



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

WAGNER VITOR ARAÚJO FERREIRA

**ESTUDO PETROGRÁFICO, MINERALÓGICO E DA
ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL ASSOCIADA À
FÁCIES HORNBLENDA-BIOTITA-ÁLCALI
FELDSPATO-GRANITO (FURO F18-GB) DO PLÚTON
ÁGUA BOA, PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE PITINGA
(AM)**

GEOCIÊNCIAS
U F P A

**BELÉM-PARÁ
FEVEREIRO-2011**



WAGNER VITOR ARAÚJO FERREIRA

**ESTUDO PETROGRÁFICO, MINERALÓGICO E DA
ALTERAÇÃO HIDROTERMAL ASSOCIADA À
FÁCIES HORNBLENDA-BIOTITA-ÁLCALI
FELDSPATO-GRANITO (FURO F18-GB) DO PLÚTON
ÁGUA BOA, PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE PITINGA
(AM)**

GEOCIÊNCIAS
U F P A

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

Orientador: Prof. Dr. Régis Munhoz
Krás Borges.

BELÉM
2011

WAGNER VITOR ARAÚJO FERREIRA

**ESTUDO PETROGRÁFICO, MINERALÓGICO E DA
ALTERAÇÃO HIDROTERMAL ASSOCIADA À FÁCIES
HORNBLENDA-BIOTITA-ÁLCALI FELDSPATO-
GRANITO (FURO F18-GB) DO PLÚTON ÁGUA BOA,
PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE PITINGA (AM)**

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

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca examinadora:

Prof. Régis Munhoz Krás Borges – Orientador
Doutor em Geoquímica e Petrologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Cláudio Nery Lamarão
Doutor em Geoquímica e Petrologia
Universidade Federal do Pará

Hilton Tulio Costi
Doutor em Geoquímica e Petrologia
Museu Paraense Emílio Goeldi

*A Deus, à minha mãe, Maria das
Graças, meu pai, Manoel Tavares,
e à minha esposa Daniele.*

AGRADECIMENTOS

A Deus por suas bênçãos e pela vitória diante deste projeto (“luta”);

Aos meus pais, Maria das Graças Oliveira Araújo e Manoel Tavares Novas (pai de coração), pelo amor, dedicação, ensinamentos e pelo incentivo aos estudos;

A minha irmã, Diana Andreza Araújo da Silva, e seu marido, Roberto Anderson Souza da Silva pelo apoio moral;

Aos meus sobrinhos, Róberth Lucas Araújo da Silva e Rogger Lucas Araújo da Silva, e que sirva de exemplo para que eles, no futuro, almejem concluir um curso superior;

A minha esposa, Daniele Nascimento Araújo Ferreira, pelo companheirismo, incentivo e amor;

Aos meus tios e primos pelo carinho e incentivo;

Ao Prof. Régis Munhoz Krás Borges, orientador deste trabalho, pela sua paciência, ensinamentos e ótima orientação, que certamente contribuíram para meu amadurecimento;

Ao Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG) e a todos que o integram, pela infra-estrutura e colaboração;

Ao Prof. Claudio Nery Lamarão e ao Dr. Hilton Túlio Costi (MPEG) pelo apoio durante os estudos realizados no microscópio eletrônico de varredura (MEV);

A Ishi Macris de O. Ramalho pela colaboração na confecção dos espectros;

A Gilmara Feio, Frabriciana Guimarães, Railine e Max pela contribuição em conhecimentos científicos, auxílio no manuseio de equipamentos e *softwares* e doação de mapas digitais.

Ao Grupo de Análise de Bacias Sedimentares da Amazônia (GESED), em especial ao Prof. Afonso Nogueira, que permitiu o uso de microscópio petrográfico para obtenção de fotomicrografias;

Aos meus amigos Alan Trindade, Edricio Lopes (Bin Laden), Bruno Leal (Shrek), Elias Cordeiro, Márcia Mônica Brasil Furtado, Ronaldo Paiva (Cachorrão) e Haroldo Igreja pelos momentos de descontração, incentivo e encorajamento;

“Em ti confiarão os que conhecem teu nome; porque tu, Senhor, nunca desamparaste os que te buscam”.
Salmos 9:10

RESUMO

O estudo petrográfico em amostras do furo F18-GB, da área mineralizada Guinho-Baixão, permitiu identificar sete variedades de rochas: 1) granito porfirítico médio a grosso (GPmg), litologia predominante e encaixante das rochas hidrotermalizadas; 2) granito porfirítico fino (GPf); 3) granito equigranular médio a grosso (GEmg); 4) albita-granito (AbG) e topázio-albita-granito (TAbG); 5) epissienito sódico (EpsNa), 6) epissienito sódico greisenizado (EpsNaG) e 7) epissienito potássico (EpsK). O contato entre o GPmg e o GEmg é gradacional, enquanto que o GPf e o topázio-albita-granito (TAbG) são intrusivos no GPmg. Foram caracterizados três processos hidrotermais: epissienitização sódica, o mais expressivo, epissienitização potássica e greisenização, este último de ocorrência mais restrita. O EpsNa é uma rocha leucocrática, composta por albita *chessboard*, resultante da substituição do feldspato perítico do GPmg, além de cavidades geradas pela dissolução do quartzo magmático e preenchidas por albita em ripas (*laths*), quartzo euédrico, fengita, fluorita, hematita, cassiterita, rutilo e titanita. Estas cavidades são cortadas por fraturas tardias preenchidas por fluorita e berilo. A greisenização do EpsNa é marcada pela substituição da albita por quartzo, siderofilita, fengita, esfalerita, clorita, fluorita e topázio. A epissienitização potássica gerou uma rocha rica em adularia, clorita e hematita, com resquícios de feldspato perítico, além de cassiterita, precipitada durante a cloritização do EpsK. Os principais eventos de mineralização estão associados à formação do EpsNaG e EpsK. Composições químicas obtidas por EDS foram utilizadas em um estudo da variação composicional das micas trioctaédricas e zircões dos granitos e rochas epissieníticas. As micas do GPmg, GPf e GEmg apresentam composição de annita transicionando a annita aluminosa, enquanto que as micas do EpsNaG e TAbG foram classificadas como siderofilita, com ampla variação composicional. No EpsNaG, a cassiterita ocorre associada ao estágio de formação da siderofilita marrom (tipo I), relativamente mais rica em Al_2O_3 e mais pobre em FeO do que a siderofilita verde (tipo II). As micas do tipo I são quimicamente semelhantes à siderofilita de granitos mais evoluídos e greisens estaníferos presentes em outras áreas mineralizadas do pluton Água Boa. Os zircões dos granitos revelaram razões Zr/Hf médias intermediárias entre aquelas dos zircões do biotita-granito (mais evoluído), encaixante dos greisens e epissienitos sódicos da área Queixada e aquelas dos zircões do anfibólio-biotita-granito (menos evoluído), encaixante dos greisens e epissienitos potássicos da área Guinho-Baixão. O topázio-albita-granito caracterizado neste trabalho está sendo descrito pela primeira vez no distrito mineiro de Pitinga. Ele é texturalmente similar ao albita-granito peralcalino do pluton Madeira; no

entanto, é peraluminoso e não está mineralizado. Provavelmente, o TAbG representa a fase mais evoluída do líquido magmático relacionado à cristalização da fácies topázio-granito. A separação de uma ou mais fases fluidas a partir deste líquido pode ter originado a epissienitização sódica em um estágio precoce e, a temperaturas mais baixas, a greisenização do epissienito sódico, culminando com a cloritização do epissienito potássico e formação de halos de oxidação nas porções mais fraturadas do GPmg.

Palavras-chave: Petrologia. Epissienitização. Greisenização. Mineralização.

ABSTRACT

The petrographic study of samples from hole F18-GB, the mineralized area Guinho-Baixão, identified seven types of rocks: 1) porphyritic coarse-medium-grained granite (GPmg), the predominant lithology of the rocks and enclosing hydrothermalized, 2) porphyritic fine-grained granite (GPf), 3) equigranular coarse-medium-grained granite (GEmg), 4) albite-granite (AbG) and topaz-albite-granite (TAbG), 5) sodic episyenite (EpsNa), 6) sodic episyenite greisenized (EpsNaG) and 7) potassic episyenite (EpsK). The contact between the GPmg and GEmg is gradational, whereas the GPf and the topaz-albite-granite (TAbG) are intrusive in the GPmg. We characterized three hydrothermal processes: sodic episyenitization, the most important, potassic episyenitization and greisenization, the latter occurring more restricted. The rock is a leucocratic EpsNa composed of albite chessboard, resulting from the replacement of perthitic feldspar the GPmg, as well as cavities generated by the dissolution of magmatic quartz and filled by albite laths, euhedral quartz, phengite, fluorite, hematite, cassiterite, rutile and titanite. These cavities are cut by late fractures filled by fluorite and beryl. The EpsNa greisenization is marked by the replacement of albite for quartz, siderophyllite, phengite, sphalerite, chlorite, fluorite and topaz. The potassic episyenitization generated a rich rock adularia, chlorite and hematite, with traces of perthitic feldspar and cassiterite, precipitated during the EpsK chloritization. The main events of mineralization are associated with the formation EpsNaG and EpsK. Chemical compositions obtained by EDS were used in a study of the compositional variation of trioctahedral micas and zircons from granites and episyenitic rocks. Micas of the GPmg, GPf and GEmg have annite composition transitioning to annite aluminous, while the micas of EpsNaG and TAbG were classified as siderophyllite with wide compositional variation. In EpsNaG, cassiterite is associated with the stage of formation of brown siderophyllite (type I), relatively richer in Al_2O_3 and poorer in FeO than siderophyllite green (type II). Micas type I are chemically similar to the siderophyllite of more evolved granites and greisens present in other mineralized areas of the Agua Boa pluton. The zircons from granites revealed reasons Zr/Hf average intermediate between those of zircons from the biotite-granite (more evolved), host rock of greisens and sodic episyenites Queixada area and those of the zircons of the amphibole-biotite-granite (less evolved), enclosing the greisens and potassic episyenites Baixão-Guinho area. The topaz-albite granite characterized in this work is being reported for the first time in the mining district of Pitinga. It is texturally similar to the peralkaline albite granite of Madeira pluton, however, is peraluminous and is not mineralized. Probably the TAbG represents the most

evolved of the liquid phase related to magmatic crystallization of topaz-granite facies. The separation of one or more fluid phases from this fluid may have originated sodic episyenitization in an early stage and, at lower temperatures, the greisenization of sodic episyenite, culminating with the potassic episyenite chloritization and the formation of zones of oxidation in the portions more fractured of GPmg.

Key words: Petrology. Episyenitization. Greisenization. Mineralization

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1-	Mapa de localização do Distrito Mineiro de Pitinga	18
FIGURA 2-	Modelos de compartimentação do Cráton Amazônico, segundo Tassinari e Macambira (1999) e Santos et al. (2000)	19
FIGURA 3-	Mapa geológico e coluna estratigráfica da Província Pitinga.....	21
FIGURA 4-	Mapa geológico da área da mina Pitinga	23
FIGURA 5-	Perfil vertical do furo de sondagem F18-GB	30
FIGURA 6-	Aspectos macroscópicos das rochas que compõem o furo F18-GB.....	33
FIGURA 7-	Distribuição das rochas graníticas do furo F18-GB no diagrama triangular QAP	36
FIGURA 8-	Aspectos mineralógicos e texturais do Granito Porfirítico fino	39
FIGURA 9-	Aspectos mineralógicos e texturais do Granito porfirítico médio a grosso	42
FIGURA 10-	Aspectos mineralógicos e texturais do Granito equigranular médio a grosso	45
FIGURA 11-	Aspectos mineralógicos e texturais do Topázio-albita-granito	48
FIGURA 12-	Aspectos mineralógicos e texturais do Epissienito Sódico.....	50
FIGURA 13-	Aspectos mineralógicos e texturais do Epissienito Sódico Greisenizado	53
FIGURA 14-	Aspectos mineralógicos e texturais do Epissienito Potássico.....	56
FIGURA 15-	Espectros obtidos por EDS em biotita, monazita e fluorita, quartzo e zircão do granito porfirítico fino	59
FIGURA 16-	Espectros obtidos por EDS em biotita e ilmenita, fengita e zircão, e quartzo do granito porfirítico médio a grosso	61
FIGURA 17-	Espectros obtidos por EDS em biotita, fluorita e zircão, ilmenita e magnetita, e xenotímio e monazita do granito equigranular médio a grosso	64
FIGURA 18-	Espectros obtidos por EDS em albita, feldspato alcalino e topázio, siderofilita e fengita dotopázio-albita-granito	66

FIGURA 19-	Espectros obtidos por EDS em zircão,titanita e rutilo, e xenotímio do epissienito sódico.....	68
FIGURA 20-	Espectros obtidos por EDS em siderofilita, fengita, clorita e adulária, esfalerita e fluorita, cassiterita do epissienito sódico greisenizado.....	71
FIGURA 21-	Feições texturais em cristais de zircão do epissienito sódico greisenizado.....	72
FIGURA 22-	Feições texturais em cristais de zircão e cassiterita do epissienito potássico.....	74
FIGURA 23-	Mapa esquemático de localização dos furos de sondagem do Setor Guinho Baixão.....	75
FIGURA 24-	Perfil de correlação lateral entre os furos F14, F7, F4 e F18.....	77
FIGURA 25-	Perfil vertical esquemático do furo F12-GB.....	79
FIGURA 26-	Perfil de correlação lateral dos furos da linha de sondagem L4600, da área mineralizada Queixada.....	81
FIGURA 27-	Perfis esquemáticos de furos de sondagem da área mineralizada Queixada.....	81
FIGURA 28-	Mapa de subdivisão da fácies albita-granito do pluton Madeira.....	83
FIGURA 29-	Variação composicional de micas trioctaédricas analisadas por EDS (este estudo) e analisadas por microsonda eletrônica (BORGES, 1997, 2002; FEIO, 2007) no diagrama FeO x Al ₂ O.....	85
FIGURA 30-	Diagrama de variação das razões Zr/Hf em zircões das rochas graníticas e epissieníticas do furo F18-GB, comparadas às razões encontradas em zircões de granitos, greisens e epissienitos sódicos de várias províncias estaníferas da Amazônia.....	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AbG	-Albita-granito
CL	-Catodoluminescência
EDS	-Dispersão de energia
EpsK	-Epissienito potássico
EpsNa	-Epissienito sódico
EpsNaG	-Epissienito sódico greisenizado
ERE	-Elétrons retroespalhado
GEmg	-Granito equigranular médio a grosso
GESED	-Grupo de Análise de Bacias Sedimentares da Amazônia
GPf	-Granito porfirítico fino
GPmg	-Granito porfirítico médio a grosso
GPPG	-Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides
IUGS	-International Union of the Geological Science
MEV	-Microscopia Eletrônica de Varredura
MPEG	-Museu Paraense Emílio Goeldi
TAbG	-Topázio-albita-granito

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO	19
2.2 GEOLOGIA DA PROVÍNCIA PITINGA	20
2.3 GEOLOGIA DO DISTRITO MINEIRO PITINGA.....	22
2.4 BREVE REVISÃO DOS DEPÓSITOS ESTANÍFEROS HIDROTERMAIS ASSOCIADOS AO PLUTON ÁGUA BOA.....	23
2.4.1 Greisens.....	23
2.4.2 Epissienitos Sódicos	24
3 MATERIAS E MÉTODOS	25
3.1 METODOLOGIA DE CAMPO	25
3.2 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	25
3.3 PETROGRAFIA MACROSCÓPICA	25
3.4 PETROGRAFIA MICROSCÓPICA.....	25
3.5 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	26
3.6 ESTUDOS COMPARATIVOS COM OUTRAS ÁREAS MINERALIZADAS	26
4 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA	27
5 OBJETIVOS	28
6 PETROGRAFIA	29
6.1 INTRODUÇÃO	29
6.2 ASPECTOS MACROSCÓPICOS DO FURO F18-GB	29
6.3 PETROGRAFIA MICROSCÓPICA.....	34
6.3.1 Granito porfirítico fino (GPf)	37
6.3.2 Granito Porfirítico médio a grosso (GPmg)	40
6.3.3 Granito equigranular médio a grosso (GEmg)	43
6.3.4 Albita-granito (AbG) e Topázio-albita-granito (TAbG).....	46
6.3.5 Epissienito Sódico (EpsNa).....	49
6.3.6 Epissienito Sódico Greisenizado (EpsNaG).....	51
6.3.7 Epissienito Potássico (EpsK).....	54
7 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA ATRAVÉS DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA	57
7.1 GRANITO PORFIRÍTICO FINO (GPf)	57

7.1.2 Biotita	57
7.1.3 Quartzo	58
7.1.4 Zircão	58
7.1.5 Fluorita	58
7.1.6 Monazita	58
7.2 GRANITO PORFIRÍTICO MÉDIO A GROSSO (GPmg)	60
7.2.1 Biotita	60
7.2.2 Ilmenita	60
7.2.3 Zircão	60
7.2.4 Quartzo	60
7.3 GRANITO EQUIGRANULAR MÉDIO A GROSSO (GEmg)	62
7.3.1 Biotita	62
7.3.2 Zircão	62
7.3.3 Fluorita	62
7.3.4 Ilmenita	62
7.3.5 Magnetita	62
7.3.6 Monazita	63
7.3.7 Xenotímio	63
7.4 ALBITA-GRANITO (AbG) E TOPÁZIO-ALBITA-GRANITO (TAbG)	66
7.4.1 Feldspatos	65
7.4.2 Siderofilita e fengita	65
7.4.3 Topázio	65
7.5 EPISSIENITOS	67
7.5.1 Epissienito sódico (EpsNa)	67
7.5.1.1 Zircão	67
7.5.1.2 Titanita	67
7.5.1.3 Rutilo	67
7.5.1.4 Xenotímio	67
7.5.2 Epissienito sódico greisenizado (EpsNaG)	69
7.5.2.1 Siderofilita	69
7.5.2.2 Clorita e fengita	69
7.5.2.3 Adulária	69
7.5.2.4 Fluorita	69
7.5.2.5 Esfalerita	70

7.5.2.6 Cassiterita	70
7.5.2.7 Zircão	70
7.5.3 Epissienito potássico (EpsK)	73
7.5.3.1 Adulária	73
7.5.3.2 Fluorita	73
7.5.3.3 Zircão	73
7.5.3.4 Clorita	73
7.5.3.5 Cassiterita	73
8 ESTUDOS COMPARATIVOS	75
8.1 INTRODUÇÃO	75
8.2 COMPARAÇÃO DO F18-GB COM OUTROS FUROS DA ÁREA GUINHO- BAIXÃO	75
8.3 COMPARAÇÃO DOS EPISSIENITOS SÓDICOS DO F18-GB COM AQUELES DA ÁREA MINERALIZADA QUEIXADA	80
8.4 COMPARAÇÃO DO TOPÁZIO-ALBITA-GRANITO DO FURO F18-GB COM O ALBITA-GRANITO DO PLUTON MADEIRA	82
8.5 VARIAÇÃO COMPOSICIONAL DE MICAS TRIOCTAÉDRICAS	84
8.6 VARIAÇÕES COMPOSICIONAIS DE ZIRCÃO	87
9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	92
REFERÊNCIAS	94
ANEXOS	98

1 INTRODUÇÃO

A Província Pitinga está localizada no estado do Amazonas, próximo de sua fronteira com o estado de Roraima. Dista cerca de 250 km, em linha reta, da cidade de Manaus e situa-se no município de Presidente Figueiredo. A área da mina está situada entre as coordenadas geográficas 0° 30' S a 0° 51' S e 60° 15' a 59° 47' W (Figura 1).

O acesso a região é feito a partir de Manaus, pela rodovia asfaltada BR-174, até o Km 259, a partir de onde se segue para leste por cerca de 42 km até o início da área de domínio da Mineração Taboca S.A, recentemente incorporada à empresa peruana Minsur, proprietária da mina de San Rafael (Peru), outra grande produtora mundial de Sn.

No início da década de 1980, a cassiterita (minério de estanho) era explorada em depósitos aluvionares, ao longo de drenagens estabelecidas sobre e em torno dos plutons Madeira e Água Boa, pertencentes à Suíte Madeira (COSTI; DALL'AGNOL; MOURA, 2000). Hoje, a produção está concentrada na lavra do minério primário hospedado no albita-granito da Serra do Madeira. Ele é considerado um depósito de estanho de classe mundial, contendo Nb, Ta e F (criolita) como subprodutos e Zr, Y, ETR e Li como potenciais subprodutos (PRADO, 2006).

Ao longo dos últimos trinta anos, vários trabalhos acadêmicos e publicações científicas têm contribuído para o conhecimento geológico e metalogenético dos depósitos estaníferos magmáticos e hidrotermais associados aos granitos da Suíte Madeira (BASTOS NETO et al., 2005, 2009; BORGES, 2002; BORGES; DALL'AGNOL; COSTI, 2003; BORGES et al., 2009; COSTI, 2000; COSTI et al., 2002, 2009; COSTI; BORGES; DALL'AGNOL, 2005; FEIO, 2007; FEIO; DALL'AGNOL; BORGES, 2007; LENHARO, 1998).

O presente trabalho é uma contribuição ao conhecimento acerca dos processos que originaram os depósitos estaníferos hidrotermais associados ao pluton Água Boa. Para tanto, foi realizada a caracterização petrográfica, mineralógica e da alteração hidrotermal a que foram submetidas as rochas da fácies hornblenda-biotita-feldspato alcalino-granito, considerada a menos evoluída na história evolutiva do pluton. Este estudo foi desenvolvido por meio do exame do furo de sondagem F18-GB, executado pela Mineração Taboca na borda oeste do pluton. Este trabalho se insere em uma das sublinhas de pesquisa desenvolvidas pelo Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG), mais especificamente o estudo dos processos hidrotermais e mineralizações associadas a rochas magmáticas no Cráton

Amazônico.



Figura 1: Mapa de localização do Distrito Mineiro de Pitinga
Fonte: Modificado de Ferron (2006).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O levantamento bibliográfico referente à Província Pitinga foi realizado com ênfase, principalmente, em estudos petrológicos, geoquímicos, geocronológicos e de processos de alteração hidrotermal, com destaque para a gênese de greisens e epissienitos sódicos.

2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO

A província Pitinga está localizada na porção sul do Escudo das Guianas, no Crátón Amazônico.

Segundo as propostas de compartimentação do Crátón Amazônico, a mina Pitinga está localizada na Província Ventuari-Tapajós (1,88-1,70 Ga), conforme Tassinari e Macambira (1999), (Figura 2A). No modelo proposto por Santos et al. (2000), ela situa-se na Província Tapajós-Parima (2,10-1,87 Ga), às proximidades do limite com a Província Amazônia Central (Figura 2B).

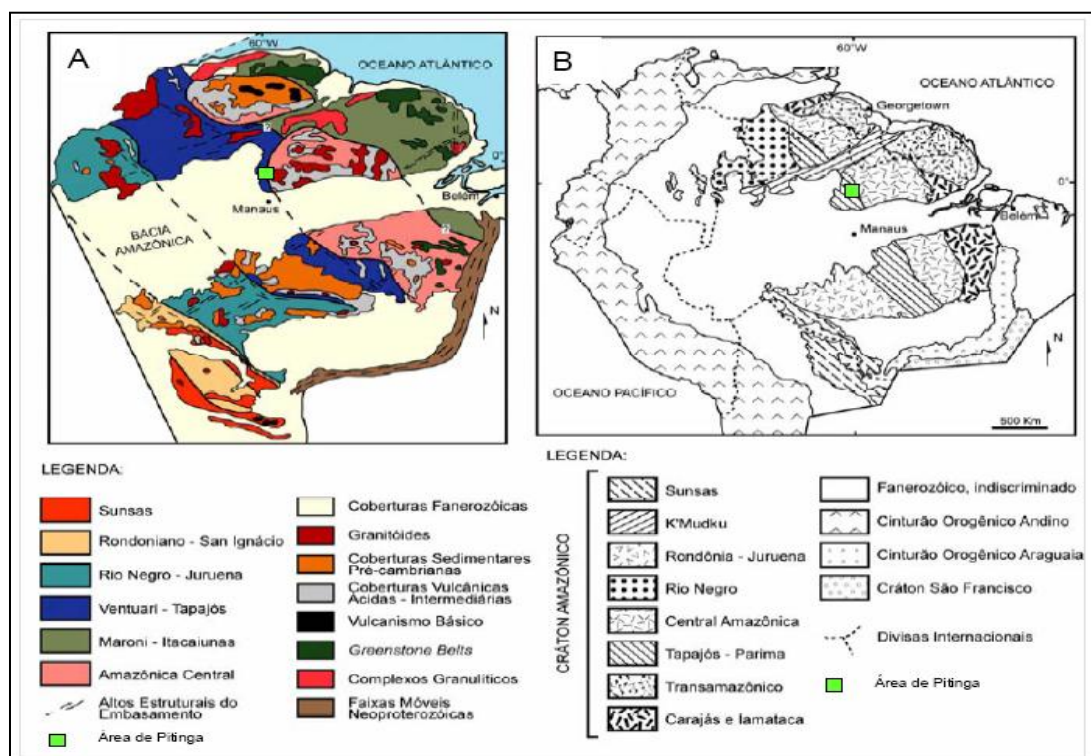


Figura 2: Modelos de compartimentação do Crátón Amazônico, segundo Tassinari e Macambira (1999) (A) e Santos et al. (2000) (B). A área em verde mostra a localização da Província Pitinga.

Fonte: Prado (2006).

2.2 GEOLOGIA DA PROVÍNCIA PITINGA

As rochas mais antigas da região de Pitinga correspondem à Suíte Intrusiva Água Branca, formada por uma série de granitóides cálcico-alcálicos, metaluminosos a peraluminosos (FERRON et al.; 2006).

Em contato com esta unidade, têm-se as rochas do Supergrupo Uatumã, constituído pelo Grupo Iricoumé (rochas vulcânicas e piroclásticas) e pelos granitos da Suíte Mapuera. Estas rochas são intrudidas por granitos alcalinos tipo-A, representados pelos plutons Madeira, Água Boa e Europa, com fortes similaridades petrogenéticas e metalogenéticas, que constituem a Suíte Madeira (COSTI; DALL'AGNOL, MOURA, 2000).

Esses granitos são sobrepostos, na sucessão estratigráfica, pela Formação Urupi, composta por rochas sedimentares clásticas intercaladas com rochas piroclástica, pela Formação Quarenta Ilhas, constituída por intrusões basálticas toleíticas e pela Formação Seringa, composta por intrusões e derrames básicos alcalinos (FERRON et al, 2006).

A sucessão litológica é encerrada por coberturas bauxítico-lateríticas terciárias e depósitos aluvionares quaternários (FERRON et al, 2006).

Na Figura 3, pode-se observar a coluna estratigráfica e distribuição espacial das unidades que compõem a região de Pitinga.

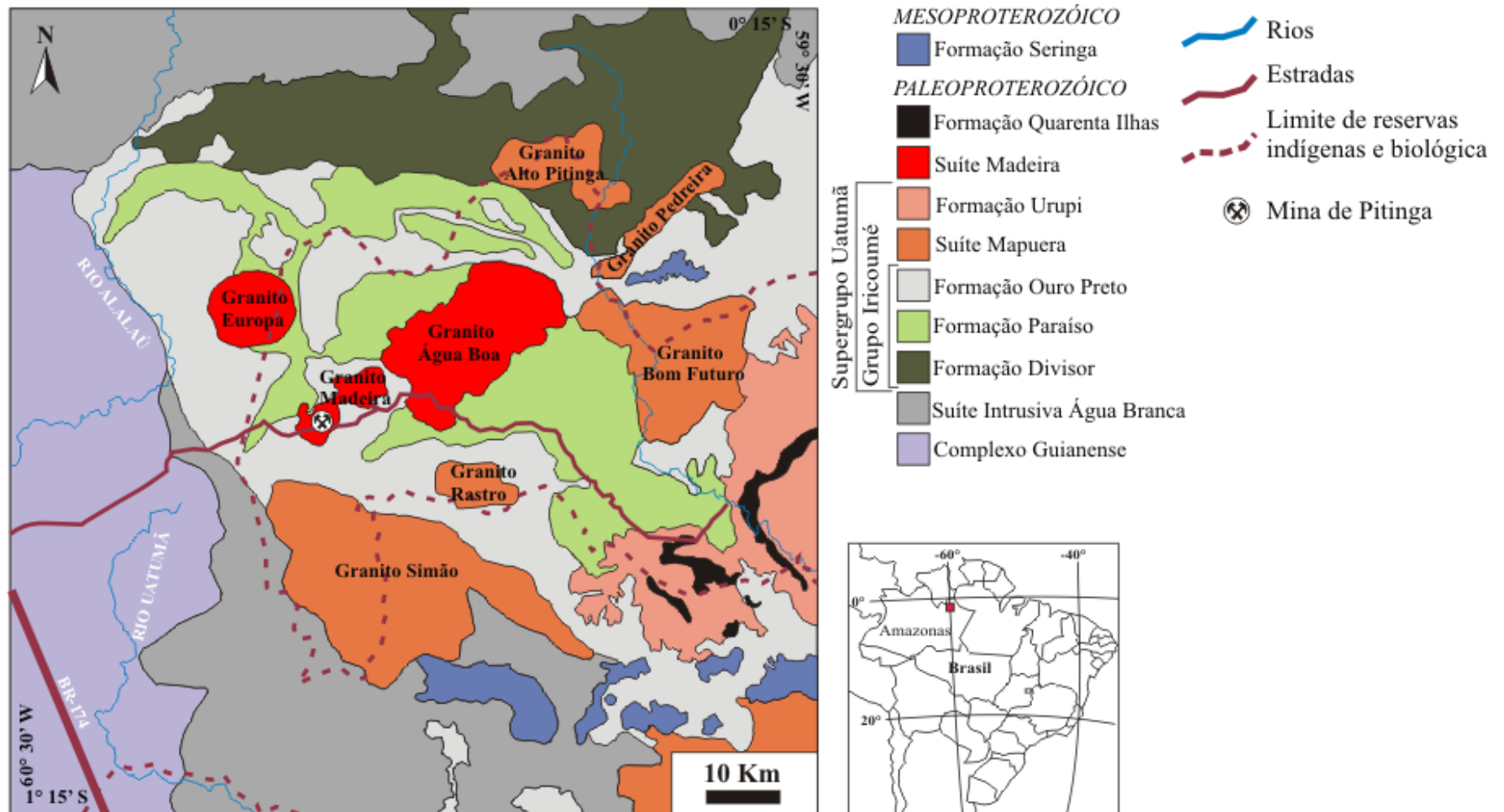


Figura 3: Mapa geológico e coluna estratigráfica da Província Pitinga.

Fonte: Modificado de Ferron et al. (2006).

2.3 GEOLOGIA DO DISTRITO MINEIRO PITINGA

Os depósitos minerais polimetálicos da mina Pitinga estão hospedados em dois plutons graníticos altamente fracionados, tipo-A, denominados Madeira (COSTI, 2000; MINUZZI, 2005) e Água Boa (LENHARO, 1998). Os corpos mineralizados a cassiterita magmática, criolita, pirocloro, columbita e zircão estão associados à fácies albita-granito do pluton Madeira (COSTI; BORGES; DALL'AGNOL, 2005; COSTI et al., 2009; BASTOS NETO et al., 2005, 2009) enquanto depósitos estaníferos hidrotermais estão hospedados em greisens (BORGES, 2002; BORGES DALL'AGNOL; COSTI, 2003; BORGES, et al., 2009; FEIO; DALL'AGNOL; BORGES, 2007) e epissienitos sódicos (COSTI et al., 2002) associados ao pluton Água Boa.

No pluton Madeira, as fácies precoces são anfibólio-biotita-granito porfirítico metaluminoso, localmente com textura rapakivi, e biotita-feldspato alcalino-granito equigranular, peraluminoso (Figura 4). Ambas as fácies são intrudidas por um *stock* aproximadamente circular, com diâmetro de 2 km, composto pelo feldspato alcalino-granito *hipersolvus* porfirítico, metaluminoso, e albita-granito *subsolvus*. O albita-granito, hospedeiro das mineralizações em Sn, apresenta duas subfácies. A predominante, denominada albita-granito de núcleo, é de cor acinzentada e peralcalina, composta essencialmente por albita, quartzo, feldspato potássico e, subordinadamente, por criolita, zircão, polilitionita, riebeckita, pirocloro, annita litinífera, cassiterita e magnetita. O albita-granito de núcleo transiciona para rocha avermelhada, geoquimicamente peraluminosa, definida como albita-granito de borda, formado essencialmente por quartzo, feldspato potássico e albita, contendo, ainda, fluorita, zircão, clorita, cassiterita, hematita e columbita.

No Granito Água Boa a fácies precoce é anfibólio-biotita-feldspato alcalino-granito metaluminoso, localmente com textura rapakivi, seguido, na ordem de colocação, por biotita-granito porfirítico, biotita-granito equigranular a seriado, ambos metaluminosos a peraluminosos, e topázio-granito porfirítico peraluminoso (Figura 4).

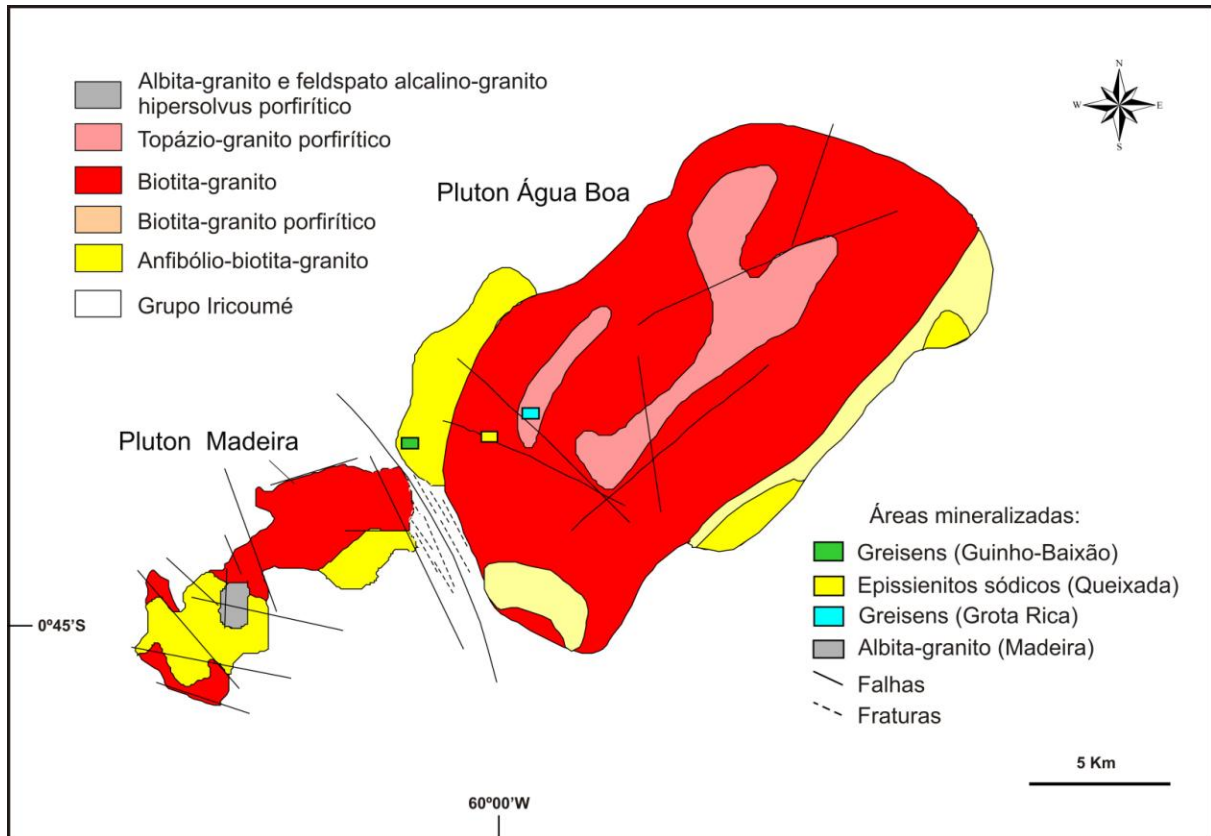


Figura 4: Mapa geológico da área da mina Pitinga. Além do depósito magmático associado ao albita-granito do pluton Madeira, as áreas marcadas por retângulos mostram a localização dos depósitos hidrotermais associados aos greisens e epissienitos sódicos do pluton Água Boa. A área em verde contém a malha de sondagem de onde provém o furo F18-GB, estudado no presente trabalho. Fonte: Modificado de Costi (2000) e Lenharo (1998).

2.4 BREVE REVISÃO DOS DEPÓSITOS ESTANÍFEROS HIDROTERMAIS ASSOCIADOS AO PLUTON ÁGUA BOA

2.4.1 Greisens

Os greisens foram detectados em subsuperfície e estão associados a praticamente todas as fácies do pluton Água Boa (Figura 4). Ocorrem interdigitados com granitos greisenizados e/ou rochas hidrotermalizadas em zonas rúpteis, formando níveis contínuos e homogêneos, com espessura máxima de 5 metros (BORGES, 2002; BORGES; DALL'AGNOL; COSTI, 2003; FEIO; DALL'AGNOL; BORGES, 2007).

Os greisens de alta temperatura (400 – 280°C) apresentam cor preta à cinza clara, textura granular média e são compostos essencialmente por quartzo, topázio, siderofilita e esfalerita, acompanhados por quantidades variáveis de cassiterita, pirita, calcopirita, zircão, fluorita, siderita e Nb-anatásio. A cassiterita ocorre disseminada, em cristais anédricos a

subédricos (> 1 mm), marrom avermelhados a incolores. A cassiterita avermelhada apresenta baixos teores de Ti e Nb, enquanto a incolor é quimicamente mais pura (BORGES, 2002).

Os greisens de baixa temperatura (250 – 120°C) apresentam coloração verde acinzentada escura à verde clara, textura granular média e são constituídos essencialmente por quartzo, fengita e clorita, além de teores subordinados de cassiterita, pirita, galena, esfalerita, zircão, rutilo, berilo e fluorita. A cassiterita ocorre na forma de agregados de cristais anédricos ou subédricos (0,3–0,7 mm), vermelhos escuros a incolores, irregularmente zonados e frequentemente corroídos (BORGES, 2002).

2.4.2 Epissienitos Sódicos

Os epissienitos sódicos também foram detectados em programa de sondagem rotativa, sob cobertura saprolítica de 30 a 40 metros de espessura (COSTI et al., 2002). São rochas de textura equigranular média, compostas essencialmente por albita e baixo teor modal de quartzo, formadas por alteração metassomática de biotita-granito encaixante, em zona lenticular controlada por falhas.

São formados, em linhas gerais, através dos seguintes estágios: (a) albitização de feldspato potássico; (b) formação de cavidades através da dissolução de quartzo magmático; (c) preenchimento das cavidades por albita, clorita, fengita, cassiterita; (d) deposição de quartzo tardio e cassiterita em espaços restantes. A cassiterita ocorre como agregados irregulares ou drusiformes de cristais corroídos, subédricos a anédricos (0,5–1,0 mm), marrom avermelhados a incolores, em cavidades, associada a (1) albita, fengita e clorita, ou (2) quartzo secundário tardio, feldspato potássico turvo (adularia?) ± albita.

3 MATERIAS E MÉTODOS

3.1 METODOLOGIA DE CAMPO

Uma vez que os testemunhos de sondagem, coletados em 2002, encontravam-se disponíveis, não foi necessária a execução de trabalhos de campo adicionais para o desenvolvimento dos estudos.

3.2 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

O levantamento bibliográfico envolveu aspectos relacionados à geologia do cráton Amazônico, granitos estaníferos, geologia regional e local da mina Pitinga, bem como de temas relacionados a processos hidrotermais e mineralizações estaníferas associadas.

3.3 PETROGRAFIA MACROSCÓPICA

O estudo petrográfico foi realizado a partir da análise detalhada de testemunhos de sondagem, visando à caracterização das principais feições estruturais, texturais, mineralógicas das rochas hidrotermais e de suas encaixantes. Estas informações foram utilizadas para a confecção de um perfil vertical do furo (*log* de sondagem), que possibilitou a visualização e um melhor entendimento da distribuição espacial e as relações existentes entre as unidades de rochas descritas. Este trabalho deu suporte à seleção de amostras representativas para a preparação de lâminas polidas para os estudos microscópicos.

3.4 PETROGRAFIA MICROSCÓPICA

Os estudos microscópicos foram desenvolvidos em microscópio petrográfico de luz polarizada, onde foram descritas 22 lâminas delgadas de amostras do Furo F18-GB. Nesta etapa, buscou-se o exame e identificação das fases minerais presentes nas rochas, no sentido de estabelecer as paragêneses resultantes dos processos hidrotermais, além de aspectos texturais, como relações de contato, feições de substituição e/ou equilíbrio etc.

Posteriormente, realizaram-se análises modais, através de um contador eletrônico de

pontos, onde foram contabilizados, em média, 1500 a 2000 pontos por amostra.

3.5 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A caracterização mineralógica complementar das principais fases minerais presentes nas rochas graníticas e rochas hidrotermais associadas foram realizadas através do microscópio eletrônico de varredura (MEV). As relações texturais entre as fases minerais foram obtidas através do registro de imagens por elétrons retroespalhados (ERE), enquanto que a identificação e caracterização das fases minerais acessórias foram realizadas através de análises químicas pontuais semiquantitativas obtidas em detector de raios-X acoplado ao MEV, através da técnica de espectroscopia de raios-X por dispersão de energia (EDS).

Além disso, também foram realizados estudos de caracterização da textura interna e de padrões de zoneamentos em cristais de quartzo e zircão, através do sistema de catodoluminescência (CL) Mono CL acoplado ao MEV. Nos cristais de quartzo, em zonas com contrastes de intensidade de CL, também foram realizadas análises químicas pontuais semiquantitativas para a avaliação preliminar da concentração de elementos-traço (Ti, Al, Ge etc). Em cristais de zircão, o estudo através de CL caracterizou zonas de diferentes intensidades de catodoluminescência, as quais foram analisadas através de EDS para a obtenção da concentração de elementos-traço (Th, U, Hf, Y etc).

3.6 ESTUDOS COMPARATIVOS COM OUTRAS ÁREAS MINERALIZADAS

Foram realizados estudos comparativos entre as rochas do furo F18-GB e aquelas estudadas por Borges (1997, 2002) e Costi et al. (2002), no sentido de estabelecer correlações entre as rochas graníticas e seus produtos hidrotermais, com ênfase na alteração hidrotermal e no estilo de mineralização nelas observado. Por outro lado, fez-se uma análise comparativa da ocorrência do albita-granito do furo F18-GB com o albita-granito do pluton Madeira, estudado por Costi (2000).

Posteriormente, realizou-se uma análise da variação composicional apresentada pelas micas trioctaédricas e zircões das variedades petrográficas caracterizadas no furo F18-GB, comparando-as com aquelas de rochas graníticas, greisens e epissienitos de outras áreas mineralizadas do pluton Água Boa, e de outros granitos estaníferos do cráton Amazônico.

4 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA

As mais importantes mineralizações de Sn conhecidas na região Amazônica estão associadas à greisens e rochas ricas em albita. Os complexos graníticos ou as fácies dos complexos, nas quais essas rochas são mais frequentes, apresentam potencial favorável para hospedar depósitos de Sn. Nas últimas décadas algumas dissertações de mestrado e teses de doutorado tem contribuído para o conhecimento geológico dos depósitos estaníferos associados à greisens na Amazônia (p. ex. BORGES, 1997, 2002; FEIO, 2007; FRANK, 1990; LEITE JR., 2002; TEIXEIRA, 1999). No entanto, pouco se tem estudado sobre as relações entre os processos de greisenização e epissienitização, e sua importância relativa para a formação de depósitos estaníferos.

Os estudos de detalhe em greisens e epissienitos sódicos e potássicos, realizados até o presente momento na área da mina Pitinga, sugerem que os processos de greisenização e epissienitização podem estar mais intimamente associados no espaço e no tempo do que se tem registro na literatura. No entanto, é necessário aprofundar ainda mais os estudos de caracterização petrográfica, mineralógica e de inclusões fluidas dos greisens e epissienitos na mina Pitinga para melhorar a compreensão dos processos que levaram à sua formação.

Assim, este trabalho pretende contribuir para o avanço do conhecimento petrográfico e mineralógico das rochas hidrotermais associadas à mineralização estanífera no pluton Água Boa, procurando esclarecer as possíveis relações entre processos de greisenização e epissienitização.

5 OBJETIVOS

Foram definidos os seguintes objetivos para o desenvolvimento deste trabalho, com base no conhecimento acumulado sobre os aspectos geológicos do Distrito Mineiro de Pitinga:

a) Caracterização das rochas graníticas e seus derivados hidrotermais, no furo F18-GB, executado na malha de sondagem Guinho-Baixão, na fácies hornblenda-biotita-álcali feldspato-granito do pluton Água Boa, através de estudos petrográficos macro e microscópicos;

b) Caracterização mineralógica e textural complementar das principais fases minerais presentes nas rochas hidrotermais associadas ao protólito granítico, utilizando-se microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análises semiquantitativas por EDS, além de imageamento através de catodoluminescência;

c) Caracterização dos processos hidrotermais responsáveis pela formação das rochas hidrotermalizadas e mineralização estanífera associada, comparando o furo F18-GB com outros furos realizados na fácies hornblenda-biotita-álcali feldspato-granito, bem como com as rochas hidrotermais detectadas em outras fácies do pluton Água Boa, além de outras rochas graníticas e hidrotermais hospedeiras de depósitos de Sn do cráton Amazônico.

6 PETROGRAFIA

6.1 INTRODUÇÃO

Os estudos petrográficos foram realizados em amostras do furo F18-GB, na área mineralizada Guinho-Baixão, situada na borda oeste do pluton Água Boa, próxima do contato com as rochas vulcânicas do Grupo Iricoumé (Figuras 3 e 4). Nestes estudos, procurou-se analisar e descrever detalhadamente os aspectos macro e microscópicos das rochas que foram interceptadas pelo furo de sondagem.

O furo F18-GB é vertical e foi executado até a profundidade de 87,87 metros. O intervalo amostrado situa-se entre 22,87 metros (interface saprólito – rocha sã) e a base do furo.

Os dados obtidos na descrição macroscópica possibilitaram a preparação de um perfil vertical (*log* de sondagem), representado na Figura 5, onde se pode visualizar a distribuição espacial vertical e as relações de contato entre as diversas variedades de rochas identificadas no furo em questão.

A integração da petrografia macro e microscópica permitiu a caracterização de sete variedades petrográficas de rochas, tendo por base a composição mineralógica, aspectos texturais e o tipo de alteração hidrotermal: 1) granito porfirítico médio a grosso (GPmg); 2) granito porfirítico fino (GPf); 3) granito equigranular médio a grosso (GEmg); 4) albita-granito (AbG) e topázio-albita-granito (TAbG); 5) epissienito sódico (EpsNa), 6) epissienito sódico greisenizado (EpsNaG) e 7) epissienito potássico (EpsK).

A seguir serão apresentados os dados petrográficos obtidos no presente estudo.

6.2 ASPECTOS MACROSCÓPICOS DO FURO F18-GB

O granito porfirítico médio a grosso (GPmg) é a variedade predominante no furo de sondagem. É a rocha encaixante de todas as variedades petrográficas descritas e a hospedeira das rochas hidrotermalizadas presentes no furo. Nos intervalos de 57,30 a 59,58 metros, 70,24 a 79,29 metros e 83,09 a 84,75 metros, o GPmg encontra-se muito oxidado, fraturado e cloritizado, apresentando uma coloração avermelhada em decorrência da impregnação dos feldspatos por hematita (Figura 5). Ao longo de todo o furo, observa-se que a variação na tonalidade avermelhada desta rocha está diretamente relacionada à intensidade do seu fraturamento.

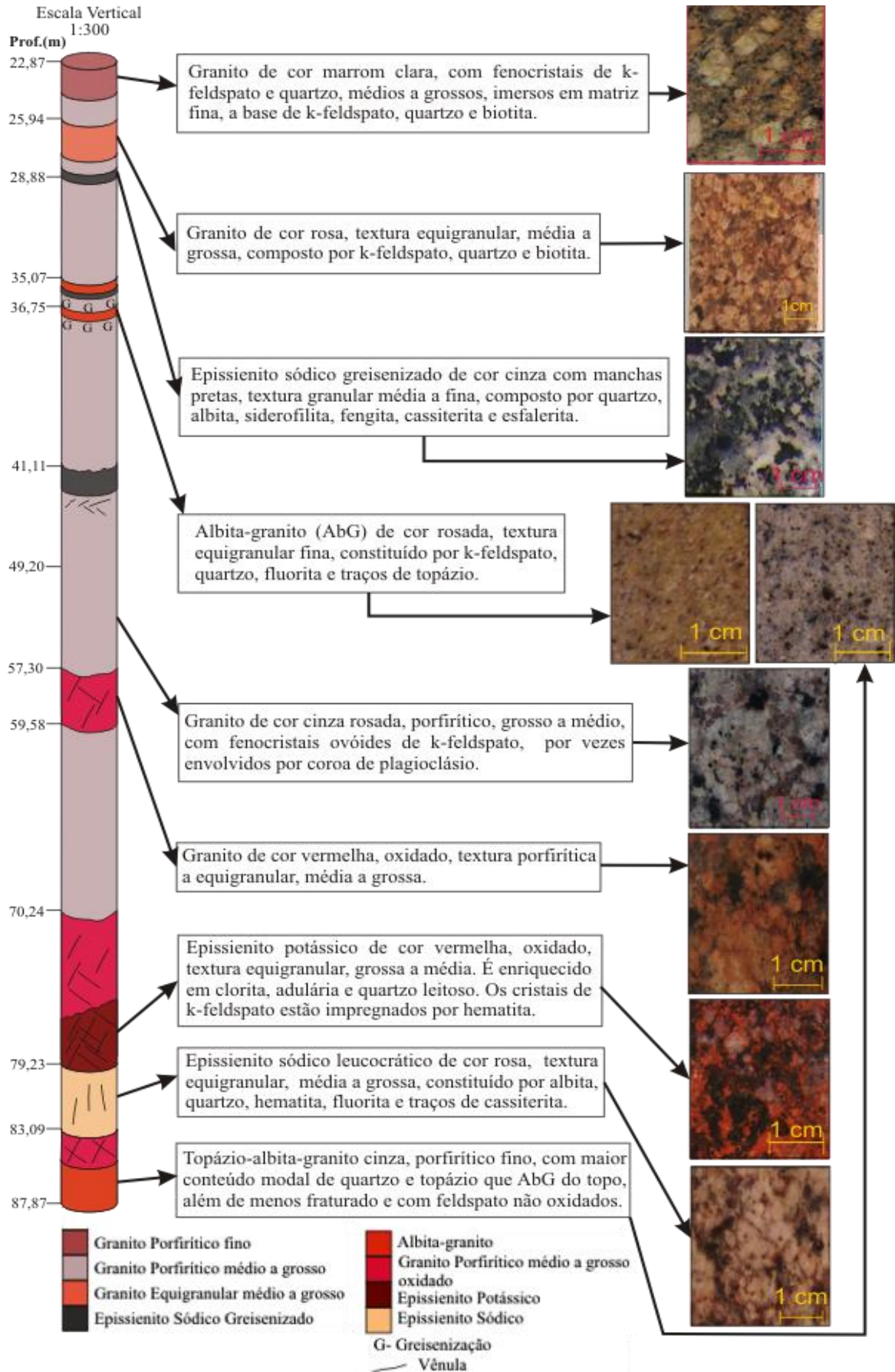


Figura 5: Perfil vertical do furo de sondagem F18-GB.

O granito porfirítico fino (GPf) ocorre somente no topo do furo, estendendo-se até a profundidade de 24,37 m, onde grada para o GPmg. Sua característica mais marcante é a ocorrência de esparsos fenocristais subarredondados (ovóides) de feldspato alcalino imersos numa matriz equigranular fina (figuras 5 e 6B), caracterizando uma textura rapakivi piterlítica.

O granito equigranular médio a grosso (GEmg) ocorre no intervalo entre 25,94 e 28,0 metros, e seus contatos com o GPmg são transicionais. É uma variedade mais leucocrática do que as fácies GPf e GPmg (figuras 5 e 6C) e seus conteúdos modais de biotita são inferiores.

Nos intervalos entre 35,07 e 35,50 metros e 36,25 e 36,95 metros, ocorrem dois níveis de uma rocha hololeucocrática rosada, equigranular fina, classificada como albita-granito porfirítico fino (AbG), intrusivo no granito porfirítico médio a grosso. Os contatos são marcados por uma zona de transição em que o GPmg tem cor mais avermelhada e uma maior concentração de micas pretas, decorrentes de greisenização (figura 6D). Em 36,74 m, o AbG é seccionado por uma vênula de granulação grossa, preenchida por feldspato alcalino, quartzo e mica preta. Na profundidade de 37,0 metros, a transição é marcada por um nível de rocha de granulação fina e rica em micas, também produto de greisenização superimposta.

Na base do furo, entre 84,75 e 87,87 metros, o AbG é mais rico em máficos, tem coloração esbranquiçada e textura porfirítica fina (figura 6E). No seu contato superior, transiciona para o GPmg avermelhado e oxidado.

O epissienito sódico (EpsNa) ocorre no intervalo entre 79,23 e 83,09 metros. É uma rocha equigranular média a grossa, hololeucocrática, de cor rosa a amarelada, composta predominantemente por albita, com conteúdos menores de quartzo e hematita e quantidades traço de cassiterita (figura 6F). O EpsNa é seccionado por delgadas fraturas subverticais preenchidas por hematita. Cavidades de dissolução ora vazias, ora ocupadas por hematita/óxido de ferro, também são observadas. Seu contato inferior com o GPmg marca uma zona de oxidação e intensa greisenização do granito, com formação de micas pretas.

No topo (79,23 metros), o EpsNa grada para uma rocha fraturada, extremamente oxidada, rica em feldspato potássico vermelho carne (adulária?) e clorita, com pequenas proporções de quartzo leitoso (secundário?) (figura 6G). Esta rocha foi classificada como epissienito potássico (EpsK) e forma uma lente delgada, de aproximadamente 0,50 metros, que transiciona, no topo, para o GPmg avermelhado. Esta transição é marcada pelo gradual enriquecimento em quartzo e feldspato alcalino pertítico.

O EpsNa encontra-se greisenizado (EpsNaG) em pequenos intervalos, entre 28,84 e 28,94 metros, entre 35,50 e 35,56 metros e entre 47,11 e 47,27 metros. Estes níveis

apresentam um aspecto “mosqueado”, oriundo da interdigitação entre micas pretas e feldspatos rosados. Na profundidade de 47,11 metros ocorre um nível fraturado, de 5 cm de espessura, enriquecido em esfalerita.

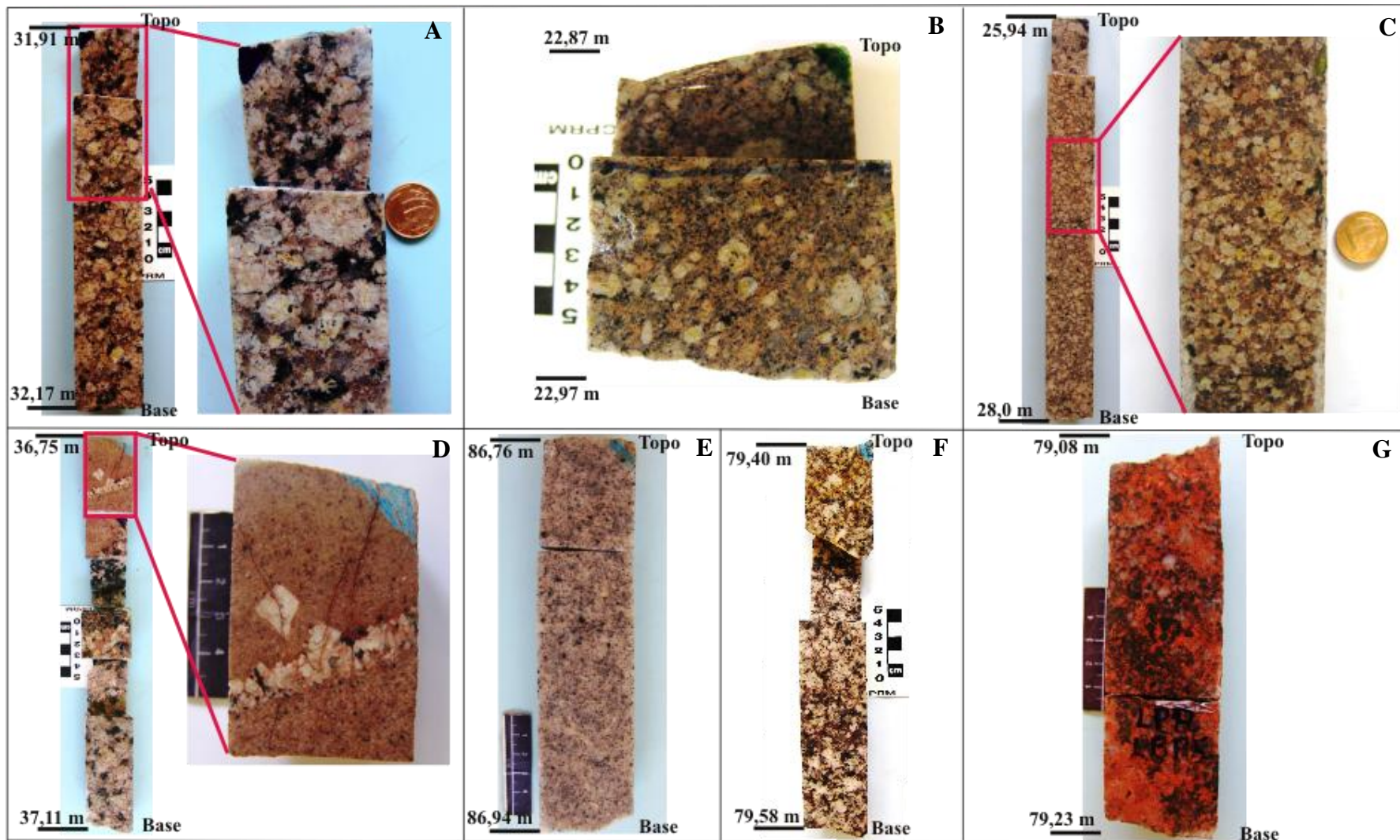


Figura 6: Aspectos macroscópicos das rochas que compõem o furo F18-GB: A- Granito porfirítico médio a grosso (GPmg), B- Granito porfirítico fino (GPf), com textura rapakivi piterlítica, C- Granito equigranular médio a grosso (GEmg), D- Albita-granito (AbG), E- Topázio-albita-granito (TAbG), F- Epissienito sódico impregnado por hematita (EpsNa) e G- epissienito potássico rico em clorita e adulária (EpsK).

6.3 PETROGRAFIA MICROSCÓPICA

Nos estudos microscópicos de detalhe foram descritas 22 (vinte e uma) lâminas delgadas, com ênfase no exame das relações texturais, identificação dos constituintes minerais e determinação do seu conteúdo modal.

A classificação das rochas graníticas foi realizada com base nos critérios estabelecidos por Streckeisen (1976). A Tabela 1 apresenta os resultados da análise modal realizada nas amostras do furo F18-GB, a partir da contagem de 2000 (dois mil) pontos por seção delgada, em média, enquanto que os dados obtidos foram tratados no diagrama QAP (Figura 7).

Neste contexto, o granito porfirítico médio a grosso (GPmg) foi classificado como biotita-álcali feldspato-granito a sienogranito. Nas zonas de intensa cloritização, a biotita está completamente substituída.

O granito porfirítico fino (GPf) e o granito equigranular médio a grosso (GEmg), que possuem ocorrências mais localizadas, foram classificados como biotita-sienogranito, mas, notadamente, distinguem-se pelo seu arranjo textural.

O albita-granito (AbG) é uma rocha cristalizada em condições *subsolvus*, com quantidades variáveis de quartzo, feldspato potássico e albita. Os dados demonstram que, na base do furo, o AbG tem maiores conteúdos modais de topázio e siderofilita e menores de albita, quando comparado à ocorrência de topo, o que possibilitou classificá-lo como topázio-albita-granito (Tabela 1). Como a IUGS (*International Union of the Geological Science*) considera a albita ($An \leq 5$) um feldspato alcalino, a composição mineralógica do AbG permite enquadrá-lo no campo do álcali feldspato-granito a quartzo-álcali feldspato-sienito, enquanto que o topázio-albita-granito pode ser classificado como um álcali feldspato-granito no diagrama QAP (STRECKEISEN, 1976) (Figura 7).

Quanto aos epissienitos, sua classificação foi realizada com base no tipo de feldspato hidrotermal predominante na rocha, ora albita, no epissienito sódico, ora adularia, no epissienito potássico. Por outro lado, o quartzo presente nestas rochas representa o processo de silicificação dos estágios finais da epissinitização, uma vez que o quartzo magmático foi dissolvido durante a alteração hidrotermal.

Tabela 1: Composição modal, em percentagem, das rochas do furo F18-GB (contagem de 2000 pontos).

Amostra	Qtz	Kfs	Pl	Ab	Ann	Sdr	Phg	Chl	Fl	Toz	Zrn	Ant	Opc	Cst	Sp	Adl	Classificação	Variedade
F18-01 (22,87-22,91 m)	38,5	47,1	7,9		4,1	1,1		0,4*	0,3	1,1	0,1	tr	0,2				Biotita-sienogranito	GPf
F18-02 (24,76-24,80 m)	25,0	52,2	17,6		1,2	2,7			0,4	0,2	0,1		0,5				Biotita-sienogranito	GPmg
F18-03 (25,94-25,98 m)	32,3	41,9	9,5		3,2		3,7	4,7*	1,6	0,4	0,2		1,7				Biotita-sienogranito	GEmg
F18-04 (28,84-28,88 m)	47,8			20,4		19,9	8,0	1,6*	1,4		0,2	tr	0,1	0,1	0,1	tr	Epissienito sódico greisenizado	EpsNaG
F18-05 (31,91-31,95 m)	20,7	53,2	6,8		10,3			5,9*	0,7	0,1	0,3		1,4				Biotita-sienogranito	GPmg
F18-06 (35,35-35,39 m)	16,2	44,7		38,2				0,2	0,3	tr	0,1		0,4				Albita-granito	AbG
F18-07 (35,50-35,54 m)	41,7	17,8	0,9	25,6		12,8			0,3		0,2	tr	0,4		tr		Epissienito sódico greisenizado	EpsNaG
F18-08 (36,80-36,84 m)	20,2	47,3		31,5				0,3	0,4				0,1				Albita-granito	AbG
F18-09 (36,95-36,99 m)	22,7	61,3	2,6				0,3	11*	1,2		0,1	tr	0,4		0,1		Biotita-álcali feldspato-granito	GPmg
F18-10 (42,66-42,70 m)	29,5	65,3	1,4		2,5			0,1*	0,5	0,1	0,1		0,3		0,2		Biotita-álcali feldspato-granito	GPmg
F18-11 (47,16-47,20 m)	37,4	1,4		31,3		10,4		tr	0,3		tr				18,3		Epissienito sódico greisenizado	EpsNaG
F18-12 (47,24-47,27 m)	40,0	1,0		43,5		12,0	0,7	2,2*	0,4	tr	0,1	tr	0,2		tr		Epissienito sódico greisenizado	EpsNaG
F18-13 (54,74-54,78 m)	23,0	69,8	0,0		0,7			3,9*	1,2		0,1		0,2				Biotita-álcali feldspato-granito	GPmg
F18-14 (58,48-58,52 m)	29,2	63,9	2,1					3,3*	0,4	0,2	0,1		0,4				Biotita-álcali feldspato-granito	GPmg
F18-15 (65,41-65,45 m)	21,8	69,5	0,5					5,7*	0,1	tr	0,1		0,5				Biotita-álcali feldspato-granito	GPmg
F18-16 (76,71-76,75 m)	31,9	55,0	8,2				0,3	2,0*	1,1		0,2		1,0				Biotita-sienogranito	GPmg
F18-17 (76,83-76,87 m)	23,4	20,6		1,4			0,9	34,6	1,5		0,1		1,6	0,2		15,5	Epissienito potássico	EpsK
F18-18 (79,38-79,42 m)	23,5			71,6					2,6		0,1	tr	1,9	tr			Epissienito sódico	EpsNa
F18-19 (81,75-81,79 m)	29,9			67,2					1,1		0,1	tr	1,6	tr			Epissienito sódico	EpsNa
F18-20 (83,70-83,74 m)	30,6	59,4	3,5				1,0	3,6*	0,9		0,2	tr	0,3				Biotita-álcali feldspato-granito	GPmg
F18-22 (86,04-86,08 m)	40,3	39,4		18,0		1,7	tr		tr	0,5	tr		tr				Topázio-albita-granito	TAbG
F18-21 (86,76-86,80 m)	37,3	39,2		19,4		3,2	tr		0,1	0,5	tr		tr				Topázio-albita-granito	TAbG

tr=traço; kfs=k-feldspato; Qtz=quartzo; Pl=plagioclásio; Ab=albita; Ann=anita; Sdr=siderofilita; Phg=fengita; Chl=clorita; Fl=fluorita; Toz=topázio; Zrn=zircão; Ant=anatásio/rutilo; Opc=opacos; Cst=cassiterita; Sp=esfalerita; Adl=adulária; **GPf**=granito porfirítico fino; **GPmg**=granito porfirítico médio a grosso, **GEmg**=granito equigranular médio a grosso, **AbG**=albita-granito; **TAbG**=topázio-albita granito; **EpsNa**=epissienito sódico; **EpsNaG**=epissienito sódico greisenizado; **EpsK**=Epissienito potássico. * = clorita proveniente da alteração da biotita.

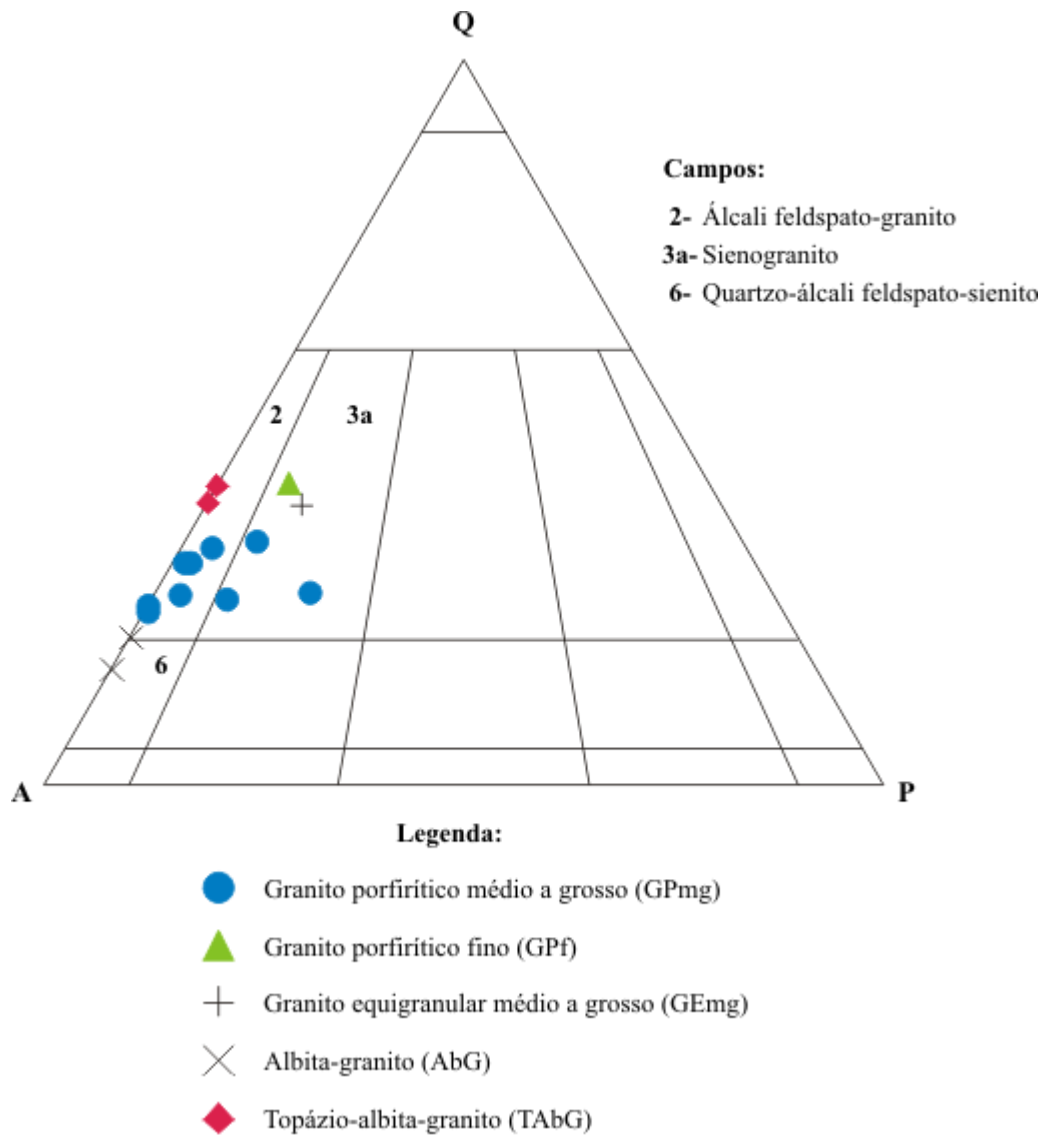


Figura 7: Distribuição das rochas graníticas do furo F18-GB no diagrama triangular QAP. Fonte: Streckeisen (1976).

6.3.1 Granito porfirítico fino (GPF)

É essencialmente composto por feldspato alcalino perítico, quartzo e plagioclásio; a fase varietal é a biotita e os minerais acessórios compreendem topázio, fluorita, zircão, minerais opacos, apatita e anatásio; argilomineral, clorita, sericita e epidoto representam os minerais de alteração. Em termos texturais, mostra arranjo porfirítico, em que fenocristais de feldspato alcalino e quartzo são envolvidos por uma matriz equigranular fina, hipidiomórfica a xenomórfica, a base de feldspato alcalino, quartzo, plagioclásio e biotita. Conforme Streckeisen (1976) é classificado como biotita-sienogranito (Tabela 1).

O feldspato alcalino ocorre na matriz e como fenocristais, com dimensões variando entre 0,3 e 0,9 mm e 1,9 e 10,7 mm, respectivamente. Em ambos os casos, apresenta-se em cristais subédricos a euédricos, com textura perítica (figura 8A), caracterizada por quantidades aproximadamente iguais dos membros potássico e sódico. O primeiro membro encontra-se parcialmente alterado para sericita, enquanto que o segundo está substituído e/ou impregnado por argilomineral. Em alguns cristais, observa-se a dupla macla albita-periclina (Figura 8B). Localmente, é detectada a presença de albita de substituição, gerando a textura *chessboard* (Figura 8C e D). Esta albita apresenta aspecto límpido e, por vezes, encontra-se pouco alterada para sericita. Nos contatos entre dois ou mais cristais de feldspato alcalino, com frequência, forma-se albita intersticial, em texturas do tipo “coroas trocadas”, com ou sem indivíduos maclados (Figura 8D). Os contatos do feldspato alcalino com as outras fases minerais são retilíneos, curvos ou irregulares.

O quartzo ocorre em pelo menos três tipos morfológicos: o Qtz₁ é o tipo mais abundante e ocorre tanto na matriz como em fenocristais, em ambos os casos apresentando formas anédricas a subédricas, com dimensões variando de 0,2 a 0,7 mm e 1,5 a 3,6 mm, respectivamente (figura 8A). Exibe extinção ondulante fraca a moderada. O Qtz₂ ocorre associado ao feldspato alcalino, na forma de intercrescimento granofírico fino (Figura 8C). O Qtz₃ está associado à biotita, em grãos anédricos (até 0,3 mm).

O plagioclásio ocorre somente na matriz, em cristais tabulares com faces subédricas e dimensões que variam de 0,2 a 0,8 mm (Figura 8E). Mostra nítida macla composta do tipo albita, está pouco alterado para sericita e, mais raramente, para epidoto. Determinações óticas pelo método de Michel-Lévy indicaram composição de andesina (An₃₃).

A biotita está distribuída em agregados (Figura 8F), associada a quartzo, topázio, zircão, fluorita e opacos (Figura 8G). Apresenta pleocroísmo moderado, que varia entre creme amarelo pálido e marrom avermelhado. Geralmente, ocorre formando aglomerados de lamelas

subédricas, por vezes com bordas corroídas e dimensões variando de 0,2 a 0,9 mm. Os contatos entre as lamelas de biotita, e destas com as outras fases minerais presentes, são predominantemente retilíneos (Figura 8H). Algumas vezes, a biotita se encontra bastante alterada para clorita, que a substitui ao longo dos seus planos de clivagem. Em menor intensidade, a biotita está intercrescida com uma mica trioctaédrica interpretada como siderofilita. Mais raramente, é observada substituição por fluorita e minerais opacos, ambos se dispendo ao longo de seus planos de clivagem.

As fases acessórias presentes são topázio, fluorita, minerais opacos, zircão, apatita e anatásio. O zircão forma cristais prismáticos curtos, incolores, metamictizados e zonados, que, por muitas vezes, estão inclusos em biotita, formando halos pleocróicos na mesma. A fluorita é incolor, com manchas lilás, subédrica a anédrica, e está associada a agregados de biotita. O topázio ocorre como agregados de finos cristais anédricos intercrescidos com biotita e, mais raramente, como cristais intersticiais. Os minerais opacos são anédricos a subédricos e estão associados à biotita, além de ocorrerem ao longo de seus planos de clivagem. Apatita e anatásio são extremamente raros.

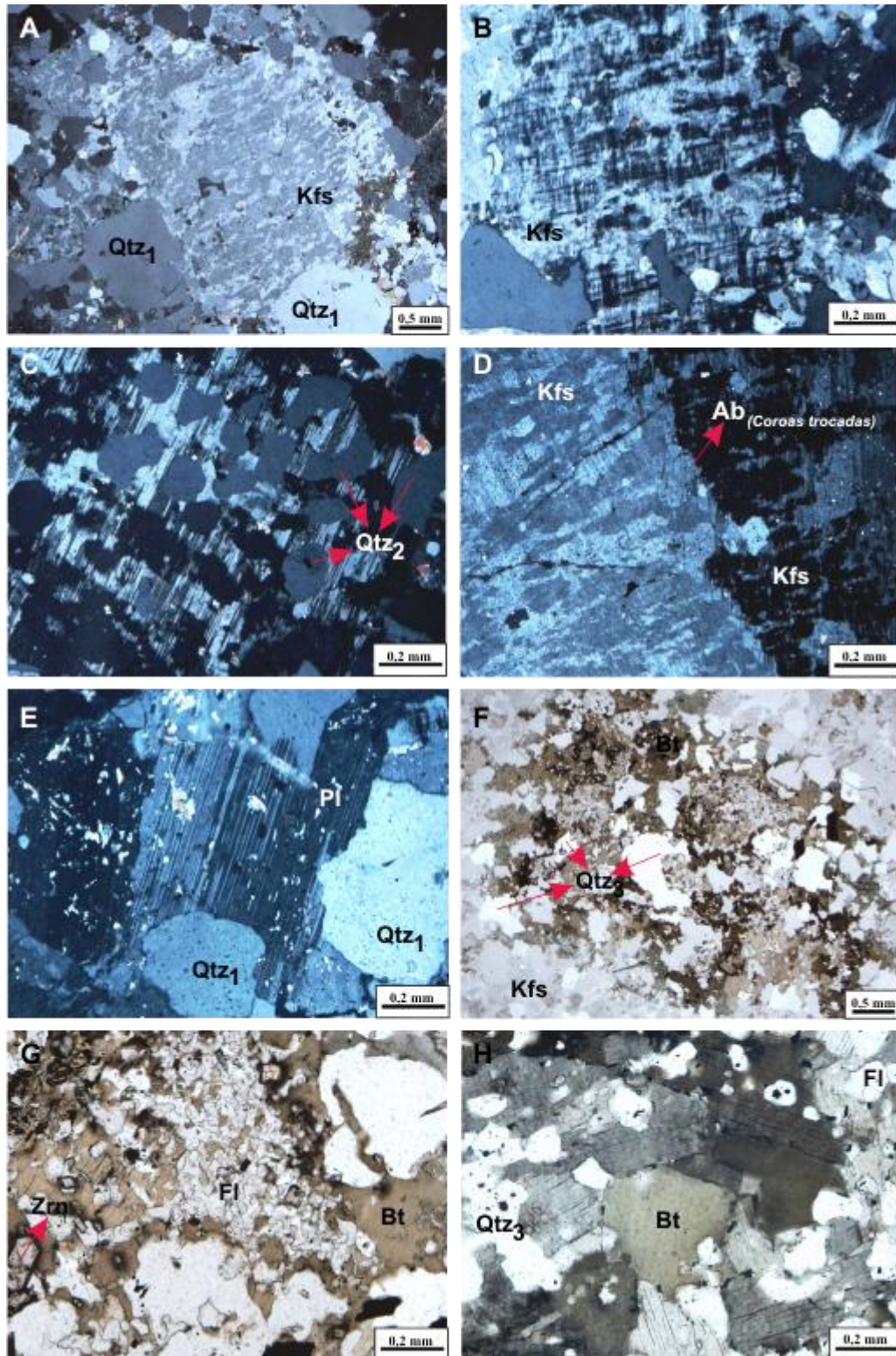


Figura 8: Aspectos mineralógicos e texturais do Granito porfirítico fino (GPf). A- Feldspato alcalino mesopertítico e grão subédrico de quartzo (NC); B- Dupla macla albita-periclina em feldspato alcalino (NC); C- Intercrescimento gráfico entre quartzo e feldspato alcalino (substituído por albita) (NC); D- Contato entre cristais de feldspato alcalino mesopertítico, com formação de albita intergranular (coroas trocadas) (NC); E- Cristais subédricos de plagioclásio (NC); F- Agregado de biotita (NP); G- Biotita associada a zircão, fluorita e quartzo (NP); H- Contatos retos entre lamelas de biotita (NP). NC-nicóis cruzados; NP-nicóis paralelos. Qtz_{1,2,3}-Variedades morfológicas de quartzo. Demais símbolos minerais, conforme Kretz (1983).

6.3.2 Granito Porfirítico médio a grosso (GPmg)

Apresenta textura porfirítica, com granulação variando de média a grossa. Suas fases minerais essenciais são feldspato alcalino, quartzo e plagioclásio; biotita corresponde à fase varietal e os acessórios são zircão, fluorita, topázio, minerais opacos, apatita, esfalerita e allanita. Segundo as recomendações de Streckeisen (1976), esta variedade é classificada como biotita-álcali feldspato- granito a sienogranito (Tabela 1).

O feldspato alcalino ocorre como cristais subédricos a euédricos, com dimensões de até 8,0 mm. Mostra textura de exsolução peritítica (Figura 9A) e o membro potássico, localmente, exibe a dupla macla albita-periclina (Figura 9B). O membro sódico das mesoperititas acha-se parcialmente substituído por sericita, enquanto que o potássico está alterado para argilomineral. Localmente, o feldspato alcalino encontra-se substituído por albita do tipo *chessboard*, parcialmente alterada para sericita (Figura 9C). Nos contatos entre dois ou mais cristais de feldspato alcalino, com frequência forma-se albita intergranular não maclada em “coroas trocadas” (Figura 9A). Os contatos com os cristais de quartzo são retilíneos a irregulares (Figura 9D).

O quartzo ocorre em, pelo menos, quatro tipos morfológicos. O Qtz₁ representa a fração mais grossa (0,6-3,7 mm) e abundante, sendo encontrado em cristais subédricos a anédricos, com extinção ondulante fraca a moderada (Figuras 9A E D). Localmente, ocorre em cristais euédricos (cavidade?) (Figura 9D). O Qtz₂ ocorre em finos cristais intercrescidos com feldspato alcalino, definindo a textura granofírica (Figura 9E). O Qtz₃ ocorre localmente e se distribui intersticialmente no contato entre cristais de feldspato alcalino, entre cristais de plagioclásio e entre cristais de plagioclásio e feldspato alcalino, formando uma coroa descontínua (Figura 9C). O Qtz₄ forma finos cristais anédricos associados à biotita.

O plagioclásio está disposto em aglomerados, que ocupam espaços entre os grãos de feldspato alcalino e quartzo. Seus cristais apresentam formas tabulares subédricas e dimensões variando de 1,3 a 5,2 mm (Figura 9F). Exibem macla polissintética do tipo albita e os contatos mútuos e com as outras fases minerais variam de retos a irregulares. Determinações pelo método de Michel-Lévy indicaram composição de andesina (An₃₀₋₃₂). Apresentam-se moderadamente alterados para sericita, mas, por vezes, carbonatos e epidoto também ocorrem como produtos de substituição.

A biotita arranja-se formando agregados poliminerálicos (Figura 9G), geralmente associada a minerais opacos, zircão, fluorita, topázio, esfalerita e apatita, com algum quartzo (Figura 9H). Seu pleocroísmo é moderado e varia entre creme pálido e marrom esverdeado

(ou verde amarronzado). Ocorre em lamelas subédricas, com terminações corroídas, e dimensões variando entre 0,3 e 1,9 mm. Zircão, apatita e fluorita são inclusões comuns em suas lamelas. Em alguns agregados, a biotita se encontra parcialmente ou totalmente substituída por clorita. Por vezes, ainda são observadas alterações para óxido de ferro, minerais opacos e fluorita, que se distribuem ao longo dos seus planos de clivagem.

Os minerais acessórios apresentam granulação fina e estão associados à biotita. São representados por zircão, fluorita, topázio, minerais opacos, apatita, esfalerita e allanita. O zircão é encontrado em cristais incolores, metamictizados, zonados, com formas prismáticas curtas (até 0,3 mm) e faces euédricas, comumente incluso em biotita ou clorita, onde causa halos pleocróicos. Os opacos (ilmenita ± pirita) ocorrem em cristais subédricos a anédricos, por vezes com hábito cúbico e dimensões de 0,2 a 0,9 mm. A fluorita se apresenta em grãos incolores com manchas lilás, subédricos a anédricos, algumas vezes euédricos (até 0,9 mm). O topázio ocorre em agregados de grãos anédricos com dimensão de até 0,2 mm. A esfalerita é ocre, anédrica, com dimensões entre 0,2 e 0,4 mm, apresentando inclusões de calcopirita, resultantes de processos de exsolução. A apatita é prismática, euédrica, geralmente inclusa nas micas e com dimensão de até 0,3 mm. A allanita ocorre sob a forma de cristais euédricos, metamictizados, com dimensões médias de 0,4 mm.

O GPmg, nos intervalos onde se encontra muito fraturado e oxidado, enriquece-se em clorita, que se torna a principal fase máfica da rocha. Seu principal modo de ocorrência é na forma de agregados máficos, associada a minerais opacos, quartzo, topázio, fluorita e zircão. Além disso, também preenche microfraturas juntamente com quartzo e fluorita euédricos ou, então, preenche cavidades de dissolução. Localmente, ocorre interdigitada com lamelas de fengita. Esta rocha corresponde à variedade clorita-álcali-feldspato granito (Tabela 1).

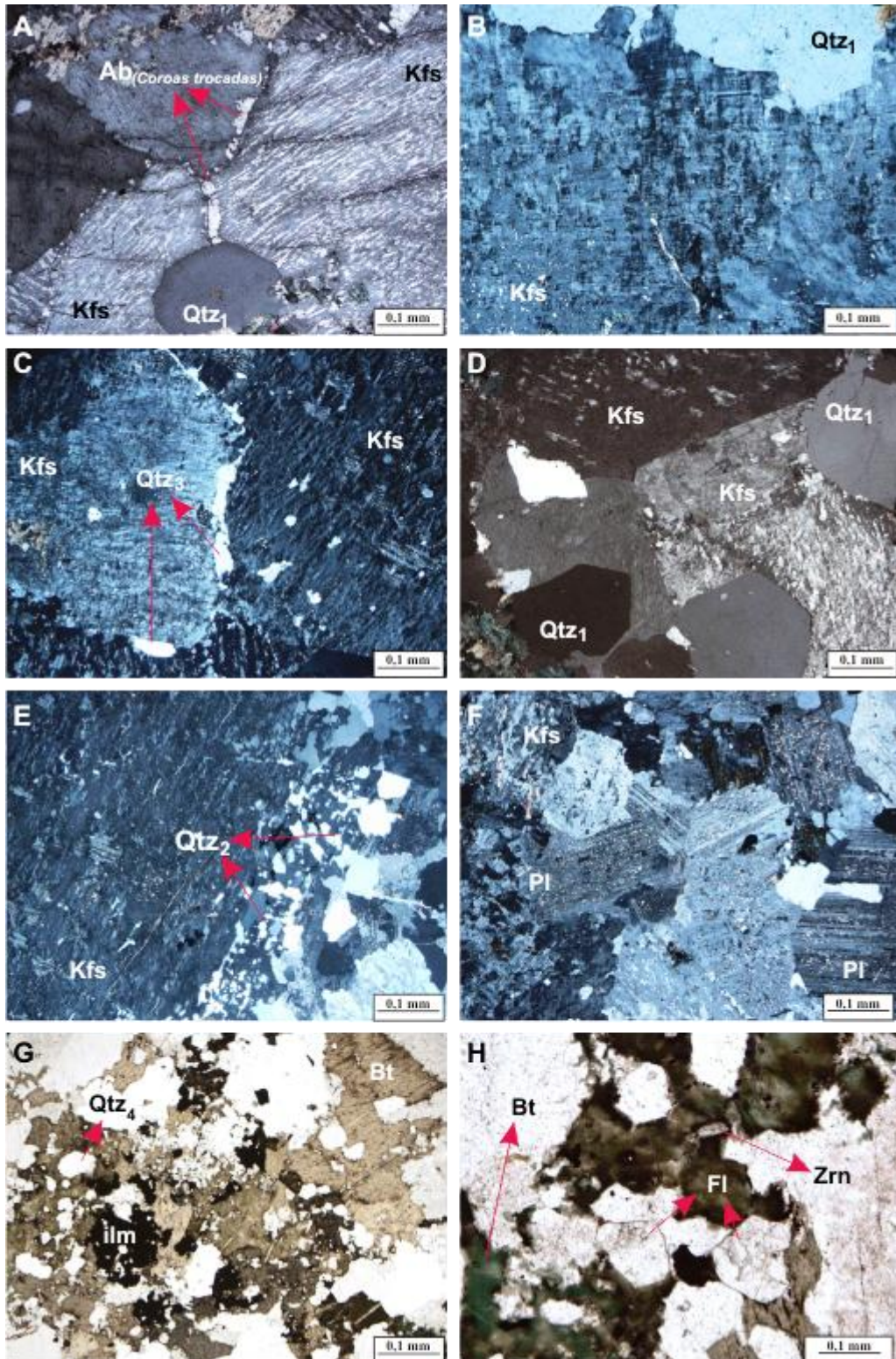


Figura 9: Aspectos mineralógicos e texturais do Granito porfirítico médio a grosso (GPmg). A- Cristais de feldspato alcalino mesopertítico, com formação de albita intergranular (coroas trocadas) nos contatos (NC); B- Dupla macla albita-periclina em feldspato alcalino (NC); C- Quartzo intergranular a cristais de feldspato alcalino (NC); D- Grãos euédricos de quartzo (cavidade?) (NC); E- intercrescimento gráfico entre quartzo e feldspato alcalino (NC); F- Aglomerado de plagioclásios (NC); G- Agregado de biotita associada a quartzo (NP); H- Biotita cloritizada associada a zircão e fluorita (NP). NC-nicóis cruzados; NP-nicóis paralelos. Qtz_{1,2,3,4}-variedades morfológicas de quartzo. Demais símbolos minerais, conforme Kretz (1983).

6.3.3 Granito equigranular médio a grosso (GEmg)

Mostra textura equigranular de granulação média a grossa e é essencialmente constituído por feldspato alcalino, quartzo e plagioclásio. Biotita compõe a fase varietal. Zircão, minerais opacos, fluorita e apatita formam os membros acessórios, enquanto que sericita, argilomineral, clorita e epidoto representam os minerais secundários. Esta variedade, segundo as recomendações de Streckeisen (1976), é classificada como biotita-sienogranito (Tabela 1).

O feldspato alcalino é mesopertítico, subédrico, com dimensões que variam de 4,5 a 7,2 mm (Figura 10A). Seus contatos com as fases minerais, no geral, são retilíneos a irregulares. Alguns cristais exibem dupla macla albita-periclina (Figura 10B). Nos contatos entre dois ou mais cristais de feldspato alcalino, normalmente forma-se albita intergranular em “coroas trocadas” (Figura 10C). Por vezes, é identificada a ocorrência de albita de substituição, parcialmente alterada para sericita. (Figura 10C). Nas mesopertitas, o componente potássico apresenta-se alterado para argilomineral, enquanto que o componente sódico está pouco alterado para sericita.

O quartzo é individualizado em três tipos morfológicos, diferenciados pelos seus aspectos texturais, associação mineral e modo de ocorrência. O Qtz₁ é o tipo mais abundante e ocorre como cristais subédricos a anédricos e com dimensões variando de 1,7 a 3,7 mm (Figuras 10A e D). Exibe extinção ondulante fraca a moderada e estabelece contatos ora retos, ora curvos ou irregulares entre si e com as outras fases minerais. O Qtz₂ ocorre, localmente, no contato entre cristais de feldspato alcalino e plagioclásio, como coroas descontínuas (Figura 10E). O Qtz₃ é encontrado associado à biotita, em cristais anédricos, com dimensões de 0,1 a 0,4 mm.

O plagioclásio se dispõe formando agregados (Figura 10F) e, eventualmente, ocorre como grãos isolados. Seus cristais ostentam formas subédricas a euédricas, com dimensões variando de 0,8 a 3,0 mm. Mostram maclas compostas do tipo albita e os contatos entre si, com feldspato alcalino e quartzo variam de retilíneos a irregulares. Determinações pelo método de Michel-Lévy indicaram composição de andesina (An₃₂). Apresenta-se moderadamente alterado para sericita.

A biotita se distribui formando agregados máficos (Figura 10G) ou em cristais isolados. Ocorre em associação com quartzo, zircão, fluorita, minerais opacos e, mais raramente, apatita (Figura 10H). Suas lamelas subédricas têm bordas corroídas, dimensões variando de 0,3 a 5,2 mm e pleocroísmo moderado entre creme amarelo pálido e verde

amarronzado. Comumente, contêm inclusões de zircões metamictizados, com halos pleocróicos. Os contatos entre as lamelas de biotita e as demais fases minerais variam de retilíneos a irregulares. Mostra-se moderadamente cloritizada e, subordinadamente, é também substituída por óxidos de ferro, fluorita e minerais opacos, que se colocam ao longo de seus planos de clivagem.

Os minerais acessórios ocorrem associados à biotita e estão representados por zircão, fluorita, minerais opacos e apatita. O zircão ocorre em cristais incolores, metamictizados e zonados, com formas prismáticas curtas, euédricas e com dimensões de 0,1 a 0,5 mm. A fluorita ocorre como cristais incolores com manchas lilás, em formas anédricas a euédricas e com dimensões entre 0,1 e 0,3 mm. Os minerais opacos (ilmenita + magnetita ± pirita ± calcopirita) ocorrem em grãos anédricos a subédricos, com dimensões de 0,2 a 3,5 mm. A apatita se revela em raros cristais incolores, prismáticos, euédricos, e dimensões em torno de 3,5 mm.

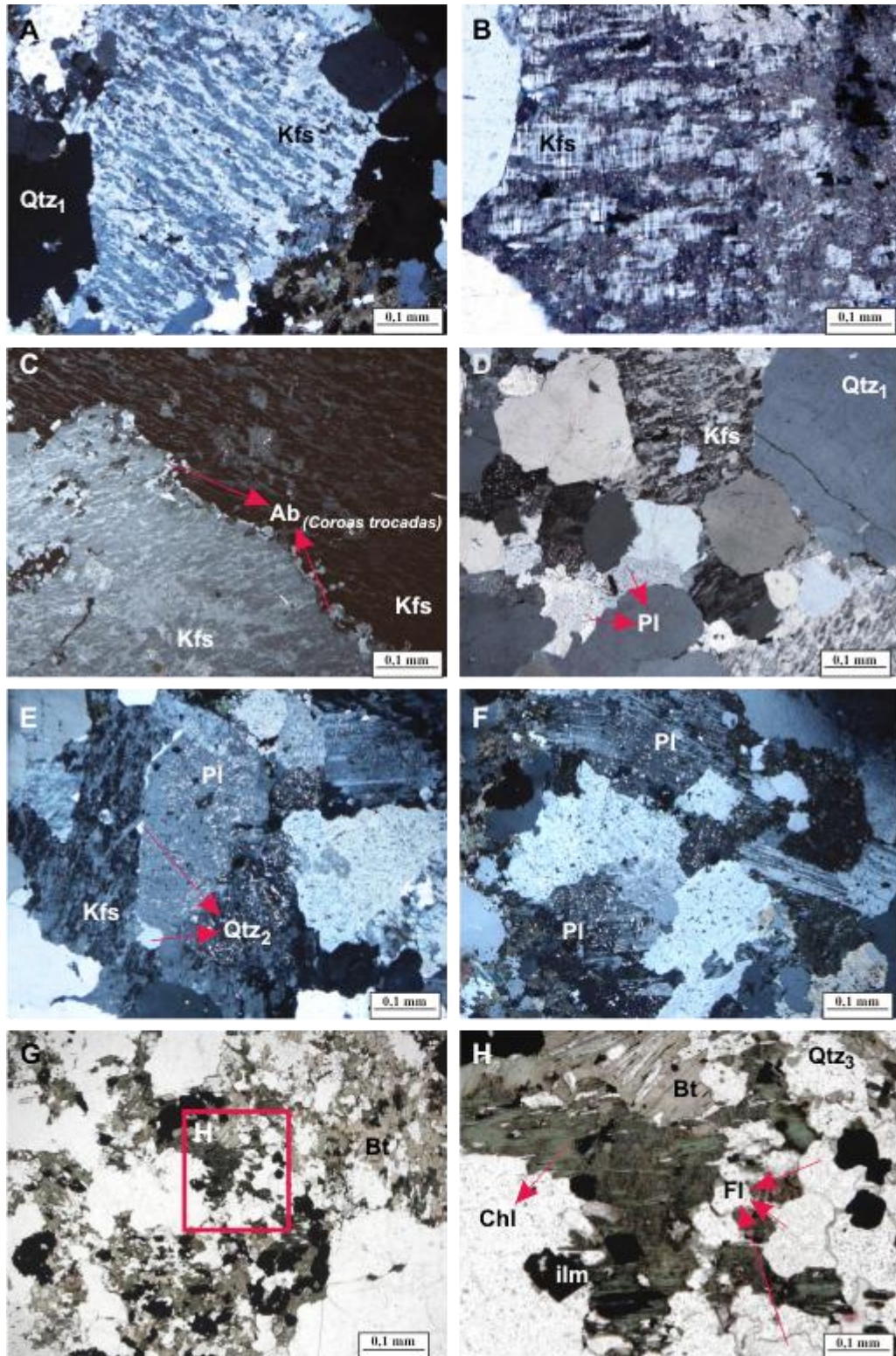


Figura 10: Aspectos mineralógicos e texturais do Granito equigranular médio a grosso (GEMg). A- Feldspato alcalino mesoperfítico em contato com quartzo (NC); B- Feldspato alcalino com macla albita-periclina (NC); C- Contato entre cristais de feldspato alcalino com formação de albita intergranular (coroas trocadas) (NC); D- Grãos subédricos de quartzo apresentando contato reto com feldspato alcalino (NC); E- Quartzo intergranular a feldspato alcalino e plagioclásio, sob a forma de coroas descontínuas (NC); F- Agregado de cristais de plagioclásio com contatos retos a irregulares entre si (NC); G- Agregado de lamelas de biotita (NP); H- Detalhe mostrando a cloritização da biotita e a sua associação com zircão, fluorita e quartzo (NP). NC-nicóis cruzados; NP-nicóis paralelos. Qtz_{1,2,3}-variedades morfológicas de quartzo. Demais símbolos minerais, conforme Kretz (1983).

6.3.4 Albita-granito (AbG) e Topázio-albita-granito (TAbG)

O albita-granito é uma rocha equigranular fina, composta, essencialmente, por albita, feldspato alcalino e quartzo. As fases acessórias são clorita, fluorita, topázio, zircão e minerais opacos. Seu conteúdo de minerais máficos é menor do que na ocorrência da base do furo, enquanto que o grau de alteração é maior, o que causa a intensa impregnação da superfície dos feldspatos por hematita e argilominerais.

O albita-granito da base do furo apresenta uma textura porfirítica, em que fenocristais de granulação média (10%) são envolvidos por uma matriz fina (90%). Da mesma forma que na ocorrência do topo, é constituído essencialmente por albita, feldspato alcalino e quartzo, mas apresenta conteúdos modais maiores de quartzo e topázio, além de siderofilita, ausente no topo do furo. Com base nestas características, optou-se por classificar esta variedade como topázio-albita-granito (TAbG), para distinguí-la da ocorrência do topo do furo. A seguir são descritas as principais feições texturais e mineralógicas do TAbG.

O feldspato alcalino ocorre na matriz e como fenocristais, com dimensões entre 0,3 e 1,1 mm e 1,7 e 3,5 mm, respectivamente. Forma cristais subédricos a anédricos que, notavelmente, exibem a dupla macla albita-periclina (Figura 11A). Eventualmente, são observadas feições de exsolução perítica do tipo *patch*. A maioria dos fenocristais mostra maclamento do tipo *Carlsbad* (Figura 11B). Alguns cristais de feldspato alcalino, localmente, apresentam inúmeras inclusões de albita fina, em um arranjo poiquilítico (Figura 11B). Em contraste com os feldspatos do AbG, os cristais nesta variedade se apresentam límpidos à luz natural.

A albita ocorre, principalmente, como mineral integrante da matriz. Apresenta-se na forma de “ripas” (*laths*) límpidas, subédricas a euédricas, com dimensões variando entre 1,3 e 2,2 mm e 0,1 e 0,9 mm, respectivamente (Figura 11C). Exibe maclamento polissintético da albita e os seus contatos com as principais fases minerais variam de retilíneos a irregulares. Cristais de albita, comumente, ocorrem como inclusões em fenocristais de feldspato alcalino, topázio, siderofilita e quartzo. Algumas seções se apresentam pouco alteradas para fengita.

O quartzo ocorre na matriz e como fenocristais, em grãos anédricos a subédricos (Figura 11D), com dimensões variando entre 0,3 e 1,0 mm e 1,9 e 3,4 mm, respectivamente. Possui extinção ondulante moderada, contatos ora retos, ora irregulares entre si e com as outras fases minerais presentes. Uma feição marcante do TAbG é a formação da textura *snowball*, em que “ripas” finas de albita se orientam paralelamente às bordas dos cristais de quartzo (Figura 11E).

A siderofilita ocorre como cristais intergranulares isolados e/ou em agregados, preenchendo os espaços entre os grãos de feldspato potássico, albita e quartzo. Seu pleocroísmo é moderado, variando de creme pálido (por vezes incolor) a castanho esverdeado claro. Apresenta-se em lamelas subédricas (Figura 11F), com dimensões variando entre 1,7 e 0,2 mm, geralmente associadas a topázio, fluorita e zircão. Seus contatos com cristais de albita, quartzo e feldspato alcalino são, predominantemente, retilíneos. Dependendo da intensidade da alteração, formam-se cristais de fengita, minerais opacos e anatásio ao longo dos seus planos de clivagem, além de óxidos de ferro. Casualmente, são reconhecidas feições deformacionais como, p. ex., *kink bands* e lamelas contorcidas.

Dentre os acessórios, o topázio se apresenta em cristais incolores, subédricos, com dimensões entre 0,3 e 0,5 mm e, excepcionalmente, em torno de 0,9 mm. Ocorre em cristais intergranulares (Figura 11G) e, localmente, associados à siderofilita ou inclusos em quartzo. Seguidamente contém inclusões de albita (Figura 11H). A fluorita é subédrica a anédrica e ocorre associada à siderofilita, ou como cristais intergranulares, com dimensões variando de 0,2 a 0,5 mm e com inclusões de albita e zircão. O zircão ocorre em cristais incolores, euédricos, comumente inclusos em siderofilita, onde há o desenvolvimento de halos pleocróicos nos grãos metamictizados.

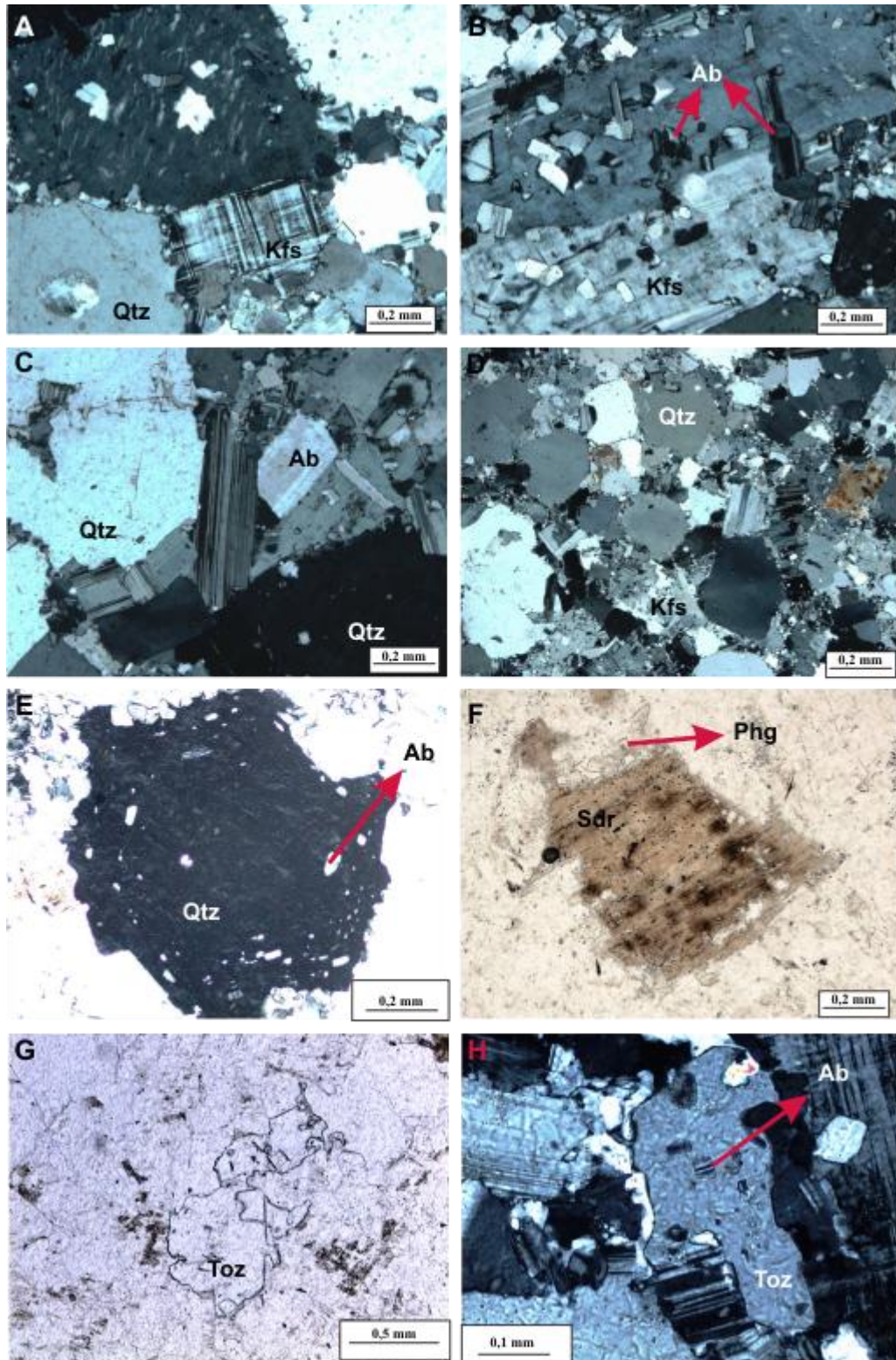


Figura 11: Aspectos mineralógicos e texturais do Topázio-albita-granito (TABG). A- Feldspato alcalino com macla albita-periclina (NC); B- Fenocristal de feldspato alcalino com maclamento do tipo *Carlsbad* e com inclusões de albita (NC); C- *Laths* de albita em contato reto com quartzo; D- Cristais de quartzo subédricos (NC); E- Textura *snowball*, caracterizada por inclusões de ripas (*laths*) finas de albita orientadas paralelamente às bordas dos cristais de quartzo (NC); F- Lamela isolada de siderofilita parcialmente alterada para fengita (NP); G- Cristal de topázio intergranular (NP); H- Topázio com inclusões de albita (NC). NC-nicóis cruzados; NP-nicóis paralelos. Sdr-siderofilita, Phg-fengita. Demais símbolos minerais, conforme Kretz (1983).

6.3.5 Epissienito Sódico (EpsNa)

Apresenta uma textura equigranular média a grossa. É essencialmente constituído por albíta e quartzo, além de quantidades acessórias de hematita, fluorita, zircão, cassiterita, rutilo e berilo (Tabela 1).

A albíta está presente em dois tipos morfológicos: a Ab_1 é dominante e ocorre como cristais subédricos turvos a luz natural, com dimensões variando de 3,6 a 5,4 mm. É proveniente da substituição total ou parcial do feldspato alcalino, gerando a textura albíta *chessboard* (Figura 12A). Em alguns cristais, ainda ocorrem resquícios de pertitas, principalmente nas suas bordas. A Ab_1 tem composição de An_5 , conforme determinada pelo método ótico de Michel-Lévy. Apresenta contatos irregulares entre si e reto a irregular com quartzo. Em alguns locais, encontra-se substituída por quartzo. A Ab_2 é límpida a luz natural e ocorre na forma de “ripas” curtas (*laths*) euédricas a subédricas, com dimensões variando entre 0,2 e 0,9 mm. Normalmente, ocorre isolada ou formando agregados de três a quatro cristais que, por muitas vezes, estão inclusas em quartzo (Figura 12B).

O quartzo apresenta-se em dois tipos morfológicos: o Qtz_1 ocorre preenchendo cavidades de dissolução e fraturas, com inclusões de albíta em “ripas”, zircão, hematita, fluorita e, mais raramente, cassiterita. Nas cavidades, os cristais apresentam dimensões entre 7,2 e 14,2 mm e, subordinadamente, entre 0,9 e 3,6 mm. Seguidamente mostram contatos retilíneos entre si, marcados pela presença de junções tríplices (Figura 12C). O Qtz_2 , anédrico, é oriundo da substituição da Ab_1 (Figura 12D) e, por vezes, mostra continuidade ótica com o Qtz_1 .

Hematita, zircão, fluorita, berilo, cassiterita e rutilo constituem as fases acessórias. A hematita preenche fraturas e cavidades, na forma de cristais subédricos a euédricos, com dimensão de até 0,4 mm. Também é encontrada como inclusão em quartzo e fluorita (Figura 12E). O zircão é prismático curto, com dimensões entre 0,1 e 0,5 mm e é encontrado como inclusão em todas as outras fases minerais. A fluorita é incolor, subédrica, com dimensões entre 0,5 e 1,7 mm. O berilo ocorre em cristais euédricos, com dimensões de até 0,2 mm, associados à fluorita, ambos preenchendo fraturas que cortam cavidades de dissolução (Figura 12F). A cassiterita ocorre como grãos euédricos de cor marrom avermelhado, muito finos (0,01 – 0,05 mm), normalmente inclusos em quartzo (Figura 12G). O rutilo apresenta-se em agregados de finos cristais euéricos inclusos em quartzo (Figura 12H).

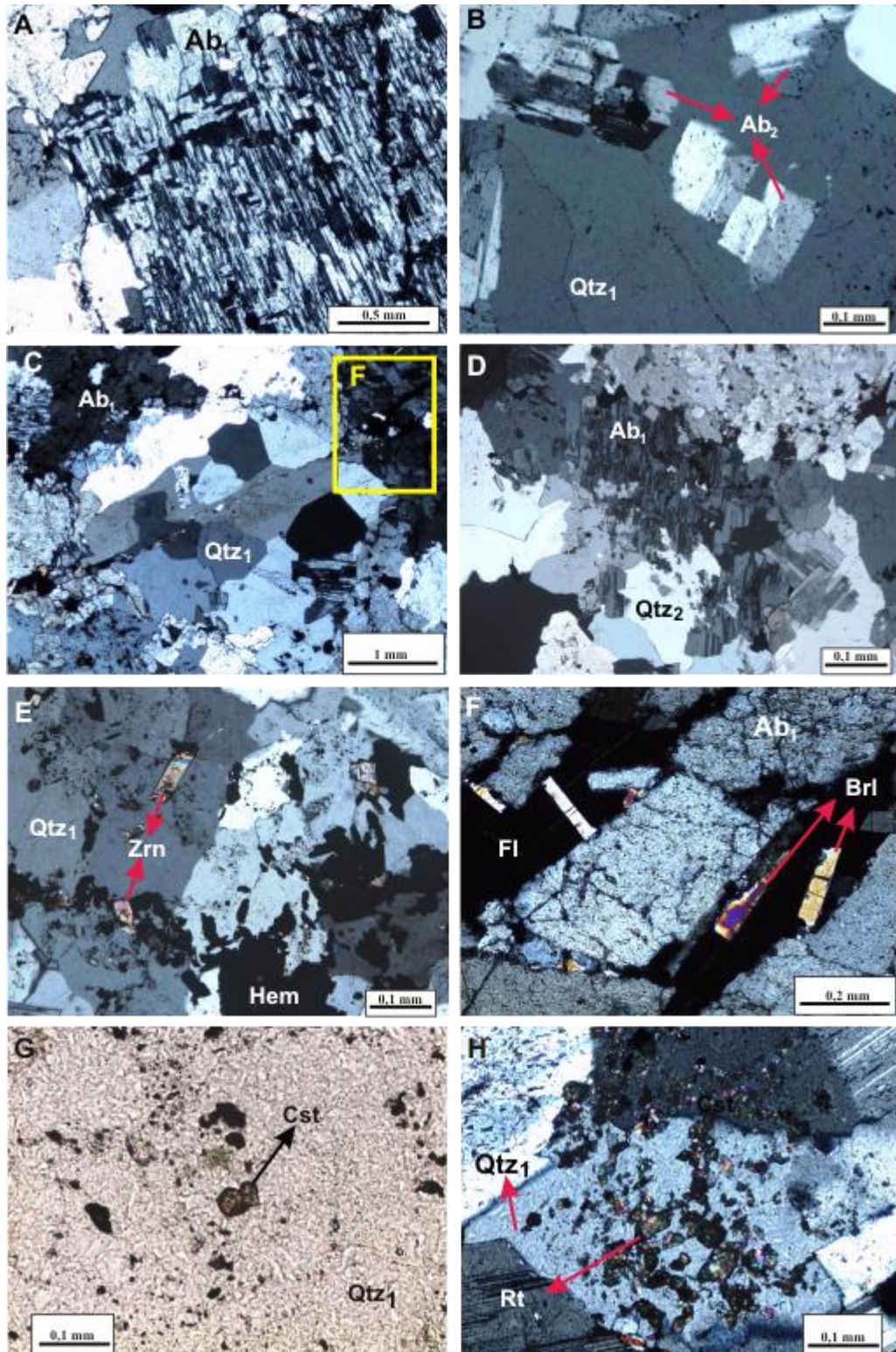


Figura 12: Aspectos mineralógicos e texturais do Epissienito Sódico (EpsNa). A- Cristal de albita *chessboard* (NC); B- Albita sob a forma de “ripas” curtas (*laths*) (NC); C- Cavidade de dissolução preenchida por Qtz₁, com contatos em junção tríplice (NC); D- Substituição de albita *chessboard* por Qtz₂ (NC); E- Inclusões de hematita e zircão em Qtz₁ (NC); F- Berilo associado à fluorita, preenchendo fraturas que cortam cavidade de dissolução (NC); G- Cristais euédricos de cassiterita inclusos em Qtz₁(NC); H- Finos cristais de rutilo inclusos em Qtz₁. NC-nicóis cruzados; NP-nicóis paralelos. Ab_{1,2}- variedades morfológicas de albita, Qtz_{1,2}- variedades morfológicas de quartzo. Demais símbolos minerais, conforme Kretz (1983).

6.3.6 Epissienito Sódico Greisenizado (EpsNaG)

Apresenta textura granular alotriomórfica, média a fina. Sua composição mineralógica básica é albita, siderofilita e quartzo, com menores proporções de esfalerita, fengita, clorita, zircão, fluorita, cassiterita, minerais opacos e anatásio (Tabela 1). Feldspato alcalino magmático ainda está presente nesta unidade, em pequena concentração (< 1,5%), localmente atingindo 17,8%.

O quartzo é de origem hidrotermal, ocorre em cristais anédricos a subédricos, com dimensões entre 0,3 e 7,2 mm (Figura 13A), por vezes com formas levemente amendoadas e um moderado fraturamento. Comumente, ocorre em agregados de subgrãos com forte extinção ondulante e contatos irregulares entre si. Quando preenchendo cavidades, os grãos de quartzo mostram contatos retilíneos entre si, típicos de agregados drusiformes. Nestas estruturas, é comum encontrar-se inclusões de “ripas” de albita em quartzo (Figura 13B).

A albita está presente, principalmente, em cristais tabulares grossos, com formas subédricas e dimensões variando entre 1,5 e 3,1 mm (Figura 13C). Subordinadamente, também, ocorre em ripas curtas (*laths*) euédricas a subédricas, com dimensão em torno de 0,3 mm (Figura 13B). Seus cristais exibem contatos predominantemente retilíneos, enquanto que com o quartzo seus contatos são irregulares. Em vários locais da amostra, observam-se texturas de substituição da albita por quartzo (Figura 13A), na forma de mosaicos. Além disso, a albita encontra-se substituída por siderofilita e fengita (Figuras 13A e D). Estes dois últimos minerais, juntamente com clorita, também preenchem microvênulas. Às proximidades de microfraturas, identifica-se albita com maclas deformadas e com estruturas do tipo *kink bands*.

A siderofilita ocorre em dois tipos texturais: I. Em agregados máficos preenchendo cavidades de dissolução ou, então, substituindo a albita, juntamente com fengita. Seus cristais ocorrem na forma de lamelas subédricas a euédricas, com bordas corroídas e granulação média a fina (Figura 13E). Seu pleocroísmo é moderado, variando de creme pálido (quase incolor) a marrom claro; II. Sob a forma de lamelas subédricas com forte pleocroísmo entre verde claro e escuro, localmente intercrescida com a siderofilita marrom, formando texturas de interdigitação. Ocorre seguidamente associada à esfalerita ocre, esta última sob a forma de cristais anédricos a subédricos de dimensões de 0,2 a 0,5 mm e com inclusões de minerais opacos (Figura 13F).

Nos agregados em que a siderofilita encontra-se muito cloritizada, formam-se minerais opacos ao longo de seus planos de clivagem. Em algumas seções, são visualizadas lamelas

retorcidas e feições do tipo *kink bands*.

A fluorita se apresenta como grãos incolores, por vezes com tonalidades lilás, subédricos a anédricos, com dimensões entre 0,2 e 1,7 mm (Figura 13G). O zircão ocorre como grãos incolores, zonados, prismáticos curtos, euédricos, com dimensões entre 0,1 e 0,2 mm, comumente inclusos em biotita, onde causam a formação de halos pleocróicos (Figura 13G). A cassiterita é marrom, anédrica a subédrica, localmente com maclamento simples e dimensões entre 0,1 a 0,2 mm, ocorrendo associada à siderofilita I, principalmente quando está cloritizada (Figura 13H). Os minerais opacos são prismáticos, subédricos, com dimensões de 0,1 a 0,3 mm.

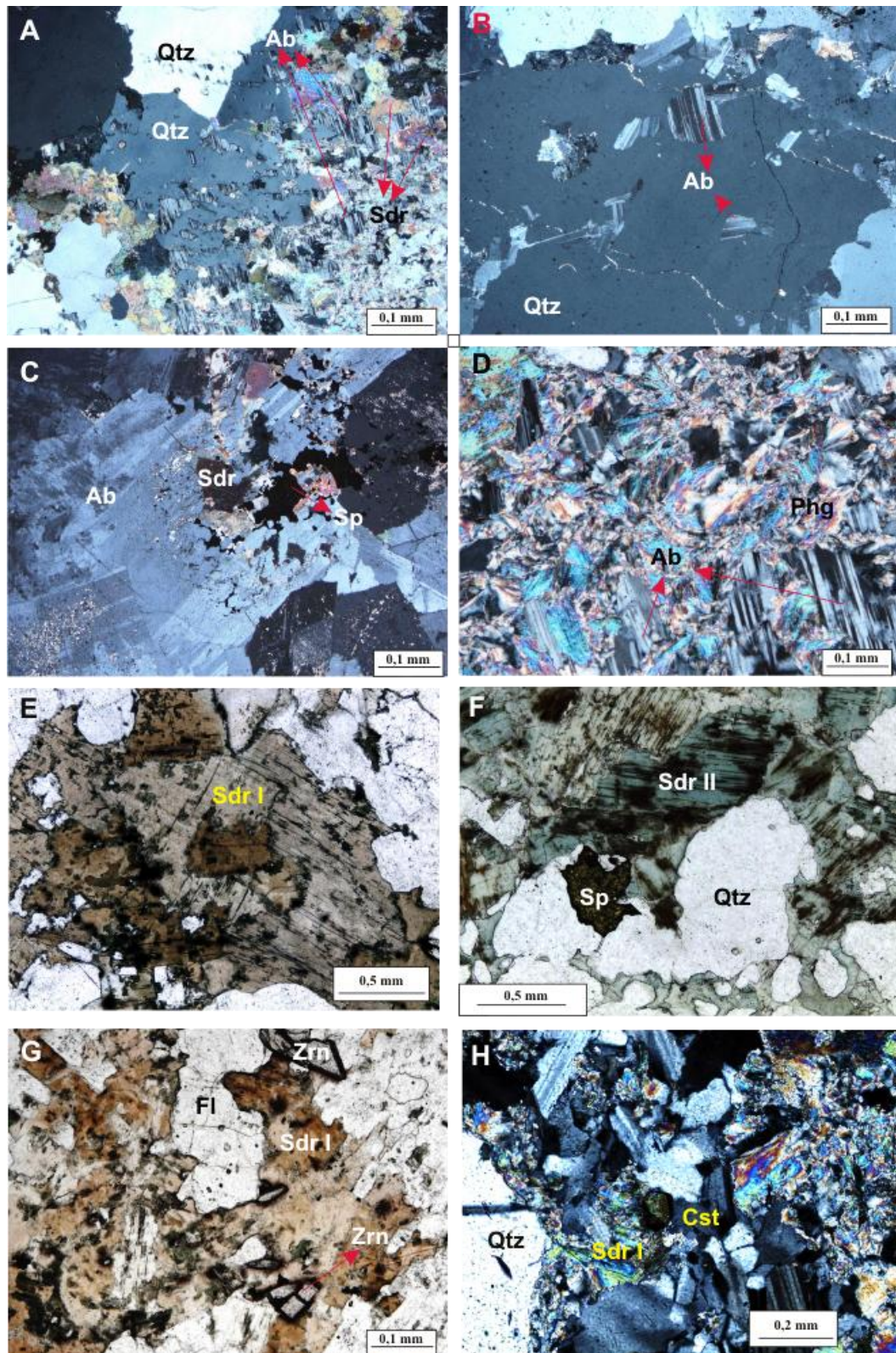


Figura 13: Aspectos mineralógicos e texturais do Epissienito Sódico Greisenizado (EpsNaG). A- Cristal subédrico de quartzo e substituição de albita por quartzo e siderofilita (NC); B- *Laths* de albita inclusos em quartzo (NC); C- Variedade predominante de albita, sob a forma de cristais subédricos (NC); D- Alteração de albita para fengita (NC); E- Agregado de cristais de siderofilita I (NP); F- Associação de siderofilita II, esfalerita e quartzo (NP); G- Associação de siderofilita I, zircão e fluorita (NP); H- Grão de cassiterita associado à siderofilita I e albita (NC). NC-nicóis cruzados; NP-nicóis paralelos. Sdr I, II-siderofilita I, II, Phg-fengita. Demais símbolos minerais, conforme Kretz (1983).

6.3.7 Epissienito Potássico (EpsK)

O EpsK apresenta textura equigranular grossa a média e é constituído por feldspato alcalino, quartzo, clorita, adulária, cassiterita, fluorita e fengita (Tabela 1).

O feldspato alcalino é pertítico e ocorre como cristais subédricos de dimensões entre 1,1 e 3,0 mm, com contatos retilíneos a irregulares entre si (Figura 14A). Localmente, mostra feições de substituição por albita tipo *chessboard* (Figura 14B). Seus cristais estão intensamente impregnados por hematita e/ou óxidos de ferro, o que lhe confere um aspecto turvo, além de apresentarem-se seguidamente substituídos por quartzo.

O quartzo é reconhecido em, pelo menos, três tipos morfológicos distintos. O Qtz₁ é do tipo granofírico (Figura 14C). O Qtz₂ ocorre como cristais anédricos (até 0,1 mm), associados à clorita, adulária, zircão, fluorita, fengita e cassiterita, preenchendo cavidades de dissolução. O Qtz₃ é o tipo mais abundante e é produto de intensa substituição dos feldspatos (Figura 14D). Desenvolve-se como cristais anédricos, levemente amendoados, a subédricos com dimensões variando de 3,4 e 5,2 mm. Exibe forte extinção ondulantee e está bastante fraturado, sendo que na fração mais grossa há a formação de subgrãos de quartzo.

A clorita é a fase mineral mais abundante na rocha (Tabela 1). Ocorre preenchendo de cavidades de dissolução, acompanhada por adulária, opacos, fluorita, fengita, zircão e cassiterita (Figura 14E). Apresenta-se em lamelas subédricas a anédricas, com bordas corroídas e dimensões variando de 0,1 a 1,6 mm e seguidamente apresentando halos pleocrícos formados por inclusões de zircão metamictizado. Em menor quantidade, também ocorre preenchendo microvênulas, formando agregados fibrolamelares de granulação fina, com distribuição de minerais opacos ao longo de seus planos de clivagem. Lamelas finas de fengita (0,2 mm) ocorrem interdigitadas com clorita em diferentes porções da amostra. Localmente, a clorita apresenta feições deformacionais do tipo *kink bands*.

A adulária ocorre na forma de agregados de cristais tabulares curtos, euédricos a subédricos, com dimensões em torno de 0,3 mm. Nas cavidades, seus cristais euédricos estão em contato reto, com texturas drusiformes (Figura 14F). Apresenta-se extremamente turva a luz natural, devido ao elevado grau de impregnação de sua superfície por óxidos de ferro e substituição por argilominerais (Figura 14G).

Em menor proporção ocorrem fluorita, minerais opacos, cassiterita e zircão. A fluorita forma cristais incolores, com manchas lilás, anédricos a subédricos, de dimensões variando entre 0,2 e 1,6 mm. A cassiterita apresenta-se em cristais subarredondados, zonados, com coloração marrom e manchas incolores, de dimensões em torno de 0,2 mm (Figura 14H).

Ocorre, quase sempre, em estreita associação com a clorita. Os minerais opacos (magnetita) têm forma cúbica e dimensões em torno de 0,2 mm. Os cristais de zircão são incolores e ocorrem como prismas curtos euédricos (até 0,2 mm).

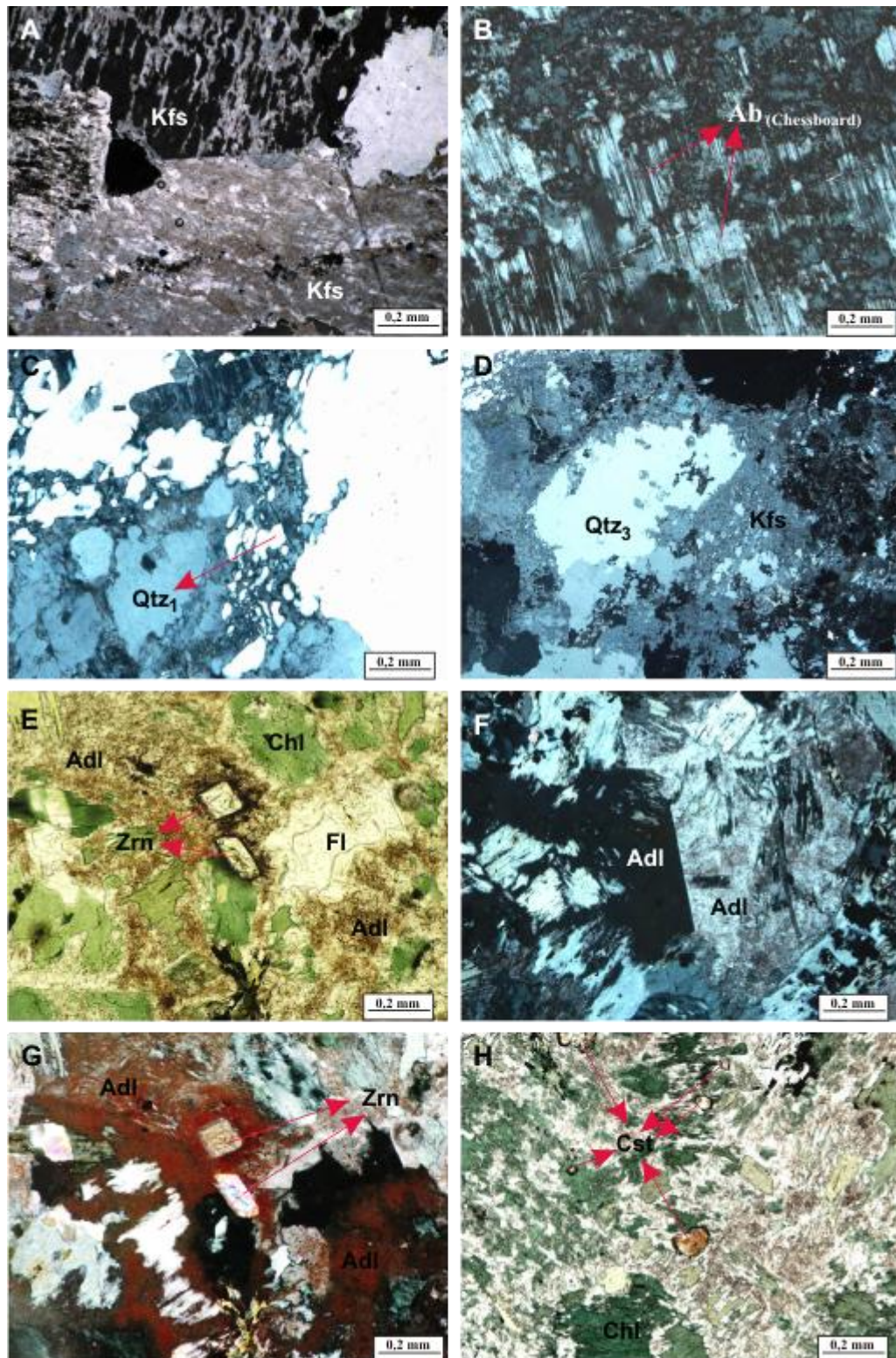


Figura 14: Aspectos mineralógicos e texturais do Epissienito Potássico (EpsK). A- Feldspato alcalino com textura de exsolução pertítica e contato reto entre seus cristais (NC); B- Feldspato alcalino com feição de substituição por albita tipo *chessboard* (NC); C- Intercrescimento gráfico entre feldspato alcalino e quartzo; D- Substituição de feldspato alcalino por quartzo (NC); E- Associação de clorita, adulária, zircão e fluorita (NP); F- Cristais euédricos de adulária em cavidade (NC); G- Extrema impregnação de adulária por hematita (NC); H- Grãos subarredondados de cassiterita associada à clorita e adulária (NP). NC-nicóis cruzados; NP-nicóis paralelos. Qtz_{1,2}- variedades morfológicas de quartzo, Adl-adulária. Demais símbolos minerais, conforme Kretz (1983).

7 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA ATRAVÉS DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Através da utilização do microscópio eletrônico de varredura (MEV), procurou-se complementar os estudos realizados inicialmente ao microscópio petrográfico. Além da caracterização mais refinada de texturas, o MEV possibilitou a identificação de fases minerais acessórias de dimensões muito pequenas, de difícil visualização por meio da microscopia convencional.

Inicialmente, o MEV propiciou a obtenção de imagens com elétrons retroespalhados (ERE) nas diferentes fases minerais presentes nas rochas magmáticas e hidrotermais estudadas. Posteriormente, realizaram-se análises químicas semiquantitativas nestes minerais por EDS (*Energy Dispersive Spectrometry*), bem como a elaboração de seus espectros analíticos correspondentes.

Em outro momento, realizou-se um estudo preliminar em cristais de quartzo e de topázio da variedade topázio-albita-granito, através da obtenção de imagens por catodoluminescência (CL), bem como em alguns cristais de zircão. Além disso, realizaram-se análises químicas por EDS em alguns cristais de quartzo e zircão, no sentido de quantificar a concentração de elementos-traço em zonas com diferentes intensidades de CL.

Os resultados dos estudos em MEV são apresentados nos itens abaixo.

7.1 GRANITO PORFIRÍTICO FINO (GPf)

7.1.2 Biotita

Foram realizadas cinco análises por EDS, em cinco diferentes lamelas (figura 15A), que indicaram teores de SiO_2 : 38,94 a 40,62%; Al_2O_3 : 15,20 a 15,63%; FeO : 34,87 a 36,73%; K_2O : 10,00 a 10,26% e MgO : 0,66 a 0,79% (anexo A).

7.1.3 Quartzo

Realizaram-se oito análises semi-quantitativas por EDS, em três grãos distintos (figura 15B), que exibem quantidades-traço de Al (1700 a 2800 ppm) e de Ti (400 a 1300 ppm) (anexo B).

7.1.4 Zircão

Dez análises em dois cristais apontaram quantidades de HfO_2 : 2,13 a 3,08%, ThO_2 : 0,06 a 0,33% e UO_2 : 0,11 a 0,57% (figura 15C).

Observa-se que o zoneamento composicional (sobrecrescimento?) fica bem marcado na imagem de CL (figura 15 D), em que as razões Zr/Hf variam entre 28,76 e 19,70 no sentido da borda para o centro do cristal (anexo C).

7.1.5 Fluorita

A análise de dois cristais de fluorita indicou concentrações de Ca: 57,53 a 60,58%; F: 38,79 a 41,51%; Y: 0,35 a 0,61% e Al: 0,01 a 0,02% (figura 15 A e anexo D).

7.1.6 Monazita

Foram estudados quatro grãos de monazita, que apontaram teores de Ce_2O_3 : 53,77 a 57,65%, P_2O_5 : 37,89 a 39,60%, Gd_2O_3 : 1,91 a 4,28% e Sm_2O_3 : 1,28 a 3,03% (Figura 15 A e anexo E). Estes valores apontam para uma composição de Ce-monazita.

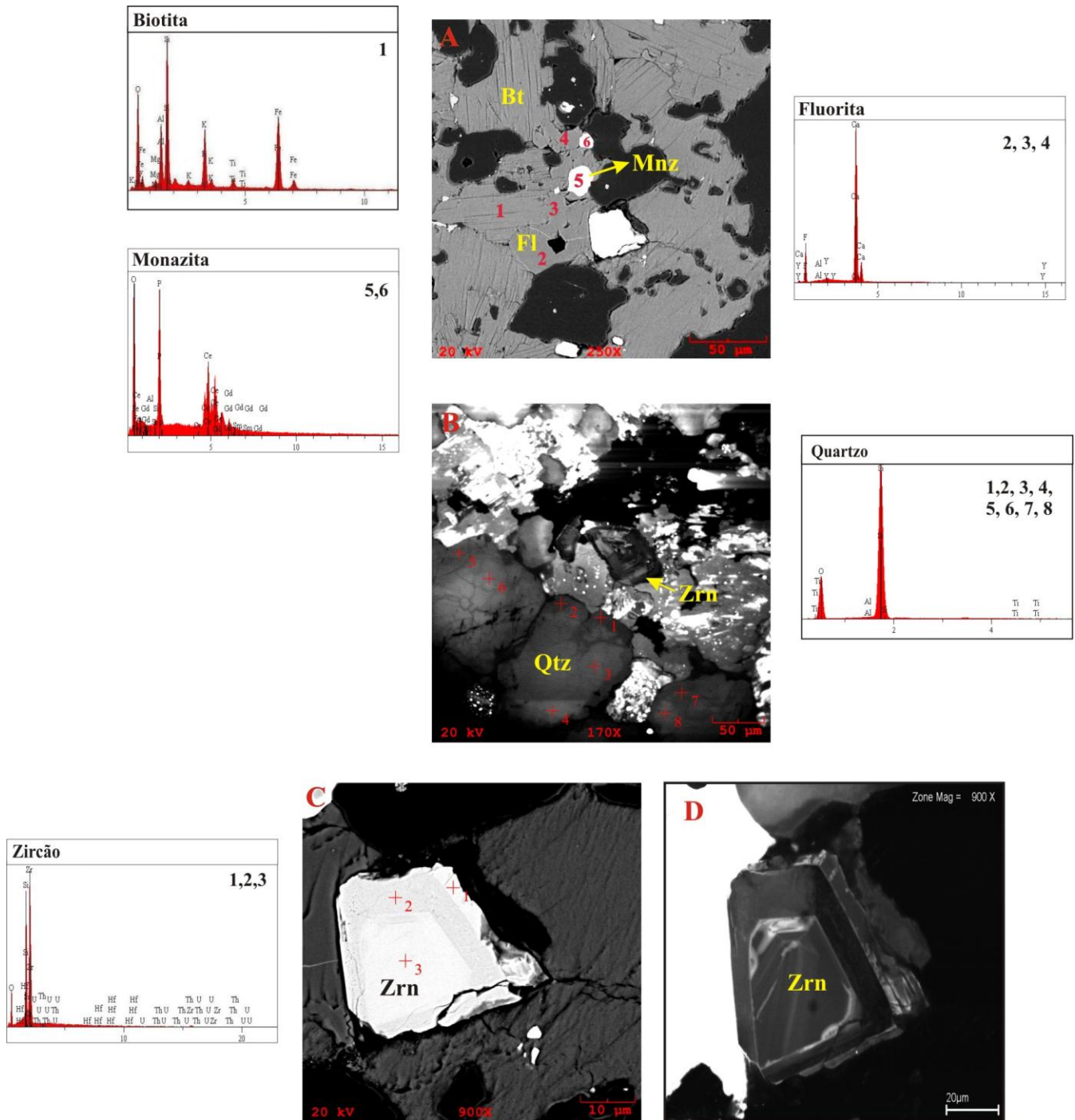


Figura 15: Espectros obtidos por EDS em (A) biotita, monazita e fluorita, (B) quartzo e (C) zircão do granito porfirítico fino. (D) Zoneamento composicional do zircão da figura C, ressaltado pelo contraste de intensidade de catodoluminescência. Símbolos minerais conforme Kretz (1983). Imagens obtidas com ERE (A e C) e por CL (B e D). Símbolos minerais, conforme Kretz (1983).

7.2 GRANITO PORFIRÍTICO MÉDIO A GROSSO (GPmg)

7.2.1 Biotita

Foram realizadas cinco análises por EDS em quatro lamelas de biotita, resultando em valores de SiO_2 : 37,41 a 38,15%; FeO : 35,31 a 37,04%; Al_2O_3 : 12,35 a 12,97%; K_2O : 8,83 a 9,36%; MgO : 1,00 a 1,27%; e TiO_2 : 3,15 a 3,54% (Figura 16 A e anexo F).

7.2.2 Ilmenita

Foi estudada a partir de três análises por EDS, em dois cristais, que mostram teores de Ti: 31,19 a 31,49%, Fe: 34,76 a 35,52 e Mn: 5,83 a 6,37% (figura 16 A e anexo G).

7.2.3 Zircão

O estudo em dois grãos de zircão, por meio de duas análises, registrou quantidades de HfO_2 : 2,13 a 3,07%; UO_2 : 0,11 a 0,23 e ThO_2 : 0,09 a 0,10%, enquanto que a razão Zr/Hf apresenta valores variando de 22,06 a 24,10 (figura 16 B e anexo H).

7.2.4 Quartzo

Doze análises semi-quantitativas por EDS, em dois cristais distintos, assinalaram concentrações de Ge (1300 a 4000 ppm), Al (1100 a 2300 ppm) e Ti (500 a 1400 ppm) (figura 16 C e Anexo I).

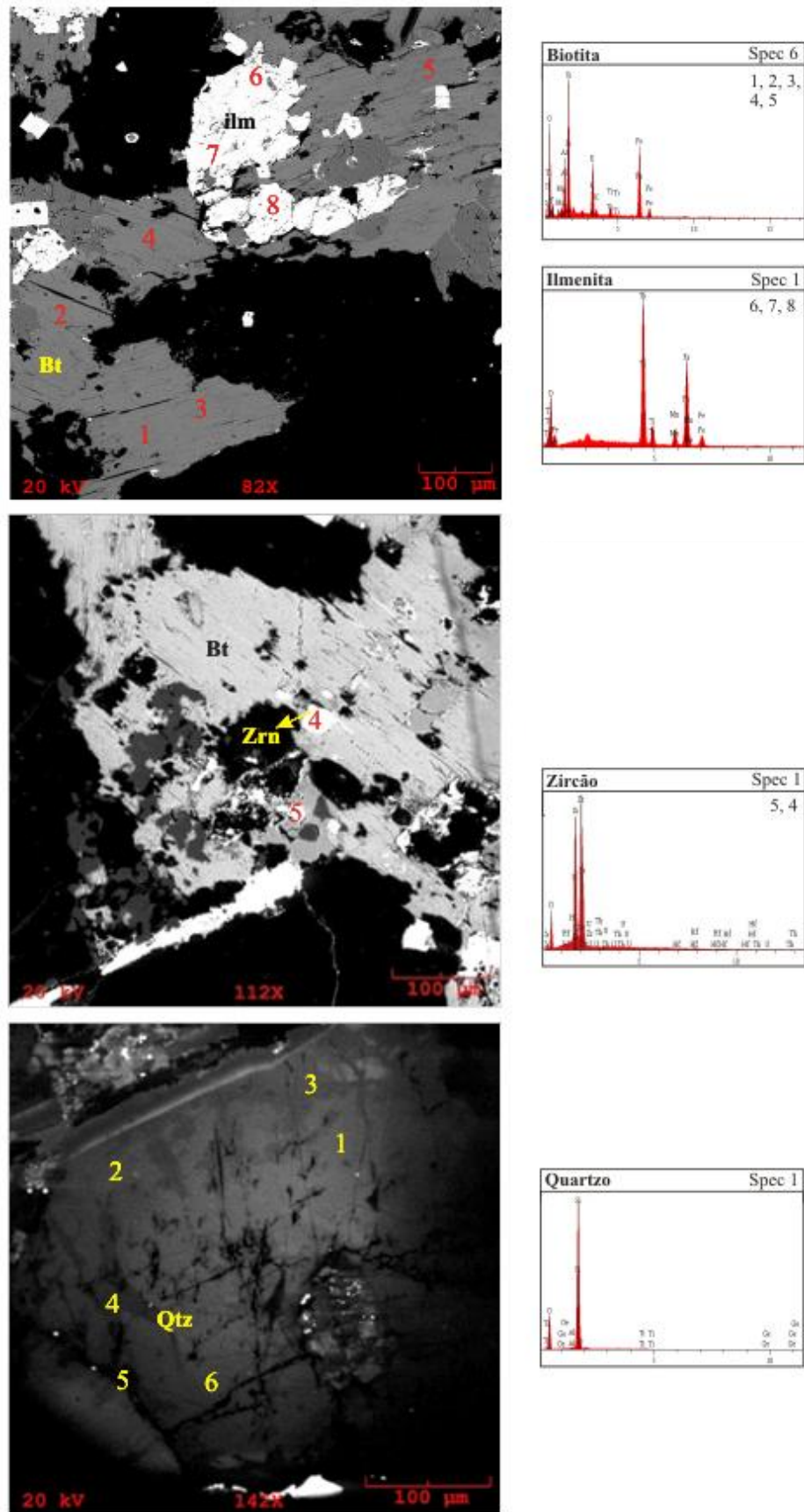


Figura 16: Espectros obtidos por EDS em (A) biotita e ilmenita, (B) fengita e zircão, (C) quartzo do granito porfirítico médio a grosso. Phg-fengita. Demais símbolos minerais, conforme Kretz (1983). Imagens obtidas com ERE (A e B) e por CL (C).

7.3 GRANITO EQUIGRANULAR MÉDIO A GROSSO (GEmg)

7.3.1 Biotita

Foram feitas dezesseis análises por EDS, em oito lamelas, registrando-se os seguintes teores de SiO₂: 40,68 a 42,44%; FeO: 26,03 a 26,40%; Al₂O₃: 16,86 a 18,11%; K₂O: 7,56 a 9,25%; MgO: 1,91 a 2,55%; e TiO₂: 2,33 a 2,94% (figura 20 A, anexo J).

7.3.2 Zircão

Vinte uma análises, realizadas em dezesseis cristais de zircão (**figura 19B**), indicaram as seguintes concentrações de HfO₂: 1,43 a 3,40%, ThO₂: 0,06 a 0,33% e UO₂: 0,09 a 0,48%. As análises em cristais zonados indicaram enriquecimento em Hf do centro para a borda dos cristais, e variação da razão Zr/Hf entre 17,53 e 42,77 (anexo L).

7.3.3 Fluorita

Quinze análises, em nove cristais (figura 19 C), revelaram teores de Ca: 56,22 a 58,87%; F: 41,01 a 43,65%; Y: 0,16 a 0,40% e Al: 0,01 a 0,2% (anexo M).

7.3.4 Ilmenita

Realizou-se um total de quatorze análises, em sete grãos distintos (figura 20A), que revelaram teores de O: 41,08 a 41,82%; Fe: 27,81 a 28,86% e Ti: 25,10 a 26,03% (anexo N).

7.3.5 Magnetita

Analisaram-se três grãos de magnetita (figura 20A), através de três pontos que assinalaram teores de Fe: 61,57 a 63,15%; O: 36,54 a 38,15%; Ti: 0,13 a 0,18%, e Mn: 0,10 a 0,18% (anexo O).

7.3.6 Monazita

Foram estudados cinco grãos de monazita, nos quais se obtiveram um total de dez análises (Figura 20 B).

Ce, O, P e La são os principais elementos constituintes, com teores de 31,41 a 34,92%; 28,70 a 31,60% e 13,22 a 14,80%, respectivamente. Contem ainda pequenas quantidades de Pr, Nd, Sm, Eu, Th e U (anexo P).

A relativa abundância em Ce permite classificá-la como Ce-monazita.

7.3.7 Xenotímio

Foi identificado apenas um cristal de xenotímio, sobre o qual se efetuaram cinco análises (figura 20C). Apresenta concentrações de O: 33,21 a 36,45%; Y: 29,90 a 31,30%, P: 16,85 a 17,70%, Dy: 4,55 a 6,33%, Gd: 3,24 a 4,81% e Pb: 2,11 a 3,21% (anexo Q).

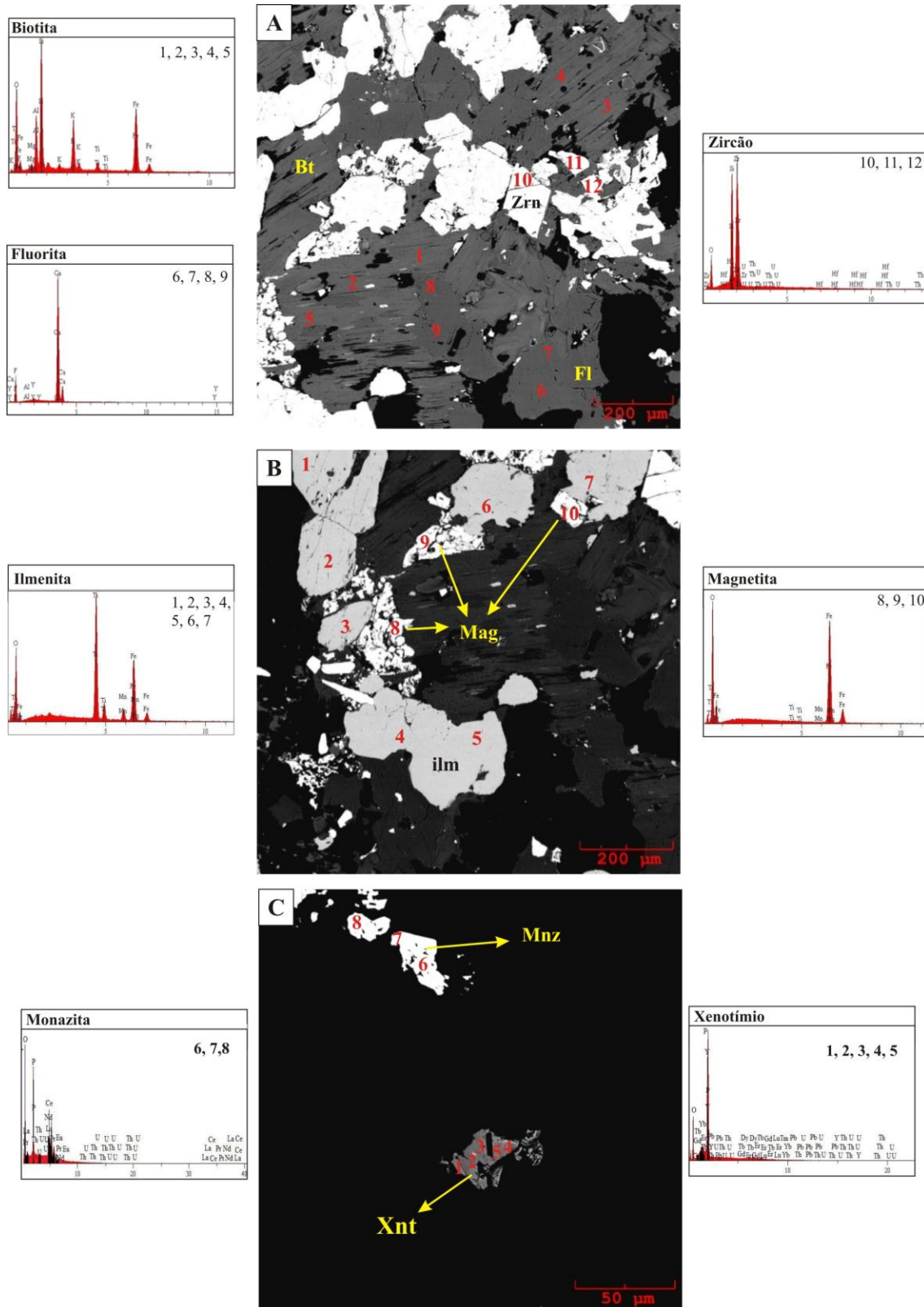


Figura 17: Espectros obtidos por EDS em (A) biotita, fluorita e zircão, (B) ilmenita e magnetita, e (C) xenotímio e monazita do granito equigranular médio a grosso. Xnt-xenotímio. Demais símbolos minerais conforme Kretz (1983). Todas as imagens obtidas com ERE.

7.4 ALBITA-GRANITO (AbG) E TOPÁZIO-ALBITA-GRANITO (TAbG)

7.4.1 Feldspatos

Os feldspatos foram estudados através de nove análises semiquantitativas por EDS: a albita apresenta teores de O: 53,46 a 54,02%; Si: 28,60 a 28,93%; Al: 9,52 a 9,92% e Na: 7,37 a 7,75% (figura 18 A e anexo R), enquanto que o feldspato alcalino possui teor de K variando de 10,19 a 10,46% e reduzido conteúdo de Na (0,13 a 0,26%) (Figura 18 A e anexo S).

7.4.2 Siderofilita e fengita

Foram realizadas onze análises por EDS em uma lamela de siderofilita (figura 18 B), que apresentaram conteúdos de SiO_2 : 47,67 a 49,40%; Al_2O_3 : 23,90 a 24,74%; FeO: 15,82 a 17,79%; K_2O : 8,74 a 9,63%; TiO_2 : 0,63 a 1,18% e MgO: 0,05 a 0,25% (anexo T).

Na fengita, realizaram-se três análises por EDS, que indicaram teores de SiO_2 : 54,15 a 54,91%; Al_2O_3 : 26,83 a 27,77%; FeO: 7,99 a 8,54%; K_2O : 9,33 a 9,69%; TiO_2 : 0,16 a 0,27% e MgO: 0,14 a 0,37% (figura 18 B e anexo U).

7.4.3 Topázio

Executaram-se cinco análises em um cristal de topázio (figura 18 A), que apontaram teores de SiO_2 : 32,40 a 33,96%, Al_2O_3 : 53,14 a 55,25%, F: 12,27 a 12,97% e Cl: 0,02 a 0,10% (anexo V).

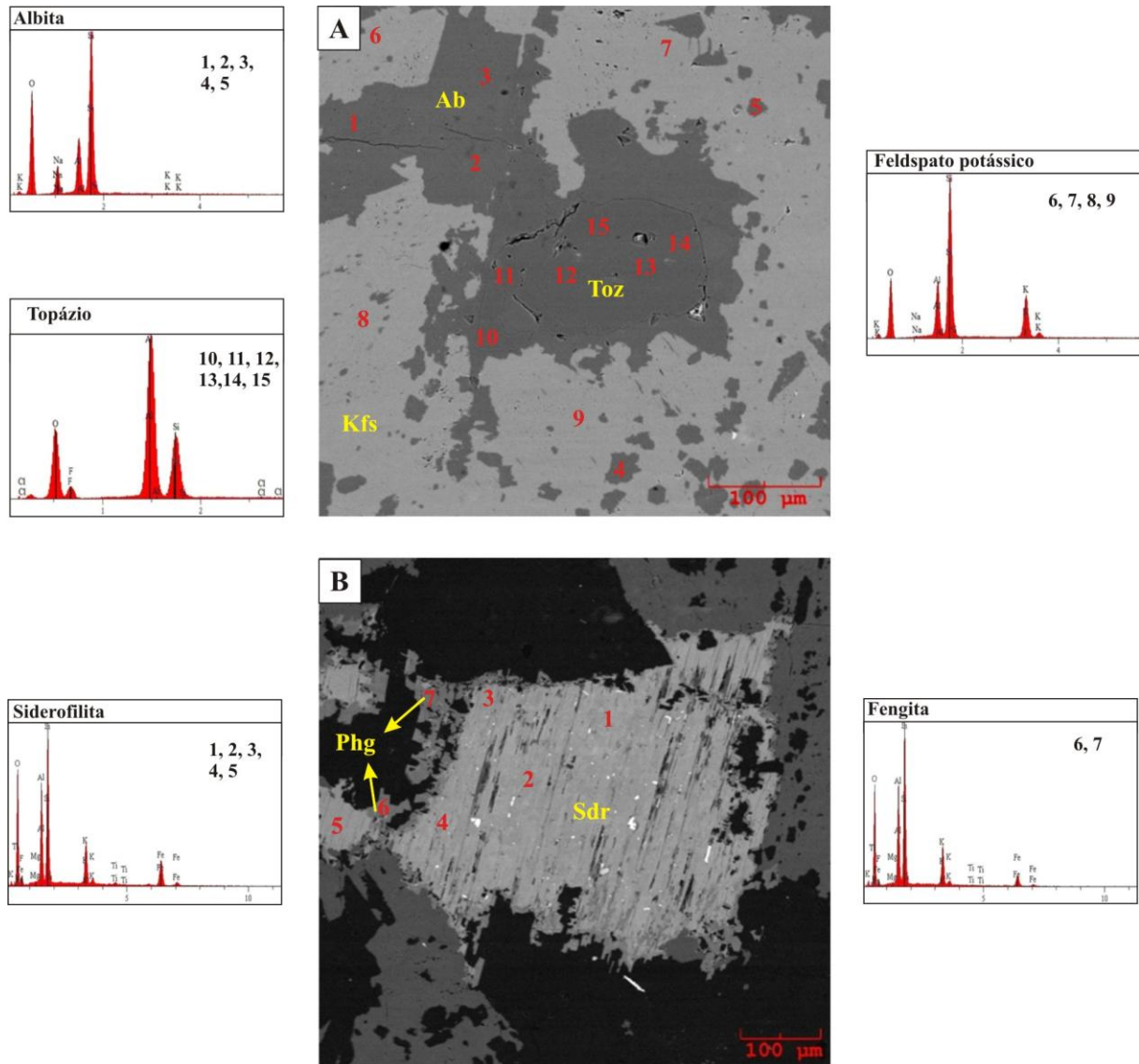


Figura 18: Espectros obtidos por EDS em (A) albita, feldspato alcalino e topázio, (B) siderofilita e fengita do topázio-albita-granito. Sdr-siderofilita, Phg-fengita. Demais símbolos conforme Kretz (1983). Imagens obtidas com ERE.

7.5 EPISSIENITOS

7.5.1 Epissienito sódico (EpsNa)

7.5.1.1 Zircão

Dezessete análises por EDS, em sete grãos de zircão, atestaram teores de HfO_2 : 1,68 a 5,99%, Y_2O_3 : 1,03 a 1,89%, Nb_2O_5 : 0,07 a 1,10%, UO_2 : 0,20 a 1,36% e ThO_2 : 0,10 a 0,47%. As razões Zr/Hf variam de 9,48 a 36,9%. Em um mesmo cristal, esta razão diminui da borda em direção ao centro. Em imagem de CL, estes cristais apresentam uma maior intensidade de CL nas suas porções centrais (Figura 19 B). Os pontos numerados no cristal da figura 19A correspondem às análises de 1 a 6 apresentadas no anexo X.

7.5.1.2 Titanita

Quatro análises por EDS, em dois grãos, atestaram teores de O: 37,31 a 38,65%; Ca: 20,84 a 21,45%; Ti: 20,04 a 23,57%; Si: 15,60 a 15,87%; Fe: 1,39 a 4,42% e Al: 0,32 a 1,31% (figura 19 C e anexo Z).

7.5.1.3 Rutilo

Quatro análises por EDS, em quatro grãos, indicaram teores de O: 36,08 a 38,46%, Ti: 60,88 a 62,11%, Nb: 1,22 a 2,15% (Figura 19 C e D e anexo AA).

7.5.1.4 Xenotímio

Uma única análise indicou concentrações de O: 33,46%; P: 14,43%; Y: 45,96%; Ce: 0,80%, Eu: 2,91%; Sm: 2,09% e Nd: 0,35% (figura 19 D).

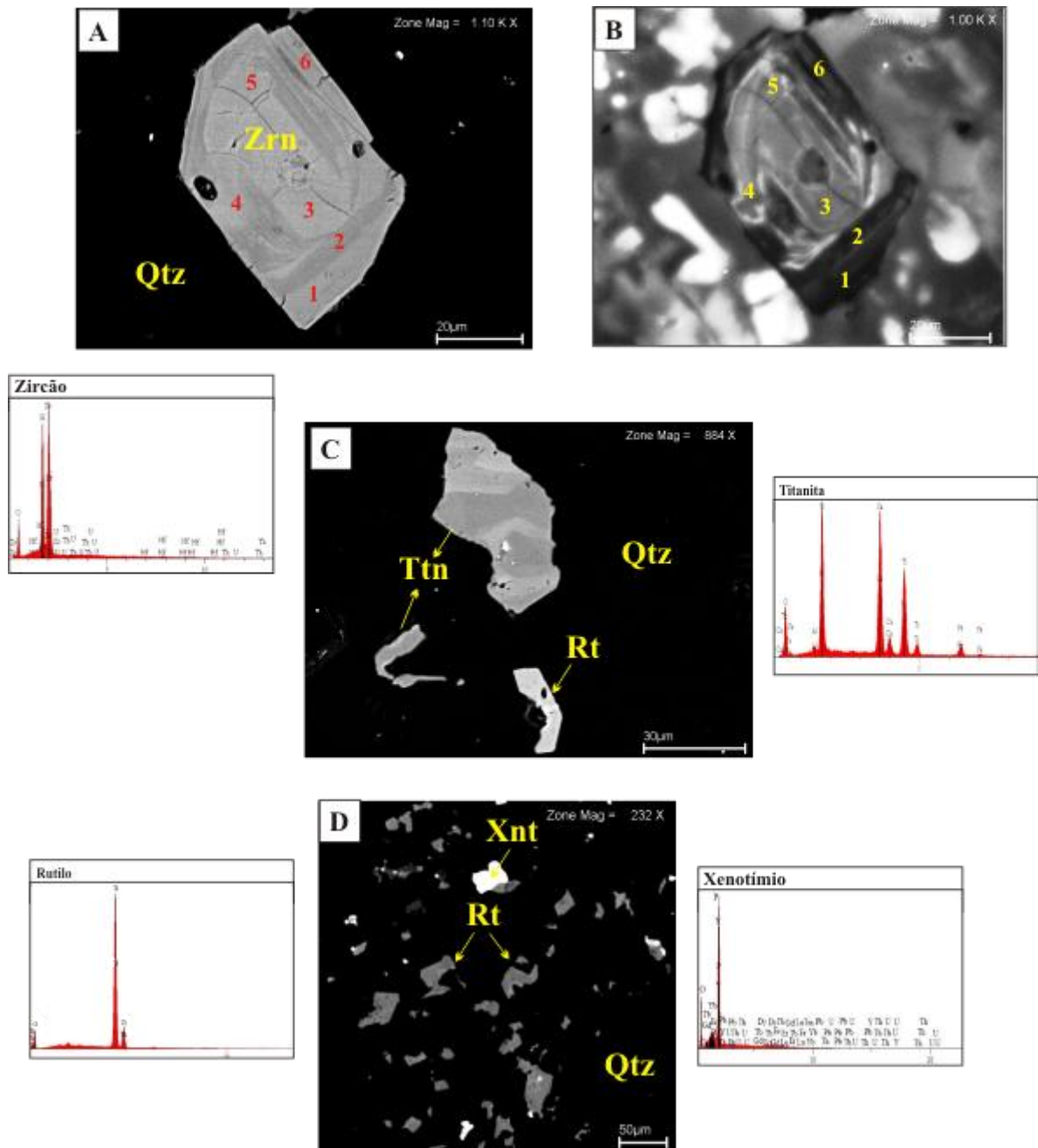


Figura 19: Espectros obtidos por EDS em (A) zircão, (C) titanita e rutilo, e (D) xenotímio do epissienito sódico. (B) Textura resultante de forte contraste de intensidade de CL entre zonas internas do cristal de zircão mostrado em A. Xnt-xenotímio. Demais símbolos minerais conforme Kretz (1983). Imagens obtidas com ERE em A, C e D. Imagem obtida por CL em B.

7.5.2 Epissienito sódico greisenizado (EpsNaG)

7.5.2.1 Siderofilita

A siderofilita foi estudada a partir de trinta e oito análises por EDS, em dezenove lamelas, que possibilitaram sua subdivisão em dois grupos, distinguidos pelas concentrações de SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , K_2O e MgO .

O grupo I exibe teores de SiO_2 : 43,87 a 49,39%; Al_2O_3 : 21,01 a 27,03 %; FeO : 16,55 a 24,28%; K_2O : 7,93 a 9,69% e MgO : 0,17a 0,57%. Em contrapartida, o Grupo II mostra quantidades de SiO_2 : 39,37 a 44,15%; Al_2O_3 : 13,19 a 18,93%; FeO : 29,00 a 35,11%; K_2O : 7,36 a 10,28% e MgO : 0,15 a 0,33% (Figura 20 A e anexo BB).

7.5.2.2 Clorita e fengita

Ambas ocorrem como produto de alteração da siderofilita.

A clorita apresenta concentrações de SiO_2 : 22,92 a 31,61%; Al_2O_3 : 18,45 a 26,26% e FeO : 41,75 a 51,74% (figura 20 A e anexo CC).

A fengita exibe quantidades de SiO_2 : 36,10 a 41,78%; Al_2O_3 : 19,26 a 24,15% e FeO : 24,93 a 34,56% (figura 20 A e anexo DD).

7.5.2.3 Adulária

Seis análises indicaram teores relativamente elevados de K (10,38 a 10,52%) e baixas concentrações de Ca e Na, que variam de 0,10 a 0,17% e 0,17 a 0,28%, respectivamente (figura 20 A e anexo EE).

7.5.2.4 Fluorita

Sete análises, em dois cristais de fluorita, indicaram teores de Ca: 55,99 a 57,37% e F: 42,24 a 43,16% (figura 20 B e anexo FF).

7.5.2.5 Esfalerita

Quinze análises, em três cristais de esfalerita, indicam teores de Zn: 55,14 a 56,99%; S: 38,88 a 41,80%; Fe: 2,46 a 3,84%; Cu: 0,16 a 1,53% e Sn: 0,36 a 0,85% (figura 20 B e anexo GG).

7.5.2.6 Cassiterita

Dezesseis análises, em dois cristais de cassiterita, apontam composições em SnO₂: 96,02 a 99,92%, Ta₂O₅: 1,09 a 2,30%, Nb₂O₅: 0,12 a 0,55%, ZnO: 0,17 a 0,38% e Fe₂O₃: 0,21 a 0,60% (figura 20 C e Anexo HH).

7.5.2.7 Zircão

Estudaram-se oito grãos de zircão, por meio de quarenta e oito análises, que assinalaram teores de HfO₂: 1,43 a 3,67%; ThO₂: 0,03 a 0,48% e UO₂: 0,10 a 0,76%. Estes cristais mostram razões Zr/Hf variam de 15,66 a 39,43 (anexo II).

Alguns cristais euédricos de zircão contêm inclusões de fluorita e siderofilita (figuras 21 A e C), e outros mostram texturas de equilíbrio com esfalerita (figuras 21 B e C), feições que sugerem fortemente que estes zircões podem ter se formado durante o estágio de epissienitização.

Além disso, alguns cristais apresentam núcleos morfológica e composicionalmente distintos de suas bordas (figura 21 D), sugerindo sobrecrecimento. Observa-se, inclusive, que o fraturamento pronunciado na borda não penetra o núcleo dos cristais, indicando um comportamento contrastante. Os pontos numerados nestes cristais correspondem às análises apresentadas no anexo II.

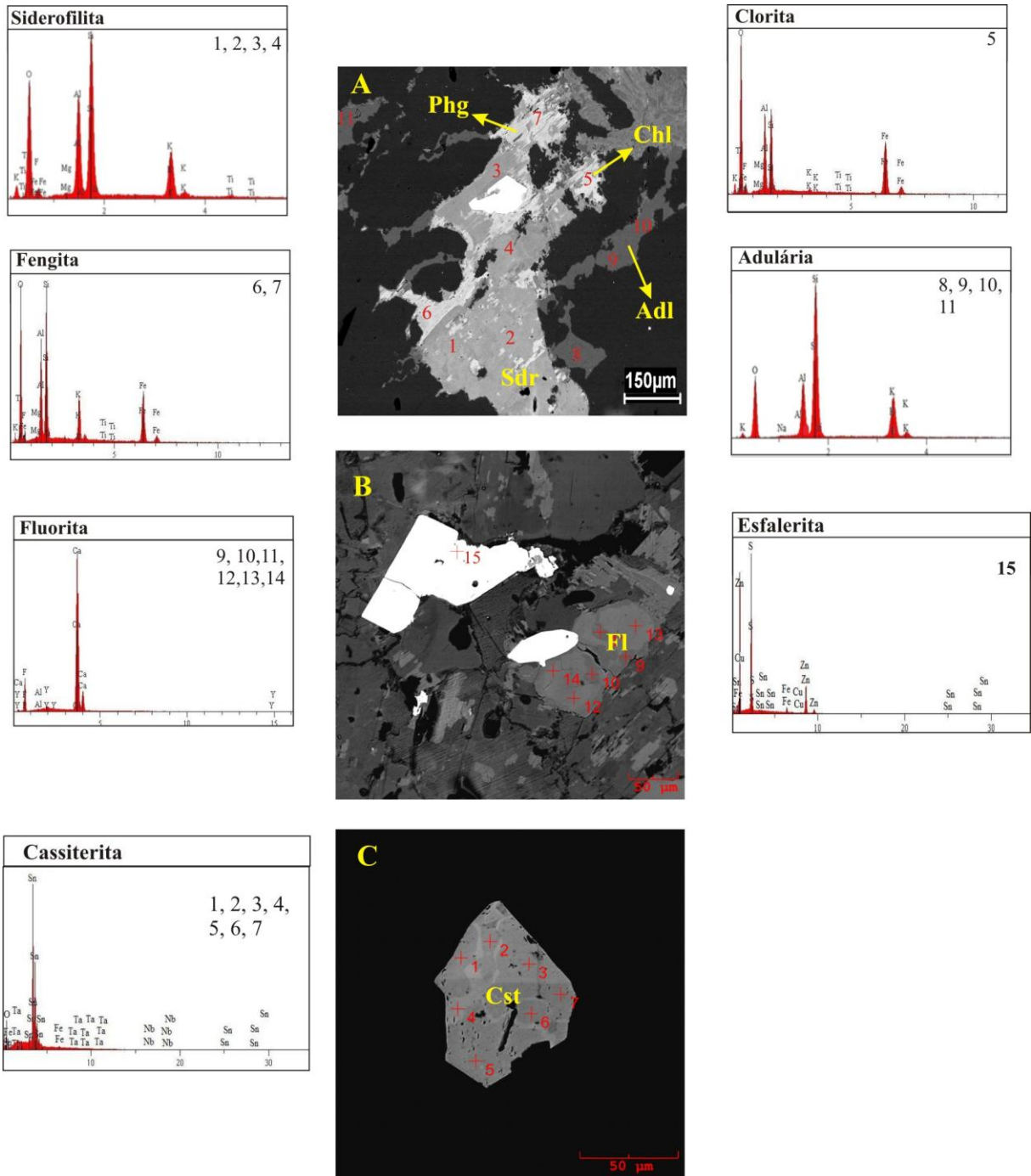


Figura 20: Espectros obtidos por EDS em (A) siderofilita, fengita, clorita e adulária, (B) esfalerita e fluorita, (C) cassiterita do epissienito sódico greisenizado. Phg-fengita, Sdr-siderofilita e Adl-adulária. Demais símbolos minerais conforme Kretz (1983). Imagens obtidas com ERE.

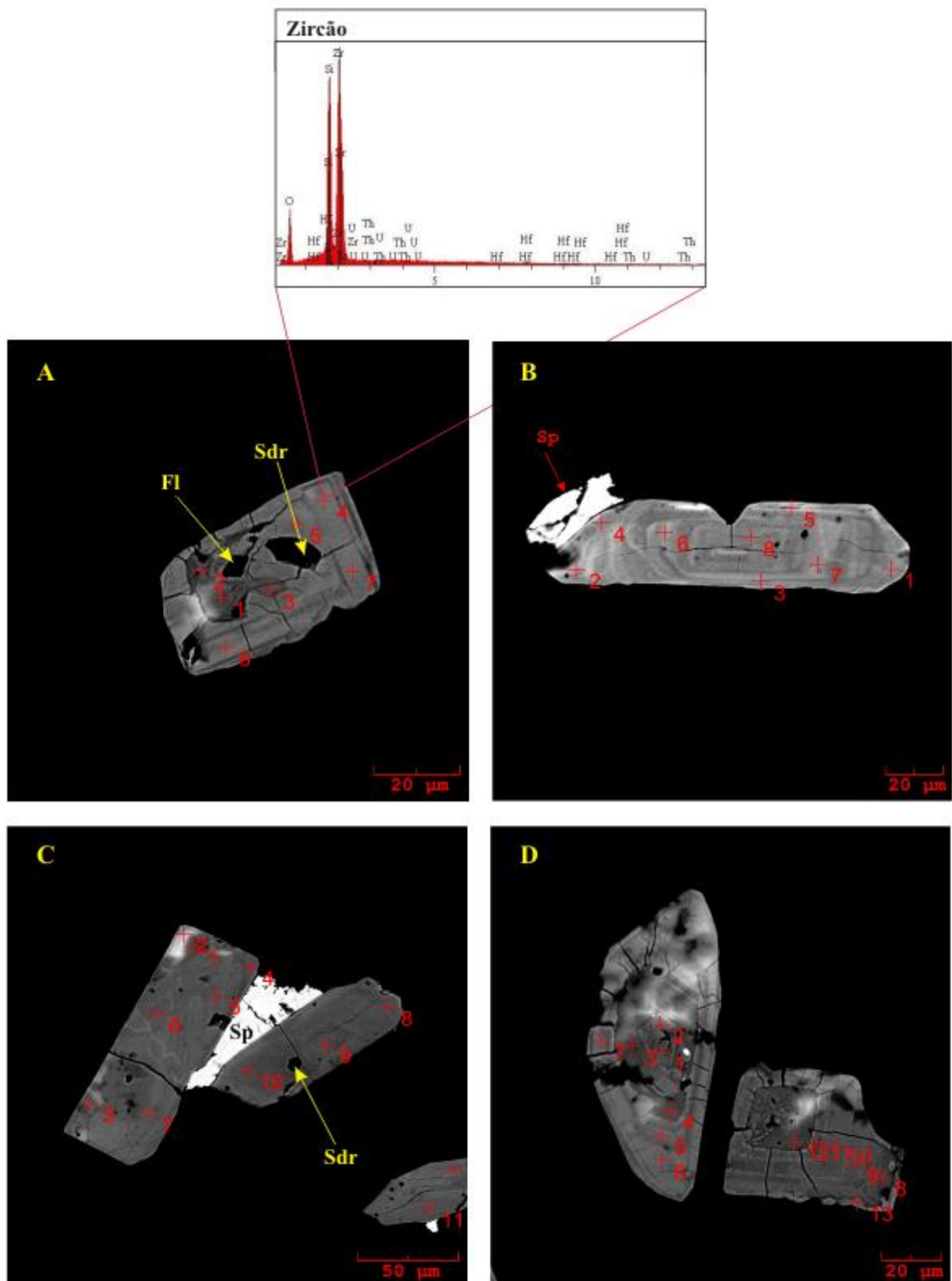


Figura 21: Feições texturais em cristais de zircão do epissienito sódico greisenizado. (A) Espectro obtido por EDS e inclusões de fluorita e siderofilita. (B) Cristal euédrico apresentando textura de equilíbrio com esfalerita. (C) Cristais euédricos com inclusão de siderofilita e em equilíbrio com esfalerita. (D) Cristais com núcleos mais escuros e feições de sobrecrecimento. As análises químicas indicam um aumento das razões Zr/Hf no sentido centro-borda destes cristais (Anexo II). Sdr-siderofilita. Demais símbolos minerais conforme Kretz (1983). Imagens obtidas com ERE.

7.5.3 Epissienito potássico (EpsK)

7.5.3.1 Adulária

Oito análises por EDS indicaram concentrações de O: 41,19 a 41,96%; Si: 33,33 a 34,15%; K: 14,41 a 15,15% e Al: 9,78 a 10,10% (figura 22 A e anexo JJ).

7.5.3.2 Fluorita

Foram feitas quatro análises em três grãos de fluorita, que possuem teores de Ca: 61,83 a 75,04%, F: 24,48 a 37,62 e Y: 0,21 a 0,55 (figura 22 A e anexo LL).

7.5.3.3 Zircão

Através de trinta e seis análises semiquantitativas por EDS, em treze cristais de zircão, obteve-se concentrações de HfO₂: 0,31 a 6,02%; ThO₂: 0,00 a 0,98%; UO₂: 0,01 a 0,65%; Y₂O₃: 0,69 a 2,10% ; Nb₂O₅: 0,65 a 1,47%; Ta₂O₅: 0,00 a 1,14% . A razão Zr/Hf varia de 11,65 a 35,99. Geralmente, em um mesmo cristal de zircão observa-se um aumento da razão Zr/Hf da borda em direção ao centro do cristal, como conseqüência imediata da diminuição nos teores de Hf (figura 22 A, B e C e anexo MM).

7.5.3.4 Clorita

Foram realizadas quinze análises em clorita, que mostram teores de SiO₂: 22,92 a 27,36%, FeO: 49,37 a 53,36%; Al₂O₃: 18,45 a 20,02%; MgO: 1,36 a 2,92%; Nb₂O₅: 1,05 a 1,42% e Ta₂O₅: 2,17 a 2,48% (anexo NN).

7.5.3.5 Cassiterita

Treze análises em três cristais indicaram teores Na. Ta₂O₅: 1,02 a 2,40%; Nb₂O₅: 0,00 a 1,12%; ZrO₂: 0,00 a 0,57% e Fe₂O₃: 0,20 a 0,42%. Em geral, as porções mais ricas em Nb apresentam-se escuras em obitidas imagens por de CL (Figura 28 B e anexo OO).

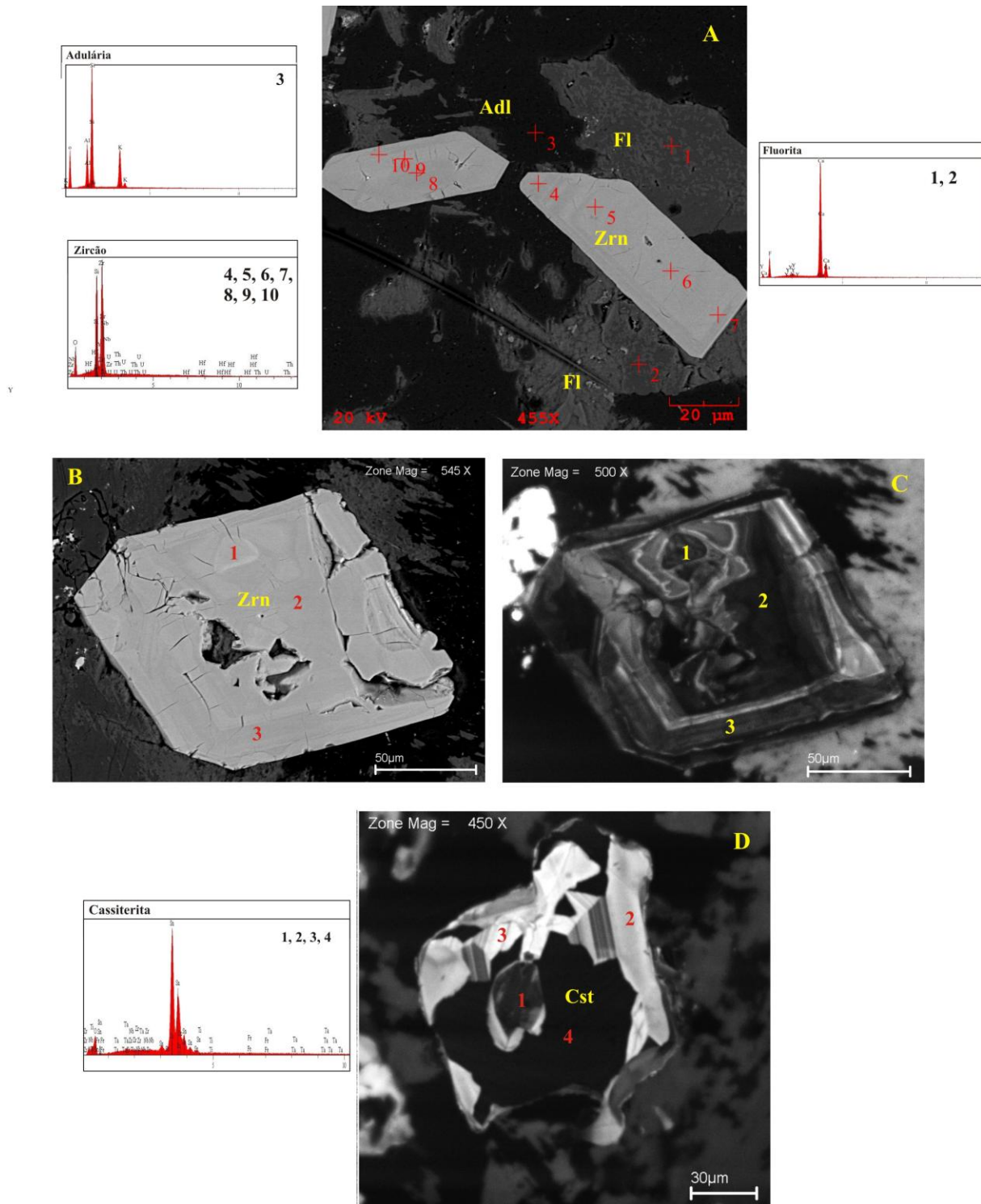


Figura 22: Feições texturais em cristais de zircão e cassiterita do epissienito potássico (EpsK). (A) Associação de zircão, fluorita e adulária, com seus respectivos espectros EDS. (B) Cristal de zircão euédrico, muito fraturado, corroído, com formação de manchas internas (*patchy internal structures*) ricas em Hf. (C) Mesmo cristal de B, mostrando zonas com contraste de intensidade de catodoluminescência. (D) Cristal anédrico de cassiterita, com embaixamentos provavelmente formados por corrosão. As zonas irregulares escuras e as zonas mais claras, algumas ressaltando os planos de macla do mineral, são resultantes de um forte contraste de intensidade de catodoluminescência. Imagens A e B obtidas por ERE e imagens C e D obtidas por CL. Adl-adulária. Demais símbolos minerais conforme Kretz (1983).

8 ESTUDOS COMPARATIVOS

8.1 INTRODUÇÃO

A partir da integração dos dados obtidos no presente trabalho, realizou-se um estudo comparativo entre as rochas graníticas e epissienitos sódicos e potássicos caracterizados no furo F18-GB e rochas similares detectadas em outras áreas mineralizadas do Distrito Pitinga. Além dos aspectos geológicos e petrográficos, este estudo procurou avaliar a variação composicional de algumas fases minerais importantes associadas à ganga das mineralizações estaníferas.

8.2 COMPARAÇÃO DO F18-GB COM OUTROS FUROS DA ÁREA GUINHO-BAIXÃO

O primeiro estudo comparativo foi realizado através da correlação lateral entre o furo F18 e os furos F4, F7 e F14, localizados na linha L4200 da malha de sondagem realizada na área mineralizada Guinho-Baixão (Figura 23).

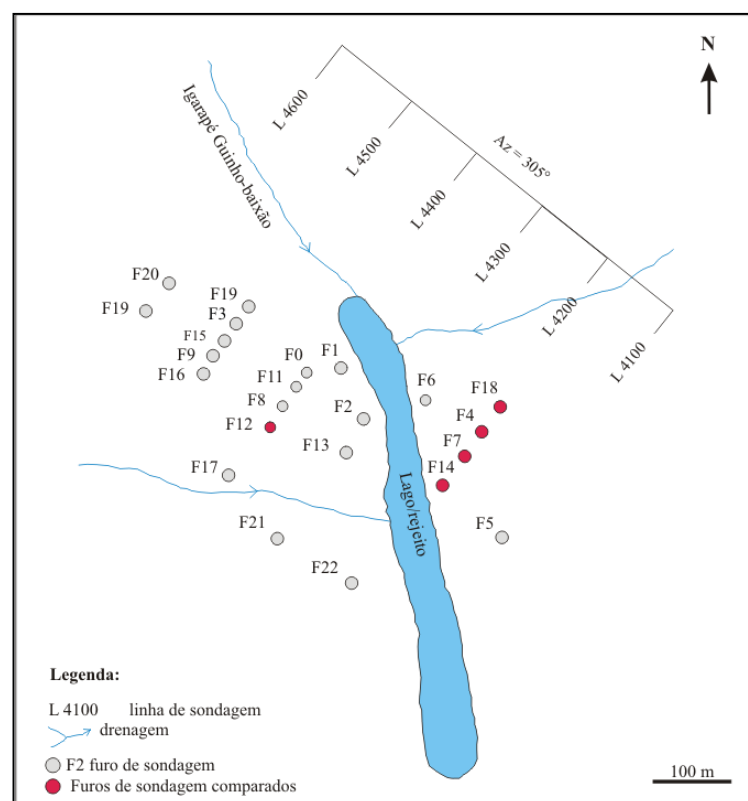


Figura 23: Mapa esquemático de localização dos furos de sondagem do Setor Guinho Baixão
Fonte: Modificado de Borges (1997).

Tanto no furo F18-GB quanto nos furos F14, F7 e F4, a litofácies dominante é representada pelo granito porfirítico médio a grosso (GPmg), encaixante imediata dos greisens, epissienitos sódicos e epissienitos potássicos.

Com exceção feita ao furo F4, nos demais furos ocorre um granito porfirítico fino (GPf), em que fenocristais subarredondados de feldspato alcalino, quartzo, plagioclásio e biotita encontram-se imersos em uma matriz fina. O GPf apresenta um contato transicional com o GPmg nos furos F18 e F7, mas no furo F14 ele é intrusivo no último, formando uma borda de resfriamento no seu contato superior. No furo F13 (não mostrado na figura 24), o GPf apresenta uma textura muito fina nos seus contatos com o GPmg e, gradativamente, mais grossa em direção às suas porções mais centrais, configurando nitidamente a estrutura de um dique. O granito equigranular médio a grosso (GEmg), de ocorrência restrita no furo F18, ocorre como uma variação textural do GPmg nos furos F7 e F14, na forma de contatos transicionais.

No furo F18-GB, tem-se o registro de rochas não encontradas nos demais furos, tais como o albita-granito, epissienito sódico e epissienito potássico (figura 24). No entanto, os furos F14 e F7 apresentam níveis de greisens e zonas de interdigitação entre granitos greisenizados e greisens, inexistentes no furo F18-GB (figura 24).

Esses greisens foram classificados por Borges (2002) como esfalerita-siderofilita-topázio-quartzo-greisen (EfSdTpQzGs) e clorita-fengita-quartzo-greisen (ClFgQzGs), ambos contendo cassiterita disseminada.

Nos furos F7 e F14, as zonas de interdigitação entre o granito greisenizado e o esfalerita-siderofilita-topázio-quartzo-greisen ocorrem como lentes decimétricas de cor cinza amarelado a esbranquiçado, que ainda preservam a textura original do granito. Estes níveis são marcados pela gradual substituição dos feldspatos magmáticos por um agregado de siderofilita, topázio e quartzo hidrotermal.

O processo de greisenização ocorreu de forma mais restrita no furo F18. No intervalo aproximado entre 35,0 e 37,0 metros de profundidade, a intrusão do albita-granito (AbG) no GPmg causou a formação de uma lente delgada de epissienito sódico com greisenização superimposta, mineralizada em cassiterita e esfalerita. Na base deste intervalo, o AbG causou a greisenização incipiente do GPmg, marcada pela formação de agregados de siderofilita de granulação fina. O processo de epissienitização não foi atuante nas rochas interceptadas pelos furos F4, F7 e F14, nem tampouco se observou ocorrências de albita-granito.

A seguir, são apresentados os resultados do estudo comparativo entre o epissienito potássico do furo F18-GB com aquele do furo F12-GB (BORGES, 2002).

Na área mineralizada Guinho-Baixão, as ocorrências mais expressivas de epissienito potássico foram interceptadas no furo F12-GB, cujo perfil vertical esquemático é apresentado na figura 25.

Os epissienitos potássicos dos furos F18-GB (figura 6G) e F12-GB (figura 25) apresentam coloração avermelhada de diferentes intensidades, refletindo a variação do grau de alteração hidrotermal imposta a estas rochas.

No furo F12-GB, a epissienitização causou a obliteração das texturas originais do granito, dando origem a rochas brechadas, com fragmentos angulosos a subangulosos de feldspato alcalino e adulária muito fraturados e hematizados, entremeados por quartzo secundário. Além disso, estas rochas apresentam cavidades de dissolução abertas ou preenchidas por quartzo, clorita, albita, pirita e sericita (BORGES, 2002).

No furo F18-GB esta zona brechada não ocorre e algumas feições magmáticas do granito ainda estão preservadas, como, por exemplo, mesopertitas e quartzo granofírico. A adulária está intensamente impregnada por hematita e ocorre preenchendo cavidades de dissolução, associada à clorita, fluorita, zircão e cassiterita, com algum quartzo.

Apesar da sua ocorrência mais restrita, quando comparado ao epissienito potássico do furo F12, o EpsK do furo F18 está mineralizado em cassiterita, nas suas porções mais cloritizadas. Este aspecto levanta uma questão importante: uma vez que o EpsK do furo F12 é a rocha encaixante do clorita-fengita-greisen, hospedeira de mineralização estanífera de grande expressão na área Guinho-Baixão, e que, nos seus contatos com o greisen, encontra-se greisenizado, considera-se que a cloritização do EpsK marca um evento de greisenização incipiente na base do furo F18.

No furo F18, a formação do epissienito potássico, bem como a do epissienito sódico está, ao que tudo indica, relacionada à intrusão do topázio-albita-granito no granito porfirítico médio a grosso (figura 5). No furo F12 ocorre um granito equigranular fino, intrusivo no granito porfirítico médio a grosso (figura 25), de composição semelhante ao albita-granito do topo do furo 18 (figura 5), porém com pequenas cavidades preenchidas por quartzo euédrico e agregados de micas brancas finas e hematita.

Supõe-se, assim, que os epissienitos potássicos dos furos F12 e F18 são correlacionáveis e foram gerados pela ação do mesmo fluido hidrotermal. A geração mais expressiva de epissienitos e greisens na área do furo F12 está relacionada a uma maior interação fluido-rocha, decorrente da maior circulação propiciada por cavidades e fraturas.

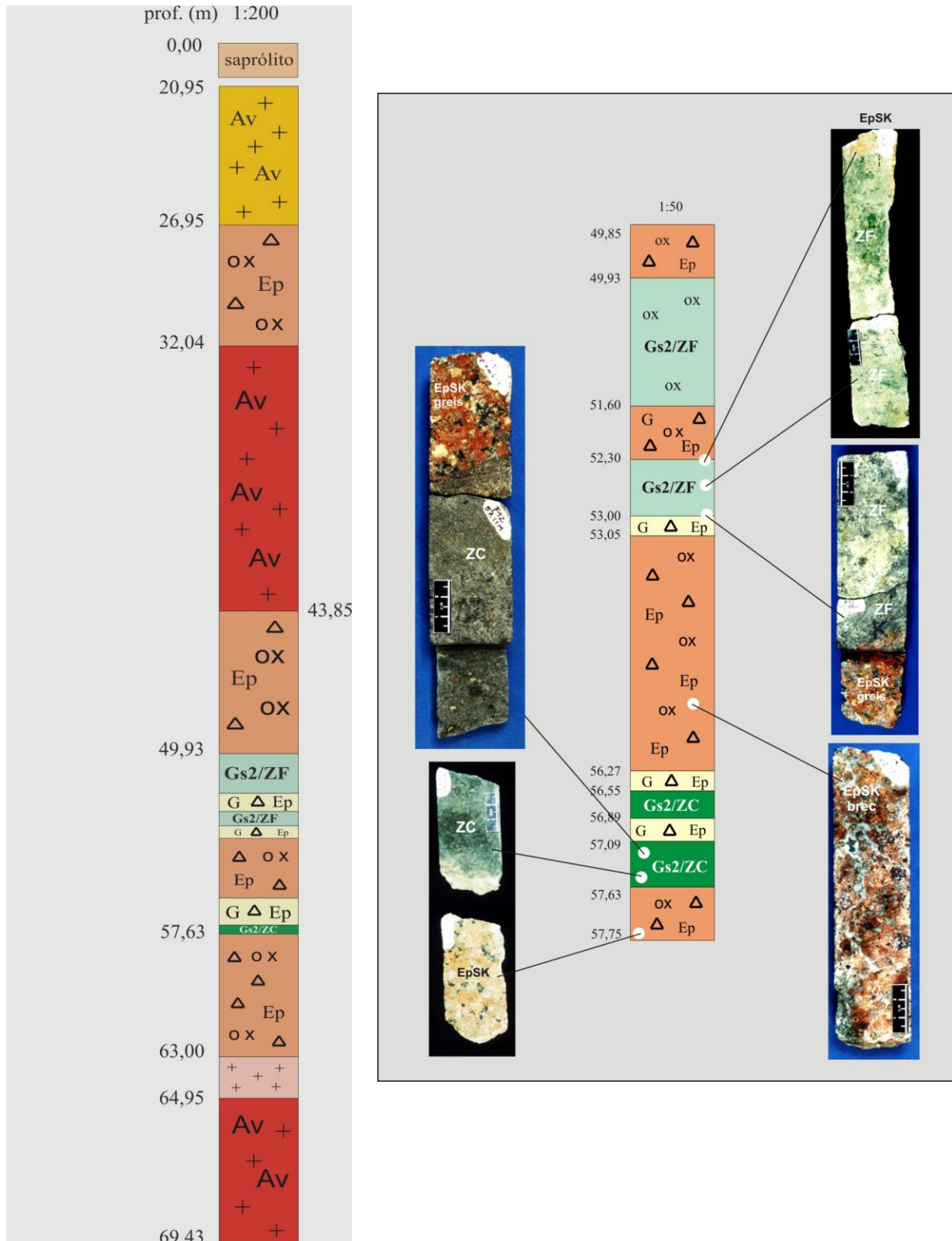


Figura 25: Perfil vertical esquemático do furo F12-GB. Av: Granito porfirítico médio a grosso, avermelhado e oxidado; EpSK: Epissienito potássico; EpSKgreis: Epissienito potássico greisenizado; EpSKbrec: Epissienito potássico brechado; Gs2: Clorita-fengita-quartzo-greisen; ZC: zona com dominância de clorita, ZF: zona com dominância de fengita; Ox: oxidação intensa.

Fonte: Modificado de Borges (2002).

8.3 COMPARAÇÃO DOS EPISSIENITOS SÓDICOS DO F18-GB COM AQUELES DA ÁREA MINERALIZADA QUEIXADA

Costi et al. (2002) descreveram, pela primeira vez, a ocorrência de epissienitos sódicos mineralizados em Sn na mina Pitinga, na área mineralizada Queixada (figuras 4 e 26). Estas rochas foram identificadas no furo de sondagem FQX-4, e sua distribuição e relações de contato com as rochas encaixantes são apresentadas na figura 34 A.

O epissienito sódico é uma rocha de coloração avermelhada a amarronzada, isótropa, de granulação média, e aspecto mosqueado resultante da interdigitação de albita e agregado escuros formados por clorita e micas. Ocorre encaixado em um biotita-feldspato alcalino-granito, em uma zona lenticular controlada por falhas. Na base do epissienito sódico ocorre uma rocha muito rica em siderofilita (COSTI et al, 2002), o que levou aqueles autores a classificá-la como epissienito sódico micáceo. Este transiciona para um epissienito potássico de cor vermelha, contendo adulária, clorita e rara cassiterita. No topo da zona epissienitizada, há um enriquecimento em sílica, com a formação de quartzo hidrotermal.

Posteriormente, Feio (2005) caracterizou a ocorrência de epissienitos sódicos e greisens no furo FQX-11 (figuras 26 e 27 B). A autora descreveu três tipos de epissienitos: epissienito sódico “normal”, leucoepissienito sódico e epissienito sódico greisenizado.

O epissienito sódico “normal” apresenta textura heterogranular média a grossa. É composto por albita em *laths* ou como tabuleiro de xadrez. É rico em fengita e clorita, além de conter fluorita, Nb-anatásio, siderofilita, opacos, esfalerita e cassiterita como fases acessórias. Esta última ocorre como raros cristais muito finos em meio a agregados de clorita e quartzo anédrico fino. O quartzo ainda ocorre como fase tardia preenchendo cavidades de dissolução (FEIO, 2005).

O leucoepissienito sódico e o epissienito greisenizado estudados por Feio (2005) são análogos aos do furo F18-GB. O epissienito sódico do F18GB, correlacionável ao leucoepissienito, é enriquecido em quartzo e desprovido de siderofilita. Em ambas as rochas, o quartzo é tardio e ocorre preenchendo cavidades de dissolução, associada à albita em *laths*, zircão, fluorita e opacos. Já os epissienitos sódicos greisenizados apresentam albita substituída por agregados de quartzo, siderofilita e fengita, além de albita em *laths* inclusa em quartzo.

A correlação lateral entre os dois furos sugere que o epissienito sódico micáceo alterado do furo FQX-4, descrito por Costi et al. (2002), poderia ser interpretado como um epissienito sódico greisenizado, conforme caracterizado por Feio (2005) e descrito no presente trabalho, porém, com particularidades na sua composição mineralógica.

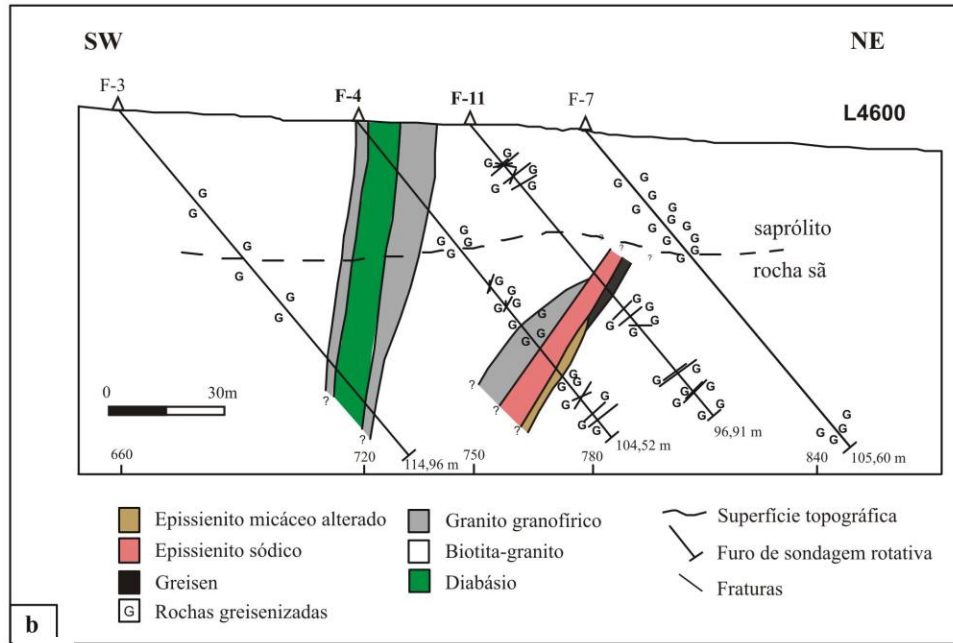


Figura 26: Perfil de correlação lateral dos furos da linha de sondagem L4600, da área mineralizada Queixada.

Fonte: Modificado de Costi et al. (2002) e Feio (2005).

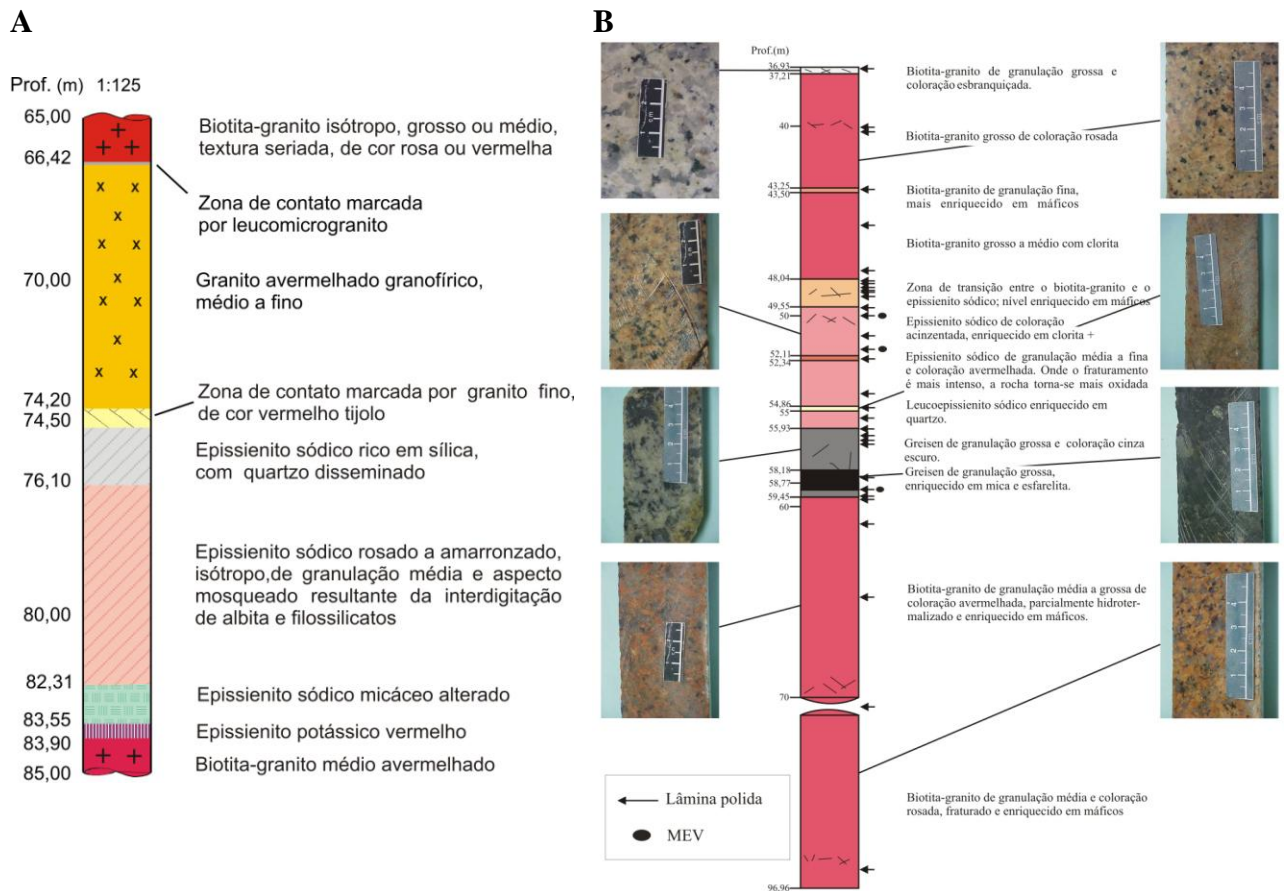


Figura 27: Perfis esquemáticos de furos de sondagem da área mineralizada Queixada. A: Furo FQX-4; B: Furo FQX-11.

Fonte: Modificado de Costi et al. (2002) e Feio (2005).

O exame da figura 26 sugere que o fluido responsável pela geração dos greisens estaníferos no furo FQX-11 pode ter causado a greisenização incipiente no epissienito sódico micáceo do furo FQX-4. Isto, em princípio, refletiria a variação na magnitude dos processos de greisenização que ocorreram em larga escala na porção oeste do pluton Água Boa.

Os epissienitos sódico e potássico mineralizados do furo F18 também foram afetados pelo estágio de greisenização. Os dados de análise modal (Tabela 1) indicam que a maior concentração em cassiterita é encontrada no epissienito sódico greisenizado. Por sua vez, o epissienito potássico apresenta-se mineralizado na sua porção mais cloritizada.

Em linhas gerais, o processo de epissienitização sódica foi um estágio importante na formação dos depósitos hidrotermais de Sn na mina Pitinga. Porém, a greisenização de rochas graníticas e epissieníticas foi mais eficiente e gerou depósitos em maior escala, uma vez que quase todas as fácies do pluton Água Boa foram afetadas pela ação destes fluidos.

8.4 COMPARAÇÃO DO TOPÁZIO-ALBITA-GRANITO DO FURO F18-GB COM O ALBITA-GRANITO DO PLUTON MADEIRA

O albita-granito corresponde à fácies mais tardia do pluton Madeira e é intrusivo no anfibólio-biotita-sienogranito e no biotita-álcali feldspato-granito (figura 4). É a única fácies do pluton que apresenta mineralizações de cassiterita, nióbio, tório, terra raras e criolita (COSTI, 2000).

O albita-granito ainda é subdividido em duas subfácies: albita-granito de núcleo e albita-granito de borda (figura 28). Ambas têm textura equigranular média ou grossa a seriada ou porfirítica e são classificados como feldspato alcalino-granito *subsolvus*, essencialmente constituídos por quartzo, albita e feldspato potássico (tabela 2).

O albita-granito do furo F18-GB apresenta algumas similaridades com o do pluton Madeira, como por exemplo, na composição mineralógica essencial, a base de albita, K-feldspato e quartzo. Porém, a mineralogia varietal e acessória do albita-granito Madeira é distinta daquele do furo F18, decorrente da sua composição geoquímica peralcalina (COSTI, 2000). Por sua vez, a presença de topázio magmático no albita-granito do furo F18 sugere fortemente uma assinatura geoquímica peraluminosa. Além disso, este último não apresenta mineralização de estanho e sua textura é equigranular fina ou porfirítica com fenocristais médios envolvidos por uma matriz fina.

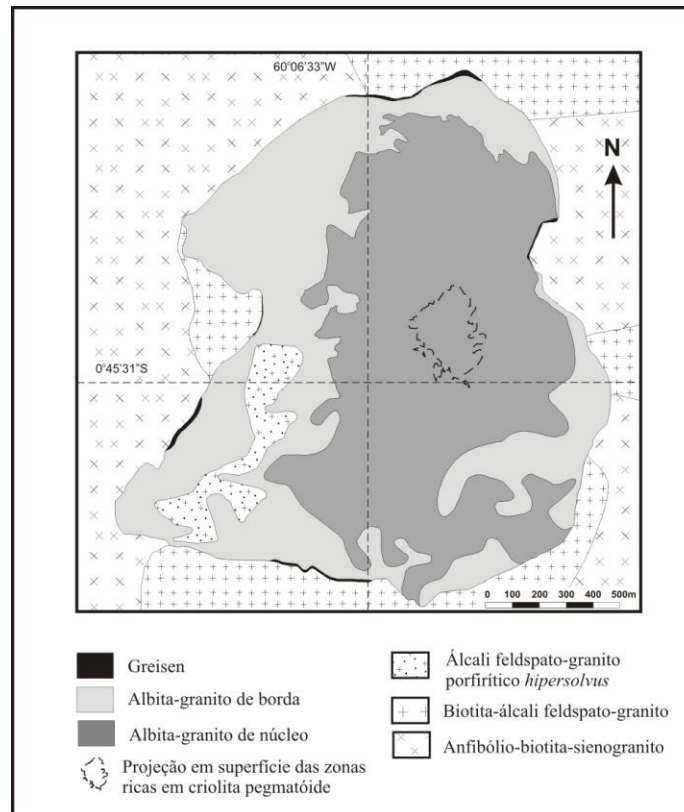


Figura 28: Mapa de subdivisão da fácies albita-granito do pluton Madeira.
Fonte: Minuzzi (2005).

Tabela 2: Características mineralógicas e texturais do albita-granito de núcleo e de borda.

	ALBITA-GRANITO DE NÚCLEO	ALBITA-GRANITO DE BORDA
Coloração	Cor cinza com pontuações e manchas pretas quando são; cinza clara com tons amarelados nas proximidades de contatos.	Marrom avermelhada escura quando são; vermelho escuro com manchas pretas quando moderadamente alterada.
Textura	Equigranular grossa ou média; seriada ou porfírica; isotropa	Equigranular grossa ou média; seriada ou porfírica; isotropa
Fases essenciais	K-feldspato, albita, quartzo.	Quartzo, K-feldspato, albita.
Fases varietais	Criolita, zircão, polilitionita, mica escura, pirocloro, opacos, riebeckita.	Cassiterita, fluorita, zircão, hematita, cloritas, columbita, opacos, xenotímio.
Fases acessórias	Carbonatos, cassiterita, esfalerita, aegirina, catapleita, ghentelvita, prosopita, thomsenolita e outros aluminofluoretos	Carbonatos, galena, esfalerita, catapleita.
Aspecto microscópico	Seções com aspecto límpido; texturas ígneas de fluxo e "snowball" são muito frequentes; fenocristais de quartzo euédricos a subédricos.	Intensa pigmentação por óxidos de ferro em todas as fases; sobrecrescimentos em fenocristais de quartzo; desequilíbrio da Ab; desestabilização de fases peralcalinas do ABGn.

Fonte: Costi (2000).

Feições do tipo *snowball*, encontradas no albita-granito de núcleo do pluton Madeira, são observadas no topázio-albita granito da base do furo F18-GB, que exhibe coloração cinza com pontuações pretas análoga ao primeiro.

Um dos aspectos geológicos mais intrigantes relacionados ao albita-granito Madeira é que, apesar do líquido magmático que lhe deu origem ser extremamente rico em flúor, não há registro de processos expressivos de greisenização nas suas rochas encaixantes, exceto algumas ocorrências restritas nas suas bordas (figura 28). Este fato fortalece a hipótese de que a fonte dos fluidos hidrotermais que atuaram na formação dos greisens e epissienitos do pluton Água Boa possa estar vinculada ao topázio-albita-granito, conforme indicado pelas relações de contato observadas no furo F18-GB.

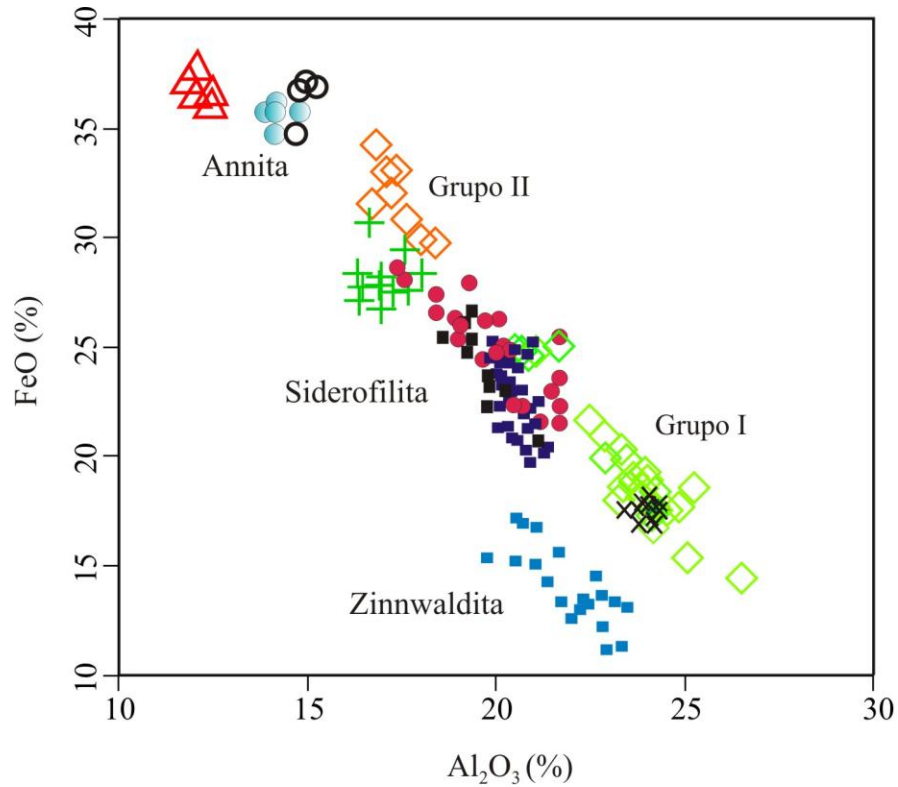
8.5 VARIAÇÃO COMPOSICIONAL DE MICAS TRIOCTAÉDRICAS

As análises químicas semiquantitativas realizadas por EDS nas micas trioctaédricas das rochas graníticas, epissienitos sódicos e potássicos do furo F18-GB, foram utilizadas em um estudo comparativo com as composições químicas de micas trioctaédricas de granitos e greisens estudados por Borges (1997, 2002) e Feio (2007). Estes últimos autores analisaram as micas por microsonda eletrônica, e as concentrações de FeO e Al₂O₃ obtidas são apresentadas na figura 29.

O objetivo deste estudo foi avaliar a possibilidade de utilização das concentrações de elementos maiores obtidas por EDS para classificar as micas trioctaédricas das rochas graníticas e epissieníticas do furo F18-GB, tendo-se como referência a composição de micas formadas sob condições físico-químicas similares em outras áreas mineralizadas do pluton Água Boa.

Assim, a avaliação global da distribuição das micas analisadas no diagrama FeO x Al₂O₃ (figura 29) indica que:

- (1) A mica trioctaédrica do granito porfirítico médio a grosso (GPmg), variedade petrográfica predominante no furo F18-GB, apresenta uma composição química relativamente mais rica em FeO e mais pobre em Al₂O₃ do que a annita do hornblenda-biotita-álcali feldspato-granito, encaixante do greisen rico em topázio da área mineralizada Guinho-Baixão (BORGES, 1997). Considerando-se que as pequenas diferenças entre os dois tipos de análise sejam decorrentes de imprecisões analíticas inerentes ao EDS, poder-se-ia classificar a mica do GPmg como uma annita;
- (2) Quanto à mica do granito porfirítico fino (GPf), sua composição é praticamente coincidente com aquela da annita analisada por microsonda eletrônica (BORGES, 1997). Uma vez que o GPf é intrusivo no GPmg, poder-se-ia esperar uma composição relativamente mais aluminosa para a sua mica, o que seria uma indicação de seu



Análises químicas por EDS:

- △ Granito porfirítico médio a grosso (GPmg)
- Granito porfirítico fino (GPf)
- + Granito equigranular médio a grosso (GEmg)
- ◇ Epissienito sódico greisenizado (EpsNaG)
- × Topázio-albita-granito (TAbG)

Análises químicas por microsonda eletrônica:

- Siderofilita do topázio-granito do furo F06-GR (Feio, 2007)
- Siderofilita do greisen do furo F06-GR (Feio, 2007)
- Zinnwaldita dos veios de quartzo e greisen do furo F06-GR (Feio, 2007)
- Siderofilita do esfalerita-siderofilita-topázio-quartzo-greisen (Borges, 2002)
- Annita do hornblenda-biotita-álcali feldspato-granito (Borges, 1997)

Figura 29: Variação composicional de micas trioctaédricas analisadas por EDS (este estudo) e analisadas por microsonda eletrônica (BORGES, 1997, 2002; FEIO, 2007) no diagrama FeO x Al₂O₃.

caráter mais evoluído, como já sugerido pelos seus conteúdos modais maiores de topázio e fluorita (Tabela 1). As análises indicaram conteúdos de Al_2O_3 relativamente maiores do que aqueles da mica do GPmg, enquanto que os de FeO são similares;

- (3) As micas do granito equigranular médio a grosso (GEmg) se distribuem no mesmo campo ocupado pelas siderofilas mais ricas em FeO do esfalerita-siderofilita-topázio-quartzo-greisen mineralizado em Sn, da área Guinho-Baixão (BORGES, 2002). Este aspecto sugere que a mica do GEmg tem uma composição química compatível com uma annita aluminosa transicionando para o campo da siderofilita;
- (4) As micas do epissienito sódico greisenizado (EpsNaG) ocupam dois campos distintos no diagrama FeO x Al_2O_3 , conforme já indicado pelas suas composições químicas (Anexo BB):
 - (a) o grupo I, com conteúdos de Al_2O_3 variando entre 21,01 e 25,59% e FeO entre 16,55 e 24,25%, e grupo II, com concentrações de Al_2O_3 variando entre 17,23 e 18,93% e FeO entre 29,00 e 33,50%;
 - (b) Aquelas pertencentes ao grupo II possuem concentrações de Al_2O_3 similares às das micas do GEmg, porém são relativamente mais ricas em FeO; neste sentido, poderiam ser classificadas como annita aluminosa transicionando para siderofilita. É importante ressaltar que as micas deste grupo pertencem à amostra F18-11, cuja análise modal indicou ausência de cassiterita (Tabela 1);
 - (c) As micas do grupo I possuem conteúdos de Al_2O_3 maiores do que a siderofilita do esfalerita-siderofilita-topázio-quartzo-greisen (BORGES, 2002) e a siderofilita do topázio-granito e greisens do furo F06-GR, da área mineralizada Grota Rica (FEIO, 2007). Observa-se que estas micas alinham-se com as siderofilas analisadas por microsonda, ocupando o extremo mais aluminoso do *trend* formado por elas;
 - (d) Além disso, aquelas micas do grupo I com conteúdos de FeO mais elevados agrupam-se com as siderofilas dos greisens e granitos mais evoluídos da área Grota Rica;
 - (e) Todas as micas do grupo I pertencem à amostra F18-04, na qual foi detectada a presença de cassiterita. Este fato evidencia que estas micas foram formadas durante o principal evento de mineralização do epissienito sódico na área Guinho-Baixão, propiciado, ao que tudo indica, pela greisenização causada pelo estágio intrusivo do topázio-albita-granito;
 - (f) Aquelas micas mais aluminosas do grupo I mostram uma distribuição paralela ao

trend formado pela zinnwaldita de veios e greisens mineralizados da área Grota Rica (FEIO, 2007). Elas apresentam valores similares de Al_2O_3 e SiO_2 (Anexo DD), porém são relativamente mais ricas em FeO do que a zinnwaldita;

- (5) As micas do topázio-albita-granito (TAbG) se distribuem junto ao campo formado por aquelas siderofilitas do grupo I com os mais altos conteúdos de Al_2O_3 . Este fato levanta um aspecto intrigante, uma vez que a siderofilita I é contemporânea à cassiterita no epissienito sódico greisenizado e, por outro lado, uma mica de composição idêntica é a principal fase varietal do TAbG, certamente cristalizada sob condições magmáticas.

8.6 VARIAÇÕES COMPOSICIONAIS DE ZIRCÃO

Nesta etapa do trabalho, realizou-se uma avaliação das variações composicionais observadas nos cristais de zircão das rochas graníticas e epissieníticas caracterizadas no furo F18-GB, com o objetivo de comparar estes dados com aqueles obtidos em um estudo similar realizado por Soledade (2007) e Lamarão et al. (2007) em zircões de granitos estaníferos da Amazônia. É importante ressaltar que o número de análises realizadas no presente trabalho é relativamente pequeno, quando comparado ao extenso trabalho estatístico realizado pelos autores supracitados; no entanto, são representativas dos zircões das diferentes variedades petrográficas estudadas.

O zircão, em função de sua elevada estabilidade química, que, em tese, o preserva de alterações *subsolidus*, e pela presença de elementos-traço característicos em sua estrutura cristalina (Hf, Y, Nb, Th, U etc), tem possibilitado o desenvolvimento de inúmeros estudos e abordagens envolvendo a evolução petrogenética e especialização metalogenética de rochas graníticas (UHER et al, 1998; WANG et al, 2000; BELOUSOVA e GRIFFIN, 2002; KEMP et al., 2004; LAMARÃO et al., 2007).

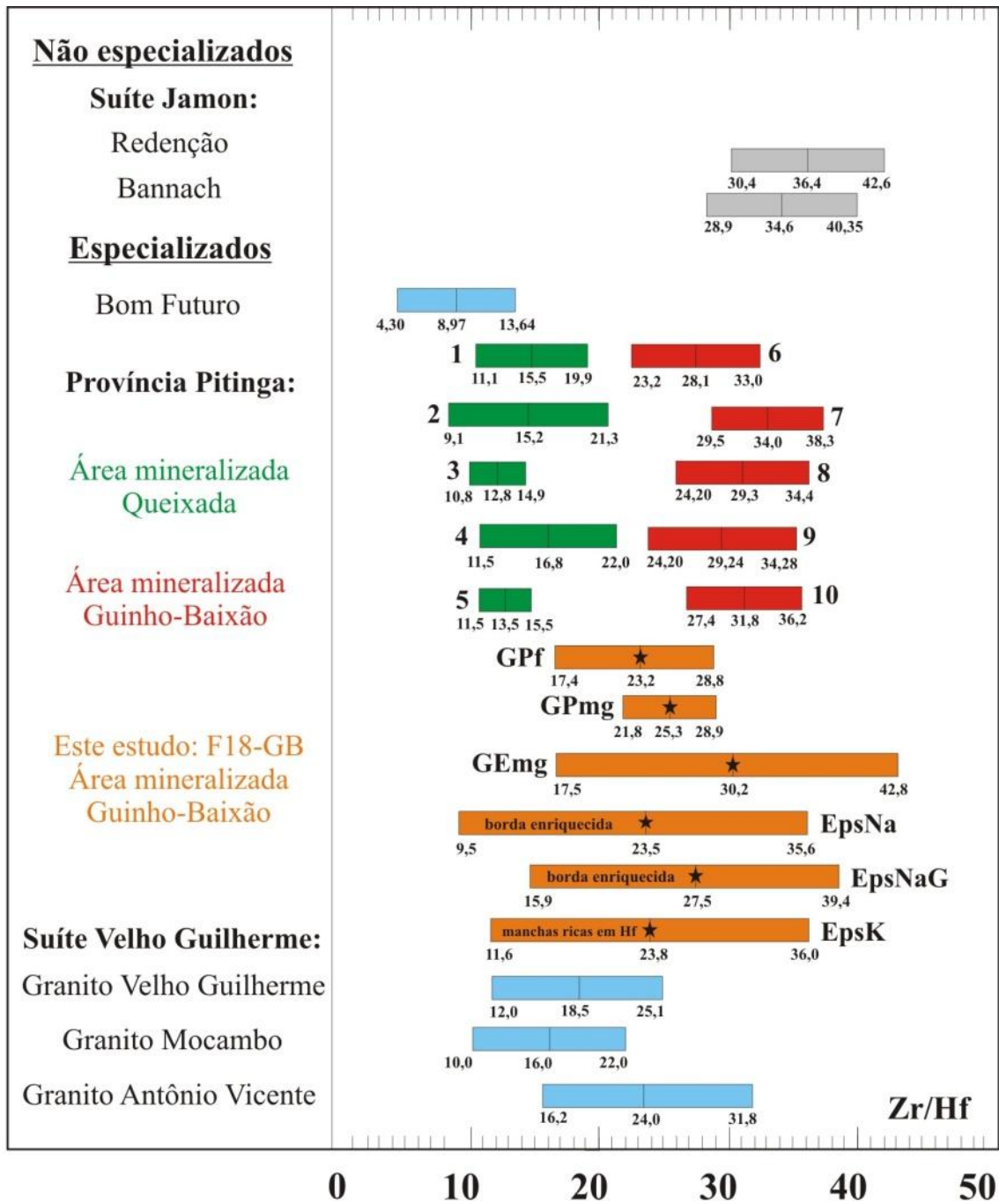
Zircões de rochas graníticas com teores elevados de Hf caracterizam granitos evoluídos e enriquecidos em metais raros, como Sn, Mo, W e Ta (KEMP et al., 1997; WANG et al, 2000). Em granitos com topázio e metais raros, as razões Zr/Hf muito baixas obtidas em cristais de zircão foram interpretadas como a assinatura primária de líquidos graníticos muito evoluídos ou, então, imposta por processos de albitização resultante da ação de fluidos ricos em F (KEMP et al., 2004).

Soledade (2007) realizou um estudo comparativo entre os zircões de granitos, greisens e epissienitos sódicos das áreas mineralizadas Queixada e Guinho-Baixão, concluindo que os cristais de zircão das duas áreas mostram diferenças morfológicas e químicas significativas:

- (a) Na área Queixada, os zircões das duas variedades de biotita-granito, do epissienito sódico e dos greisens são predominantemente anédricos a raramente subédricos, fracamente a isentos de zoneamento, corroídos e com frequentes inclusões de thorita. As análises por EDS revelaram teores médios elevados de Hf, variando de 5,80 a 4,52%, gerando razões Zr/Hf médias de 16,05 a 13,09 (figura 30). Essas características morfológicas e químicas são semelhantes às aquelas apresentadas pelos zircões de granitos especializados das Províncias Estaníferas do Sul do Pará e de Rondônia (cf. LAMARÃO et al, 2007);
- (b) Na área Guinho-Baixão, os zircões tanto do granito rapakivi, quanto dos greisens associados, são predominantemente euédricos a subédricos, exibem zoneamento composicional bem definido, raras feições de corrosão e finas inclusões de thorita. Os teores médios de Hf desses zircões situam-se entre 2,23 e 2,69% e suas razões Zr/Hf entre 28,20 e 34,19 (figura 30), muito acima dos encontrados nos zircões da área Queixada e nos da Suíte Velho Guilherme. Estas características aproximam-se daquelas encontradas em zircões de granitos não especializados, como os granitos Redenção e Bannach da Suíte Jamon (LAMARÃO et al., 2007).

A análise dos resultados obtidos no presente trabalho permite tecer as seguintes considerações:

- (1) Os zircões do granito porfirítico médio a grosso (GPmg) e do granito porfirítico fino (GPf) mostram razões Zr/Hf médias similares, sendo estes valores coincidentes ou inferiores às menores razões Zr/Hf dos zircões de granitos e greisens da área Guinho-Baixão (a mesma de onde provém o furo F18-GB) analisados por Soledade (2007). Há duas situações distintas nos zircões do GPf: cristais subédricos e zonados em que o núcleo é mais enriquecido em Hf e, conseqüentemente, a razão Zr/Hf aumenta em direção à borda (figuras 15C e D) e cristais zonados euédricos nos quais a razão Zr/Hf diminui em direção à borda. Comparativamente aos zircões do GPmg, as menores razões Zr/Hf encontradas em zircões do GPf, próximas das razões médias em zircões do biotita-granito da área Queixada, sugerem que o GPf seja uma fase mais evoluída do que o GPmg;
- (2) Os zircões do granito equigranular médio a grosso (GEmg) apresentaram as mais altas razões Zr/Hf dentre todos os cristais analisados neste trabalho. Suas razões médias são similares às daquelas dos zircões dos greisens ricos em filossilicatos da área Guinho-Baixão (SOLEDADE, 2007), enquanto que suas razões Zr/Hf mais altas aproximam-se daquelas encontradas em zircões de granitos não especializados (Figura 30).



★ Assinatura Zr/Hf média dos zircões dos granitos encaixantes dos epissienitos

Área mineralizada Queixada:

- 1- Biotita-álcali feldspato-granito grosso a médio
- 2- Biotita-álcali feldspato-granito fino
- 3- Epissienito sódico
- 4- Esfalerita-topázio-fengita-quartzo-greisen
- 5- Topázio-quartzo-mica-greisen

Área mineralizada Guinho-Baixão:

- 6- Granito rapakivi
- 7- Siderofilita-topázio-quartzo-greisen
- 8- Clorita-fengita-quartzo-greisen
- 9- Clorita-fengita-quartzo-greisen
- 10- Fluorita-fengita-quartzo-greisen

Figura 30: Diagrama mostrando a variação das razões Zr/Hf encontradas em zircões das rochas graníticas e epissieníticas do furo F18-GB, comparadas às razões encontradas em zircões de granitos, greisens e epissienitos sódicos de várias províncias estaníferas da Amazônia. Abreviaturas das rochas do furo F18-GB, conforme a Figura 29.

Fonte: Modificado de Lamarão et al (2007) e Soledade (2007).

Seus cristais são euédricos, com terminações em bipirâmide, muito fraturados e seguidamente corroídos. Na maioria deles, foi realizada somente uma análise por cristal; porém, em um dos cristais com nítido zoneamento composicional o núcleo revelou conteúdo de Hf mais elevado do que o da sua borda. Além disso, há que se ressaltar que as menores razões Zr/Hf detectadas nestes cristais coincidem com as razões médias dos zircões do biotita-granito e esfalerita-topázio-fengita-quartzo-greisen da área Queixada (Figura 30);

(3) Os zircões do epissienito potássico e epissienito sódico do furo F18-GB apresentam variações similares das razões Zr/Hf, com valores médios variando entre 23,5 e 23,8, enquanto que os zircões do epissienito sódico greisenizado apresentam uma variação menor e razão Zr/Hf média de 27,5. No entanto, foram observadas algumas particularidades nos zircões estudados:

- (a) No EpsNa ocorrem zircões com características geoquímicas contrastantes. Alguns cristais, euédricos e zonados, possuem conteúdos de Hf mais elevados no centro do que na borda, enquanto que uma segunda população, mais restrita, formada por cristais fracamente zonados, mostra razões Zr/Hf decrescentes em direção às suas bordas;
- (b) Já em alguns zircões euédricos, fortemente zonados e muito fraturados e corroídos do EpsNaG, observam-se feições indicativas de sobrecrescimento ao redor de um núcleo residual magmático mais escuro (Figuras 21 A e D), cuja concentração de Hf é inferior ao da sua borda. Outra hipótese seria admitir que o núcleo destes cristais tivesse sua assinatura magmática modificada pela ação de fluidos ao longo de fraturas. Um fato sugestivo é a presença de cristais anédricos de fluorita e siderofilita precipitados no núcleo de alguns zircões (Figuras 21 A e C);
- (c) No EpsK, os zircões estão muito fraturados e corroídos, com manchas internas (*patchy internal structures*) irregularmente distribuídas (figura 22C), com elevados conteúdos de Hf (5,48 – 4,79%). Além disso, vários cristais apresentam núcleos mais escuros e com menores conteúdos em Hf do que suas bordas.

A avaliação global destes resultados sugere que as razões médias Zr/Hf (23,2 a 30,2) dos zircões do GPf, GPmg e GEmg refletem a sua assinatura magmática. Estes valores são inferiores ou próximos da razão média Zr/Hf do zircão do granito rapakivi, encaixante dos greisens da área Guinho-Baixão. No EpsNa, os zircões euédricos zonados (figuras 19 A e B), com o núcleo mais enriquecido em Hf que sua borda, predominantes, aparentemente não foram afetados pela epissienitização, e preservaram a sua assinatura magmática. No entanto, a ocorrência de bordas mais enriquecidas em Hf, nos cristais fracamente zonados, parece

marcar uma assinatura superimposta pela transformação hidrotermal. No EpsNaG, por sua vez, a presença de zircões fraturados, com bordas mais claras e conteúdos de Hf mais elevados do que seus núcleos escuros e corroídos, sugere que os fluidos envolvidos na greisenização do EpsNa modificaram a sua assinatura geoquímica original. Os zircões do EpsK cujos núcleos apresentam-se escuros, fraturados e corroídos mostram, sistematicamente, baixas concentrações de Hf em relação às bordas, exceto nas regiões claras (manchas) ricas em Hf, geradas pela infiltração de fluidos hidrotermais (figuras 22 B e C). Desta forma, a epissienitização potássica também modificou a assinatura geoquímica magmática dos zircões de seus protólitos.

Com base nesta reflexão, avalia-se que os zircões presentes nos greisens e epissienitos sódicos, estudados por Soledade (2007), são fases magmáticas remanescentes, indicando alta resistência à ação dos fluidos associados à gênese dos depósitos hidrotermais estaníferos. Na área Guinho-Baixão, o processo de greisenização, apesar de ter sido causado por fluidos extremamente ricos em F, foi incapaz de afetar a estrutura interna dos zircões do granito rapakivi encaixante, cuja assinatura Zr/Hf média elevada é compatível com seu caráter geoquímico menos evoluído. Na área Queixada, as menores razões médias Zr/Hf detectadas nos zircões de greisens e epissienitos sódicos refletem a assinatura magmática do topázio-granito, mais evoluído e especializado do que o granito rapakivi da área Guinho.

Em contrapartida, os processos hidrotermais que afetaram as rochas graníticas caracterizadas no furo F18-GB foram mais eficazes a ponto de causarem mudanças mais significativas na assinatura geoquímica magmática dos zircões. A formação de manchas irregulares (*patchy internal structures*) com elevados conteúdos de Hf em zircões do epissienito potássico foi resultante da infiltração de fluidos através de fraturas, ocasionando uma diminuição global nas razões médias Zr/Hf. Além disso, nos epissienitos greisenizados, cristais fraturados e corroídos, com núcleos escuros, apresentando menor intensidade de catodoluminescência, revelaram menores conteúdos em Hf do que suas bordas mais claras, muito provavelmente marcando, também, uma assinatura adquirida durante os estágios hidrotermais. Os mesmos fluidos que causaram a desestabilização destes zircões no EpsNaG e EpsK desencadearam o processo de precipitação de cassiterita nestas rochas.

9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo petrográfico do furo F18-GB permitiu a caracterização de sete variedades de rochas. A litologia predominante, encaixante das rochas hospedeiras dos depósitos estaníferos neste furo, é um granito porfirítico médio a grosso (GPmg), com textura rapakivi piterlítica localizada. Apresenta contato gradacional com um granito equigranular médio a grosso (GEmg) e é intrudido por um granito porfirítico fino (GPf). Estas três variedades petrográficas não possuem anfibólio em sua composição, o que as diferencia do granito encaixante dos greisens e epissienitos potássicos descritos por Borges (1997, 2002) na mesma área mineralizada Guinho-Baixão.

O GPmg também é intrudido pelo topázio-albita-granito (TAbG) em diferentes níveis ao longo do furo e, ao que tudo indica, este evento intrusivo originou os fluidos hidrotermais envolvidos nos processos de epissienitização e greisenização caracterizados neste estudo.

O processo hidrotermal mais expressivo na área é a epissienitização sódica. O epissienito sódico (EpsNa) é uma rocha leucocrática, rica em albita *chessboard*, formada pela substituição do feldspato alcalino perítico do GPmg, e com cavidades geradas pela dissolução do quartzo magmático e preenchidas por albita em ripas (*laths*), quartzo, hematita, ilmenita, xenotímio, cassiterita, rutilo e titanita. Fraturas tardias cortam estas cavidades e são preenchidas por fluorita e berilo.

Em alguns níveis, o EpsNa encontra-se greisenizado (EpsNaG), quando a albita é desestabilizada e substituída por uma associação formada por quartzo, siderofilita, fengita, esfalerita, clorita, fluorita e topázio. A cassiterita ocorre associada ao estágio de formação da siderofilita marrom, rica em Al_2O_3 , quimicamente semelhante à siderofilita de granitos mais evoluídos e greisens estaníferos presentes em outras áreas mineralizadas do pluton Água Boa.

O processo de epissienitização potássica gera uma rocha (EpsK) rica em adulária, clorita e hematita, com resquícios de feldspato perítico e com cavidades preenchidas por quartzo euédrico, fluorita e fengita, além de agregados de cassiterita anédrica precipitada durante o principal estágio de cloritização do EpsK.

Apesar de mais restrita que a epissienitização, a greisenização foi o principal processo mineralizante na área estudada. As maiores concentrações de cassiterita estão associadas ao epissienito sódico greisenizado e ao epissienito potássico. Esta última rocha parece ter sido afetada por fluidos tardios que propiciaram a formação de clorita e hematita em grande quantidade, provavelmente em decorrência da ação de fluidos de baixa temperatura e alta fugacidade de oxigênio, comuns em algumas zonas da área mineralizada Guinho-Baixão.

A caracterização textural e química preliminar dos zircões dos granitos e epissienitos indica que houve mudanças significativas na sua assinatura magmática durante os estágios de epissienitização potássica e de greisenização do epissienito sódico. Durante estes processos, os zircões magmáticos foram desestabilizados pela reação com fluidos ao longo de fraturas, gerando zonas de bordas relativamente mais enriquecidas em Hf que seus núcleos, modificando a assinatura magmática. Isto fica bem marcado pelas texturas apresentadas pelos cristais de zircão através de imagens de catodoluminescência, em que a borda apresenta maior intensidade de CL do que o núcleo. Nos zircões do epissienito potássico, houve formação de zonas irregulares ricas em Hf (*patchy internal structures*), resultando, também, na diminuição das razões Zr/Hf. Durante o estágio de epissienitização sódica, os fluidos hidrotermais não foram efetivos o suficiente para modificar a composição química original dos zircões dos seus protólitos, a não ser localmente.

A fase magmática mais tardia nesta área está representada pelo topázio-albita-granito, rocha texturalmente similar ao albita-granito Madeira, mas de afinidade geoquímica peraluminosa, conforme sugerida pela presença de topázio magmático. A separação de uma ou mais fases fluidas deste líquido magmático mais evoluído, seria, em tese, o processo que teria dado origem à formação dos epissienitos, em um intervalo de temperatura mais alto e, tardiamente, à greisenização do epissienito sódico, culminando com a cloritização do epissienito potássico e com a formação de halos de oxidação nas porções mais fraturadas do GPmg.

Uma vez que o topázio-albita-granito ocorre na base do furo F18-GB, é muito provável que sua ocorrência seja mais expressiva em profundidade e, também, em outras áreas do pluton Água Boa, o que demanda uma investigação mais detalhada no futuro. Esta rocha é diferente do albita-granito Madeira, que apresenta afinidade peralcalina e mineralizado em cassiterita magmática. O topázio-albita-granito está sendo descrito pela primeira vez no distrito mineiro Pitinga e sua relação com o granito porfirítico fino ainda é desconhecida, mas, provavelmente, representa a fase mais evoluída do líquido magmático associado à cristalização da fácies topázio-granito do pluton Água Boa.

A despeito dos avanços obtidos nas últimas duas décadas ainda são necessários estudos futuros mais detalhados, com enfoque em geoquímica, inclusões fluidas e isótopos estáveis, a fim de caracterizar melhor a fonte dos fluidos hidrotermais responsáveis pela geração dos depósitos hidrotermais estaníferos em Pitinga.

REFERÊNCIAS

BASTOS NETO, A.C.; PEREIRA, V.P.; LIMA, E.F.; FERRON, J.M.T.M.; MINUZZI, O.R.R.; PRADO, M.; RONCHI, L.H.; FLORES, J.A.A.; FRANTZ, J.C.; PIRES, A.C.; PIEROSAN, R.; HOFF, R.; BOTELHO, N.F.; ROLIM, S.B.; ROCHA, F. e ULMANN, L. A jazida de criolita da Mina Pitinga (Amazonas). In: O.J.MARINI; E.T. QUEIROZ e B.W. RAMOS (orgs.). **Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia**. Brasília: DNPM/CT-MINERAL/ADIMB, 2005, p. 477-552.

BASTOS NETO, A.C.; PEREIRA, V.P.; RONCHI, L.H.; LIMA, E.F.; FRANTZ, J.C.; The world-class Sn, Nb, Ta, F (Y, REE,Li) deposit and the massive criolite associated with the albite-enriched facies of the Madeira A-tipe Granite, Pitinga mining district, Amazonas state, Brazil. **Canadian Mineralogist**, v. 47, p.1329-1357. 2009.

BELOUSOVA, E.A; GRIFFIN, W.L. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type. **Contrib. Mineral. Petrol.**, v.143, p.602-622. 2002.

BORGES, R.M.K. **Petrografia e química mineral dos greisens associados ao Granito Água Boa - Mina Pitinga (AM)**: Um estudo dos processos de formação de greisens. 1997. 190f. Dissertação (Mestrado em Geologia)-Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 1997.

BORGES, R.M.K. **Greisens e epissienitos potássicos associados ao Granito Água Boa, Pitinga (AM)**: Um estudo dos processos hidrotermais geradores de mineralizações estaníferas. 2002. 383f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia)- Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2002.

BORGES, R.M.K., DALL'AGNOL, R., COSTI, H.T. Geologia, petrografia e química mineral das micas dos greisens estaníferos associados ao plúton Água Boa, Pitinga (AM). **Revista Brasileira de Geociências**, v.33, n.1, p.51-62. 2003.

BORGES; R.M.K.; VILLAS, R.N.N.; FUZIKAWA, K.; DALL'AGNOL, R.; PIMENTA; M.A. Phase separation, fluid mixing, and origin of the greisens and potassic episyenite associated with the Água Boa pluton, Pitinga tin province, Amazonian Craton, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v.27, p.161-183. 2009.

COSTI, H.T. **Petrologia de granitos alcalinos com alto flúor mineralizados em metais raros**: o exemplo do albite-granito da Mina de Pitinga, Amazonas, Brasil. 2000. 340f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia)- Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2000.

COSTI, H.T., DALL'AGNOL, R., MOURA, C.A.V. Geology and Pb–Pb geochronology of Paleoproterozoic volcanic and granitic rocks of Pitinga Province, Amazonian Craton, Northern Brazil. **International Geology Review**, v.42, p.832–849. 2000.

COSTI, H.T.; DALL'AGNOL R.; BORGES R.M.K.; MINUZZI O.R.R.; TEIXEIRA J.T. Tin-bearing sodic epysienites associated with the Proterozoic, A-type Água Boa granite, Pitinga mine, Amazonian craton, Brazil. **Gondwana Research**, v.5, p.435-451. 2002.

COSTI, H.T.; BORGES, R.M.K.; DALL'AGNOL R. Depósitos de estanho da Mina Pitinga, Estado do Amazonas. In: MARINI, O.J.; QUEIROZ, E.T.; RAMOS, B.W. (eds.). **Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia**. Brasília: DNPM/CT-MINERAL FINEP/ADIMB, 2005, p. 391-475.

COSTI, H.T.; VALÉRIO, C. S.; ALVES, M.A.S.; VALMIR, S. S. Overview of the geology of southernmost Guyana Shield, north of Presidente Figueiredo district, NE Amazonas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 11., 2009, Manaus. **resumos...** Manaus: SBG-N, 2009. Não paginado.

FEIO, G.R.L. **Petrografia e geoquímica dos greisens associados ao topázio-granito do pluton Água Boa, Província Estanífera de Pitinga (AM)**. 2007. 132f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia)- Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2007.

FEIO, G.R.L., DALL'AGNOL, R., BORGES, R.M.K. Greisens associados ao topázio-granito do pluton Água Boa, Província Estanífera de Pitinga: petrografia e balanço de massa. **Revista Brasileira de Geociências**, v.37,n.3,p. 607–624. 2007.

FERRON, J.M.T.M. **Geologia regional e geocronologia Pb-Pb de rochas graníticas e vulcânicas paleoproterozóicas da Província de Pitinga, Craton amazônico**. 2006. 198f. Tese (Doutorado em Geociências)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre, 2006.

FERRON, J.M.T.M.; BASTO NETO, A.C.; LIMA, E.F.; COSTI, H.T.; MOURA, C.A.V.; PRADO, M.; PIEROSAN, R.; GALARZA, M.A. Geologia e geocronologia Pb-Pb de rochas graníticas e vulcânicas ácidas a intermediária paleoproterozóica da Província Pitinga, Craton Amazônico. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.36,n.3. p. 499-512, set. 2006.

FRANK, R. E. **Geologia, petrologia e mineralizações estaníferas do complexo granítico de Santa Bárbara, Rondônia – Brasil**. 1990.259f. Dissertação (Mestrado em Geologia)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990.

KEMPE, U.; GRUNER, T.; RENNO, A.D.; WOLF, D.; Hf-rich zircon in rare-metal bearing granites: Magmatic or metasomatic origin? In: Papunen, H. (eds.). **Mineral Deposits: Research and Exploration**. Rotterdam, Balkema, p.643-646. 1997.

KEMPE, U.; GRUNER, T.; RENNO, A.D.; WOLF, D.; RENÉ, M. Discussion on Wang et al. (2000) "Chemistry of Hf-rich zircons from the Laoshan I- and A-type granites, Eastern China". **Mineral Magazine**, v.64, p.867-877. 2004.

KRETZ, R. Symbols for rock-forming minerals. **American Mineralogist**, v. 68, p. 277-279. 1983.

LAMARÃO, C. N., DALL'AGNOL, R., SOLEDADE, G. L., SILVA, J. S. Variações composicionais de zircão em granitos anorogênicos proterozóicos do Cráton Amazônico: implicações metalogenéticas. **Revista Brasileira de Geociências, São Paulo**, v.37, n.4, p.693-704, dez. 2007.

LEITE JR., W. B. **A Suíte Intrusiva Santa Clara (RO) e a mineralização primária polimetálica (Sn, W, Nb, Ta, Zn, Cu e Pb) associada**. 2002.305f. Tese (Doutorado em Geologia)- Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

LENHARO S.L.R. **Evolução magmática e modelo metalogenético dos granitos mineralizados da região de Pitinga, Amazonas, Brasil**. 1998. 290f. Tese (Doutorado em geologia)- Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, 1998.

MINUZZI, O. R. R. **Gênese e evolução da mineralização de criolita, pirocloro e columbita da subfácies albita granito de núcleo, Mina Pitinga, Amazonas, Brasil**. 2005. 229f. Tese (Doutorado em Geociências)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre, 2005.

PINHO, S. C. C. **Geologia, petrografia, geoquímica do granito Bom Jardim, região de São Félix do Xingu, Província Mineral de Carajás**. 2009. 121f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia)-Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2009.

PRADO, M. **O Granito Europa e o Grupo Iricoumé na parte leste do Distrito Mineiro de Pitinga**. 2006. 95f. Dissertação (Mestrado em Geologia)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre, 2006.

SANTOS, J.O.S.; HARTMANN, L.A.; GROVES, D.I.; MCNAUGHTON, N.J.; PLETCHER, L.R.A. New understanding of the Provinces Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. **Gondwana Research**, v.3, n.4, p. 453-488. 2000.

TASSINARI, C.C.G.; MACAMBIRA, M.J.B. Geochronological provinces of the Amazonian craton. **Episodes**, v.22, n.3, p.174-182.1999.

TEIXEIRA, N. P. **Contribuição ao estudo das rochas granitóides e mineralizações associadas da Suite Intrusiva Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará.**1999.508f. Tese (Doutorado em Geologia)-Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo,1999.

SOLEDADE, G. L. **Estudo de zircões de rochas granitóides e greisens mineralizados em cassiterita da Província Estanífera de Pitinga, Manaus, através de microscopia eletrônica de varredura.** Pará, Belém: PIBIC/CNPq /UFPA, 2007. 25p. (Relatório Técnico - Científico).

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

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

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

ANEXOS

Anexo A: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de biotita do granito porfirítico fino.

Biotita				
Amostra	F18-01	F18-01	F18-01	F18-01
	spec 1	spec 2	spec 4	spec 5
SiO ₂	40,05	40,62	38,94	39,55
Al ₂ O ₃	15,20	15,20	15,63	15,36
FeO	34,87	36,37	36,52	36,73
MgO	0,78	0,66	0,79	0,75
K ₂ O	10,26	10,00	10,15	10,25

Anexo B: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de quartzo do granito porfirítico fino.

Quartzo								
Amostra	F18-01	F18-01	F18-01	F18-01	F18-01	F18-01	F18-01	F18-01
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5	spec 6	spec 7	spec 8
O	49,16	48,78	48,32	49,21	49,39	49,96	49,22	49,16
Al	0,17	0,22	0,23	0,20	0,15	0,20	0,28	0,17
Si	50,61	50,88	51,37	50,50	50,40	49,74	50,46	50,63
Ti	0,07	0,13	0,09	0,09	0,07	0,10	0,04	0,05

Anexo C: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de zircão do granito porfirítico fino.

Zircão										
Amostra	F18-01	F18-01	F18-01	F18-01	F18-01	F18-01	F18-01	F18-01	F18-01	F18-01
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5	spec 6	spec 7	spec 8	spec 9	spec 10
SiO ₂	26,80	26,30	26,90	26,59	27,09	26,99	26,60	26,89	27,09	26,91
ZrO ₂	70,74	69,56	70,12	69,08	69,55	69,82	69,59	70,25	70,02	70,41
HfO ₂	2,13	2,77	3,08	3,44	2,86	2,63	3,41	2,47	2,57	2,31
ThO ₂	0,10	0,09	0,09	0,33	0,22	0,18	0,06	0,06	0,14	0,17
UO ₂	0,23	0,11	0,18	0,57	0,28	0,37	0,34	0,33	0,17	0,20
Zr/Hf	28,76	21,79	19,70	17,41	21,04	22,95	17,66	24,61	23,57	26,36

Anexo D: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de fluorita do granito porfirítico fino.

Fluorita			
Amostra	F18-01	F18-01	F18-01
	spec 1	spec 2	spec 3
F	41,51	41,18	38,79
Al	0,01	0,02	0,02
Ca	58,13	57,53	60,58
Y	0,35	1,26	0,61

Anexo E: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de monazita do granito porfirítico fino.

Monazita				
Amostra	F18-01	F18-01	F18-01	F18-01
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,01
SiO ₂	0,67	0,93	1,29	1,48
P ₂ O ₅	37,89	39,36	39,60	38,20
FeO	0,00	0,00	0,00	0,33
Ce ₂ O ₃	56,79	53,77	57,65	57,08
Sm ₂ O ₃	2,42	3,03	1,28	2,90
Gd ₂ O ₃	4,28	3,76	1,91	2,36

Anexo F: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de biotita do granito porfirítico médio a grosso.

Biotita					
Amostra	F18-05	F18-05	F18-05	F18-05	F18-05
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5
SiO ₂	37,92	37,38	38,15	37,65	37,41
TiO ₂	3,20	3,41	3,54	3,17	3,15
Al ₂ O ₃	12,94	12,97	12,54	12,35	12,57
FeO	35,31	35,89	35,77	36,41	37,04
MgO	1,27	1,16	0,90	1,10	1,00
K ₂ O	9,36	9,19	9,23	9,31	8,83

Anexo G: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de ilmenita do granito porfirítico médio a grosso.

Ilmenita			
Amostra	F18-05	F18-05	F18-05
	spec 1	spec 2	spec 3
O	27,46	26,91	27,98
Ti	31,19	31,49	31,21
Mn	5,83	6,37	6,04
Fe	35,52	35,24	34,76

Anexo H: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de zircão do granito porfirítico médio a grosso.

Zircão		
Amostra	F18-05	F18-05
	spec 1	spec 2
SiO ₂	26,80	26,61
ZrO ₂	70,74	70,39
HfO ₂	2,13	2,80
ThO ₂	0,10	0,09
UO ₂	0,23	0,11
Zr/Hf	28,76	21,79

Anexo I: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de quartzo do granito porfírico médio a grosso.

Quartzo												
Amostra	F18-05	F18-05	F18-05	F18-05	F18-05	F18-05	F18-05	F18-05	F18-05	F18-05	F18-05	F18-05
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5	spec 6	spec 7	spec 8	spec 9	spec 10	spec 11	spec 12
O	46,17	46,50	46,32	46,59	46,95	46,77	46,04	46,37	46,74	46,57	46,60	46,71
Al	0,19	0,21	0,11	0,20	0,23	0,20	0,28	0,25	0,16	0,23	0,17	0,23
Si	53,12	52,99	53,38	52,78	52,55	52,74	53,25	53,15	52,82	52,79	52,91	52,70
Ti	0,12	0,08	0,06	0,14	0,05	0,07	0,06	0,07	0,08	0,13	0,08	0,09
Ge	0,40	0,22	0,13	0,29	0,22	0,23	0,37	0,16	0,20	0,29	0,25	0,27

Anexo J: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de biotita do granito equigranular médio a grosso.

Biotita											
Amostra	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 15	spec 6	spec 7	spec 8	spec 9	spec 10	spec 11
SiO ₂	42,44	41,38	41,73	42,31	42,32	40,36	41,66	42,03	41,81	40,68	41,42
TiO ₂	2,94	2,57	2,94	2,39	2,50	2,33	2,33	2,68	2,61	2,50	2,77
Al ₂ O ₃	16,92	18,56	17,00	17,50	16,86	17,17	18,21	17,79	17,43	18,11	17,50
FeO	26,40	27,61	27,01	26,03	27,59	29,92	26,84	26,75	27,10	28,68	27,47
MgO	2,40	2,33	2,06	2,55	1,99	2,17	2,38	2,46	2,23	2,14	1,91
K ₂ O	8,91	7,56	9,25	9,21	8,74	8,04	8,58	8,28	8,81	7,89	8,94

Anexo L: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de zircão do granito equigranular médio a grosso.

Zircão										
Amostra	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5	spec 6	spec 7	spec 8	spec 9	spec 10
SiO ₂	27,12	26,68	26,68	26,95	27,17	26,87	27,17	26,71	26,67	26,70
ZrO ₂	68,91	70,67	70,91	70,99	69,25	70,68	71,05	70,77	71,12	69,96
HfO ₂	3,40	2,26	2,11	1,63	2,92	2,18	1,44	2,00	1,78	2,97
ThO ₂	0,08	0,23	0,11	0,15	0,18	0,18	0,15	0,33	0,13	0,06
UO ₂	0,48	0,15	0,20	0,27	0,48	0,09	0,19	0,19	0,30	0,30
Zr/Hf	17,53	27,03	29,15	37,69	20,53	28,05	42,77	30,69	34,68	20,38

Continuação

Zircão											
Amostra	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03
	spec 11	spec 12	spec 13	spec 14	spec 15	spec 16	spec 17	spec 18	spec 19	spec 20	spec 21
SiO ₂	26,48	27,64	26,21	26,72	26,16	26,53	26,72	27,06	26,43	26,32	26,45
ZrO ₂	70,01	73,75	69,77	70,52	69,84	70,30	70,28	70,78	70,02	70,18	69,30
HfO ₂	2,20	2,13	2,12	1,79	2,11	1,79	2,17	1,43	1,98	1,75	2,95
ThO ₂	0,10	0,14	0,07	0,29	0,13	0,22	0,18	0,15	0,33	0,13	0,06
UO ₂	0,32	0,34	0,30	0,15	0,25	0,39	0,09	0,19	0,19	0,29	0,30
Zr/Hf	27,55	29,97	28,52	34,10	28,68	34,04	28,05	42,77	30,69	34,68	20,38

Anexo M: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de fluorita do granito equigranular médio a grosso.

Fluorita												
Amostra	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5	spec 6	spec 7	spec 8	spec 9	spec 10	spec 11	spec 12
F	42,66	43,29	43,33	43,33	41,05	42,26	43,34	43,65	43,14	41,59	43,39	41,59
Al	0,05	0,02	0,05	0,07	0,06	0,20	0,08	0,09	0,02	0,10	0,02	0,08
Ca	56,93	56,48	56,23	56,44	58,48	57,23	56,22	55,71	56,66	57,93	56,39	58,09
Y	0,36	0,22	0,39	0,16	0,40	0,31	0,36	0,55	0,18	0,38	0,20	0,24

Continuação.

Fluorita				
Amostra	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03
	spec 13	spec 14	spec 15	spec 16
F	41,85	40,84	41,75	41,01
Al	0,07	0,03	0,04	0,01
Ca	57,74	58,87	57,82	58,77
Y	0,34	0,27	0,40	0,21

Anexo N: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de ilmenita do granito equigranular médio a grosso.

Ilmenita												
Amostra	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5	spec 6	spec 7	spec 8	spec 9	spec 10	spec 11	spec 12
O	41,45	41,53	41,08	41,61	41,54	41,98	41,65	41,86	42,09	42,15	42,72	41,82
Ti	25,52	25,72	26,03	25,68	25,57	25,43	25,45	25,87	25,37	25,10	25,31	25,54
Mn	4,29	4,34	4,19	4,29	4,49	4,32	4,05	4,46	4,48	4,36	4,15	4,03
Fe	28,74	28,42	28,70	28,43	28,40	28,28	28,86	27,81	28,07	28,39	27,82	28,62

Continuação

Anexo O: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de magnetita do granito equigranular médio a grosso.

Ilmenita		
Amostra	F18-03	F18-03
	spec 13	spec 14
O	41,750	41,43
Ti	25,629	25,82
Mn	4,143	4,17
Fe	28,478	28,58

Magnetita			
Amostra	F18-03	F18-03	F18-03
	spec 1	spec 2	spec 3
O	36,54	37,63	38,15
Ti	0,14	0,13	0,18
Mn	0,18	0,23	0,10
Fe	63,15	62,01	61,57

Anexo P: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de monazita do granito equigranular médio a grosso.

Monazita										
Amostra	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5	spec 6	spec 7	spec 8	spec 9	spec 10
O	29,40	31,41	31,07	31,02	31,60	28,70	30,37	31,32	30,05	30,00
P	13,28	14,35	14,73	14,49	14,43	13,22	14,42	14,37	14,80	14,18
La	10,72	10,98	7,19	8,71	10,17	14,75	9,12	10,29	9,22	12,59
Ce	34,92	32,71	33,23	33,32	33,83	35,49	33,30	32,85	31,41	34,41
Pr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nd	8,93	9,09	12,11	10,77	9,36	7,28	11,26	10,04	12,20	7,45
Sm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
Eu	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44
Th	2,06	1,18	1,40	1,38	0,22	0,35	1,54	0,96	2,14	0,71
U	0,14	0,29	0,28	0,32	0,39	0,21	0,00	0,17	0,15	0,23

Anexo Q: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de xenotímio do granito equigranular médio a grosso.

Xenotímio					
Amostra	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5
O	36,42	35,67	36,45	33,21	35,36
P	17,34	17,03	17,70	17,27	16,85
Y	30,21	31,30	29,90	30,63	30,39
Gd	3,86	4,14	4,81	3,50	3,24
Tb	0,99	1,10	0,66	0,66	0,78
Dy	5,38	4,63	4,55	6,33	5,42
Ho	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Er	1,34	1,97	1,51	2,42	2,44
Tm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yb	1,49	1,65	1,27	1,91	2,30
Lu	0,24	0,00	0,30	0,00	0,00
Pb	2,22	2,11	2,38	3,21	2,51
Th	0,25	0,28	0,15	0,11	0,55
U	0,27	0,12	0,33	0,77	0,16

Anexo R: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de albita do topázio-albita-granito.

Albita					
Amostra	F18-22	F18-22	F18-22	F18-22	F18-22
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5
O	54,02	53,57	53,46	53,62	53,71
Na	7,37	7,75	7,65	7,64	7,63
Al	9,55	9,70	9,92	9,58	9,58
Si	28,88	28,68	28,60	28,93	28,86
K	0,07	0,09	0,05	0,12	0,11
Ca	0,04	0,09	0,23	0,04	0,02
Fe	0,08	0,11	0,09	0,08	0,09

Anexo S: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de K-feldspato do topázio-albita-granito.

K-feldspato				
Amostra	F18-22	F18-22	F18-22	F18-22
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4
O	51,28	51,46	51,35	51,61
Na	0,16	0,19	0,13	0,26
Al	9,47	9,22	9,45	9,25
Si	28,61	28,36	28,60	28,26
K	10,31	10,56	10,19	10,42
Ca	0,12	0,16	0,14	0,10
Fe	0,05	0,05	0,14	0,10

Anexo T: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de siderofilita do topázio-albita-granito.

Siderofilita											
Amostra	F18-22	F18-22	F18-22	F18-22	F18-22	F18-22	F18-22	F18-22	F18-22	F18-22	F18-22
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5	spec 6	spec 7	spec 8	spec 9	spec 10	spec 11
SiO ₂	47,67	49,40	48,57	49,30	47,93	48,71	48,27	48,35	50,29	48,93	49,28
TiO ₂	1,08	0,63	0,88	0,65	1,05	0,91	0,67	1,18	0,44	0,54	0,72
Al ₂ O ₃	24,44	24,74	24,19	24,63	24,56	23,90	24,93	24,38	24,56	24,62	24,72
FeO	17,79	15,85	16,92	16,16	17,03	16,80	16,80	17,19	15,82	16,26	16,12
MgO	0,14	0,13	0,25	0,09	0,24	0,05	0,17	0,15	0,15	0,06	0,05
K ₂ O	8,87	9,25	9,18	9,16	9,19	9,63	9,16	8,74	8,74	9,59	9,12

Anexo U: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de fengita do topázio-albita-granito

Fengita			
Amostra	F18-22	F18-22	F18-22
	spec 1	spec 2	spec 3
SiO ₂	54,91	54,15	54,50
TiO ₂	0,16	0,27	0,18
Al ₂ O ₃	26,91	27,77	26,83
FeO	8,54	7,99	8,51
MgO	0,14	0,37	0,28
K ₂ O	9,33	9,44	9,69

Anexo V: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de topázio do topázio-albita-granito.

Topázio						
Amostra	F18-22	F18-22	F18-22	F18-22	F18-22	F18-22
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5	spec 6
O	43,99	42,52	44,06	43,61	43,69	43,60
F	12,71	12,27	12,45	12,97	12,65	12,75
Al	28,12	29,24	28,22	28,29	28,23	28,37
Si	15,15	15,87	15,22	15,10	15,38	15,27
Cl	0,04	0,10	0,05	0,03	0,04	0,02

Anexo X: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de zircão do epissienito sódico.

Zircão										
Amostra	F18-19	F18-19	F18-19	F18-19	F18-19	F18-19	F18-19	F18-19	F18-19	F18-19
	Spec 1	Spec 2	Spec 3	Spec 4	Spec 5	Spec 6	Spec 7	Spec 8	Spec 9	Spec 10
ZrO ₂	67,94	67,78	67,00	67,90	68,03	68,48	69,69	69,24	67,91	68,84
SiO ₂	26,45	26,23	26,33	26,41	26,91	25,99	26,06	26,06	26,55	26,28
Y ₂ O ₃	1,89	1,52	2,11	1,32	1,03	1,73	1,55	1,61	1,41	1,32
HfO ₂	2,73	2,92	3,36	3,16	2,77	2,57	1,68	1,80	2,63	2,67
UO ₂	0,81	1,36	0,26	0,80	1,19	0,87	0,20	0,28	1,09	0,62
Nb ₂ O ₅	0,18	0,19	0,94	0,41	0,07	0,35	0,82	1,00	0,42	0,26
ThO ₂	0,27	0,22	0,15	0,43	0,47	0,16	0,19	0,22	0,10	0,30
Zr/Hf	21,52	20,12	17,29	18,59	21,27	23,09	36,01	33,28	22,40	22,37

Continuação.

Zircão							
Amostra	F18-19	F18-19	F18-19	F18-19	F18-19	F18-19	F18-19
	Spec 11	Spec 12	Spec 13	Spec 14	Spec 15	Spec 16	Spec 17
ZrO ₂	68,05	67,85	67,00	67,64	68,85	67,54	65,55
SiO ₂	26,22	26,80	26,05	26,42	25,50	27,21	25,70
Y ₂ O ₃	1,53	1,47	1,41	0,70	1,65	1,53	1,14
HfO ₂	3,14	2,45	4,15	3,60	2,30	2,37	5,99
UO ₂	0,71	0,83	0,28	0,51	0,23	0,95	0,54
Nb ₂ O ₅	0,34	0,61	1,10	1,13	1,47	0,40	1,07
ThO ₂	0,27	0,11	0,27	0,12	0,21	0,20	0,23
Zr/Hf	18,75	23,99	13,97	16,26	25,87	24,69	9,48

Anexo Z: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de titanita do epissienito sódico.

Titanita				
Amostra	F18-18	F18-18	F18-18	F18-18
	Spec 1	Spec 2	Spec 3	Spec 4
O	38,03	38,65	37,31	38,21
Al	1,31	0,45	0,32	*
Si	15,80	15,60	15,86	15,87
Ca	21,45	20,84	21,30	20,96
Ti	20,39	20,04	22,11	23,57
Fe	3,03	4,42	3,09	1,39

Anexo AA: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de rutilo do epissienito sódico.

Rutilo				
Amostra	F18-18	F18-18	F18-18	F18-18
	Spec 1	Spec 2	Spec 3	Spec 4
O	36,67	36,97	38,46	36,08
Ti	62,11	60,88	61,54	63,92
Nb	1,22	2,15	*	*

*Não analisado.

Al ₂ O ₃	24,40	24,50	25,77	24,58	25,38	17,34	17,70	17,87	17,76	13,19	18,16	18,53	18,93	17,23
FeO	17,81	17,86	17,75	17,21	16,97	33,50	32,31	32,32	31,30	35,11	30,07	29,15	29,00	30,80
MgO	0,55	0,30	0,30	0,41	0,17	0,19	0,33	0,18	0,24	0,19	0,22	0,15	0,31	0,22
K ₂ O	9,11	9,25	9,21	9,33	9,26	9,60	9,66	10,05	10,18	7,36	9,89	10,28	9,96	9,39

*Não analisado.

Anexo CC: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de clorita do epissienito sódico greisenizado.

Clorita													
Amostra	F18-04							F18-11					
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5	spec 6	spec 7	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5	
SiO ₂	31,61	30,20	30,26	30,77	31,38	29,86	30,93	24,95	24,70	25,52	24,88	23,41	
TiO ₂	0,16	0,24	0,21	0,22	0,27	0,30	0,14	*	*	*	*	*	
Al ₂ O ₃	25,63	24,79	25,96	26,26	25,85	24,84	25,80	18,45	19,51	19,14	19,22	19,10	
FeO	41,75	44,37	43,13	42,40	41,92	44,53	42,13	50,58	49,37	49,86	49,94	51,74	
MgO	0,29	0,23	0,34	0,24	0,45	0,29	0,21	2,30	2,76	2,26	2,64	2,19	
K ₂ O	0,56	0,17	0,09	0,11	0,13	0,17	0,79	*	*	*	*	*	
Nb ₂ O ₅	*	*	*	*	*	*	*	1,25	1,38	1,05	1,14	1,30	
Ta ₂ O ₅	*	*	*	*	*	*	*	2,47	2,29	2,17	2,19	2,27	

Continuação.

Clorita		
Amostra	F18-11	
	spec 6	spec 7
SiO ₂	22,92	24,67
TiO ₂	*	*
Al ₂ O ₃	18,45	19,04
FeO	53,36	49,86
MgO	1,36	2,92
K ₂ O	*	*
Nb ₂ O ₅	1,42	1,29
Ta ₂ O ₅	2,48	2,22

*Não analisado.

Anexo EE: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de adulária do epissienito sódico greisenizado

Adulária						
Amostra	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5	spec 6
O	51,19	50,53	51,35	51,14	51,38	50,9
Na	0,28	0,28	0,17	0,19	0,27	0,24
Al	9,48	9,56	9,24	9,51	9,09	9,44
Si	28,31	28,99	28,53	28,31	28,61	28,83
K	10,52	10,45	10,5	10,53	10,39	10,38
Ca	0,1	0,11	0,11	0,17	0,13	0,12
Fe	0,13	0,08	0,11	0,16	0,13	0,1

Anexo DD: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de fengita do epissienito sódico greisenizado.

Fengita							
Amostra	F18-04						
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5	spec 6	spec 7
SiO ₂	41,78	39,71	40,13	38,02	37,90	36,10	41,09
TiO ₂	0,34	0,32	1,41	0,70	0,79	0,55	1,27
Al ₂ O ₃	24,15	22,76	19,26	22,96	21,40	22,96	21,67
FeO	24,93	28,99	30,63	31,99	33,93	34,56	26,52
MgO	0,15	0,25	1,41	0,48	0,66	0,67	0,46
K ₂ O	8,65	7,97	7,16	5,85	5,33	5,15	9,00

Anexo FF: Co Composições químicas semiquantitativas (EDS) de fluorita do epissienito sódico greisenizado

Fluorita							
Amostra	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5	spec 6	spec 7
F	43,16	42,24	42,57	42,46	43,27	42,87	42,69
Al	0,22	0,07	0,16	0,07	0,05	0,09	0,11
Ca	55,99	57,37	56,74	57,03	55,99	56,26	56,53
Y	0,63	0,32	0,53	0,43	0,69	0,79	0,67

Anexo GG: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de esfalerita do epissienito sódico greisenizado.

Esfalerita											
Amostra	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5	spec 6	spec 7	spec 8	spec 9	spec 10	spec 11
S	40,13	40,34	41,80	39,39	38,88	40,07	39,28	40,20	39,92	39,97	39,58
Fe	2,55	3,14	3,07	3,46	3,65	3,53	2,95	3,75	3,58	3,50	3,56
Cu	0,50	0,30	0,40	0,36	0,16	0,23	0,32	0,44	0,27	0,17	0,43
Zn	56,25	55,83	54,03	56,32	56,51	55,81	56,99	55,14	55,75	55,96	55,95
Sn	0,58	0,39	0,71	0,48	0,80	0,36	0,46	0,47	0,49	0,41	0,48

Esfalerita				
Amostra	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04
	spec 12	spec 13	spec 14	spec 15
S	39,89	39,79	40,04	40,09
Fe	2,46	3,84	3,37	3,08
Cu	0,23	1,53	0,40	0,43
Zn	56,64	54,41	55,65	55,56
Sn	0,78	0,42	0,54	0,85

Anexo HH: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de cassiterita do epissienito sódico greisenizado.

Cassiterita											
Amostra	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5	spec 6	spec 7	spec 8	spec 9	spec 10	spec 11
SnO ₂	96,98	97,04	97,58	96,49	97,06	97,42	95,65	96,59	96,02	97,05	96,57
Ta ₂ O ₅	1,61	1,69	1,98	1,59	1,71	1,88	1,88	1,83	1,69	1,09	1,81
Nb ₂ O ₅	0,41	0,23	0,21	0,19	0,23	0,23	0,43	0,32	0,14	0,12	0,80
ZnO	0,24	0,22	0,17	0,25	0,27	0,41	0,36	0,26	0,38	0,29	0,20

Continuação.

Fe ₂ O ₃	0,33	0,34	0,29	0,21	0,23	0,31	0,23	0,33	0,37	0,57	0,39
Cassiterita											
Amostra	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04	F18-04						
	spec 12	spec 13	spec 14	spec 15	spec 16						
SnO ₂	97,22	97,03	98,13	98,46	99,92						
Ta ₂ O ₅	1,96	2,30	1,59	1,57	1,61						
Nb ₂ O ₅	0,39	0,20	0,55	0,33	0,28						
ZnO	0,30	0,25	0,31	0,23	0,36						
Fe ₂ O ₃	0,44	0,43	0,30	0,60	0,40						

Anexo II: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de zircão do epissienito sódico greisenizado.

Zircão											
Amostra	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5	spec 6	spec 7	spec 8	spec 9	spec 10	spec 11
SiO ₂	26,58	26,39	27,23	27,20	26,74	27,05	26,97	26,95	26,86	26,80	26,84
ZrO ₂	70,39	70,59	70,08	70,27	70,33	69,94	70,48	70,50	70,04	70,76	70,69
HfO ₂	2,63	2,35	2,30	2,15	2,38	2,56	2,13	1,79	2,70	2,00	2,07
ThO ₂	0,03	0,13	0,13	0,17	0,37	0,15	0,09	0,22	0,25	0,14	0,07
UO ₂	0,37	0,54	0,25	0,21	0,18	0,30	0,33	0,21	0,15	0,30	0,33
Zr/Hf	23,18	26,05	26,36	28,25	25,58	23,67	28,69	34,07	22,51	30,67	29,56

Continuação.

Zircão											
Amostra	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03
	spec 12	spec 13	spec 14	spec 15	spec 16	spec 17	spec 18	spec 19	spec 20	spec 21	spec 22
SiO ₂	26,61	26,55	26,79	26,81	27,02	25,27	26,34	26,68	26,73	26,28	26,46
ZrO ₂	70,48	70,91	70,77	71,05	70,92	64,97	69,07	69,82	70,37	69,84	69,92
HfO ₂	2,32	2,11	2,07	1,78	2,47	1,43	1,94	2,19	1,76	1,84	2,64
ThO ₂	0,30	0,23	0,13	0,17	0,11	0,15	0,40	0,18	0,29	0,18	0,20
UO ₂	0,30	0,19	0,24	0,19	0,29	0,13	0,24	0,31	0,10	0,11	0,10
Zr/Hf	26,32	29,05	29,56	34,49	24,92	39,43	30,84	27,60	34,71	32,95	22,94

Zircão											
Amostra	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03
	spec 23	spec 24	spec 25	spec 26	spec 27	spec 28	spec 29	spec 30	spec 31	spec 32	spec 33
SiO ₂	26,94	27,36	26,83	25,86	26,58	26,61	27,34	27,32	27,16	26,95	26,74
ZrO ₂	70,84	70,46	69,98	70,30	70,66	69,93	69,46	69,64	69,93	70,18	70,32
HfO ₂	1,59	2,38	2,05	1,59	1,76	2,85	2,42	2,13	2,35	2,47	2,44
ThO ₂	0,23	0,10	0,16	0,30	0,15	0,21	0,20	0,48	0,09	0,06	0,36
UO ₂	0,23	0,26	0,20	0,21	0,21	0,39	0,58	0,43	0,47	0,35	0,13
Zr/Hf	38,56	25,66	29,60	38,18	34,71	21,23	24,85	28,25	25,73	24,63	24,94

Continuação.

Zircão											
Amostra	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03
	spec 34	spec 35	spec 36	spec 37	spec 38	spec 39	spec 40	spec 41	spec 42	spec 43	spec 44
SiO ₂	26,35	27,90	27,11	26,87	26,66	27,39	27,20	27,39	26,80	26,78	26,95
ZrO ₂	71,01	67,53	69,96	70,63	70,60	69,05	68,48	70,62	69,45	69,80	69,67
HfO ₂	2,06	3,67	2,30	1,91	2,36	2,55	3,79	1,65	2,15	2,26	1,88
ThO ₂	0,24	0,15	0,29	0,11	0,18	0,52	0,14	0,30	0,14	0,10	0,09
UO ₂	0,34	0,76	0,33	0,47	0,20	0,50	0,38	0,17	0,28	0,39	0,31
Zr/Hf	29,91	15,94	26,31	31,97	25,96	23,47	15,66	37,05	28,02	26,76	32,12

Zircão				
Amostra	F18-03	F18-03	F18-03	F18-03
	spec 45	spec 46	spec 47	spec 48
SiO ₂	26,57	25,94	26,82	26,65
ZrO ₂	70,42	69,69	70,00	69,54
HfO ₂	2,04	2,27	2,49	1,94
ThO ₂	0,08	0,04	0,16	0,22
UO ₂	0,31	0,37	0,19	0,16
Zr/Hf	29,88	26,55	24,33	31,05

Anexo JJ: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de adulária do epissienito potássico.

Adulária									
Amostra	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5	spec 6	spec 7	spec 8	spec 8
O	41,19	41,76	41,96	41,35	41,95	41,64	42,10	41,57	42,43
Al	9,86	9,87	9,79	9,90	9,99	9,78	9,89	10,10	9,80
Si	34,15	33,64	33,33	33,90	33,42	33,44	33,40	33,92	32,93
K	14,81	14,72	14,92	14,85	14,64	15,15	14,61	14,41	14,84

Anexo LL: Composições químicas semiquantitativas (EDS) EDS de fluorita do epissienito potássico.

Fluorita				
Amostra	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4
F	37,62	24,48	34,94	37,02
Ca	61,83	75,04	64,69	62,77
Y	0,55	0,49	0,37	0,21

Anexo MM: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de zircão do epissienito potássico.

Zircão													
Amostra	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17
	Spec 1	Spec 2	Spec 3	Spec 4	Spec 5	Spec 6	Spec 7	Spec 8	Spec 9	Spec 10	Spec 11	Spec 12	Spec 13
SiO ₂	26,13	5,54	26,55	25,58	26,14	26,33	25,76	26,03	26,3	25,96	26,19	26,32	25,29
ZnO ₂	70,99	86,97	69,89	68,86	70,01	70,7	70,35	70,12	71,31	71,07	70,81	67,39	68,31
HfO ₂	2,45	6,02	3,06	5,12	0,31	2,64	3,54	3,24	1,98	2,48	2,74	3,60	2,28
ThO ₂	0,1	0,98	0,05	0,1	0	0,06	0,07	0,06	0,1	0,2	0,07	0,21	0,00
UO ₂	0,34	0,49	0,44	0,34	0,01	0,27	0,29	0,55	0,31	0,29	0,18	0,65	0,29
Y ₂ O ₃	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,69	1,64
Nb ₂ O ₅	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,13	1,47
Ta ₂ O ₅	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0	0,73
Zr/Hf	25,10	12,51	19,78	11,65	12,80	23,20	17,21	18,75	31,19	24,82	22,38	16,23	25,93

Zircão													
Amostra	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17
	Spec 14	Spec 15	Spec 16	Spec 17	Spec 18	Spec 19	Spec 20	Spec 21	Spec 22	Spec 23	Spec 24	Spec 25	
SiO ₂	25,73	25,10	25,51	25,74	26,55	26,76	26,72	26,58	26,58	26,02	26,28	26,23	
ZnO ₂	69,01	68,56	68,91	68,38	67,12	67,58	68,29	65,77	67,88	66,89	66,89	67,64	
HfO ₂	1,66	2,42	1,69	1,78	3,14	2,56	1,90	4,63	2,83	4,15	3,35	3,24	
ThO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,34	0,42	0,15	0,25	0,09	0,10	0,26	
UO ₂	0,26	0,32	0,34	0,36	0,20	0,10	0,07	0,24	0,26	0,36	0,34	0,23	
Y ₂ O ₃	1,53	1,87	1,84	1,60	1,76	1,69	1,69	1,23	1,41	1,40	2,10	1,77	
Nb ₂ O ₅	0,80	0,73	0,91	0,99	1,07	0,97	0,90	1,39	0,79	1,10	0,94	0,65	
Ta ₂ O ₅	1,01	1,01	0,81	1,14	0	0	0	0	0	0	0	0	
Zr/Hf	35,99	24,56	35,41	33,20	18,52	22,83	31,20	12,31	20,78	13,96	17,29	18,07	

*Não analisado.

Continuação.

Zircão											
Amostra	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17
	Spec 26	Spec 27	Spec 28	Spec 29	Spec 30	Spec 31	Spec 32	Spec 33	Spec 34	Spec 35	Spec 36
SiO ₂	26,13	5,54	26,55	25,58	1,72	26,33	25,76	26,03	26,30	25,96	26,19
ZnO ₂	70,99	86,97	69,89	68,86	4,58	70,70	70,35	70,12	71,31	71,07	70,81
HfO ₂	2,45	6,02	3,06	5,12	0,31	2,64	3,54	3,24	1,98	2,48	2,74
ThO ₂	0,10	0,98	0,05	0,10	0,00	0,06	0,07	0,06	0,10	0,20	0,07
UO ₂	0,34	0,49	0,44	0,34	0,01	0,27	0,29	0,55	0,31	0,29	0,18
Y ₂ O ₃	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Nb ₂ O ₅	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Ta ₂ O ₅	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Zr/Hf	25,07	12,51	19,76	11,64	12,67	23,17	17,23	18,76	31,20	24,77	22,38

*Não analisado.

Anexo NN: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de clorita do epissienito potássico.

Clorita											
Amostra	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5	spec 6	spec 7	spec 8	spec 9	spec 10	spec 11
SiO ₂	26,50	26,89	26,85	27,32	27,30	27,36	27,03	27,11	24,95	24,70	25,52
Al ₂ O ₃	19,67	19,79	19,52	19,32	19,39	19,74	20,02	19,54	18,45	19,51	19,14
FeO	51,28	50,39	50,70	50,64	50,64	49,88	50,26	50,48	50,58	49,37	49,86
MgO	2,26	2,54	2,42	2,42	2,41	2,63	2,40	2,48	2,30	2,76	2,26
K ₂ O	0,13	0,14	0,13	0,13	0,12	0,15	0,07	0,13	*	*	*
TiO ₂	0,16	0,25	0,38	0,17	0,14	0,25	0,22	0,26	*	*	*
Nb ₂ O ₅	*	*	*	*	*	*	*	*	1,25	1,38	1,05
Ta ₂ O ₅	*	*	*	*	*	*	*	*	2,47	2,29	2,17

Continuação

Clorita				
Amostra	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17
	spec 12	spec 13	spec 14	spec 15
SiO ₂	24,88	23,41	22,92	24,67
Al ₂ O ₃	19,22	19,10	18,45	19,04
FeO	49,94	51,74	53,36	49,86
MgO	2,64	2,19	1,36	2,92
K ₂ O	*	*	*	*
TiO ₂	*	*	*	*
Nb ₂ O ₅	1,14	1,30	1,42	1,29
Ta ₂ O ₅	2,19	2,27	2,48	2,22

* Não analisado.

Anexo OO: Composições químicas semiquantitativas (EDS) de cassiterita do epissienito potássico.

Cassiterita											
Amostra	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17	F18-17
	spec 1	spec 2	spec 3	spec 4	spec 5	spec 6	spec 7	spec 8	spec 8	spec 9	spec 10
SnO ₂	97,12	97,95	98,32	97,77	97,86	98,07	97,71	94,06	97,33	97,22	98,03
Ta ₂ O ₅	1,75	1,59	1,02	1,63	1,47	1,41	1,58	2,40	1,54	1,34	1,32
Nb ₂ O ₅	0,14	0,05	0,09	0,13	0,24	0,31	0,31	0,00	0,21	1,12	0,35
ZrO ₂	0,57	0,13	0,26	0,15	0,06	0,00	0,10	3,30	0,38	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	0,41	0,28	0,31	0,32	0,36	0,20	0,30	0,24	0,53	0,32	0,30

Continuação

Cassiterita			
Amostra	F18-17	F18-17	F18-17
	spec 11	spec 12	spec 13
SnO ₂	98,09	97,70	97,66
Ta ₂ O ₅	1,28	1,37	1,62
Nb ₂ O ₅	0,16	0,40	0,04
ZrO ₂	0,22	0,11	0,36
Fe ₂ O ₃	0,25	0,42	0,32