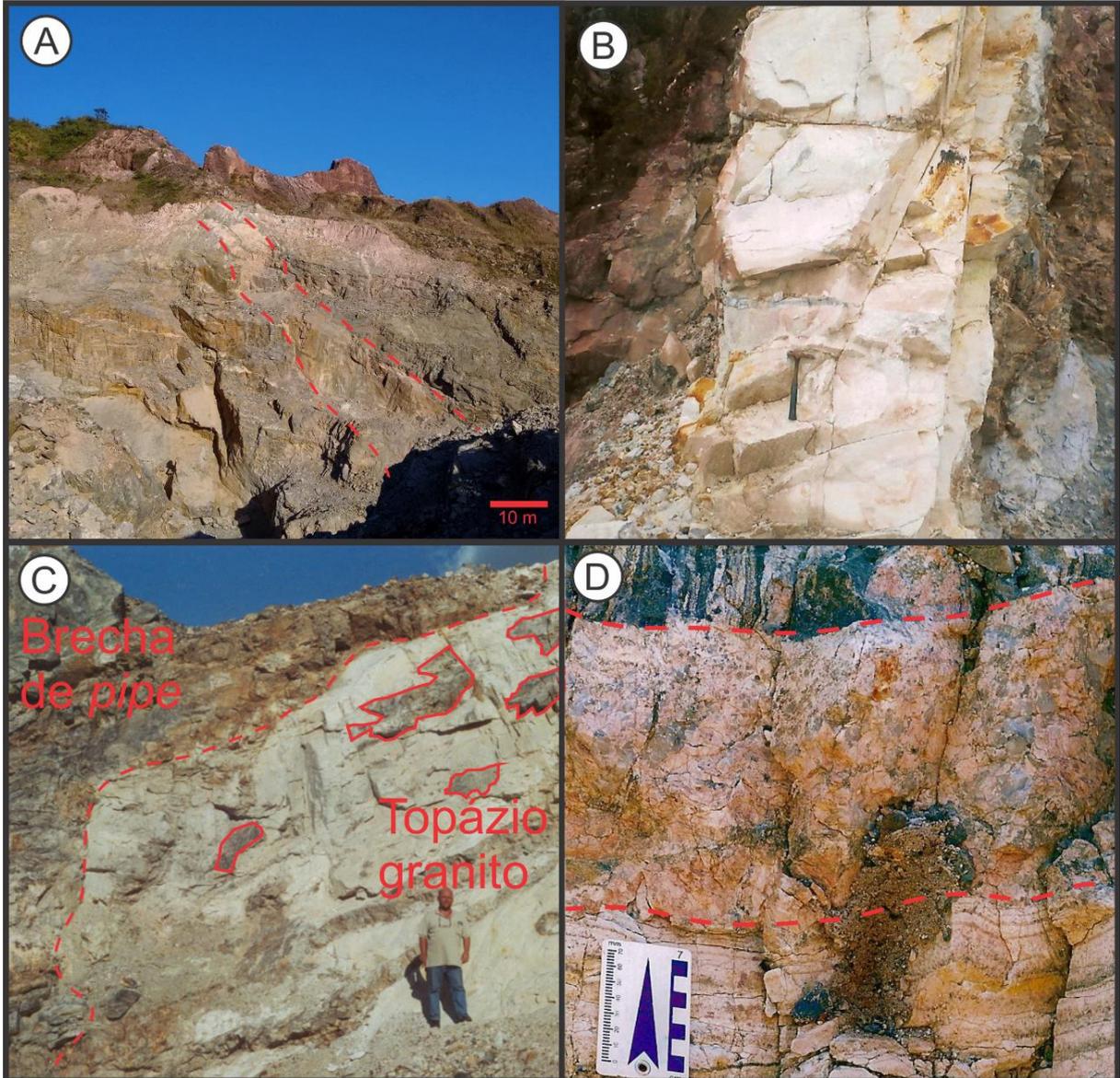


Figura 5.3. Aspectos geológicos dos topázio granito pórfiro. A) Grande dique de topázio granito no morro Bom Futuro; B) Dique subvertical de pequena espessura de topázio granito. O contato com a rocha encaixante é abrupto; C) Brecha no contato do topázio granito com a brecha de *pipe*. Fragmento decimétricos a métricos da rocha encaixante englobados por matriz granítica; D) *Stockscheider* no contato entre topázio granito e gnaiss encaixante.

5.2 PETROGRAFIA

Neste capítulo são apresentados os resultados petrográficos obtidos para o grupo de amostras dos topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro do morro Bom Futuro. As diferentes litologias são classificadas como álcali feldspato granito, com base no diagrama Q-A-P de Streckeisen (1976), utilizando os valores das composições modais estimadas da mineralogia descrita (figura 5.3). Uma síntese da porcentagem modal estimada visualmente é apresentada na tabela 2.

Álcali feldspato granitos com topázio comumente recebem uma nomenclatura diferente da estabelecida por Streckeisen (1976) e, como proposto nos trabalhos iniciais na mina Bom Futuro e por outros autores ao redor do mundo (ex. PICHAVANT & MANNING, 1984; TAYLOR & FALLICK, 1997), a nomenclatura adotada para essas rochas neste trabalho foi: topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro. Outros exemplos adotados na literatura classificam essas rochas como topázio-albita granito (ex. MOURA & BOTELHO, 2000), Li-F granitos a metais raros (KOVALENKO & KOVALENKO, 1984) ou topázio – Li-mica granitos (POLLARD & TAYLOR 1991).

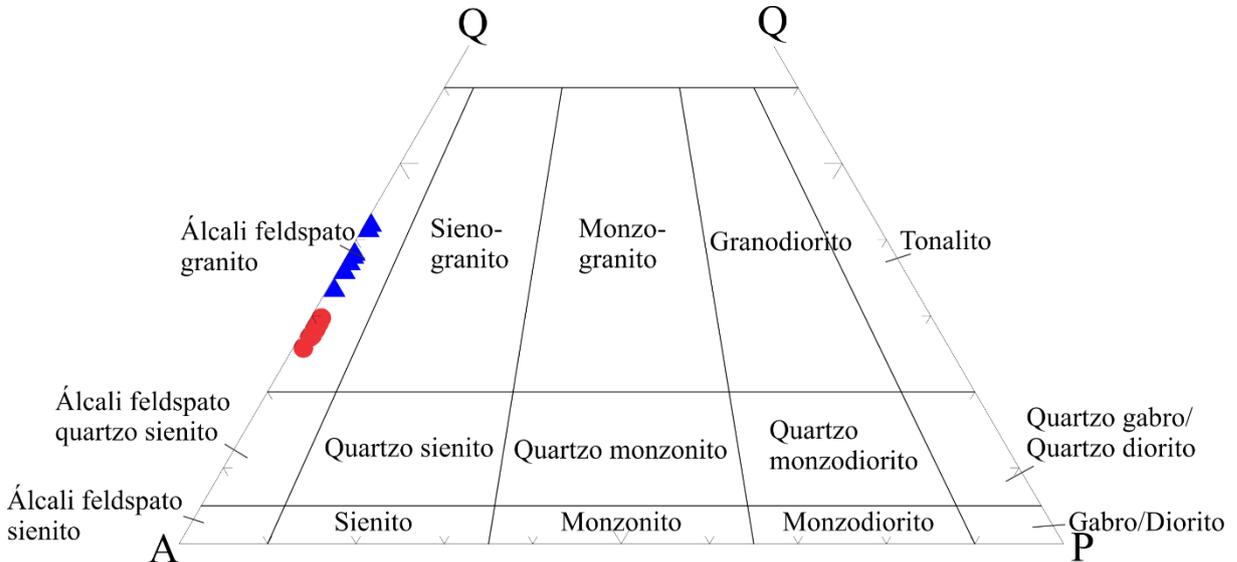


Figura 5.3. Diagrama QAP (Quartzo, Feldspato alcalino e Plagioclásio) com a composição modal estimada para os topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro do morro Bom Futuro.

Litologia	Minerais	Fenocristais (%)			Matriz (%)							
		Quartzo	Albita	Microclínio	Quartzo	Albita	Microclínio	Topázio	Li-mica	Fluorita	Min. Opacos	Zircão
Topázio Riólito		5 - 8	1 - 3	1 - 2	25 - 35	22 - 30	13 - 20	5 - 20	1 - 5	Tr - 3	Tr - 1	Tr
Topázio Granito		3 - 5	5 - 10	2 - 4	20 - 30	35 - 45	12 - 20	1 - 4	1 - 3	Tr - 3	Tr	Tr

Tabela 2. Porcentagem modal estimada para os topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro do morro Bom Futuro.

5.2.1 Topázio Riólito Pórfiro

O topázio riólito pórfiro é leucocrático, tem coloração cinza clara e textura porfirítica de matriz muito fina (figura 5.4A). Os fenocristais (0,5 a 2,0 mm) de quartzo, albita e, em menor quantidade, microclínio, compõem até 10% da rocha, e podem apresentar inclusões de minerais da matriz. A matriz é constituída por albita, quartzo, microclínio, topázio, Li-mica e minerais opacos. O topázio riólito pórfiro tem estrutura predominantemente maciça, localmente xenolítica (figura 5.4B), com enclaves angulosos de quartzo e granito róseo, ou fluidal (figura 5.4C), caracterizada por bandamento composicional milimétrico com diferentes quantidades de albita, quartzo e topázio. Em alguns locais, agregados de sulfetos (pirita, esfalerita e galena) de alguns centímetros conferem um aspecto mosqueado ao riólito (figura 5.4D). Concentrações dispersas de fluorita e topázio conferem um aspecto manchado à rocha.

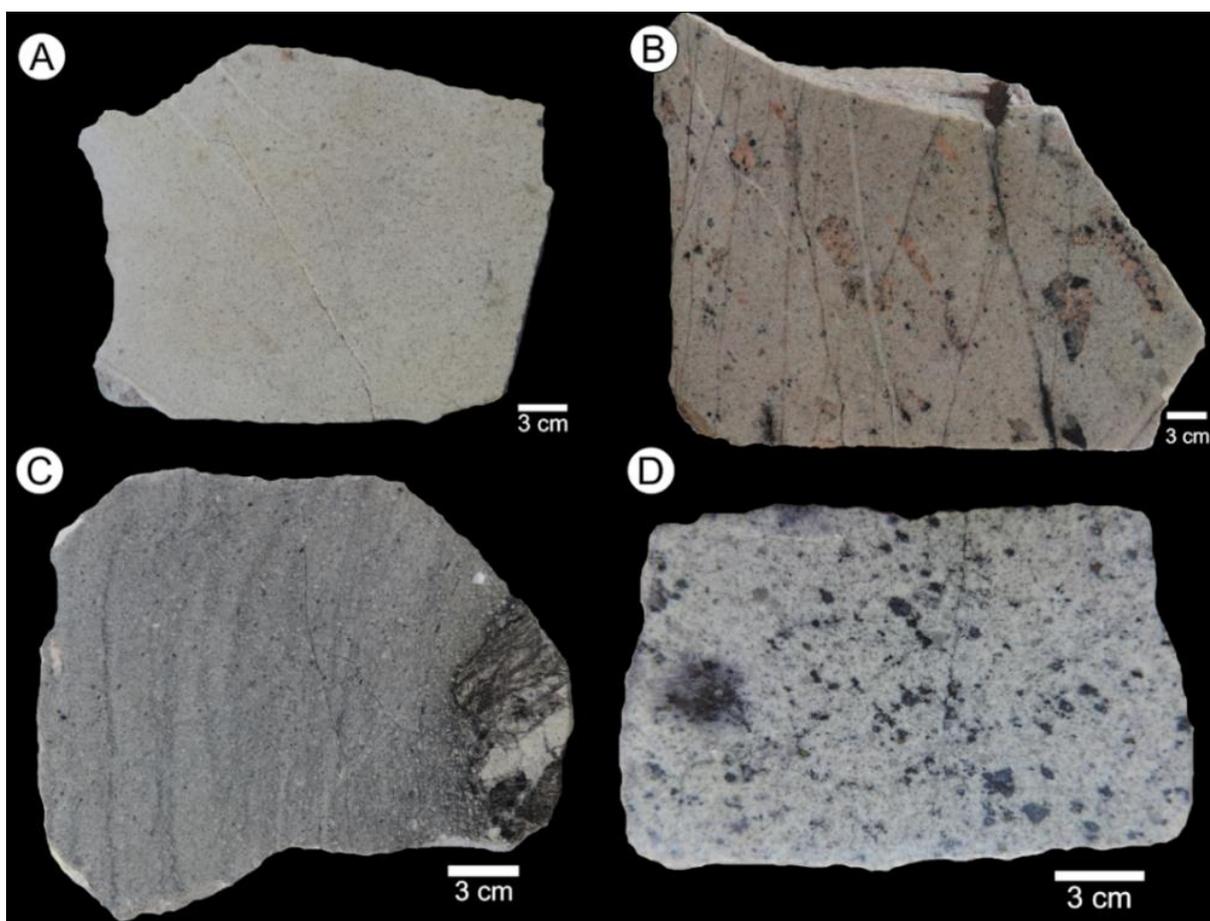


Figura 5.4 Aspectos petrográficos macroscópicos do topázio riólitos pórfiros. A) Cinza porfirítico com estrutura maciça; B) Cinza rosado com estrutura xenolítica (brecha intrusiva); C) Cinza porfirítico com estrutura fluidal; D) Cinza porfirítico com aspecto manchado.

No geral, os fenocristais de albita e microclínio são subédricos, apresentam bordas difusas e arredondadas e estão imersos em matriz xenomórfica de granulação muito fina (ver figura 5.5).

A albita tem hábito subédrico, à anédrico quando compõe a matriz, sob forma de ripas com geminação polissintética pouco desenvolvida pelos cristais e fina. O contato paralelo à seção longitudinal das ripas é predominantemente retilíneo e serrilhado a lobular nas demais. Como fenocristal, as feições irregulares são mais frequentes e são comuns as inclusões de micas, albita e fluorita. Localmente, os fenocristais de albita são circundados por microclínio.

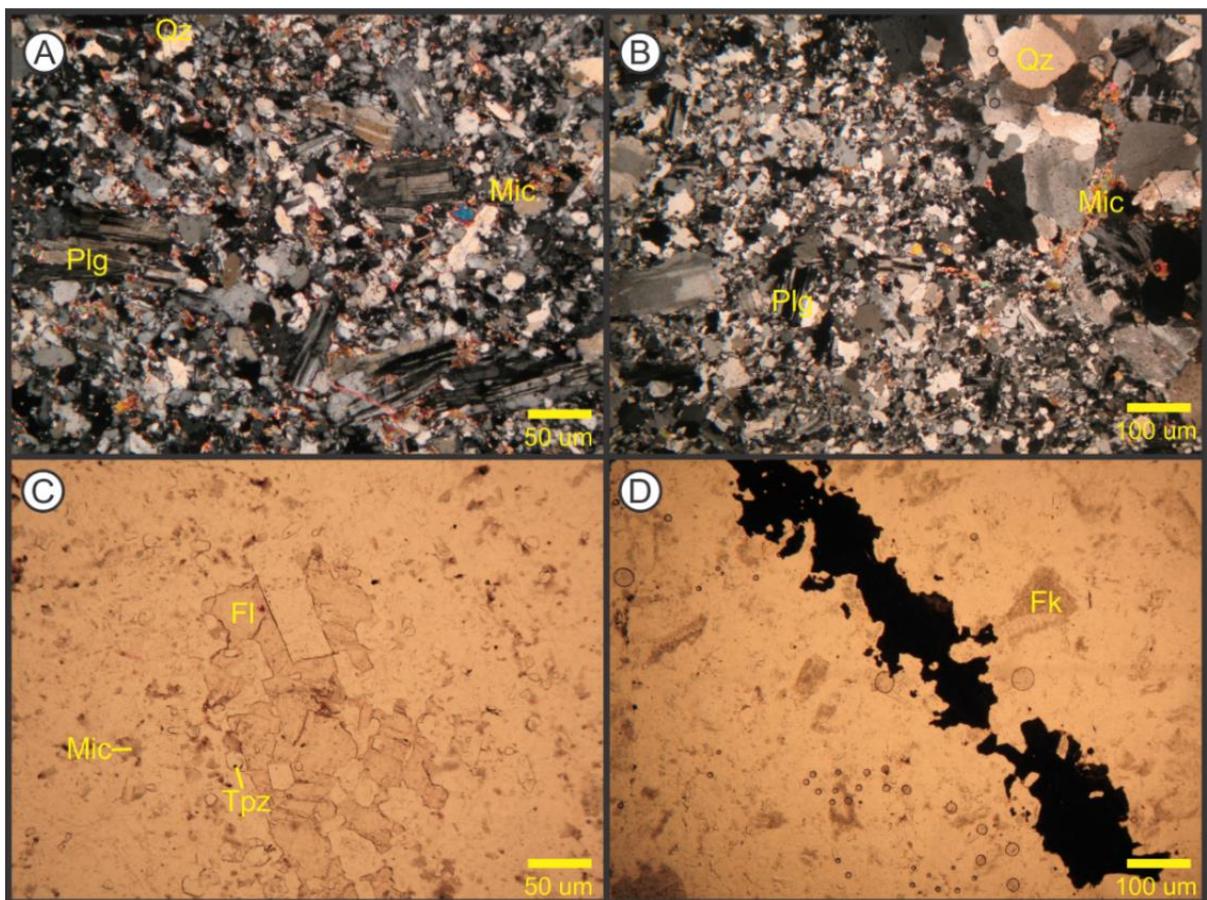


Figura 5.5. Aspectos petrográficos microscópicos do topázio riólito pórfiro a nicóis cruzados. A) Textura porfírica com sutil anisotropia denotada por fenocristais de albita e quartzo sutilmente orientados; B) Fragmento de granito róseo em topázio riólito pórfiro. A nicóis descruzados: C) Fluorita no interstício de fenocristais de albita e topázios da matriz; D) Mineral opaco anédrico sob forma alongada. Legenda: Qz-quartzo, Plg-plagioclásio/albita, Fk-feldspato potássico/microclínio, Mic-micas, Tpz-topázio, Fl-fluorita

O quartzo tem hábito anédrico, tanto na matriz ou como fenocristal (até 2,0 mm). Os cristais tendem a ter forma arredondada, com contatos lobulados com a matriz e sinuosos com outros fenocristais de quartzo. Contém poucas inclusões de micas, fluorita e ripas de albita.

O feldspato potássico é representado por microclínio. Ocorre como matriz e, em menor escala, como fenocristal (1,0 mm). Pode apresentar pertitas em manchas e microinclusões da matriz paralelas segundo a maior alongação do cristal. O contato com a matriz é irregular, sinuoso, que conferem um aspecto de “corrosão” das bordas.

O topázio ocorre na matriz, como prismas/acículas subédricas com bordas arredondadas ou de forma anédrica e granular muito fina. Quando prismático, ocorre como agregados concêntricos e, quando anédrico, é disseminado pela matriz. Localmente ocorre concentrado, euédrico, sob granulação média a grossa, com aparente associação às micas.

As micas ocorrem disseminadas pela matriz, com hábito subédrico a anédrico muito finos. Pode ocorrer como inclusões em fenocristais de quartzo e microclínio. Os minerais opacos ocorrem preenchendo interstícios ou sobrepondo os minerais da matriz. A fluorita ocorre de forma intersticial ou ocupando os planos de geminação polissintética dos fenocristais de albita. Minerais de alteração não identificáveis ao microscópio podem ocorrer associados a micas ou, em menor frequência, ao topázio.

5.2.2 Topázio Granito Pórfiro

O topázio granito pórfiro tem coloração cinza a rósea e textura porfírica de matriz fina a média (figura 5.6A e B). Os fenocristais (1,0 a 7,0 mm) de quartzo e microclínio, anédricos a subédricos, compõe até 15% da rocha, e contêm inclusões de minerais da matriz dispostos de forma helicítica, segundo os planos de crescimento do cristal hospedeiro, que caracterizam uma textura bola de neve. A matriz é xenomórfica a hipautomórfica, inequigranular seriada, constituída por albita, quartzo, microclínio, topázio, Li-mica e minerais opacos. É comum a ocorrência de fluorita disseminada na matriz que, quando em maiores concentrações, confere aspecto manchado a rocha (figura 5.6C e D). Aspectos microscópicos podem ser observados na figura 5.7.

A albita é o principal mineral constituinte da rocha, e ocorre em grande espectro de granulação, desde a matriz fina (0,1 mm) à fenocristais de até 2,0 mm, como ripas euédricas à subédricas, com geminação polissintética segundo a lei da albita. Apresentam contatos essencialmente retilíneos com os outros minerais e frequentemente ocorrem inclusos em outros fenocristais.

O quartzo ocorre como fenocristais globulares de 2 a 5 mm, ou como matriz fina, sob forma subédrica a anédrica. Os fenocristais têm uma tendência à hábitos arredondados, comumente

fraturados e apresentam bandas e lamelas de deformação, com formação de subgrão. Possuem contatos engrenados com os minerais da matriz e retilíneos com ripas de albita euédrica. Apresenta inclusões de albita e, em menor quantidade, microclínio e Li-mica, em um padrão bola de neve. Por vezes, cristais de feldspato potássico anédrico de até 1mm estão parcialmente inclusos. O quartzo também ocorre de forma ameboide, englobando minerais da matriz ou sob forma intersticial nesta.

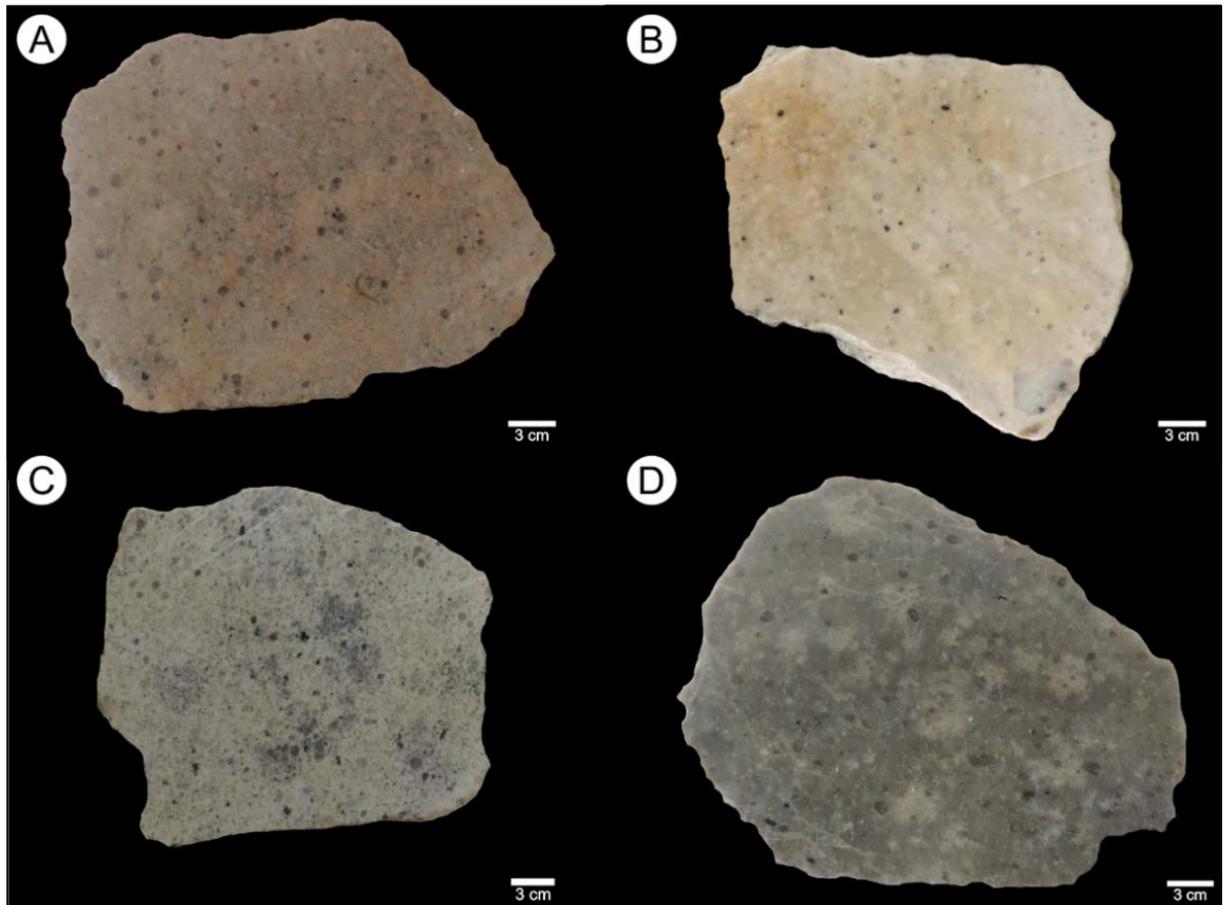


Figura 5.6. Aspectos petrográficos macroscópicos do topázio granito pórfiro. A) Róseo porfirítico com estrutura maciça; B) Cinza porfirítico com estrutura fracamente bandada; C e D) cinza porfirítico com estrutura maciça e aspecto manchado.

O feldspato potássico é representado por microclínio perítico (vênulas e manchas) e ocorre majoritariamente como fenocristais (1,5-2,5 mm), sob forma subédrica e hábito prismático. Os cristais têm aspecto sujo, com microinclusões muito finas que conferem coloração acinzentada/amarronzada ao mineral. Possui contatos retilíneos com cristais euédricos de albita, retilíneos a sinuosos com o quartzo, retilíneos com outros fenocristais de feldspato potássico e engrenados a serrilhados com a matriz. Possui inclusões de albita e quartzo que conferem um aspecto de bola de neve ao fenocristal. Alguns fenocristais são parcialmente substituídos por albita.

O topázio ocorre como prismas euédricos de 0,01 a 0,05 mm de comprimento na matriz, com contatos retilíneos com os demais minerais. Localmente atinge 0,5 mm, sob hábito euédrico e associado a micas e opacos. Também ocorre incluso em albita associado com fluorita.

A Li-mica tem pleocroísmo marrom forte à castanho e contém halos pleocróicos ao redor de inclusões de opacos e acessórios muito finos. Ocorre essencialmente na granulação fina (0,1-0,2 mm), com contatos retilíneos com os demais minerais da matriz. Os cristais são anédricos e intersticiais, sob forma de lamelas (geralmente sem clivagem evidente). Localmente, atingem 0,8 mm, como aglomerados de micas associadas à opacos e topázio.

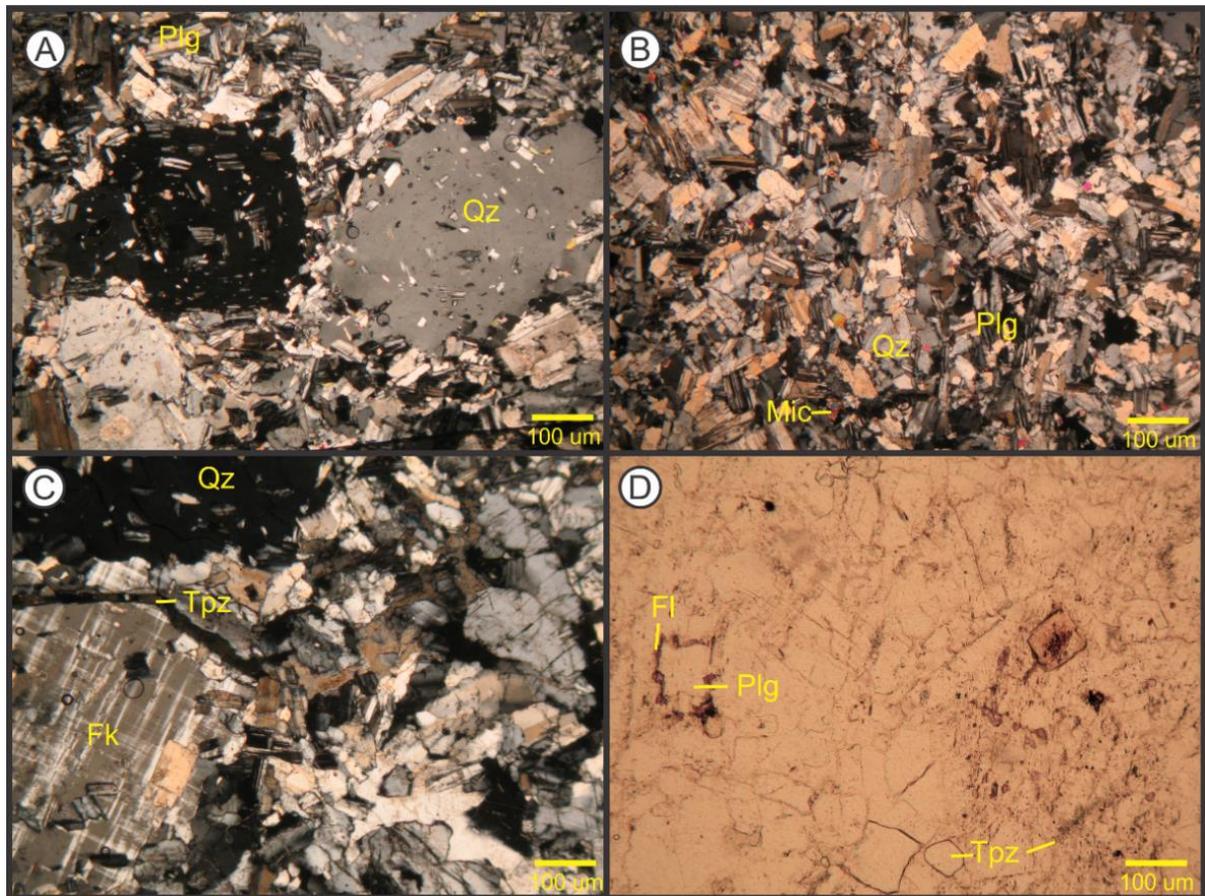


Figura 5.7. Aspectos microscópicos do topázio granito pórfiro. A) Fenocristais de quartzo com textura bola de neve. B) Matriz granítica com textura inequigranular seriada. C) Fenocristal de microclínio com geminação em grade e inclusões. Cristais de topázio em vênula no contato fenocristal/matriz. D) Fluorita preenchendo planos de geminação da albita. Legenda: Qz-quartzo, Plg-plagioclásio/albita, Fk-feldspato potássico/microclínio, Mic-micas, Tpz-topázio, Fl-fluorita.

A fluorita é anédrica, roxa a incolor. Preenche interstícios na matriz ou ocorre como inclusões nos planos de geminação dos cristais de albita, comumente associada ao topázio quando inclusa.

Os minerais opacos são anédricos e granulares, e ocorrem associado às micas de maior granulação, que ocorrem como manchas irregulares. Localmente, ocorrem vênulas com topázio, parcialmente alterado para filossilicatos muito finos não identificados na petrografia convencional.

5.3 LITOGEOQUÍMICA

Os topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro do morro Bom Futuro apresentam variações texturais significativas, com diferenças pontuais, que são refletidas nas análises químicas de rocha total. Os resultados das análises químicas e as razões calculadas das amostras representativas dos pórfiros graníticos com topázio (topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro) estão expostos nas Tabela 3 e 4. O topázio granito pórfiro representa uma fase mais evoluída que o topázio riólito pórfiro, apesar de algumas relações de elementos maiores sugerirem o contrário, e isso será reapresentado no capítulo de discussão.

Os pórfiros graníticos com topázio do morro Bom Futuro são rochas supersaturadas em sílica, com $\text{SiO}_2 > 71\%$, e tem baixos teores de TiO_2 (0,01 a 0,04%), MnO (<0,01 a 0,04%), MgO (0,01 a 0,16%) e P_2O_5 (0,01 a 0,06%). No geral, o topázio granito pórfiro apresenta teores maiores de Al_2O_3 (15,99 a 17,27%), Na_2O (5,47 a 6,84%) e K_2O (3,79 a 4,68%), e menores de SiO_2 (71,26 a 71,98%) e FeO^t (0,27 a 0,60%) em relação ao topázio riólito pórfiro.

Nos diagramas de Harcker (figura 5.8), as concentrações de Al_2O_3 , K_2O , MgO e Na_2O apresentam forte correlação negativa com os teores de SiO_2 , com exceção de *outliers* no topázio riólito pórfiro em função de incipiente alteração, enquanto as concentrações de TiO_2 , FeO^t , CaO e P_2O_5 pouco variam entre cada litotipo.

O topázio granito pórfiro e topázio riólito pórfiro são classificados, segundo os diagramas de discriminação tectônica de Frost et al. (2001), como ferroanos (figura 5.9A), com pequena dispersão para o campo magnésiano em topázio riólitos parcialmente alterados, com afinidade alcalina e alcali-cálcica (figura 5.9B), respectivamente. Os pórfiros graníticos com topázio são rochas fortemente peraluminosas, com índices A/CNK ($\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) entre 1,50 e 1,71, para o topázio granito pórfiro, e 1,69 a 1,92, para o topázio riólito pórfiro (figura 5.9C), situados no campo dos granitoides Tipo A (figura 5.10A). Nos diagramas de discriminação tectônica de Pearce et al. (1984), essas rochas são inseridas no campo dos Granitos Intraplaca, com dispersão para o campo sin-colisional nos diagramas que utilizam o

Amostras	Topázio granito ●					Topázio riólito ▲						
	BF - 16B	BF - 24A	BF - 28A	BF - 47A	BF - 159	BF - 16E	BF - 23A	BF - 23B	BF - 28B	BF - 34B	BF - 48A	BF - 112
(% peso)												
SiO ₂	71,97	71,34	71,76	71,98	71,26	74,22	74,38	74,50	74,00	72,48	73,08	74,15
TiO ₂	0,03	0,03	0,01	0,02	0,01	0,04	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01
Al ₂ O ₃	16,51	17,27	16,45	15,99	16,82	15,18	15,28	15,70	15,62	15,92	15,41	15,67
FeOT	0,27	0,48	0,45	0,51	0,60	0,35	0,51	0,21	1,28	1,61	1,43	0,47
MnO	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00	0,03	0,03	0,04	0,02
MgO	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,16	0,16	0,10	0,01	0,06	0,05	0,03
CaO	0,39	0,07	0,27	0,22	0,40	0,32	0,15	0,28	0,08	0,63	1,09	0,07
Na ₂ O	5,59	5,47	6,77	6,84	6,33	4,72	4,69	6,81	4,09	5,76	6,82	7,52
K ₂ O	4,68	4,53	3,79	3,57	3,93	3,69	3,97	1,08	3,51	3,02	1,72	1,80
P ₂ O ₅	0,04	0,03	0,02	0,02	0,06	0,03	0,03	0,03	0,04	0,01	0,05	0,04
Perda ao fogo	0,60	0,61	0,59	0,73	0,50	1,12	0,74	1,26	0,50	0,69	0,33	0,25
SOMA	100,17	99,92	100,19	99,96	99,99	99,85	99,96	100,00	100,03	100,23	100,02	100,03
(ppm)												
U	7,00	14,00	13,00	20,00	5,20	15,00	10,00	10,00	4,26	11,00	8,46	11,84
Th	21,0	43,0	5,0	12,0	22,5	9,0	8,0	17,0	12,5	19,0	16,8	10,5
Hf	4,0	17,0	3,0	2,0	-	3,0	4,0	20,0	-	15,0	-	-
Zr	26,0	69,0	16,0	15,0	7,0	28,0	16,0	74,0	4,0	53,0	47,0	20,0
Y	32,0	64,0	13,0	4,0	21,0	134,0	43,0	53,0	15,0	11,0	42,0	15,0
Rb	1280,0	988,0	960,0	920,0	1162,9	1060,0	1247,0	151,0	966,0	1188,0	723,0	443,0
Sr	75,0	42,0	62,0	19,0	61,5	46,0	25,0	19,0	79,0	22,0	37,0	16,0
Ba	82,0	406,0	53,0	40,0	39,8	65,0	67,0	74,0	183,0	204,0	103,0	144,0
Ga	100,0	162,0	102,0	100,0	80,1	117,0	114,0	97,0	75,0	98,0	91,0	103,0
Ta	118,0	251,0	89,0	65,0	-	340,0	240,0	187,0	-	262,0	-	-
Nb	57,0	80,0	59,0	59,0	47,7	130,0	89,0	33,0	71,0	80,0	62,0	113,0
Sn	23,0	58,0	71,0	23,0	<20	85,0	127,0	17,0	<20	83,0	<20	<20
Cu	2,0	<10	2,0	3,0	1,0	189,0	167,0	<10	2,0	3,0	38,0	2,0
Pb	71,0	62,0	6,0	61,0	33,0	8,0	7,0	16,0	<8	12,0	274,0	42,0
Zn	519,0	1310,0	1088,0	307,0	454,0	347,0	364,0	1230,0	400,0	238,0	662,0	306,0
Cs	1,2	1,3	0,7	0,7	-	1,4	1,4	0,4	-	2,8	-	-
(ppm)												
La	23,9	27,1	3,8	5,0	6,0	40,5	9,4	13,2	9,9	3,9	3,0	1,0
Ce	33,3	41,0	11,4	14,8	3,0	39,4	23,2	27,3	18,0	14,8	15,0	19,0
Pr	8,83	12,50	1,30	1,54	1,46	14,76	4,75	6,04	2,67	2,12	1,85	3,17
Nd	39,5	52,6	4,3	3,8	4,3	69,8	20,1	25,9	5,9	6,2	4,5	11,3
Sm	9,00	12,10	1,70	0,80	0,90	16,80	6,60	6,46	1,00	1,40	1,20	2,50
Eu	1,03	1,85	0,29	<0,05	<0,05	2,58	0,79	1,08	<0,05	0,27	0,21	0,25
Gd	6,76	12,50	2,22	0,59	0,71	19,87	6,22	8,05	0,56	1,52	1,75	2,54
Tb	1,19	1,98	0,39	0,13	0,14	3,41	1,21	1,40	<0,05	0,33	0,41	0,41
Dy	5,56	11,10	2,33	1,03	1,28	16,40	5,81	8,05	0,56	1,77	3,59	2,84
Ho	1,28	2,26	0,54	0,18	0,21	4,19	1,32	1,40	0,06	0,42	0,70	0,53
Er	3,78	6,95	1,81	0,72	0,96	12,26	4,38	8,25	0,33	1,45	2,38	1,78
Tm	0,61	1,11	0,35	0,21	0,88	1,76	0,71	0,84	0,71	0,34	1,33	0,89
Yb	4,11	8,20	3,00	2,51	2,10	12,96	5,52	6,27	0,70	3,09	4,10	2,40
Lu	0,64	1,27	0,46	0,37	0,28	2,12	0,95	0,99	0,07	0,55	0,53	0,34

Tabela 3. Resultados das análises químicas do topázio riólito e granito do morro Bom Futuro.

Rb como parâmetro (figura 5.11). Com base nas razões K/Rb e Rb/Sr e no diagrama ternário de El Bouseily & El Sokkary (1975), o topázio granito pórfiro e topázio riólito pórfiro são classificados como Granitos altamente diferenciados (figura 5.12).

Amostras	Topázio granito					Topázio riólito						
	BF - 16B	BF - 24A	BF - 28A	BF - 47A	BF - 159	BF - 16E	BF - 23A	BF - 23B	BF - 28B	BF - 34B	BF - 48A	BF - 112
A/CNK ¹	1,55	1,71	1,52	1,50	1,58	1,74	1,73	1,92	2,03	1,69	1,60	1,67
A/NK ¹	1,61	1,73	1,56	1,54	1,64	1,80	1,76	1,99	2,06	1,81	1,80	1,68
Na/K	1,07	1,08	1,60	1,71	1,44	1,14	1,06	5,64	1,04	1,71	3,55	3,74
K/Rb	30,3	38,1	32,8	32,2	28,0	28,9	26,4	59,4	30,2	21,1	19,7	33,7
Rb/Sr	17,1	23,5	15,5	48,4	18,9	23,0	49,9	7,9	12,2	54,0	19,5	27,7
Nb/Ta	0,5	0,3	0,7	0,9	-	0,4	0,4	0,2	-	0,3	-	-
Zr/Hf	6,5	4,1	5,3	7,5	-	9,3	4,0	3,7	-	3,5	-	-
10000*Ga/Al	11,4	17,7	11,7	11,8	9,0	14,5	14,1	11,7	9,1	11,6	11,1	12,4
(La/Yb) _n ²	3,9	2,2	0,9	1,3	1,9	2,1	1,1	1,4	9,5	0,9	0,5	0,3
Eu/Eu* ²	0,40	0,46	0,46	0,22	0,19	0,43	0,38	0,46	0,20	0,57	0,44	0,30

Tabela 4. Razões químicas dos pórfiros graníticos com topázio do morro Bom Futuro. ¹ Proporção molecular: A/CNK ($Al_2O_3/CaO+Na_2O+K_2O$); A/NK (Al_2O_3/Na_2O+K_2O). ² Valores normalizados segundo Boynton (1984).

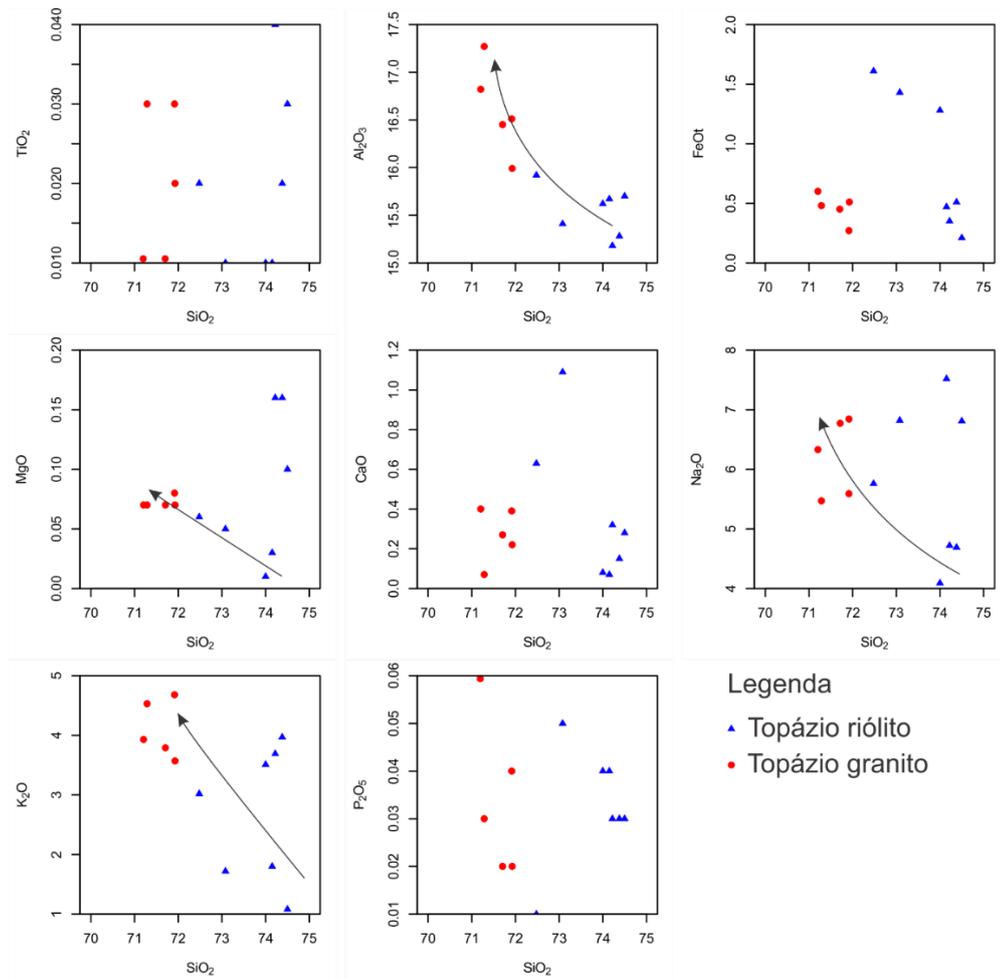


Figura 5.8. Diagrama de Harcker (1909) para o topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro do morro Bom Futuro.

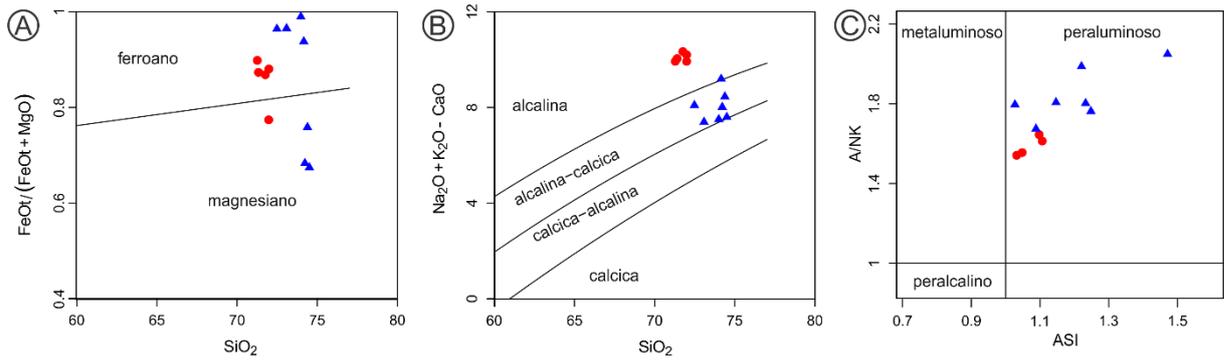


Figura 5.9. Diagramas de A) e B) elementos maiores baseados na classificação de granitoides de Frost et al. (2001) e C) e A/CNK versus A/NK de Shand (1943) para o topázio riólito pe topázio granito pórfiro do morro Bom Futuro.

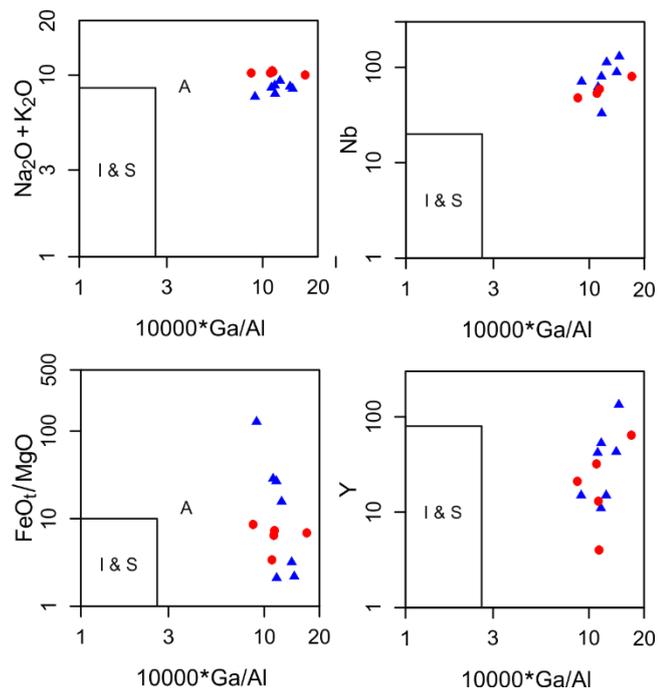


Figura 5.10. Diagramas de classificação de Whalen et al. (1987) para o topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro do morro Bom Futuro.

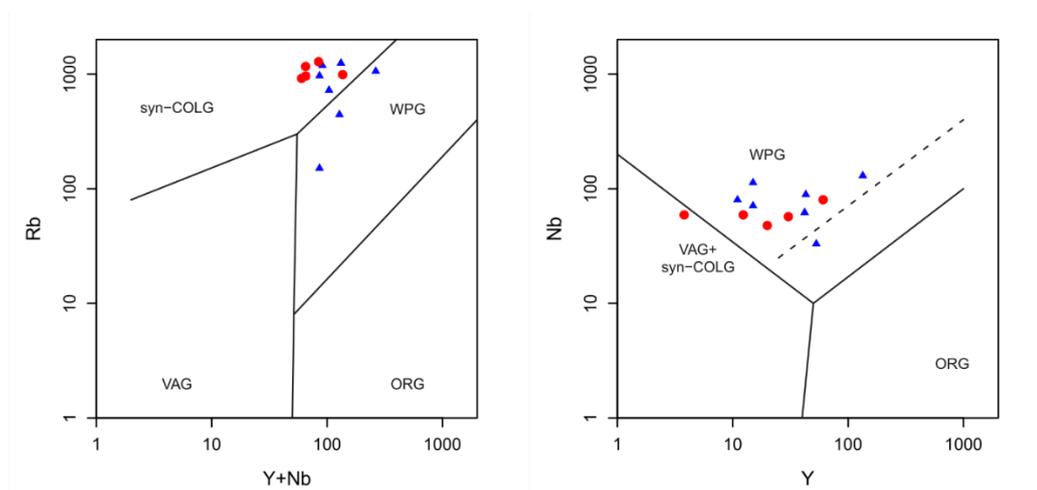


Figura 5.11. Diagrama de classificação tectônica de granitoides de Pearce et al. (1984) para o topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro do morro Bom Futuro.

BF - 28B, que atinge valores de 9,5. O topázio granito pórfiro tem maior variação na razão La/Yb_n (0,9 e 3,9) e anomalias de európio entre 0,19 e 0,46.

Amostras	Topázio granito					Topázio riólito						
	BF - 16B	BF - 24A	BF - 28A	BF - 47A	BF - 159	BF - 16E	BF - 23A	BF - 23B	BF - 28B	BF - 34B	BF - 48A	BF - 112
Q	20.709	22.024	17.257	18.020	18.606	31.812	31.429	30.099	36.693	26.004	24.540	23.437
C	1.635	3.312	0,767	0,521	1.569	2.911	3.066	2.891	5.043	2.054	0,467	1.319
Or	27.657	26.771	22.398	21.098	23.225	21.807	23.462	6.382	20.743	17.847	10.165	10.637
Ab	47.301	46.286	57.286	57.878	53.563	39.939	39.685	57.624	34.608	48.740	57.709	63.632
An	1.674	0,151	1.209	0,961	1.592	1.392	0,548	1.193	0,136	3.060	5.081	0,086
Hy	0,199	0,174	0,176	0,174	0,195	0,399	0,421	0,249	0,064	0,172	0,182	0,095
Il	0,021	0,043	0,019	0,021	0,019	0,043	0,038	0	0,019	0,038	0,019	0,019
Ru	0,019	0,007	0	0,009	0	0,017	0	0,03	0	0	0	0
Ap	0,095	0,071	0,047	0,047	0,142	0,071	0,071	0,071	0,095	0,024	0,118	0,095
Total	99.310	98.840	99.159	98.729	98.912	98.390	98.720	98.540	97.401	97.939	98.281	99.321

Tabela 4. Dados do cálculo normativo para os pórfiros graníticos com topázio do morro Bom Futuro. Siglas dos minerais segundo Hutchison (1974): Q=quartzó; C=coríndon; Or=ortoclásio; Ab=albita; An=anortita; Hy=Hiperstênio; Il=ilmenita; Ru=Rutilo; Ap=Apatita.

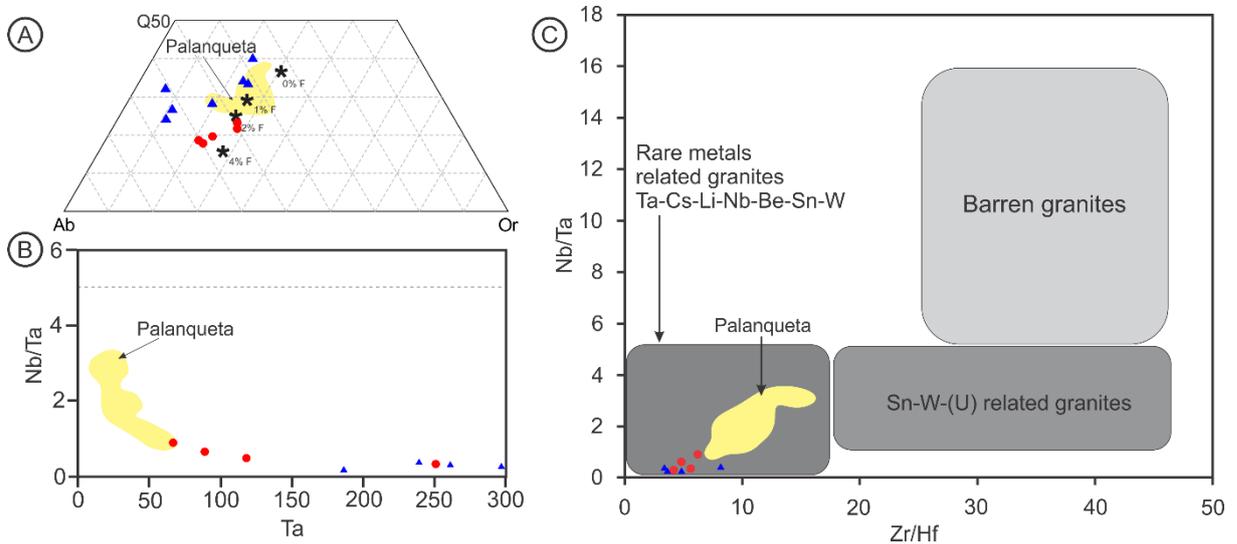


Figura 5.13 A) composição normativa Q-Ab-Or. Ternário mínimo úmido (*) a 1 Kbar e com 0, 1, 2 e 4% de flúor de Turtle & Bowen (1958, em Manning 1982) e de Manning (1982), respectivamente; e de variação de Nb/Ta em função de Ta em B e Zr/Hf em C, com campos delimitados por Ballouard et al. (2016). Campos em amarelo representam os granitos do morro Palanqueta de Foster (2016).

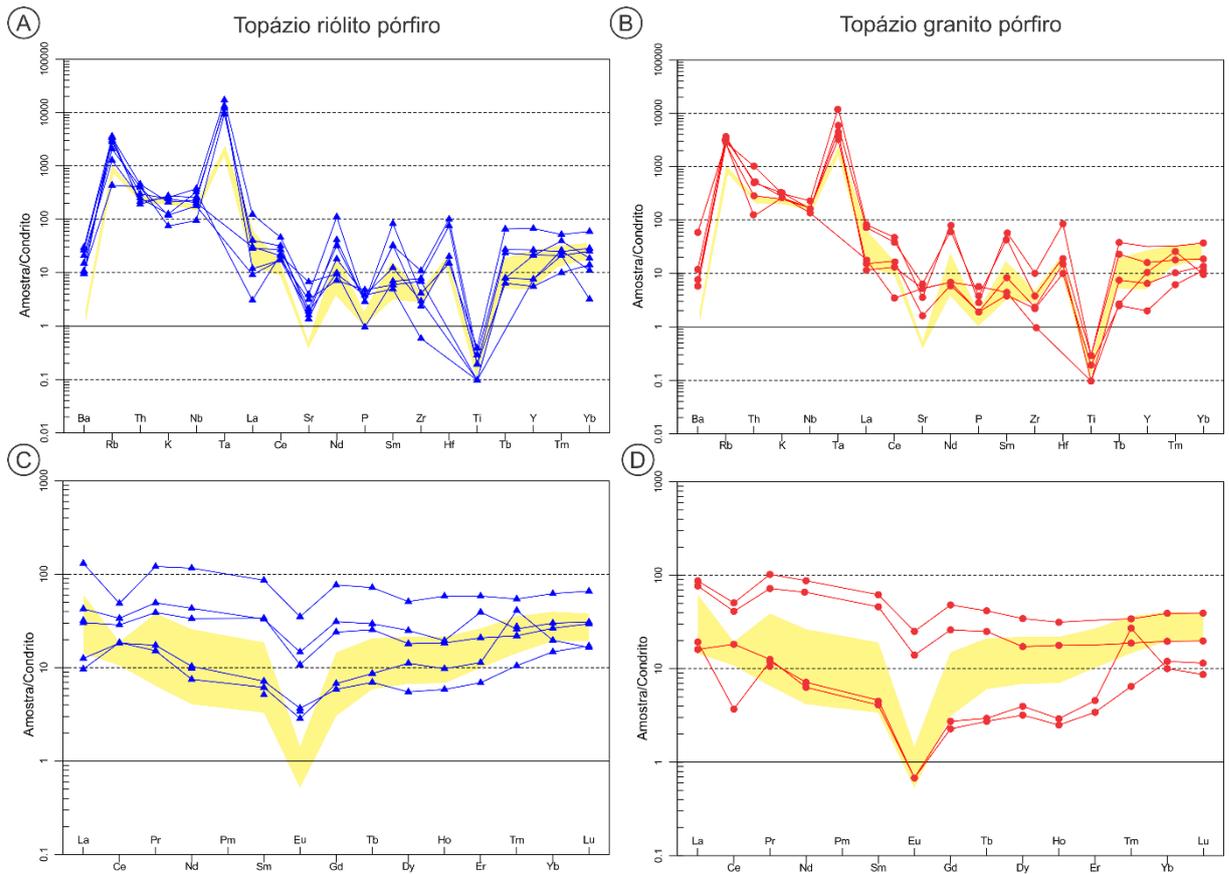


Figura 5.14. A e B) Diagramas multi-elementares normalizados pelo condrito Thompson et al., (1982); C e D) Padrão de ETR normalizado pelo condrito de Boynton (1984) para os pórfiros graníticos com topázio do morro Bom Futuro. Campos em amarelo representam à fácies topázio-zinnwaldita-álcali feldspato granito pórfiro do morro Palanqueta de Foster (2016).

6 DISCUSSÃO

As relações de campo sugerem uma colocação de caráter permissivo dos magmas graníticos e indicam que o topázio granito pórfiro é mais jovem que o topázio riólito pórfiro. A forma de ocorrência (diques) e a textura porfirítica indicam um ambiente de colocação subvulcânico. As brechas no exocontato foram geradas pela injeção do magma granítico de forma permissiva nas encaixantes, com pouca ou nenhuma rotação dos fragmentos. As brechas no endocontato e as feições xenolíticas sugerem o transporte de fragmentos de zonas distais, e a composição dos clastos indica que o magma em ascensão interceptou corpos graníticos e veios mais antigos em profundidade. A ocorrência de *stockscheider* e endogreisens sugerem processos de concentração e exsolução de fluidos em estágios tardi-magmáticos. A ocorrência de múltiplas fases de venulações de quartzo e pegmatito ainda indica o caráter mais hidratado do magma.

A textura bola de neve presente nos fenocristais de quartzo e microclínio indica a cristalização simultânea no magma entre as paragêneses quartzo+albita+Li-mica (quartzo bola de neve) e microclínio+albita (fenocristais de microclínio), respectivamente, e é comum em rochas altamente evoluídas. Segundo Plimer (1987), o padrão de zoneamento irregular observado se deve à desgaseificação do magma durante seu resfriamento e, devido ao caráter reativo dos fluidos exsolvidos, os fenocristais são parcialmente “canibalizados” e dissolvidos. Sendo assim, Pitfield et al. (1990) conclui que a textura bola de neve é um indicador de magmas enriquecidos em F-Li, supersaturados em fluidos, de álcali-feldspato granitos situados em ambiente subvulcânico (raso).

Segundo Happala (1997), a albita, em rochas graníticas, pode ser formada por quatro processos: (1) Cristalização magmática; (2) Exsolução de álcali-feldspato; (3) Desanortização de plagioclásios; (4) Albitização por metassomatismo sódico. Nos pórfiros graníticos com topázio são reconhecidos cristais euédricos de albita formadas por (1), pertitas sob forma de vênulas e manchas em microclínio formadas por (2). Localmente, cristais de plagioclásio saussuritizados refletem o processo (3). A pequena dispersão das amostras no diagrama ternário Q-Ab-Or corrobora uma origem magmática desses três minerais.

Quando comparado à média dos granitos pobres em cálcio de Turekian & Wedepohl (1961), os pórfiros graníticos com topázio do morro Bom Futuro apresentam teores mais altos de SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, Rb, Nb, Ta, Ga, Sn, Hf e U e mais baixos de TiO₂, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, K₂O,

P₂O₅, Nb, Cs, Ba, Sr e Zr. Segundo a classificação de Taylor & Fallick (1997), são inseridos no subtipo pobre em P₂O₅.

O topázio granito pórfiro (mais jovem) possui maiores concentrações de Al₂O₃, Na₂O e K₂O e menor de SiO₂ em relação ao topázio riólito pórfiro (mais antigo). Essa relação reflete na mineralogia essencial, sendo o granito mais enriquecido em albita e o riólito em quartzo. Segundo Taylor & Fallick (1997), o flúor reduz a temperatura liquidus e desloca o eutético em direção ao eixo da albita no diagrama ternário Q-Ab-Or, além de aumentar a solubilidade de H₂O no magma, o que contribui para a despolimerização do magma granítico. Como resultado, há uma inversão do *trend* de diferenciação convencional com enriquecimento em álcalis e alumina nas fases mais jovens de sistemas altamente evoluídos, como observado nos pórfiros graníticos com topázio do morro Bom Futuro. Além disso, o F é o principal responsável para o alojamento de magma granítico em níveis crustais mais rasos, pois reduz a viscosidade (DINGWELL, 1987) e densidade (DINGWELL et al., 1993) destes.

Como produto da diferenciação magmática, o magma granítico tem baixas concentrações de Cr, Ni, Co, Sr, Ba, Zr e altas de Li, Rb, Ce, etc (GELMAN et al., 2014; LEE & MORTON, 2015). Em magmas graníticos altamente fracionados, como evidente no topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro do morro Bom Futuro, essas razões decrescem e, segundo Bau (1996) e Ballouard et al. (2016), os índices de Zr/Hf =26 e Nb/Ta=5 marcam o limite entre os processos estritamente magmáticos e a interação magmática-hidrotermal. No topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro a razão Nb/Ta tem valores de 0,2 a 0,4 e 0,3 a 0,9, respectivamente, o que sugere a associação de processos magmáticos com fases fluidas tardias na evolução dessas rochas. Sendo assim, os pórfiros graníticos com topázio situam-se no campo dos granitos especializados em metais raros (Ta-Cs-Li-Nb-Be-Sn-W), ainda que não sejam conhecidas outras mineralizações relevantes além do estanho. A razão K/Rb extremamente baixa (<59,4) associada à altas concentrações de elementos traços móveis (ver figura 5.14A e B) também é característica na evolução de sistemas hidrotermais (SHAW, 1968).

A razão Zr/Hf aumenta no topázio granito pórfiro em relação ao topázio riólito pórfiro, o que sugere um comportamento incompatível desses elementos durante os processos de cristalização magmática. O comportamento incompatível de Zr e Hf pode ser associado à despolimerização do fundido magmático em função da alta concentração de flúor do sistema e ao enriquecimento em elementos alcalinos no magma residual (LINNEN & KEPPLER, 2002; ZARAIKY et al., 2009). No entanto, em função da incipiente presença de minerais portadores

de Zr e Hf nos pórfiros graníticos com topázio, um único cristal de zircão pode provocar um efeito pepita, com resultados pouco confiáveis.

O conteúdo de ETRs no topázio riólito pórfiro varia em cerca de 10 vezes entre as amostras, e podem ser distinguidos ao menos três grupos de acordo com essas diferenças. No geral, apresentam enriquecimento relativo de ETRL sobre ETRP e anomalias negativas de európio: Eu/Eu^* de 0,20 a 0,57. As variações entre os conjuntos ficam restritas essencialmente ao Ce, que apresenta anomalias negativas nos grupos com maior ΣETR e positivas quando menor o ΣETR , e sugere interferência de oxidação nas amostras. As amostras com teores intermediários de ETR pertencem a um corpo diferente das demais, o que pode justificar o enriquecimento diferenciado em relação às demais.

No topázio granito pórfiro, notam-se dois conjuntos de amostras, com a mesma variação de 10 vezes observada no topázio riólito pórfiro. Também apresentam fraco enriquecimento de ETRL sobre ETRP e anomalias negativas de európio: Eu/Eu^* de 0,19 a 0,46. As amostras mais enriquecidas pertencem aos menores diques, enquanto as demais pertencem aos diques principais.

As anomalias negativas de Eu sugerem a perda de plagioclásios por cristalização fracionada na história evolutiva do magma granítico que deu origem aos pórfiros graníticos com topázio. Alguns autores sugerem que tal anomalia também pode ser produto da partição preferencial de Eu^{2+} em fases fluidas coexistentes (ver IRBER, 1999).

Apesar de variações geoquímicas relevantes, pouco pôde ser correlacionado com as características petrográficas, em função da mineralogia essencial de quartzo+albita+microclínio+topázio constituir até 99% da rocha e apresentar pequenas variações composicionais entre os diques, o que implica que a mineralogia acessória indiferenciada, encontrada como traços, tem importante papel nas variações geoquímicas dessas rochas. Variações composicionais em micas também podem refletir nos resultados geoquímicos apresentados.

Com base nos resultados de Foster (2016), os pórfiros graníticos com topázio do morro Bom Futuro apresentam semelhanças petrográficas e geoquímicas com os granitos do maciço Palanqueta, especialmente com a última de suas fácies: topázio-zinnwaldita-álcali feldspato granito pórfiro. Apesar das semelhanças, é possível destacar algumas diferenças quanto ao conteúdo de elementos incompatíveis e ETRs, visto que a fácies do maciço Palanqueta

apresenta menores concentrações de Ba, Rb, Sr e Ta, maiores anomalias negativas de európio e inexistente enriquecimentos de ETRL sobre ETRP.

7 CONCLUSÃO

As informações obtidas ao longo deste trabalho de conclusão de curso nos levaram as seguintes conclusões:

O topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro do morro Bom Futuro são rochas formadas em um ambiente subvulcânico, que intrudiram sob forma de diques anelares e anelares a radiais, respectivamente, em estruturas geradas pelo colapso do sistema sobreposto. As relações de contato observadas em campo indicam que o topázio riólito pórfiro representa uma fase mais antiga que o topázio granito pórfiro, ainda que não sejam conhecidas suas idades absolutas. A presença de *stockscheider* e endogreisens sugere o enriquecimento em fluido do magma e exsolução destes em estágios tardi-magmáticos. As variações texturais entre topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro podem ser produtos do aquecimento das encaixantes no decorrer das colocações de magma.

Petrograficamente, o topázio granito pórfiro e topázio riólito pórfiro são álcali-feldspato granitos com topázio, leucocráticos, de coloração cinza clara à rósea, compostos essencialmente por albita, quartzo, microclínio, topázio, Li-mica e fluorita. Apresentam ampla variação estrutural, com predomínio de feições maciças e localmente fluidais, com bandamento composicional, xenolíticas, com enclaves de veios de quartzo, granito róseo e pegmatito, ou mosqueadas, com aglomerados de sulfetos. Texturalmente são rochas porfiríticas, com fenocristais de quartzo e microclínio com textura bola de neve e albita, que diferem entre si quanto à granulação da matriz: fina no topázio granito pórfiro e muito fina no topázio riólito pórfiro.

Geoquimicamente, os pórfiros graníticos com topázio apresentam características de granitos tipo A, de ambiente intraplaca, altamente diferenciados, especializados em metais raros. São topázio granitos pobres em P_2O_5 , o que sugere uma maior contribuição ígnea na fonte (Taylor & Fallick, 1997), e apresentam teores mais altos SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , Rb, Nb, Ta, Ga, Sn, Hf e U e mais baixos de TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO, MgO, CaO, K_2O , P_2O_5 , Nb, Cs, Ba, Sr e Zr em relação aos granitos pobres em Ca de Turekian & Wedepohl (1961).

O topázio granito pórfiro apresenta teores mais elevados Al_2O_3 , Na_2O e K_2O e inferiores de SiO_2 em relação ao topázio riólito pórfiro que representa a inversão no *trend* de diferenciação ocasionada pela presença de flúor no magma. As baixas razões Nb/Ta e Zr/Hf sugerem a combinação de processos magmáticos e hidrotermais na formação dos pórfiros graníticos com topázio.

As evidências apresentadas sugerem que os pórfiros graníticos com topázio do morro Bom Futuro representam ao menos duas fases de colocação de magma granítico: topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro. A distribuição de ETRs indica um enriquecimento de 10 a 100 vezes em relação ao condrito de Boynton (1984) e não apresenta variações expressivas entre topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro.

Devido à ausência de continuidade física entre os diferentes diques de topázio riólito pórfiro e topázio granito pórfiro no morro Bom Futuro, diferenças petrográficas e geoquímicas podem ser atreladas a diferenciações entre cada corpo, a diferentes posições amostradas em um mesmo dique, com variações de borda ao núcleo e/ou base ao topo, ou à múltiplas fases intrusivas.

Com base nos resultados de Foster (2016), o topázio granito do morro Bom Futuro apresenta semelhanças petrográficas e geoquímicas à fácies topázio-zinnwaldita-álcali feldspato granito pórfiro do morro Palanqueta, o que sugere uma relação genética próxima entre estas.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, J.L.; Rizzoto, G.J. e Scandolaro, J.E. 1999a. Complexo Jamari, sudeste do craton amazônico: reavaliação do contexto geotectônico. In: Anais do 7o Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos. Lençóis (BA), SBG(BA), 1:28-30.
- AMORIM, J.L.; Rizzoto, G.J. e Scandolaro, J.E. 1999b. Terreno Jamari, região central de Rondônia: evidências de processos tafrogenéticos que precedem a convergência do início do mesoproterozóico no seguimento sudeste do cráton Amazônico. In: Boletim de Resumos Expandidos do 7o Simpósio de Geologia da Amazônia, Manaus, SBG(NO), 270-273.
- AUDÉTAT, A.; GÜNTHER, D.; HEINRICH, C.A.; 2000, Magmatic-hydrothermal evolution in a fractionating granite: A microchemical study of the Sn-W-F-mineralized mole granite (Australia): *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 64, p. 3373–3393, doi: 10.1016/S0016-7037(00)00428-2.
- BALLOUARD, C.; POUJOL, M.; BOULVAIS, P.; BRANQUET, Y.; TARTÈSE, R.; VIGNERESSE, J.L. 2016. Nb-Ta fractionation in peraluminous granites: A marker of the magmatic-hydrothermal transition. *Geology*, 44: 231–234
- BARRETO, J. 2010. Geologia do alvo Zé Gordo, Mina Bom Futuro, Rondônia. 47 p. Trabalho de Formatura, IGCE-Unesp Rio Claro.
- BAU, M., 1996. Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: Evidence from Y/Ho, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 123, 323-333.
- BETTENCOURT, J.S.; ONSTOT, T.C.; JESUS, T.de; TEIXEIRA, W.; 1996. Tectonic implications of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages on country rocks from the central sector of the Rio Negro Jurueña Province, southwest Amazonian craton. *International Geology Review*, 38:42-56.
- BETTENCOURT, J.S.; TOSDAL, R.M.; LEITE JÚNIOR, W.B.; PAYOLLA, B.L.; Mesoproterozoic rapakivi granites of the Rondônia Tin Province, southwestern border of the Amazonian craton, Brazil: I. Reconnaissance U-Pb geochronology and regional implications. *Precambrian Research*, v. 95, p. 41-67, 1999.
- BETTENCOURT, J.S., LEITE JÚNIOR, W.B., RUIZ, A.S., MATOS, R., PAYOLLA, B.L. & TOSDAL, R.M. The Rondonian-San Ignacio Province in the SW Amazonian Craton: an overview. *Journal of South American Earth Sciences*, 29: 28-46. 2010a.
- BETTENCOURT, J.S.; PAYOLLA, B.L.; LEITE JÚNIOR, W.B.; FUCK, R.A.; DANTAS, E.L. LA-MC-ICP-MS U-Pb zircon geochronology and Sm-Nd isotopes of granites of the Teotônio and Santo Antônio intrusive suites, SW Amazonian craton, Rondônia, Brazil: new insights about crystallization ages and tectonic implications. In: South America Symposium on Isotope Geology, 2010, Brasília, Extended Abstract, p. 215-218, 2010b.
- BETTENCOURT, J.S.; JULIANI, C.; XAVIER, R.P.; MONTEIRO, L.V.S.; BASTOS NETO, A.C.; KLEIN, E.L.; ASSIS, R.; LEITE JUNIOR, W.B.; MORETO, C.P.N.; FERNANDES, C.M.D.; PEREIRA, V.P..

- (2016) Metallogenic systems associated with granitoid magmatism in the Amazonian Craton: an overview of the present level of understanding and exploration significance. *J S Am Earth Sci* 68:22–49.
- BOWDEN, P., 1981, Uranium in the Niger-Nigeria Younger Granite Province: *Mineralogical Magazine*, v. 44, p. 379–389, doi: 10.1180/minmag.1981.044.336.03.
- BOYNTON, W.V. Cosmochemistry of the rare Earth elements: meteorite studies. In: Henderson, P., (ed). *Rare Earth element geochemistry (Developments in Geochemistry)*, v. 2, Amsterdam, Elsevier, p. 63-114, 1984.
- BRASIL, IBGE. 2011. Produto Interno Bruto dos Municípios 2004-2008.
- BRASIL, IBGE. 2012. Características da População e dos Domicílios: Resultados do Universo. In: *Censo Demográfico*.
- BRASIL, IBGE. 2018a. Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2018. In: *Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais*.
- BRASIL, IBGE. 2018b. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua. In: *Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Trabalho e Rendimento*.
- Companhia De Recursos Minerais. CPRM. *Geologia e Recursos Minerais do Estado de Rondônia: Mapas Geológicos Estaduais 1.1000.000. Programa Geologia do Brasil. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação mineral. 155p. 2007.*
- CORDANI, U.G.; TASSINARI, C.C.G.; TEIXEIRA, W.; BASEI, M.A.S.; KAWASHIT, A.K. Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. In: *SGC, Congr. Geol. Chileno, 2, Arica, Actas, 4: 137-148, 1979.*
- CORDANI, U.G. & TEIXEIRA, W. Proterozoic accretionary belts in the Amazonian Craton. In: HATCHER, R.D.Jr., CARLSON, M.P., MCBRIDE, J.H., MATÍNEZ-CATALÁN, J.R. (Org.). *4-D Framework of the Continental Crust. Denver, USA: Geological Society of America, v. 200, p. 297-320, 2007.*
- CORDANI, U.G.; TEIXEIRA, W.; D'AGRELLA-FILHO, M.S.; TRINDADE, R.I. The position of the Amazonian Craton in supercontinents. *Gondwana Research*, v. 15, p. 396-407, 2009.
- DALL'AGNOL, R., 1996. Rapakivi granites from Brazil and adjacent areas. In: HAAPALA, I., RAMO, O.T., KOSUNEN, P. (Eds.), *Symposium on Rapakivi Granites and Related Rocks, Abstract Volume. University of Helsinki. University Press, Helsinki, Finland, pp. 17-18.*
- Departamento Nacional De Produção Mineral (DNPM). *Anuário Mineral Brasileiro. Brasília: DNPM. Disponível em: www.dnpm.gov.br.*
- Departamento Nacional De Produção Mineral (DNPM). *Balanço Mineral Brasileiro: Estanho. pp.1 – 29. 2001.*
- Departamento Nacional De Produção Mineral (DNPM). *Anual Mineral Brasil. pp 27. 2016.*

- DIAS, C.A.T. Geologia e mineralogia de pegmatito mineralizado em estanho e metais associados (Nb, Ta, Zn, Cu, Pb), Mina Bom Futuro, Rondônia. Tese de Mestrado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 89p, 2012.
- DINGWELL, D.B., 1987. Melt viscosities in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-H}_2\text{O-F}_2\text{O}_1$. In: *Magmatic Processes- Physicochemical Principles* (B.O. Mysen, ed.), pp. 423-433. The Geochemical Society, San Antonio, Texas.
- DINGWELL, D.B., KNOCHE, R., WEBB, S.L., 1993. The effect of fluorine on the density of haplogranite melt. *Am. Miner.*, 78, 325-330.
- EBY, G.N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, 20: 641-644. 1992.
- EL BOUSEILY, A. M. & EL SOKKARY, A. A. The Relation between Rb, Ba and Sr in Granitic Rocks. *Chemical Geology*, 16, 207-219, 1975.
- EXLEY, C.S., 1958, Magmatic Differentiation and Alteration in the St. Austell Granite: *Quarterly Journal of the Geological Society*, v. 114, p. 197–230, doi: 10.1144/gsjgs.114.1.0197.
- FOSTER, P.L.. Geologia e Petrologia do Maciço Palanqueta, Mina Bom Futuro, Rondônia. 2016. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, p. 86. 2016.
- FROST, B.R., BARNES, C.G., COLLINS, W.J., ARCULUS, R.J., ELLIS, D.J., FROST, C.D. 2001. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, 42: 2033-2048.
- GELMAN, S.E.; DEERING, C.D.; BACHMANN, O.; HUBER, C.; GUTIÉRREZ, F.J., 2014. Identifying the crystal graveyards remaining after large silicic eruptions. *Earth Planet Sci Lett*, 403: 299–306
- Geologia do Brasil. Org: YOCITERU HASUI, CELSO DAL RÉ CARNEIRO, FERNANDO FLÁVIO MARQUES DE ALMEIDA, ANDREA BARTORELLI. São Paulo: Beca, 2014.
- GU, L.X.; ZHANG, Z.Z.; WU, C.Z.; GOU, X.Q.; LIAO, J.J.; YANG, H.. 2011, A topaz- and amazonite-bearing leucogranite pluton in eastern Xinjiang, NW China and its zoning: *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 42, p. 885–902, doi: 10.1016/j.jseaes.2010.12.010.
- HAAPALA, I., 1997. Magmatic and postmagmatic processes in tin-mineralized granites: topaz-bearing leucogranites in the Eurajoki rapakivi granite stock, Finland. *Journal of Petrology* 38, 1645-1659.
- HAAPALA, I. FRINDT, S.; KANDARA, J., 2007, Cretaceous Gross Spitzkoppe and Klein Spitzkoppe stocks in Namibia: Topaz-bearing A-type granites related to continental rifting and mantle plume: *Lithos*, v. 97, p. 174–192, doi: 10.1016/j.lithos.2006.12.002.
- HARKER, A., 1909. *The Natural History of Igneous Rocks*. London, Methuen, 384 pp.
- HOLTEN, T.; JAMTVEIT, B.; MEAKIN, P.; CORTINI, M.; BLUNDY, J.; AUSTRHEIM, H., 1997. Statistical characteristics and origin of oscillatory zoning in crystals. *Amer. Min.* 82: 596-606.

- HUTCHINSON, C.S. Laboratory handbook of petrographic techniques. New York, John Wiley & Sons. 527p, 1974.
- IRBER, W., 1999. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 63, 489-508.
- ISHIHARA, S., & MURAKAMI, H., 2006, Fractionated ilmenite-series granites in southwest Japan: Source magma for REE-Sn-W mineralizations: *Resource Geology*, v. 56, p. 245–256, doi: 10.1111/j.1751-3928.2006.tb00282.x.
- IPEA. 2017. Evolução do IDHM e de Seus Índices Componentes no período de 2012 a 2017. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Consultado em 18 de abril de 2019
- ISOTTA, C.A.L.; CARNeiro, J.M.; KATO, H.T.; BARROS, R.J.L. Projeto Província Estanífera de Rondônia. Porto Velho, DNPM/CPRM, Relatório Final, Volumes 1, 2 e 3. 1978.
- KLOOSTERMAN, J.B. Granites and rhyolites of São Lourenço: A vulcano-plutonic complex in southern Amazonia. *Eng. Min. Met.*, 44 (262): 169-171, 1966.
- KLOOSTERMAN, J.B., 1968. A tin province of the Nigerian type in Southern Amazônia. In: Technical Conference on Tin, London, 1967. *Int. Tin Council* 2,381-400.
- KOVALENKO V.I. & KOVALENKO N.I. 1984. Problems of the origin, ore-bearing and evolution of rare-metal granitoids. *Physics of the Earth and Plan. Int.*, 35:51-62
- LEAL, J.W.L.; SILVA, G.H.; SANTOS, D.B.; TEIXEIRA, W.; LIMA, M.I.C.; FERNANDES, C.A.C.; PINTO, A.C. Geologia. In: Projeto Radam Brasil. Folha SC. 20 – Porto Velho. Rio de Janeiro, MME/DNPM, p. 19-184, 1978.
- LEE, C.T.A.; & MORTON, D.M., 2015. High sílica granites: Terminal porosity and crystal settling in shallow magma chambers. *EarthPlanetSciLett*,409: 23–31.
- LEHMANN, B., 1990, Lecture Notes in Earth Sciences 32. Metallogeny of Tin. Springer-Verlag, Berlin.
- LEITE JÚNIOR, W. B.; PAYOLLA, B. L.; BETTENCOURT, J. S., 2001. New K-Ar ages of the primary tin mineralization in the Rondônia Tin Province, Brazil. In: South America Symposium Isotope Geology, Pucón. Extended Abstract.
- LEITE JÚNIOR, W.B.; PAYOLLA, B.L.; MUZZOLON, R.; OLIVEIRA, L.R.; BETTENCOURT, J.S. Rochas subvulcânicas ácidas e intermediárias na mina Bom Futuro, Rondônia. In: SBG, XLI Congresso Brasileiro de Geologia, João Pessoa, 601p, 2002a.
- LEITE JÚNIOR, W. B.; PAYOLLA, B. L.; MUZZOLON, R.; OLIVEIRA, L. R.; BETTENCOURT, J. S. 2002b. Topaz leucorhyolite porphyry (ongonite) from Bom Futuro mine, Rondônia. In: SBG-NN, Simpósio sobre Vulcanismo e Ambientes Associados, II, Belém, Boletim de Resumos, p. 20.

- LEITE JÚNIOR, W. B.; PAYOLLA, B. L.; OLIVEIRA, L. R.; MUZZOLON, R.; BETTENCOURT, J. S. Geoquímica dos pórfiros graníticos com topázio do morro Bom Futuro, mina Bom Futuro, Rondônia. In: SBGq, Congresso Brasileiro de Geoquímica, IX, Belém, Livro de Resumos, p. 734-736, 2003.
- LEITE JUNIOR, W. B.; OLIVEIRA, L. R.; PAYOLLA, B. L.; BETTENCOURT, J. S. Fácies brechóides dos diques de pórfiros graníticos com topázio do morro Bom Futuro, mina Bom Futuro, Rondônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XLII, 2004, Araxá, Anais, SBG, 1 CD-ROM. 2004.
- LEITE JÚNIOR, W. B.; OLIVEIRA, R. C. B.; TAMBORIM, D. A. R.; PAYOLLA, B. L.; BETTENCOURT, J. S., 2005. Geoquímica dos topázio granitos do stock Palanqueta, mina Bom Futuro, Rondônia: considerações preliminares. In: Congresso Brasileiro de Geoquímica, X, Porto de Galinhas, SBGq, 1 CD-ROM.
- LEITE JÚNIOR, W. B.; PAYOLLA, B. L.; OLIVEIRA, L. R.; BETTENCOURT, J. S., 2006. Geological and petrological aspects of Grenvillian A-type topaz granites of the Bom Futuro tin-mine, Rondônia, Brazil. In: DALL'AGNOL, R.; ROSA-COSTA, L.T.; KLEIN, E.L. ed. Sumposium on Magmatism, Crustal Evolution, and Metallogenesis of the Amazonian Craton. Belém, PRONEX-UFPA/SBG-NO, Abstracts Volume and Field Trips Guide, p. 61.
- LITHERLAND, M.; ANNELS, R.N.; APPLETON, J.D.; BERRANGE, J.P.; BLOOMFIELD, K.; DARBYSHIRE, D.P.F.; FLETCHER, C.J.N.; HAWKINS, M.P.; KLINCK, B.A.; MITCHELL, W.I.; O'CONNOR, E.A.; PITFIELD, P.E.J.; POWER, G.; WEBB, B.C., 1986, The geology and mineral resources of the Bolivian Precambrian shield: Overseas Memoir British Geological Survey, v. 9, 153 p.
- LEITE JÚNIOR, W. B.; PAYOLLA, B. L.; BETTENCOURT, J. S., 2008. Tin mineralization related to pegmatite, quartz vein and greisen in anorogenic subvolcanic environment. In: 33rd International Geological Congress, 2008, Oslo. Abstract. Oslo : International Union of Geological Sciences; 33rd IGC Foundation, 2008. v. 1.
- LINNEN, R. L. & KEPPLER, H. (2002). Melt composition control of Zr/Hf fractionation in magmatic processes. *Geochim. Cosmochim. Acta* 66, 3293–3301.
- LITHERLAND, M.; ANNELS, R.N.; HAWKINS, M.P.; KLINCK, B.A.; O'CONNOR, E.A.; PITFIELD, P.E.J.; POWER, G.; DARBYSHIRE, D.P.F.; FLETCHER, C.N.J.; MITCHELL, W.I.; WEBB, B.C.; 1989, The Proterozoic of eastern Bolivia and its relationships to the Andean mobile belt: *Precambrian Research*, v. 43, p. 157–174, doi: 10.1016/0301-9268(89)90054-5.
- LOBATO, F.P.N.S.; APEEL, L.E.; GODOY, M.C.F.T.; RITTER, J.E.; LASA. 1966. Pesquisa de cassiterita no Território Federal de Rondônia (Relatório Final). MME-DNPM-DFPM. Boletim Nº 125, 209 p.
- LUKKARI, S.; THOMAS, R.; HAAPALA, I.; 2009, Crystallization of the kymi topaz granite stock within the wiborg rapakivi granite batholith, Finland: Evidence from melt inclusions: *Canadian Mineralogist*, v. 47, p. 1359–1374, doi: 10.3749/canmin.47.6.1359.
- MACEDO, S. O falso progresso do garimpo de Rondônia. *Opinião*, 14 nov. 1975. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/Hotpage/HotpageBN.aspx?bib=123307&pagfis=3631&url=http://memoria.bn.br/docreader#>. Acesso em: 21 jun. 2019.

- MANNING, D.A.C. Na experimental study of the effects of the fluorine on the crystallization of granitic melts. In: EVANS, A.M. (ed). Metallization associated with acid magmatism. Chichester, John Wiley, p. 191-203, 1982.
- MANNING, D.A.C., 1986, Contrasting styles of Sn-W mineralisation in peninsular Thailand and SW England: *Mineralium Deposita*, v. 21, p. 44–52.
- MOURA, M.A., & BOTELHO, N.F., 2000, The Topaz-Albite granite and related rocks from the Sn-In mineralized zone of Mangabeira Granitic Massif (GO, Brasil): *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, p. 270–273.
- MOURA, M.A.; BOTELHO, N.F.; OLIVO, G.R.; KYSER, K.; PONTES, R.M., 2014, Genesis of the Proterozoic Mangabeira tin-indium mineralization, Central Brazil: Evidence from geology, petrology, fluid inclusion and stable isotope data: *Ore Geology Reviews*, v. 60, p. 36–49, doi: 10.1016/j.oregeorev.2013.12.010.
- OKIDA, R. 2001. Aplicação do sensoriamento remoto e aerogamaespectrometria ao estudo do controle estrutural dos granitos estaníferos de Rondônia. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 217 p.
- OLIVEIRA, L.R.; LEITE JÚNIOR, W.B.; PAYOLLA, B.L.; MUZZOLON, R.; BETTENCOURT, J.S. 2003. Brechas marginais dos diques de pórfiros graníticos do morro Bom Futuro, mina Bom Futuro, Rondônia. In: UNESP, Congresso de Iniciação Científica, XV, Marília, Atas, 1 CD-ROM.
- PAYOLLA, B.L.; BETTENCOURT, J.S.; KOZUCH, M.; LEITE JÚNIOR, W.B.; FETTER, A.H.; SCHMUS, W.R.V. Geological Evolution of the Basement Rocks in the East-Central part of the Rôndonia Tin Province, SW Amazonian Craton Brazil: U-Pb and Sm-Nd Isotopic Constraints. *Precambrian Research*, v.119, p.141-169, 2002.
- PEARCE, J.A.; HARRIS, N. B. W.; TINDLE, A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, v. 25, p. 956-983, 1984.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; McMahan, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11: 1633–1644. ISSN 1027-5606.
- PICHAVANT, M. & MANNING, D. 1984. Petrogenesis of tourmaline granites and topaz granites; the contribution of experimental data. *Physics of the Earth and Plan. Int.*, 35:31-50
- PITFIELD, TEOH, L.H.; COBBING, E.J., 1990. Textural variation and tin mineralization in granites from the Main Range Province of the Southeastern Asian Tin Belt. *Geol. J.* 25: 419-429.
- PLIMER, I.R., 1987. Fundamental parameters for the formation of granite-related tin deposits. *Geol. Rundschau* 79/1: 23-40.
- PNUD. 2013. Ranking IDHM Município 2010. In: Atlas do Desenvolvimento Humano. Consultado em 14 de junho de 2015.

- POLLARD, P.J. & TAYLOR, R.P. 1991. Petrogenetic and metallogenetic implications of the occurrence of topaz Li-mica granite at the Yichun Ta-Nb-Li mine, Jiangxi Province, south China. In M. Pagel and J.L. Leroy (eds.) Source, transport and deposition of metals. Rotterdam, Balkema, 789-791.
- PRANDI, P.H. Projeto de Aproveitamento Mineral com Controle Ambiental da Jazida de Cassiterita de Bom Futuro, Rondônia. EBESA, v. 1, p. 1-6, 1990.
- QUADROS, N. L. E. S. & RIZZOTTO G. J. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Rondônia – Sistema de Informações Geográficas. Texto Explicativo do Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Rondônia. Programa Geologia do Brasil, CPRM, Porto Velho, 153 p. 2007.
- RAIMBAULT, L.; CUNEY, M.; AZENCOTT, C.; DUTHOU, J.L.; JORON, J.L., 1995, Geochemical evidence for a multistage magmatic genesis of Ta-Sn-Li mineralization in the granite at Beauvoir, French Massif Central: *Economic Geology*, v. 90, p. 548–576, doi: 10.2113/gsecongeo.90.3.548. Ribeiro.
- RIZZOTTO, G.J.; QUADROS, M.L. do E.S.; BAHIA, R.B.C.; CORDEIRO, A.V. Folha SC. 20- Porto Velho. In: Schobbenhaus, C., Gonçalves, J.H., Santos, J.O.S., Abram, M.B., Leão Neto, R., Matos, G.M.M., Vidotti, R.M., Ramos, M.A.B., Jesus, J.D.A de (Eds.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas Programa Geologia do Brasil. Brasília: CPRM, 2004.
- RONDÔNIA, 2002. Atlas Geoambiental de Rondônia. SEDAM, v2, 141p. Porto Velho – RO.
- SADOWSKI, G.R., & BETTENCOURT, J.S., 1996, Mesoproterozoic tectonic correlations between eastern Laurentia and the western border of the Amazonian Craton: *Precambrian Research*, v. 76, p. 213–227, doi: 10.1016/0301-9268(95)00026-7.
- SANTOS, A. L. & LEITE JÚNIOR, W. B. 1998. Petrografia dos topázio granitos do morro da Palanqueta, mina Bom Futuro, Rondônia. In: Unesp, Congresso de Iniciação Científica da Unesp, X, Rio Claro, Boletim de Resumos, p. 91.
- SANTOS, J.O.S.; HARTMANN, L.A.; GAUDETTE, E.H.E.; GROVES, D.I., MCNAUGHTON, N.J.; FLETCHER, I.R. 2000. New understanding of the province of the Amazon craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Mineralium Deposita* (in press).
- SANTOS, J.O.S., RIZZOTTO, G.J., POTTER, P.E., MCNAUGHTON, N.J., MATOS, R.S., HARTMANN, L.A., CHEMALE, F., QUADROS, M.L. do E.S. 2008. Age and autochthonous evolution of the Sunsás Orogen in West Amazon Craton based on mapping and U–Pb geochronology. *Precambrian Research*, 165:120–152
- SAWKA, W.N.; KISTLER, R.W.; CHAPPELL, B.W., 1990, Geochemistry of highly fractionated I- and Stype granites from the tin-tungsten province of western Tasmania: *GSA Special Paper*, v. 246.
- SCANDOLARA, J.E.; RIZZOTTO, G.J.; BAHIA, R.B.C.; QUADROS, M.L.E.S.; AMORIM, J.L.; DALL'IGNA, L.G. 1999. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Rondônia: texto explicativo e mapa geológico, escala 1:1.000.000. Programa Levantamentos Geológicos do Brasil. CPRM Serviço Geológico do Brasil, Brasília, Brasil

- SCANDOLARA, J.E.; RIZZOTTO, G.J.; AMORIM, J.L.; QUADROS, M.L.E.S.; BAHIA, R.B.C. 2001. Evolução geológica do segmento sudoeste do Cráton Amazônico – Estado de Rondônia e adjacências. In: Reis N.J. e Monteiro M.A.S. (Coord.). Contribuições à Geologia da Amazônia (Volume 2). Manaus, SBG-Núcleo Norte, 9:251-340.
- SCANDOLARA, J. E. Geologia e evolução do terreno Jamari, embasamento da faixa Sunsás/Aguapeí, centro-leste de Rondônia, sudoeste do Cráton Amazônico. Brasília, Tese (Doutorado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 383p., 2006.
- SHAND, S.J. Eruptive rocks: their genesis, composition, classification, and their relation to ore-deposits with a chapter on meteorite. New York: John Wiley & Sons, 1943.
- SHAW, D., 1968, A review of K-Rb fractionation trends by covariance analysis: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 32, p. 573–601, doi:10.1016/0016-7037(68)90050-1.
- SILVA, L. F. S.; COSTI, H. T.; TEIXEIRA, J. T. 1995. Faciologic mapping and preliminary petrography of Palanqueta albite granite, Bom Futuro, Rondônia, Brazil. In: DALL'AGNOL, R.; MACAMBIRA, M. J. B. & COSTI, H. T. ed. International Symposium on Rapakivi Granite and Related Rocks, 6, Belém, 1995, Abstract Volume, UFPA, p. 73.
- SILVA, L. F. S.; COSTI, H. T.; DALL'AGNOL, R.; TEIXEIRA, J. T. 1997. Petrographic and geochemical characteristics of the tin-bearing albite granite of Morro da Palanqueta, Bom Futuro Mine, Rondônia, Brazil. In: FERREIRA, V. P. & SIAL, A. N. ed. International Symposium on Granites and Associated Mineralizations, II, Salvador, 1997, Extended Abstract and Program, SGM, p. 155-156.
- SILVA, L.C, A.R.; PIMENTEL, M.M.; SCANDOLARA, J.E., RAMGRAB, G.; WILDNER, W.; ANGELIM, L.A.A.; VASCONCELOS, A.M.; RIZZOTTO, G.J.; QUADROS, M.L.E.S.; SANDER, A.; ROSA, A.L.Z. 2002. Reavaliação da evolução geológica em terrenos pré-cambrianos brasileiros com base em novos dados U-Pb SHRIMP, parte III: Províncias Borborema, Mantiqueira Meridional e Rio Negro-Juruena. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(4):529-544.
- SOUZA, E.C.; MELO, A.F.F.; ADAMY, A.; SOEIRO, R.S.; DALEIRO, V. 1975. Projeto nordeste de Rondônia: relatório final. MME/DNPM/CPRM, Brasília, v.1, 225 p.
- SOUZA, S. V. & BOTELHO, N. F. 2002. Geologia do depósito de estanho do Bom Futuro (Rondônia) e composição dos fluidos nos sistemas de veios e greisens. In: KLEIN, E.L.; VASQUEZ, M.L.; ROSA-COSTA, L.T. ed. Contribuições à Geologia da Amazônia. Belém, SBG-NN, pp. 199-214.
- SOUZA, V.S. Evolução Magmática e Modelo Metalogenético do Sistema Vulcano-Plutônico Estanífero Bom Futuro. Tese de doutorado. Instituto de Geociências, UnB. Brasília, 2003.
- SOUZA, J.O.; FRASCA, A.A.S.; OLIVEIRA, C.C. 2005. Geologia e recursos minerais da província mineral de Alta Floresta: relatório integrado. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB), Projeto Província Mineral de Alta Floresta (Promin Alta Floresta). CPRM Goiânia, escala 1:500.000.

- SOUZA, V. S.; TEIXEIRA, L.M.; DANTAS, E.L.; BOTELHO, N.F. 2006. Idades U-Th-Pb e U-Pb em monazita de ortognaisse do Complexo Jamari, área do depósito de estanho de Bom Futuro (RO). *Rev. Bras. Geoc.*, 36(1):71-76.
- SOUZA, V. S.; BOTELHO, N. F.; DANTAS, E. L.; LAUX, J. H, 2007. Geoquímica e geologia isotópica (Sm-Nd e U-Pb) do magmatismo traquítico no depósito de estanho do Bom Futuro (RO). *Revista Brasileira de Geociências*, 37(4): 660-667.
- ŠTEMPROK, M.; PIVEC, E.; LANGROVÁ, A. 2005, The petrogenesis of a wolframite-bearing greisen in the Vykmanov granite stock, Western Krušné hory pluton (Czech Republic): *Bulletin of Geosciences*, v. 80, p. 163–184.
- STRECKEISEN, A. To each plutonic rock its proper name. *Earth-Science Reviews*, 12, 1-33, 1976.
- TASSINARI, C.C.G. O mapa geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil: revisão dos dados isotópicos IGC-USP, São Paulo, Tese de Livre Docência, 139 p. 1996.
- TASSINARI, C.C.G. & MACAMBIRA, M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 22(3):174-182.
- TASSINARI, C.C.G.; BETTENCOURT, J.S.; GERALDES, M.C.; MACAMBIRA, M.J.B.; LAFON, J.M. 2000, The Amazon craton, in CORDANI, U.G., MILANI, E.J., THOMAZ-FILHO, A.; CAMPOS, D.A., eds., *Tectonic evolution of South America: Rio de Janeiro, Brazil, 31st International Geological Congress*, p. 41–95.
- TASSINARI C.C.G. & MACAMBIRA M.J.B. 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; DAL RÉ CARNEIRO, C., BRITO-NEVES, B.B. (eds.). *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca, São Paulo, 2004. p. 471-485.
- TAYLOR, R.P. 1992. Petrological and geochemical characteristics of the Pleasant Ridge zinnwaldite-topaz granite, southern New Brunswick, and comparisons with other topaz-bearing felsic rocks. *Can. Mineral.* 30:895-921.
- TAYLOR, R.P. & FALLICK, A.E., 1997. The Evolution of fluorine-rich felsic magmas: source dichotomy, magmatic convergence and the origin of topaz granite. *Terra Nova*, 9: 105-108.
- TEIXEIRA, W.; GERALDES, M. C.; MATOS, R.; RUIZ, A. S.; SAES, G.; VARGASMATTOS, G. A. review of the tectonic evolution of the Sunsás belt, SW Amazonian Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 29, p. 47-60, 2010.
- THOMPSON, R. N.; DICKIN, A. P.; GIBSON, I. L; MORRISON, M. A. (1982). Elemental fingerprints of isotopic contamination of Hebridean Paleocene mantle-derived magmas by Archean sial. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 79, 159–168.

- TOHVER, E.; Van Der PLUIJM, B.A.; MEZGER, K.; ESSENE, E.; SCANDOLARA, J.E.; RIZZOTTO, G. 2004, Significance of the Nova Brasilândia metasedimentary belt in western Brazil: Refining the Mesoproterozoic boundary of the Amazon craton: *Tectonics*, v. 23, p. 1–20, doi: 10.1029/2003TC001563.
- TOHVER, E.; Van DER PLUIJM, B.A.; SCANDOLARA, J.E.; ESSENE, E., 2005, Late Mesoproterozoic deformation of SW Amazonia (Rondonia, Brazil): Geochronological and structural evidence for collision with southern Laurentia: *Journal of Geology*, v. 113, p. 309–323, doi: 10.1086/428807.
- TUREKIAN, K.K., WEDEPOHL, K.H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. *The Geological Society of America Bulletin*, v. 72, p. 175-191.
- VENEZIANI, P.; OKIDA, R.; BETTENCOURT, J.S. 2001. Movimentos tectônicos ao longo das principais linhas de fraquezas crustais na Província Estanífera de Rondônia (PER) e sua implicação no alojamento dos maciços graníticos. In: BETTENCOURT, J.S.; TEIXEIRA, W.; PACCA, I.G.; GERALDES, M.C.; SPARREBERGER, I. (eds.). *Workshop Geology of the SW Amazonian Craton: State-of-the-Art*. Institute of Geosciences – University of São Paulo – Brazil. IGCP Project 426, p. 105-109.
- VILLANOVA, M. T. & FRANK, N. D. 1995. Serra do Bom Futuro, Rondônia: a volcanic breccia pipe-hosted tin mineralization. In: DALL'AGNOL, R.; MACAMBIRA, M. J. B. & COSTI, H. T. ed. *International Symposium on Rapakivi Granite and Related Rocks*, 6, Belém, 1995, Abstract Volume, UFPA, p. 83-84.
- WHALEN, J.B., CURRI, K.L. & CHAPPELL, B.W. A-Type Granites Geochemical Characteristics, Discrimination and Petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95, 407-419, 1987.
- ZARAIISKY, G. P.; AKSYUK, A. M.; DEVYATOVA, V. N.; UDORATINA, O.; CHEVYCHELOV, V.. (2009). The Zr/Hf ratio as a fractionation indicator of rare-metal granites. *Petrology*. 17. 25-45. 10.1134/S0869591109010020.