

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE GEOCIÊNCIAS

GEOLOGIA E GÊNESE DAS OCORRÊNCIAS DE Ti, Nb e
ETR's NA SERRA REPARTIMENTO, RORAIMA

CARLOS ANDRÉS BALLESTEROS CAMARO

MANAUS

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE GEOCIÊNCIAS

CARLOS ANDRÉS BALLESTEROS CAMARO

GEOLOGIA E GÊNESE DAS OCORRÊNCIAS DE Ti, Nb e ETR's NA
SERRA REPARTIMENTO, RORAIMA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Geociências, área de concentração em Petrologia, Metalogênese e Evolução Crustal.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marta Edith Velásquez David

Co-Orientador: Prof. Dr. Carlos Alejandro Salazar

MANAUS

2017

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

B191g Ballesteros Camaro, Carlos Andrés
 GEOLOGIA E GÊNESE DAS OCORRÊNCIAS DE Ti, Nb e ETR's
 NA SERRA REPARTIMENTO, RORAIMA / Carlos Andrés
 Ballesteros Camaro. 2017
 174 f.: il. color; 31 cm.

 Orientador: Marta Edith Velásquez David
 Coorientador: Carlos Alejandro Salazar
 Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal
 do Amazonas.

 1. Complexo Alcalino Apiaú. 2. Graben Tacutu. 3. Serra
 Repartimento. 4. plutonismo alcalino. 5. rutilo. I. David, Marta Edith
 Velásquez II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

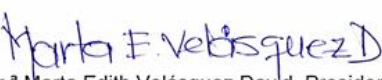
CARLOS ANDRES BALLESTEROS CAMARO

GEOLOGIA E GÊNESE DAS OCORRÊNCIAS DE TI, NB E ETR'S NA
SERRA REPARTIMENTO, RORAIMA

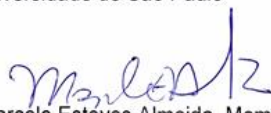
Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Geociências da Universidade Federal
do Amazonas, como requisito parcial
para obtenção do Título de Mestre
em Geociências, área de
concentração em Geociências.

Aprovado em 17 de maio de 2017.

BANCA EXAMINADORA


Prof.^a Dr.^a Marta Edith Velásquez David, Presidente.
Universidade Federal do Amazonas


Prof. Dr. Fábio Ramos Dias de Andrade, Membro.
Universidade de São Paulo


Geól. Dr. Marcelo Esteves Almeida, Membro.
CPRM/Manaus

Dedico este trabalho a minha mãe Martha,
pai Gilberto e irmã Paola. *Gracias por todo el
apoyo, constante e incondicional durante este
tiempo.*

AGRADECIMENTOS

Na realização deste projeto foram muitas as pessoas e instituições que ajudaram no sucesso do mesmo. Este trabalho é um reconhecimento para cada um deles

À CAPES pela bolsa, sem a qual não teria sido possível a permanência no Brasil.

À UFAM pelo ensino de qualidade recebido durante este tempo.

Aos meus orientadores, os professores Martha Edith Velásquez e Carlos Alejandro Salazar que me apoiaram no começo do mesmo, acreditaram em mim, e que durante o mestrado sempre estiveram dispostos, com grande paciência e apoio total no desenvolvimento da pesquisa.

À todos os professores do departamento de Geociências da UFAM com os quais cursei disciplinas, por sua dedicação ao ensino, e os conhecimentos adquiridos.

À companhia SGM Mineração por seu interesse no presente trabalho, pelo apoio logístico, campo e amostragem para a realização desta pesquisa. Principalmente, ao gerente geral, Sr. Paulo Amorim Orcioli e o geólogo Marcelo Almeida.

À CPRM em Manaus, pela disponibilidade dos seus técnicos, laboratórios e material para preparação das amostras. Em especial, a Vianey e Oscar pela ajuda na realização das lâminas delgadas.

Aos funcionários do laboratório de Microsonda Eletrônica, da UnB pelo suporte na realização das análises de química mineral.

Ao Alfredo Alexandrino, técnico do laboratório de técnicas mineralógicas da UFAM, pela ajuda sempre com a realização de MEV e DRX, por seu excelente trabalho, e rapidez para a elaboração das mesmas.

Ao laboratório de Inclusões Fluidas da UFPA pela ajuda na realização destas análises, em especial ao Prof. Regis Kras Munhoz pela disposição do laboratório e material. Também ao mestrando Rafael Guimarães pela ajuda fornecida durante as análises e após com as interpretações das mesmas.

À Angela Guerrero, minha “*amore*” e melhor amiga do mundo, pelo apoio infinito, incondicional e por sempre estar aí quando mais eu preciso. *Te quiero mucho.*

À minha amiga e colega colombiana Astrid Siachoque, pelas boas conversas de amizade em Manaus, Colômbia e também de São Paulo. Pelas conversas sob nossos projetos, por me escutar nos momentos de mais estresse e especialmente pelos conselhos e ajudas na etapa de mestrado. *Ayyy ya!*

Aos meus amigos da pós-graduação que estiverem comigo durante todo o processo, em especial a Katy Neves e Mônica Cortes, as “*agallentas*” rainhas, obrigado pelas muitas conversas, risos, e bons momentos em Manaus.

À minha amiga Pâmella Matos, do “*team* Serra Repartimento”, desde que ela estava acabando sua graduação e posteriormente colega de mestrado. Obrigado pelo carinho, apoio e por me escutar sempre.

À Johanna Rios, Eliana Jaramillo e Paty-Paty pela amizade, bons momentos e ajudas durante o processo de mestrado.

À minha família na Colômbia, em especial aos meus tios Victor, Patrícia e Luz Marina pelas ligações e mensagens de carinho nestes dois anos que fiquei longe de casa.

À minha sobrinha Mariana, pois desde que nasceu, nesta última etapa do mestrado, tem feito que este período seja mais feliz para mim com suas fotos, vídeos e áudios cheios de risos.

RESUMO

Nas rochas gnáissicas da Suíte Metamórfica Rio Urubu que afloram na Serra Repartimento, com foliação metamórfica S_n , e localmente com texturas meso a ultramilonítica, com foliação milonítica S_{n+1} , teriam sido geradas em condições de fácies anfibolito-granulito, em temperatura de pico metamórfico de $\sim 773^\circ\text{C}$ e pressão de $\sim 6,5$ Kbares. Plútons de gabbro sin-cinemáticos se acomodaram durante um evento tectonometamórfico no Orosiriano durante a ativação de zonas de cisalhamento, sendo que as condições de cristalização estiveram próximas de 1219°C e as do metamorfismo em fácies anfibolito com temperatura de $\sim 784^\circ\text{C}$ e pressão de $\sim 6,0$ Kbares. As rochas gnáissicas no Mesozoico foram afetadas por processos tafrogênicos, intrudidas por magmatismo alcalino associado à abertura do graben de Tacutu, e alteração hidrotermal derivadas da passagem de fluidos hidrotermais. Tais fluidos hidrotermais tardi-magmáticos relacionados ao plutonismo alcalino, ricos em Na, Ca, K, elementos incompatíveis e elementos em terras raras leves (ETRL), migraram e percolaram as rochas metamórficas, gerando enriquecimento em Ti a partir do metassomatismo alcalino nos gnáisses, e Nb e ETR's associados a fluidos alcalinos. Rutilo em veios, além de fluorapatitas e zircão, são minerais que contêm teores anômalos de desses elementos formados pelos processos de alteração hidrotermal. As características físico-químicas dos fluidos mostraram a existência da interação de pelo menos dois sistemas composicionais diferentes, um aquoso caracterizado pelo sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ e um aquocarbônico caracterizado pelo sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$. Esse fluido hidrotermal apresenta salinidade de até 22% em peso de NaCl, com maior concentração na faixa de 15 – 20%, com condições mínimas de aprisionamento a 457°C e 3,3 Kbares. As informações obtidas permitem inferir que a formação do minério na área da Serra Repartimento é resultado de um sistema magmático-hidrotermal, sendo a fonte magmática de caráter alcalino com transporte de complexos ligantes de F^- , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , HS^- e S^{2-} e metais (Ti, Nb e ETR's), provavelmente associado ao Complexo Alcalino Apiaú, e mobilizado em zonas de fratura associados a reativações das zonas de cisalhamento NE-SW e E-W durante a formação do graben de Tacutu.

Palavras chaves: Complexo Alcalino Apiaú, Graben Tacutu, Serra Repartimento, plutonismo alcalino, rutilo.

ABSTRACT

In the gneissic rocks of the Rio Urubu Metamorphic Suite that emerge in Serra Repartimento, with a metamorphic S_n foliation, and locally with meso to ultramylonitic textures, and mylonitic S_{n+1} foliation, would have been generated under conditions of amphibolite-granulite facies, at a metamorphic peak temperature of ~ 773 °C and pressure of $\sim 6,5$ Kbar. Syn-kinematics plutons of gabbros settled during a tectonometamorphic event in the Orosiriano during the activation of shear zones, with crystallization conditions close to 1219 °C and metamorphism in amphibolite facies with temperature of ~ 784 °C and pressure of $\sim 6,0$ Kbar. The Mesozoic gneiss rocks were affected by tectonogenic processes, intruded by alkaline magmatism associated with the opening of the Tacutu graben, and hydrothermal alteration derived from the flux of hydrothermal fluids. These hydrothermal post-magmatic fluids related to alkaline plutonism, rich in Na, Ca, K, incompatible elements and light rare earth elements (LREE), migrated and percolated the metamorphic rocks, generating enrichment in Ti and Nb. Rutile in veins, accompanied with fluorapatite and zircon, are minerals that enclose anomalous contents of these latter elements formed by processes of hydrothermal alteration. The chemical and physical characteristics of the fluids showed the existence of the interaction of at least two different compositional systems, an aqueous one characterized by the H_2O -NaCl system and an aquocarbonic characterized by the H_2O - CO_2 -NaCl system. This hydrothermal fluid presents salinity up to 22% by weight of NaCl, with a higher concentration in the range of 15-20%, with minimum entrapment conditions at 457 °C and 3.3Kbars. The information obtained allows us to infer that the formation of the ore in the Serra Repartimento area is a result of a magmatic-hydrothermal system, with an alkaline magmatic source, with the transport of complex bonds of F^- , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , HS^- e S^{2-} and metals (Ti, Nb and REE's), probably associated with the Apiaú Alkaline Complex, and mobilized in fracture zones associated with reactivations of the NE-SW and E-W shear zones during Tacutu graben formation.

Key words: Complexo Alcalino Apiaú, Graben Tacutu, Serra Repartimento, alkaline plutonism, rutile

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.....	18
Figura 2. Mapa de amostragem e localização de furos de sonda na área de estudo.....	21
Figura 3. Mapas aerogeofísicos utilizados neste trabalho com destaque na área de estudo	22
Figura 4. Modelo esquemático de blocos crustais e faixas limítrofes para o cráton amazônico segundo Hasui <i>et al.</i> (1984) e modificado de Costa & Hasui (1997).....	31
Figura 5. Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico segundo com área de estudo. (A) Tassinari & Macambira (2004) e (B) Santos <i>et al.</i> (2006).....	32
Figura 6. Figura esquemática dos domínios que abrangem o estado de Roraima segundo Reis <i>et al.</i> (2003), com destaque da área de estudo no Domínio Guiana Central.	33
Figura 7. Mapa geológico regional com destaque da área de estudo.	38
Figura 8. Interpretação de estruturas em escala regional com destaque para área de estudo a partir dos dados aerogeofísicos.....	39
Figura 9. Delimitação de corpos de composição máfica e granítica a partir dos dados aerogeofísicos para a área de estudo.	40
Figura 10. Mapa geológico da Serra Repartimento produto do mapeamento geológico realizado neste trabalho.	42
Figura 11. Aspectos de campo dos afloramentos dos gnaisses.	43
Figura 12. Diagrama de classificação <i>Q-A-P</i> e <i>Q-(A+P) -M</i> de <i>augen</i> gnaiss protomilonítico e gnaiss meso a ultramilonítico segundo Streckeisen (1976).....	44
Figura 13. Aspectos macroscópicos e microscópicos dos <i>augen</i> gnaisses.	45
Figura 14. Aspectos petrográficos da biotita-hornblenda <i>augen</i> gnaiss.	47
Figura 15. Aspectos petrográficos de minerais máficos do <i>augen</i> gnaiss.	49
Figura 16. Aspectos macroscópicos e microscópicos do gnaiss milonitizado.	50
Figura 17. Aspectos petrográficos do gnaiss milonitizado.....	52
Figura 18. Aspectos petrográficos do gnaiss milonitizado.....	53
Figura 19. Agrupamentos principais das foliações presentes nos gnaisses.....	54
Figura 20. Aspectos de campo dos afloramentos dos gabros e rochas híbridas.....	55
Figura 21. Diagramas de classificação <i>Q-A-P</i> para os gabros.	56
Figura 22. Aspectos macroscópicos e microscópicos dos gabros.....	57
Figura 23. Aspectos petrográficos e texturais dos gabros.....	58
Figura 24. Aspectos petrográficos e texturais dos gabros.....	60
Figura 25. Imagens de elétrons retroespalhados exibindo modo de ocorrência de minerais opacos em gabros.	61
Figura 26. Aspectos petrográficos das rochas híbridas.....	63
Figura 27. Diagrama Schimdt-Lambert, foliação principal <i>S</i> ₁ dos gabros.....	64

Figura 28. Diagrama Schindt-Lambert, hemisfério inferior das foliações principais S_n e S_{n+1} presentes nas rochas híbridas.	64
Figura 29. Ocorrência do minério e da alteração hidrotermal associada.	66
Figura 30. Agrupamentos principais das orientações dos veios.....	67
Figura 31. Desenho esquemático das zonas de alteração hidrotermal em gnaisses.	68
Figura 32. Ocorrência de alteração hidrotermal por fenitização.	69
Figura 33. Alterações hidrotermais em gabros.....	70
Figura 34. Ocorrência de alteração hidrotermal por silicificação em gnaiss.	71
Figura 35. Processo de alteração hidrotermal por sericitização em gnaiss.	72
Figura 36. Características petrográficas dos veios de quartzo com rutilo.....	73
Figura 37. Características petrográficas do rutilo.	74
Figura 38. Características petrográficas do zircão associado ao minério.	75
Figura 39. Características petrográficas de fluorapatita associada ao minério.	76
Figura 40. Diagramas de Classificação de K-feldspatos e plagioclásio dos gnaisses.	80
Figura 41. Diagramas binários representativos das principais substituições do plagioclásio analisadas para o <i>augen</i> gnaiss e gnaiss milonitizado.	81
Figura 42. Classificação de anfibólios.	83
Figura 43. Diagramas binários representativos das principais substituições em anfibólio.	84
Figura 44. Diagramas de classificação de biotitas.	85
Figura 45. Diagramas binários representativos das principais substituições de biotitas em gnaisses	86
Figura 46. Classificação dos cristais de plagioclásio dos gabros.	87
Figura 47. Perfis analíticos Borda (B)-Centro (C)-Borda (B) ilustrando as principais variações catiônicas em cristais de plagioclásio.....	89
Figura 48. Diagramas binários representativos das principais substituições do plagioclásio analisadas para os gabronoritos.....	90
Figura 49. Classificação dos piroxênios do Hbl-gabronorito e gabronorito segundo o diagrama En-Wo-Fs (Morimoto <i>et al.</i> , 1988).	91
Figura 50. Perfis analíticos Fe-Mg-Ca de núcleo-borda em cristais de piroxênios.....	93
Figura 51. Diagramas binários representativos das principais substituições de clinopiroxênios e ortopiroxênios analisados para os gabros.....	94
Figura 52. Diagrama catiônico de CaB vs. NaB para classificação de anfibólios em Hbl-gabronorito, segundo Leake <i>et al.</i> (1997).....	95
Figura 53. Diagrama de classificação de anfibólios cálcicos em gabros com parâmetros $(Na+K)_A \geq 0,5$ (LEAKE <i>et al.</i> , 1997).....	96
Figura 54. Resultados analíticos de biotita em gabronorito e Hbl-gabronorito.	97
Figura 55. Diagramas para classificação de ilmenita para os gabronoritos.	99

Figura 56. Diagrama de classificação para magnetita no Sistema FeO-Fe ₂ O ₃ -TiO ₂	100
Figura 57. Diagrama de classificação para a pirita (Py) nos gabronoritos e Hbl-gabronoritos, segundo (CLARK, 1960).	101
Figura 58. Diagramas de classificação para aegirina em zonas de fenitização.	102
Figura 59. Diagrama de classificação para rutilo no Sistema FeO-Fe ₂ O ₃ -TiO ₂	103
Figura 60. Variação da composição interna em cristal de rutilo rico em nióbio.....	104
Figura 61. Diagrama de classificação de apatitas.	105
Figura 62. Diagrama binário representativo da principal substituição para as fluorapatitas nas zonas de veio e de alteração hidrotermal proximal.	106
Figura 63. Diagrama de composição no sistema SiO ₂ -ThO ₂ -ZrO ₂ para cristais em zona de alteração hidrotermal proximal.	108
Figura 64. Fotomicrográficas de inclusões fluidas (IF) em cristal de quartzo.	115
Figura 65. Histogramas de frequência de parâmetros obtidos para as inclusões fluidas aquosas bifásicas.....	117
Figura 66. Histogramas de frequência de parâmetros obtidos para as inclusões fluidas aquocarbônicas.....	119
Figura 67. Diagrama de correlação entre volume de vapor com a salinidade (A) e com Th _T (B) para as inclusões analisadas.	121
Figura 68. Diagrama de P-T mostrando o cruzamento de isócoras relativas às inclusões pertencentes aos extremos da imiscibilidade entre inclusões fluidas aquosas e aquocarbônicas coexistindo.	122
Figura 69. Diagrama mostrando o percurso Pressão-Temperatura durante os eventos tectonometamórficos ocorridos nas rochas encaixantes gnáissicas.....	125
Figura 70. Ilustração mostrando os quatro principais estágios durante a formação do rutilo a partir de biotitas na rocha encaixante.....	128
Figura 71. Evolução do sistema de fluidos na Serra Repartimento.....	130
Figura 72. Bloco diagrama esquemático mostrando o modelo geológico e genético para a Serra Repartimento.....	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Sequência paragenética nos gnaisses.....	77
Tabela 2. Sequência paragenética nos gabros.	78
Tabela 3. Estimativas geotermobarométricas para o <i>augen</i> gnaise.	110
Tabela 4. Estimativas geotermométricas para os <i>augen</i> gnaisses protomiloníticos.	110
Tabela 5. Estimativas geotermométricas em piroxênios para os gabros..	111

Tabela 6. Estimativas geotermométricas em fases opacas para gabros.....	112
Tabela 7. Estimativas geobarométricos e termométricas usando a calibração empírica Al em hornblenda em amostras de hornblenda gabronorito.	112
Tabela 8. Estimativas geotermométricas para rutilo.	113

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	17
1.2	ASPECTOS FÍSIOGRÁFICOS	19
1.3	OBJETIVOS	19
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	19
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.2	TRABALHO DE CAMPO E AMOSTRAGEM.....	20
2.3	ANÁLISE DE IMAGENS AEROGEOFÍSICAS	21
2.4	ANÁLISE PETROGRÁFICA.....	23
2.5	DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX).....	23
2.6	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....	24
2.7	QUÍMICA MINERAL	24
2.8	GEOTERMOBAROMETRIA	25
2.9	ESTUDO DE INCLUSÕES FLUIDAS	28
2.10	ELABORAÇÃO DE TEXTO FINAL E DISSERTAÇÃO.....	29
3	CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	30
3.1.	CONTEXTO GEOTECTÔNICO	30
3.1.1	MODELOS EVOLUTIVOS PARA O CRÁTON AMAZÔNICO	30
3.1.2	DOMÍNIO GUIANA CENTRAL (DGC).....	33
3.2.	LITOESTRATIGRAFIA DA SERRA REPARTIMENTO	35
4	GEOLOGIA LOCAL	39
4.1.	LINEAMENTOS TECTÔNICOS.....	39
4.2.	ASSINATURAS GEOFÍSICAS	40
4.3.	DESCRIÇÃO DE LITOTIPOS ESTUDADOS	41
4.3.1	GNAISSES.....	42
4.3.1.1	BIOTITA-HORNBLENDAS AUGEN GNAISSE PROTOMILONÍTICO	44
4.3.1.2	BIOTITA-HORNBLENDAS GNAISSE MESO A ULTRAMILONÍTICO	49
4.3.1.3	RECONHECIMENTO ESTRUTURAL	53
4.3.2	GABROS.....	54
4.3.2.1	PETROGRAFIA DE FASES OPACAS	60
4.3.3	ROCHAS HÍBRIDAS.....	62
4.4.	OCORRÊNCIA MINERAL.....	65
4.4.1	ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL.....	67

4.4.2	MINÉRIO.....	72
4.5.	SEQUÊNCIA PARAGENÉTICA.....	76
5	QUÍMICA MINERAL	79
5.1	GNAISSES.....	79
5.1.1	FELDSPATOS	79
5.1.2	ANFIBÓLIOS	81
5.1.3	BIOTITAS.....	84
5.1.4	TITANITA	86
5.2	GABROS.....	87
5.2.1	PLAGIOCLÁSIOS.....	87
5.2.2	PIROXÊNIOS	90
5.2.3	ANFIBÓLIOS	95
5.2.4	BIOTITAS.....	96
5.3	FASES OPACAS	98
5.3.1	ILMENITA.....	98
5.3.2	MAGNETITA	99
5.3.3	PIRITA	100
5.4	ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL E MINÉRIO	101
5.4.1	FENITIZAÇÃO (AEGIRINA).....	101
5.4.2	RUTILO	102
5.4.3	FLUORAPATITAS	105
5.4.4	ZIRCÃO	107
6	GEOTERMOBAROMETRIA	109
6.1.	GNAISSES.....	109
6.2.	GABROS.....	110
6.3.	MINÉRIO.....	113
7	INCLUSÕES FLUIDAS	114
7.1.	PETROGRAFIA DAS INCLUSÕES FLUIDAS.....	114
7.2.	MICROTERMOMETRIA	115
7.2.1	INCLUSÕES AQUOSAS BIFÁSICAS (IA).....	115
7.2.2	INCLUSÕES AQUOCARBÔNICAS (IIA)	116
7.3.	CONSIDERAÇÕES PARCIAIS SOBRE IF	120
8	DISCUSSÕES E CONCLUSÕES.....	123
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
	APÊNDICE A	148
	ANEXOS.....	149

1 INTRODUÇÃO

O titânio (Ti), como Nb, Ta, Sn e Elementos Terras Raras (ETR) são utilizados no desenvolvimento de novas fontes energéticas ambientalmente sustentáveis e principalmente em diversas tecnologias de ponta na fabricação de eletroeletrônicos. Isto tem aumentado sua procura, o que, associado com sua baixa oferta, estimulou países não-produtores a garantir suprimentos destas *commodities* para as indústrias, com o intuito de se manter independentes de políticas externas ditadas pelos países que dominam a produção. Desta forma o descobrimento de novas jazidas minerais com esses elementos, são alvo de interesse crescente de pesquisas prospectivas.

A produção de titânio é obtida com base em depósitos primários ou secundários. Nos depósitos do primeiro tipo são associados a rochas ígneas e metamórficas, onde o rutilo (TiO_2) raramente é encontrado em concentrações economicamente aproveitáveis. Nesses depósitos, os minerais de titânio ocorrem como minerais de ferro como ilmenita (FeTiO_3), associada principalmente a rochas básicas como gabro, diorito e anortositos, podendo ser dos tipos: ilmenita-magnetita, ilmenita-hematita ou ilmenita-rutilo. Por sua vez, os depósitos secundários ocorrem em forma de placers, localizados nas áreas de praias, ou próximas às mesmas. Nesses placers, conhecidos simplesmente como areia de praia, o quartzo é o mineral predominante, encontrando-se associado à ilmenita e o rutilo, além de outros minerais de interesse econômico como zirconita e monazita e minerais de terras raras (BALTAR *et al.*, 2005). De acordo com o Anuário Mineral Brasileiro (DNPM, 2009), o Brasil possui reservas medidas de 25 milhões de toneladas de ilmenita e 79 mil toneladas de rutilo, além de possuir a maior reserva mundial de anatásio com 438 milhões de toneladas. Economicamente, e devido ao fato de que a sua produção implica utilização de sofisticados processos químicos, o titânio tem preço mais elevado do que outros materiais estruturais, como o alumínio e o aço (Lynd, 1985). O interesse comercial pelo titânio cresceu muito com a demanda da indústria aeroespacial (Lee, 1999).

O Brasil possui numerosos depósitos e ocorrências de diversos tipos de mineralização em Nb, Sn, Ta e ETR's, conforme mostrado no mapa de depósitos e ocorrências minerais de Lápido-Loureiro (1994), com destaque para depósitos de classe mundial como Pitinga (Nb, Sn, ETR) e Seis Lagos (Fe, Mn, Nb, e ETR,) no estado do Amazonas, e Catalão I e II (Ti, Nb e ETR's) no estado de Goiás. No território de Roraima, a exploração mineral para este tipo de depósitos iniciou na década de 80,

quando Borges (1990) fez descobertas de possíveis minérios associados a terras raras, Ti, Nb, P e Ba. Estes primeiros trabalhos induziram investimentos em programas de pesquisa de minerais estratégicos, além de projetos acadêmicos, com o intuito de aprimorar o conhecimento geológico.

A área de interesse está inserida no domínio tectono-estratigráfico Cinturão Guiana Central (REIS *et al.* 2003), apresentando rochas ortoderivadas paleoproterozoicas de alto grau metamórfico do embasamento da Suíte Metamórfica Rio Urubu, e intrudidas pelos granitos associados à Suíte Intrusiva Serra da Prata do Paleoproterozoico, por sienogranitos, monzogranitos da Suíte Intrusiva Mucajaí, e rochas anortositicas do Anortosito Repartimento no Mesoproterozoico dentro de uma associação do tipo AMG (Anortosito-Mangerito-Granito Rapakivi) (GAUDETTE *et al.* 1996, REIS *et al.* 2003, FRAGA *et al.* 2009, HEINONEN *et al.* 2012).

Neste contexto, e fazendo parte do acervo geológico do Domínio Guiana Central, rochas alcalinas agrupadas ao denominado Complexo Alcalino Apiaú, e compostos principalmente por sienitos e traquitos, estão associados à instalação do Rifte Tacutu no Mesozoico (GAUDETTE *et al.* 1997, BRANDÃO E FREITAS *et al.* 1994, FIGUEIREDO, 2016; SALAS & SANTOS, 1974; MONTALVÃO *et al.*, 1975; BORGES, 1990; BRANDÃO & FREITAS, 1994; CPRM, 1999 e FIGUEIREDO & SANTOS, 2015).

Veios de quartzo e rutilo, óxidos de Fe-Ti e minerais portadores de Nb e ETR's, hospedados em gnaisses afetados por zonas de cisalhamento e zonas de alteração hidrotermal, ocorrem na porção sul da Serra do Repartimento em Roraima. Com o intuito de caracterizar as unidades geológicas da Serra Repartimento e a geração dos veios com minerais portadores de elementos metálicos e de ETR's, este estudo inclui a aplicação de análises petrográficas, mineralógicas, de química mineral nas rochas encaixantes, na alteração hidrotermal e no minério, em conjunto com análises de inclusões fluidas, visando propor um modelo genético conceitual para origem do minério.

1.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de estudo localiza-se na Serra Repartimento, no Estado de Roraima, ao sudoeste da Cidade de Boa Vista, na região de Campos Novos, a qual abrange parte dos municípios de Mucajaí e Iracema. O acesso à área a partir da cidade de Boa Vista (RR), é feito pela rodovia BR-174 até a cidade de Mucajaí, em um percurso de cerca de 60 Km. Partindo de Mucajaí pela rodovia RR-325 no sentido oeste, aproximadamente por 80 Km

até a vila Campos Novos, e pela vicinal 12 na direção sudoeste por aproximadamente 75 Km e por uns 12 km de trilha na selva até o acampamento base localizado na porção central da área (Figura 1).

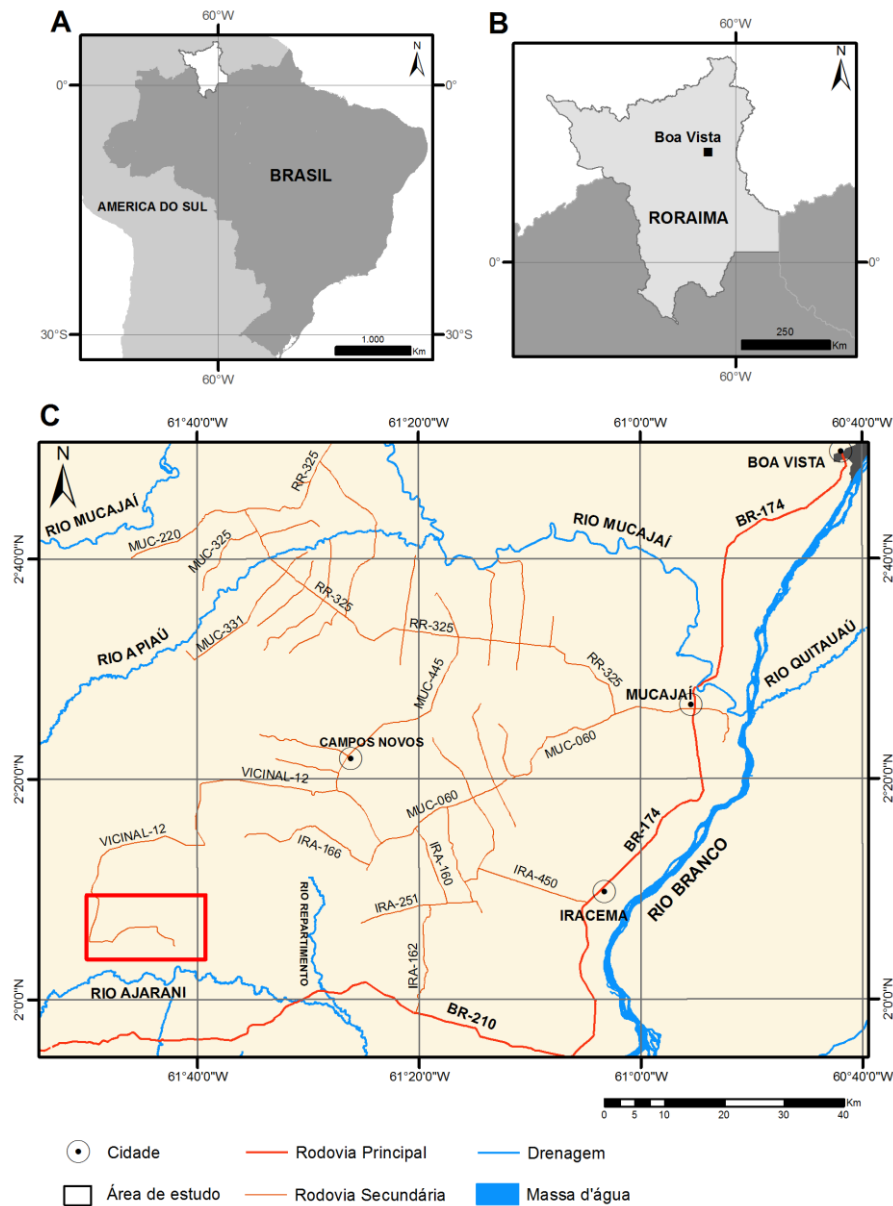


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo com as principais vias de acesso e drenagens. A-B) Mapa de sul américa com destaque para o Brasil e o estado de Roraima. C) Destaque dos municípios de Iracema, Mucajaí e Campos Novos com área de estudo da Serra Repartimento em quadrado vermelho.

1.2 ASPECTOS FISIOGRÁFICOS

O clima da região central do Estado de Roraima é quente e úmido, caracterizado por duas estações distintas bem definidas: uma chuvosa que se estende entre os meses de maio a agosto e outra de estiagem nos meses de setembro a abril.

A cobertura vegetal da área é composta principalmente por floresta equatorial densa, representada por árvores altas e secundariamente apresentam manchas de matas baixas, pastagens e lavouras (BORGES, 1990). As drenagens que cortam a área fazem parte da rede hidrográfica constituída pelas bacias do rio Apiaú, principal afluente da margem direita do rio Mucajaí ao norte, e o rio Ajarani ao sul, afluentes do Rio Branco.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho consiste em elaborar um modelo conceitual que explique a formação do minério na área da Serra Repartimento. Para isto se consideram os seguintes objetivos específicos:

- a) Entender os controles geológicos e estruturais da mineralização na área de interesse.
- b) Determinar a paragénese dos minerais de minério e sua relação com a alteração hidrotermal.
- c) Estabelecer as propriedades físico-químicas e condições de aprisionamento dos fluidos mineralizantes.
- d) Determinar a distribuição e posição estratigráfica relativa das ocorrências minerais estudadas.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A apresentação do texto seguirá o modelo clássico de dissertação que inclui um resumo do contexto geológico regional métodos e técnicas analíticas empregadas, resultados das diferentes fases da pesquisa, tratamento e integração de dados, discussão, interpretação e conclusões acerca do modelo metalogenético.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas de trabalho para cumprir os objetivos propostos desta Dissertação de Mestrado incluem análise de fontes bibliográficas, trabalho de campo com coleta de amostras de rochas e de testemunhos de sondagem (fornecidos pela companhia SGM Mineração LTDA), análises laboratoriais e de gabinete, conforme detalhados a seguir.

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A metodologia aplicada nesse trabalho teve início com uma extensa revisão bibliográfica, na qual foram reunidos diversos trabalhos sobre o contexto geológico do Cráton Amazônico, com um maior destaque dado à geologia regional, geocronologia, geoquímica, mineralogia e gênese das rochas presentes no Domínio Guiana Central, onde se localiza a área deste estudo.

Foram levantadas diversas publicações como artigos científicos em revistas nacionais e internacionais e outras publicações de cunho acadêmico como dissertações e teses, resumos publicados em eventos, livros e algumas informações técnicas de estudos realizados e facilitados pela SGM Mineração LTDA, assim como informações em livros e artigos sobre teoria dos métodos analíticos a serem utilizadas neste projeto.

2.2 TRABALHO DE CAMPO E AMOSTRAGEM

O trabalho de campo foi realizado no mês de agosto de 2015. No desenvolvimento desde trabalho foram visitadas e obtidas informações geológicas de 21 afloramentos, com coleta de amostras de rocha representativas dos litotipos estudados e de áreas mineralizadas. Nesta pesquisa, foram também disponibilizados, pela empresa de exploração, amostras dos testemunhos de furos de sonda, totalizando cerca de 70 metros de amostragem nos furos R-RS-SR-01, R-RS-SR-02 e R-RS-SR-03, os quais foram descritos e amostrados devido à diversidade de litotipos, zonas mineralizadas e intervalos com diferentes graus ou tipos de alteração hidrotermal. Como resultado, obtiveram-se 69 amostras de rocha e de minério distribuídas por litotipos como é mostrado no mapa de amostragem na Figura 2.

As bases de dados foram elaboradas a partir da integração das informações extraídas das etapas de pré-campo e coletadas em campo, sendo usada para a geração dos mapas geológicos e outros mapas de apoio com a utilização do software ArcGIS 10.1.

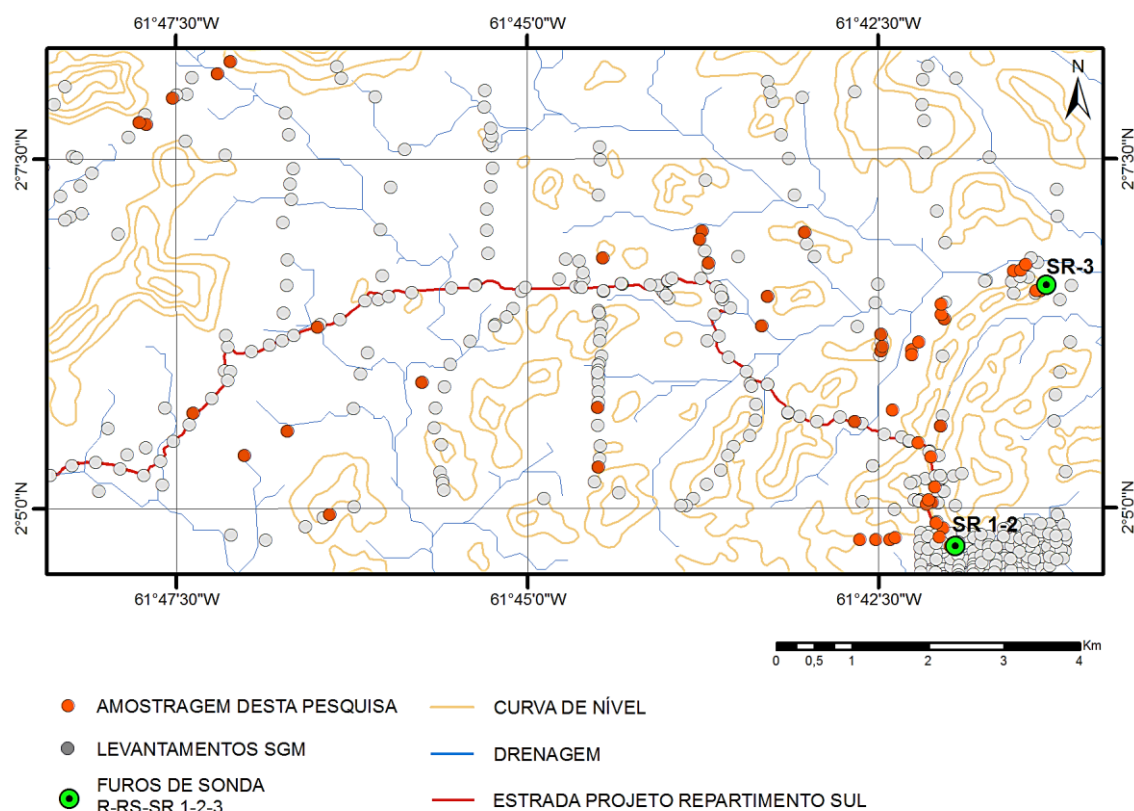


Figura 2. Mapa de amostragem e localização de furos de sonda na área de estudo.

2.3 ANÁLISE DE IMAGENS AEROGEOFÍSICAS

A análise geofísica neste trabalho foi realizada a partir da avaliação qualitativa de imagens aerogeofísicas obtidas em bibliografia, a partir da extração de lineamentos estruturais e contatos geológicos, e posterior integração com a geologia da área e interpretação do significado geológico. Foram usadas imagens aerogeofísicas magnetométricas (Figura 3), com o intuito de extrair os lineamentos magnéticos visíveis, e imagens de gamaespectrométricas, visando evidenciar a distribuição dos elementos K, Th e U, com ênfase no elemento Th, para uma melhor delimitação das litologias na área e contatos entre unidades de rochas. Os mapas aerogeofísicos utilizados no presente trabalho foram obtidos do projeto (Província Mineral Parima-Uraricoera) feito pela CPRM entre os anos 2000 e 2001. Os dados sistematizados estão disponibilizados pela CPRM no site <http://geobank.cprm.gov.br/> em formato shapefile e tratados neste trabalho no software ArcGIS 10.1.

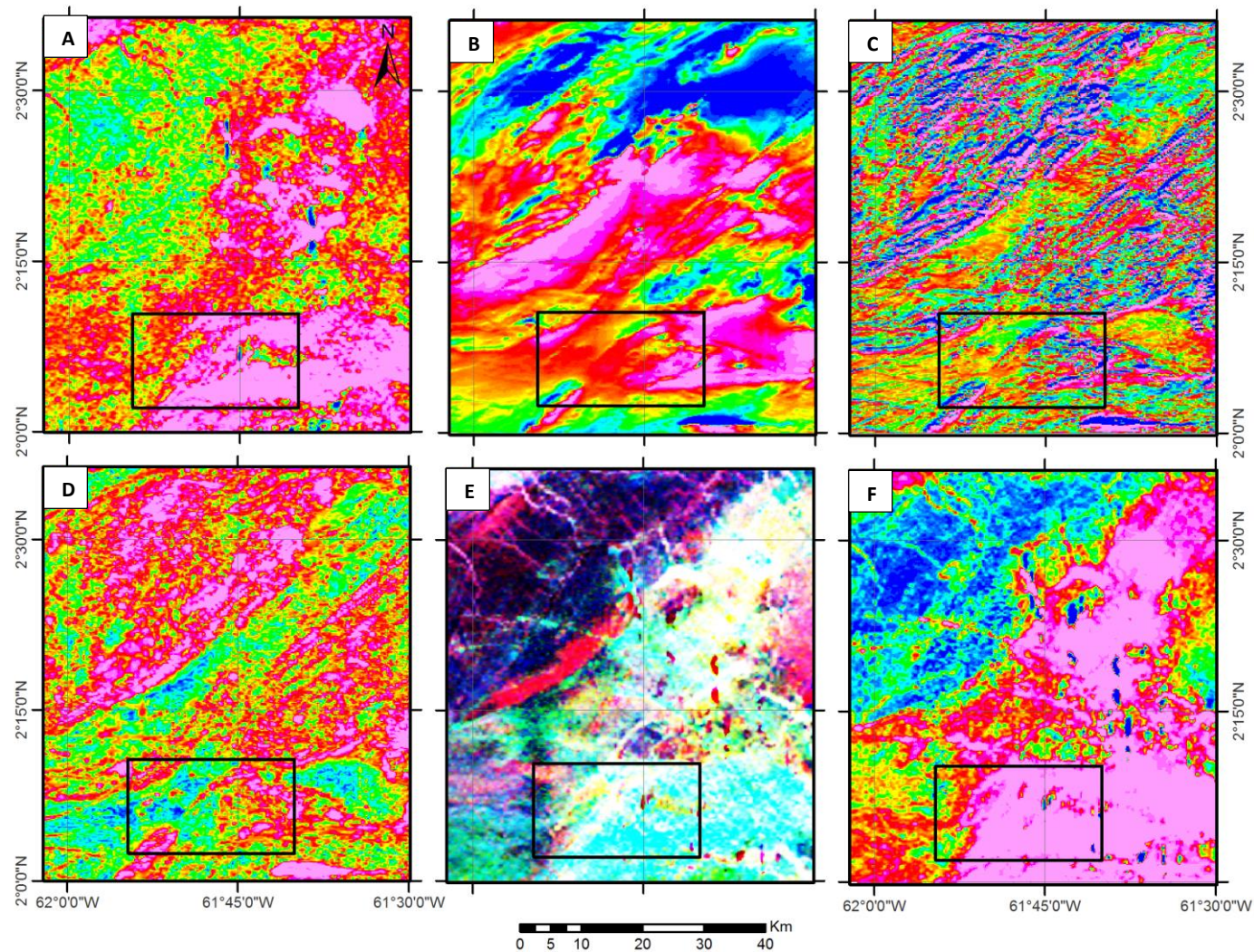


Figura 3. Mapas aerogeofísicos utilizados neste trabalho com destaque na área de estudo. **A)** Canal Urânio (U), **B)** Campo Magnético Total, **C)** Contorno primeira derivada vertical campo do magnético **D)** Contorno de sinal analítico do campo magnético, **E)** Radiométrico Ternário Canais U-K-Th e **F)** Canal Tório (Th)

2.4 ANÁLISE PETROGRÁFICA

Os estudos petrográficos foram realizados usando microscópio marca Olympus, modelo BX51, do laboratório de microscopia petrográfica da Universidade Federal do Amazonas, incluindo lâminas delgadas-polidas em amostras representativas dos principais litotipos da área de estudo.

Foram no total analisadas e descritas 49 lâminas, incluindo amostras de testemunhos de sondagem e 10 lâminas de amostras coletadas pela SGM LTDA para uma primeira familiarização das rochas da área de estudo. As observações microscópicas consistiram no reconhecimento das paragêneses minerais, relações texturais, estruturais com ênfase nas mudanças ocorridas durante a transformação hidrotermal. A nomenclatura das rochas ígneas foi realizada seguindo os postulados de Streckeisen (1976), enquanto que os demais litotipos metamórficos seguiram critérios mineralógicos (quantitativos) e texturais, procurando evidenciar os índices de metamorfismo ou estabelecer conotações genéticas. A classificação modal para rochas graníticas se fez a partir da qualificação e quantificação das fases minerais obtidas por contagem de pontos com aproximadamente 2000 pontos por lâmina.

2.5 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX)

A DRX é conveniente para amostras de rochas com conteúdo de argilominerais > 5% em peso afetadas por processos de alteração hidrotermal. Esta análise se baseia na interação de radiação X que é produzida pela excitação de algum metal (cobre, ferro, cromo) com a matéria cristalina, a qual tem a capacidade de refletir os raios X em direções cristalográficas preferenciais (FIGUEIREDO, 2000). A quantificação de fases minerais é feita com base nas direções cristalográficas preferenciais, intensidade, abundância e morfologia do difratograma.

Como um método de apoio à petrografia, a difração de raios-X foi utilizada na identificação e caracterização da composição mineralógica dos litotipos estudados, minério e de argilominerais, particularmente útil em caso de difícil reconhecimento ótico dos minerais. As análises foram feitas em rocha total utilizando-se o método do pó. Empregou-se um difratômetro de marca Shimadzu, modelo XRD-6000 pertencente ao laboratório de técnicas mineralógicas da Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

As condições de análise foram mantidas constantes para todas as amostras: Com radiação de cobre $CuK\alpha$ ($\lambda = 1,54184$) Å, corrente 30.0 mA e voltagem de 30.0 kV. O

intervalo de varredura de 6 a 80° 2 θ , contínua, a velocidade de 1,0 °/min. geometria θ =2 θ , passo de 0.02°, tempo de análise 1,2 s por passo. Os difratogramas obtidos foram interpretados através da comparação com o banco de padrões do *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS).

2.6 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A partir de uma fonte eletromagnética são gerados elétrons que incidem mediante um feixe micrométrico em uma superfície da amostra de rocha que foi previamente polida e metalizada com carbono. A incidência dos elétrons é realizada mediante um sistema de lentes magnéticas que direciona estes para interagir com a amostra produzindo imagens de até 500 mil vezes. Esta incidência produz emissões de raios X (elétrons secundários, primários) que são detectados por detector tipo EDS (*Energy Dispersive X-Ray Spectrometer*) o qual caracteriza os elementos químicos presentes em proporções de até milésimos de porcentagem em peso. (FIGUEIREDO, 2000).

As análises por Microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas com o intuito de complementar a caracterização petrográfica, sendo possível a identificação de minerais resultantes da alteração, observações detalhadas de relações texturais entre fases minerais de origem hidrotermal obtendo imagens de elétrons retro espalhados destas. O aparelho utilizado para as análises é da marca QUANTA 250 do laboratório de técnicas mineralógicas da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), e as operações foram realizadas com voltagem de aceleração constante de 20 kv, acoplado a um EDS. Análises semiquantitativas em diferentes fases minerais essenciais e acessórias foram realizadas por espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS).

2.7 QUÍMICA MINERAL

As análises de química mineral (QM) visaram determinar as variações composicionais das principais fases minerais, além de possibilitar os cálculos das condições de pressão e temperatura de cristalização, de pico metamórfico e da alteração hidrotermal das rochas presentes na área de estudo.

A QM consiste na obtenção mediante análise pontual, da composição química de um mineral usando microsonda eletrônica (ME). Trata-se de um método não destrutivo de análise, o qual é baseado na produção de um feixe de elétrons incidente (diâmetro de 10 nm) sobre uma superfície polida e metalizada da amostra. A ME consiste de um canhão eletrônico e duas ou mais lentes eletrônicas operando sob vácuo. Elétrons produzidos pelo

canhão são acelerados a uma energia de 1 a 40 keV. O feixe de elétrons incide sobre a amostra direcionado por lentes eletrônicas (GARCIA, 2001). Este feixe, ao atingir a amostra, desloca elétrons de suas posições iniciais, que quando retornam às suas posições originais, podem emitir raios-X característicos de cada elemento químico (CRUZ, 1995). O espectro de energia obtido pode ser analisado por diferentes cristais do espectrômetro por dispersão de onda (WDS), ou pelo sistema de energia dispersiva (EDS) (CRUZ, 1995).

Os trabalhos de química mineral foram efetuados no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, empregando-se um aparelho de fabricação JEOL JXA-8230, equipado com cinco espectrômetros WDS (*Wavelength-Dispersive Spectroscopy*) com cristais analisadores STE/TAP, TAP/PET, PET/LIF, PET/LIF, e PET/LF, e um detector de silício EDS (*Energy-Dispersive Spectroscopy*).

A seleção de amostras de interesse foi feita com base nas descrições petrográficas, onde se buscou aquelas mais representativas dos diferentes litotipos, com mineralogia diversificada e características texturais interessantes. Assim, 09 lâminas delgadas-polidas metalizadas com carbono, foram selecionadas para realização de análise química em mineral separado (plagioclásio, feldspatos, ortopiroxênio, clinopiroxênio, anfibólio, biotita, zircão, rutilo, óxidos de ferro e minerais de ETR's), totalizando 900 pontos analisados. As condições operacionais usadas nas análises foram com um potencial de aceleração de 15 kV e corrente do feixe eletrônico de 20 nA, com diâmetro do feixe de 5µm, exceto para os minerais opacos, levado para um diâmetro de 1µm.

2.8 GEOTERMOBAROMETRIA

Realizaram-se análises pontuais por microsonda eletrônica para fins geotermobarométricos. Sendo usados para os diferentes litotipos estudados, os métodos de equilíbrio entre Anfibolio-Plagioclásio, Al em Hornblenda, Ti em Biotita, equilíbrio Ortopiroxênio-Clinopiroxênio, magnetita-ilmenita, Ti em Hornblenda e Zr em Rutilo.

Vários geobarômetros usam o teor de Al na hornblenda como descritos a seguir:

- i) O geobarômetro de Zen & Hammarstrom (1984, 1986) é calculado a partir da fórmula $P (\pm 3 \text{ Kbar}) = -3.92 + 5.03 \text{ Al}_T$, $r^2 = 0.97$ e foi calibrado para rochas de cinco plútons cálcio-alcalinos com composições variando de granodiorítica a tonalítica; a condição para a aplicação desta equação seria a presença de associação mineral tampão quartzo,

plagioclásio (oligoclásio-andesina), hornblenda, biotita, titanita, magnetita (ou ilmenita) $\pm$ epidoto.

- ii) O geobarômetro de Hollister *et al.* (1987) foi calibrado para rochas cálcio-alcálinas do Complexo Central de British, Colúmbia e calculado pela equação $P (\pm 1 \text{ Kbar}) = -4.76 + 5.64 \text{ Al}_T$, $r^2 = 0.99$. Embora equivalente ao geobarômetro anterior, apresenta a vantagem de reduzir o erro de 3 para 1 Kbar.
- iii) O geobarômetro de Schmidt (1994) reduziu ainda mais o erro (de 1 para 0.6 Kbar), é expresso pela equação $P (\pm 0.6 \text{ Kbar}) = -3.01 + 4.76 \text{ Al}_T$, $r^2 = 0.99$, além de ter ampliado o intervalo de pressões calculadas entre 2.5 e 13.0 Kbar (enquanto as calibrações anteriores chegavam apenas a 8.0 Kbar), tendo sido calibrado para rochas de composição tonalítica e condições saturadas em água.
- iv) Anderson & Smith (1995) recomendam que somente anfibólios com razões de $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}) > 0,35$ ou $\text{Fe}^T/(\text{Fe}^T+\text{Mg})$ dentro do intervalo 0.45-0.65 sejam utilizados para a geobarometria baseada no teor do Al na hornblenda. Para os gnaisses estudados, a razão $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$, varia entre 0,45 e 0,48 e a razão $\text{Fe}^T/(\text{Fe}^T+\text{Mg})$ entre 0.58-0.60.

Assim as pressões foram calculadas pelos métodos de Hammarstrom & Zen, 1986; Hollister *et al.*, 1987; Schmidt, 1994 e Johnson & Rutherford 1989, utilizando recursos do programa NEWAMPHCALC (YAVUZ, 1999).

A geotermometria foi calculada utilizando o equilíbrio térmico entre o par anfibólio cálcico-plagioclásio (HOLLAND & BLUNDY, 1994), baseado nas substituições que ocorrem envolvendo Al na estrutura do anfibólio, regidas pela troca do vetor (Na, K) com o Al^{IV} . Esta calibração pode ser utilizada para rochas com quartzo (mediante a reação edenita + quartzo = tremolita + albita), e para rochas que não contém quartzo (mediante a reação edenita + albita = richterita + anortita). Nos dois casos o intervalo de temperaturas estimadas varia entre 400 °C e 1000 °C, e o intervalo de pressão entre 1 e 15 Kbar. Segundo Holland & Blundy (1994), somente anfibólios com $\text{Na}_{(\text{A})} > 0,03 \text{ a.p.u.f.}$, $\text{Al}^{\text{VI}} < 1,8 \text{ a.p.u.f.}$, Si entre 6,0 e 7,7 a.p.u.f, e plagioclásio com fração molar de anortita X_{An} entre 0,1 e 0,9 podem ser utilizados para a geotermometria baseada na relação Hbl-Plg.

O geotermômetro de equilíbrio entre orto- e clinopiroxênio é um dos mais clássicos e muito importante na literatura petrológica (BLUNDY & HOLLAND, 1990). É importante salientar também que as determinações de temperatura independem das condições de oxi-redução e da atividade da sílica e dependem muito pouco da pressão

litostática do ambiente de cristalização (WOOD & BANNO, 1973, KRETZ, 1982 e ANDERSEN *et al.*, 1998). Os cálculos foram efetuados com o programa PTMAFIC v.2.0, elaborado por Soto e Soto (1995), seguindo o geotermômetro proposto por Wood e Bano (1973). Este geotermômetro utilizou-se de equações que fornecem a temperatura de equilíbrio em associações minerais contendo dois piroxênios, pois a composição desses minerais é bastante sensível a variações de temperatura.

Para o geotermômetro entre magnetita e ilmenita, foram usados os cálculos geotermométricos de Carmichel (1967), Anderson (1968), Lindsley e Spencer (1982) e Stormer (1983) para geotermômetros de Powell e Powell (1977), Spencer e Lindsley (1981) e Anderson e Lindsley (1985). Os cálculos realizaram-se através das relações desses óxidos através da planilha elaborada por Lepage (2003).

O termômetro Zr-rutilo é baseado na correlação observada entre a incorporação de Zr em rutilo (ZACK *et al.*, 2004, WATSON *et al.*, 2006, TOMKINS *et al.*, 2007). A validade dos cálculos se apoia na associação mineral rutilo-quartzo-zircão, expressa pela equação equilibrada $\text{SiO}_2 + \text{ZrO}_{2(\text{em Rt})} = \text{ZrSiO}_4$. Sendo que, se o quartzo não estiver presente, as temperaturas podem ser superestimadas. Nos sistemas que não têm zircão ou que foram re-equilibrados, as temperaturas calculadas podem ser subestimadas e apenas fornecer valores mínimos de temperatura (ZACK *et al.*, 2004b).

O termômetro Zr em rutilo não só tem sido aplicado com sucesso em rochas metamórficas (por exemplo, SPEAR *et al.*, 2006, LUVIZOTTO *et al.*, 2009), em particular para rochas de fácies eclogito e granulito (ZHANG *et al.*, 2010), mas também para estudos de procedência sedimentar (ZACK *et al.*, 2004b, TRIEBOLD *et al.*, 2007, MEINHOLD *et al.*, 2008). Comparativamente, apenas alguns estudos determinaram temperaturas de Zr em rutilo formado em ambientes hidrotermais relacionados com depósitos metalíferos (RABBIA *et al.*, 2009, CABRAL *et al.*, 2011, 2013). Têm sido desenvolvidas três equações diferentes para o cálculo das temperaturas utilizando esse termômetro. A primeira equação foi desenvolvida por Zack *et al.* (2004b) com fórmula empírica $T(^{\circ}\text{C}) = 127.8 \times \ln(\text{Zr}_{\text{ppm}}) - 10$, e erro de $\pm 50^{\circ}\text{C}$ (MEINHOLD, 2010).

Após a equação original empiricamente desenvolvida (baseada na análise de amostras naturais), dois estudos adicionais geraram equações revisadas. Watson *et al.* (2006) utilizaram dados experimentais e amostras naturais para gerar a fórmula com erro de $\pm 20^{\circ}\text{C}$.

$$T (^{\circ}\text{C}) = \frac{4470}{7.36 - \log_{10} (\text{Zrppm})} - 273$$

As equações de Watson *et al.* (2006) e de Zack *et al.* (2004b) se intersectam a aproximadamente em 540°C, mas são divergentes a temperaturas maiores e menores que esse valor, indicando que pode haver outra influência no sistema (MEINHOLD, 2010). Tendo em conta essa observação, Tomkins *et al.* (2007) analisou a potencial dependência da pressão de captação de Zr em rutilo e desenvolveu uma série de três fórmulas que representam o campo de estabilidade da fase mineral SiO₂ para diferenciar a influência da pressão neste sistema mineral. No campo do α -quartzo a equação é

$$T (^{\circ}C) = \frac{83,9 + 0,14xP}{0,1428 - R \times \ln(Zrppm)} - 273$$

No campo do β -quartzo é

$$T (^{\circ}C) = \frac{85,7 + 0,473xP}{0,1453 - R \times \ln(Zrppm)} - 273$$

E no campo da coesita é

$$T (^{\circ}C) = \frac{88,1 + 0,206xP}{0,1412 - R \times \ln(Zrppm)} - 273$$

Sendo R a constante de gás (0,0083144 kJ / K) e a pressão (P) medida em Kilobar. A limitação para o estudo de Tomkins *et al.* (2007) é que a pressão sob a qual o rutilo se origina deve ser conhecida, e portanto apenas ideal para amostras com pressões desconhecidas e de origem detrítica (MEINHOLD, 2010). Neste estudo, os cálculos foram realizados para determinar a concentração de elementos vestigiais em ppm, e as fórmulas normalizadas para um cátion por unidade de fórmula. O teor de Zr medido para cada ponto analítico foi ligado ao termômetro Zr em rutilo para gerar um valor de temperatura

2.9 ESTUDO DE INCLUSÕES FLUIDAS

O estudo de inclusões fluidas (IF) iniciou com a observação direta das características morfológicas (cor, tamanho, natureza e proporção das fases que as compõem à temperatura ambiente), na distribuição espacial dentro do mineral analisado, permitindo a distinção entre inclusões primárias e secundárias. Seguida da análise indireta, por meio de ensaios microtermométricos. A composição de um fluido aprisionado em uma inclusão fluida pode ser obtida a partir da medida de mudanças de fases devido ao aumento da temperatura da inclusão (microtermometria). Isto é realizado usando um microscópio dotado de objetiva de 100 vezes, acoplado a uma platina de aquecimento. Neste contexto, assume-se que o fluido não teve alterações após o seu aprisionamento.

O sistema de fluidos do minério associado ao sistema hidrotermal será caracterizado com base no estudo petrográfico e microtermométrico das inclusões fluidas, a partir de duas (02) lâminas bipolidas, com inclusões fluidas contidas em cristais de quartzo em veios e de zonas mineralizadas com silicificação proeminente. Os testes microtermométricos consistiram em ciclos de resfriamento e aquecimento de inclusões fluidas previamente descritas, provocados, respectivamente, pela circulação de nitrogênio líquido interior da platina dotada com resistência elétrica controlada eletronicamente.

Durante os ciclos de resfriamento foram obtidas as temperaturas do eutético (T_e), fusão do gelo (T_{fg}), fusão do clatrato (T_{fc}) e fusão do CO_2 (T_{fCO_2}). Após o resfriamento, foram realizados os testes de aquecimento com o objetivo de obter as temperaturas de homogeneização (parcial e total) das inclusões fluidas.

As análises foram realizadas no laboratório de Metalogênese do Instituto de Geociências da universidade Federal do Pará (UFPA) e efetuadas em uma Platina Linkam TH600 acoplada ao microscópio petrográfico, de acordo com Roedder (1984). Foram utilizados os seguintes padrões sintéticos para calibração do equipamento: CO_2 puro (ponto de fusão em $-56,6^\circ C$); água pura (ponto de fusão do gelo em $0^\circ C$), com precisão variando de $\pm 1^\circ C$ para resfriamento até $-120^\circ C$ e de $\pm 5^\circ C$ para aquecimento até $450^\circ C$, imprimindo-se uma velocidade de cerca de $1^\circ C/min$.

Redução e interpretação dos dados e cálculos de isócoras efetuadas com auxílio do programa FLINCOR (BROWN, 1989) segundo equações adequadas aos sistemas químicos dos diferentes tipos de inclusões.

2.10 ELABORAÇÃO DE TEXTO FINAL E DISSERTAÇÃO

Esta etapa consistiu em integrar todas as informações obtidas nas etapas laboratoriais, de tratamento de dados e análises de resultados, ilustrar e tratar estes por meio de gráficos e diagramas específicos, e da integração, interpretação e elaboração de conclusões, para posteriormente serem redigidas na forma de uma dissertação de mestrado.

3 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

3.1. CONTEXTO GEOTECTÔNICO

O Cráton Amazônico (CA), situado na porção norte da Plataforma Sul-Americana (ALMEIDA *et al.* 1981) é constituído pelos escudos de idades arqueano-proterozóicos, das Guianas na parte Norte, e Brasil-Central na parte Sul, geograficamente separados pelas bacias paleozoicas do Amazonas e Solimões (ALMEIDA *et al.*, 1978, TASSINARI *et al.*, 1999, 2000). Encontra-se limitado pelos cinturões orogênicos neoproterozoicos Tucavaca na Bolívia, Araguaia-Cuiabá no Brasil Central e Tocantins (TASSINARI *et al.*, 2000; CORDANI *et al.*, 2009).

A compartimentação do CA em províncias teve como modelo pioneiro o proposto por Amaral (1974), e modificado por Cordani *et al.* (1979). Neste modelo o cráton é compartimentado de Leste para Oeste em Amazônia Oriental, Ocidental e Central, sendo esse último o núcleo mais antigo composto por terrenos granito-greenstone e bordejado por faixas moveis de idades entre o Proterozoico Inferior ao Proterozoico Médio (TEIXEIRA *et al.*, 1989).

As litologias principais que compõem o cráton englobam rochas metamórficas subdivididas em terrenos de alto grau formados por complexos gnáissico-migmatíticos e granulíticos, suítes granitoides e terrenos de baixo grau metamórfico, incluindo rochas supracrustais e greenstones (ROSA-COSTA, 2006). Coberturas plataformais sedimentares paleoproterozoicas ocorrem nas áreas de fronteira entre a Venezuela, Guiana Inglesa e Brasil. Por vezes, o Escudo das Guianas está encoberto por rochas sedimentares fanerozoicas associadas à grábens. Também afloram rochas vulcânicas piroclásticas ácidas e efusivas intermediárias (TASSINARI & MACAMBIRA, 1999).

3.1.1 MODELOS EVOLUTIVOS PARA O CRÁTON AMAZÔNICO

Na compreensão da evolução geotectônica do cráton Amazônico, duas abordagens principais têm sido realizadas: i) Aglutinação de blocos limitados por suturas e zonas de cisalhamento, sintetizada no modelo geofísico-estrutural de Costa & Hasui (1997, Figura 4) que integra informações geofísicas, geológicas e geocronológicas. O Cráton foi formado por 12 blocos que interagiram por colisão e/ou acreção entre o Arqueano e Proterozóico. Tais blocos estariam constituídos por complexos gnáissicos, granitoides e greenstones belts limitados por suturas e associados a cinturões de alto grau metamórfico e de cisalhamento. Santos *et al.*, (2000) ressalta a ausência de cinturões de

alto grau, e indica que os cinturões de cisalhamento em geral não são concordantes com a estruturação regional proposta. ii) compartimentação em províncias, baseando-se essencialmente na interpretação de dados geocronológicos (Rb-Sr, K-Ar, Pb-Pb, Sm-Nd, U-Pb), e em domínios tectono-estratigráficos, porém, os limites e a relação espacial entre esses domínios e províncias ainda não estão precisamente determinados (TASSINARI & MACAMBIRA, 1999 e 2004; SANTOS *et al.*, 2000 e SANTOS 2003b), enfocando sua compartimentação em províncias modificando as ideias do modelo de Amaral (1974). Em todos os postulados, estas províncias constituem fragmentos litosféricos que representam diversos eventos tectônicos e magmáticos ocorridos entre 3,10 e 0,99 Ga.

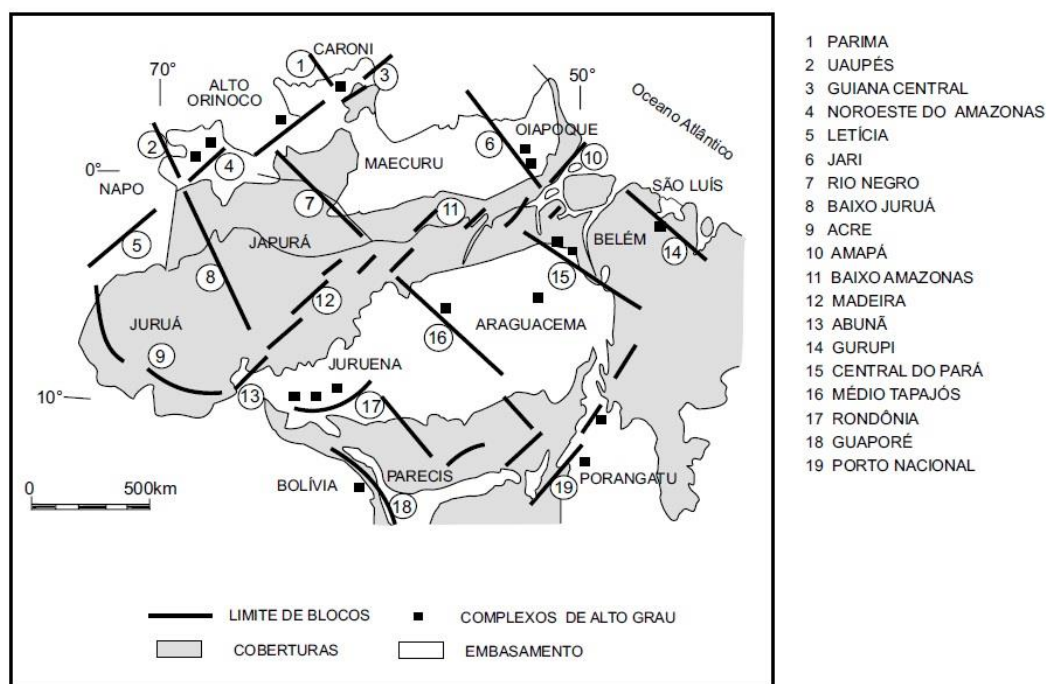


Figura 4. Modelo esquemático de blocos crustais e faixas limítrofes para o cráton amazônico segundo Hasui *et al.* (1984) e modificado de Costa & Hasui (1997).

Modelos baseados em amplo acervo de dados geoquímicos e geocronológicos usando sistemáticas K-Ar e Rb-Sr de Tassinari & Macambira (1999, 2004) e posteriormente U-Pb, Sm-Nd de Santos *et al.* (2000, 2006) detalharam e modificaram as províncias do cráton a partir da aquisição de maior número de dados geocronológicos. Assim, o modelo geocronológico mobilista de Tassinari & Macambira (1999, 2004), divide o cráton em seis províncias principais (Figura 5A), a saber: Província Amazônia Central (>2,6 Ga); Província Maroni-Itacaiúnas (2,25-2,05 Ga); Província Ventuari-Tapajós (1,98-1,81 Ga); Província Rio Negro-Juruena (1,78-1,55 Ga); Província

Rodônia-San Ignácio (1,55-1,30 Ga) e Província Sunsás (1,28-0,95 Ga). Neste modelo, a zona de estudo insere-se na Província Ventuari-Tapajós.

Santos *et al.* (2000, 2006) usando dados geocronológicos U-Pb, Sm-Nd e evidências de campo, mantem a estruturação em províncias, mas reestruturam e modificam os limites de algumas províncias propostas por Tassinari & Macambira (1999). Assim subdividem o Cráton em 7 províncias e um cinturão de cisalhamento, envolvendo eventos tectônicos ocorridos desde 3,00 a 1,00 Ga. (Figura 5B). Província Carajás (3,0-2,5 Ga); Província Amazônia Central (supostamente Arqueano); Província Transamazonas (2,26-2,01 Ga); Província Tapajós-Parima (2,03-1,88 Ga); Província Rio Negro (1,82-1,54 Ga); Rondônia-Juruena (1,82-1,54 Ga) e Província Sunsás e K'Mudku (1,45-1,10 Ga). Neste contexto, a área de estudo localiza-se na província Tapajós-Parima, onde suturas inseridas nos cinturões Parima, com estruturação NW-SE e Guiana Central com alinhamento estrutural NE-SW.

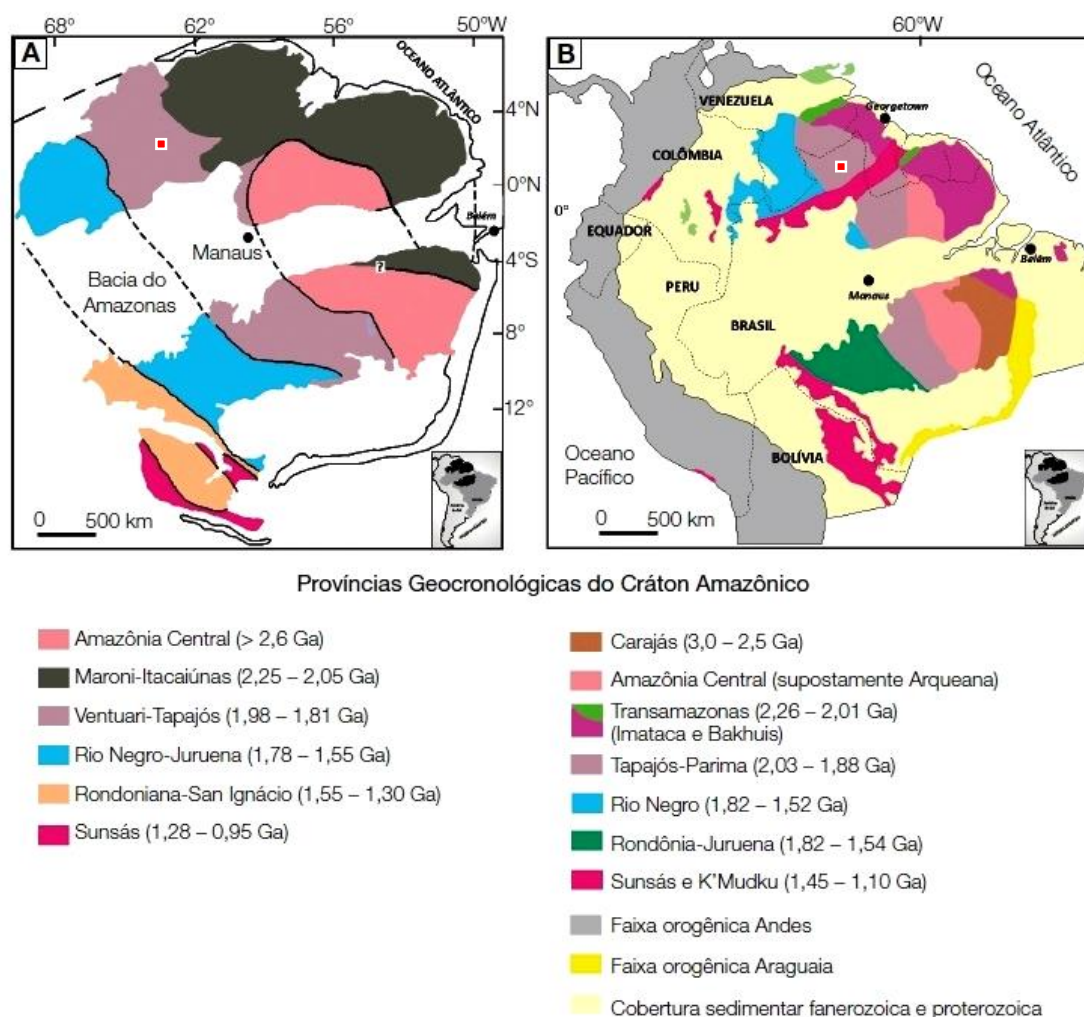


Figura 5. Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico segundo com área de estudo. (A) Tassinari & Macambira (2004) e (B) Santos *et al.* (2006).

Reis *et al.* (2003, 2006a) postularam um modelo de domínios tectono-estratigráficos para o estado de Roraima, tomando como base o modelo de Províncias geocronológicas de Santos *et al.* (2000), e explicando a disposição das maiores feições tectono-estruturais para a província Tapajós-Parima. O Domínio Uraricoera, apresenta *trends* estruturais WNW-ESE e E-W, constituído principalmente por granitos cálcio-alcalinos, além de coberturas vulcano-sedimentares; o Domínio Guiana Central com *trend* principal NE-SW, contendo rochas metamórficas de alto grau intrudidas por uma associação AMG (anortosito - gabro mangerito - granito rapakivi); Domínio Parima com lineamentos NW-SE e terrenos granito-greenstone pós-transamazônicos; Domínio Anauá-Jatapu com *trends* NW-SE e NE-SW e ampla variedade de granitos alcalinos e cálcio-alcalinos. Dos quatro domínios tectono-estratigráficos reconhecidos no interior da província Tapajós-Parima, a área de estudo localiza-se no Domínio Guiana Central, correspondendo ao Cinturão Guiana Central (KROONENBERG *et al.* 1976) (Figura 6).



Figura 6. Figura esquemática dos domínios que abrangem o estado de Roraima segundo Reis *et al.* (2003), com destaque da área de estudo no Domínio Guiana Central.

3.1.2 DOMÍNIO GUIANA CENTRAL (DGC)

O DGC ocorre na porção centro-sul do Estado de Roraima e representa o predomínio de gnaisses (ortognaisses sobre paragnaisses) em fácies anfibolito a granulito com idades entre 1,96-1,91 Ga (GAUDETTE *et al.*, 1996; FRAGA *et al.*, 1997; FRAGA,

2002; REIS *et al.*, 2003), metamorfizados em 1,91 Ga (COSTA, 2005) além de metagranitoides, charnockitos paleoproterozoicos, intrusões mesoproterozoicas (granitoides, anortositos, gabros e monzogranitos) de cerca de 1,5 Ga (GAUDETTE *et al.*, 1996; FRAGA, 2002; REIS *et al.*, 2003; FRAGA *et al.* 2009), stocks alcalinos de idade mesozoica (ALMEIDA *et al.*, 2003) e cobertura sedimentar cenozoica. Este domínio é marcado por lineamentos fortemente orientados segundo NE-SW, onde pelo menos dois episódios proterozoicos (pós-transamazônicos) proporcionaram sua reativação: a) um mais antigo, de idade incerta, na fácies anfibolito e b) outro em torno de 1,2 Ga. (evento compressivo K`Mudku) na fácies xisto verde (SANTOS *et al.* 2000; FRAGA, 2002; ALMEIDA *et al.*, 2009).

Tem sido proposto para o DGC, pelo mínimo três (3) eventos tectônicos principais descritos a seguir:

1. O evento transamazônico (2,25-2,0 Ga), responsável pela instalação do Cinturão Guiana Central) (GAUDETTE *et al.*, 1996; CPRM, 1999; FRAGA *et al.*, 1997; FRAGA, 2002; ALMEIDA, 2006), controlando a distribuição dos corpos ígneos plutônicos paleoproterozoicos colocados sin-cinematicamente em torno de 1,94 Ga (Pb-Pb em zircão, FRAGA, 2002). A idade de 1,91 Ga, obtida em titanita metamórfica em rochas de biotita ortogneisse (COSTA, 2005), confirma o que já havia sido sugerido por Fraga (2002) que esse evento, mais jovem que o Transamazônico, não teria sido sincrônico ao longo do Escudo das Guianas.

2. O evento Itã (~ 1,72 Ga), sendo descrito para o limite sudeste do DGC e representado por milonitos e granitos foliados, exibem apenas uma fase de deformação normalmente associada a amplas zonas de cisalhamento NE-SW (ALMEIDA, 2006; ALMEIDA *et al.*, 2008).

3. O evento K`Mudku (1,49 e 1,15 Ga), definido por Santos *et al.* (2000, 2006), Fraga (2002) e Santos (2003), corresponde a um cinturão de deformação resultado de um evento tectônico colisional com reflexo intracontinental da colisão Sunsás na margem ocidental do Cráton Amazônico durante o Mesoproterozoico, o qual gerou zonas de cisalhamento transcorrentes sinistrais de médio e alto grau metamórfico, com foliação NE-SW, bem como falhas *strike-slip* com geração de cataclasitos. Apesar do episódio ter reativado estruturas mais antigas do DGC, não modificou de forma importante, as estruturas paleo e mesoproterozoicas pré-existentes (FRAGA & REIS, 1996; FRAGA, 2002 e FRAGA *et al.*, 2009).

No Mesozoico, por reativação de estruturas preexistentes no Domínio Guiana Central, se forma o rifte Tacutu, correspondente a um rifte intra-continental, gerando feições estruturais que consistem de *horsts*, anticlínios, sinclínios e estruturas imbricadas orientadas preferencialmente para NE-SW (EIRAS & KINOSHITA, 1988; COSTA *et al.*, 1991; CPRM, 1999; REIS & FRAGA, 2000; REIS *et al.*, 2003). Esta reativação possibilitou, além da formação do hemi-gráben Tacutú, a geração de estruturas que atuaram como condutos pelos quais ascenderam fluidos tardi magmáticos associados a magmatismo básico e alcalino (BORGES, 1990), associados aos corpos básicos da Suíte Básica Apoterí (BERRANGÉ, 1973; BERRANGÉ & DEARLEY, 1975), Sienito Catrimâni (MONTALVÃO *et al.*, 1975) e sienitos e traquitos da suíte Apiaú (BRANDÃO & FREITAS, 1994).

3.2. LITOESTRATIGRAFIA DA SERRA REPARTIMENTO

Segundo Fraga (2002) (Figura 7), na região da Serra Repartimento, afloram unidades litoestratigráficas com idades desde o Paleoproterozoico até o Mesozoico, descritas a seguir:

SUÍTE METAMORFICA RIO URUBU aflorantes na região do rio homônimo, é composta por gnaisses de composição granítica, inicialmente descritas por Fraga *et al.* (1994), caracterizando a Suíte Metamórfica Rio Urubu como ortognaisses de biotita e biotita-hornblenda com presença de lentes de quartzo-mangeritos, quartzo-jotunitos gnáissicos e leucognaisses, que exibem foliação desenvolvida em facies anfibolito (CPRM, 1999; FRAGA, 2002). Os dados geocronológicos obtidos em diversos trabalhos feitos para datar o protólito ígneo destas rochas, envolvem análises Pb-Pb e U-Pb, em zircão, mediante as técnicas ID TIMS e SHRIMP. Gaudette *et al.* (1996), analisando zircões em amostras de gnaisses encontraram idades de 1.943 ± 7 Ma, 1.921 ± 15 Ma e 1.911 ± 13 Ma, pelo método U-Pb. Fraga *et al.* (1997) determinaram para uma amostra de hiperstênio gnaiss a idade de 1.966 ± 37 Ma. Posteriormente, Fraga (2002) determinou mediante Pb-Pb para um gnaiss e um metagranito idades de 1.937 ± 5 Ma e 1.935 ± 5 Ma respectivamente. E mais recentemente, Reis *et al.* (2003) apresenta as idades de 1.938 ± 8 Ma e 1.932 ± 1 Ma, respectivamente para um metagranito e um *augen*-gnaiss a partir do método U-Pb (SHRIMP). Mais recentemente, Figueiredo (2016) pelo método U-Pb em zircão em rochas aflorantes na região de Apiaú indicou uma idade de 1.931 ± 4 Ma e 1.958 ± 7 Ma, confirmando a cristalização paleoproterozoica para as rochas

ortoderivadas da Suíte Metamórfica Rio Urubu, relacionadas ao evento pós transamazônico. Segundo Santos *et al.*, (2006a; 2008 e 2009b) baseado em dados geocronológicos U-Pb SHRIMP em zircões recristalizados (idade metamórfica), titanita e monazita (origem metamórfica), as idades obtidas correspondem com idades de eventos metamórficos de alto grau (fácies anfibolito alto a granulito) em torno de $1,87 \pm 4$ Ga.

SUÍTE INTRUSIVA SERRA DA PRATA encontra-se localizada nas porções central e leste de Roraima no Domínio Guiana Central (DGC). Aflora em pequenas lentes, na região do Rio Urubu ou na forma de grandes corpos alongados na direção NE-SW, como nas Serras da Cigana, na Balata e da Prata e também como xenólitos nos granitóides da Suíte Mucajaí. Compostos principalmente de hiperstênio granitoides (charnockitos a mangeritos), hiperstênio monzonitos, granodioritos e tonalitos que originalmente foram envolvidos e interpretados no Complexo Kanuku por Lima *et al.* (1982), enquanto que para Figueiredo (1983) e Santos & Olszewski (1988) seriam granulitos relacionados ao evento Transamazônico. Fraga (2002) e Fraga *et al.* (2009) descrevem as rochas da Suíte Intrusiva Serra da Prata apenas aflorando na Serra homônima e arredores, como rochas charnockíticas (sienogranitos a monzogranitos), hiperstênio-quartzo-sienitos, quartzo-mangeritos e quartzo-jotunitos, associados a gabros apresentando coloração cinza-amarronzada, em geral com tonalidades muito escuras nos quartzo-mangeritos e quartzo-jotunitos. Os dados geocronológicos para a unidade Suíte Intrusiva Serra da Prata são escassos, mas idades obtidas por Fraga (2002) mediante o método de evaporação Pb-Pb em zircão, posicionam essa unidade no Paleoproterozoico, com idades de 1.934 ± 3 Ma, 1.934 ± 1 Ma, 1.936 ± 4 Ma, 1.943 ± 5 Ma e 1.933 ± 2 Ma.

SUÍTE INTRUSIVA MUCAJAÍ aflora no interior do Cinturão Guiana Central, na forma de corpos alongados NE-SW, como nas serras Mucajaí e Grande. Corresponde a sienogranitos, monzogranitos, quartzo monzonitos e quartzo sienitos. Esta unidade foi designada inicialmente por Reis e Fraga (1995) para os granitoides de texturas rapakivi, envolvendo também rochas gnáissicas, posteriormente incluídas por Fraga (2002) nas unidades Gnaiss Igarapé Branco e Gnaiss Igarapé Miracelha, na Suíte Rio Urubu com idades paleoproterozoicas, ambas aflorantes no interior do Cinturão Guiana Central. Fraga (2002) caracterizou a Suíte intrusiva Serra Mucajaí dentro de uma associação de tipo AMG (Anortosito-Mangerito-Granito Rapakivi) com características químicas de granito tipo A, subalcalinos, metaluminosos com fontes magmáticas pobres em H₂O. A Suíte Mucajaí é também correlacionada com a Suíte Intrusiva Surucucus, que ocorre na

porção oeste de Roraima e ao Granito El Parguaza da Venezuela. Os dados geocronológicos U-Pb em zircão posicionam esta unidade no Mesoproterozóico com idade de 1.544 ± 42 Ma (GAUDETTE *et al.* 1996). Fraga (2002) obteve as idades de 1538 ± 5 Ma, a partir do método Pb-Pb em quartzo mangerito, e idade modelo entre 2.01 Ga e 2.07 Ga e valores de ϵNd variando de -2.37 a +1.54, indicando para os granitos rapakivi fontes enriquecidas e depletadas, provavelmente de idade Riaciana.

ANORTOSITO REPARTIMENTO designado por CPRM (1999) inclui um corpo com cerca de 110 km², na região do igarapé Repartimento do Ajaraní, e em um corpo menor a noroeste, próximo às suítes Intrusiva Mucajaí e Metamórfica Rio Urubu (FRAGA, 2002). Esta unidade é constituída principalmente por rochas de composição anortosítica e gabros. A assembleia mineral é constituída por plagioclásio, hiperstênio, augita $\pm$ olivina $\pm$ biotita titanífera $\pm$ hornblenda $\pm$ óxido de ferro $\pm$ K-feldspato $\pm$ apatita $\pm$ quartzo e raramente espinélio. Fraga (2002) caracterizou a unidade composta por gabros e gabronoritos pertencentes ao Anortosito Repartimento dentro de um complexo de anortosito - mangerito - granito rapakivi (associação AMG), incluindo os granitos da Suíte Intrusiva Mucajaí em íntima associação espacial e temporal. As datações dessa unidade foram analisadas por Santos *et al.* (1999) que obtiveram a idade de 1.527 ± 7 Ma, pelo método U-Pb (SHRIMP) a partir de zircão e baddeleyita. Fraga (2002) obteve uma idade para esta unidade de 1538 ± 5 Ma, pelo método de evaporação Pb-Pb em zircão. Segundo Heinonen *et al.*, (2012), o Anortosito Repartimento com idade U-Pb TIMS em zircão é de 1.526 Ga.

COMPLEXO ALCALINO APIAÚ situa-se especificamente no Cinturão Guiana Central, aflorando na Serra Repartimento teria sido alojado em estruturas durante o Mesozoico relacionadas a um evento distensivo. Composto pelo conjunto de rochas alcalinas representado por sienitos, nefelina-sienitos, traquibasaltos, traquitos (com ou sem feldespatoídes), monzonitos, fonolitos, nefelinitos, álcali feldspato sienitos com nefelina (SALAS & SANTOS, 1974; MONTALVÃO *et al.*, 1975; BORGES, 1990; BRANDÃO & FREITAS, 1994; CPRM, 1999 e FIGUEIREDO & SANTOS, 2015). Estudos geoquímicos feitos por Borges (1990) em rocha total mostram que as rochas dessa unidade apresentam enriquecimento em nióbio (Nb), rubídio (Rb), zircônio (Zr), Tório (Th), urânio (U), Lantânio (La), e Cério (Ce). BRANDÃO & FREITAS, (1994) concluem para esta unidade geológica um alto potencial metalogenético propício para mineralizações de ETR's. Os corpos alcalinos da suíte Apiaú possuem idade de 140 Ma

pelo método Rb-Sr (REIS *et al.*, 2004). Gaudette *et al.* (1997), obtiveram idade por isócrona Rb-Sr em 108 Ma. Figueiredo (2016) pelo método U-Pb em zircão e badeleíta do sienito com nefelina indicou uma idade entre 111-116 Ma.

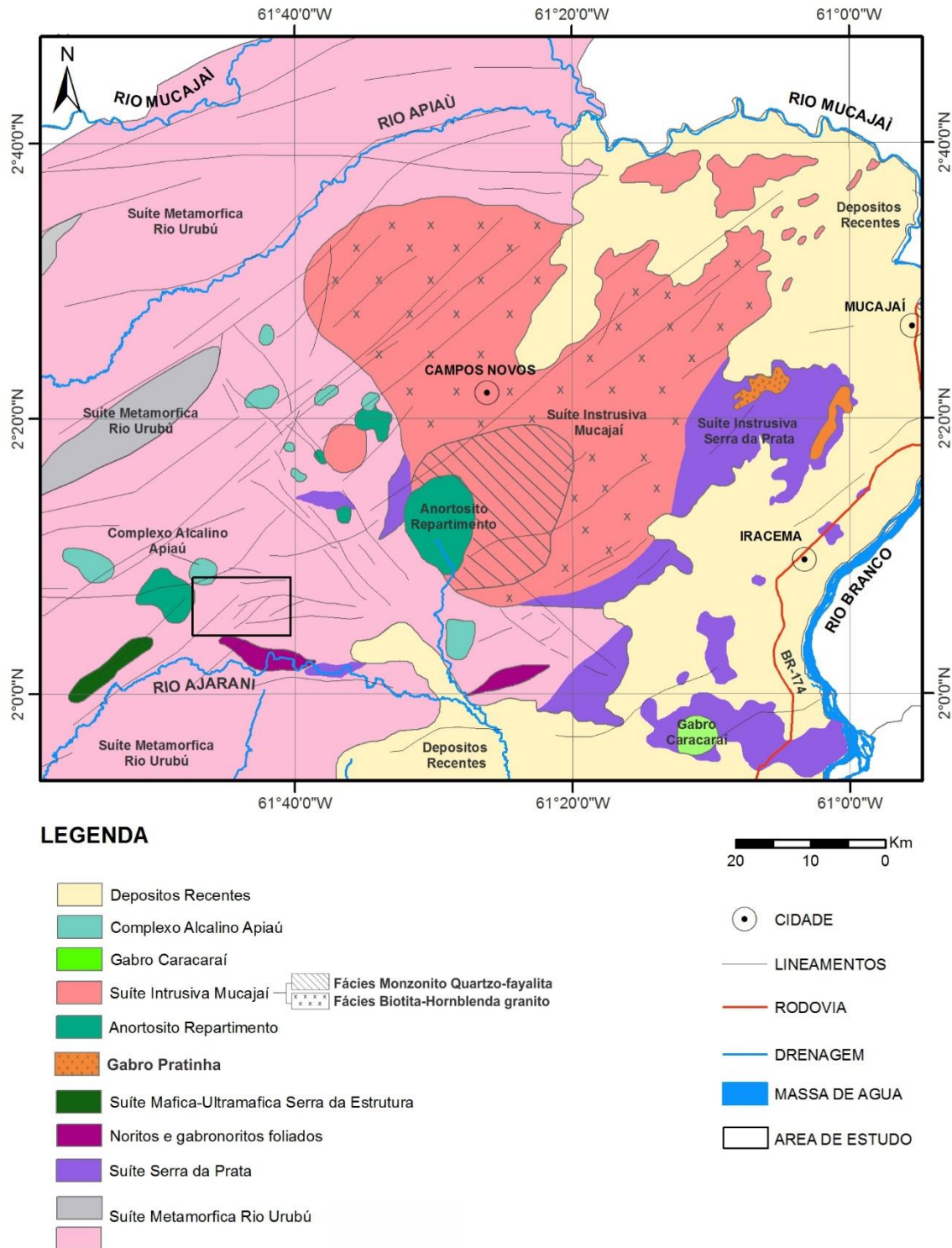


Figura 7. Mapa geológico regional com destaque da área de estudo, atualizado de Fraga (2002), Fraga (2009a), Costa (2011), Heinonen *et al* (2012), Tarazona (2015) e Figueiredo & Santos (2015).

4 GEOLOGIA LOCAL

O projeto de prospecção Repartimento Sul, da companhia SGM Mineração LTDA, explora ocorrências minerais de Ti, Nb e ETR's. Esta pesquisa mineral atualmente abrange uma área de aproximadamente 130 Km² e tem sido desenvolvida em várias etapas, sendo o mapeamento geológico, os levantamentos geoquímicos em solo e sedimentos de corrente a base para a localização de pesquisa mediante três furos exploratórios de sondagem com recuperação de testemunhos.

São descritas, a seguir, as assinaturas magnéticas e gamaespetrométricas dos principais lineamentos tectônicos e das unidades geológicas na Serra Repartimento.

4.1. LINEAMENTOS TECTÔNICOS

Os lineamentos tectônicos expressivos interpretados de maneira regional na Serra Repartimento e na área estudada, correspondem a zonas de cisalhamento distribuídas segundo três direções principais (Figura 8): NNE-SSW (N30°-N60°), E-W e WNW-ESSE (N40°-N75°), não sendo observadas estruturas definidas com direções N-S.

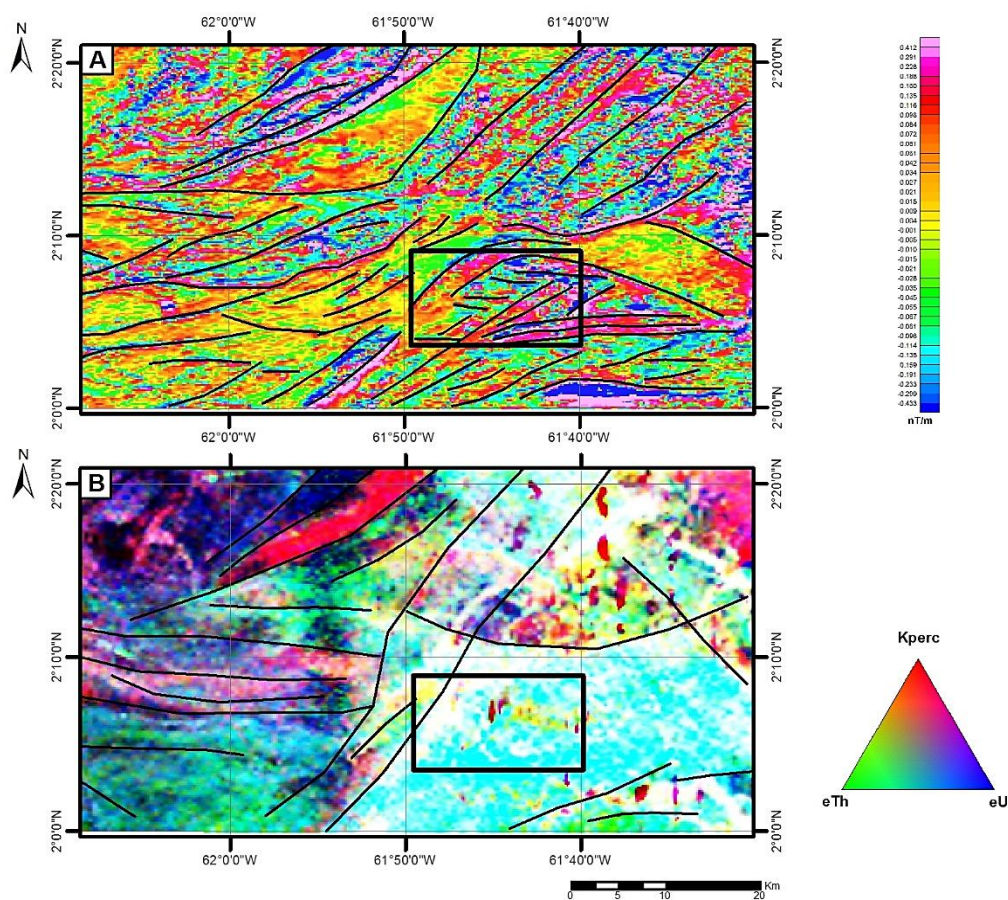


Figura 8. Interpretação de estruturas em escala regional com destaque para área de estudo a partir dos dados aerogeofísicos. **A)** Lineamentos traçados com mapas de contorno de primeira derivada vertical do campo magnético. **B)** Principais lineamentos extraídos com mapa ternário dos canais U-K-Th.

Os principais lineamentos da área, de direção NNE-SSW são longos, contínuos, e concordantes com a estruturação regional no Domínio Guiana Central (DGC) proposto na literatura, sendo que estas estruturas coincidem com lineamentos e zonas de cisalhamento na região de Mucajaí. No entanto, são observadas pequenas estruturas NE-SW e E-W de maneira descontínua. Os lineamentos WNW-E-SE a NW-SE concentram-se principalmente na porção oeste da área de estudo, e aparecem como pequenas inflexões dos lineamentos NE-SW. Embora restritos, ocorrem lineamentos descontínuos e irregulares, com orientação variando de N30°W até N80°W.

4.2. ASSINATURAS GEOFÍSICAS

O contraste de padrões nos sinais radiométricos apresentados pelos corpos máficos e pelas rochas de composição granítica do embasamento mapeados neste trabalho, auxiliaram na delimitação dos contatos. As feições destacadas nos mapas do canal do Tório (Th), junto com o de Urânio (U), e do Potássio (K), e a relação entre a razão desses elementos (ternário), foram usadas para limitar rochas de composição granítica e separá-las das rochas de composição básica. A Figura 9 mostra a delimitação de corpos da área estudada (área detalhada em quadro preto na Figura 8).

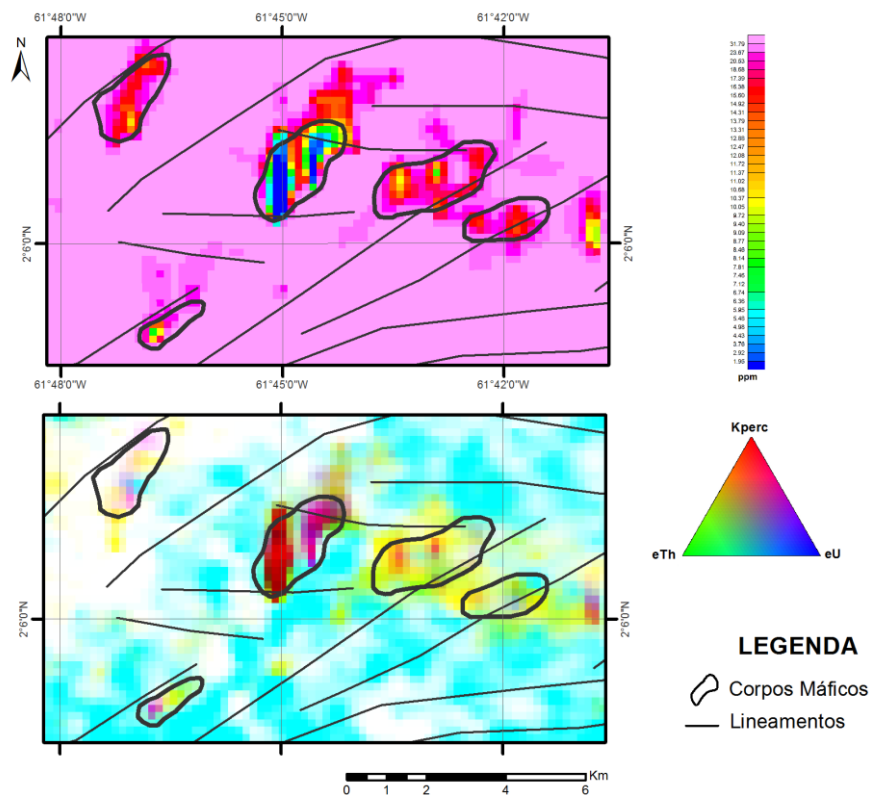


Figura 9. Delimitação de corpos de composição máfica e granítica a partir dos dados aerogeofísicos para a área de estudo. **A)** Diferenciação gamaespectrométrica mediante mapa de canal de Th. **B)** Resposta radiométrica ternário U-K-Th.

Cinco feições relevantes são observadas na área (Figura 9), sendo identificados cinco setores onde ocorrem intrusões máficas, realçadas pela diferenciação gamaespectrométrica desses corpos em relação às rochas de composição granítica. Canais de Th e Ternário (respostas elevadas dos três elementos U, K Th), permitiram, junto com os dados levantados em campo, individualizar esses plútons. Quando analisados individualmente, alguns corpos apresentam respostas anômalas nos canais analisados, representados por uma mediana a elevada gama, os quais foram verificados como corpos máficos afetados por fluidos hidrotermais e encontrados em proximidades a zonas de minério. Os corpos máficos encontram-se posicionados exibindo forma alongada conforme a atitude de estruturas NNE-SSW. Para leste e centro da área, se agrupam segundo o trend regional de zonas de cisalhamento com orientação E-W.

4.3. DESCRIÇÃO DE LITOTIPOS ESTUDADOS

A partir de feições observadas em campo, da integração destas com resultados de tratamento de imagens de satélite, de dados aero-geofísicos e usando dados fornecidos pela SGM, foram determinados os contatos das diferentes litologias e a disposição de estruturas com destaque para os setores onde ocorrem as zonas mineralizadas (setor norte e setor sul), bem como as principais estruturas observadas em campo. Dessa forma foi gerado o mapa geológico detalhado da área de estudo na Serra Repartimento (Figura 10).

A ocorrência de afloramentos é restrita e as exposições geralmente são encontradas em blocos e matacões. A cobertura vegetal e de solo residual com alto interperismo superimposto, de cor marrom-avermelhada dificultam a identificação em campo das rochas e o mapeamento geológico. Na área ocorre principalmente embasamento de gnaisses de composição granítica com fácies miloníticas, rochas gabróicas e rochas máficas híbridas com fenocristais *augen* de K-feldspato. O minério (Ti, Nb e ETR's) apresenta-se ainda em fraturas com preenchimento de veios de quartzo e rutilo. Zircão e fluorapatitas ocorrem em zonas de alteração hidrotermal, sendo registradas tanto em superfície como nos testemunhos de sondagem.

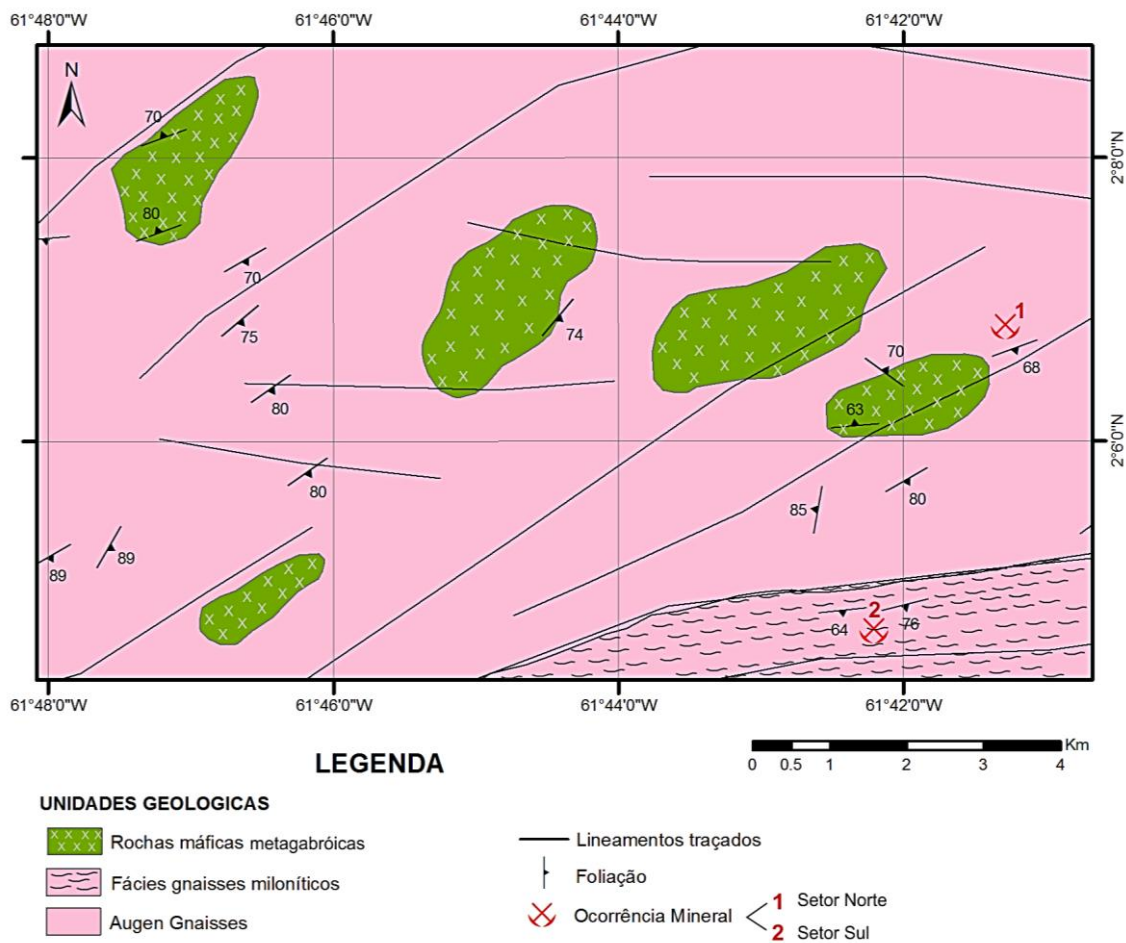


Figura 10. Mapa geológico da Serra Repartimento produto do mapeamento geológico realizado neste trabalho.

4.3.1 GNAISSES

Ortognaiss é a litologia que mais aflora na área de estudo e ocorre como matacões decamétricos e lajedos com extensões de até 20 m x 50 m (Figura 11 A, B). São rochas leucocráticas acinzentadas claras a escuras, de composição monzogranítica a granodiorítica dominante, com porfiroclastos de K-feldspato com forma de sigmóide de até 3 cm de comprimento no eixo maior e orientados principalmente NE/SE, seguindo a estrutura gnáissica, dando à rocha feição tipo *augen* gnaiss. A matriz é fina a média, quartzo-feldspática com anfibólio, biotita, quartzo, e óxidos de Fe-Ti (Figura 11 C). Por efeitos de alteração hidrotermal a rocha exibe variações esverdeadas e rosadas (Figura 11 D).



Figura 11. Aspectos de campo dos afloramentos dos gnaisses. **A)** Afloramento disposto na forma de lajeado (R-RS-411). **B)** Aspecto textural de *augen* gnaisses mostrando foliação com fenocristais de feldspato e quartzo (R-RS-67). **C-D)** Aspecto macroscópico dos gnaisses de textura *augen* em afloramento, mostrando o bandejamento composicional e alteração hidrotermal. **E-F)** Aspecto macroscópico de gnaisses miloníticos em afloramento (R-RS-226). **G-H)** Testemunhos de sonda, mostrando *augen* gnaisses (R-RS-SR-03) e gnaisses miloníticos (R-RS-SR1) com presença de alteração hidrotermal.

Os *augen* gnaisses apresentam variações locais para texturas miloníticas (mesomilonitos a ultramilonitos) na porção sul e leste da área, entretanto a composição é

semelhante aos demais *augen* gnaisses aflorantes na área (Figura 11 E, F). Este litotipo e suas feições de *augen* e de texturas miloníticas também foram observadas nos testemunhos de sondagem R-RS-SR-01 e R-RS-SR-02 (Figura 11 G, H).

Os resultados das análises petrográficas (composição e textura) incluem descrição de silicatos, de minerais opacos, de minerais produto de alteração hidrotermal e de minerais de minério. As siglas utilizadas neste capítulo para a descrição dos minerais em fotomicrografias seguem a convenção apresentada por Kretz (1983). As rochas que constituem os gnaisses (*augen* e miloníticos) aflorantes na Serra Repartimento mostram composição nos campos de monzogranito a granodiorito, segundo os parâmetros propostos por Streckeisen (1976) (Figura 12). Foram usados critérios de composição e textura para diferenciar esta unidade de rocha em i) Biotita-hornblenda *augen* gnaisse protomilonítico e ii) Biotita-hornblenda gnaisse meso a ultramilonítico.

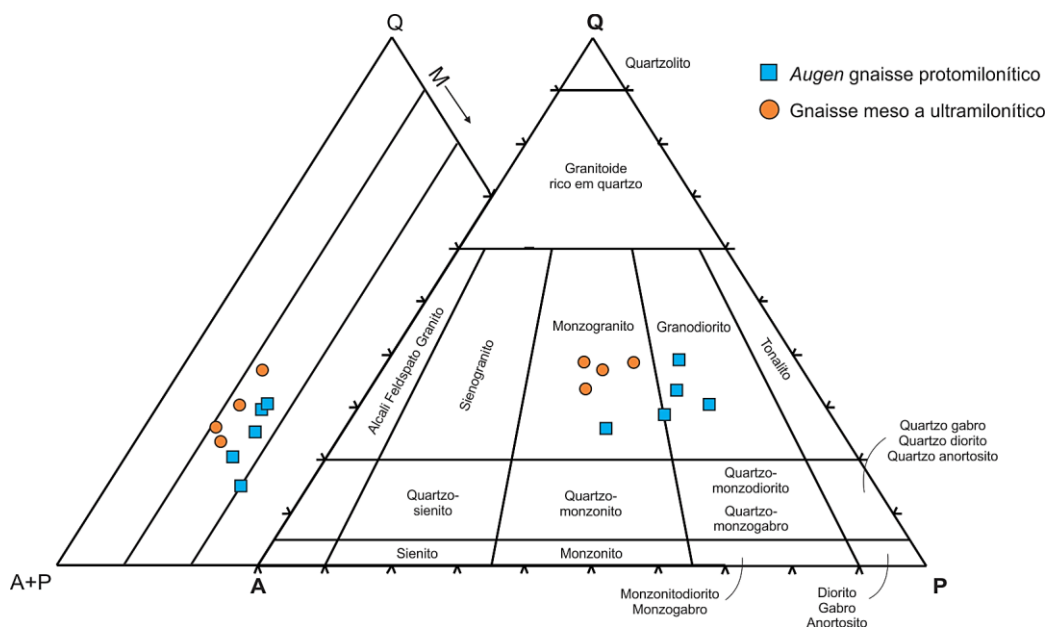


Figura 12. Diagrama de classificação Q-A-P e Q-(A+P)-M de *augen* gnaisse protomilonítico e gnaisse meso a ultramilonítico segundo Streckeisen (1976).

4.3.1.1 BIOTITA-HORNBLENDA AUGEN GNAISSE PROTOMILONÍTICO

Tratam-se de rochas porfiroclásticas que apresentam conteúdo de megacristsais de K-feldspato + quartzo + plagioclásio somando mais de 76% da moda da rocha. Anfibólio e biotita foram os principais minerais máficos identificados. Titanita, epidoto, alanita, minerais opacos, apatita e zircão ocorrem como os acessórios. Foram observados aspectos de recristalização por deformação protomilonítica. Clorita, muscovita, epidoto e carbonato são principalmente fases secundárias de alteração/desestabilização de biotita e plagioclásio. Óxidos de ferro-titânio disseminados correspondem à fase secundária de

origem hidrotermal. Este litotipo é representado por uma foliação metamórfica S_n na direção NE/SE definido pela orientação preferencial dos *augen* de feldspatos e os componentes máficos (Figura 13).

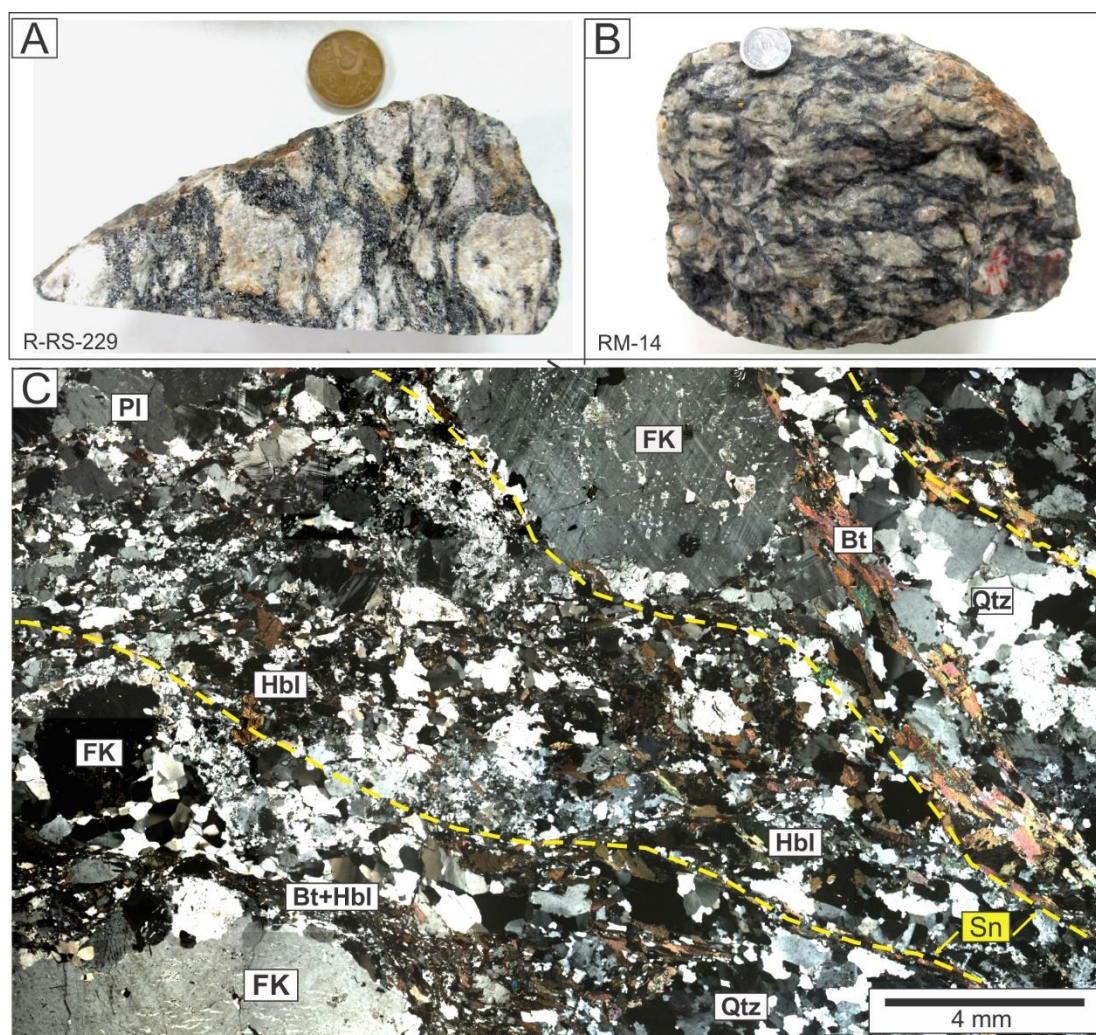


Figura 13. Aspectos macroscópicos e microscópicos dos *augen* gnaisses. **A-B)** Textura característica deste litotipo. **C)** Fotomosaico mostrando megacristais de K-feldspatos (microclina e ortoclásio) estirados na foliação principal contidos em matriz com biotita (Bt), hornblenda (Hbl), plagioclásio (Pl) e quartzo (Qtz). (Amostra R-RS-515).

O **quartzo I** representa aproximadamente 28% do volume da rocha. Ocorre em agregados com hábito anédrico a subédrico, medindo entre 0,5 a 0,8 mm quando isolados, e com tamanhos de 0,05 a 0,2 mm quando imersos na matriz. Apresenta moderada a forte extinção ondulante, forma estirada e limites lobados, evidenciando recristalização dinâmica. Ocorre frequentemente em agregados policristalinos e/ou com textura de subgrãos, ou ainda estirados no plano da foliação gnáissica principal S_n . Apresenta intercrescimento com feldspato, de tipo granofírico vermicular, por vezes com arranjo radial e em gotas. Ocorrem feições de deformação do tipo *ribbons* quando a rocha se está

mais deformada (Figura 14 A-F). Apresenta inclusões de biotita, zircão e apatita e contato irregular com feldspato, plagioclásio e biotita.

Os **K-feldspatos** são representados por microclínio e ortoclásio, perfazendo em média cerca de 22% do volume da rocha. Ocorrem como i) megacristais de formas subédricas a anédricas com até 6,0 mm no seu eixo maior e ii) como fenocristais medindo até 1,2 mm. Também se apresenta em tamanhos entre 0,1 e 0,6 mm como parte da matriz. O microclínio exibe geminação albita-periclina (*tartan*) comumente com extinção ondulante e maclas deformadas. Os cristais maiores podem apresentar textura poiquiloclástica com inclusão de plagioclásio, ocorre também biotita, anfibólio, titanita e quartzo (Figura 14 A-C). Exibem textura mirmequítica quando em contato com plagioclásio gerando quartzo vermicular, com arranjo radial (Figura 14 D). Exibem em geral, contatos limites poligonais, corroídos com redução de tamanho, rotação de subgrãos e restrita migração de limite de grão.

O **plagioclásio** corresponde em média a 26% da rocha. Apresentam teor de An entre 25 – 30% (determinado pelo método de Michel-Levy). São cristais principalmente subédricos a anédricos, com até 1,6 mm no seu eixo maior. Apresentam geminação polissintética (albita e/ou periclina), leve a moderadamente deformados (Figura 14 G). Alguns cristais exibem zoneamento composicional, extinção ondulante, limite interdigitado com cristais de quartzo e inclusões de apatita e zircão. A alteração do plagioclásio gera epidoto secundário fino granular e sericita por processos de saussuritização e sericitização, respectivamente.

A **hornblenda** ocorre como mineral máfico principal, correspondendo a 11% do volume da rocha. São hornblendas de cor verde escura, pleocroísmo verde amarelado a verde escuro até cor marrom amarelada, hábito anedral e subedral, com forma, por vezes, esquelética e/ou poiquiliticas com até 2,0 mm no seu eixo maior e com alguns cristais apresentando maclas. Quando em agregados exibem entre elas contato reto e irregular. Há inclusões de apatita e opacos. Comumente é substituída levemente por biotita marrom (Bt-II?) (Figura 15 A, B).

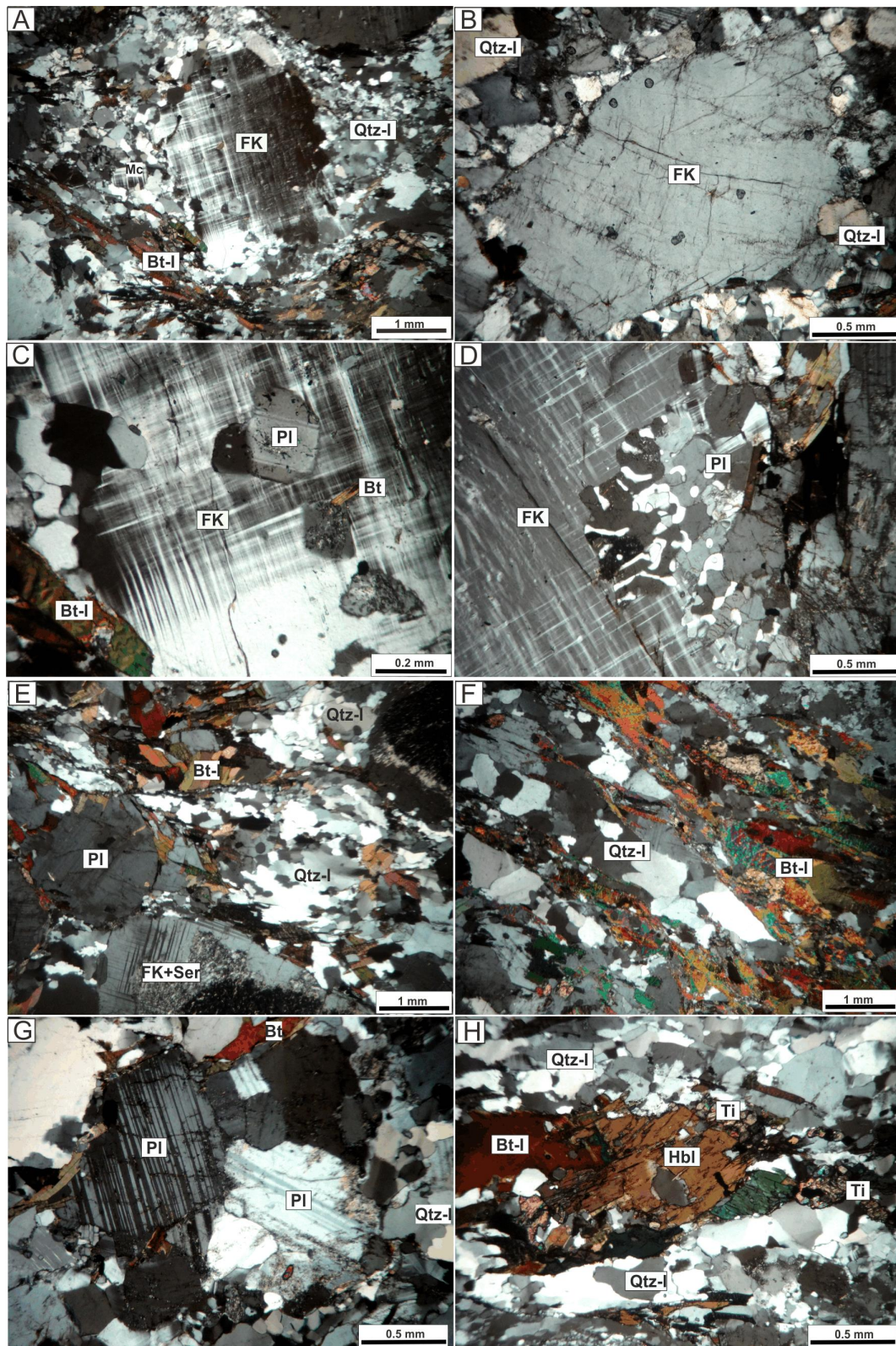


Figura 14. Aspectos petrográficos da biotita-hornblenda *augen* gnaiss. **A)** Porfiroclasto de microclínio (Mc), mostrando geminação *tartan* (RS-002). **B)** Porfiroclasto de ortoclásio (Or) em matriz de quartzo (Qtz-I), com fraturas internas preenchidas por sericita (RM-14). **C)** Microclina com textura poiquiloblástica, inclusões de plagioclásio (Pl) (RS-002). **D)** Limite microclina (Mc) plagioclásio (Pl) com textura mirmequítica gerando quartzo vermicular (RM-07). **E)** Destaque de Qtz-I **estirado** em agregado policristalino e/ou textura de subgrãos. **F)** Quartzo (Qtz-I) na forma de *ribbons* seguindo a foliação S_n (RS-515). **G)** Plagioclásio mostrando geminação polissintética com leve deformação (RS-007). **H)** Associação hornblenda (Hbl), biotita (Bt-I), epidoto (Ep-I) e titanita (Ti), e *ribbons* de quartzo (RS-002).

A **biotita I** perfaz em média a 9% do volume da rocha. Ocorre principalmente na seção basal como placas subédricas a anédricas, medindo entre 0,1 e 2,5 mm. Tem cor marrom, pleocroísmo que varia de castanho claro a marrom esverdeado e geralmente disposta paralela aos *ribbons* de quartzo associada a anfibólio, epidoto e minerais opacos seguindo a foliação S_n . Por vezes, tem lamelas deformadas curvadas com bordas corroídas, tipo *kink bands*. Exibe inclusões de zircão formando halos pleocróicos (Figura 15 C, D). Ocorre também de forma intersticial, com alteração restrita a clorita nas bordas.

A **titanita** subedral e ocorre como pequenos cristais isolados, com tamanho inferior a 0,7 mm, cor marrom claro a escuro, e também como cristais anédrais na forma de coronas em torno de minerais opacos (processo de esfenitização), associados a anfibólio e biotita definindo foliação principal S_n da rocha (Figura 15 A, C, E).

Os **minerais opacos** são principalmente ilmenita e magnetita, ocorrendo em cristais euédricos a anédricos disseminados na rocha, atingindo até 0,4 mm e orientados segundo a foliação S_n . Estão associados comumente com biotita e hornblenda, e por vezes bordejados por coronas de titanitas, provavelmente como produto de reações envolvendo estes minerais.

O **epidoto** de tipo metamórfico, ocorre como cristais subédricos a anédricos medindo até 0,6 mm, com bordas arredondadas, incolores a levemente esverdeados, com alta birrefringência, sendo alguns orientados preferencialmente seguindo a foliação principal S_n da rocha (Figura 15 E). **Epidoto** produto de alteração (saussuritização) do plagioclásio é restrito.

Zircão-I, de origem magmático, ocorre como cristais euédricos de tamanho inferior a 0,2 mm, incolor a marrom pálido em luz natural, inclusos em quartzo e biotita, neste último gerando típicos halos pleocroicos (Figura 15 D).

Apatita tem forma acicular ou anedral com tamanho inferior a 0,2 mm, geralmente como inclusões em porfiroclastos de K-feldspato, quartzo, anfibólio e imersos na matriz (Figura 15 E). **Allanita** ocorre restrita como cristais isolados com forma subedral e tamanho inferior a 0,3 mm.

A estrutura de maior distribuição nos *augen* gnaisses é uma foliação gnáissica S_n , representado pela orientação preferencial, paralela a subparalela, principalmente de porfiroclastos de K-feldspatos e quartzo (cristais finos estirados e em sigmoides). Anfibólio tipo hornblenda e biotita em agregados com epidoto primário, titanita, allanita e óxidos de ferro definem a foliação S_n e junto aos *ribbons* de quartzo contornam os *augen* de K-feldspato (Figura 14 H).

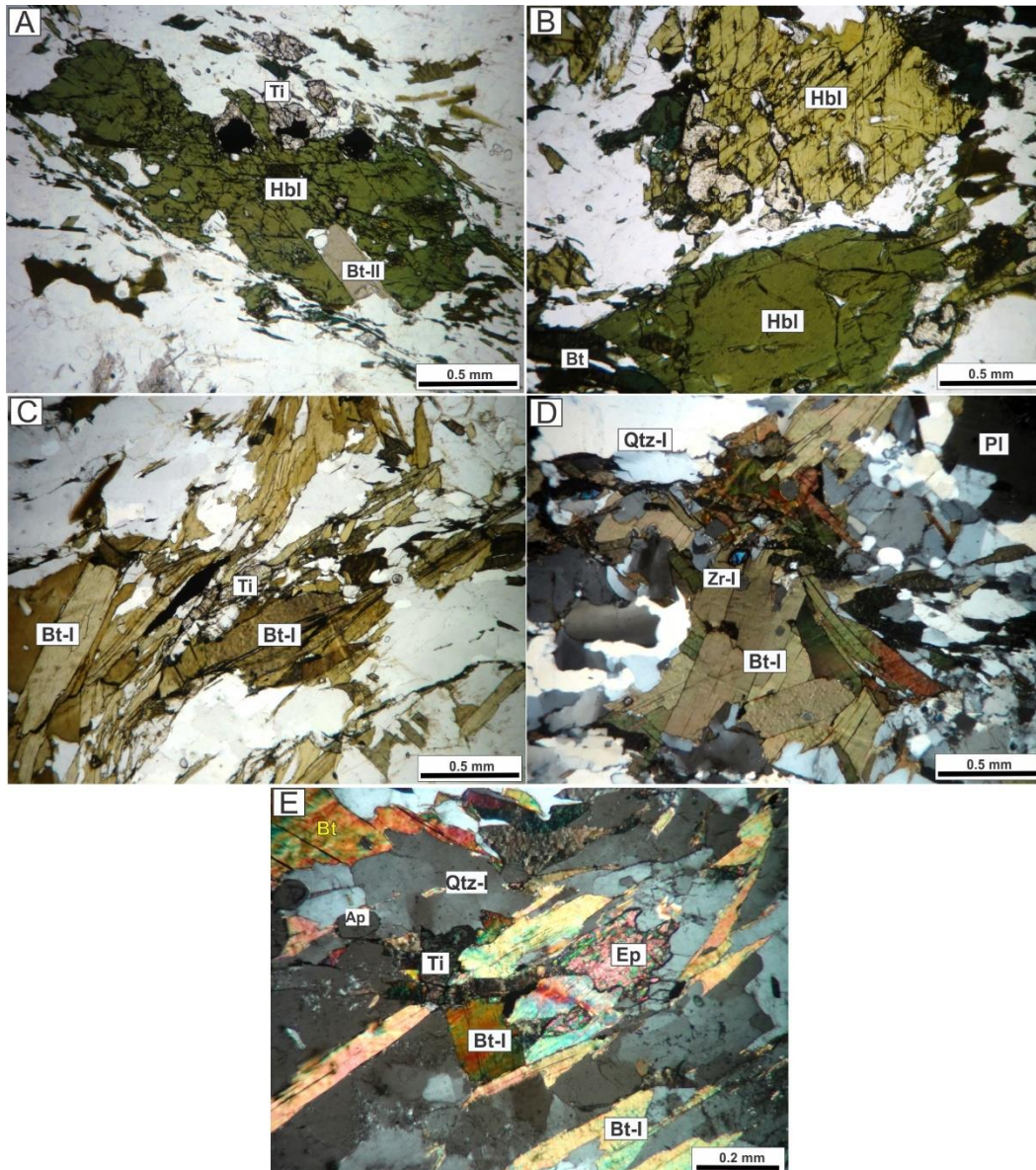


Figura 15. Aspectos petrográficos de minerais máficos do biotita-hornblenda *augen* gnaiss. **A)** Cristal de hornblenda (Hbl) com sobre crescimento de biotita (Bt-II), titanita (Ti) e opaco (Op) por exsolução (RS-002). **B)** Hornblenda verde escura e hornblenda marrom amarelada (RM-07). **C)** Biotita (Bt-I) com lamelas recurvadas, leve textura *kink-bands* e orientada segundo a foliação principal S_n (RS-515). **D)** Cristal de zircão (Zr-I), biotita-I com halos pleocroicos (RS-007). **E)** Associação de biotita (Bt-I) com epidoto magmático (Ep) e titanita (Ti), e apatita (Ap) com forma elíptica (RS-515).

4.3.1.2 BIOTITA-HORNBLENDAS GNAISSE MESO A ULTRAMILONÍTICO

Esta rocha é cinza clara a escura, exibe textura que varia de mesomilonítica a ultramilonítica marcada por bandamento de minerais félsicos constituídos por quartzo-I e K-feldspatos e minerais máficos (anfíbólio e biotita-I, Figura 16). São constituídos por porfiroclastos de K-feldspato com forma de sigmoide apresentando sombras de pressão, em matriz fina perfazendo cerca de 50-70% do volume da rocha. Contem anfíbólio e

biotita-I que marcam a foliação milonítica S_{n+1} e contornam os porfiroclastos. Como minerais acessórios apresenta zircão-I, titanita, allanita, apatita, epidoto e opacos.

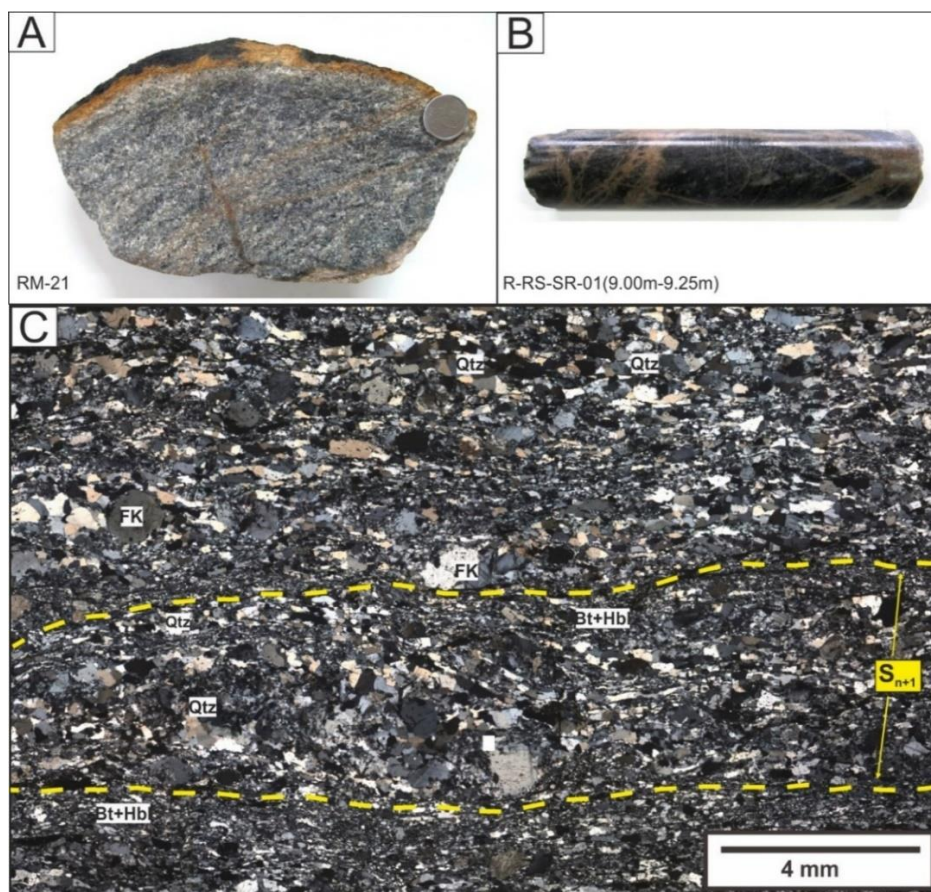


Figura 16. Aspectos macroscópicos e microscópicos do biotita-hornblenda gnaiss milonitizado. **A)** Amostra de mão com foliação milonítica. **B)** Testemunho de sondagem em fraturas exibindo alteração hidrotermal. **C)** textura ultramilonítica com intensa redução de tamanho dos minerais, alternância de níveis máficos ricos em biotita (Bt) e hornblenda (Hbl) e níveis félsicos com quartzo (Qtz) K-feldspato (Kfs) e plagioclásio (Pl). (Nícleos cruzados) (amostra RM-21).

O **quartzo I** representa 32% de volume da rocha, ocorre como: i) cristais subédricos a anédricos, com tamanhos até 1,5 mm, redução de tamanho, extinção ondulante e achatados pela deformação; ii) na forma de subgrãos na matriz, finos e recrystalizados e iii) estirado em textura *ribbons*, contornando os porfiroclastos e seguindo a foliação milonítica S_{n+1} (Figura 17 A-D). O quartzo ocorre ainda vermicular em texturas mimerquitas formado a partir de reação entre K-feldspato e plagioclásio.

Os cristais de **K-feldspato** (ortoclásio e microclínio) representam cerca de 27% de volume da rocha. Ocorrem como porfiroclastos, subédricos, fraturados e por vezes achatados, além de recrystalizados nas bordas em texturas “*core-and-mantle*” ou ainda em *augen*. Nas bordas, ocorrem subgrãos recrystalizados de quartzo (sombras de pressão), agregados de biotita, hornblenda e epidoto contornando seus cristais e seguindo a foliação milonítica S_{n+1} . As principais feições de deformação intracristalina estão dadas por alto

faturamento e recristalização dinâmica, caracterizadas por extinção ondulante, evidências de rotação e desenvolvimento de sombras de pressão (Figura 17 A-B). A sericitização desses feldspatos, bem como, inclusões de quartzo, apatita e epidoto, são feições comumente observadas.

O **plagioclásio** representa cerca de 24% de volume da rocha. Apresentam teor de An entre 15 – 20% (determinado pelo método de Michel-Levy). É subédrico com tamanho que varia de 0,9 até 1,4 mm. Ocorre deformado com formas elípticas em muitos casos, formando *augen* e sombras de pressão. Contem inclusões de biotita, anfibólio e apatita. (Figura 17 C-D). Também se altera a sericita e saussurita em grau moderada a forte.

O **anfibólio** é do tipo hornblenda, perfazendo em média a 8% da rocha. Ocorre como cristais euédricos até anédricos de hábito prismático, com tamanhos de até 1,1 mm. Apresentam pleocroísmo que varia de cor verde oliva até verde escura e marrom até marrom a verde. Marcam a foliação milonítica S_{n+1} sempre associados à biotita-I e titanita. Feições de deformação são representadas por fraturamento, forma de sigmoides e estirados seguindo a foliação da rocha. Alguns cristais mostram nas bordas e em planos de clivagem, frequente alteração para biotita-II em “sombras de pressão” (Figura 17 E, F).

A **biotita I** em proporção de 5% do volume, se apresenta na forma com cristais isolados orientados com terminações retas ou serrilhadas, subédricas até anédricas com tamanho de até 1,2 mm e pleocroísmo esverdeados a marrom. Associada principalmente a anfibólio, titanita e a minerais opacos, definindo faixas descontínuas e contornando cristais maiores de K-feldspato de quartzo, orientados definindo principalmente a foliação milonítica S_{n+1} (Figura 18 A-B). É comum observar a presença de extinção tipo “*bird eyes*” que se dispõem paralelos à foliação milonítica em cristais recurvados e deformados (Figura 18 b). Ocorre alteração parcial para clorita, seguindo preferencialmente a clivagem do mineral ou nas bordas de cristais. (Figura 18 C).

A **titanita** ocorre em volume de 2% da rocha. São cristais subédricos a euédricos, com hábito prismático e forma elíptica, cor castanho escuro, associada a minerais opacos, anfibólio e a biotita-I. Apresenta-se também nas bordas de minerais opacos na forma de coronas como processos de exsolução de anfibólios (Figura 18 C-D).

Os **minerais opacos**, em geral, são cristais subédricos a anédricos de magnetita e ilmenita, dispersos de maneira disseminada na rocha, com tamanhos até 0,3 mm e

orientados segundo a foliação S_{n+1} associados com biotita e hornblenda, e por vezes como coronas de titanita (Figura 18 A-D).

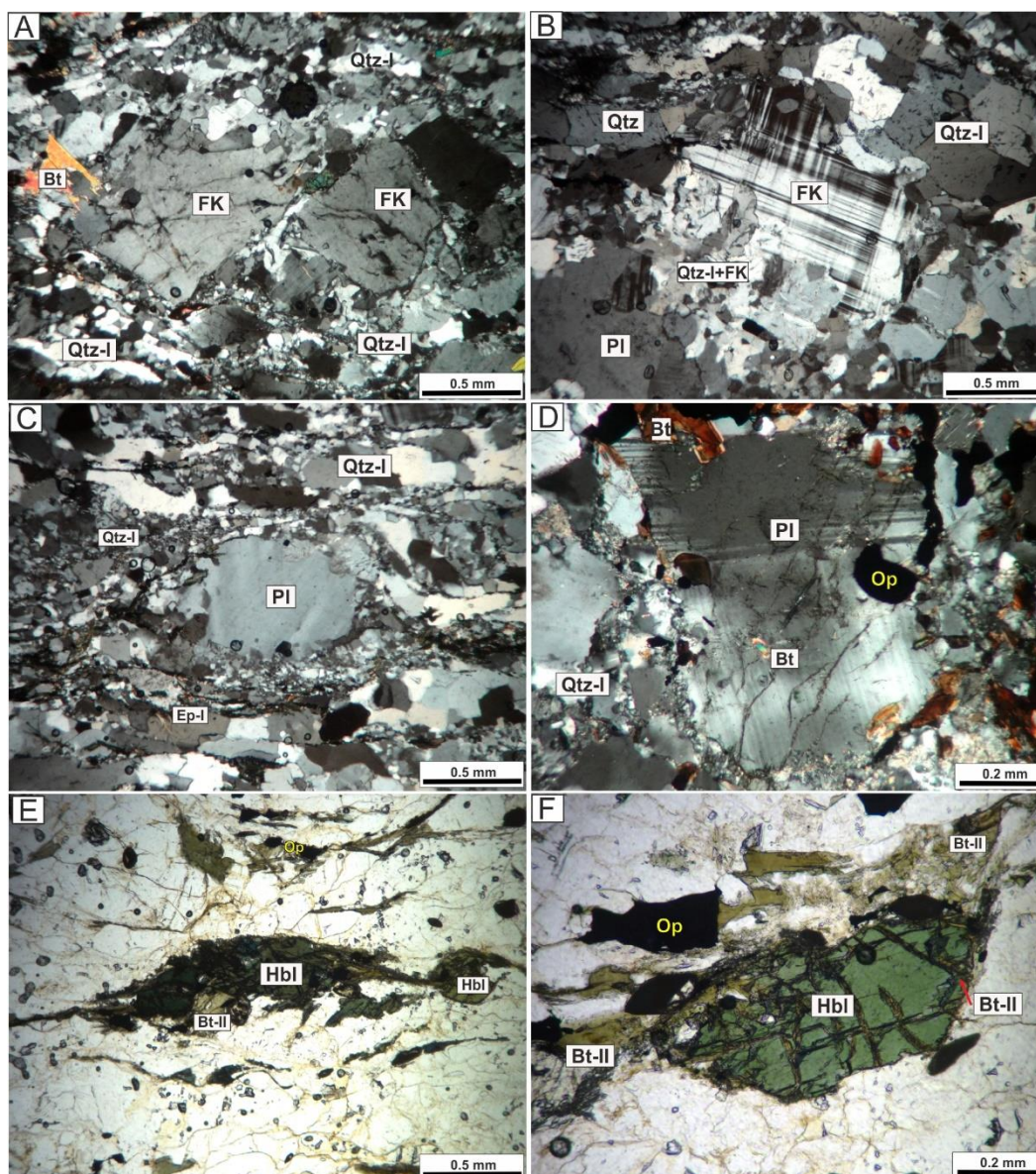


Figura 17. Aspectos petrográficos do gnaiss milonitizado. **A-B)** Porfiroclastos de K-feldspato fraturado e alongados com bordas recrystalizadas, quartzo (Qtz-I) estirado, plagioclásio (Pl) (RM-18 e SR1-01). **C)** Cristal de plagioclásio (Pl) subedral com geminação polissintética e recrystalização nas bordas por redução de tamanho e com sombras de pressão (RM-11). Ribbons de quartzo (Qtz-I) contornando o plagioclásio e seguindo a foliação milonítica S_{n+1} . **D)** Cristal de plagioclásio (Pl) deformado e biotita (Bt) (RM-11). **E-F)** Sigmoides de hornblenda (Hbl) orientados segundo a foliação milonítica S_{n+1} associados a opacos (Op) e biotita secundária (Bt-II) (RM-18).

O **epidoto** é de tipo metamórfico e ocorre principalmente nas bandas máficas. São subédricos e ligeiramente arredondados (Figura 18 D). Ocorrem também deformados e por vezes estirados subparalelo a direção da foliação milonítica. Também ocorrem como produto de saussuritização do plagioclásio de maneira restrita. Cristais euédricos a subédricos **alanita** com tamanhos inferiores a 0,2 mm, exibem comumente feições de *core-and-mantle*, sendo o núcleo composto por allanita e a borda por epidoto (Figura 18

D). Cristais de **apatita** com tamanhos inferiores a 0,2, com formas prismáticas e alongadas, aparecem inclusos principalmente em cristais de K-feldspato, quartzo e biotita. O **zircão I** em cristais prismáticos bem formados, e em seção transversal e basal podem apresentar formas subarredondadas. Por vezes apresenta zoneamento concêntrico.

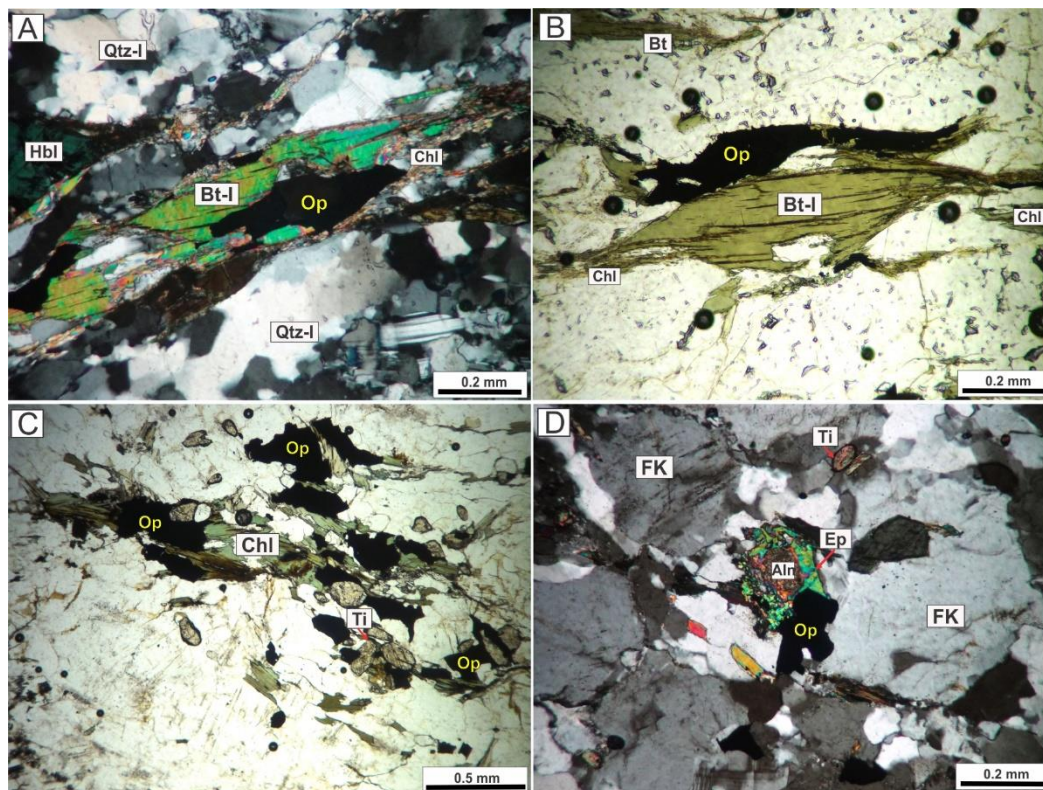


Figura 18. Aspectos petrográficos do gnaiss milonitizado. **A)** Biotita cristais isolados orientados segundo a foliação milonítica S_{n+1} com alteração parcial para clorita (Chl). **B)** Biotita com extinção tipo “bird eyes”, deformada seguindo a foliação milonítica (RM-18) **C).** Minerais opacos em associação a titanita e clorita (Chl) (RM-21). **D)** Allanita (Aln) zonada com borda composta por epidoto (Ep) (SR1-01).

4.3.1.3 RECONHECIMENTO ESTRUTURAL

A foliação do *augen* gnaiss, quando lançados no estereograma hemisfério inferior (Figura 19 A), mostram uma concentração máxima em N52E/72SE definindo uma foliação S_n . Já na porção sul e leste da área ocorre foliação milonítica S_{n+1} , marcada pela orientação preferencial de feldspatos, de biotita (lamelas orientadas e em forma de sigmóides) e de hornblenda (em formas de cristais isolados e em sigmóides). Quando analisada em estereograma, a foliação S_{n+1} mostra, nos gnaisses com fácies miloníticas uma orientação principal N80E/66SE (Figura 19 B), menos dispersa e próxima da atitude da foliação S_n .

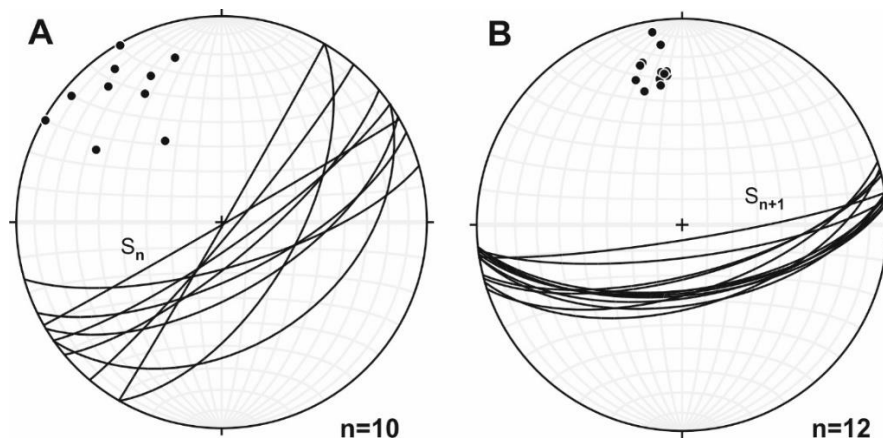


Figura 19. Agrupamentos principais das foliações presentes nos gnaisses. **A)** Diagrama Schmidt-Lambert, hemisfério inferior da foliação principal S_n dos *augen* gnaisses. **B)** Diagrama Schmidt-Lambert, hemisfério inferior da foliação milonítica S_{n+1} dos gnaisses.

4.3.2 GABROS

Rochas de composição máfica distribuem-se como pequenos plútons alongados em direção NNE-SSW segundo a estruturação regional do embasamento metamórfico onde estão posicionados (Figura 10). As exposições ocorrem na base de morros, em afloramentos de lajedos com extensões até 50m x 20m, como matacões com dimensões de até 3m x 5m, e em forma de blocos rolados (Figura 20 A, B). Tratam-se de rochas com estrutura maciça, textura predominantemente fanerítica, cinza a verde escura, quando a alteração presente é maior. Estão constituídas por plagioclásio, piroxênios (clino e ortopiroxênio), anfibólio, biotita e óxidos de Fe-Ti e pirita disseminados (Figura 20 C, D). Apresentam texturas com feições ígneas preservadas, como orientação de cristais plagioclásio eudrais, inicialmente caracterizada de origem magmático, assim como feições de deformação dútil (fraturamento) e evidências de alteração hidrotermal. Nas bordas dos corpos são encontrados afloramentos de rochas máficas de tamanho de grão fino a médio, podendo-se tratar de diques, embora as relações de contato não sejam claras (Figura 20 E, F).



Figura 20. Aspectos de campo dos afloramentos dos gabros e rochas híbridas. **A-B)** Lajedo (R-RS-04) e matacões (R-RS-168) referentes a metagabro. **C-D)** Aspecto macroscópico de amostra de metagabro em campo, apresentando textura maciça, média a grossa. **E-F)** Matacão (R-RS-276) de metagabro com textura fina. **G)** Matacão de rocha híbrida (RM-12). **H)** Rocha híbrida, mostrando porfiroclastos de K-feldspato e quartzo imersos em matriz média (RM-09).

Para a classificação petrográfica dos corpos de gabros, foram realizadas análises modais em amostras representativas destes corpos. Tais composições foram lançadas nos diagramas de classificação para rochas máficas de Streckeisen (1976), os quais permitiram a distinção de duas variedades petrográficas: gabronoritos, caracterizadas texturalmente por apresentar tamanho de grão fino-médio a grosso, e hornblenda gabronoritos, caracterizados por textura grossa (Figura 21).

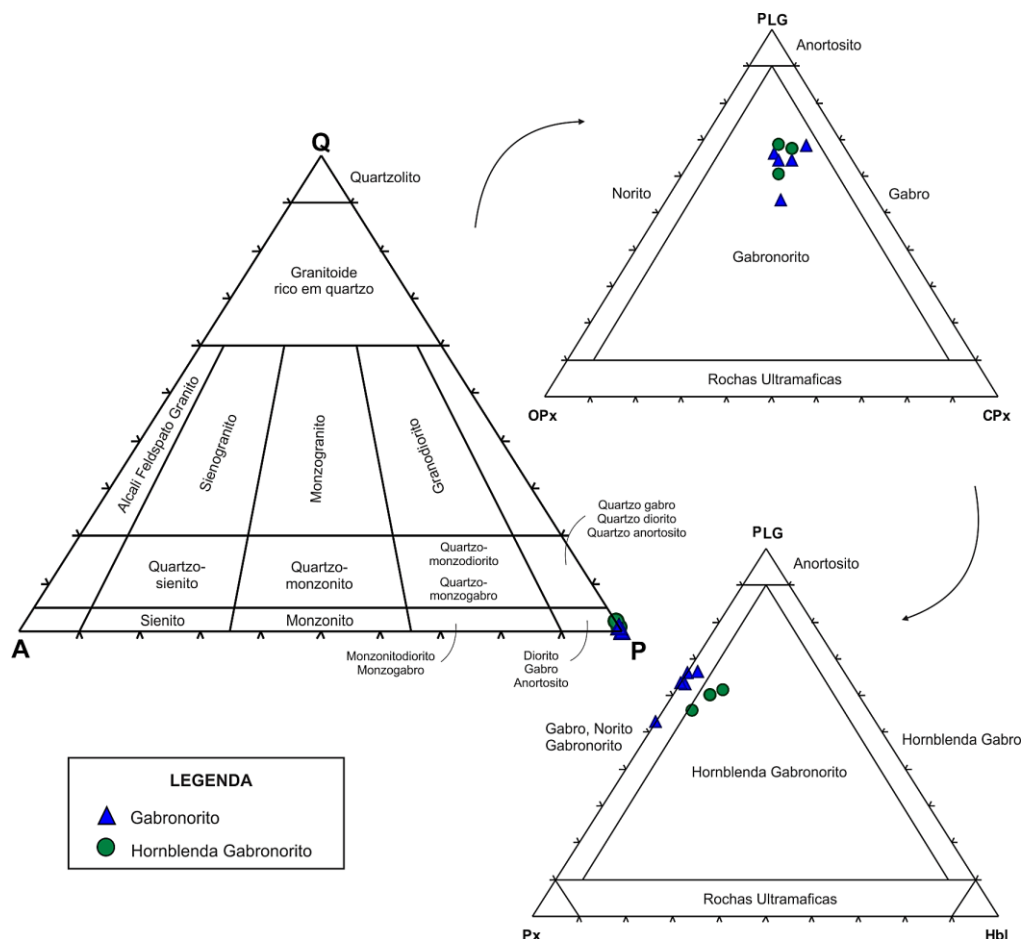


Figura 21. Diagramas de classificação Q-A-P (Streckeisen, 1976), PLG + (OPX + CPX) + HBL e PLG + OPX + CPX para as variedades petrográficas que constituem os gabros.

Em geral, estas rochas são faneríticas, com tamanho de cristal que varia de fino a grosso, holocristalinas, mesocráticas ($M = 33\%$ a 49%), cinza clara a escura, consistindo principalmente de plagioclásio, piroxênios, anfibólio, biotita, minerais opacos e em menor proporção quartzo (Figura 22). Em lâmina as rochas variam de textura sendo observada a subofítica intergranular. A trama da rocha é dominada por cristais tabulares de plagioclásio e minerais máficos (ortopiroxênio e clinopiroxênio) orientados, definindo uma foliação incipiente discreta, interpretada neste trabalho como S_1 na rocha. Contém minerais opacos, apatita e quartzo representando as fases acessórias. A mineralogia

secundária é formada por biotita, anfibólio (produto de alteração dos piroxênios) e sericita como produto de transformação do plagioclásio (Figura 22 C-D).

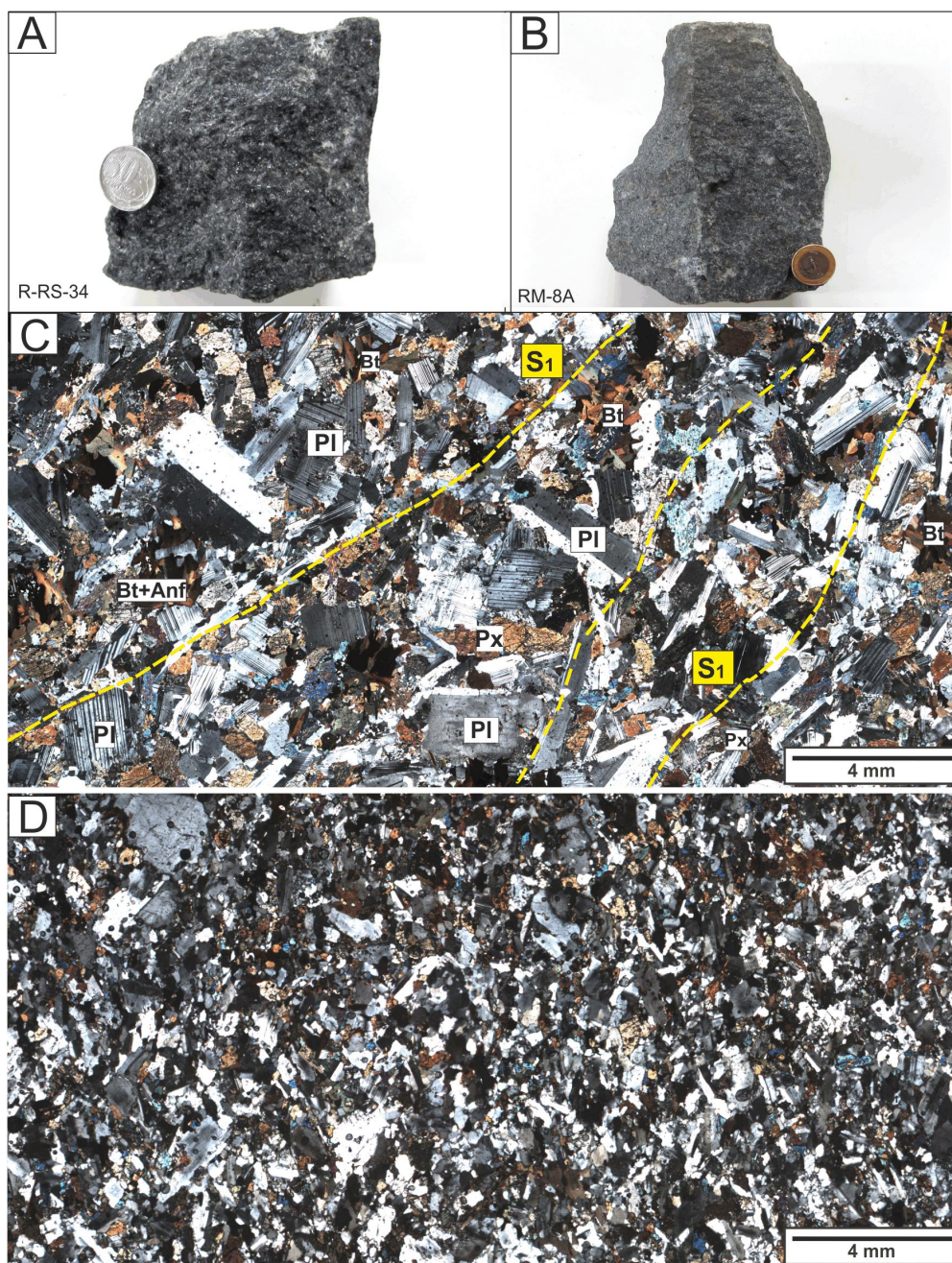


Figura 22. Aspectos macroscópicos e microscópicos dos gabros. **A-B)** Litotipos estudados de textura grossa. **C-D).** Fotomosaico de metagabro mostrando variação de textura grossa a fina e foliação S_1 (RS-34 e RM-8A).

O **plagioclásio** ocorre em 48 a 60% do volume total, com teor de An 30-60 (determinado pelo método de Michel-Levy). Apresenta-se como cristais subedrais a anedrais, tabulares, inequigranulares finos a médios e com dimensões entre 0,3 e 3,6 mm. Exibe geminação polissintética do tipo albita e periclina, e zoneamento composicional, e textura intergranular e (sub)ofítica. Como feições de deformação subsolidus mostra extinção ondulante, geminação mecânica polissintética curvada e descontínua (Figura

23). Ocasionalmente apresenta intercrescimento micrográfico e raro intercrescimento mirmequítico. Comumente é observada alteração por sericitização (sericita-I). Encontram-se piroxênios na forma de inclusões em cristais maiores de plagioclásio, podendo apresentar textura poiquilitica.

Os piroxênios representam o mineral ferromagnésiano dominante nestas rochas, com até 43% do volume total da rocha. São cristais isolados subédricos e inequigranulares finos a médios (< 2,7 mm) (Figura 23 e Figura 24). O **ortopiroxênio** ocorre principalmente como cristais subédricos até anédricos e pleocroísmo variando de verde-claro a rosa. Em associação com plagioclásio apresenta-se com textura intergranular. Por vezes, mostra bordas reabsorvidas e transformação para anfibólio tanto nas bordas como ao longo de planos de clivagem. A alteração para anfibólio pode chegar a ser pervasiva em algumas amostras. Exibe ocasionalmente inclusões de óxidos de Fe-Ti. O **clinopiroxênio** possui forma prismática subédral até eudral. O pleocroísmo é fraco e varia de incolor a castanho caro, rosado, incolor a verde claro. Apresenta textura coronítica caracterizada por anfibólio envolvendo parcial ou totalmente o piroxênio. Os limites com os demais minerais variam entre retos à levemente irregulares. Por vezes, exibe zoneamento composicional com ortopiroxênio no centro e clinopiroxênio na borda do cristal.

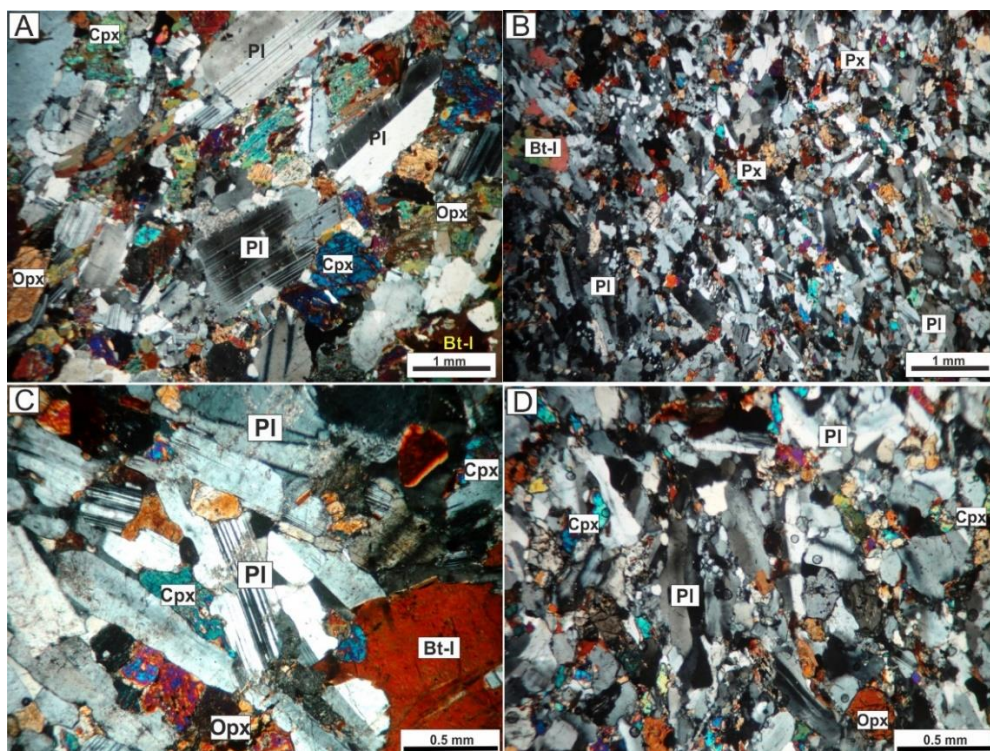


Figura 23. Aspectos petrográficos e texturais dos gabros. **A-B)** Textura fanítica intergranular (sub)ofítica de grão grosso (RS-34) e de grão fino-médio (RM-08A). **C)** Textura intergranular entre plagioclásio (Pl) e piroxênios (Cpx e Opx) para gabro de textura grossa. Cristais de plagioclásio (Pl) subedrais a anedrais com

geminção mecânica polissintética e zoneamento normal (RS-67A). **D)** Textura intergranular para o gabro de tamanho de grão fino-médio (RM-12).

Dentre os minerais máficos secundários ocorre anfibólio-I e biotita-I neste litotipo. O **anfibólio I** perfaz entre 0,5 – 2% do volume modal nos gabros nas variedades do gabronorito, sendo que nos hornblenda gabronoritos, este valor chega a atingir até 10%. De modo geral, ocorrem na forma e cristais anedrais até subedrais, com pleocroísmo verde claro a escuro ou castanho claro. Este litotipo, ocasionalmente substitui piroxênio gerando textura de tipo coronítica (Figura 24 A, B). Os contatos com outros minerais variam entre irregulares a retilíneos. Encontra-se principalmente associado a piroxênios, biotita-I e minerais opacos.

A **biotita I** ocorre entre 2,5-6% do volume da rocha, com forma subedral até eudral, tamanhos entre 0,3 e 1,8 mm, pleocroísmo de amarelo pálido a marrom escuro. É encontrada como cristais isolados ou em agregados associados com anfibólio, piroxênio e opacos ou substituindo o anfibólio (biotita-II) nas bordas, e por vezes, gerando agregados. Exibe leve extinção ondulante, dobramentos e formação de *kinks* (Figura 24 A-D). Ocasionalmente é substituído por clorita e apresenta inclusões de minerais opacos e de apatita.

Os **minerais opacos** são ilmenita, hematita e subordinadamente pirita, sendo as fases acessórias principais. Ocorrem principalmente como pequenos cristais subédricos ($\leq 0,4$ mm), inclusos ou associados a minerais ferromagnesianos, como piroxênio, anfibólio, além de biotita-II, a qual é encontrada nas bordas de anfibólios ou por vezes com desenvolvimento de agregados minerais (Figura 24 B). Estes minerais, têm teores baixos (1%) até bastante elevados ($\leq 15\%$). Apresentam contatos irregulares com anfibólio, biotita, piroxênio e plagioclásio. Geralmente também ocorrem nos planos de clivagem da biotita, piroxênio e como inclusões em anfibólio e plagioclásio.

O **quartzo** em geral são cristais anedrais, isolados, com tamanhos menores de 0,5 mm, com bordas irregulares de aspecto límpido compondo a matriz, extinção ondulante leve e limites lobados (Figura 24 D). A **apatita** é eudral com tamanho menor que 0,3 mm, habito acicular e prismático.

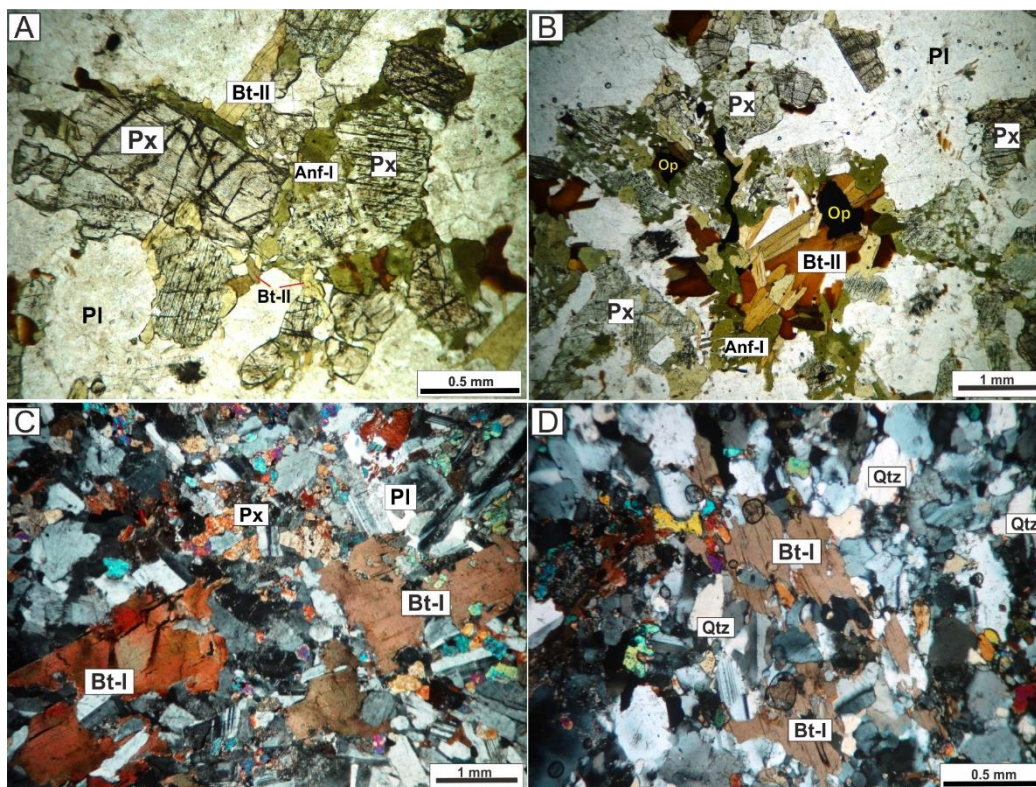


Figura 24. Aspectos petrográficos e texturais dos gabros. **A)** Textura coronítica com núcleo de piroxênios (Px) e borda de anfibólio (Anf-I), (RS-34). Biotita (Bt-II) substitui anfibólio nas bordas. **B)** Associação piroxênio (Px) anfibólio (Anf-I), agregados de biotita (Bt-II) e opacos (Op) (RS-67A). **C)** Biotita (Bt-I) em contato com plagioclásio (Pl) e piroxênio (Px) (RS-05). **D)** Contato irregular de quartzo (Qtz) anédral com extinção ondulante leve com plagioclásio (Pl) (RS-81).

4.3.2.1 PETROGRAFIA DE FASES OPACAS

As fases opacas nos gabros são representadas por óxidos de Fe-Ti (ilmenita e magnetita) e pirita contidos em forma disseminada (Figura 25). A **ilmenita** é a fase opaca mais abundante. Ocorre em maior porcentagem (até 8%) nos gabros de grão fino-médio, e no gabro de grão grosso (até 2%). Ocorre como cristal isolado ou em agregado associado a magnetita e pirita. Apresenta formas arredondadas, subédricas até anédricas, aparência límpida, levemente fraturados, limites retos a irregulares com minerais ferromagnesianos e retilíneos com a magnetita (Figura 25 A-C). **Magnetita** em 3% do volume em gabro de grão fino-médio e até 1% em gabro de grão grosso. Associada com ilmenita em cristais subédricos a anédricos com limites irregulares nas bordas de ilmenita e restritamente limites retos e formas euedrais entre elas e habito cubico (Figura 25 B, D-F).

A **pirita** atinge até 2% do volume da rocha em gabros de tamanho de grão fino-médio. São cristais isolados associados a óxidos de Fe-Ti, habito subedral a euedral e aparência interna lisa. Preenchem fraturas na magnetita e em planos de clivagem de minerais ferromagnesianos (Figura 25 D-G). Os contatos são irregulares com minerais máficos, principalmente a biotita.

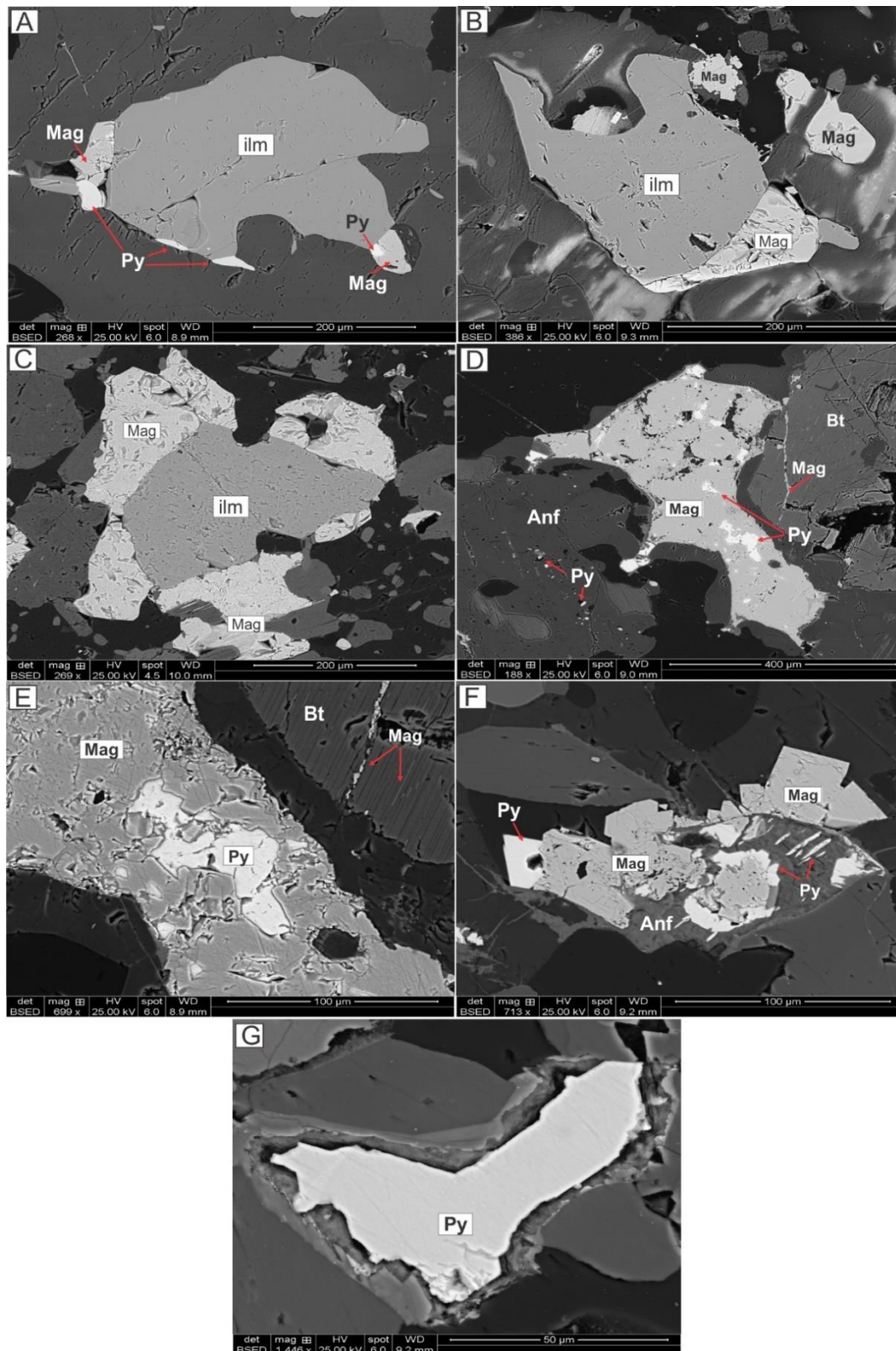


Figura 25. Imagens de elétrons retroespalhados exibindo modo de ocorrência de minerais opacos em gabros. **A)** Agregado ilmenita (Ilm), magnetita (Mag) e pirita (Py) (R-RS-34) **B-C)** Associação de cristais de ilmenita (ilm) com magnetita, mostrando limites retos (RM-04A). **D-F)** Cristais de magnetita em associação com pirita (Py) nas bordas (R-RS-34). **G)** Cristal de pirita (Py) mostrando formas subédricas e textura interna límpida (RM-08A).

4.3.3 ROCHAS HÍBRIDAS

Rochas de caráter “híbrido” são observadas principalmente como matacões com dimensões de até 5m x 5m (Figura 20 G), são cinza escuras, de estrutura maciça e exibem textura porfirítica com fenocristais elipsoidais de K-feldspato e quartzo com tamanhos entre 1 mm até 5 mm no seu eixo maior, similares aos observados nos ortognaisses e contidos em matriz média a fina com quartzo, piroxênio e plagioclásio, e com orientação preferencial de forma (Figura 20 H) e representando principalmente as foliações S_n e S_{n+1} .

As rochas híbridas têm composição similar ao metagabro de textura fina-média, contendo porfiroclastos de plagioclásio e quartzo em uma matriz fina a média de composição gabroica, exibe evidências de assimilação das rochas encaixantes gnáissicas como porfiroclastos de K-feldspato e quartzo com forma de *augen*, dispostos alinhados segundo a foliação relictas gnáissica, textura fina escura, gerando na rocha aspecto híbrido.

No microscópio, contem na matriz cristais tabulares de plagioclásio e quartzo clinopiroxênio e ortopiroxênio, minerais opacos e apatita. Como minerais secundários encontra-se biotita, anfibólio, sericita e clorita (Figura 26).

O **plagioclásio** ocorre em dois tipos: 1) fenocristais tabulares subedrais a euedrais, variando de 0,6 a 2,0 mm. Exibe geminação Albita e Carlsbad e zoneamento normal (Figura 26 A, B). Textura poiquilítica restrita com inclusões de piroxênio e biotita, opacos e apatita. 2) quando na matriz, são cristais com tamanho entre 0,3 e 1,0 mm, maclados e zonados, forma agregados com textura intergranular. É moderada a fortemente alterada por sericita (Figura 26 B).

O **quartzo** é principalmente em porfiroclastos subedrais a anedrais, apresentando dimensões entre 0,5 e 1,3 mm, extinção ondulante moderada. Apresenta borda arredondada e bordejado por cristais de piroxênio e anfibólio (Figura 26 A, C). Quando na matriz, possui hábito anedral, tamanho entre 0,2 e 0,6 mm como grãos isolados com bordas irregulares, extinção ondulante e limites lobados (Figura 26 E).

Os minerais máficos estão representados por piroxênio, biotita e anfibólio. Os **piroxênios** (ortopiroxênio e clinopiroxênio) apresenta-se como cristais subédricos até anédricos, com dimensões entre 0,1 e 04 mm (Figura 26 A-E). Alguns cristais encontram-se fraturados e alterados nas bordas e planos de clivagem para anfibólio.

A **biotita** ocorre como cristais isolados, por vezes associados a anfibólio (Figura 26 D), bem como substituindo este. Tamanho variável de 0,4 a 0,6 mm, limites retos a irregulares e pleocroísmo amarelo pálido a marrom escuro (Figura 26 D). São comumente

observadas substituições para clorita nas bordas dos cristais e inclusões de minerais opacos.

O **anfibólio-I** está associado com biotita e minerais opacos. Tem hábito subedral a anedral, com dimensões entre 0,8 e 1,1 mm e pleocroísmo verde amarelado a verde escuro. Os limites com outros minerais são irregulares, ocorrem substituições na borda para biotita (Figura 26 F) e inclusões de minerais opacos e de apatita.

Os minerais acessórios (< 0,6 mm) são opacos subedrais, **apatita** (< 0,5mm) em cristais eudrais, sendo observados cristais aciculares e prismáticos. Minerais como sericita e clorita são produto de alteração de plagioclásio e de biotita, respectivamente.

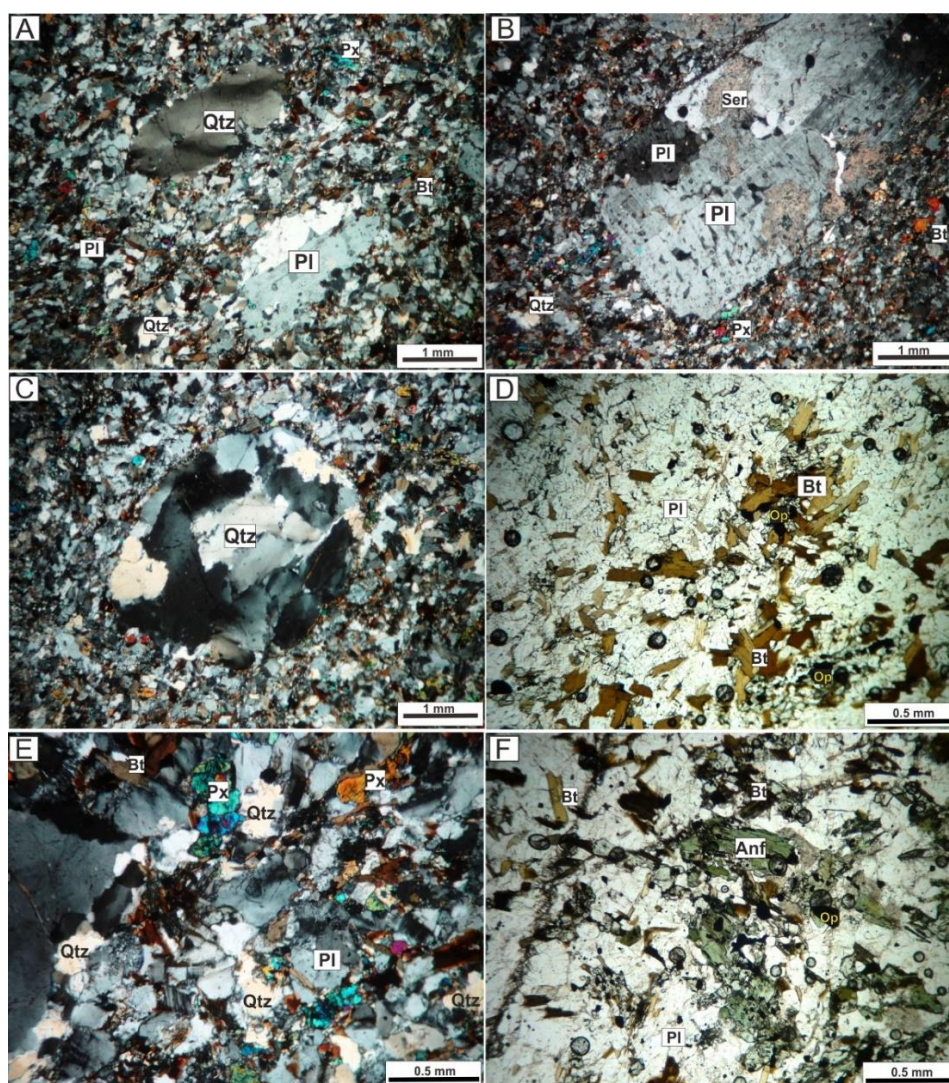


Figura 26. Aspectos petrográficos das rochas híbridas. **A)** porfiroclastos de quartzo (Qtz) e plagioclásio (Pl) em matriz fanerítica media a fina gabróica (RM-09A). **B-C)** porfiroclastos de plagioclásio (Pl) e de quartzo (Qtz) em matriz composta por plagioclásio (Pl), piroxênios (Px) e biotita (Bt). Piroxênio manteado por anfibólio (Anf-I) (RM-12A). **D)** Cristais de biotita (Bt) isolados e em agregados em associação com opacos (Op). **E)** quartzo (Qtz) em matriz, intersticial com limites irregulares com plagioclásio (Pl), piroxênio (Px) e biotita (Bt) (RS-121A). **F)** Anfibólio (Anf) e biotita (Bt) em associação com minerais opacos (Op) (RM-09A).

Os gabros apresentam foliação denominada como S_1 , caracterizada pela orientação de cristais eudrais de plagioclásio e máficos, cuja atitude está em torno de N53W/67NE (Figura 27). Devido à restrita ocorrência de afloramentos, não foi possível identificar corpos com outras direções.

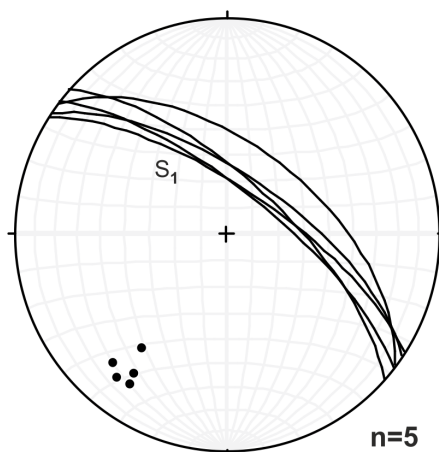


Figura 27. Diagrama Schimdt-Lambert, hemisfério inferior foliação principal S_1 dos gabros.

Nas rochas híbridas a foliação S_n , é caracterizada pela orientação de porfiroclastos de K-feldspato, que se dispõe com atitude similar à foliação gnáissica S_n , sendo a foliação S_{n+1} restrita, foi observada nas rochas híbridas em locais próximos aos gnaisses de fácies miloníticas. As foliações S_n e S_{n+1} , quando lançadas em estereogramas, mostram concentrações com orientação entre N36E/59NW e N80E/62NW, respetivamente (Figura 28).

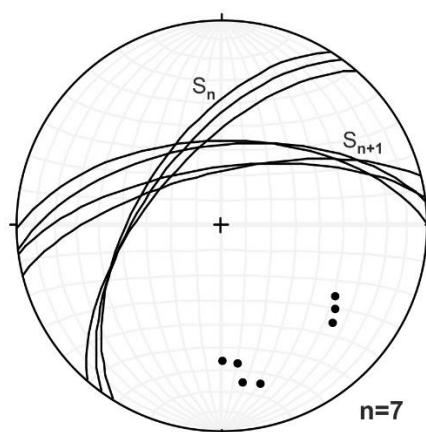


Figura 28. Diagrama Schimdt-Lambert, hemisfério inferior das foliações principais S_n e S_{n+1} presentes nas rochas híbridas.

4.4. OCORRÊNCIA MINERAL

Na Serra Repartimento a ocorrência do minério é representada por veios de quartzo e rutilo que preenchem fraturas angulosas, com limites curvos, descontínuas e variam de 2 a 20 cm de largura. Ocorrem hospedados em gnaisses (*augen* e milonitizados), orientados segundo *trends* NE-SW e E-W. Em geral, têm forma tabular marcada por limites difusos com intensa alteração hidrotermal da rocha ortognáissica adjacente, exibindo cores esverdeadas, rosadas e avermelhadas (Figura 29). O minério de Ti, Nb e ETR's está contido em ditos veios de quartzo, que também contém rutilo, óxidos de ferro-titânio e como fases acessórias apatita e zircão. As ocorrências de corpos mineralizados foram agrupadas em dois setores descritos a seguir.

SETOR NORTE

O minério está contido em veios de quartzo com largura de até 20 cm e encontra-se hospedado nos *augen* gnaisses. Ocorre como bandas de rutilo, óxidos de Fe-Ti e sulfetos, orientados NNE-SW. Múltiplas vênulas milimétricas de quartzo-rutilo com até 0,7 mm de espessura, se dispõem subparalelas aos veios maiores. Halos de alteração hidrotermal (de até 30 metros de largura) da rocha encaixante na vizinhança dos veios são identificados pela perda de textura desta e variação na coloração esverdeada a rosada. Tais feições também são observadas nos testemunhos de sondagem R-RS-SR-03 até profundidades de 20 m (Figura 29).

SETOR SUL

Os gnaisses que apresentam textura milonítica hospedam veios de quartzo de até 15 cm de largura, contendo rutilo, óxidos de Fe-Ti e sulfetos, orientados predominantemente nas direções NW-NE até E-W. Nesta zona, esses veios mineralizados ocorrem preenchendo fraturas (até 15 cm de largura), dispostas paralelas à foliação milonítica. A alteração hidrotermal é moderada a forte e, a pesar disso, muitas feições primárias dos gnaisses ainda podem ser reconhecidas. Os tipos de alteração descritos são representados por zonas de afetação hidrotermal, de coloração verdeada e silicificação. Vênulas milimétricas, com espessuras de até 0,5 mm, paralelas a subparalelas contendo quartzo e rutilo são encontrados nesta zona. Estas feições são observadas nos testemunhos R-RS-SR-01 e R-RS-SR-02, o qual apresenta zonas mineralizadas e alterações hidrotermais até as profundidades de 9,5 metros e 12,50 metros, respectivamente, seguido de rocha gnáissica hospedeira (Figura 29).



Figura 29. Ocorrência do minério e da alteração hidrotermal associada. **A)** veio de quartzo, rutilo, óxidos de Fe-Ti e sulfetos hospedado em gnaiss milonitizado (RM-16). **B-C)** Veio de quartzo e rutilo (R-RS-431 e RM-20D). **D)** vênulas milimétricas de quartzo (Qtz) + Rutilo (Rt) (R-RS-254) hospedadas em gnaiss milonitizado. **E-G)** Testemunhos de sondagem R-RS-SR1 e R-RS-SR3 com zonas mineralizadas e halos de alteração hidrotermal em gnaiss milonitizado.

Duas orientações principais de veios mineralizados são bem caracterizadas na área da Serra Repartimento e foram definidas nos estereogramas (Figura 30). No setor norte da área, os veios mais expressivos apresentam orientação preferencial entre N10°E – N30°E com mergulho médio de 62°SE, sendo subparalelos à atitude da foliação S_n presente nos *augen* gnaisses (Figura 30 A). No setor sul, os veios têm atitude predominante variando de N82W/58NE até E-W, sendo concordantes com o *trend* da foliação S_{n+1} , contida na fácies gnaiss milonitizado (Figura 30 B).

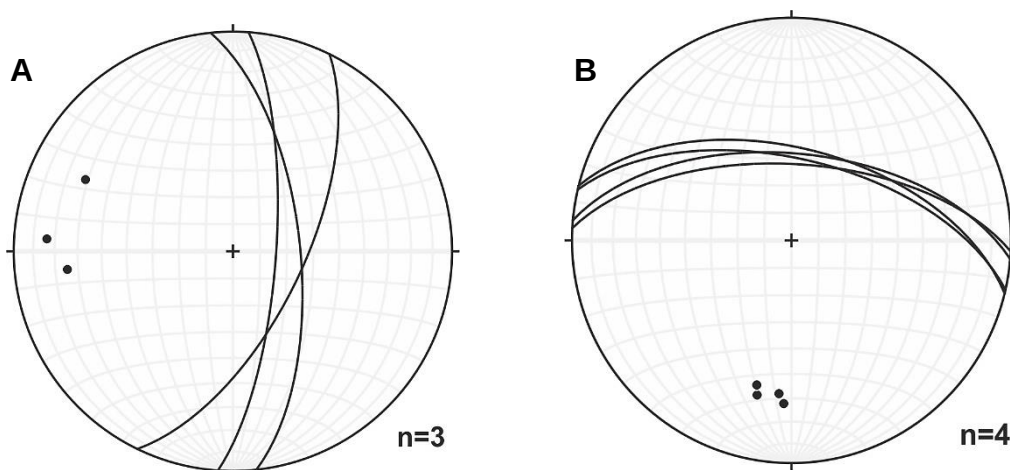


Figura 30. Agrupamentos principais das orientações dos veios. **A)** Diagrama Schmidt-Lambert, hemisfério inferior da orientação preferencial das fraturas em *augen* gnaisses do setor norte. **B)** Orientação preferencial das fraturas em gnaiss milonitizado do setor sul.

4.4.1 ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL

Entendendo que alteração hidrotermal, é tratado o espectro de formação de novos minerais a partir de outros presentes nas rochas encaixantes derivados da passagem de um fluido hidrotermal. Na área de estudo este processo se relaciona com a ocorrência de sistemas de fraturas com preenchimento por quartzo e rutilo contendo como minério Ti, Nb e ETR's. Tais veios se orientam NE-SW e E-W seguindo as atitudes de estruturas de cisalhamento regional com trend NE-SW e E-W, registradas nas foliações S_n e S_{n+1} nas rochas hospedeiras desses veios. Estes veios são envolvidos por zonas de alteração hidrotermal, também mineralizadas, compondo um conjunto de veios com halos de alteração com até 30 m de largura, principalmente observados nos gnaisses.

Os halos de alteração hidrotermal que “envolvem” os veios mineralizados são observados como rochas de coloração esverdeada a esbranquiçada, textura média a grossa, exibindo, aspecto microbrechado. Estas marcam pelo menos duas zonas de alteração hidrotermal bem definidas e distintas, uma proximal ao veio e a outra distal a este (Figura 31).

- Na zona proximal para o centro do sistema mineralizado, a associação mineral de origem hidrotermal é formada por aegirina $\pm$ quartzo-II $\pm$ sericita-II $\pm$ sulfeto. Esta alteração modificou quase por completo a textura original da rocha, os minerais máficos (biotita-I e hornblenda) e os feldspatos primários foram completamente consumidos e transformados em uma massa fenítico-sericítica, com predomínio da fenitização e sericita (sericitização) restrita.
- Na zona intermediária-distal ocorrem rochas que apresentam moderada a alta silicificação e sericitização. Destaca-se por apresentar ainda cristais reliquias de feldspatos e minerais máficos (biotita-I e hornblenda) em matriz hidrotermal constituída por quartzo-II $\pm$ sericita-II $\pm$ carbonato

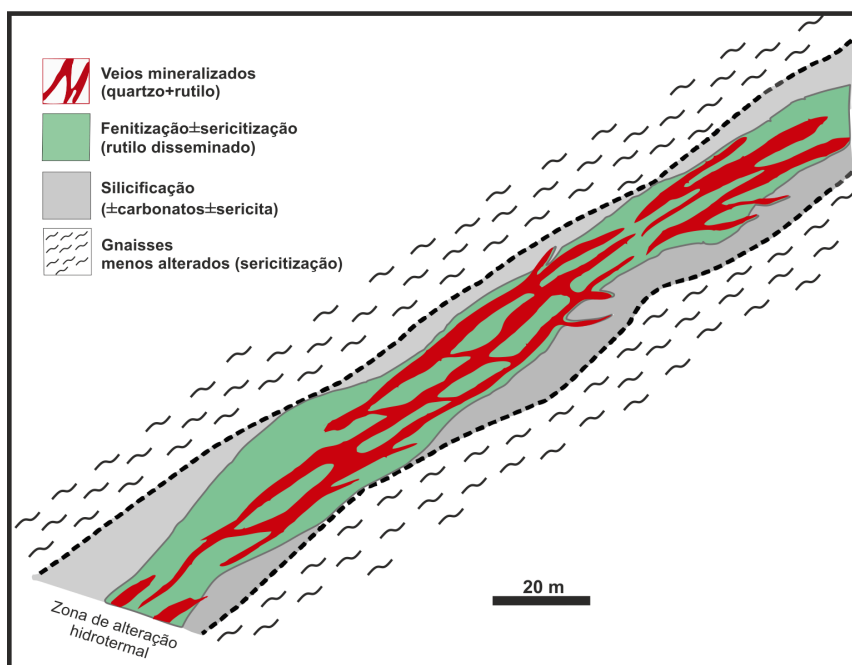


Figura 31. Desenho esquemático das zonas de alteração hidrotermal em gnaisses (setor norte e sul) associadas veios de quartzo e rutilo, mostrando a associação íntima dos veios mineralizados com a alteração fenítica e o minério disseminado no halo de alteração hidrotermal.

A alteração hidrotermal, embora generalizada, varia de moderada a alta. Os sinais mais intensos são observados nas rochas com deformação milonítica e ao longo dos veios mineralizados na zona mais proximal. Três tipos principais de alteração foram descritos: fenitização, silicificação e sericitização.

FENITIZAÇÃO

O estilo desta alteração é predominantemente pervasiva e de tipo fissural, notadamente adjacentes aos veios mineralizados em gnaisses *augen* e milonitizados (zona proximal), e sendo observada principalmente nos testemunhos de sondagem (Figura 32

A). Apresentam tons esverdeadas produto da alteração de minerais máficos (biotita e hornblenda), gerando substituição total ou quase total da rocha original. O mineral principal dessa alteração está representado por aegirina, identificada primeiramente mediante difração de raios-X (DRX) (Figura 32 E). A aegirina é subedral, de tamanho variável em torno de 0,2 mm constituída tipicamente por cristais prismáticos ou agregados de hábito fibrorradiado (esferulitos) (Figura 32 B, C). Possuem forte pleocroísmo que varia de verde-oliva, verde-oliva levemente amarelado e verde-oliva amarelo). Nos gnaisses meso a ultramiloníticos a aegirina apresenta-se principalmente nos planos da foliação milonítica S_{n+1} (Figura 32 D). Esse tipo de alteração comumente esta acompanhada de rutilo e de óxidos Fe-Ti de maneira disseminada.

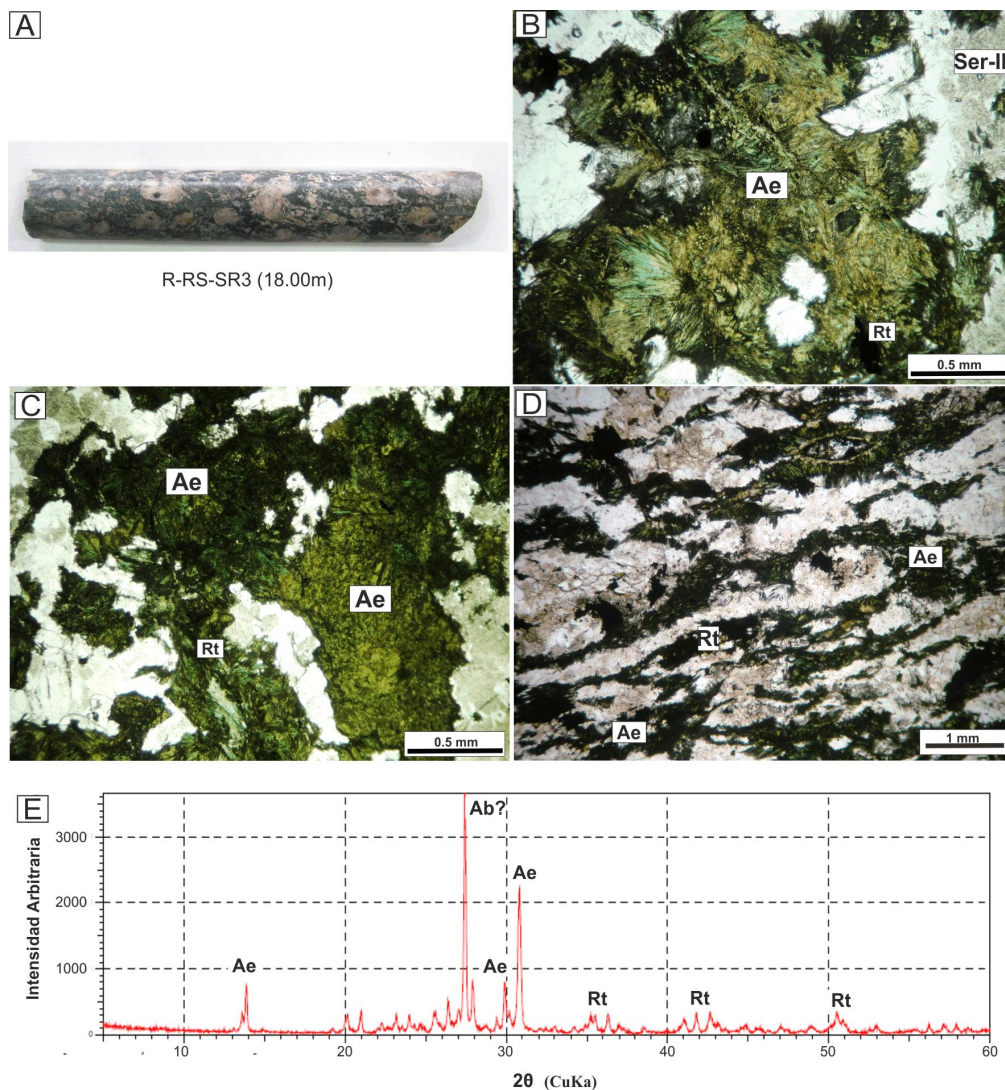


Figura 32. Ocorrência de alteração hidrotermal por fenitização. **A)** Testemunho de sondagem mostrando alteração pervasiva para aegirina e presença de fenocristais de K-feldspato alterados. **B-C)** Fenitização em *augem* gnaisses, mostrando massas microcristalinas de aegirina (Ae) verde-oliva fibrosa com tendência a prismática, com rutilo (Rt) disseminado (RS-SR3-04A). **D)** Fenitização em gnaisses de fácies mesomiloníticas a ultramiloníticos, mostrando aegirina (Ae) e rutilo (Rt) nos planos de foliação principal S_{n+1} (RS-SR1-09m). **E)** Espectro de difração de raios-X mostrando picos com conteúdo de aegirina (Ae) (R-RS-SR3-4C).

URALITIZAÇÃO

Este processo de alteração apenas ocorre nos gabros, consiste na alteração hidrotermal predominantemente pervasiva dos piroxênios para gerar anfibólio-II, e formando texturas coroníticas nos piroxênios. Os anfibólios podem ser parcialmente substituídos nas bordas para biotita-II, e estes sendo acompanhados por minerais opacos, denominados opaco-II. A associação de anfibólio-II e biotita-II encontra-se comumente, quando a rocha apresenta orientação preferencial subparalela à foliação principal S_{n+1} . Nos plútons de gabro esta alteração, parece corresponder à zona de fenitização dos gnaisses, mas sem ter referência exata de posicionamento devido à falta de veios definidos da área de mineralização (Figura 33 A, B).

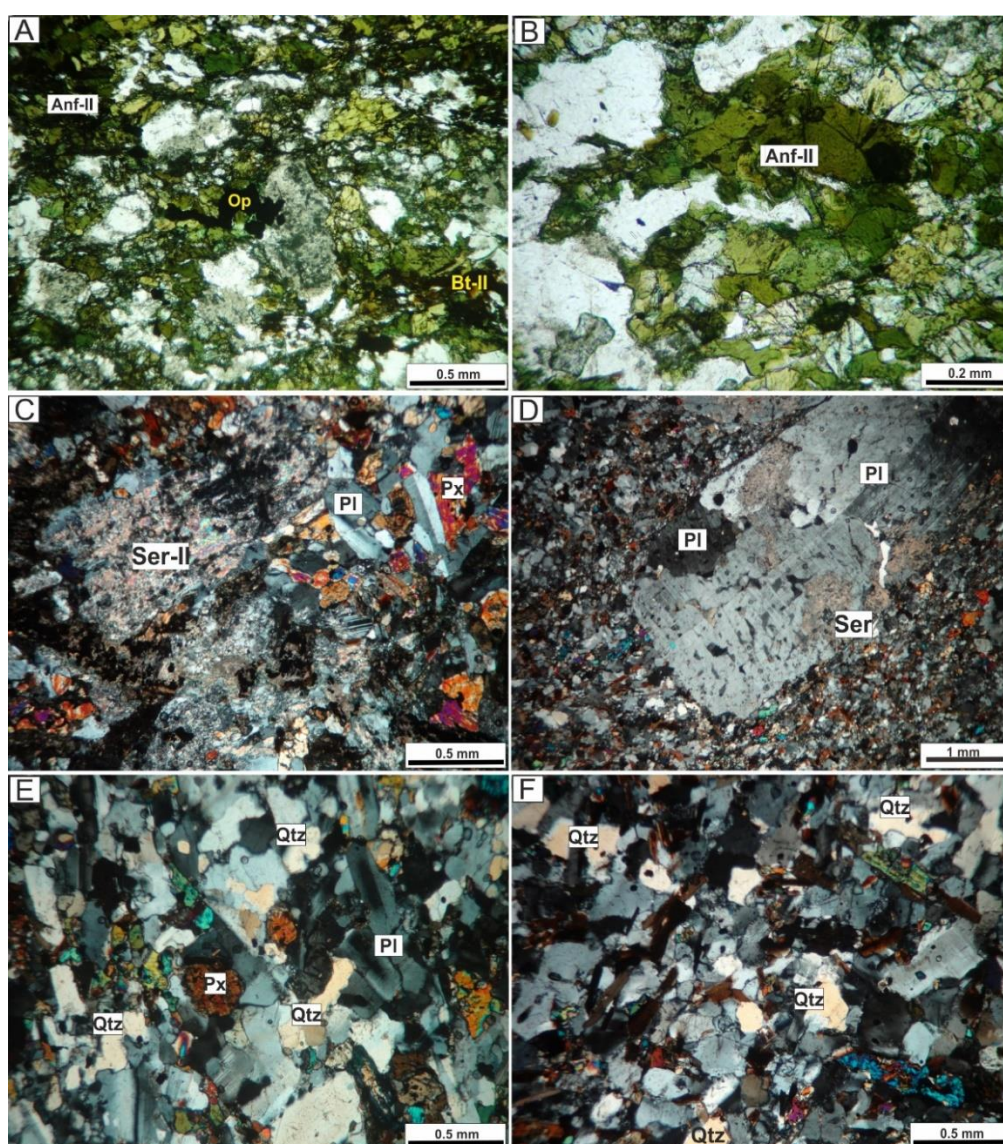


Figura 33. Alterações hidrotermais em gabros. **A)** Uralitização substituição de piroxênio por anfibólio (RM-3A) **B)** agregados de anfibólio (Anf-II) como processos de intensa uralitização de piroxênios (RS-473A). **C-D)** Cristais de plagioclásio (Pl) moderada a totalmente pseudomorfizados por alteração sericitica (Ser-II) em diabásio e rocha híbrida (RS-130 e RM-09A) **E-F)** silicificação em rochas máficas mostrando moderada a alta formação de quartzo intersticial (RM-08A e RS-128).

SILICIFICAÇÃO

Um segundo estágio de alteração hidrotermal e responsável pelo preenchimento de fraturas com quartzo, afetou os gnaisses em estilo pervasivo principalmente e de tipo fissural, gerando cor cinza-esbranquiçada (Figura 34 A). É representada por quartzo, denominado quartzo-II, com textura fina a grossa, exibindo restrita extinção ondulante e leve fraturamento e forma alongada disposta diagonal ao limite da fratura (Figura 34 B, C). Encontra-se tanto disseminados como confinados em veios milimétricos (Qtz-III), e sendo este associado a rutilo (Figura 34 D).

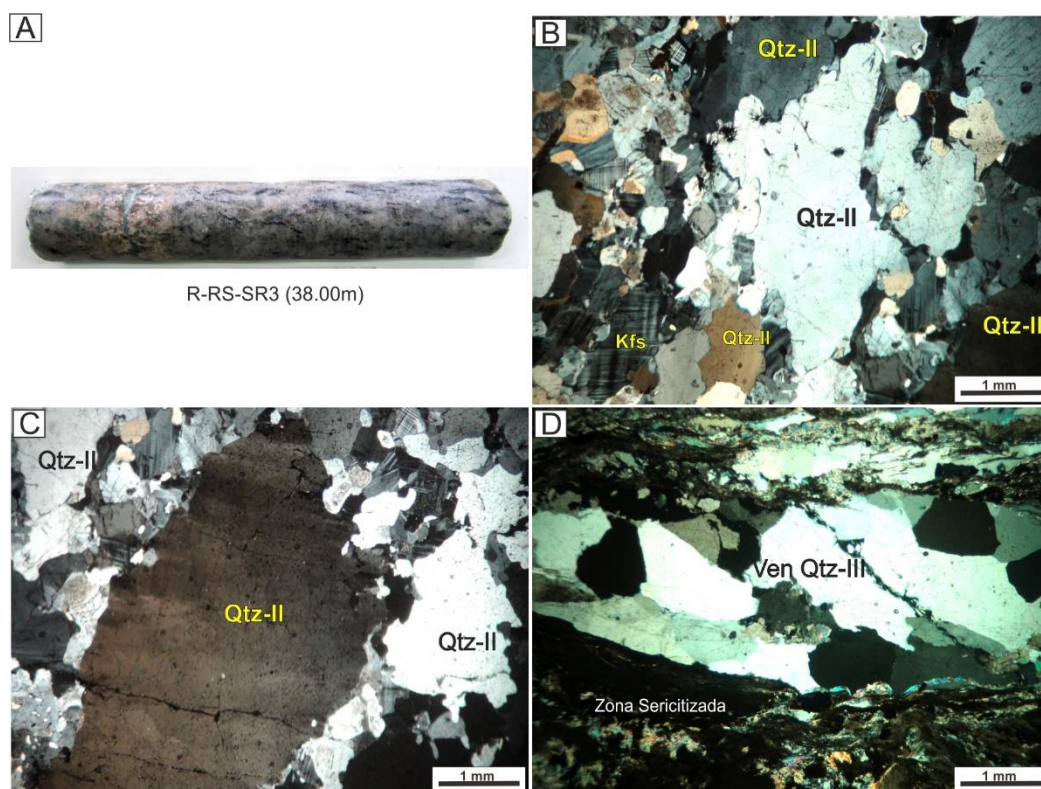


Figura 34. Ocorrência de alteração hidrotermal por silicificação em gnaiss. **A)** Testemunho de sondagem mostrando silicificação pervasiva moderada a alta. **B-C)** Cristais de quartzo (Qtz-II) de granulação fina a grossa com extinção ondulante em *augem* gnaisses e gnaisses miloníticos (RS-SR3-05 e RS-SR1-02). **D)** veio milimétrico de quartzo (Qtz-III) hospedado em gnaiss associados ao minério com halos de alteração sericitica proximal (RS-SR3-08).

Nos gabros a silicificação ocorre geralmente como resultado da percolação de fluidos com formação de quartzo nos espaços intersticiais entre cristais de plagioclásio e piroxênio e associado a alteração de plagioclásio em sericita. O quartzo ocorre como cristais anedrais de dimensões variadas, geralmente textura fina a média e sem extinção ondulante (Figura 33 E, F).

SERICITIZAÇÃO

A alteração sericitica nos gnaisses, é interpretada como a alteração mais distal no sistema hidrotermal e apresentando-se nas rochas menos alteradas. Ocorre de forma

restrita, em estilo pervasivo seletivo, onde neste processo os feldspatos são intensamente substituídos parcial ou totalmente por sericita (Figura 35). Este mineral, denominado de sericita-II, tem textura fina a muito fina, comumente encontrada disseminada na massa rochosa (Figura 35). Pirita ocorre associada a esta alteração assim como a clorita e minerais opacos.

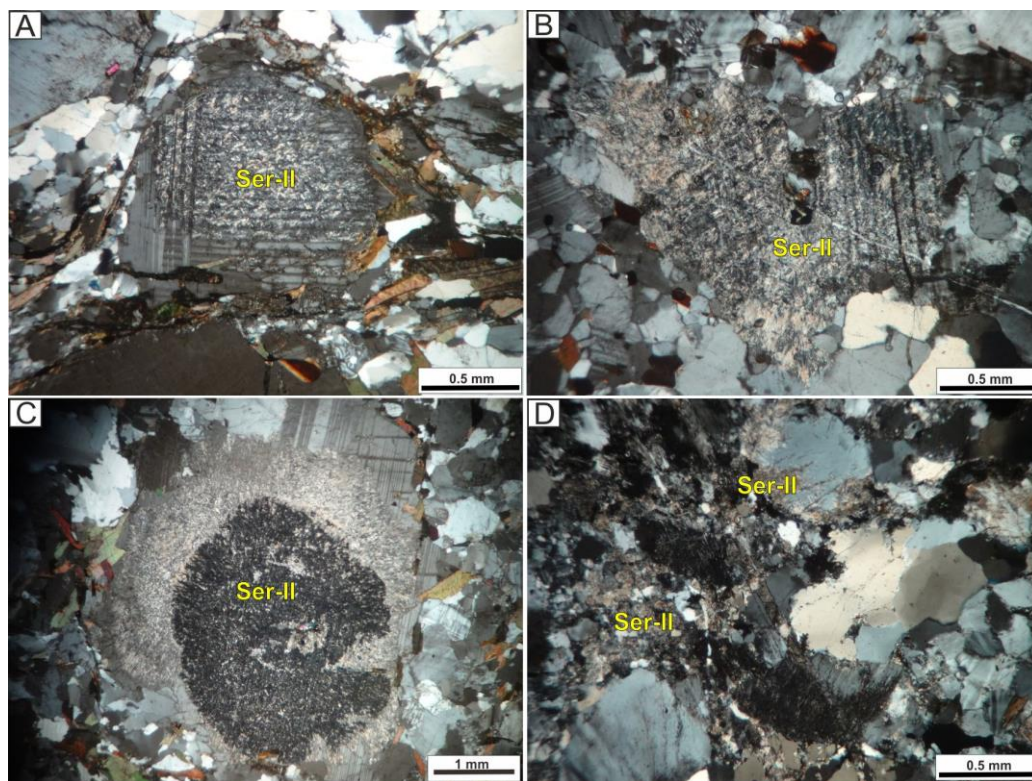


Figura 35. Processo de alteração hidrotermal por sericitização em gnaíse. **A-D)** Moderada a intensa sericitização (Ser-II) substituição de plagioclásio, sericita com textura pseudomórfica (RM-07 e RM-14).

A alteração sericitica nos gabros, de modo geral, é pervasiva a fissural, gerou sericita-II como resultado da substituição total ou parcial de cristais de plagioclásio, restando apenas pseudomorfos. Também preenche fraturas irregulares, associada a pirita anedral disseminada. Localmente a intensidade da alteração sericítica é baixa afetando apenas alguns cristais de plagioclásio e deixando outros preservados (Figura 33 C, D).

4.4.2 MINÉRIO

O minério (Ti, Nb e ETR's) ocorre associado ao rutilo, sendo o mineral minério principal, encontrado em veios junto a quartzo-III, e também de maneira disseminado nas rochas hidrotermalizadas adjacentes. Geralmente o rutilo está associado a fluorapatita e zircão-II (Figura 36). Os veios formam corpos centimétricos a decimétricos de preenchimento, compondo enxames na direção principal do cisalhamento (NE-SW) e subordinadamente na direção E-W.

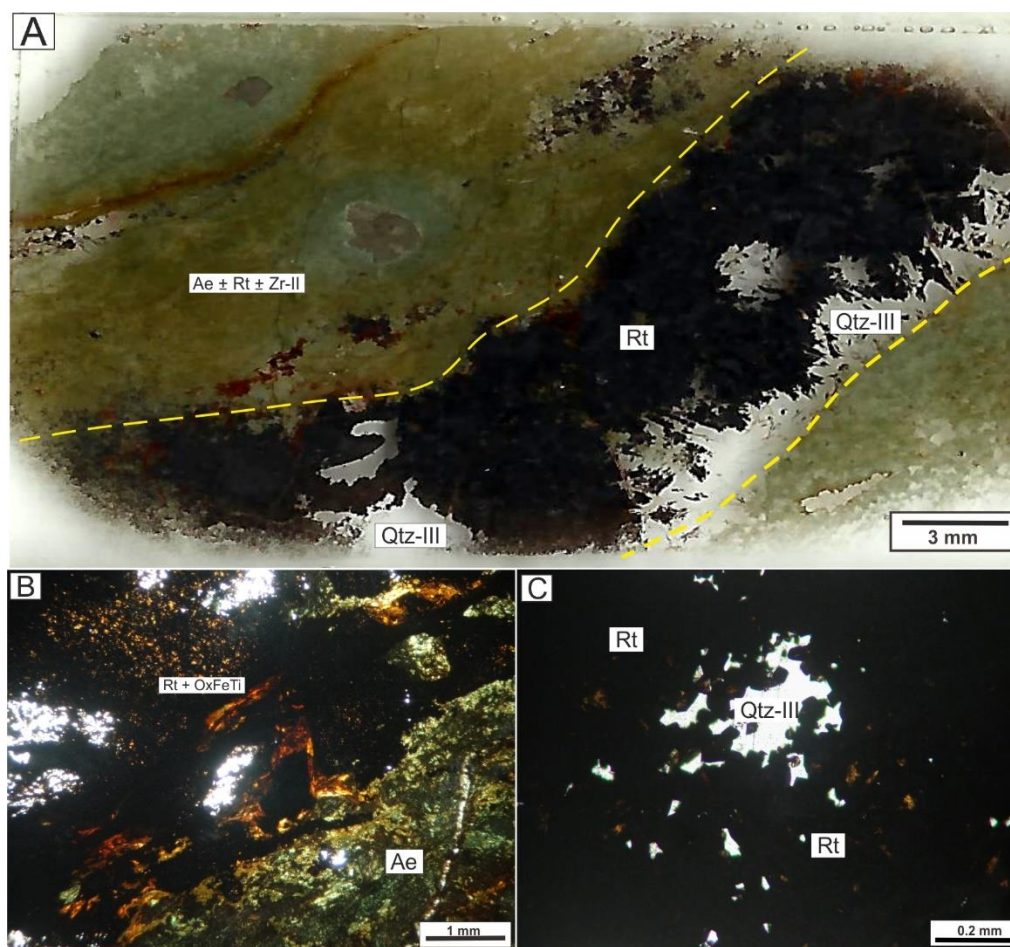


Figura 36. Características petrográficas dos veios de quartzo com rutilo. **A)** Fotomicrografia da forma de ocorrência dos veios de quartzo (Qtz-III) e rutilo (Rt), (R-RS-SR-01). **B)** Relação direta entre veios de quartzo e alteração por fenitização (Ae) (R-RS-SR3-02) **C)** Destaque de agregados de rutilo (Rt) associados a quartzo (Qtz-III) (RM-20D).

O **rutilo** ocorre em dois tipos i) formando agregados minerais nos veios de quartzo-III e representando o mineral minério principal. São cristais eudrais e raramente subedrais, que apresentam formas alongadas, prismáticas até piramidais, de tamanho micrométrico a milimétrico e cores laranja avermelhada até marrom, pleocroísmo fraco e podendo-se apresentar superfícies límpidas e limites retas (Figura 37 A, B). Cristais de rutilo também ocorrem com leves zoneamentos concêntricos, ou ainda na forma de pequenas acículas (Figura 37 C, D); e ii) como minerais isolados, e por vezes, em pequenos agregados encontrados comumente inseridos na alteração proximal fenítica e raramente em zonas silicificadas na forma de veios milimétricas e disseminados (Figura 37 E, F). Também apresentam formas eudrais até subedrais associados a óxidos de Fe-Ti. Com o auxílio de EDX-MEV e mediante microsonda eletrônica verificou-se também a presença de Nb (Figura 37 G), bem como baixos conteúdos de Ta no rutilo.

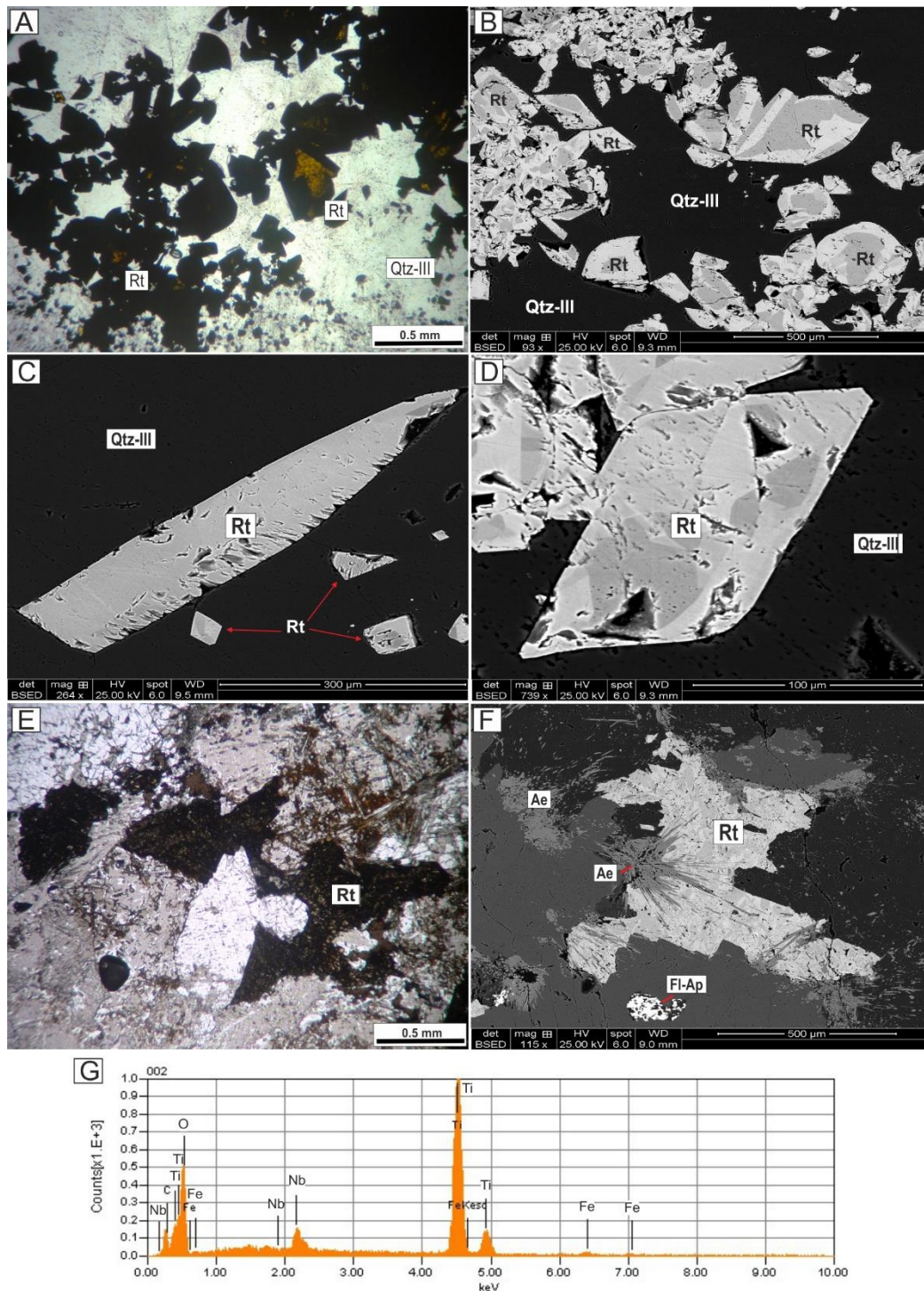


Figura 37. Características petrográficas do rutilo. **A)** Veios de quartzo (Qtz)+rutilo (Rt) (RM-20D). **B)** Imagem de elétrons retro espalhados de agregados de rutilo (Rt) com formas euédrais a subédrais e bordas corroídas a óxidos de Fe-Ti (RS-Z-25). **C-D)** Cristais de rutilo (Rt) com formas alongadas, prismáticas e piramidais, mostrando zoneamento concêntrico composicional para óxido de Fe-Ti **E)** Agregados de rutilo (Rt) nas proximidades dos veios mineralizados (RS-SR3-02). **F)** Imagem de elétrons retro espalhados de agregado de rutilo (Rt) inserido em alteração fenítica. **E)** Espectro MEV-EDS para rutilo contendo Nióbio (Nb) (RS-SR3-04).

O **zircão II** apresenta-se como cristais euedrais prismáticos, marrom claro, cor de interferência anômala e alta birrefringência. Ocorre na forma de cristais isolados, e por vezes, em agregados, próximos a veios mineralizados, inseridos na alteração fenítica

(Figura 38 A, B). Exibem fratura interna, limites de contato retos a levemente irregulares, inclusões de aegirina na forma de pequenas acículas. Comumente é encontrada fluorapatita nas bordas do zircão com limite irregular e ainda como inclusões milimétricas (Figura 38 C, D).

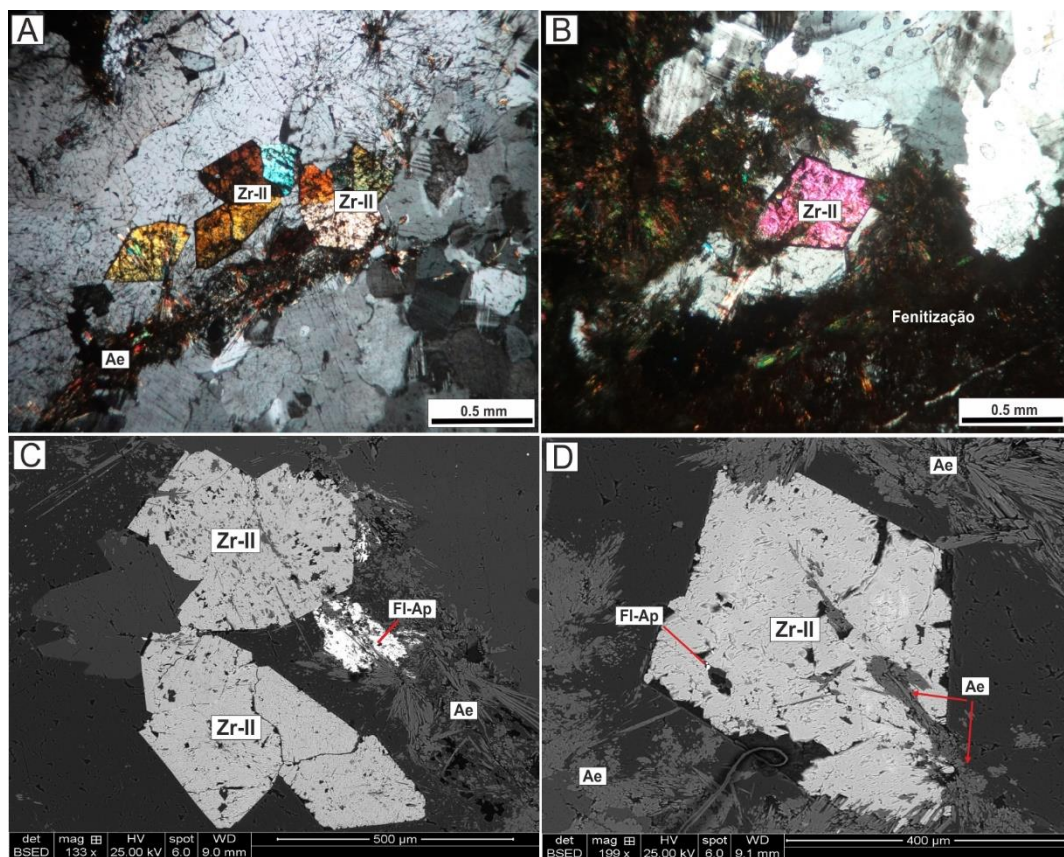


Figura 38. Características petrográficas do zircão associado ao minério. **A-B)** Destaque de pequenos agregados de zircão com formas prismáticas euédrais e como cristais isolados na alteração fenítica proximal a veios de quartzo (RS-SR3-04). **C-D)** zircão em imagem de elétrons retro espalhado, em zona de alteração fenítica e associado a fluorita e fluorapatita (RS-SR3-04).

Outra fase mineral, identificada em análises de microsonda eletrônica, é a fluorapatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$) com conteúdos detectáveis de ETR's de Nd, Ce, La, Pr e Th. Este mineral, ocorre principalmente de maneira disseminada, em pequenos agregados, na área hidrotermalizada por processo de fenitização (Figura 39), e por vezes em contato do tipo irregular com zircão-II e rutilo (Figura 38). São cristais de habito anedral a subedral, tamanho milimétrico, formas alongadas, colunares, e por vezes com habito radial (Figura 39 A, B). Em alguns minerais verificou-se textura fibrosa formando agregados (Figura 39 C, D).

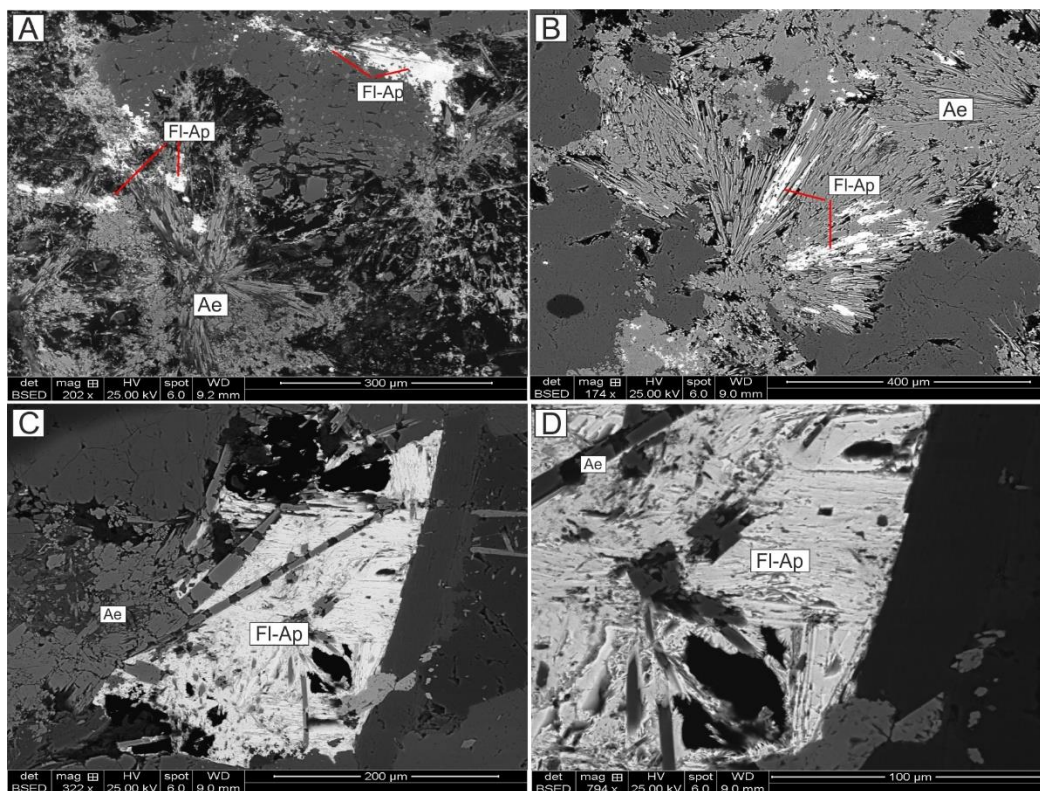


Figura 39. Características petrográficas de fluorapatita associada ao minério. **A)** Agregados finos de fluorapatita (Fl-Ap) imersos em halo de alteração fenítica. **B)** cristais de fluorapatita com formas colunares e habito radial. Amostra RS-SR3-04. **C-D)** Agregados de cristais fibrosos de fluorapatita (Fl-Ap) (RS-SR3-04).

4.5. SEQUÊNCIA PARAGENÉTICA

Os dados petrográficos e texturais das rochas gnáissicas, metagabróicas e hidrotermalizadas que compõem a área de estudo permitiram estabelecer uma sequência paragenética em minerais em associação pré-hidrotermal, de estágios hidrotermais e de minério que ocorrem associados aos veios (Tabela 1 e Tabela 2).

Nos gnaisses (*augen* protomiloníticos e fácies mesomiloníticos até ultramiloníticos), observam-se associações do tipo pré-hidrotermal de minerais como K-feldspato, plagioclásio, quartzo-I, anfibólio, biotita-I, epidoto, zircão-I, titanita, apatita e alanita, além de minerais secundários produto de possíveis eventos metamórficos posteriores (biotita-II, sericita-I e clorita). O evento hidrotermal associado a veios de quartzo com rutilo, em associação com o zircão-II, e fluorapatitas, que afetou as rochas gnáissicas resultou na geração de associações minerais nos estágios de alteração sericítica (sericita-II), silicificação (quartzo-II) e fenitização (aegirina), sendo esta última a mais proximal aos veios (Tabela 1).

Minerais	Associação 1 PRE-HIDROTHERMAL		Associação 2 HIDROTHERMAL			Área Mineralizada
			Estágio de alteração sericitica	Estágio de silicificação	Estágio de Fenitização	
Apatita	—					
Alanita	—					
Zircão-I	—					
Opacos	—					
Epidoto	—					
Anfibólio	—					
Biotita-I	—					
Titanita	—					
Plagioclásio	—					
Feldspato Potássico	—	Ext. Ondulante+Recrist.				
Quartzo-I	—	Ext. Ondulante+Recrist. Formação de ribbons				
Biotita-II		—				
Sericita-I		—				
Clorita		—				
Sericita-II			Pervasivo	—	—	
Quartzo-II			—	Pervasivo	—	
Aegirina				—	Pervasivo	
Rutilo				—	Vênulas+Disseminado	Veios
Quartzo III					—	Veios
Zircão II					—	
Fluorapatita					—	

Tabela 1. Sequência paragenética nos gnaisses, mostrando as principais associações minerais dos diferentes estágios de evolução e as feições mais representativas dos processos de alteração hidrotermal.

Para os gabros, observam-se associações de tipo pré-hidrotermais de minerais primários em estágio magmático, tais como plagioclásio, ortopiroxênio e clinopiroxênio e possíveis transformações minerais em estágio pós-magmático (metamorfismo) de anfibólio-I, biotita-I, sericita-I e opacos. Associações minerais nos estágios de alteração hidrotermal se observam nas zonas de uralitização (anfibólio-II, biotita-II e opacos-II), silicificação e sericitização (sericita-II) conforme apresentado na Tabela 2.

Minerais	Associação 1 PRE-HIDROTHERMAL		Associação 2 HIDROTHERMAL			Área Mineralizada
			Estágio de alteração sericitica	Estágio de silicificação	Estágio de uralitização	
Plagioclásio	██████					
Ortopiroxênio	██████					
Clinopiroxênio	██████					
Apatita		██ ██ ?				
Opacos		██ ██ ██ ███	██			
Anfibólio-I		██ ██ ███ ███ ?				
Sericita-I		██ ██ ███ ███				
Biotita-I		██ ██ ███ ███ ███				
Sericita-II			██████████	██ ██ ███ ███	██ ███	
Quartzo			██ ███	██████████		
Anfibólio-II				Intersticial	Pervasivo	
Biotita-II					██████████	
Opacos-II					██████████	

Tabela 2. Sequência paragenética nos gabros, mostrando as principais associações minerais dos diferentes estágios de evolução e as feições mais representativas dos processos de alteração hidrotermal.

5 QUÍMICA MINERAL

Visando a caracterização da composição química de fases minerais nas diferentes unidades aflorantes na Serra Repartimento, foram realizadas análises em microsonda eletrônica de principais minerais de rocha, de alteração hidrotermal e de minério. As análises selecionadas de química mineral encontram-se no ANEXO I.

5.1 GNAISSES

Foram realizadas análises para biotita-hornblenda *augen* gnaisses protomiloníticos (neste capítulo chamado de *augen* gnaiss) (amostras RM-007 e RM-014) e biotita-hornblenda gnaisses mesomiloníticos a ultramiloníticos (gnaisses miloníticos) (amostra R-RS-002), em plagioclásios e K-feldspato, anfibólio, micas e titanita, seguindo de acordo ao volume modal:

5.1.1 FELDSPATOS

Os resultados da química mineral dos cristais de plagioclásios e K-feldspato dos gnaisses foram realizados em borda e núcleo, onde o cálculo da fórmula estrutural foi feito com base em 8 oxigênios equivalentes, com os sítios de ocupação preenchidos de acordo com a equação XZ_4O_8 , definida segundo Deer *et al.*, (1997), sendo que X é constituído essencialmente pelo Na, K, Rb ou por Ca, Ba, Sr, e o radical Z_4O_8 depende da relação Al:Si (1:1).

Os plagioclásios (caracterizados a partir de 71 análises pontuais), distribuídos nas amostras de *augen* gnaisses (51 pontos) e de gnaisses miloníticos (20 pontos). Apresenta variações no teor de anortita entre 13% e 34% (Figura 40), sendo que a maioria dos cristais foram classificados no *augen* gnaiss como Andesina com $An_{30,30-34,03} Ab_{60,51-69,10} Or_{0,65-1,63}$, com teores de Al_2O_3 variando entre 24,22 e 25,01% e de CaO entre 6,32 e 7,15%. Exibem teores de Na_2O situados entre 7,45 e 8,25% e de SiO_2 entre 58,18 e 61,12%. No gnaiss milonitizado o plagioclásio é do tipo Oligoclásio com $An_{13,30-22,38} Ab_{76,77-85,41} Or_{0,50-1,28}$, apresenta teores de SiO_2 entre 57,47 e 62,25%, de Na_2O entre 7,43 e 8,74%, de CaO entre 4,76 e 7,57% e de Al_2O_3 entre 23,88 a 24,94% (Figura 40).

Com relação aos K-feldspatos, quando plotados nos diagramas da Figura 40, a maioria situa-se no campo dos ortoclásios ou microclinas peritíticas, com exceção de um ponto da amostra RM-007(*augen* gnaiss), que se localiza mais próximo do campo da peritita.

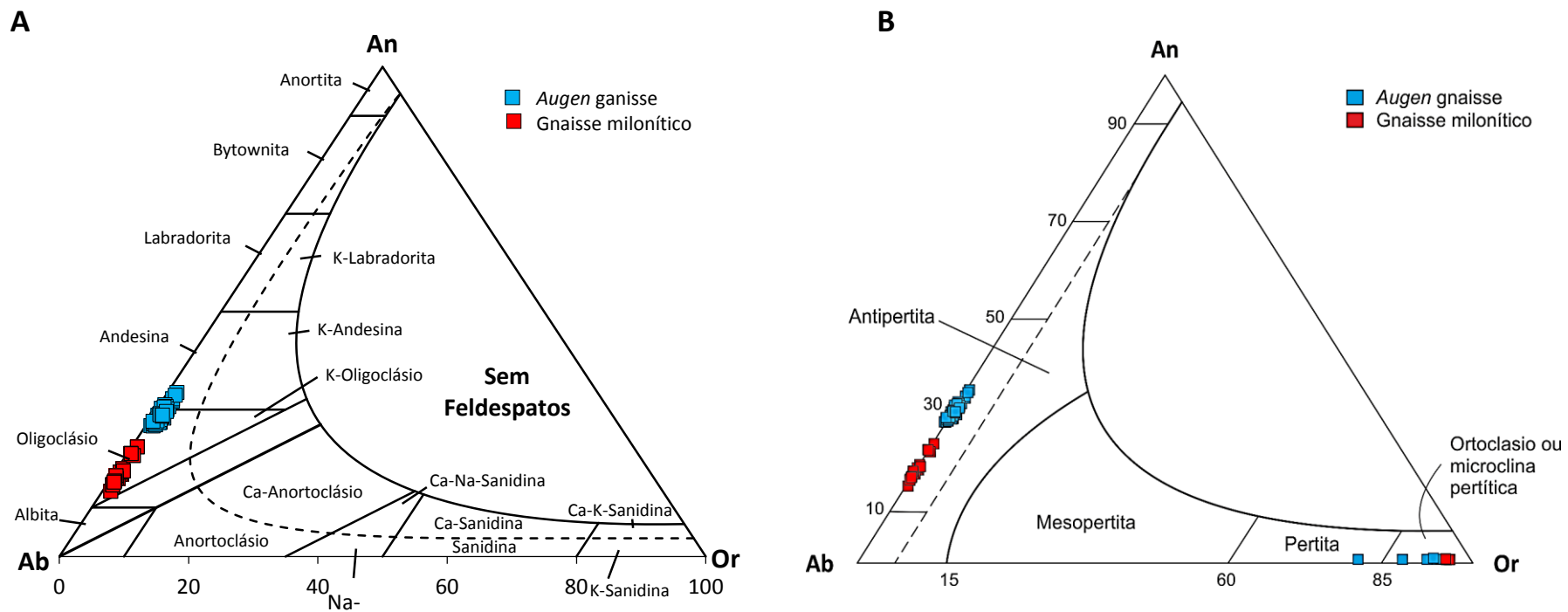


Figura 40. Diagramas de Classificação dos cristais de K-feldspatos e plagioclásio dos gnaisses. **A)** Diagrama Or-Ab-An (Deer *et al.* 1963). **B)** Diagrama Or-Ab-An (Deer *et al.* 1977).

O ortoclásio apresenta composição $An_{0,0-0,28} Ab_{3,69-11,21} Or_{88,76-96,30}$, com teores de SiO_2 variando entre 64,74 e 65,72%, CaO entre 0,00 e 0,06%, Na_2O entre 0,41 e 1,24%, K_2O entre 14,93 e 16,41% e Al_2O_3 entre 18,01 e 18,55%. O ortoclásio/microclina peritítica híbrida com $An_{0,02} Ab_{21,98} Or_{78,00}$ exibe teor de SiO_2 (65,39%), de CaO (0,004%), teor de K_2O (13,11%) e baixo valor de Na_2O (2,431%).

Segundo Spear (1993), os principais tipos de substituição que podem ocorrer para os feldspatos são do tipo: simples $Na^+ \leftrightarrow K^+$ (albita-ortoclásio) e $Al^{+3} \leftrightarrow Si^{+4}$, ou acopladas $Na^+ + Si^{+4} \leftrightarrow Ca^{+2} Al^{+3}$ (albita-anortita). O tipo de substituição que ocorre nos plagioclásios é do tipo albita-anortita, e para o K-feldspato seria de tipo albita-ortoclásio como observado nos diagramas Si vs. Al e NaSi vs. CaAl e K vs. Na (Figura 41), indicado pelo *trends* com correlação negativa dos dados de *augen* gnaiss e gnaiss milonitizado.

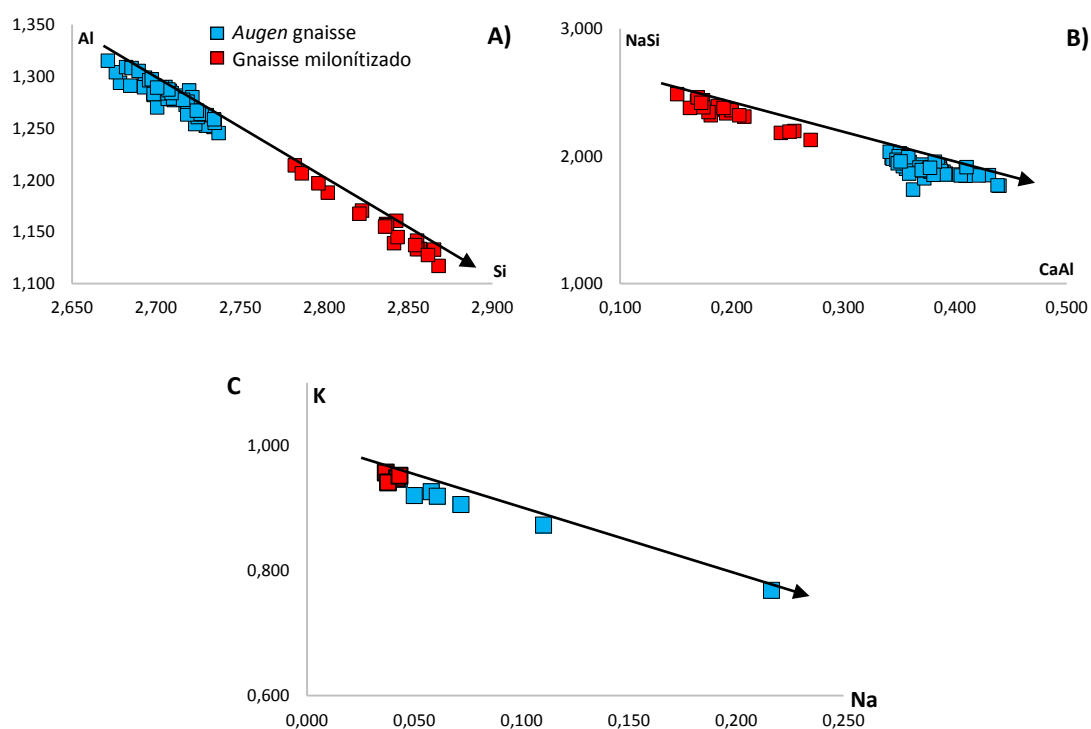


Figura 41. Diagramas binários representativos das principais substituições do plagioclásio analisadas para o *augen* gnaiss e gnaiss milonitizado. **(A)** Diagrama de substituição simples do tipo 2, representado pelo diagrama binário Si vs. Al. **(B)** Diagrama de substituição do tipo albita-anortita representado pelo diagrama binário NaSi vs. CaAl. **(C)** Diagramas Na vs. K, representando a substituição do tipo ortoclásio – albita, para os K-feldspatos, referente ao *augen* gnaiss e gnaiss milonitizado.

5.1.2 ANFIBÓLIOS

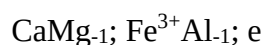
Para os anfibólios foram realizadas 59 análises em amostras de *augen* gnaisses (22 pontos) e gnaisses miloníticos (37 pontos). A fórmula estrutural dos anfibólios foi calculada assumindo 23 átomos de oxigênios. Os sítios estruturais segundo a fórmula geral $A_{0-1}B_2C_5T_8O_{22}(OH)_2$, são: **T**= Si, Al, Cr, Fe^{+3} , Ti; **C**= Al, Cr, Ti, Fe^{+3} , Mg, Fe^{+2} , Mn;

$B = Fe^{+2}, Mn, Mg, Ca, Na$ e $A = Na, K$ (Leake, 1978). A classificação dos anfibólios foi feita de acordo com a IMA (International Mineralogical Association) apresentados por Leake *et al.* (1997) e o Fe^{2+} e Fe^{3+} foram calculados segundo Schumacher (apud LEAKE *et al.* 1997). As análises químicas representativas dos cristais de anfibólio dos gnaisses (Figura 42 A), de acordo com os valores de Ca do sitio B (Ca_B) e Na do sitio B (Na_B), segundo Leake *et al.* (1997), os anfibólios analisados são classificados estritamente como cálcicos.

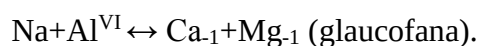
Quando plotados no diagrama binário ($Mg/Mg+Fe^2$) versus ($Si+Al^{VI}$) (LEAKE, 1997), com parâmetros $(Ca)_B \geq 1,50$, $(Na+K)_B \geq 0,50$, $Ti < 0,50$ e $Al^{IV} < Fe^{+3}$, os anfibólios classificaram como cálcicos monoclinicos com composição homogênea tipo hastingsita nos gnaisses milonitizados (Figura 42 B), com tendência para magnesio-hastingsita no *augen* gnaiss, (maior razão $Mg/Mg+Fe^2$) (Figura 42 B). Também ocorrem anfibólios de composição ferro-tschermakita, com tendência sutil para o campo do Tschermakita, quando plotados no diagrama binário ($Mg/Mg+Fe^2$) versus ($Si+Al^{VI}$) com $(Ca)_B \geq 1,50$, $(Na+K)_B < 0,50$, $(Ca)_A < 0,50$, (Figura 42 C), estando presentes estritamente nas bordas de alguns anfibólios.

Spear (1993) resume as principais substituições que ocorrem na estrutura do anfibólio em dois grupos principais:

(1) simples



(2) substituições acopladas



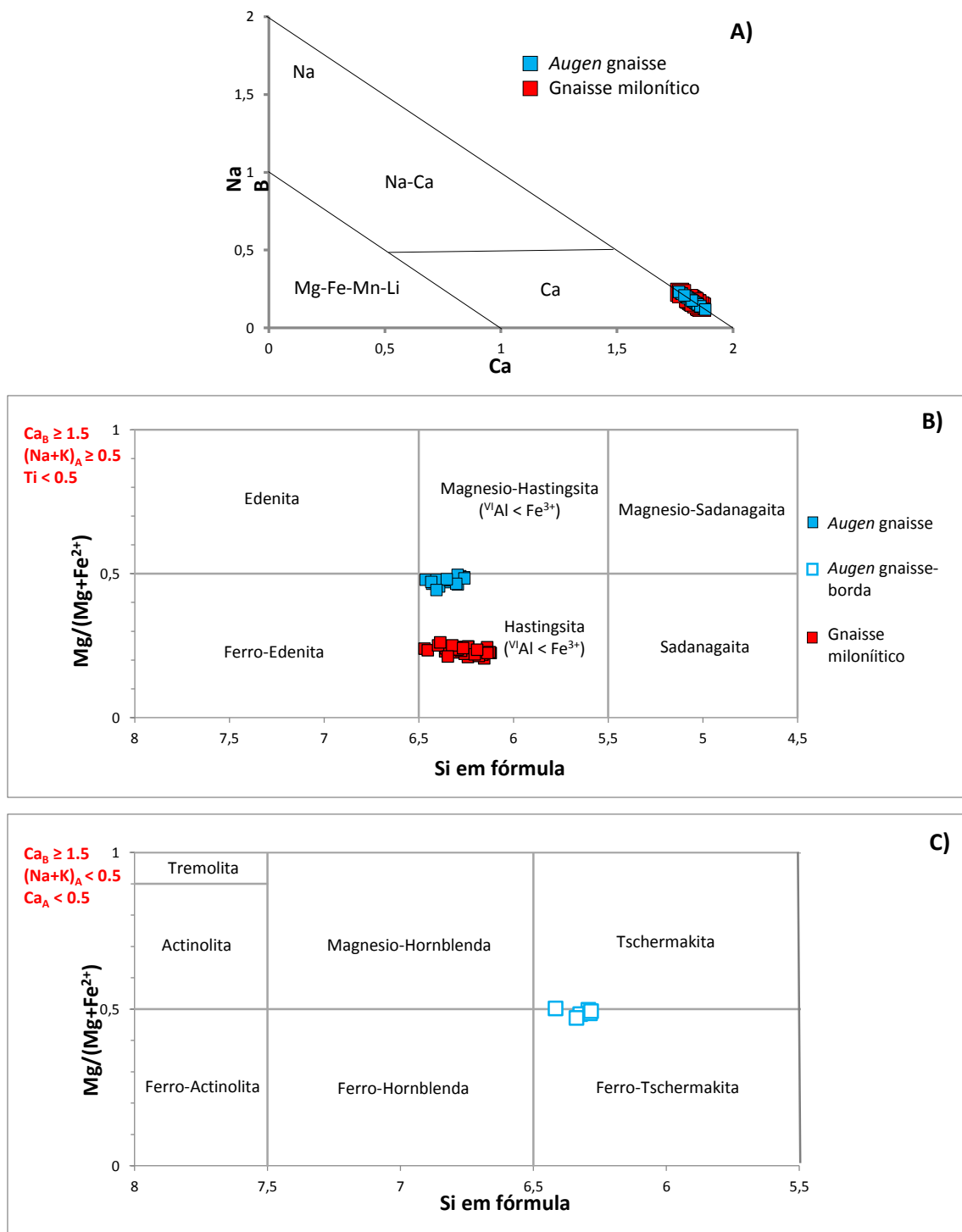


Figura 42. Classificação de anfibólios. **A)** Diagrama catiônico de Ca_B vs. Na_B para classificação de anfibólios segundo Leake *et al.* (1997). **B)** Diagrama de classificação de anfibólios cálcicos com $(Na+K)_A \geq 0,5$ (LEAKE *et al.*, 1997). **C)** Diagrama de classificação de anfibólios cálcicos com $(Na+K)_A < 0,5$ (LEAKE *et al.*, 1997).

Diagramas binários que envolvem relações catiônicas mostram que as substituições foram simples do tipo Mg por Fe^{2+} e acopladas do tipo Al -tschermakita e plagioclásio, envolvendo relações entre $MgSi$ vs. Al^T e $NaAl$ vs. $CaMg$ (Figura 43).

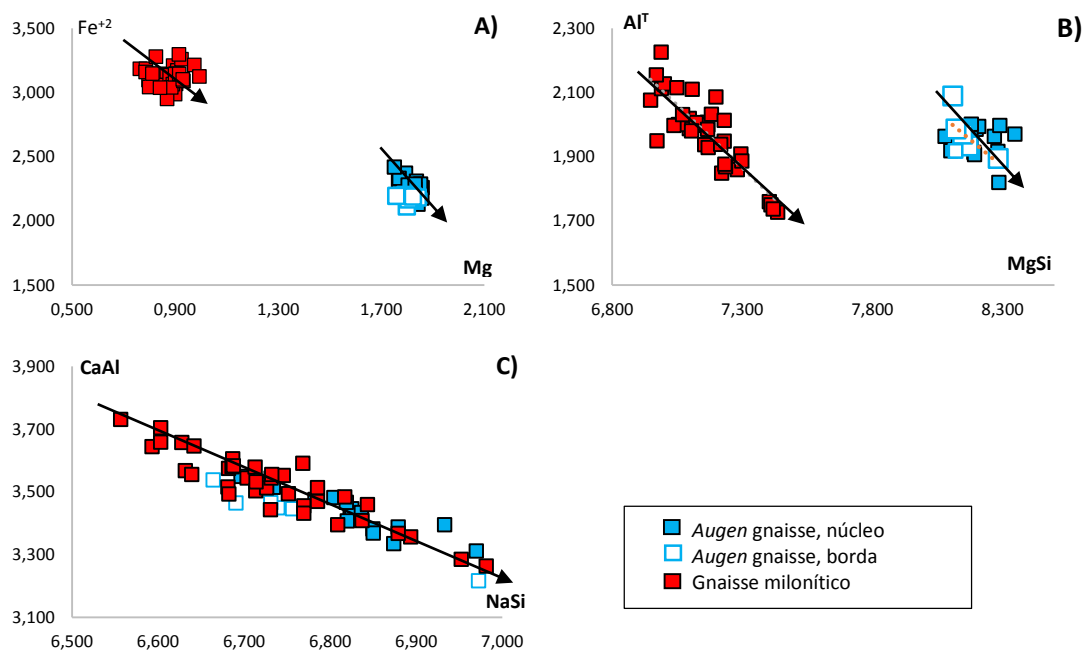


Figura 43. Diagramas binários representativos das principais substituições em anfibólio. **A)** Tipo simples Mg vs. Fe. **B)** Al-tschermakita $Mg^{IV}+Si^{IV}$ vs. $Al^{VI}+Al^{IV}$. **C)** Tipo plagioclásio Na+Si vs. Ca+ Al^{IV} .

5.1.3 BIOTITAS

A fórmula geral da composição química da biotita é $X_2Y_{4-6}Z_8O_{20}(OH, F)_4$ em que X é K, Na ou Ca, Y é principalmente Al, Mg ou Fe^{3+} , mas também pode ser Mn, Cr, Ti, Li, e Z é Si e Al (DEER *et al.*, 1992). A normalização das análises foi baseada em 11 oxigênios. As análises incluem borda e núcleo de cristais, para um total de 64 pontos (35 pontos para *augen* gnaisses e 29 pontos para gnaisses miloníticos). Quando lançados os resultados analíticos no diagrama binário Al^{IV} versus (Fe/Fe+Mg) de classificação de Deer *et al.*, (1992), se posicionam no campo da siderofilita (Figura 44 A). Porém apresentam tendência para o campo das flogopita no *augen* gnaiss. O gnaiss milonitizado exibe razão $Mg/(Mg+Fe) < 0,3$, enquanto no *augen* gnaiss esta razão varia entre (0,32-0,35) e (0,43-0,46). Os valores de Al^{IV} variam entre 2,34 a 2,52.

No *augen* gnaiss, a biotita apresenta dois grupos marcados pela variação do teor MgO entre (6,30 – 7,31%) e (9,43 – 10,45%), e pela variação (a.p.u.f) do cátion Mg, entre (0,74 – 0,86) e (1,08 e 1,18). Com relação ao teor de Al_2O_3 , este varia entre (13,75 e 14,32% em peso) e (14,53 e 15,48% em peso). No gnaiss milonitizado, os teores de MgO na biotita variam entre (4,65 e 6,02% em peso), refletindo valores baixos do cátion Mg (0,55 – 0,73 (a.p.u.f) e valores de Al_2O_3 com teores entre 12,07 e 15,06%, com cátions (a.p.u.f) entre 1,17 – 1,24. No diagrama discriminante biotita primária e de natureza secundária (NACHIT *et al.*, 2005), as do *augen* gnaiss agrupam no campo das primarias.

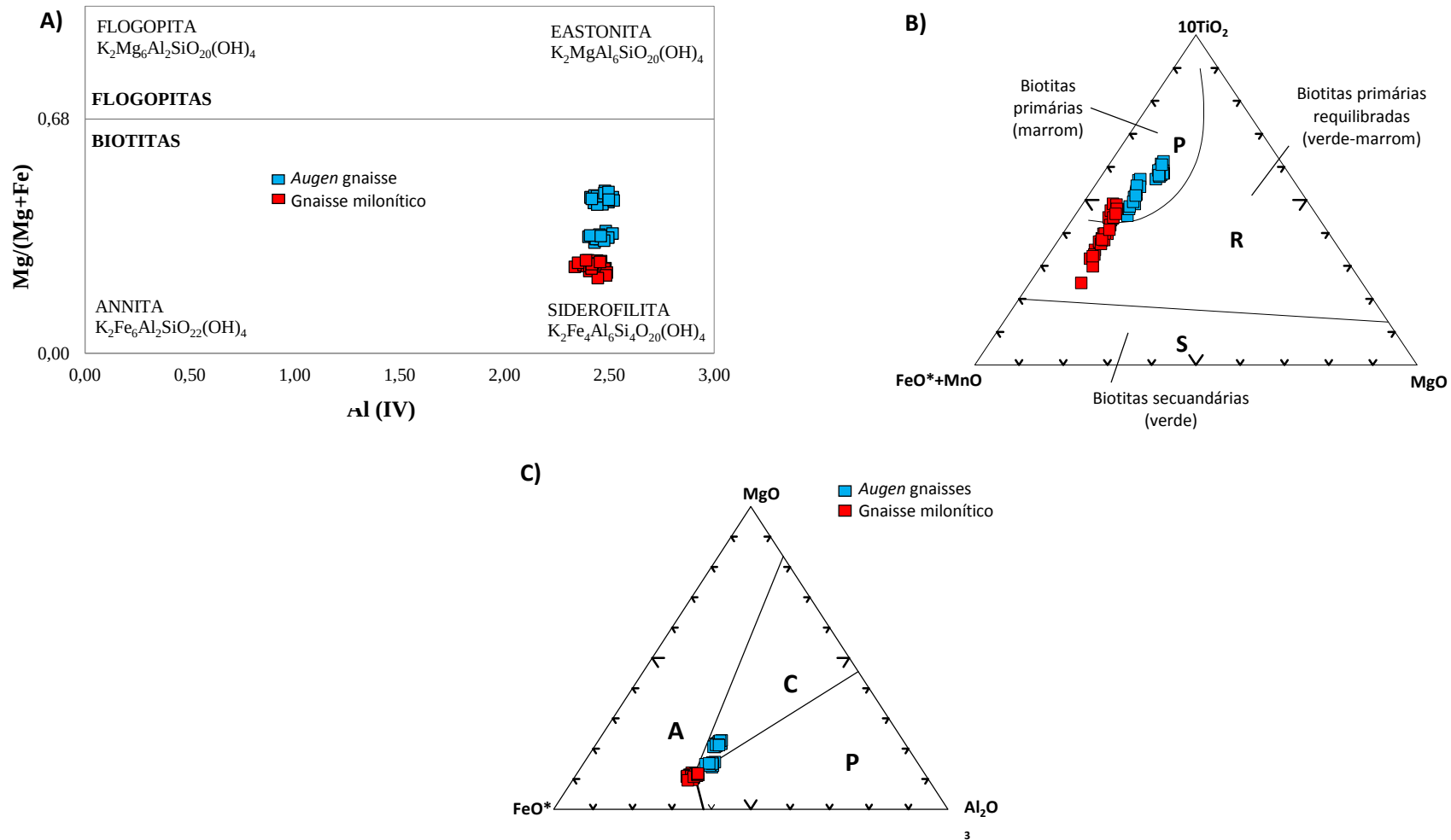


Figura 44. Diagramas de classificação de biotitas. **A)** Diagrama binário Al^{IV} vs. $Mg/(Mg + Fe)$ para as biotitas referente aos gnaisses, de acordo com Deer *et al.* (1992). **B)** Diagrama ternário com $10TiO_2 - FeO+MnO - MgO$ de acordo com Nachit *et al.*, (2005), mostrando as composições das biotitas analisadas para os gnaisses. **C)** Diagrama $FeO - MgO - Al_2O_3$ (ABDEL-RAHMAN, 1994) para classificação de suítes magmáticas a partir da química das biotitas, para as rochas das intrusões constituintes dos gnaisses. Simbologia: A: Suíte alcalina. P: Suíte Peraluminosa. C: Suíte cálcio-alcalina

No gnaiss milonítizado, a biotita é tanto primária, como reequilibrada, distante de valores baixos de TiO_2 de biotita secundária (Figura 44 B). Quando usado o diagrama discriminante para suítes magmáticas de Abdel-Rahman (1994), biotita do *augen* gnaiss classifica como de suítes cálcio-alcálinas com tendência para alcálinas. A biotita dos gnaisses milonítizados plota no ponto triplica de transição dos campos do diagrama (Figura 44 C).

As principais substituições que podem ocorrer em biotitas segundo Spear (1993), são: KNa_{-1} , FeMg_{-1} , $\text{Si} \leftrightarrow \text{Al}^{\text{VI}} + \text{Al}^{\text{IV}}$ (siderofilita) e $\text{Al}^{\text{IV}}\text{Al}^{\text{VI}}\text{Mg}_{-1}\text{Si}_{-1}$ (tschermakita). Nas biotitas estudadas foram identificadas possíveis substituições do tipo Fe-Mg e do tipo siderofilita, representada pela correlação negativa entre Si e Al^{TOT} (Figura 45 A, B).

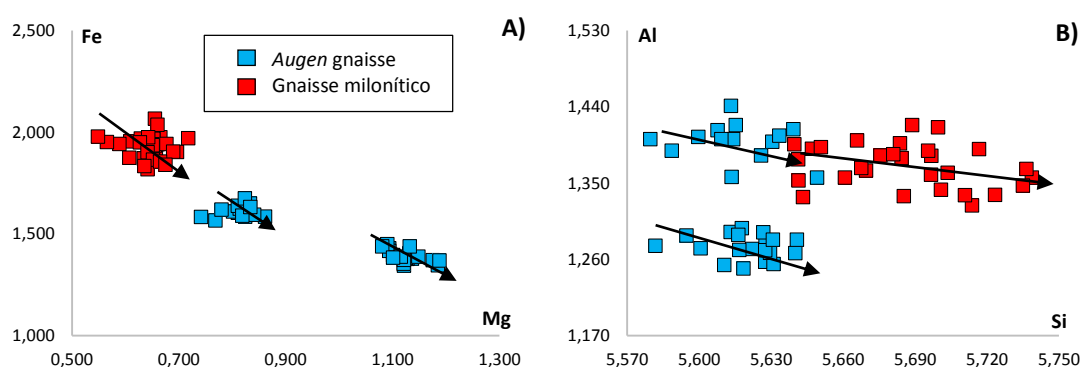


Figura 45. Diagramas binários representativos das principais substituições de biotitas em gnaisses. **A)** Tipo simples Fe vs. Mg. **B)** Tipo siderofilita Si vs. Al^{TOT} .

5.1.4 TITANITA

Foram realizadas 7 análises de titanita referente aos gnaisses miloníticos, incluindo borda e núcleo. Os dados analíticos estão representados no apêndice I, juntamente com o cálculo da fórmula estrutural, feito com base em 4 oxigênios equivalentes, com os sítios de ocupação preenchidos de acordo com a formula $\text{M1}_1\text{M2}_1\text{SiO}_4(\text{OH})$ com sítios **M1**= Al, Fe, Zr, Mg, Nb, Ta, V, Cr e Ti; **M2**= Mn, Na, REE, Y, Ba, Sr e Ca; **OH**= F, Cl, OH, definida segundo Deer *et al.* (1992). A titanita tem teores do teor de Al_2O_3 , da ordem de 2,17% até 2,64%, sugerindo origem primária (titanitas secundárias apresentam teores de Al_2O_3 acima de 6,0%, (TULOCH *et al.*, 1979). Os teores em porcentagem em peso variam em torno de 35,71-37,88% para TiO_2 e 27,07-28,19% para CaO.

5.2 GABROS

Foram realizadas análises em plagioclásios, piroxênios, anfibólios e micas, em gabros de tamanho de grão fino-médio caracterizados como gabronoritos (amostras R-RS-04A, RM-08 e RM-12) e gabros de tamanho de grão grosso, caracterizados como hornblenda gabronoritos (amostra R-RS-34), serão descritos de acordo ao volume modal definidos no capítulo 4.

5.2.1 PLAGIOCLÁSIOS

Foram analisados um total de 76 pontos em plagioclásios classificados de acordo com o sistema ternário Ab-An-Or segundo Deer *et al.*, 1992 (Figura 46). O cálculo da fórmula estrutural foi realizado com base em 8 oxigênios equivalentes, com os sítios de ocupação preenchidos de acordo com a equação XZ_4O_8 , definida segundo Deer *et al.* (1997), onde X é constituído essencialmente pelo Na, K, Rb ou por Ca, Ba, Sr, e o radical Z_4O_8 depende da relação Al:Si (1:1).

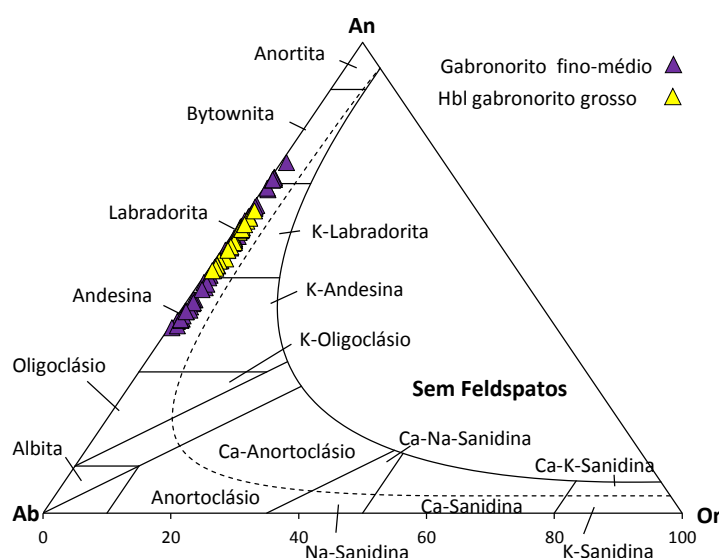


Figura 46. Classificação dos cristais de plagioclásio dos gabros, segundo o diagrama Or-Ab-An (DEER *et al.* 1992).

As análises de plagioclásio mostram que no gabronorito de textura fina a média a composição varia em dois grupos:

i) núcleo de bytownita alta ($A_{71,13}-An_{74,50}$) e borda de labradorita alta ($An_{60,02}-An_{69,04}$), com andesina alta ($An_{39,38}-49,01$). Os teores de CaO variam de 12,28 a 15,06%, de Na_2O entre 2,77 e 4,40%, de SiO_2 entre 49,50 e 53,21%, de Al_2O_3 de 29,81 a 31,89% e de K_2O entre 0,08 e 0,16%. Os valores de Na variam entre 0,25 e 0,39, de Ca entre 0,59

e 0,74, de Si entre 2,27 e 2,40, de K entre 0,005 e 0,01 e de Al entre 1,60 e 1,72 (Figura 47 A).

ii) núcleo de labradorita alta ($A_{52,35}-A_{57,80}$) e borda de andesina alta ($A_{45,33}-A_{47,87}$) com composição $A_{45-57}Ab_{41-53}Or_{1,0-1,07}$. Os teores de CaO e Na₂O variam de 9,36 a 12,04% e 4,54 a 6,26% respetivamente. Os teores de SiO₂ estão entre 53,47 e 57,32%, de Al₂O₃ variando de 27,29 e 29,09% e de K₂O entre 0,13 e 0,25%. Os valores com relação aos cátions para o Ca variam de 0,45 e 0,59, para o Na entre 0,40 e 0,54, para a Si entre 2,43 e 2,56, para Al entre 1,43 e 1,56 e para K entre 0,008 e 0,01 (Figura 47 B).

Foi analisado um cristal de plagioclásio zonado, apresentando variação composicional de núcleo a borda (bytownita – labradorita - andesina). A bytownita apresenta composição $A_{70-71}Ab_{28-29}Or_{0,57-0,53}$, a labradorita $A_{65}Ab_{33}Or_{0,72}$, e a andesina $A_{48}Ab_{50}Or_{1,26}$. Os valores com relação aos cátions (a.p.u.f), em geral, variam para o Ca de 0,48 a 0,70, o Na de 0,28 a 0,49, o Si de 2,29 a 2,53, o Al de 1,47 a 1,70 e o K de 0,005 a 0,01 (Figura 47 C).

O plagioclásio no hornblenda gabronorito (rocha com textura grossa), corresponde a labradorita $A_{51,47-64,25}Ab_{34,80-47,79}Or_{0,71-1,56}$, com teores de SiO₂ variando entre 52,44 e 55,47%. O Na₂O varia de 3,87 a 5,50%, o CaO de 10,52 a 12,92% e o K₂O de 0,12 a 0,28%. Os valores de Al₂O₃ oscilam de 28,01 e 30,47%. Os valores dos cátions calculados variam: para o Na entre 0,34 e 0,48, para o Ca entre 0,51 a 0,63, para o K entre 0,007 e 0,01 e para a Al entre 1,40 a 1,63. Variações composicionais intra cristalinas são observadas nos teores de cálcio e sódio com borda rica em sódio (Ab_{41}) e mais empobrecido em cálcio (A_{58}), centro com sódio (Ab_{58}) e cálcio (A_{61}), (Figura 47 D). Os teores de Si e Al são inversamente proporcionais. Observa-se que o Si diminui seu teor de borda a centro enquanto o Al aumenta (Figura 47 D). Em alguns poucos cristais observa-se enriquecimento de Si e diminuição de Al em direção ao centro do cristal.

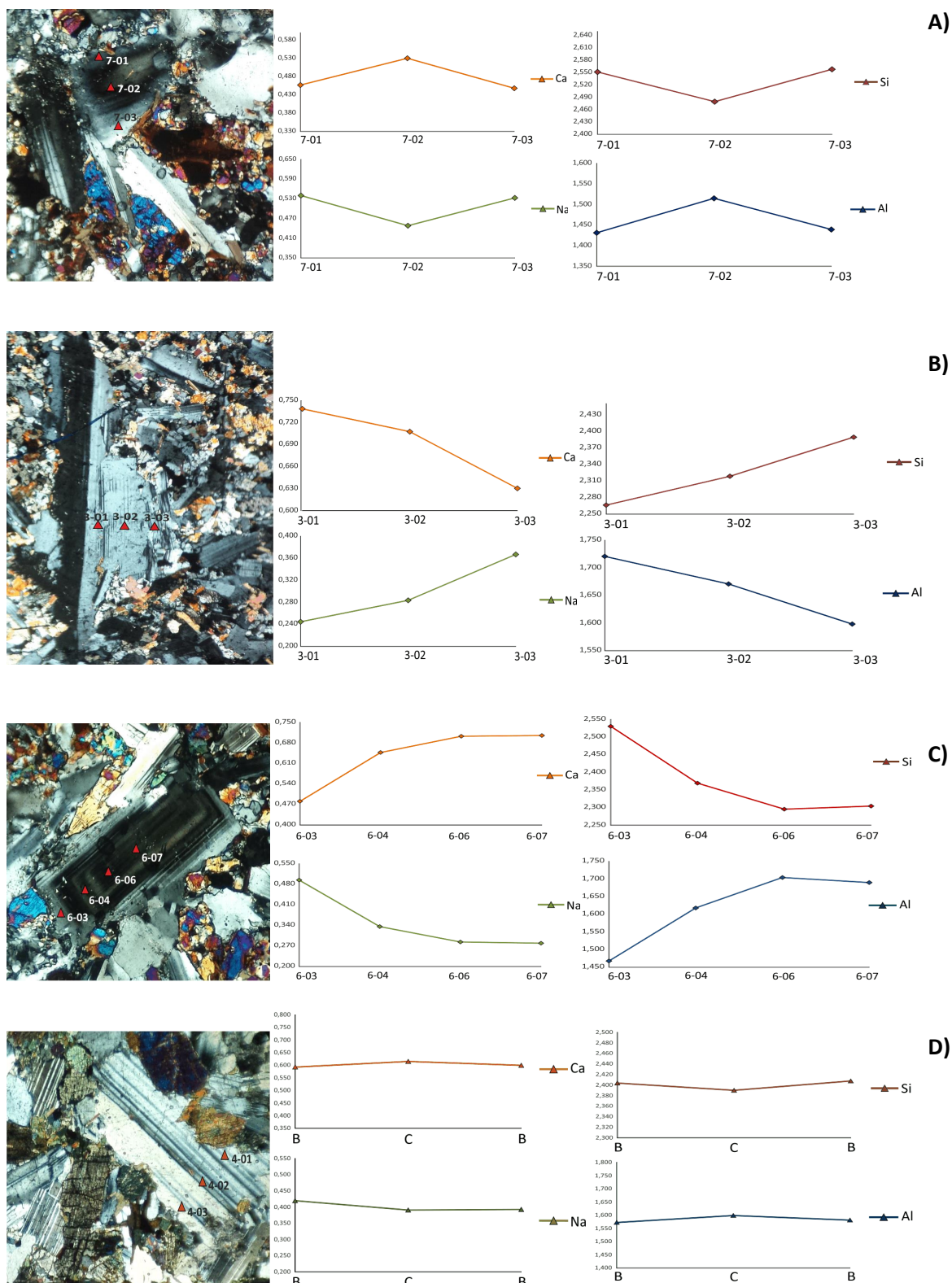


Figura 47. Perfis analíticos Borda (B)-Centro (C)-Borda (B) ilustrando as principais variações catiônicas em cristais de plagioclásio. **A)** Perfis analíticos de cristal zonado de plagioclásio como composição labradorita-andesina, ilustrando as principais variações catiônicas em gabronorito. **B)** Perfis analíticos núcleo-borda entre bytownita-labradorita, das principais variações catiônicas em cristal de plagioclásio em gabronorito. **C)** Perfis analíticos núcleo-borda entre bytownita-labradorita-andesina das principais variações catiônicas em cristal de plagioclásio perfeitamente zonado em gabronorito. **D)** Em cristal de plagioclásio de Hbl-gabronorito. Nota. Os pontos encontram-se localizados nas fotomicrografias.

Visando entender as variações composicionais que ocorrem nos plagioclásios do gabronorito e hornblenda gabronorito, foram realizados diagramas de substituição catiônica. Os resultados indicam substituição do tipo albita-anortita observada nos diagramas Si vs. Al e NaSi vs. CaAl, com *trend* linear negativo entre o Na e o Ca, indicando substituição do tipo albita-anortita. Esta substituição também é caracterizada através da correlação negativa observada entre Al e Si (Figura 48 A e B).

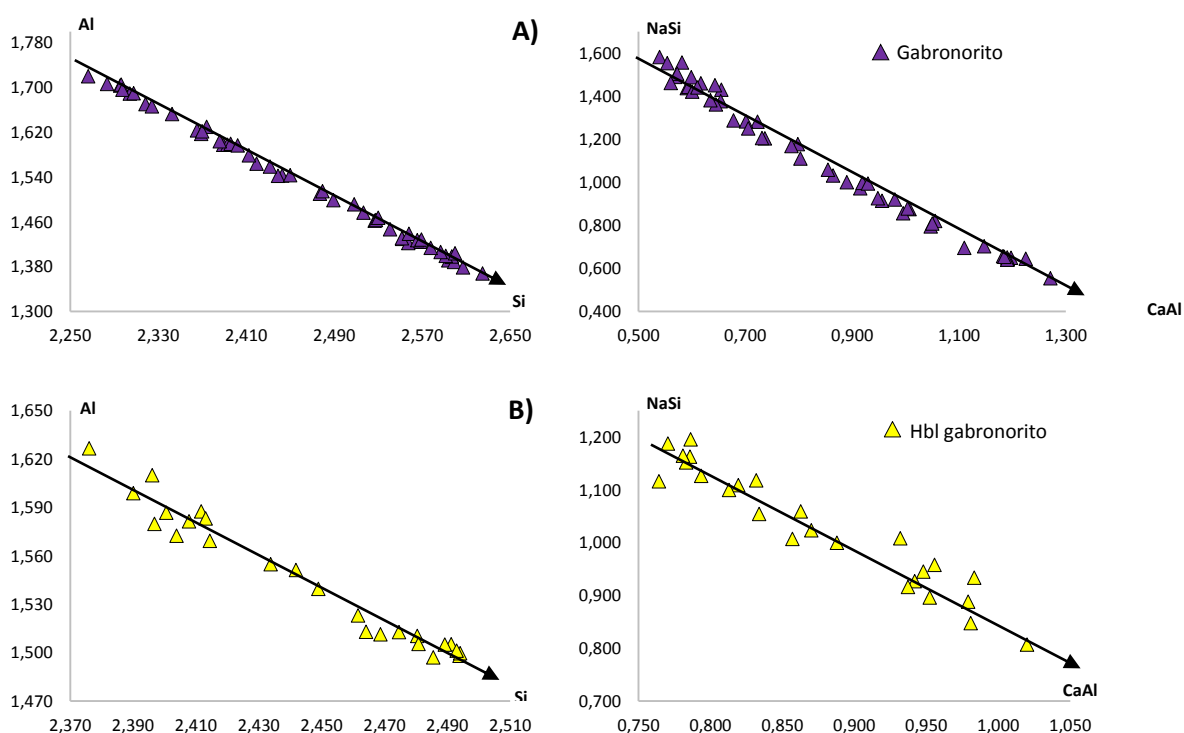


Figura 48. Diagramas binários representativos das principais substituições do plagioclásio analisadas para os gabronoritos. **(A)** Diagrama binário Si vs. Al de substituição simples. **(B)** Diagrama binário NaSi vs. CaAl.

5.2.2 PIROXÊNIOS

Um total de 54 pontos foram analisados, representando amostras de gabronorito e hornblenda gabronorito. O ortopiroxênio analisado é classificado como enstatita, no intervalo composicional $En_{51,8-57,0}$ $Wo_{0,7-4,52}$ $Fs_{39,9-47,46}$ no Hbl-gabronorito e como enstatita $En_{53,1-56,1}$ $Wo_{0,7-0,9}$ $Fs_{43,0-45,9}$ no gabronorito (Figura 49 A, B). Em todos os cristais analisados foram observados teores de TiO_2 inferiores a 0,5%, de Al_2O_3 entre 0,54 e 1,1% em peso, de MnO entre 0,52 e 0,66% e de CaO entre 0,33 e 0,44%. Teores mais elevados de FeO^T (25,76 – 27,49% em peso) e MgO (17,38 – 18,89%). Outros elementos, como Na_2O , Cr_2O_3 , ZnO e K_2O , apresentaram valores inferiores 0,05% em peso.

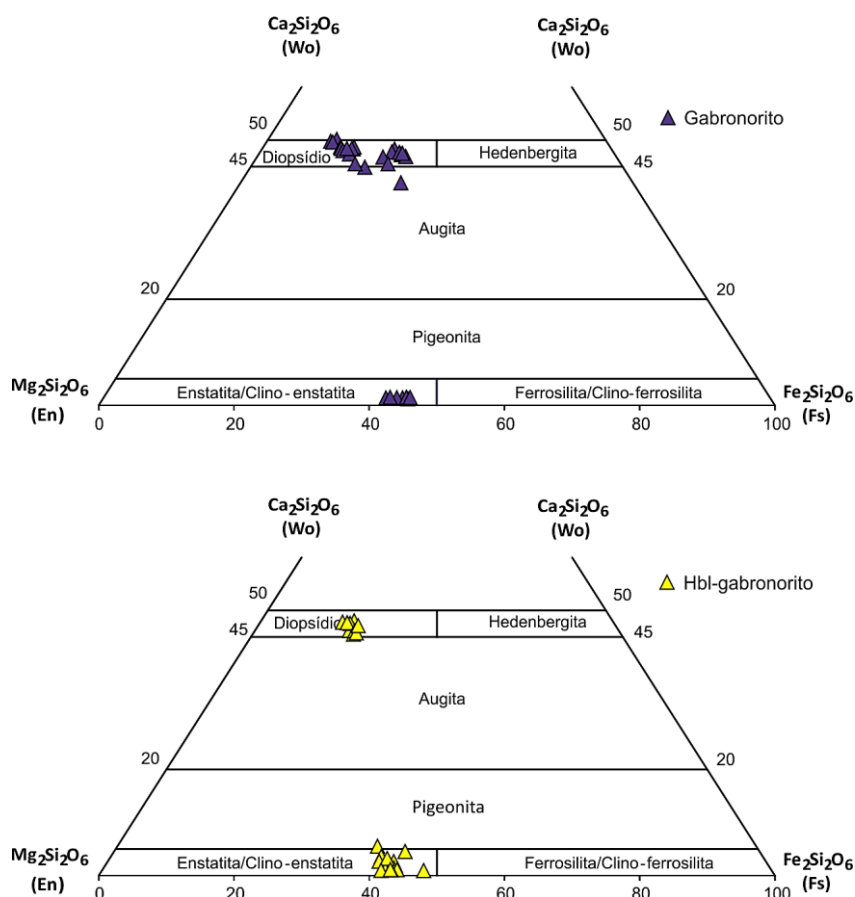


Figura 49. Classificação dos piroxênios do Hbl-gabronorito e gabronorito segundo o diagrama En-Wo-Fs (Morimoto *et al.*, 1988).

Quando analisados centro e borda cristais de ortopiroxênio, se observam pequenas variações de composição dentro do mineral, mostrando leve empobrecimento nos teores de FeO^T com Fe^{2+} (0,842 - 0,803 a.p.u.f), aumento no MgO (0,953 – 0,975 a.p.u.f) para a borda do cristal. O MnO, o TiO_2 e o Al_2O_3 apresentam redução ao longo do perfil (0,022-0,019 a.p.u.f; 0,003-0,001 a.p.u.f; e 0,039-0,025 a.p.u.f, respectivamente). O CaO (0,030- 0,058 a.p.u.f) exibe enriquecimento nos seus teores próximo a borda (Figura 50 A). São observados ainda valores mg# ($\text{Mg}/\text{Fe}+\text{Mg}+\text{Mn}$) variando de centro para a borda de 0,55 a 0,57, respectivamente.

O clinopiroxênio é classificado principalmente como diopsídio constituído por $\text{En}_{38,5-40,1}$, $\text{Wo}_{45,7-47,8}$ e $\text{Fs}_{12,3-14,9}$ para Hbl-gabronorito e $\text{En}_{33,1-41,1}$, $\text{Wo}_{45,0-48,9}$ e $\text{Fs}_{10,3-20}$, com tendência composicional leve para augita ($\text{En}_{35,7-38,9}$, $\text{Wo}_{42,0-44,5}$ e $\text{Fs}_{16,5-22,1}$), no gabronorito (Figura 49). Os teores de TiO_2 são inferiores a 0,5% em peso, de Al_2O_3 estão entre (0,81 e 1,8% em peso), de MnO (0,14 a 0,51%) e Na₂O (0,28 a 0,41%) são baixos, com O K₂O e o Cr₂O₃ invariáveis se comparados com ortopiroxênio. O varia FeO^T (8,02 a 13,33% em peso) e MgO (11,25 a 14,08%), e teores de CaO (19,75 a 23,14%), elevados. Exibem empobrecimento do FeO^T em direção a borda, pela redução de Fe^{2+} (0,144 a 0,210 a.p.u.f), assim como de CaO (0,928 a 0,911

a.p.u.f) e MgO (0,786 a 0,771 a.p.u.f) (Figura 50 B). Os valores de mg# do ortopiroxênio, o do clinopiroxênio apresenta variação leve de núcleo para a borda um aumento entre 0,73 a 0,74.

Foram reconhecidos cristais zonados contendo centro de ortopiroxênio do tipo enstatita e borda do tipo diopsídio com leve variação composicional para augita (Figura 50 C). A enstatita ($\text{En}_{54,1-54,8}$, $\text{Wo}_{0,83-0,84}$ e $\text{Fs}_{44,3-45,0}$) apresenta teor de Mg (17,9% em peso; 1,036-1,063 a.p.u.f), FeO^{T} (26,25% em peso; com Fe^{+2} de 0,860-0,862 a.p.u.f) e CaO 0.39% (0,016 a.p.u.f). O diopsídio ($\text{En}_{38,7-40,4}$, $\text{Wo}_{47,33-47,66}$ e $\text{Fs}_{12,15-13,66}$) apresenta teores de Mg (13,33% em peso; 0,741-0,761 a.p.u.f), de FeO^{T} (9,49% em peso; com Fe^{+2} 0,229-0,261 a.p.u.f) e de CaO 22.32% (0,893-0,913 a.p.u.f). A augita com ($\text{En}_{38,97}$, $\text{Wo}_{44,49}$ e $\text{Fs}_{16,52}$), teores de Mg (13,34% em peso; 0,750 a.p.u.f), FeO^{T} (10,08% em peso; com Fe^{+2} de 0,318 a.p.u.f) e de CaO 21.19% (0,856 a.p.u.f) (Figura 50 C).

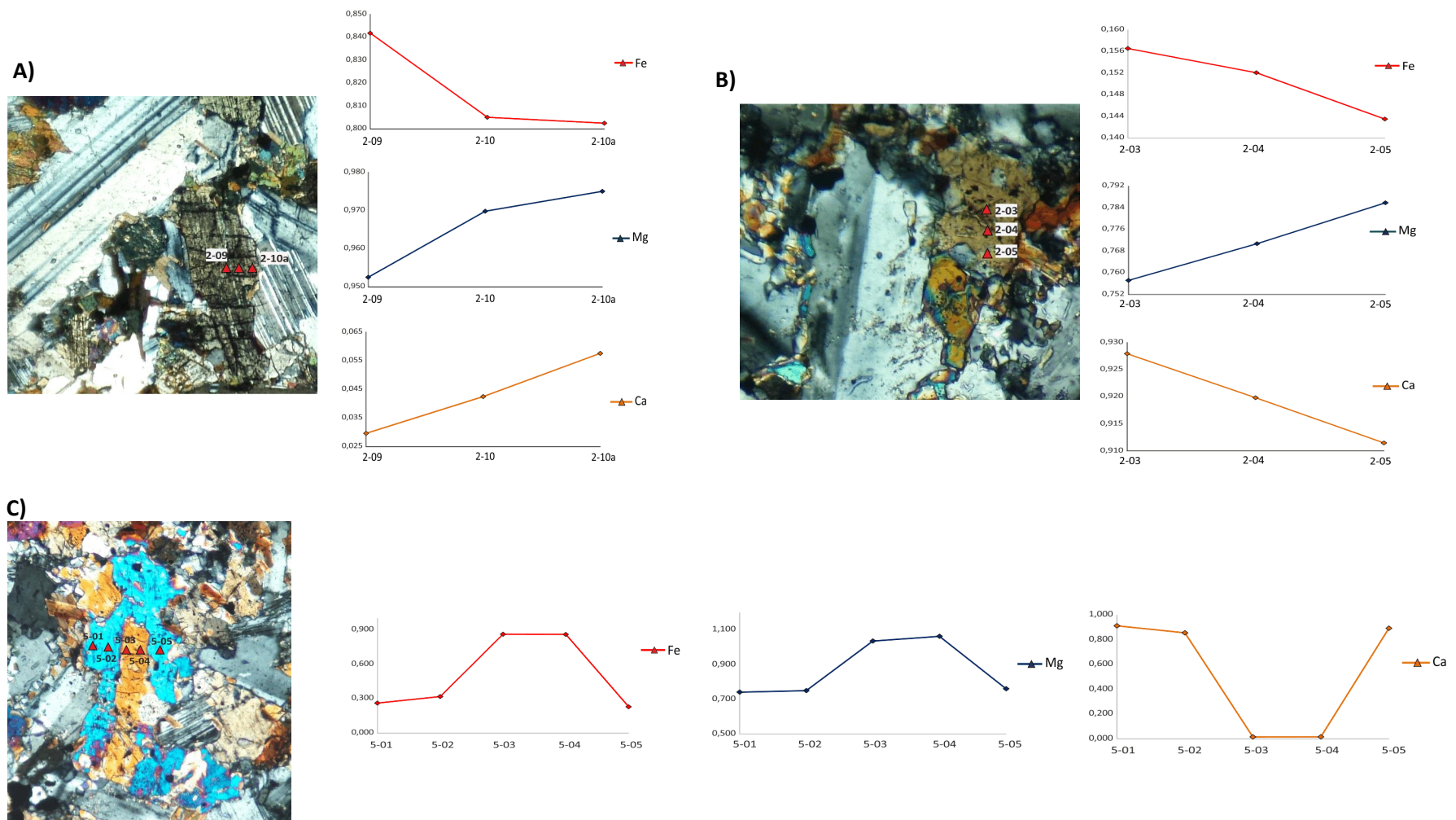


Figura 50. Perfis analíticos Fe-Mg-Ca de núcleo-borda em cristais de piroxênios. **A)** Perfis analíticos Fe-Mg-Ca de núcleo-borda de ortopiroxênio, ilustrando as principais variações catiônicas em Hbl-gabronorito. **B)** Perfis analíticos de clinopiroxênio, ilustrando as principais variações catiônicas em gabronorito. **C)** Perfis analíticos borda-núcleo-borda entre ortopiroxênio e clinopiroxênio, ilustrando as principais variações catiônicas em cristal zonado em gabronorito. Nota. Os pontos encontram-se localizados nas fotomicrografias..

Spear (1993) resume as principais substituições que ocorrem na estrutura dos piroxênios de tipos: FeMg_{-1} , CaMg_{-1} e $\text{Al}^{\text{VI}}\text{Al}^{\text{IV}}\text{Mg}_{-1}\text{Si}_{-1}$ (tschermakita), explicando também que substituições de CaMg_{-1} e CaFe_{-1} conectam piroxênios do tipo enstatita-diopsídio e ferrosilita-hedenbergita.

Os piroxênios das rochas em estudo, foram identificadas principalmente substituições do tipo Fe-Mg tanto em clino como ortopiroxênios formando um *trend* com uma forte correlação negativa para ambos piroxênios (Figura 51 A). Quando analisados em diagramas binários na relação CaMg_{-1} e CaFe_{-1} , é possível observar uma leve tendência para os ambos piroxênios em relação ao Ca vs. Fe e uma alta dispersão vertical em relação com Ca vs. Mg, impossibilitando inferir substituições deste tipo e indicando que não teve um papel importante na evolução desses minerais (Figura 51 B e C).

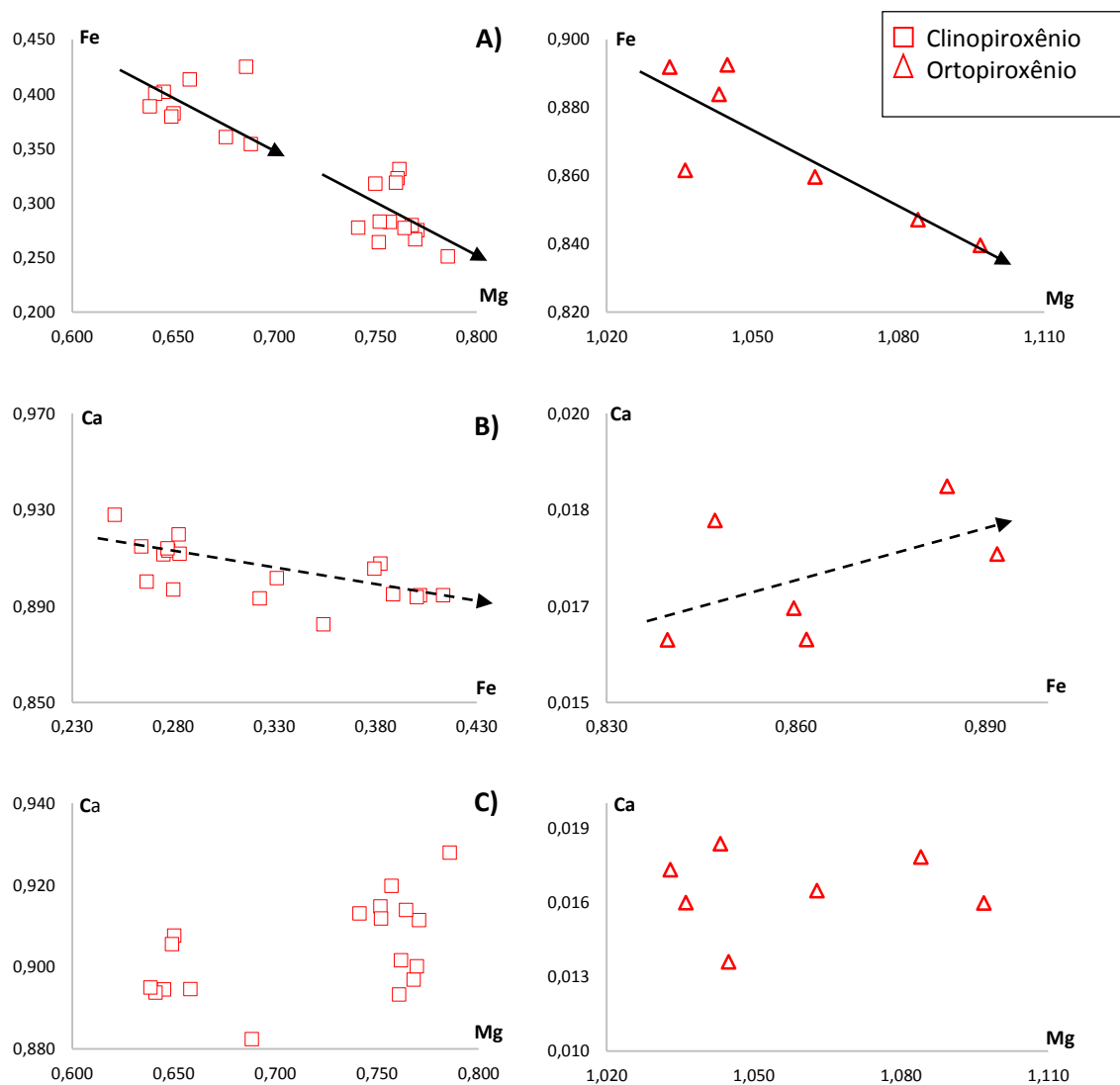


Figura 51. Diagramas binários representativos das principais substituições de clinopiroxênios e ortopiroxênios analisados para os gabros. **(A)** Diagramas de substituição representado pelo diagrama binário Mg vs. Fe. **(B)** Diagrama de substituição representado pelo diagrama binário Fe vs. Ca. **(C)** Diagrama de substituição representado pelo diagrama binário Mg vs. Ca.

5.2.3 ANFIBÓLIOS

Os anfibólios foram realizados 20 pontos analíticos em Hbl-gabronoritos de textura grossa (amostra R-RS-34). A fórmula estrutural dos anfibólios foi calculada assumindo 23 átomos de oxigênio. Têm seus sítios estruturais preenchidos de acordo com a fórmula geral $A_{0-1}B_2C_5T_8O_{22}(OH)_2$ representada por **T**= Si, Al, Cr, Fe³, Ti; **C**= Al, Cr, Ti, Fe³, Mg, Fe², Mn; **B**= Fe², Mn, Mg, Ca, Na e **A**= Na, K, segundo Leake (1978). A classificação dos anfibólios foi baseada na IMA (International Mineralogical Association) apresentados por Leake *et al.* (1997), o Fe²⁺ e Fe³⁺ foram calculados segundo Schumacher (apud LEAKE *et al.* 1997). Na classificação proposta por Hawthorne (1981), baseada na relação dos valores de Ca (Ca_B) e Na(Na_B), todas as amostras analisadas plotam no campo dos anfibólios cálcicos (Figura 52).

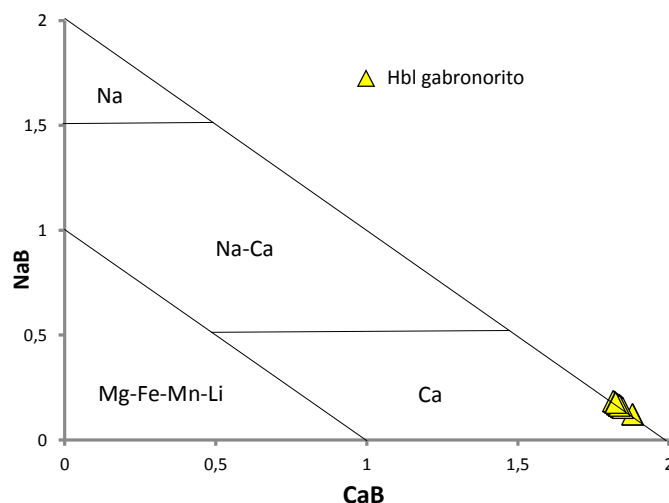


Figura 52. Diagrama catiônico de CaB vs. NaB para classificação de anfibólios em Hbl-gabronorito, segundo Leake *et al.* (1997).

Dentro deste grupo principal (cálcicos) e considerando os parâmetros de $(Ca)_B \geq 1,50$, $(Na+K)_B < 0,50$, $(Ca)_A < 0,50$, e valores de mg# ($Mg/(Fe+Mg+Mn)$), foram lançados os resultados analíticos no diagrama binário ($Mg/(Mg+Fe^2)$) versus $(Si+Al^{VI})$ (LEAKE, 1997), não apresentando variações composicionais relevantes, e classificados como hornblenda magnesiana com leve tendência para o campo da Tschermakita (Figura 53). A composição química do mineral magnésio-hornblenda apresenta teores de CaO variando de 11,37 a 11,77%, de MgO entre 10,71 e 11,85%, de FeO de 14,32 a 15,34%, de Al₂O₃ de 9,45 a 10,73% e de TiO₂ entre 1,13 e 1,79%. Resultados próximos à composição Tschermakitica mostraram teores de CaO de 11,29 a 11,51%, de MgO entre 10,86 e 11,41%, de FeO entre 14,62 e 15,69%, de Al₂O₃ entre 10,16 e 10,74% e de TiO₂

entre 1,51 e 2,07%. A variação de mg# também ocorre com variação entre (0,55 e 0,59), em resultados com tendência a Tschermakita, os valores variam entre (0,55 e 0,58).

Comparando os anfibólios do Hbl-gabronorito de textura grossa, estes apresentam maiores teores de TiO_2 e Al_2O_3 do que os piroxênios, teor de FeO^{T} superior a clinopiroxênio e inferior a ortopiroxênio e CaO superior a ortopiroxênios e inferior a clinopiroxênios. O mg# mostra valores levemente maiores em ortopiroxênio do que em clinopiroxênio, indicando que são mais magnesianos do que os anfibólios.

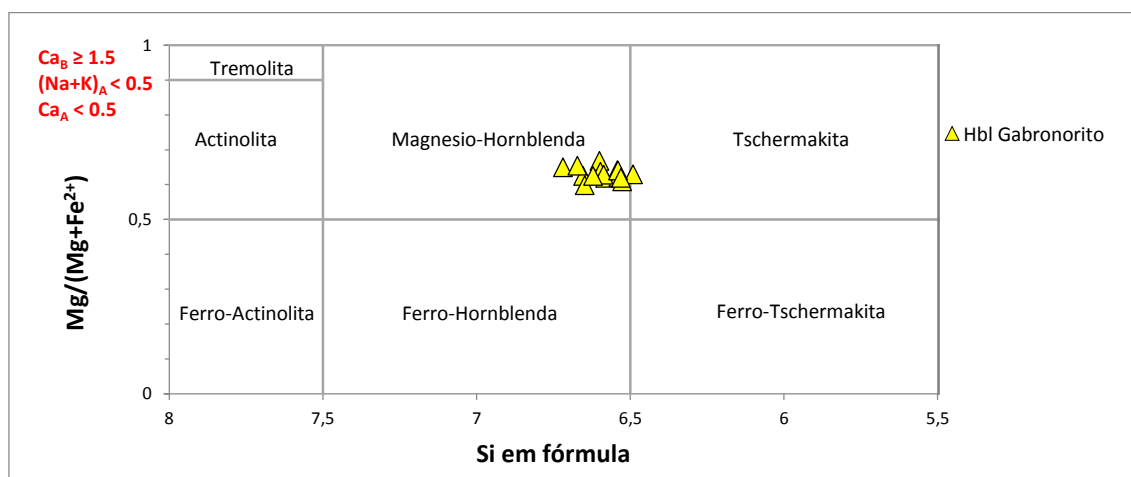


Figura 53. Diagrama de classificação de anfibólios cálcicos em gabros com parâmetros $(\text{Na}+\text{K})_{\text{A}} \geq 0,5$ (LEAKE *et al.*, 1997).

5.2.4 BIOTITAS

A resultados analíticos foram colocados no diagrama binário Al^{IV} versus $(\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe})$ de Deer *et al.* (1992), se posicionam no campo da siderofilita (Figura 54 A), com razão $\text{Mg}/(\text{Fe}+\text{Mg})$ variando de 0,44 a 0,54 para o gabronorito com textura fina-média, e um pouco mais elevadas para no Hbl-gabronorito de textura porfirítica, ou seja 0,54 a 0,57 sugerindo um enriquecimento em magnésio ligeiramente maior destas últimas (Figura 54 A).

A fórmula geral da composição química das biotitas é $\text{X}_2\text{Y}_4\text{-6Z}_8\text{O}_{20}(\text{OH}, \text{F})_4$ onde X é K, Na ou Ca, Y é principalmente Al, Mg ou Fe^{3+} , mas também pode ser Mn, Cr, Ti, Li, e Z é Si e Al (DEER *et al.*, 1992). A normalização das análises inclui 11 oxigênios para resultados analíticos (total de 44 pontos analisados) de borda e centro de cristais. Quando lançados no diagrama discriminante entre biotita primária e de natureza secundária (Nachit *et al.*, 2005), biotitas de diabásios, se agrupam no campo de “biotitas primárias” (Figura 54 B). A siderofilita exibe teores de MgO variando entre 9,35 e 11,81%, FeO entre 17,62 e 21,62%, K_2O entre 8,94 e 9,71%, Al_2O_3 entre 13,06 e 14,60% e o TiO_2 entre 3,98 e 6,15%. O teor do cátion Mg varia de 1,08 a 1,34, do Fe^{+2} variam

entre 1,12 e 1,40. A siderofilita do gabronorito fino-médio é classificada como trioctaédrica (RIEDER *et al.* 1998), sendo que as principais substituições ocorrem entre $Mg \leftrightarrow Fe^{+2}$.

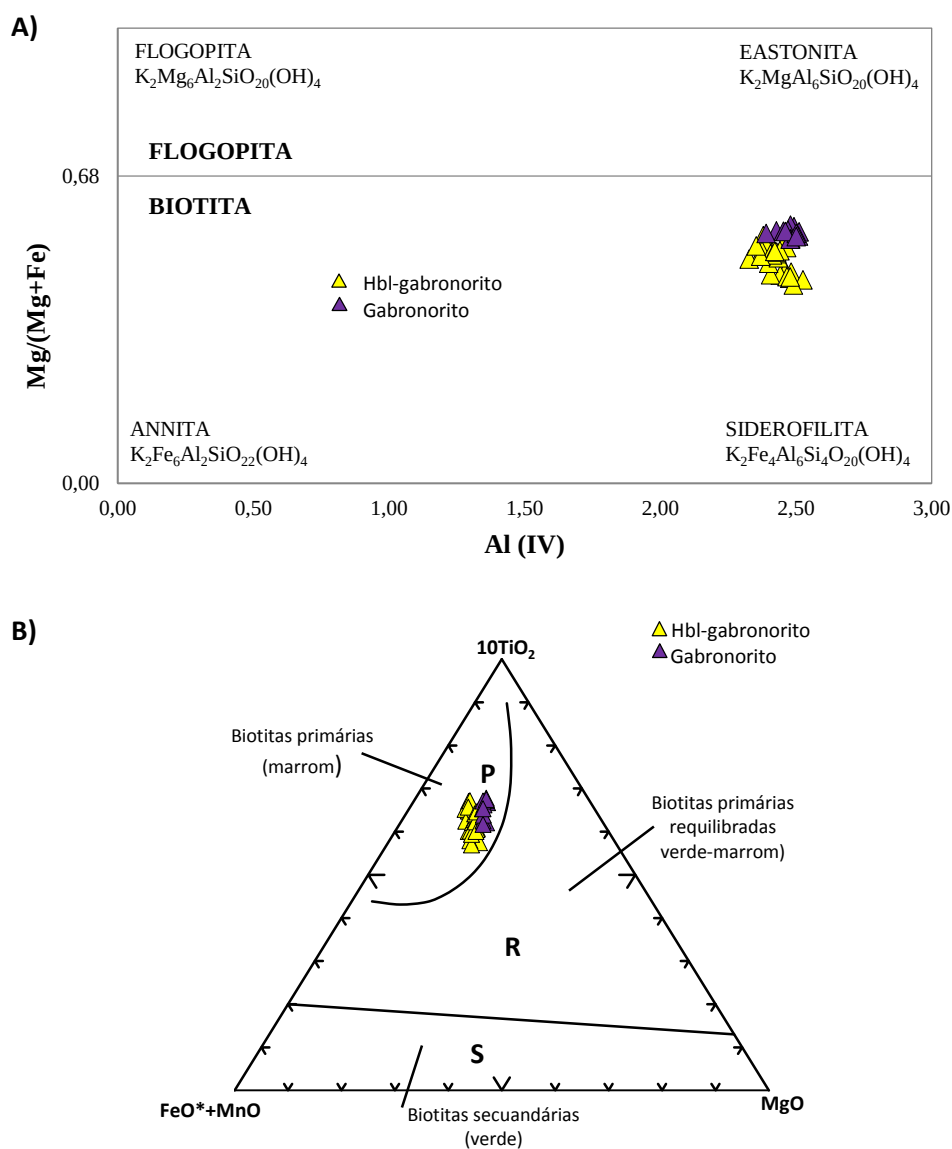


Figura 54. Resultados analíticos de biotita em gabronorito e Hbl-gabronorito. **A)** Diagrama de classificação binário Al^{IV} vs. Mg/ (Mg + Fe) para Deer *et al.*, 1992. **B).** Diagrama ternário com 10TiO₂ - FeO+MnO – MgO de acordo com Nachit *et al.*, (2005).

Quando analisada a variação composicional de núcleo a borda do cristal, na maioria dos cristais, ocorre redução nos teores de FeO^T (20,14 - 19,76% em peso) e aumento dos teores de MgO (10,98- 11,31% em peso). Os teores de TiO₂ (4,71 - 5,28% em peso), e de Al₂O (13,06 - 13,52% em peso) tendem a aumentar para a borda do cristal, os teores de SiO₂ tendem a diminuir. Os valores do parâmetro mg# (Mg/Fe+Mg+Mn) apresentam duas concentrações (0,43 - 0,45 e 0,48 - 0,54).

A siderofilita no Hbl-gabronorito apresenta teores de MgO maiores em relação com os gabronoritos, exibindo variação entre 11,63 e 12,54% (1,33 a 1,42 a.p.u.f), enquanto o FeO^{T} varia de 16,44 e 18,08% (1,04 a 1,15 a.p.u.f), sendo relativamente menores quando comparado com a do gabronorito. Esta biotita é rica em TiO_2 , apresentando valores similares ao gabronorito, com valores variando de 4,81 e 6,14%. Os teores de K_2O variam entre 9,30 e 9,73% e de Al_2O_3 entre 13,78 e 14,32%. Ao longo de perfil centro-borda a siderofilita apresenta teor de FeO^{T} variando de 17,29 a 16,44% em peso, de MgO aumentando de 11,94 a 12,08% em peso, e os teores de TiO_2 aumentando de 4,87 a 5,72% em peso. Os valores do parâmetro mg# variam entre 0,54 – 0,57. Em comparação com os piroxênios e anfibólios percebe-se que os valores de mg#, são inferiores.

Comparando-se as biotitas, anfibólios e piroxênios para os gabronoritos em geral, a biotita apresenta maiores valores de TiO_2 , o anfibólio possui valores intermediários e o piroxênio os menores valores. Com relação ao mg# nota-se que a biotita possui menores valores que os anfibólios (de Hbl-gabronorito) e ainda menores que os piroxênios.

5.3 FASES OPACAS

Resultados analíticos de química mineral obtidos em ilmenita, magnetita e pirita foram realizadas estritamente para ambos tipos de gabros (gabronorito e Hbl-gabronorito) e descritos a seguir.

5.3.1 ILMENITA

Foram obtidas 26 análises de óxidos de Fe-Ti, incluindo borda e núcleo de alguns cristais. O cálculo da fórmula estrutural para a ilmenita segue os procedimentos descritos em Deer *et al.* (1995), com base em 3 oxigênios, sendo XYO_3 , onde a posição estrutural X pode ser ocupada pelos cátions Fe^{+2} , Mg ou Mn, enquanto que a posição Y é geralmente ocupada pelos cátions Ti, Fe^{+3} ou Cr.

No sistema $\text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$ (Figura 55 A), pode-se observar que as análises de óxidos de Fe-Ti dos corpos de gabo estudados, definem soluções sólidas no intervalo da ilmenita. A molécula de ilmenita também pode ser visualizada como a justaposição entre diferentes proporções das moléculas de ilmenita (FeTiO_3), hematita – hem (FeFeO_3), geikielita– gk (MgTiO_3) e pyrophanita – py (MnTiO_3) de Deer *et al.* (1995, sendo que neste diagrama (Figura 55 B), as análises agrupam no campo das ilmenitas.

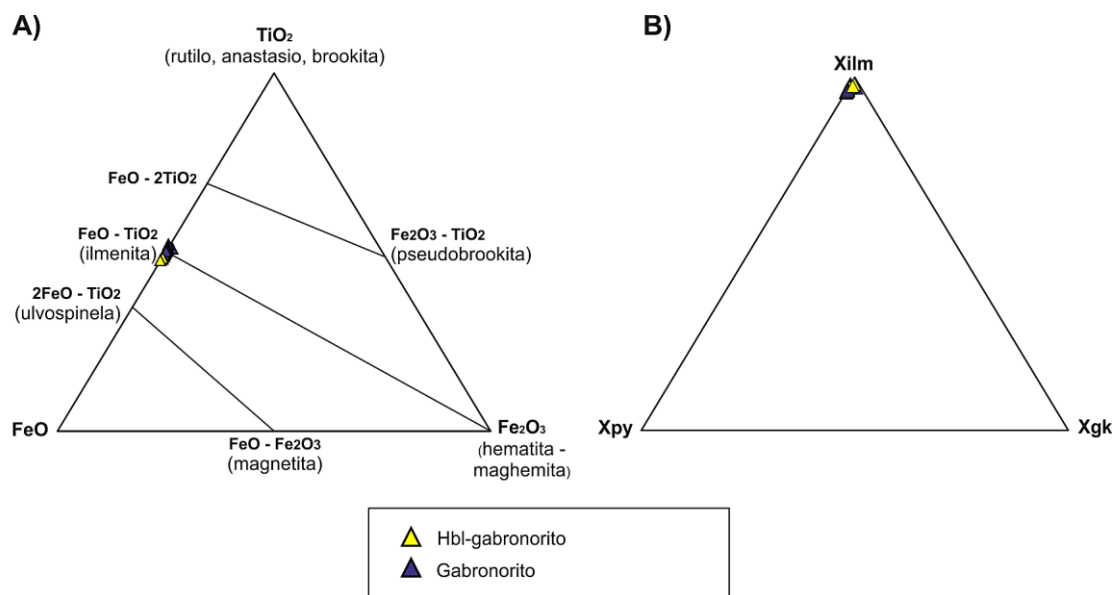


Figura 55. Diagramas para classificação de ilmenita para os gabronoritos e Hbl-gabronoritos. **A)** Sistema FeO-Fe₂O₃-TiO₂ mostrando as principais soluções sólidas de alta temperatura das séries magnetita-ulvoespinelio, hematita-ilmenita, pseudo-brookite-FeTiO₂ projetadas com base em % de mols proposto por Buddington e Lindsley (1964) e adaptado por Haggerty (1976). **B)** Diagrama Xilm-Xpy-Xgk das análises de ilmenita, segundo Deer *et. al* (1995).

A ilmenita analisada para o gabronorito fino-médio, apresenta teores de TiO₂ entre 46,65 e 54,40% em peso (0,962 – 1,040 Ti a.p.u.f), de FeO^T entre 43,01 e 46,95% em peso (0,92 – 0,99 a.p.u.f), de V₂O₃ entre 0,29 e 0,72% em peso e NiO entre 0,0 e 0,09% em peso, enquanto para os Hbl-gabronoritos teores similares de TiO₂ entre 49,39 e 52,01% em peso (0,95 – 0,99 a.p.u.f), de FeO^T entre 45,99 e 47,15% em peso (0,97 – 1,00 a.p.u.f), de V₂O₃ entre 0,36 e 0,53% em peso e NiO entre 0,015 e 0,069%.

5.3.2 MAGNETITA

Foram realizadas 13 análises de óxidos de ferro, incluindo borda e núcleo de alguns cristais em amostras de gabronorito de textura fina-média (RM-08 e R-RS-04A). O cálculo da fórmula estrutural da magnetita foi feito com base em 4 oxigênios equivalentes ou Σcat=3, com os sítios de ocupação preenchidos de acordo com a equação AB₂O₄, onde A pode ser Fe⁺², Mg, Mn, Ni, Zn e Ca e B é principalmente Al, Cr, Fe⁺³, Ti, V ou Si, segundo Deer *et al.* (1992).

No sistema FeO - Fe₂O₃ - TiO₂ (Figura 56 A), pode-se observar que os pontos analisados para esta fase mineral, define-se em uma solução sólida no campo da magnetita.

Os teores de FeO^T na magnetita variam de 90,80 a 98,73% em peso, de MgO entre 0,0 e 0,12%, de TiO₂ entre 0,0 e 0,44%, de V₂O₅ entre 0,28 e 1,29%, de Cr₂O₃ entre 0,016

e 0,335%. Os teores de MgO, Al₂O₃ e de MnO variam de 0,0 – 0,12% em peso; 0,04 – 0,33% e 0,0 – 0,08% respectivamente.

Segundo Deer *et al.* (1966), as substituições que podem ocorrer na magnetita, são: (1) $\text{Mg} \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$, (2) $\text{Mn} \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$, (3) $\text{Ti} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}$, (4) $\text{Cr} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}$, (5) $\text{Al} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}$.

No gabronorito, só foi possível verificar a ocorrência de substituições de tipo 3 (Figura 56 B), através da correlação negativa entre Ti e Fe^{3+} . Este tipo de substituição é devido possivelmente a processos de oxidação magmática, em que Ti excedente substitui o Fe gerando titanomagnetita.

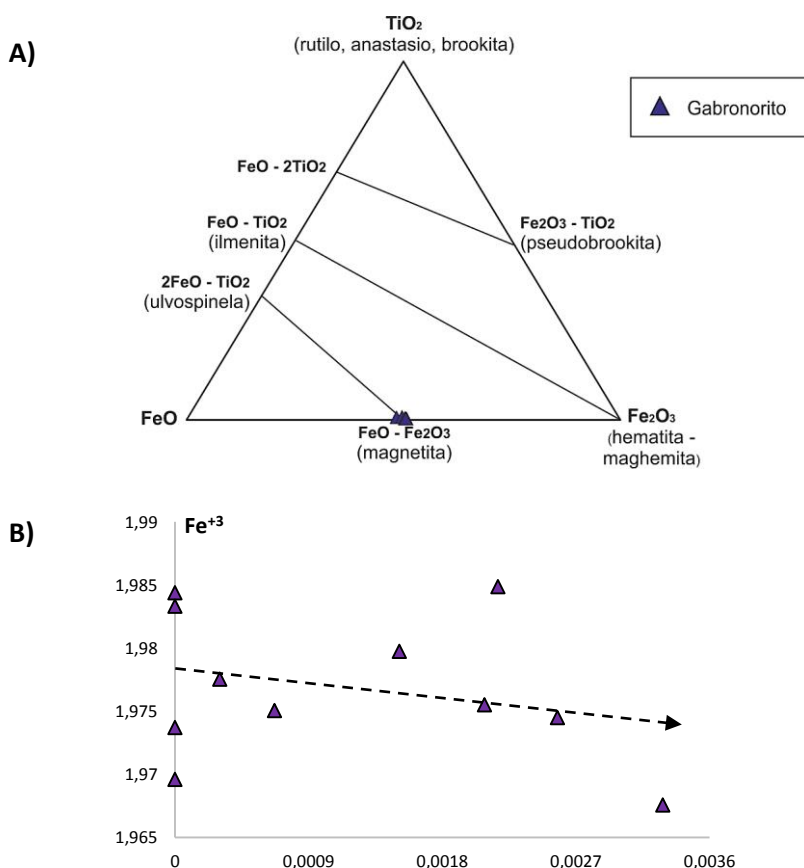


Figura 56. Diagrama de classificação para magnetita no Sistema FeO-Fe₂O₃-TiO₂ mostrando as principais soluções sólidas de alta temperatura das séries magnetita-ulvoespinelio, hematita-ilmenita, pseudo-brookite-FeTiO₂ referentes para o gabronorito. **A)** Diagrama de Buddington e Lindsley (1964), adaptado por Haggerty (1976). **B)** Diagrama binário Ti vs. Fe³⁺, representando o tipo de substituição (3) para magnetita em gabronorito.

5.3.3 PIRITA

Os sulfetos são minerais que originam-se pela combinação do S, As, Se e Te, com metais (KLEIN *et al.*, 2008), transportados na crosta por soluções em temperaturas intermediárias a baixas para formar veios. Foram feitas 17 análises distribuídas nas amostras R-RS-04A e R-RS-34, para ambos tipos de gabronorito. Os elementos analisados foram S, Fe, As, Cu, Au, Ag, Sb, Sn, Mn, Zn, Co, Si, Ti, V, Cl, Al, Mg e Ni,

e os valores dados em % peso. Foram identificadas piratas e sendo representadas no diagrama de composição de Clark (1960) (Figura 57). A pirita no gabronorito fino-médio, com formula FeS_2 , apresenta teores em porcentagem de Fe entre 42,50 e 46,57%, de S entre 50,58 e 53,44%, de Ni até 0,36% e V até 0,05%. No hornblenda gabronorito os teores de Fe variam entre 44,30 e 46,78%, de S entre 51,60 e 54,13%, e de V com teores até 0,04%, e Ni até 1,95%.

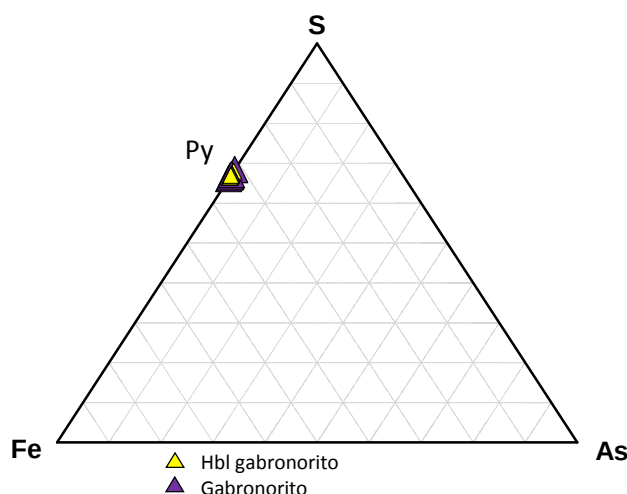


Figura 57. Diagrama de classificação para a pirita (Py) nos gabronoritos e Hbl-gabronoritos, segundo (CLARK, 1960).

5.4 ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL E MINÉRIO

Foram realizadas análises para piroxênios em zonas de alteração hidrotermal proximal (femitização) e em minerais minério (rutilo, fluorapatita e zircão) nas amostras de testemunhos de furos de sondagem R-RS-SR3-02 e R-RS-SR3-04A. As características químicas destas fases minerais são descritas a seguir.

5.4.1 FENITIZAÇÃO (AEGIRINA)

Análises pontuais de piroxênios foram realizadas em amostra representativa de alteração proximal (femitização). A distribuição dos cátions a.p.u.f. foi determinada na base de 6 oxigénios, considerando a estequiométrica ideal XYZ_2O_6 , onde X representa as posições de coordenação M2 (de 6 a 8, usualmente ocupadas por Na, Ca, Mn^{2+} , Fe^{2+} , Mg e Li), Y as posições de coordenação M1 (octaédrica, incorporando Mn^{2+} , Fe^{2+} , Mg, Fe^{3+} , Al, Cr, e Ti) e Z as posições de coordenação tetraédrica é ocupada tomada por Si e Al (CAMERON & PAPIKE, 1982); no cálculo efetuado o ferro total foi assumido como férrico.

Não obstante, e devido a que os pontos analisados apresentam-se em zonas envoltas por hidrotermalismo e presença de minério, as análises podem ter ligeiro excesso de átomos de alguns óxidos como TiO_2 , e de FeO , possivelmente por processos de desidratação de minerais ferro-magnesianos principais. A distribuição de cátions no diagrama Q-J ($Q = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe}^{2+}$ e $J = 2\text{Na}$) revelam-se compatível com piroxênio de tipo sódico e composição do tipo aegirina (diagrama ternário WEF-Jd-Eg, Figura 58). Com teores de SiO_2 que variam de 50,66 e 51,89% em peso, de FeO entre 23,80 e 27,39% em peso, de Na_2O entre 12,21 e 13,16% em peso, de CaO entre 0,037 e 0,13% em peso, de TiO_2 entre 2,0 e 5,34% em peso, e de V_2O_3 até 0,21% em peso.

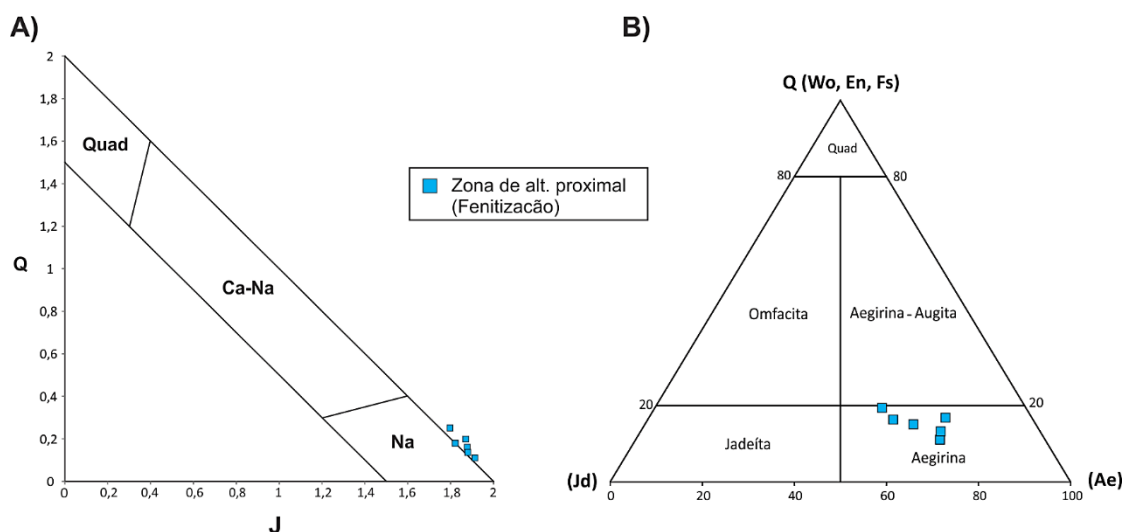


Figura 58. Diagramas de classificação para piroxênios tipo aegirina em zonas de fenitização. **A)** Diagrama Q-J classificando-os em variedades Quad, cálcico-sódicas e sódicas, mostrando agrupamento dos resultados analíticos no campo dos piroxênios sódicos. **B)** Diagrama WEF-Jd-Eg, de classificação de piroxênios.

5.4.2 RUTILO

Para a caracterização do mineral minério principal presente na zona de mineralização e verificar a variação na composição dele, foram obtidos 25 resultados analíticos pontuais em centro e borda de 8 cristais contidos em veio e em zona de alteração hidrotermal proximal. O cálculo da fórmula estrutural do rutilo é baseado em 2 oxigênios (DEER *et al.*, 1992). A classificação composicional é observada no diagrama proposto por Buddington & Lindsley (1964) e adaptado por Haggerty (1976), dentro do sistema $\text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$ (Figura 59).

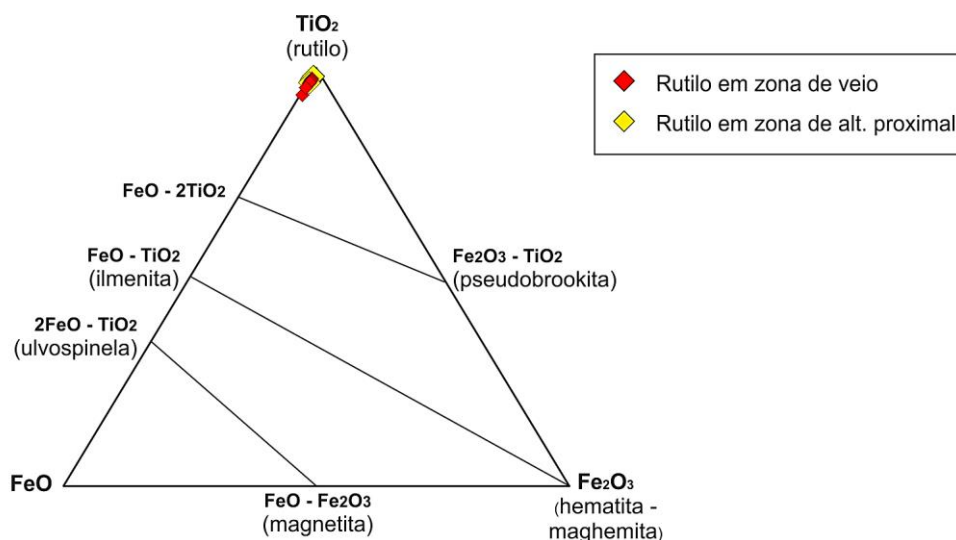


Figura 59. Diagrama de classificação para rutilo no Sistema FeO-Fe₂O₃-TiO₂ mostrando as principais soluções sólidas de alta temperatura das séries magnetita-ulvoespinelio, hematita-ilmenita, pseudo-brookite-FeTiO₂, proposto por Buddington e Lindsley (1964) e adaptado por Haggerty (1976).

O teor de TiO₂ variam de 82,53 a 95,44% em peso (0,87 – 0,97 a.p.u.f) para o rutilo contidos em veio, no rutilo da zona de alteração hidrotermal varia de 90,9 a 99,73% em peso (0,91 – 0,98 a.p.u.f.), o teor de FeO^T no veio e zona de alteração varia entre 1,58 - 4,34% e 1,16 – 2,37% em peso respectivamente. O Nb₂O₅ atinge até 8,13% (até 0,05 a.p.u.f.) no veio e teor levemente menores para a zona hidrotermal (até 5,25% em peso; 0,04 a.p.u.f.), de Ta₂O₅, até 0,28% em peso no veio e até 0,07% em peso em zonas de alteração. Os componentes presentes na estrutura cristalina o classificaram como rutilo rico em nióbio segundo as formulas:



O zoneamento composicional no rutilo verificado em imagens de elétrons retroespalhados representa prováveis substituições entre Ti⁴⁺ com Nb⁵⁺ e Fe²⁺ e substituições de 2Ti⁴⁺ ← Nb⁵⁺ + (Fe, Al)³⁺; 3Ti⁴⁺ ← 2Nb⁵⁺ + Fe²⁺; Ti⁴⁺ ← (Fe, Mn)²⁺ + 2(Ta, Nb)⁵⁺ (Černý, 1999), e sugeridas pela correlação negativa entre os cátions Ti e Nb+Fe (Figura 60 A). Esse zoneamento composicional é resultado da variação de Nb, Ti e Fe, indicado pela variação da refletância baixa (área escura) pelo baixo conteúdo de Nb, e mais alta (área clara) com maior conteúdo de Nb (Figura 60 B, C). Tais variações composicionais também são verificadas na correlação de cátions de Fe²⁺, Nb⁵⁺ e Ta⁵⁺ e

comprovadas mediante perfil analítico, que mostra a variação no teor de Nb na largura do cristal de rutilo rico em nióbio (Figura 60 D, E).

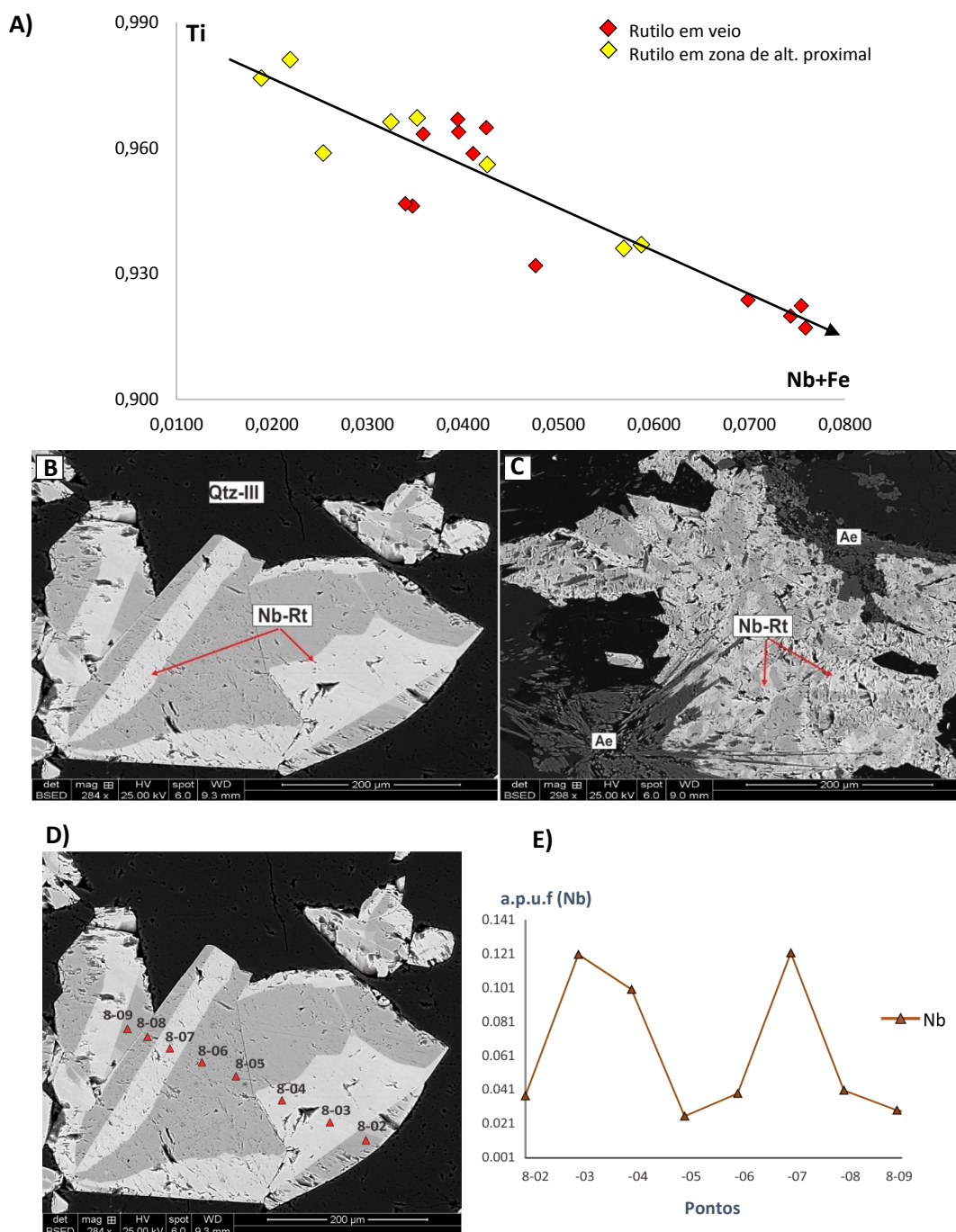


Figura 60. Variação da composição interna em cristal de rutilo rico em nióbio. **A)** Diagrama binário Ti vs. Nb+Fe, representando substituição principal em rutilo posicionado em veio e em zona de alteração hidrotermal proximal. **B-C)** Imagens de elétrons retroespalhados de rutilo de veio (B) e de alteração hidrotermal (C) de Cristal de rutilo em veio mostrando com seta vermelha maior Nb (cinza mais claro) e menor Nb (cinza mais escuro) (RM-20D e R-RS-SR3-04. **D-E)** Imagens de elétrons retroespalhados de rutilo de veio com perfil analítico ilustrando as principais variações catiônicas de nióbio (Nb). Pontos analíticos localizados na fotomicrografia.

5.4.3 FLUORAPATITAS

Um realizado 9 pontos analíticos para fases minerais fosfatadas distribuídos em veio (amostra R-RS-SR3-02) e zona de alteração hidrotermal proximal (amostra R-RS-SR3-04), ver apêndice I. O cálculo da fórmula estrutural da apatita, é baseado em 4 oxigênios, e os sítios de ocupação, preenchidos de acordo com a equação $A_{10}(XO_4)_6(OH)_2$, onde X é constituído essencialmente por P, Si, V, As ou S. A posição A pode ser ocupada por Ca, Sr, Ba, REE, Y, Na, e o radical OH pode ser substituído por F, Cl, (Werner (1786), modificada por Burke (2008)). Os resultados analíticos da apatita foram lançados no diagrama F-OH-Cl (PAN & FLEET, 1995), classificadas com fluorapatita para o veio e fluorapatita contendo hidroxilo quando em zonas proximais de alteração hidrotermal (Figura 61).

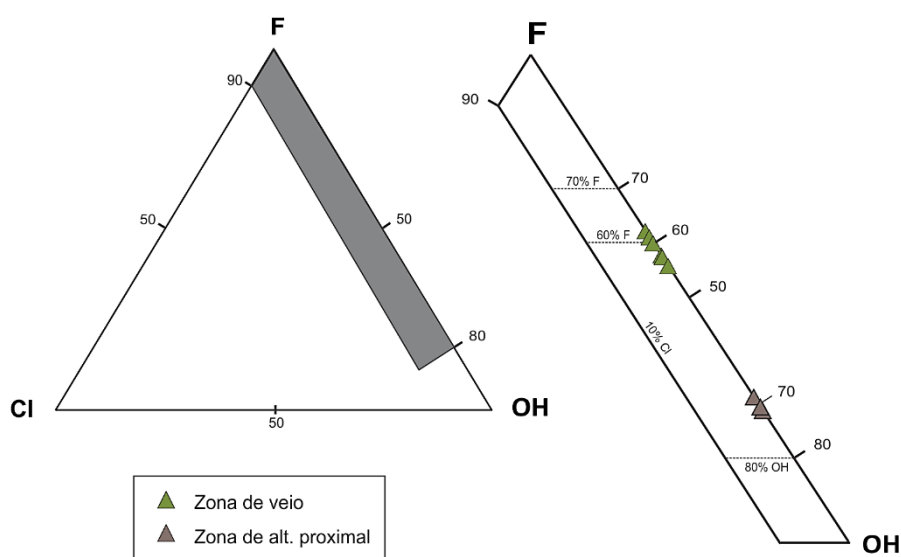
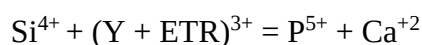


Figura 61. Diagrama de classificação de apatitas no sistema dos membros finais F-OH-Cl (PAN & FLEET, 1995). As apatitas são representadas por fluorapatitas e fluorapatitas contendo hidroxilo.

A fluorapatita na zona de alteração hidrotermal, apresentam teores de F entre 6,73 e 7,48% (0,35 – 0,39 a.p.u.f), de P_2O_5 entre 35,77 e 37,0% em peso (1,26 – 1,30 a.p.u.f), de CaO entre 50,70 e 54,37% em peso (0,90 – 0,97 a.p.u.f) e de SiO_2 até 0,035% em peso (0,0014 a.p.u.f). Os teores de Y_2O_3 atingem até 0,023% (0,00031 a.p.u.f). Os elementos ETRL (elementos em terras raras leves), principalmente de La, Ce, Nd e Sm apresentam teores em peso de La_2O_3 até 0,056%, de Ce_2O_3 até 0,72%, de Nd_2O_3 até 0,71%, de Sm_2O_3 até 0,72%, Gd_2O_3 até 0,72% e Eu_2O_3 até 0,22%. Para os ETRP (elementos em terras raras pesadas), os teores são de até 0,40% para Dy_2O_3 , Ho_2O_3 , Yb_2O_3 e Lu_2O_3 . A fluorapatita encontrada em veio, mostra diminuição nos teores de CaO e P_2O_5 e o aumento nos teores de Si e ETRL. Os teores de CaO variam de 1,07 a 2,04% em peso (0,06 – 0,11 a.p.u.f),

de P_2O_5 entre 0,16 e 0,67% em peso (0,007 – 0,031 a.p.u.f), o F entre 6,47 e 7,31% em peso (1,13 – 1,27 a.p.u.f) e o SiO_2 até 0,61%. A fluorapatita da zona de veio, apresenta teores de Y_2O_3 que alcançam até 1,60% em peso (0,044 a.p.u.f). Os teores de ETRL são de La_2O_3 entre 5,09 e 5,68% em peso, de Ce_2O_3 entre 17,58 e 21,15% em peso, de Nd_2O_3 entre 40,57 e 46,83% em peso, de Sm_2O_3 entre 4,13 e 4,86% em peso, de Eu_2O_3 entre 1,47 e 1,88% em peso e de Gd_2O_3 entre 1,53 e 1,90% em peso.

Em geral, a diferença entre as apatitas das zonas estudadas é relacionada a diminuição por substituição do conteúdo em P e Ca e aumento de Si, Na e ETRL. Esta substituição de Si e/ou Na na estrutura da fluorapatita em relação com $(Y + ETR)^{3+}$ é de tipo acoplada definida como:



Considerando as diferenças entre as composições das duas fases minerais de apatita, foram classificadas neste trabalho como: i) Na zona de alteração hidrotermal como fluorapatitas com formula estrutural $Ca_5(PO_4)_3F$ e, ii) Para o caso da apatita em zona de veio, enriquecidas em ETR's, e seguindo a nomenclatura para espécies minerais ricos em ETR's (BAYLISS & LEVINSON, 1988), essa fase mineral pode ser caracterizada como (La, Ce, Nd) -Fluorapatita. Por outro lado, e tendo em conta a nomenclatura para o supergrupo de minerais de apatita (PASERO *et al.*, 2010), pode ser classificada como Fluorcalciobritolita ($Ca, REE)_5(SiO_4, PO_4)_3F$.

Como apontado por Harlov (2013) e Pan (1997), as substituições para a formação de esta fase mineral enriquecida em ETR's, envolvem remoção de Ca^{2+} e subsequente dissolução-precipitação de P^{5+} dentro do mineral de apatita, gerando inclusões de ETR's $(Y+ETR)^{3+}$ na estrutura cristalina, e enriquecimento nestes elementos raros (Figura 62).

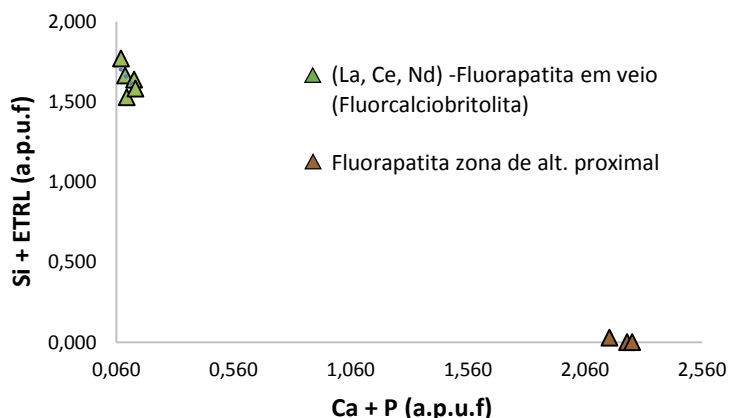


Figura 62. Diagrama binário representativo da principal substituição do tipo $Si^{4+} + (ETRL)^{3+} = P^{5+} + Ca^{+2}$ para as fluorapatitas nas zonas de veio e de alteração hidrotermal proximal.

5.4.4 ZIRCÃO

Foram realizadas 19 análises pontuais em cristais de zircão que ocorrem em zonas de alteração hidrotermal. O cálculo da fórmula estrutural é baseado em 4 oxigênios, com sítios de ocupação de acordo com a equação $S_1M_1O_4$ em que **M** pode ser Al, Zr, Hf, Fe, Mg, Ti, Nb, Th, ETR, Ca, Cu, Na, U, Mn e **S** é principalmente Si ou P (Deer *et al.*, 1992). Os resultados analíticos quando lançados no diagrama $SiO_2 - ThO_2 - ZrO_2$ (Figura 63 A), agrupam no intervalo do zircão rico em Th. Os teores de ZrO_2 variam entre 60,6 e 65,7% em peso (0,93 – 0,99 a.p.u.f), de SiO_2 entre 30,5 e 33,47% em peso (0,97 – 1,02 a.p.u.f), de HfO_2 entre 1,04 e 1,86% em peso e de ThO_2 até 0,05% em peso. Esses cristais apresentam significantes quantidades de P_2O_5 (até 0,71% em peso), de Y_2O_3 (até 0,89% em peso), de Nb_2O_5 e Ta_2O_5 atingem até 1,07% e 0,28% em peso, respectivamente. Os ETR's, apresentam leve enriquecimento em ETRL (elementos em terras raras leves) com teores até 0,16% em peso principalmente para o Ce, La, Nd e Sm, e até 0,14% em peso para ETRP (elementos em terras raras pesadas) em Ho, Er e Yb. Os componentes presentes na estrutura mineral se organizam mediante a seguinte formula:



Segundo Pointer (1988), as principais substituições que podem ocorrer em zircão são do tipo zircão-xenotima (YPO_4), zircão-torita ($ThSiO_4$) e zircão-cofinita ($USiO_4$). Para o caso estudado as substituições do tipo –xenotima (YPO_4), envolvendo trocas iônicas acopladas da forma $Zr^{4+} + Si^{4+} \rightarrow Y(ETR)^{3+} + P^{5+}$ (ROMANS *et al.*, 1975) representada pela correlação negativa entre Si, Zr, Y(REE) e o P (Figura 63 B).

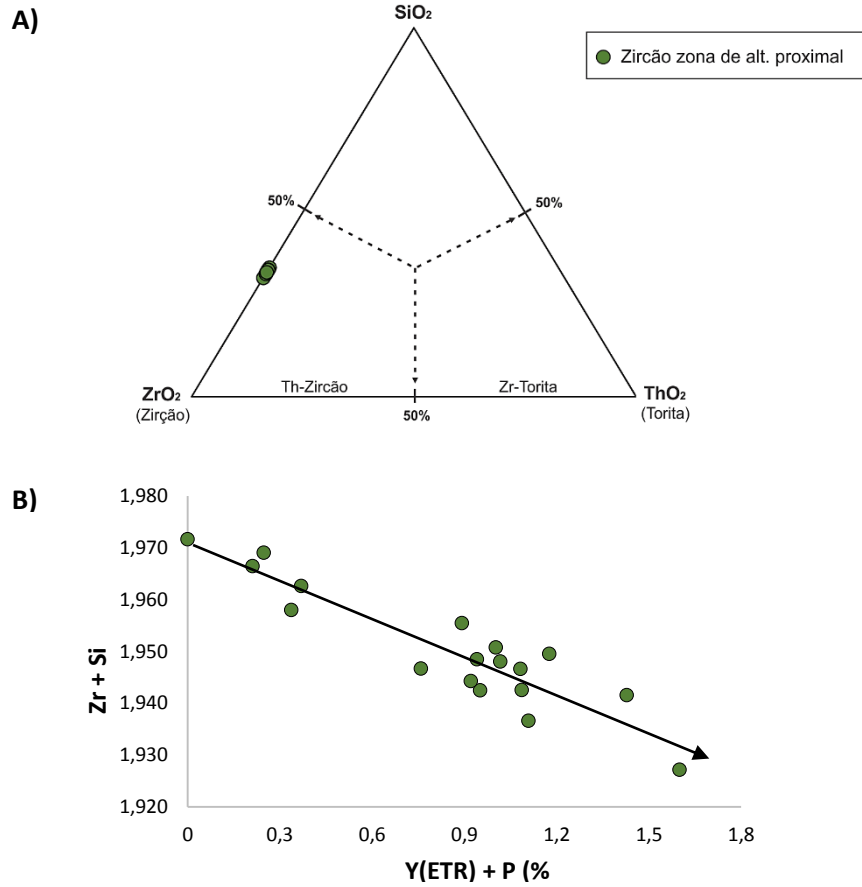


Figura 63. Diagrama de composição no sistema $\text{SiO}_2\text{-ThO}_2\text{-ZrO}_2$ para cristais em zona de alteração hidrotermal proximal. **B)** Diagrama binário representativo da substituição do tipo zircão-xenotima $\text{Si} + \text{Zr} = \text{Y(ETR)} + \text{P}$.

6 GEOTERMobarOMETRIA

Neste capítulo os resultados obtidos e/ou disponíveis em literatura referentes a química de minerais são empregados para estimar condições de pressão e temperatura metamórficos em gnaisses, em gabros, bem como em minerais associados a processos de alteração hidrotermal. Para esta finalidade foram empregados diferentes geotermômetros e geobarômetros empíricos. Os resultados dos cálculos se apresentam a continuação.

6.1. GNAISSES

Para o gnaiss de textura *augen*, foi usado o geobarômetro Al em hornblenda e os geotermômetros de plagioclásio-hornblenda e Ti em biotita que permitem avaliar condições de pressão e temperatura máximas e mínimas que atingiram as rochas gnáissicas.

6.1.1 GEOTERMobarOMETRIA PELO MÉTODO DE Al-HORNBLENDA E ANFIBOLIO-PLAGIOCLASIO

O estudo da química mineral em biotita classifica o *augen* gnaiss como suíte cálcio-alcálica, e o gnaiss milonitizado como suíte alcálica. Vários geobarômetros usam o teor de Al na hornblenda para rochas da suíte cálcio-alcálica:

Para os gnaisses estudados e para a utilização do conteúdo de Al em Hornblenda, a razão $Mg/(Mg+Fe)$, varia entre 0,45 e 0,48 e a razão $Fe^T/(Fe^T+Mg)$ entre 0.58-0.60. Já para o equilíbrio Anfíbolio-Plagioclásio foi verificado que o $Na_{(A)}$ varia entre 0,36 e 0,48 a.p.u.f, Al^{VI} varia entre 0,34 e 0,52 a.p.u.f, o Si entre 6,38 e 6,53 a.p.u.f. Para o plagioclásio os valores de X_{An} variam entre 0,29 e 0,31.

Usando a calibração de Schmidt (1994) Al em hornblenda por apresentar o menor erro, e a do par anfíbolio cálcico-plagioclásio (HOLLAND & BLUNDY, 1994) para a calibração termométrica. No centro dos cristais, a pressão varia entre 5.7 e 6.3 Kb. Na borda do cristal, a Temperatura entre 701 °C e 773 °C e valores de Pressão entre 6.4 e 6.5 Kb e de Temperatura entre 714 °C e 767 °C. A Tabela 3 contém os resultados dos cálculos de pressão e temperatura obtidas na amostra RM-14 (*augen* gnaiss), coerentes com as temperaturas de eventos metamórficos em finais de fácies anfíbolito superior e fácies granulito inferior.

AMOSTRA/PONTO	T (°C) HOLLAND & BLUNDY, 1994	P (Kbar) SCHMIDT (1994)	AMOSTRA/PONTO	T (°C) HOLLAND & BLUNDY, 1994	P (Kbar) SCHMIDT (1994)
RM-14 2/04 (Borda)	714	6.50	RM-14 2/03 (Centro)	701	6.35
RM-14 2/16 (Borda)	728	6.48	RM-14 2/15 (Centro)	746	5.70
RM-14 4/14 (Borda)	767	6.38	RM-14 4/15 (Centro)	773	6.16

Tabela 3. Estimativas geotermobarométricas para o *augen* gnaíse. As temperaturas foram determinadas usando a calibração plagioclásio-hornblenda e as pressões a calibração de Al em hornblenda.

6.1.2 GEOTERMÔMETRO PELO MÉTODO DE Ti-BIOTITA

No geotermômetro em biotita, foram realizados cálculos utilizando valores de Fe e Ti, recalculados com base em 11 Oxigênios, utilizando a calibração de Luhr *et al.* (1984), onde $T (^{\circ}\text{C}) = 838 (1,0337 - \text{Ti/Fe})$. Os resultados mostrados na Tabela 4, revelam temperaturas em biotita variando de centro a borda do cristal de 719 °C até 696 °C, e pressões estimadas variando entre 2.0 e 4.0 Kbar (LUHR *et al.*, 1984).

AMOSTRA/PONTO	T (°C) LUHR ET AL. (1984)	AMOSTRA/PONTO	T (°C) LUHR ET AL. (1984)
RM-14 2/05 (Borda)	706	RM-14 2/06 (Centro)	718
RM-14 2/07 (Borda)	696	RM-14 4/08 (Centro)	719

Tabela 4. Estimativas geotermométricas para os *augen* gnaisses protomiloníticos. As temperaturas foram determinadas pelo método de Ti em biotita.

6.2. GABROS

Com o intuito de verificar as condições de cristalização, foi usado o geotermômetro de clinopiroxênio-ortopiroxênio. Também foram utilizadas calibrações Al em hornblenda e Ti em hornblenda (Hbl-gabronoritos) para avaliar processos metamórficos/hidrotermais registrados nestas rochas.

6.2.1 GEOTERMOMETRIA DE EQUILÍBRIO ENTRE ORTOPIROXÊNIO E CLINOPIROXÊNIO

Nas amostras estudadas, as texturas observadas sugerem que orto- e clinopiroxênios não estiveram em equilíbrio durante todas as etapas da sua cristalização e possivelmente o clinopiroxênio seja de cristalização posterior, possivelmente originado a partir de uma reação peritética entre ortopiroxênio e líquido magmático. Por outro lado, em algum momento durante a cristalização, estes dois minerais coexistiram e parece razoável fazer um exercício de avaliação de temperatura, permitindo dessa forma estimar

a temperatura das rochas gabróicas, através do equilíbrio do par ortopiroxênio-clinopiroxênio.

Os resultados obtidos para os diversos pares minerais considerados (núcleo-núcleo e borda-borda), quando possível, tanto em pares minerais dos gabronoritos, bem como dos Hbl-gabronoritos. Os resultados mostram para os gabronoritos, limites mínimo de 1057 °C e máximo de 1178 °C, enquanto para os Hbl-gabronoritos, com valores similares, apresentando limites mínimo de 1156 °C e máximo de 1219 °C, destacando que o erro desse método encontra-se com ± 60 °C e de $\pm 2,8$ Kb.

A Tabela 5 contém os resultados dos cálculos de temperaturas para o par Cpx-Opx, as quais são perfeitamente compatíveis com temperaturas esperadas para a formação destas fases essenciais, as quais são relativamente precoces na história de cristalização destas rochas.

LITOTIPO	AMOSTRA/PONTO	T (°C) WOOD E BANO (1973)	AMOSTRA/PONTO	T (°C) WOOD E BANO (1973)
Gabronorito	RM-12-6/09 (Centro Cpx)	1178.09	RM-12-5/01 (Borda Cpx)	1057.84
	RM-12-7/07 (Centro Opx)		RM-12-5/04 (Borda Opx)	
Hbl-gabronorito	R-RS-34-2/01 (Centro Cpx)	1219.09	R-RS-34-2/02 (Borda Cpx)	1156.32
	R-RS-34-2/04 (Centro Opx)		R-RS-34-2/03 (Borda Opx)	

Tabela 5. Estimativas geotermométricas em piroxênios para os gabros. As temperaturas foram determinadas pelo método de equilíbrio entre o clinopiroxênio e o ortopiroxênio em amostras de gabronoritos e hornblenda gabronoritos.

6.2.2 GEOTERMOMETRÍA DE EQUILIBRIO ENTRE MAGNETITA-ILMENITA

A composição química das magnetitas e ilmenitas coexistentes, permitem calcular a temperatura na qual foram possivelmente cristalizados os magmas que contém ambas fases minerais ou verificar se estas fases minerais precedem de processos posteriores à cristalização desses corpos.

Em relação ao geotermômetro magnetita-ilmenita, foi calculado em gabronoritos por apresentarem maior quantidade modal de fases opacas de óxidos de Fe-Ti, realizou-se cálculos através das relações desses óxidos através da planilha elaborada por Lepage (2003), utilizando a calibração dos termômetros de: Carmichael (1967), Anderson (1968), Lindsley & Spencer (1982) e Stormer (1983) em Anderson e Lindsley (1985), conferindo temperaturas entre 365 °C e 425 °C (Tabela 6).

LITOTIPO	GEOTERMÔMETRO ANDERSON & LINDSLEY (1985)	T (°C)
Gabronorito	Carmichael (1967)	405 - 425
	Anderson (1968)	365 - 368
	Lindsley & Spencer (1982)	368 - 374
	Stormer (1983)	371 - 378

Tabela 6. Estimativas geotermométricas em fases opacas para gabros. As temperaturas foram determinadas pelo método de equilíbrio entre magnetita-ilmenita em amostras de gabronoritos

6.2.3 GEOTERMOBAROMETRIA PELO METODO DE TI-HORNBLENDA E AI-HORNBLENDA

O geobarômetro Al-hornblenda, originalmente aplicado a rochas graníticas, é aqui aplicado ao hbl-gabronorito. Para os cálculos de geobarometria foram utilizados valores de Al total de núcleo e borda de cristais inalterados de hornblenda.

No geotermômetro Ti-hornblenda, o titânio (Ti) está contido nos sítios cristalográficos octaedral e tetraedral. Os calculados foram baseados em 23 oxigênios, utilizando a calibração de Otten (1984), onde se $Ti < 0,345$, então $T (°C) = 545 + 1204(Ti)$, e se $Ti > 0,345$, então $T (°C) = 877 + 273(Ti)$. Considerando as restrições para o uso das calibrações como: i) razão $Mg / (Mg+Fe) > 0,35$ (no gabro estudado varia entre 0,61 e 0,65), ii) $Ti < 0,345$ (no gabro estudado varia entre 0,17 e 0,23), foi usada a formula $T (°C) = 545 + 1204(Ti)$. Os dados obtidos utilizando os parâmetros propostos por Schmidt (1994) e Otten (1984), Tabela 7, mostram variação da pressão e da temperatura de centro a borda do cristal de 6,0 Kb até 4,9 Kb, e de 784 °C até 747 °C, respectivamente.

AMOSTRA/PONTO	P (Kbar) SCHMIDT (1994)	T (°C) OTTEM (1984)
R-RS-34_1/01 (Borda)	4.9	785
R-RS-34_1/02 (Borda)	5.0	747
R-RS-34_1/10 (Borda)	5.5	760
R-RS-34_1/11 (Núcleo)	5.9	784
R-RS-34_3/11 (Núcleo)	5.9	749
R-RS-34_3/14 (Núcleo)	6.0	763

Tabela 7. Estimativas geobarométricas e termométricas usando a calibração empírica Al em hornblenda em amostras de hornblenda gabronorito.

6.3. MINÉRIO

Para a determinação das possíveis condições de pressão e temperatura alcançadas no sistema hidrotermal associado ao minério foi utilizado o geotermômetro de Zr em rutilo, e assim, posteriormente serem integradas com o estudo de inclusões fluidas.

6.3.1 GEOTERMÔMETRO PELO MÉTODO DE Zr EM RUTILO

Foi usada a equação de Watson *et al.* (2006), Tabela 8, para cristais de veio e de zonas de alteração hidrotermal proximal (femitização). Os cálculos forneceram valores de T (°C) para rutilo em zona de femitização entre 564 °C e 572 °C, e para rutilo de veio entre 572 °C e 585 °C.

ZONA	AMOSTRA/PONTO	T (°C) WATSON <i>et al.</i> (2006)
Veio	R-RS-SR3-02/1-03	585
	R-RS-SR3-02/7-03	572
	R-RS-SR3-02/8-06	585
	R-RS-SR3-02/8-03	581
	R-RS-SR3-02/8-09	577
Alteração proximal (Femitização)	R-RS-SR3-04/1-02	568
	R-RS-SR3-04/1-04	564
	R-RS-SR3-04/4-05	572

Tabela 8. Estimativas geotermométricas para rutilo. As temperaturas foram determinadas pelo método de Zr em rutilo em amostras de veio e de alteração fenítica.

7 INCLUSÕES FLUIDAS

Os fluidos mineralizantes relacionados as ocorrências de veios de quartzo e rutilo contendo Ti, Nb e ETR's na Serra Repartimento, foram estudados com base em inclusões fluidas investigadas em lâminas bipolidas de amostras de quartzo desses veios. As atividades se dividiram em duas etapas descritas a seguir:

7.1. PETROGRAFIA DAS INCLUSÕES FLUIDAS

O estudo petrográfico realizado nos grãos minerais de quartzo permitiu identificar e classificar dois tipos de inclusões fluidas (IF): cujas composições são principalmente aquosas e aquocarbônicas (Figura 64). Tal classificação teve como base a origem, morfologia e número de fases das IF à temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$). Essas inclusões são descritas como primárias, pois ocorrem na maioria das vezes isoladas no mineral (intracristalinas), porém ocorrem, por vezes, alinhadas ao longo de planos de crescimento do cristal hospedeiro, definindo conjunto de IF pseudo-secundárias. Entretanto, algumas IF aquosas descritas como secundárias, ocorrem alinhadas ao longo de planos de fraturas do mineral e ultrapassam os limites dos cristais (intercristalinas). Nesta pesquisa as IF, e seguindo as nomenclaturas propostas por Roedder (1984), Shepherd *et al.*, (1985) e Fuzikawa (1985), foram classificadas como primárias aquosas tipo IA, enquanto que as inclusões primárias aquo-carbônicas foram classificadas em IIA.

As IF aquosas do tipo **I-A** ocorrem com formas bastante variadas, embora prevaleçam as arredondadas e subarredondadas e, menos frequentemente, alongadas ou amendoadas. Apresentam cores variáveis, tipo rosa claro, incolor e até verde claro, contornos finos e tamanhos de até 10 μm . São bifásicas, compostas essencialmente por uma fase $\text{H}_2\text{O}_{\text{liq}}$ e uma fase $\text{H}_2\text{O}_{\text{gás}}$ (Figura 64 A, B). Com base na proposta de Shepherd *et al.* (1985) para a relação entre os volumes das fases vapor e líquida, a qual é expressa pela letra F ($F = \text{vol. líquido} / \text{vol. líquido} + \text{vol. vapor}$), nas IF do tipo IA o valor de F varia de 0,95 a 0,80, demonstrando variação no volume da fase vapor.

As IF do tipo **II-A** possuem formas variadas de cilindros, circulares e irregulares, apresentam cor esverdeada e tamanhos de até 15 μm . São trifásicas, compostas por uma fase $\text{H}_2\text{O}_{\text{liq}}$, uma fase $\text{CO}_{2\text{liq}}$ e uma fase $\text{CO}_{2\text{gás}}$, cujo valor de F varia de 0,70 a 0,80 (Figura 64 C, D). Ocorrem ainda IF monofásicas escuras, com formas e tamanhos similares às IF trifásicas, nas que o CO_2 , normalmente homogêneo (líquido), ocupa aproximadamente o seu volume total (inclusão carbônica), ou seja, com F aproximadamente zero.

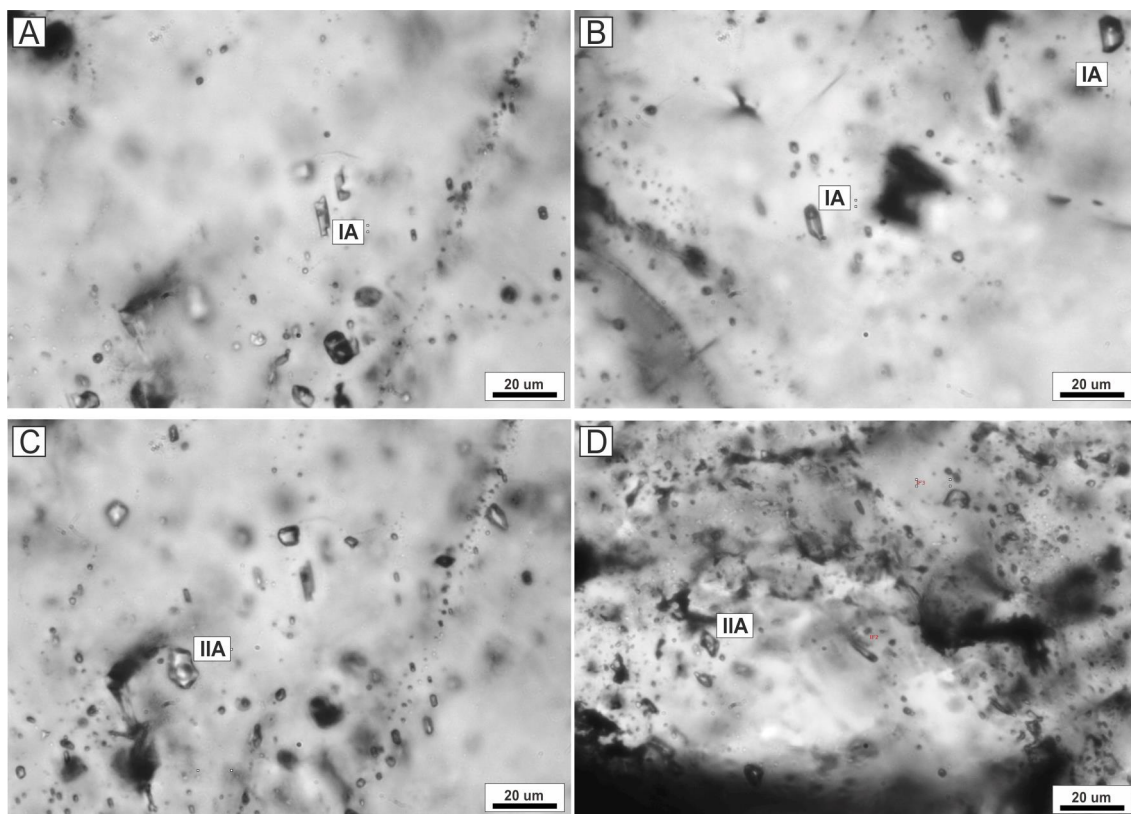


Figura 64. Fotomicrográficas de inclusões fluidas (IF) em cristal de quartzo. **A-B)** IF aquosas bifásicas com $F = 0,95$ a $0,80$. **C-D)** IF aquocarbônicas trifásicas com as fases $H_2O_{(L)} + CO_{2(L)} + CO_{2(G)}$.

7.2. MICROTERMOMETRIA

Os estudos microtermométricos foram realizados em inclusões supostamente de caráter primário, descartando aquelas com suspeita de processo de alteração pós-aprisionamento. O ANEXO II apresenta as medidas microtermométricas obtidas para os fluidos identificados nos veios de quartzo no sistema hidrotermal.

7.2.1 INCLUSÕES AQUOSAS BIFÁSICAS (IA)

Para este tipo de inclusão foram obtidas as seguintes propriedades: temperatura de fusão do gelo, temperatura do ponto eutético, salinidade, densidade e temperatura de homogeneização.

As IF apresentam valor de F entre $0,95$ e $0,80$ à temperatura ambiente ($T \pm 25^\circ C$). As temperaturas do ponto eutético (T_e) das inclusões aquosas bifásicas permitiram distinguir duas populações de IF de acordo com Borisenko (1977): uma com valores predominantes entre -40 e $-60^\circ C$, caracterizando o sistema H_2O - $NaCl$ - $CaCl_2$ - $MgCl_2$, e outra com T_e no intervalo de -25 a $-40^\circ C$, caracterizando o sistema H_2O - $NaCl$ - KCl ($MgCl_2$ - $FeCl_2$) (Figura 65 A).

As temperaturas de fusão do gelo (T_{fg}) das inclusões aquosas bifásicas estudadas para ambos os sistemas, permitiram identificar duas populações de inclusões distintas: uma com valores de T_{fg} entre -0,30 e -15,80°C, e outra com valores de T_{fg} entre -18,20 e -20,40°C (Figura 65 B).

A salinidade destas inclusões, mensurados em % peso equivalente de NaCl, foram calculadas a partir das T_{fg} pela equação de Bodnar (1993), a qual é expressa por $\%NaCl = 0,00 + 1,78\theta - 0,0442\theta^2 + 0,000557\theta^3$, onde θ corresponde a T_{fg}, varia de 0,53 a 19,29% em peso equivalente de NaCl para a população com os menores valores de T_{fg}, e 21,11 a 22,65% em peso equivalente de NaCl para a população com os maiores valores de T_{fg} (Figura 65 C e D). Apesar da diferença nos valores da salinidade, as temperaturas de homogeneização total (Th_T), ocorrem sempre no estado líquido, não apresentando variações expressivas, com temperaturas mínima e máxima entre 110,0°C e 225,0°C e picos máximos entre 190°C e 200°C (Figura 65 E).

A densidade das IF aquosas foi calculada a partir da salinidade permitindo estimar valores que situam-se nos intervalos de 0,65 a 0,8 g/cm³ para as menos salinas, e 0,95 a 1,1 g/cm³ para as mais salinas, conforme discutido por Shepherd *et al.* (1985).

7.2.2 INCLUSÕES AQUOCARBÔNICAS (IIA)

Para as IF aquocarbônicas foram obtidas medidas de temperatura de fusão do CO₂ (T_{fCO₂}), fusão do clatrato (T_{fClat}) e homogeneização parcial da fase carbônica (Th_{CO₂}), que permitiram a obtenção de propriedades composicionais (fase carbônica e salinidade) e densidade.

As inclusões do tipo IIA apresentam valor de F da ordem de 0,80 à temperatura ambiente (T±25° C). Apresentam homogeneização da fase carbônica (Th_{CO₂}) para o estado líquido, a temperaturas entre -7,8 °C e 27,4 °C, com picos principais entre -4,0 e 4, 0 °C (Figura 66 A), obtiveram-se dois valores bem próximos do ponto crítico do CO₂ (31,1 C). As temperaturas de fusão do CO₂ (T_{fCO₂}) variam entre -57,6 e -69,3 °C, com maior frequência no intervalo de -58 e -64 °C, com pico principal entre -60 e -62 °C (Figura 66 B). Assim, considerando que a temperatura de fusão do CO₂ puro é de -56,6° C (Shepherd *et al.* 1985), os valores obtidos sugerem que a fase carbônica não é pura, contendo outros gases (CH₄, N₂), cuja presença diminuem o ponto de fusão do CO₂ (Shepherd *et al.* 1985).

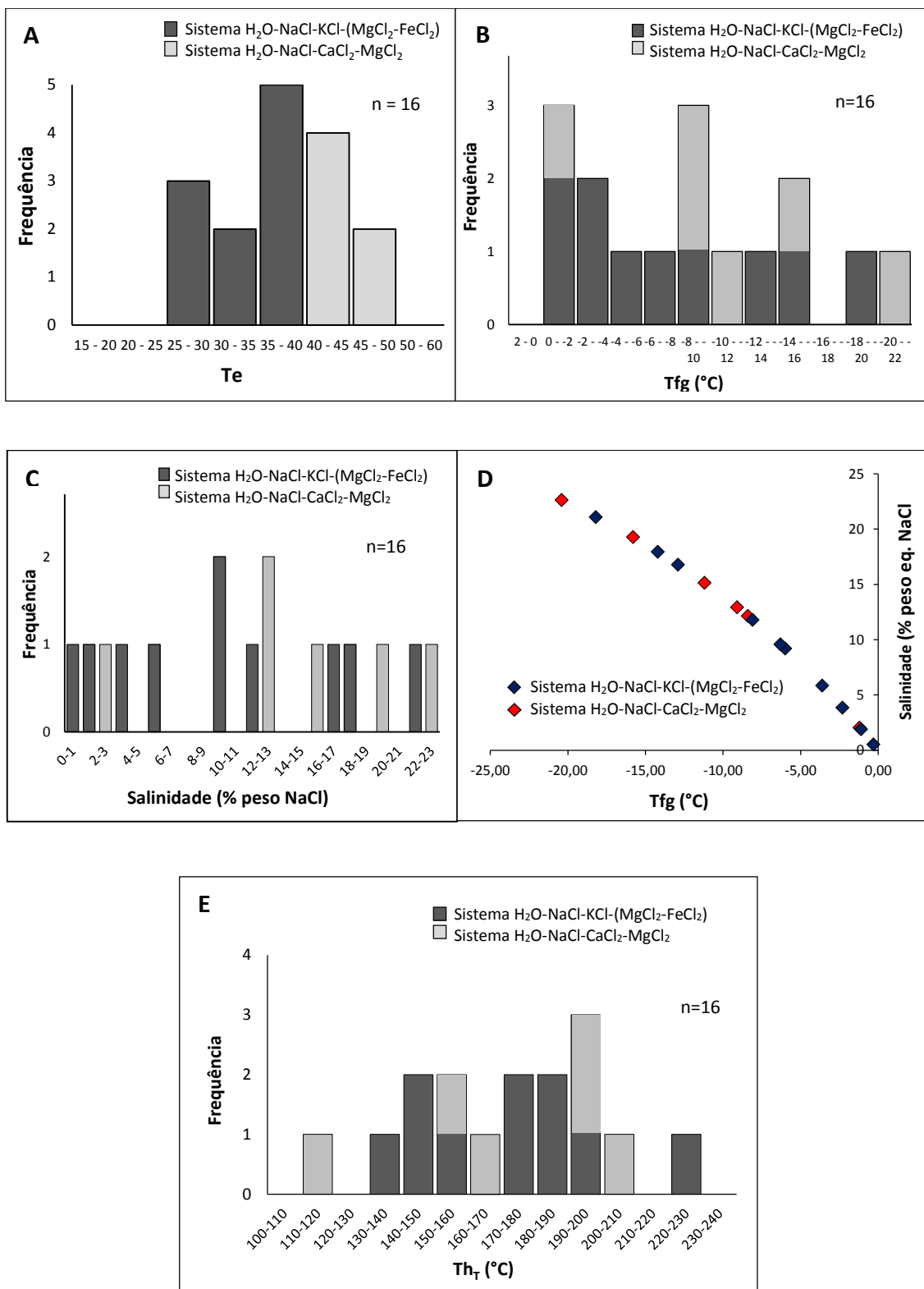


Figura 65. Histogramas de frequência de parâmetros obtidos para as inclusões fluidas aquosas bifásicas. **A)** Histograma de frequência das temperaturas eutéticas (Te). **B)** Histograma de frequência das temperaturas de fusão do gelo (Tfg). **C)** Histograma de frequência das salinidades. **D)** Representação gráfica da salinidade versus Tfg. **E)** Histograma de frequência das temperaturas de homogeneização total (ThT).

Não foi possível medir as temperaturas do ponto eutético (T_e) da fase aquosa das IF aquocarbônicas, o que tornou a estimativa de sua composição pouco precisa. As salinidades das IF aquocarbônicas foram calculadas pela equação de Bozzo *et al.* 1986 (em Parry 1986), com base no sistema H_2O - CO_2 -NaCl, a partir das temperaturas de fusão do clatrato ($T_{f_{Clat}}$), cujos valores situam-se em geral entre -9,5 e 7,6 °C, com maior frequência entre o intervalo de -9 e -4 °C, e pico máximo entre -8,0 e -6,0 °C (Figura 66 C). Os valores da salinidade variam entre 4,69 e 20,47% em peso equivalente de NaCl, com maior frequência para valores de salinidade alta entre 18,0 e 22,0% peso eq. NaCl, e picos máximos entre 20 e 22% peso eq. NaCl (Figura 66 D).

Composicionalmente as IF aquocarbônicas possuem de 0,09 a 0,86 mol% de CO_2 (X_{CO_2}), 0,13 a 0,88 mol% de H_2O (X_{H_2O}) e de até 0,06 mol% de NaCl (X_{NaCl}). O diagrama entre fração molar de NaCl (X_{NaCl}) e CO_2 (X_{CO_2}) mostra diminuição da salinidade com aumento do conteúdo de CO_2 (Figura 66 E), indicando fracionamento de sais para inclusões mais ricas em H_2O .

O que diz respeito às densidades das IF aquocarbônicas, situam-se no intervalo de 0,75 a 1,07 g/cm³ e suas temperaturas de homogeneização total (T_{hT}) variam entre 149,4 e 322,5 °C, com maior frequência com picos máximos, entre 160 e 180 °C e 280 e 300 °C (Figura 66 F).

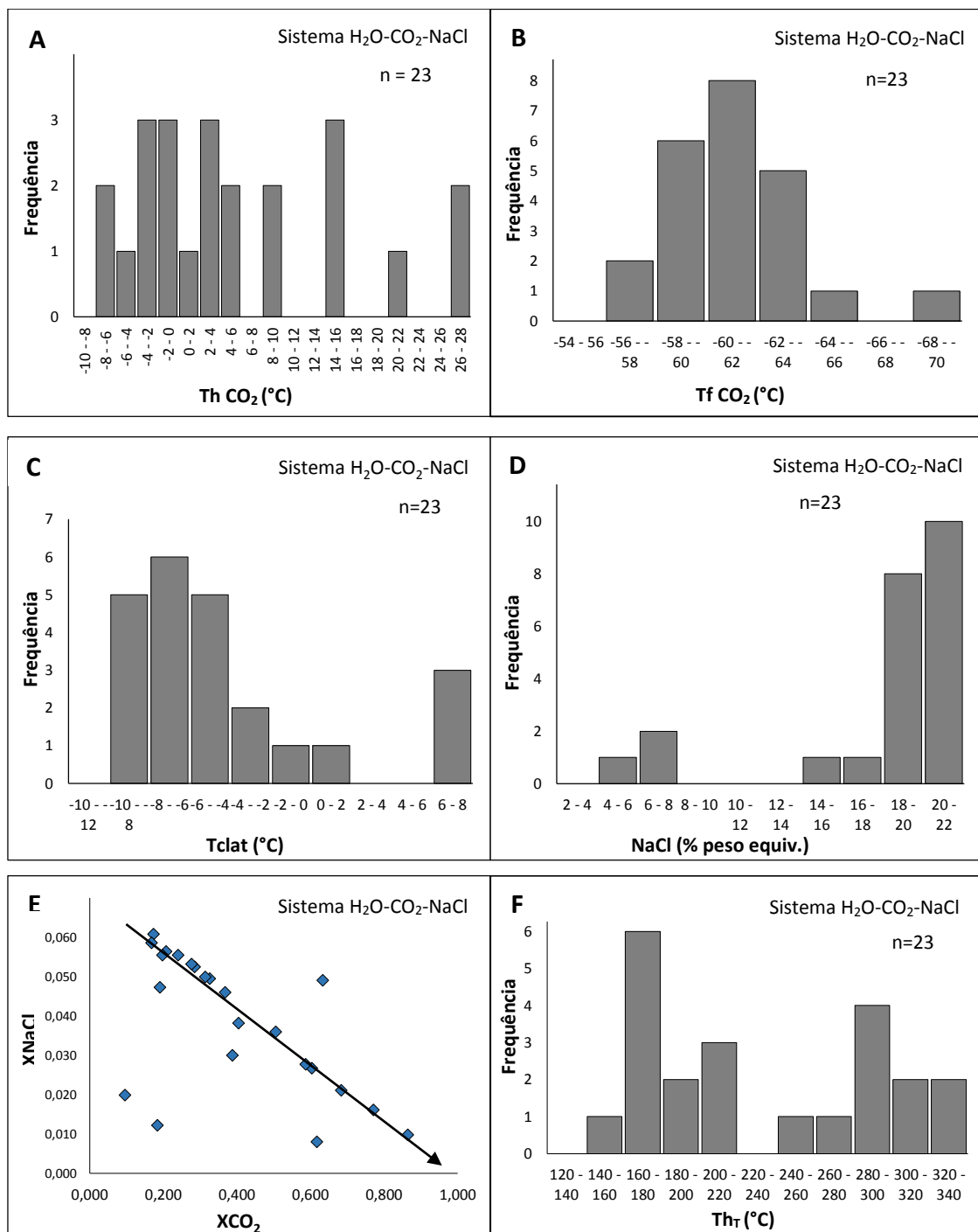


Figura 66. Histogramas de frequência de parâmetros obtidos para as inclusões fluidas aquocarbônicas. **A)** Histograma de frequência da temperatura de homogeneização do CO₂ (Th_{CO2}). **B)** Histograma de frequência das temperaturas de fusão do CO₂ (Tf_{CO2}). **C)** Histograma de frequência das temperaturas de fusão do clatrato (Tf_{clat}). **D)** Histograma de frequência para salinidade NaCl. **E)** Diagrama mostrando relação entre frações molares de NaCl e CO₂. **F)** Histograma de frequência das temperaturas de homogeneização total (Th_T).

7.3. CONSIDERAÇÕES PARCIAIS SOBRE IF

O estudo de inclusões fluidas em depósitos minerais hidrotermais em minerais de minérios, tem sido amplamente empregado na determinação da temperatura, pressão e fonte dos fluidos hidrotermais responsáveis pelas mineralizações (WILKINSON, 2001).

Na formação de depósitos hidrotermais em sistemas ricos em voláteis e mistura de fluidos, *boiling* e/ou efervescência são mencionados como os processos que promovem as condições necessárias para processos de precipitação de minerais de minério em um determinado volume de rocha (WILKINSON, 2001). Segundo Roedder (1984), quando em sistemas hidrotermais estritamente aquosos, denomina-se *boiling* a geração de uma fase de vapor resultante do aumento de temperatura, diminuição da pressão ou combinação de ambas. Em sistemas contendo voláteis adicionais, como é o caso do sistema de veios de quartzo-rutilo e hidrotermal presente na Serra Repartimento, o processo de separação da fase vapor é denominada como efervescência, devido a que o fenômeno é levado a cabo unicamente pela diminuição da temperatura ou da pressão (ROEDDER, 1984).

Nos veios mineralizados da Serra Repartimento, a coexistência de inclusões aquosas com aquocarbônicas, poderiam ser consequência de aprisionamento de fluidos originalmente imiscíveis (RAMBOZ *et al.* 1982; DUGDALE & HAGEMANN, 2001). Segundo Ramboz *et al.* (1982), o aprisionamento de fluidos originalmente imiscíveis dá origem a dois tipos distintos de inclusões que correspondem aos termos extremos da imiscibilidade. Umas IF compostas somente por fluidos essencialmente aquosos coexistindo com outras essencialmente carbônicas. Segundo Roedder (1994), no caso de *boiling* ou efervescência, além desses extremos, podem incluir variações entre as fases extremas, ocorrendo também inclusões fluidas com variações nas razões volumétricas entre fases.

Para o reconhecimento do aprisionamento de fluidos originalmente imiscíveis, Ramboz *et al.* (1982) apresenta quatro critérios a serem considerados (1) os tipos distintos de inclusões devem ocorrer na mesma região de uma amostra, com boas evidências de aprisionamento contemporâneo, (2) as inclusões mais ricas em H₂O e as mais ricas em CO₂ devem homogeneizar em uma mesma faixa de temperatura, (3) no caso que existisse crepitação em alguma dos tipos de inclusão, o outro tipo deve-se comportar de maneira semelhante, considerando que as IF possuam morfologias e dimensões similares, (4) o

histograma de frequência de temperatura de homogeneização total (Th_T) deve ser assimétrico, apresentando alinhamento na direção das temperaturas mais elevadas.

Para os veios analisados, o primeiro critério de Ramboz *et al.* (1982) de verificação de *boiling* foi comprovado, sendo que verificam-se na área inclusões aquosas coexistindo com inclusões, neste caso, aquocarbônicas. Isto reforçaria a possibilidade de um processo de imiscibilidade como descrito por Roedder (1984). Para o segundo critério também comprovou-se que as IF aquosas e aquocarbônicas, as faixas de temperaturas de homogeneização são semelhantes (Figura 65 E e Figura 66 F), onde também a imiscibilidade é representada pelos dados mostrados nas IF aquocarbônicas (Figura 66 F).

Para as IF aquosas e aquocarbônicas, quando analisados os valores obtidos de salinidades vs razões volumétricas entre as fases (Figura 67 A), é observável que os dois grupos são agrupados em conjuntos diferentes. Para as aquosas, as razões volumétricas mostram-se inferiores a 0,3, mas com um amplo intervalo de salinidade, alcançando até cerca de 22% de NaCl, enquanto para as aquocarbônicas mostram razões volumétricas dispersas e uma faixa de variação principal de salinidade entre 15 e 20% de peso equivalente de NaCl, concentrando-se principalmente no intervalo de 20%. Outro fato a ressaltar são as IF que apresentam maiores razões V_{CO_2}/V_T com valores de salinidade bem menores. Essas inclusões possivelmente sugerem aprisionamento a partir de sistemas originalmente imiscíveis, onde estas dispersões encontradas seriam indicativas de outros processos associados como, por exemplo, mistura de fluidos.

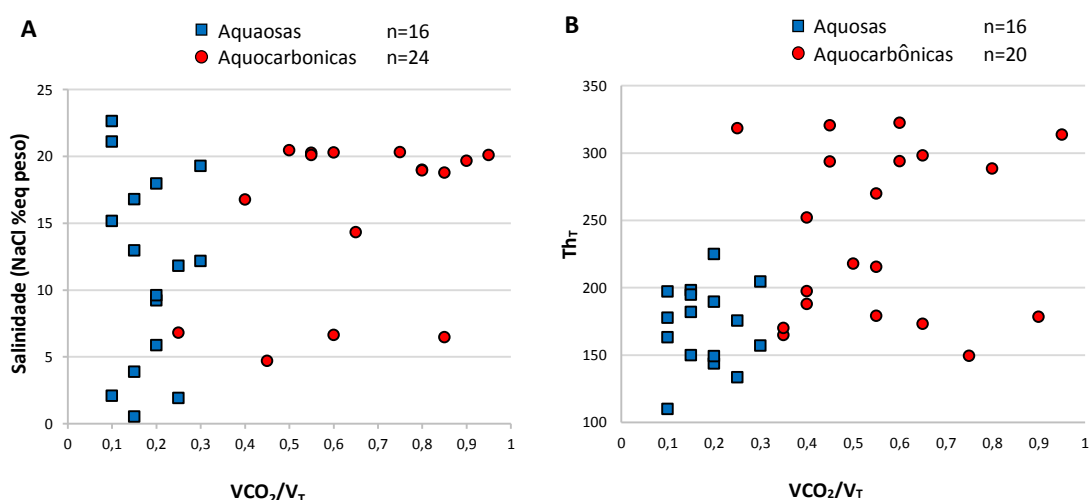


Figura 67. Diagrama de correlação entre volume de vapor com a salinidade (A) e com Th_T (B) para as inclusões analisadas.

O terceiro critério com o intuito de identificar *boiling* não foi observado, já que não ocorreram casos de crepitação. Para o quarto critério, as Th_T nos dois casos de IF apresentam-se relativamente similar e assimétrico, porém não apresentam um alinhamento para temperaturas mais elevadas, deixando um pouco em dúvida sua consideração. As dispersões observadas destas temperaturas nas inclusões estudadas sugerem a existência de imiscibilidade registrada em temperaturas ao redor de entre 160 e 200 °C. Loucks (2000) mostra que as Th_T mínimas podem ser, na realidade, inferiores às temperaturas reais de aprisionamento, conforme será discutido a seguir.

Roedder (1984), menciona que a determinação mais precisa das temperaturas de aprisionamento de fluidos imiscíveis pode ser feita mediante o cruzamento das isócoras relativas a inclusões essencialmente carbônicas e essencialmente aquosas. Considerando que no presente trabalho não foram determinadas IF estritamente carbônicas serão consideradas para a determinação da P e T as inclusões aquocarbônicas com variações mais próximas das fases extremas a das carbônicas. Considerando o cruzamento das isócoras, construídas usando o programa Flincor de Brown (1989) para os sistemas H_2O -NaCl e H_2O - CO_2 -NaCl (Figura 68), de inclusões próximas aos extremos do diagrama Th_T vs V_{CO_2}/V_T , na Figura 67 B (aquocarbônica da lamina RM-20d, com $Th_T = 178,5$, $V_{CO_2}/V_T = \sim 0,9$ e %NaCl de 19,68 eq. Peso), situada em um dos extremos do dito diagrama e uma inclusão aquosa coexistente (IF da mesma lâmina, com $Th_T = 177,7$ e $V_{CO_2}/V_T = \sim 0,1$) foram obtidas temperaturas e pressões de ~ 457 °C e $\sim 3,3$ Kbar para o início da imiscibilidade. Quando comparados estas temperaturas com os dados obtidos pelo geotermômetro de Zr em rutilo (564 e 585 °C), inicialmente pode se determinar que tanto os veios de quartzo e o rutilo cristalizaram e uma faixa de condições próximas e sendo interpretados como coerentes com os parâmetros explicados anteriormente para formação de rutilo de origem hidrotermal.

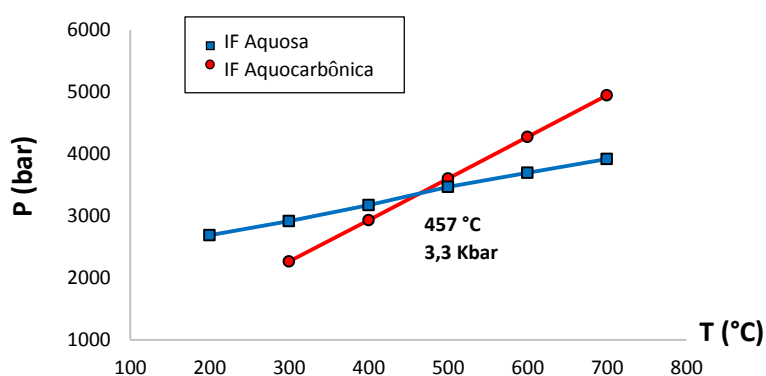


Figura 68. Diagrama de P-T mostrando o cruzamento de isócoras relativas às inclusões pertencentes aos extremos da imiscibilidade entre inclusões fluidas aquosas e aquocarbônicas coexistindo.

8 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentadas as discussões e conclusões desta pesquisa, feitas a partir da integração dos resultados obtidos em campo, análise estrutural, observações petrográficas, dados de química mineral e de inclusões fluidas, de modo a responder o melhor possível às questões colocadas no capítulo 1 deste trabalho (objetivos). Para isto, serão abordadas separadamente os tópicos relacionados às rochas encaixantes, sistema hidrotermal e minério, controles estruturais da mineralização, sistema de fluidos e por fim o modelo geológico e genético da Serra Repartimento, discutidos a seguir.

8.1. Rochas do embasamento: Protólitos e metamorfismo

A caracterização petrográfica das rochas encaixantes na Serra Repartimento permitiu determinar que na área essas rochas são constituídas principalmente por ortognaisses, predominantemente félsicas, ocorrendo ainda tipos litológicos máficos. O ortogneisse é representado por biotita hornblenda *augen* gnaisses protomiloníticos, porém apresenta localmente texturas que variam de meso a ultramiloníticas, que equivalem composicionalmente a rochas monzogranítica a granodiorítica.

Estas rochas metamórficas ortoderivadas que afloram na região do Repartimento têm sido descritas como de afinidade alcalina ou Tipo A, associadas a charnockitos e plútons de gabros do Paleoproterozoico, que teriam sido gerados a partir de fusão parcial de fontes crustais juvenis transamazônicas (Heinonen *et al.*, 2012), e teriam sido deformadas em condições de fácies anfibolito (Fraga *et al.*, 2009) desenvolvendo a foliação S_n com atitude dominante NE-SW, similar aos lineamentos regionais descritos para o Domínio Guiana Central (DGC). O registro desta foliação S_n ocorreu mediante mecanismos de *strain* que gerou bandas com minerais félsicos, onde: o estiramento de quartzo, a redução de tamanho com rotação de subgrãos de feldspatos e geração de porfiroclastos, a migração de limite de grão e a geminação mecânica dobrada em plagioclásio, e a geração de pertitas em K-feldspato, estão separadas de bandas de minerais máficos, onde: biotita subédrica com bordas corroídas, biotita anédrica dobrada e sigmóides de anfibólio dão uma aparência de textura lepidoblástica na rocha, e seriam condizentes com condições de fácies deformação dinâmica em temperaturas intermediárias a altas (~600 °C, Passchier & Trouw, 2005). Os intercrescimentos mirmequíticos exibem extinção ondulante, rotação de subgrãos e migração de limite de grão entre os cristais onde a mirmequita se desenvolve, como produto de deformação

dinâmica. Para que ocorra o registro de tais feições é necessária uma temperatura mínima próxima de 550° C (O'hara, 1988; Simpson & Wintsch, 1989; Passchier & Trouw, 2005).

Uma das principais características dos gnaisses é dada também pelo comportamento plástico do plagioclásio, gerando deformação de grãos alongados que apresentam maclas deformadas, extinção ondulante, geração de sombras de pressão até formação de grãos e rotação de subgrãos. Para obter estes mecanismos os plagioclásios devem alcançar temperaturas mínimas de 550 °C, em condições de fácies anfíbolito a granulito (Vernon, 1975; Tullis, 1983; Ji & Mainprice, 1990).

Quando comparados os mecanismos de *strain* com os dados geotermobarométricos empíricos obtidos pelas calibrações Al-hornblenda, hornblenda-plagioclásio e Ti-biotita, a correlação entre estes sugere que o metamorfismo progressivo no ortogneisse alcançou condições de pico metamórfico em fácies anfíbolito superior-granulito inferior com temperaturas de 701 a 773 °C e pressões de 5.7 e 6.5 Kbares. Os dados fornecidos pela calibração Ti em biotita indicam temperaturas entre 696 até 719 °C e pressões estimadas entre 2.0 e 4.0 Kb para o início do retrometamorfismo (Figura 69). Estes dados seriam compatíveis com recristalização de biotita nas bordas para clorita, após o pico metamórfico.

A deformação milonítica com registro da foliação S_{n+1} com atitude dominante E-W do *augen* gnaiss, ocorreu com predominância de mecanismos de *strain* dúcteis. Nos feldspatos microestruturas identificadas como extinção ondulante, micropertitas, maclas mecânicas de deformação em cunha e rotação de subgrãos, evidenciam processos do tipo rúptil frente às tensões cisalhantes. Segundo Sibson (1977) e Tullis (1983), essas microtexturas nos milonitos sugerem que os processos atuantes estiveram intimamente relacionados a microfraturamento, cominuição, assim como substituições por mica branca, calcita e epidoto nos cristais de feldspato. O quartzo, por sua vez, acomodou a deformação por processos cristal-plásticos por deslizamento, migração de limite e estiramento. Nestas rochas miloníticas, o *strain* das fases cristalinas ocorreu sob condições metamórficas de fácies xisto verde (300 – 400 °C) (Boullier, 1980), enquanto microfraturas extensionais e de cisalhamento internas nos feldspatos também seriam sugestivas de condições de fácies epidoto-anfíbolito na transição para fácies xisto verde (Wakefield, 1977) (Figura 69).

Tendo em vista as associações minerais, bem como os valores de T e P, os quais mostram um alinhamento em uma trajetória metamórfica em sentido horário, partindo dos valores de pressão e temperatura mais elevados para os mais baixos, ou seja, do pico

metamórfico para os valores indicativos de retrometamorfismo, confirma-se que o metamorfismo na área mostra uma evolução do conjunto através de descompressão isotérmica com redução da pressão (Figura 69).

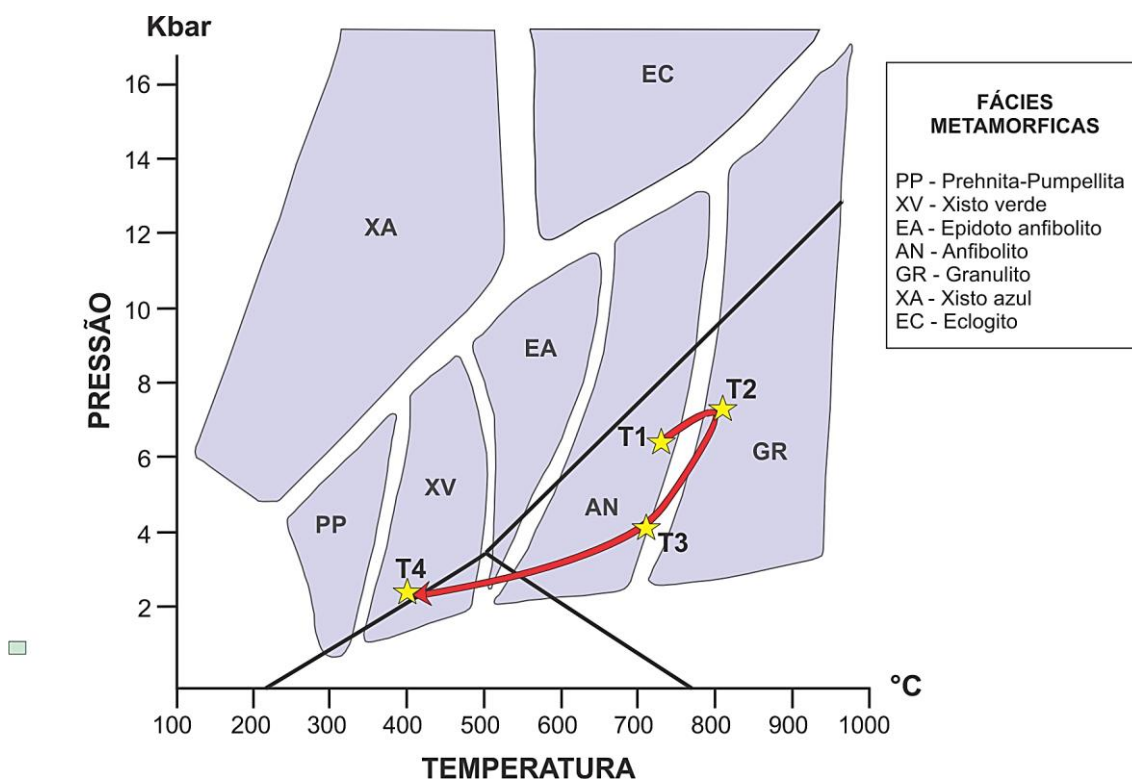


Figura 69. Diagrama mostrando o percurso Pressão-Temperatura durante os eventos tectonometamórficos ocorridos nas rochas encaixantes gnáissicas. T1 e T2 foram obtidos com análise de microtexturas e cálculos geotermobarométricos de Al-hornblenda e Anf-Plg, T3 mediante Ti-Biotita com análises de microtexturas, além de substituições metamórficas e T4 com análises de microtexturas de deformação.

Na Serra Repartimento, a disposição geométrica na colocação de plútons de gabronoritos e o fato de que as foliações S_n e S_{n+1} aparecem relictas na estrutura do gabro com feições *mingling*, são indicadores que apoiam a hipótese de que este magmatismo teria ocorrido depois ou concomitante ao evento metamórfico registrado para as rochas do DGC. Estes gabros, com direção preferencial NE-SW, que apresentam limites irregulares com as rochas encaixantes foram produto do aproveitamento de discontinuidades estruturais nos ortognaisses e definidas pela foliação registradas S_n e S_{n+1} , as quais são concomitantes com os gabros mostrando relações sin-tectônicas, onde evidências como a presença de porfiroclastos de feldspatos em matriz de gabro reforçam os processos de assimilação incompleta dos ortognaisses pelo gabro no momento da cristalização. No DGC tem sido reportado eventos de magmatismo máfico e de características similares aos gabros da Serra Repartimento, como é a unidade Gabro Pratinha definida por Tarazona (2015), orientados preferencialmente ao NE-SW, de

composição gabronorítica, tamanho de grão fino-médio, intruindo os ortognaisses do Gnaiss Mucajá e charnockitos da Serra Intrusiva Serra da Prata (SISP) ao leste da área. Esses gabros, encontram-se caracterizados por apresentar uma foliação metamórfica S_1 principalmente na direção NE e concomitantes com a foliação S_n apresentada pelos ortognaisses da unidade Gnaiss Mucajá e relacionada com uma deformação em alta temperatura. Tarazona (2015) conclui que esses gabros, com idade obtida de $1905 \pm 5,2$ Ma, são concomitantes com a cristalização obtida para os charnockitos da SISP ($1916 \pm 4,5$ Ma), e que a sua vez, apresentam idades de metamorfismo em fácies anfibolito-granulito em torno de $1863 \pm 6,7$ Ma. Esta idade do evento metamórfico-deformacional obtido por Tarazona (2015) em charnockitos é concordante com a idade obtida por Santos (2006, 2009a) para zircão recristalizado em rochas do Gnaiss Mucajá (1874 ± 4 Ma). Ao integrar os resultados obtidos neste trabalho, é entendido que os gabros na área alcançaram condições em fácies anfibolito com temperaturas entre 747 e 784 °C e pressões entre 6.0 e 4,9 Kb, e em relações com os dados obtidos para os ortognaisses com foliação S_n (temperaturas de 701 a 773 °C e pressões de 5.7 e 6.5 Kbares) e concomitante aos gabros, sugere-se que o magmatismo máfico na Serra Repartimento é relacionado ao mesmo evento magmático de cristalização registrado por Tarazona (2015) e que foram afetados por um evento metamórfico-deformacional em fácies anfibolito com idades entre $1863 \pm 6,7$ e $1874 \pm$ Ma (Santos, 2006, 2009a; Tarazona, 2015).

Outro evento ocorrido para o DGC está relacionado à formação do graben Tacutu, com magmatismo alcalino associado e a colocação referente ao Complexo Alcalino Apiaú no Mesozoico com idade entre 111-116 Ma (Figueiredo, 2016). Para a CPRM (1999) esse corpo alcalino parece estar associado ao desenvolvimento de falhamentos e rifteamento continental e abertura do Atlântico, durante o Mesozoico com a evolução da Bacia do Tacutu implantada em uma zona de reativação do Cinturão Guiana Central (Berrangé e Dearnley, 1975; Eiras e Kinoshita, 1988; Costa *et al.*, 1991; Reis *et al.*, 1994; Reis & Fraga, 2000; Reis *et al.*, 2003, 2008, 2014 e Vaz *et al.*, 2007), onde falhas ao longo da litosfera continental atuaram essencialmente como condutos magmáticos, ajustando-se às zonas de rifteamento e fornecendo condições à formação desses plútons alcalinos, os quais propiciaram o acúmulo de importantes concentrações em Nb, Ta, Fe, P, F, Ba e ETR's em sua fase fluida hidrotermal (Borgues, 1990).

8.2. Sistema hidrotermal, fonte e mobilidade do minério

Na Serra Repartimento, a área de mineralização está encaixada em zonas de cisalhamento NE-SW, e localmente E-W, e caracterizada pela presença de quartzo e rutilo, com desenvolvimento de vários halos de alteração hidrotermal descritos como fenitização, silicificação e sericitização associada. O halo de fenitização nas rochas gnáissicas, encontra-se caracterizado pela associação mineral de aegirina + rutilo + fluorapatita $\pm$ ilmeita. Para este tipo de processos feníticos (Rae & Chambers, 1988; Coulson & Chambers, 1996; Rae *et al.*, 1996; Sindern & Kramm, 2000, entre outros: ver apêndice A sob fenitização); esse processo pode ser atribuído a fluidos ricos em álcalis gerados a partir de magmas de corpos intrusivos alcalinos e/ou carbonatitos, os quais são enriquecidos em elementos incompatíveis como Nb, Ta, Ba, ETR, Sr, Th, U e Zr (Manning 1982, Pollard & Taylor 1986, Hedenquist & Lowenstern 1994). Este mesmo processo físico-químico de alteração hidrotermal, acompanhada por uma diminuição da temperatura desse fluido hidrotermal, propicia a introdução de CaO, CO₂, Na₂O e K₂O, enquanto era liberada SiO₂ e Al₂O₃ (Morogan, 1989 e Rodrigues *et. al.*, 2010), gerando o halo de silicificação intermediário. A interação dos fluidos hidrotermais com componentes magmáticos e meteóricos, geraram a menor temperatura, a alteração sericitica nas rochas Serra Repartimento na porção mais distal.

O rutilo apresenta enriquecimento em Nb com até 8% em peso de Nb₂O₅, sendo que para Clark & William-Jones (2009), o rutilo com conteúdo de Nb e Ta ocorrem principalmente em sistemas pegmatíticos e hidrotermais, onde há substituição de Ti pela entrada Nb + Fe $\pm$ Ta em quantidades semelhantes na estrutura do mineral. Este rutilo estaria associado à decomposição principalmente da biotita com teores de TiO₂ entre 3-6% e de anfibólio com teores de até 2% nas rochas gnáissicas, sendo que o alto conteúdo de titânio liberado no processo hidrotermal gerou os rutilos presentes na zona mineralizada.

O modelo conceitual simplificado (Figura 70) inclui basicamente quatro etapas principais: (1) Um estágio inicial onde somente a biotita está presente e todo o Ti no sistema (rocha encaixante) encontra-se incorporado neste mineral. (2) Um segundo estágio inicial onde a interação fluido/rocha com posterior liberação de Ti e a consequente formação de alguns cristais de rutilo. Nesta fase, a biotita é ainda a principal carregadora de Ti. (3) A medida que a reação continua, o rutilo torna-se o principal carregador de Ti.

(4) O estágio final é atingido quando toda a biotita é consumida e só o rutilo está presente, incorporando todo o Ti da rocha encaixante.

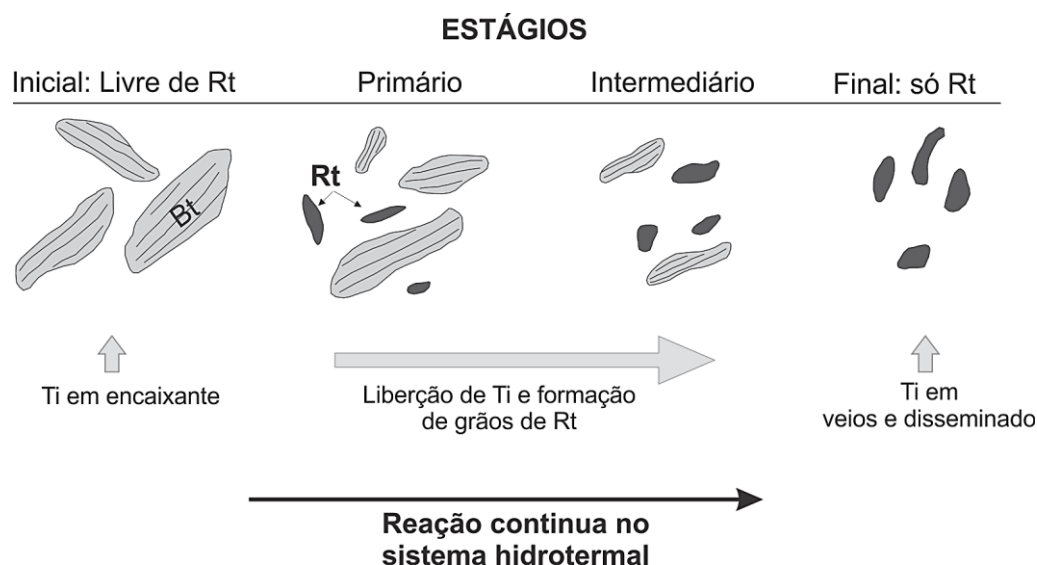


Figura 70. Ilustração mostrando os quatro principais estágios durante a formação do rutilo a partir de biotitas na rocha encaixante.

Elementos como Nb, Ta, Ba, ETR, Sr, Th, U e Zr, são caracterizados por elementos de elevado potencial iônico (HFSE, pelas suas siglas em inglês), e embora sejam considerados como elementos imóveis (Floyd & Winchester, 1978; Corfu & Davis, 1991), estudos realizados mostram que estes tipos de elementos podem ser móveis a altamente móveis sob condições específicas (Claoué-Long *et al.*, 1990, 1992; Rubin *et al.*, 1993; Jiang *et al.*, 2005). Para o caso do Ti, a solubilidade no sistema é aumentada pelas seguintes causas: i) aumento da temperatura e do pH no sistema, sendo que a mobilidade é propiciada entre 400 e 700 °C (Ayers & Watson, 1993; Ryzhenko *et al.*, 2006), neste sentido, as temperaturas obtidas mediante aplicação do geotermômetro de Zr em rutilo, situou-se entre 564 e 585°C, e foram interpretadas como temperaturas mínimas de cristalização do rutilo no sistema hidrotermal, ii) por uma elevada salinidade em fluidos aquosos (~15 – 20% NaCl) (Ziemniak *et al.*, 1993; Audetat & Keppler, 2005) e, iii) pela complexação de Ti^{4+} com ligantes aquosos como fosfatos ou com ânions aquosos de F^{2-} , Cl^{-} , HCO_3^{-} , CO_3^{2-} , HS^{-} e S^{2-} em sistemas de fluidos pós-magmáticos (Ziemniak & Opalka, 1993; Titayeva, 1994; Ciavatta & Pirozzi, 1983; Rapp *et al.*, 2010).

Os zircões das zonas de alteração hidrotermal apresentam teores significativos de HfO_2 atingindo até 1,9% em peso, e teores bem baixos de ThO_2 de até 0,05%. Embora o zircônio seja imóvel durante a interação fluido/rocha e seja considerado como um mineral estritamente magmático, Rubin *et al.*, (1993); Schaltegger, (2007); Anderson *et*

al., (2008) e Lichtervelde *et al.*, (2009) consideram que zircões magmáticos com processos hidrotermais superpostos gerando cristais de zircão com enriquecimento em Hf como os analisados para a área de estudo.

O **estudo das inclusões fluidas** permitiu demonstrar a existência no fluido, da interação de pelo menos, dois sistemas composicionais diferentes, um aquoso com salinidade baixa a média (0,6 – 22% de NaCl de peso eq.) de tipo H₂O-NaCl , e um aquocarbônico de salinidade média (15-20%) no sistema H₂O-CO₂-NaCl. Estas características sugerem um fluido de derivação magmática (maior salinidade), ou fase aquocarbonica dos estágios finais de cristalização de um magma com características alcalinas (Sillitoe *et al.* 1975, Plimer 1987, Hedenquist & Lowenstern 1994, Johnson *et al.* 2002). Esta fase interagiu com fluido meteórico (menor salinidade) que circulou pelas estruturas pre-existentes e fraturas que promoveram a formação dos veios. A interação destes fluidos é observada no diagrama salinidade vs temperatura de homogeneização (Figura 71 A).

Considerando que as condições de aprisionamento de fluidos ocorreram em T= 457°C e P= 3.3 Kbar, coerentes com condições de transição de regime dúctil para rúptil próximos do limite crosta inferior, a migração estes fluidos parece ter sido influenciada por zonas de cisalhamento de atitude NE-SW e E-W associadas com a formação do graben Tacutu e com a cristalização e alojamento de corpos alcalinos do Complexo Alcalino Apiaú (Figura 71 B). A deposição do minério estaria atribuída a uma desestabilização de complexos ligantes com processos que involucram percolação e difusão em sistemas hidrotermais, junto com as mudanças nas condições como diminuição do pH e temperatura no sistema, provocando uma diminuição na solubilidade dos complexos e representam um importante mecanismo indutor da deposição do Ti, Nb e ETR's (Figura 71 B).

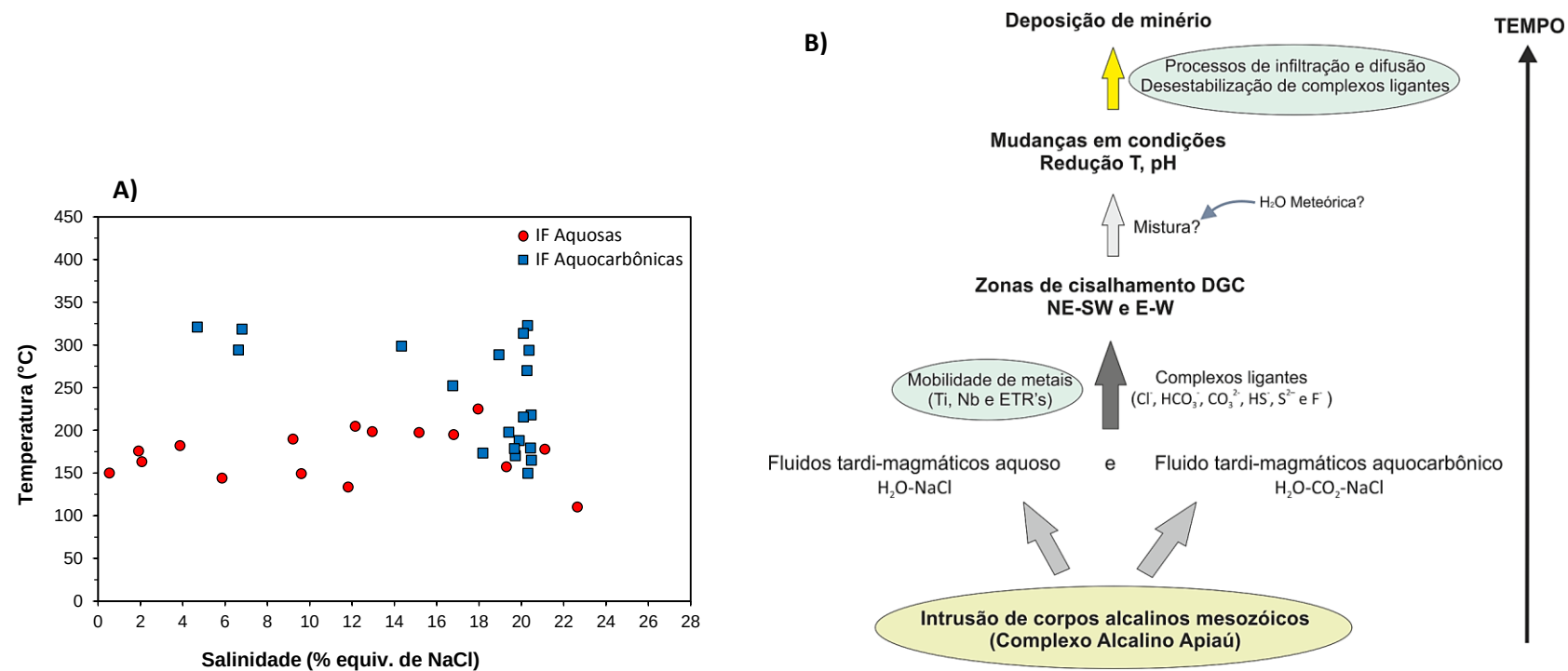


Figura 71. Evolução do sistema de fluidos na Serra Repartimento. **A)** Diagrama salinidade versus temperatura de homogeneização total (Th_T) destacando os fluidos aquosos bifásicos e os fluidos aquocarbônicos. **B)** Diagrama esquemático da evolução do sistema de fluidos na Serra Repartimento, mostrando a composição, transporte e a possível interação de fluidos, além das mudanças nas condições no sistema provocando a deposição de minério.

8.3. Modelo geológico e genético das ocorrências de Ti, Nb e ETR's na Serra Repartimento

Para o sistema magmático alcalino, fonte de fluidos estudados na Serra de Repartimento, a presença de nefelina sienitos e fonolito, altamente evoluídos e fracionados, seriam ricos em voláteis e metais com ETRL e Nb, e seu alojamento teria sido controlado por zonas de cisalhamento NE-SW (Borges, 1990; Figueiredo, 2016). Neste contexto, o Complexo Alcalino forneceu o fluido mineralizante em Nb e ETR's, e o calor suficiente para movimentar o sistema hidrotermal, o qual na interação fluido-rocha encaixante gerou as altas quantidades de Ti e cristalização de rutilo. Enquanto que o cisalhamento forneceu os canais de circulação para os fluidos e posteriormente deposição do minério. O modelo geológico-genético compreende os seguintes estágios (Figura 72):

- 1)** Presença de rochas do embasamento gnáissico paleoproterozoico de composição monzo a granodiorítica cujo metamorfismo atingiu condições nas fases anfibolito-granulito.
- 2)** Alojamento sin-tectônico de plutons máficos de composição gabronorítica a hbl-gabronorítica no Orosiriano vinculado a tectonometamorfismo e condições de facies anfibolito e ativação de zonas de cisalhamento.
- 3)** Ativação de processos tafrogênicos que levaram a ativação do graben de Tacutu e à colocação do Complexo Alcalino Apiaú (fonte do minério principal) em 111-116 Ma.
- 4)** Reativação de zonas de cisalhamento e circulação de fluidos residuais tardi-magmáticos associados ao Complexo Alcalino Apiaú e mistura com fluidos meteóricos.
- 5)** Geração de halos de alteração hidrotermal e deposição do minério em Ti, Nb e ETR's por processos de percolação e difusão no contato com as rochas encaixantes e formação de veios.

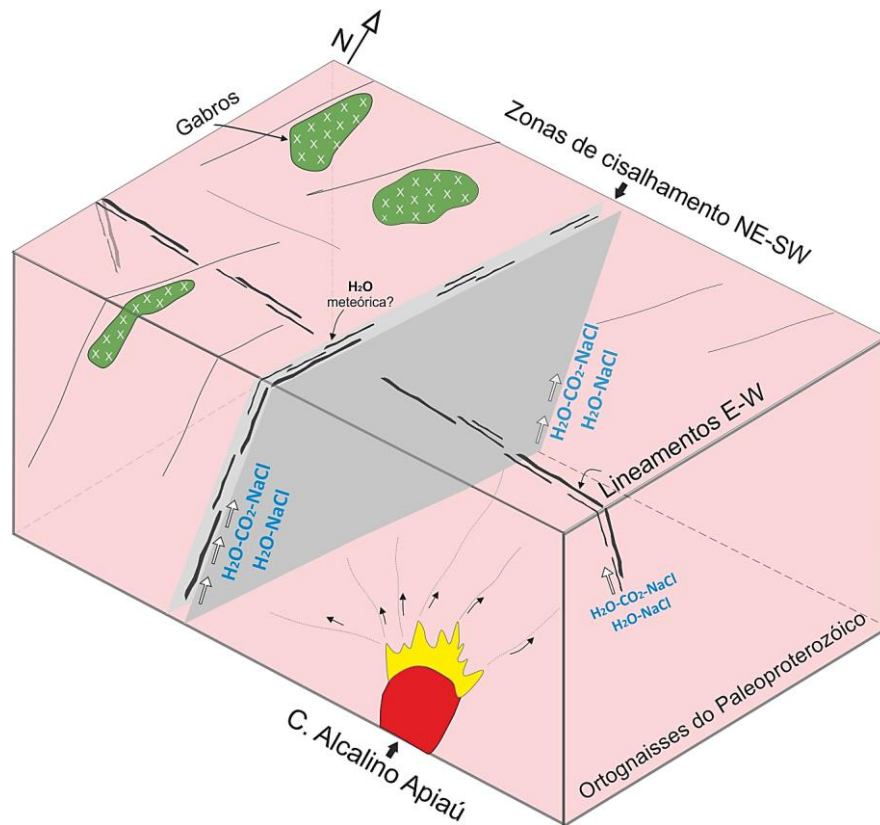


Figura 72. Bloco diagrama esquemático mostrando o modelo geológico e genético para a Serra Repartimento, com o embasamento metamórfico, os corpos máficos e a fonte magmática (Complexo Alcalino Apiaú) dos fluidos mineralizantes que circularam e se transportaram nas zonas de cisalhamento que condicionou os corpos de minério nos ortognaisses.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL-RAHMAN, A.M. 1994. Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline, and peraluminous magmas. *J. Petrol.*, 35, p. 525-541.
- ALMEIDA, F.F.M. de. 1978. A evolução dos crátons amazônico e do São Francisco, comparada com a de seus homólogos do Hemisfério Norte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978, Recife. Anais... Recife: SBG, v. 6, p. 2.393- 2.407.
- ALMEIDA, F.F.M., HASUI, Y., BRITO, N.B., FUCK, R.A. 1981. Brazilian structural Provinces: an introduction. *Earth-Sciences Reviews* 17, p. 1-29.
- ALMEIDA M. E. 2006. *Evolução geológica da porção centro-sul do Escudo das Guianas com base no estudo Geoquímico, Geocronológico e Isotópico dos granitóides paleoproterozóicos do sudeste de Roraima, Brasil*. Tese de Doutorado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 227 p.
- ALMEIDA M.E., FERREIRA A.L, PINHEIRO S.S. 2003. Associações graníticas do oeste do estado de Roraima, Domínio Parima, Escudo das Guianas. *Géologie de la France*, 2-3-4, p. 134-159.
- ALMEIDA, M. E., MACAMBIRA, M. J., VALENTE, S. C. 2008. New geological and single zircon Pb evaporation data from the Central Guyana Domain, southeastern Roraima, Brazil: tectonic implications for the central region of the Guyana Shield. *Journal of South American Earth Sciences* 26 (3), p. 318–328.
- AMARAL, G. 1974. Geologia pré-cambriana da região Amazônica. (Dissertação de Livre Docência, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).
- ANDERSEN, D. J., LINDSLEY, D.H. 1985. New (and final) models for the Ti-magnetite/ilmenite geothermometer and oxygen barometer (abs.). EOS, 66, 416
- ANDERSEN, D. J.; LINDSLEY, D. H.; DAVIDISON, P. M. 1998. *QUILF* version 6.42: a PASCAL program to assess equilibria among Fe-Mg-Ti oxides, pyroxenes, olivine and quartz.
- ANDERSON, A.J. 2008. The alteration of metamict zircon and its role in the remobilization of high-field-strength elements in the Georgeville Granite, Nova Scotia. *The Canadian Mineralogist*, 46, p. 1-18.
- ANDERSON, A. T. 1968. Oxidation of the La Blanche Lake titaniferous magnetite deposit, Quebec: Jour. *Geology*, v. 76, no. 4, p.

- ANDERSON, J.L., SMITH, D. 1995. The effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblend barometer. *Am. Mineral.*, 80, p. 549-559.
- AUDETAT, A.; KEPPLER, H. 2005. Solubility of rutile in subduction zone fluids, as determined by experiments in the hydrothermal diamond anvil cell. *Earth Planet. Sci.*, 232, p. 393-402.
- AYERS, J.C.; WATSON, E.B. 1993. Rutile solubility and mobility in supercritical aqueous fluids. *Contrib. Mineral. Petrol.* 114, p. 321-330.
- BAYLISS, P. & LEVINSON, A. A. 1988: A system of nomenclature for rare-earth mineral species: Revision and extension. *Am. Mineral.*, 73: 422-423.
- BERRANGÉ, J.P. 1973. A synopsis of the geology of southern Guyana. Rep. Photogeol. Unit, Overseas Div., Inst. Geol. Sci., London, n. 26, 16 p. (Não publicado)
- BERRANGÉ J.P., DEARNLEY R. 1975. The Apoteri volcanic formation: tholeiitic flows in the north Savannas graben of Guyana and Brazil. *Geol. Rundsch.*, Band 4, Helf 3, p. 883-899.
- BODNAR, R.J. 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 57, p. 683-684.
- BORGES, F.R. 1990. Projeto Serra do Repartimento: relatório de progresso. *Manaus: CPRM*. 30 p.
- BORISENKO, A.S. 1977. Study of the salt composition of solutions in gas-liquid inclusions in minerals by the cryometric method. *Soviet Geol & Geophys*, 18, p. 11-19.
- BRANDÃO, R. de L.; FREITAS, A.F. de F. 1994. Serra do Ajarani. Folha NA.20-X-C-VI. Relatório Final. *Manaus, CPRM/ MME*, 153p.
- BRÖGGER, W.C. (1921). Die eruptivgestein des Kristianiagebietes, IV, das Fengebiet in Telemark. *Norsk. Vidensk. Selsk. Skrifter I, Math. Naturv.*, 9.
- BROWN, P. E. 1989. FLINCOR: A microcomputer program for the reduction and investigation of fluid-inclusion data. *American Mineralogist*, n.74, p 1390-1393.
- BUDDINGTON E LINDSLEY. 1964. Iron-Titanium oxide mineral and synthetic equivalents. *J. Petrology* 5, p. 310-357.
- BURKE, E.A.J. 2008). Tidying up mineral names: an IMA-CNMNC scheme for suffixes, hyphens and diacritical marks. *Mineral. Rec.*, 39, 131–135.
- BLUNDY, J. D.; HOLLAND, T. J. B. 1990. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer. *Contr. Mineral. Petrolo.*, 104, p. 208-224.

- CABRAL, A.R., LEHMANN, B., TUPINAMBÁ, M., WIEDENBECK, M., BRAUNS, M. 2011. Geology, mineral chemistry and tourmaline B isotopes of the Córrego Bom Sucesso area, southern Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brazil: Implications for Au-Pd-Pt exploration in quartzitic terrain: *Journal of Geochemical Exploration*, 110, p. 260–277.
- CABRAL, A.R., EUGSTER, O., BRAUNS, M., LEHMANN, B., ROSEL, D., ZACK, T., DE ABREU, F. R., PERNICKA, E., BARTH, M. 2013. Direct dating of gold by radiogenic helium: Testing the method on gold from Diamantina, Minas Gerais, Brazil, *Geolog. Soci. Of America*, 41, P. 163-166.
- CAMERON M.; PAPIKE J.J. 1982. Crystal Chemistry of Silicate Pyroxenes (Prewitt C.T. – eds). *Mineralogical Society of America – Reviews in Mineralogy*, v. 7, p. 1-87.
- CARMICHAEL, D. M. 1967. *Structure and Progressive Metamorphism in the Whetstone Lake Area, Ontario, with Emphasis on the Mechanism of Prograde Metamorphic Reactions*. Ph.D. dissertation, University of California at Berkeley, Berkeley, California.
- ČERNÝ, P., R. CHAPMAN, W. B. SIMMONS & L.E. CHACKOWSKY. 1999. Niobian rutil from Mc Guire, Solid solutions, exsolution and oxidation, *American Mineralogist*, vol.84, p. 754-763.
- CIAVATTA, L.; PIROZZI, A. 1983. The formation of fluoride complexes of titanium (IV). *Polyhedron*, 2, p. 769-774.
- CLARK, L.A. 1960. The Fe-As-S system-Phase relations and applications. *Economic Geology*, v. 55, n. 7, p. 1345-1381.
- CLARK, JR.; WILLIAMS-JONES, A. E. 2009. Compositional variability of rutile in hydrothermal ore deposits. *Am Geophys Union Spring Meeting 2009*, abstract #V14A– 01.
- CLAQUE-LONG, J.C.; KING, R.W.; KERRICH, R. 1990. Archaean hydrothermal zircon in the Abitibi greenstone belt: constraints on the timing of gold mineralisation. *Earth Planet Sci.*, 98, p. 109–128.
- COULSON, I. M.; CHAMBERS, A. D. 1996. Patterns of zonation in rare earth-bearing minerals in nepheline syenites of the North Qôroq center, South Greenland. *Canadian Mineralogist* 34, p. 1163–1178.
- CORDANI, U.G.; TASSINARI, C.G.C.; TEIXEIRA, W.; BASEI, M.A.S.; KAWASHITA, K. 1979. Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados

- geocronológicos. In: CONGRESO GEOLÓGICO CHILENO, 2. Arica. Anais... Arica, Chile, p.137- 138.
- CORDANI, U.G., TEIXEIRA, W., D'AGRELLA, FILHO, M.S., TRINIDADE, R.I. 2009. The position of the Amazonian Craton in supercontinents. *Gondwana Research* 15, p. 396-407.
- CORFU, F.; DAVIS, D.W. 1991. Comment on “Archaean hydrothermal zircon in the Abitibi greenstone belt: constraints on the timing of gold mineralisation” by J.C. Claoue-Long, R.W. King and R. Kerrich. *Earth Planet Sci.*, 104, p. 545-552.
- COSTA, J.B.S., HASUI, Y. 1997. Evolução Geológica da Amazônia. In: Costa, M.L & Angélica, R.S. eds. *Contribuições à Geologia da Amazônia*, Belém, SBG, p.15-90.
- COSTA S.S. 2005. *Delimitação do arcaibouço tectônico do Cinturão Guiana Central, estado de Roraima, com base na análise integrada dos dados geofísicos, geológicos, isotópicos e imagens de satélite*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 189 p.
- CPRM – Serviço Geológico Do Brasil. Consulta à base de dados. Disponível em http://geowebapp.cprm.gov.br/ViewerWEB/index_aerogeofisica.html. Acesso em 15 de maio de 2016.
- CPRM. 1999. Programa Levantamentos Geológicos Básicos - PLGB. Roraima Central, Folhas NA.20-X/ NA.21-V, Estado de Roraima, escala 1:500.000, *Brasília/ SUREG-AM*. 1 CD-Rom.
- CRUZ, M. J. M. 1995. Introdução ao uso da microsonda eletrônica. *Salvador: Curso de Pósgraduação em Geologia da UFBA*.
- DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. 1963. Rock forming minerals. Londres, Longman, 558p.
- DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. 1966. Rock forming minerals: orth-and ring silicates. (vol. 1) London, Longman Group Ltd.
- DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. 1992. An Introduction to the Rock-Forming Minerals. *Longman Scientific and Technical* (Eds.), 727p.
- DEER W. A.; HOWIE R. A.; ZUSSMAN J. 1995. An introduction to the rock forming minerals. London, Longman, 696 pp.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A., ZUSSMAN, J. 1997. Rock-Forming Minerals. Volume 2B. Double-Chain Silicates, 2nd ed. xii + 764 pp. London, Bath: Geological Society of London.

- DUGDALE A. L., HAGEMANN, S. G. 2001. The pronzewing lode-gold deposit, Western Australia: P-T-X evidence for fluid immiscibility caused by the cyclic decompression in gold-bearing quartz-veins. *Chemical Geology*, 173, p. 59-90.
- DRUPPEL, K.; HOEFS, J.; OKRUSCH, M. 2005. Fenitizing Processes Induced by Ferrocarbonatite Magmatism at Swartbooisdrif, NW Namibia. *Journal of petrology*, 46, No 2, p. 377-406
- EIRAS J.F. KINOSHITA E.M. 1988. Evidências de movimentos tectônicos transcorrentes na Bacia do Tacutu. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Belém. *Boletim de Resumos Expandidos*, 5, p. 2278-2172.
- ECKERMAN, H.V. (1948). The Akaline District of Alnö Island. *Sverig. Geol. Unders.* Ser. Ca, 36
- FIGUEIREDO, B.R. 2000. Minérios e ambiente. Campinas, Editora UNICAMP. 401p.
- FIGUEIREDO, E.S. 1983. Projeto Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais. Folhas NA.20-X-D/NA.21-V-C, Boa Vista/Rio Tacutu, escala 1: 250.000: Relatório Final. *Manaus, DNPM/ CPRM*, 1v.
- FIGUEIREDO R. F. 2016. *Contexto tectônico do complexo alcalino Apiaú– Roraima: aerogeofísica, petrologia e geocronologia U-Pb*. Tese de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 106p.
- FIGUEIREDO R. F.; SANTOS T. J. S. 2015. Integração de dados aerogeofísicos e geológicos do Complexo Alcalino Apiaú, próximo a região de Campos Novos – Roraima. In: *SBG, 14º Simpósio de Geologia da Amazônia*. Marabá, Anais, CD-ROM.
- FLOYD, P.A.; WINCHESTER, J.A. 1978. Identification and discrimination of altered and metamorphosed volcanic rocks using immobile elements. *Chem. Geol.*, 21, p. 291-306.
- FRAGA, L.M. A. 2002. *Associação Anortosito-Mangerito Granito Rapakivi (AMG) do Cinturão Guiana Central e suas encaixantes paleoproterozóicas: Evolução Estrutural, Geocronologia e Petrologia*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará. Belém. 351p.
- FRAGA, L.M.B.; ALMEIDA, M.E.; MACAMBIRA, M.J.B. 1997a. First lead-lead zircon ages of charnockitic rocks from Central Guiana Belt (CGB) in the state of Roraima, Brazil. In: *SOUTH-AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY*, Campos do Jordão. Resumos... Campos do Jordão, São Paulo, p. 115-117.

- FRAGA, L.M.B.; ARAÚJO, R.V. de; DUARTE, B.P. 1997b. Igneous charnockitic rocks of the Kanuku Complex and Serra da Prata Suite in the Central Guiana Belt (CGB), Roraima State, Brazil. In: *International Symposium on Granites and Associated Rocks (ISGAM)*, 2, Salvador. Resumos... Salvador, 3p.
- FRAGA, L.M.B., DALL'AGNOL, R., COSTA, J.B.S., MACAMBIRA, M.J.B. 2009a. The Mesoproterozoic Mucajaí anorthosite–mangerite–rapakivi granite complex, Amazonian craton, Brazil. *The Canadian Mineralogist* v. 47, p. 1469 - 1492.
- FRAGA, L.M.B., MACAMBIRA, M.J.B., DALL'AGNOL, R., COSTA, J.B.S. 2009b. 1.94 - 1.93 Ga charnockitic magmatism from the central part of the Guyana Shield, Roraima, Brazil: single-zircon evaporation data and tectonic implications. *Journal of South American Earth Sciences* v. 27, p. 247 - 257.
- FRAGA L.M.B.; REIS N.J. 1996. A Reativação do Cinturão de Cisalhamento Guiana Central durante o Episódio K'Mudku. In: *SBG, 39º Congresso Brasileiro de Geologia*, Salvador, Anais, p. 424-426.
- FRAGA L.M.B.; REIS N.J.; PINHEIROS. DA S. 1994. Arranjo Estrutural do Segmento Sul do Bloco Pacaraima, Estado de Roraima, In: *SBG, Simp. Geol. Amaz.*, 4. Belém, Pará Anais, p. 7-10.
- FUJIKAWA, K., 1985. Inclusões fluidas: Métodos usuais de estudo e aplicações. Contribuições à geologia e à petrologia. Núcleo de Minas Gerais – SBGM, p. 29-44.
- GARCIA, L.R.A. 2001. Introdução à Microscopia Eletrônica de Varredura e à Microanálise. *Belo Horizonte, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN*, 22p.
- GAUDETTE, H. E.; OLSZEWSKI JR., W. J.; SANTOS, J. O. S. 1996. Geochronology of Pre-Cambrian rocks from the northern part of Guiana Shield, State of Roraima, Brazil. *J. of South American Earth Sciences* v. 9, p.183 - 195.
- GAUDETTE, H. E., OLSZEWSKI JR., W. J., SANTOS, J. O. S. 1997. Geochronology of Precambrian Rocks from the Northern Part of Guiana Shield, State of Roraima, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 9, p. 185-195.
- HAGGERTY, S.E. 1976. The chemistry and genesis of opaque minerals in kimberlites. *Phys. Chem. Earth* 9, p. 295-307.
- HAMMASTROM, J.M., ZEN, E.A. 1986. Aluminium in hornblende: an empirical igneous geobarometer. *Am. Mineral.*, 71, p. 1297-1313.

- HASUI, Y., HARALY, N.L.E., SCHOBENHAUS, C. 1984. Elementos geofísicos e geológicos da região amazônica: subsídios para o modelo geotectônico. *In: Simpósio de geologia da Amazônia*, 2, Manaus. Anais, SBG-NO, p.129-148.
- HAWTHORNE, F. 1981. Cristal chemistry of the amphiboles. Mineralogical Society of American. *Reviews in Mineralogy*, 9A, p 1-102.
- HEDENQUIST, J.W.; LOWENSTERN, J.B. 1994. The role of magmas in formation of hydrothermal ore deposits. *Nature*, 370, p. 519-527.
- HEINONEN, A., FRAGA, L. M., RÄMÖ, T., DALL'AGNOL, R., MÄNTTÄRI, I., ANDERSEN, T. 2012. Petrogenesis of the igneous Mucajaí AMG complex, northern Amazonian craton - geochemical, U-Pb geochronological, and Nd-Hf-O isotopic constraints. *Lithos* v. 151, p. 17-34.
- HOLLAND, T., BLUNDY, J. 1994. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 116, p. 433-447.
- HOLLISTER, L.S., GRISSOM, G.C., PETEERS, E.K., STOWELL, H.H., SISSOM, V.B. 1987. Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. *Am. Mineral.*, 72, p. 231-239.
- Jl, S.; MAINPRICE, D. 1990. Recrystallization and fabric development in plagioclase. *The Journal of Geology*, 98, n. 1, p. 65-79.
- JIANG, S. Y.; WANG, R. C.; XU, X. S.; ZHAO, K. D. 2005. Mobility of high field strength elements (HFSE) in magmatic, metamorphic, and submarine-hydrothermal systems. *Phys. Chem. Earth*, 30, p. 1020-1029.
- JOHNSON, M.C., RUTHERFORD, M.J. 1989. Experimental calibration of the aluminium-hornblende geobarometer with application to Long Valley Caldera (Califórnia) volcanic rocks. *Geology*, 17, p. 837-841.
- JOHNSON, S.E.; SCHMIDT, K.L.; TATE, M.C. 2002. Ring complexes in Peninsular Ranges Batholith, Mexico and USA: magma plumbing systems in the middle and upper crust. *Lithos*, 61, p.187-208.
- KLEIN, C.; DUTROW, B. 2008. Manual of mineral science: (after James D. Dana). New Jersey: John Wiley & Sons, 23^o eds., 675 p.
- KLEIN, C.; HURLBUT, C.S., JR. 1993. Manual of Mineralogy, 21st Edition: New York, John Wiley and Sons, 681p.
- KRETZ, R. 1982. Transfer and exchange equilibria in a portion of the pyroxene quadrilateral as deduced from natural and experimental data. *Geochemical et Cosmochimica Acta, St. Louis*, 46, p. 411-421.

- KRETZ, R. 1983. Symbols of rock-forming minerals. *American mineralogist*, 68, p. 77-279.
- KROONENBERG S.B. 1976. Amphibolite-facies and granulite-facies metamorphism in the Coeroeni-Lucie Area, southwestern Suriname. *Geologische Mijnbouwkundige Dienst Suriname, Mededeling* 25, p. 109-289.
- LAPIDO- LOUREIRO, F. E. V. 1994. Terras Raras no Brasil – Depósitos, recursos identificados, reservas. *Rio de Janeiro, CETEM*, p. 10-39.
- LEAKE B.E. 1978. Nomenclature of amphiboles. *American Mineralogist*, 16, p. 501-520.
- LEAKE B.E.; WOOLLEY A.L.; ARPS C.E.S.; BIRCH W.D.; CHARLES GILBERT M.; HAWTHORNE F.C.; KATO A.; KISCH H.J.; KRIVOVICHEV V.G.; LINTHOUT K.; LAIRD J.; MANDARINO J.A.; MARESCH W.V.; NICKEL E.H.; SCHUMACHER J.C.; SMITH D.C.; STEPHENSON N.C.N.; UNGARETTI L.; WHITTAKER E.J.W. & YOUZHI G. 1997. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *The Canadian Mineralogist*, 35 p. 219-246.
- LEE, J. D. 1996. Química Inorgânica não tão Concisa. Editora Edigar Blucher, Ltda. São Paulo, 527p., p.345-351.
- LEPAGE, L. D. 2003. ILMAT: an Excel worksheet for ilmenite-magnetite geothermometry and geobarometry. *Computers & Geosciences*, 29, p. 673-678.
- LICHTERVELDE, M.; MELCHER, F.; WIRTH, R. 2009. Magmatic vs. hydrothermal origins for zircon associated with tantalum mineralization in the Tanco pegmatite, Manitoba, Canada. *American Mineralogist*, 94, p. 439-450.
- LIMA, M.I.C. de; OLIVEIRA, E.P. de; TASSINARI, C.C.G. 1982. Cinturões granulíticos da porção setentrional do Cráton Amazônico. In: *Simpósio De Geologia da Amazônia*, 1, Belém. Anais..., Belém, Pará, SBG, Núcleo Norte, vol. I, p. 147-162.
- LINDSLEY, D. H., SPENCER, K. J. 1982. Fe-Ti oxide geothermometry: Reducing analyses of coexisting Ti-Magnetite (Mt) and Ilmenite (Ilm). *Transactions, American Geophysical Union*, 63, 471p.
- LOUCKS, R. R. 2000. Precise geothermometry on fluid inclusion population in that trapped mixtures of immiscible fluids. *American Journal of Science*, 300, p. 23-59.

- LUHR, J. F., CARMICHAEL, I. S. E., VAREKAMP, J. 1984. The 1982 eruptions of El Chichón Volcano, Chiapas, Mexico: mineralogy and petrology of the anhydrite-bearing pumices. *J Volc Geotherm Res* 23, p. 69–108.
- LUVIZOTTO, G.L., ZACK, T., MEYER, H.P., LUDIWG, T., TRIEBOLD, S., KRONZ, A., MUNKER, C., STOCKLI, D.F., PROWATKE, S., KLEMME, S., JACOB, D.E., AND VON EYNATTEN, H. 2009. Rutile crystals as potential trace element and isotope mineral standards for microanalysis: *Chemical Geology*, 261, p. 346-369.
- LYND, L. E. 1985. Titanium. In.: Mineral Facts and Problems, Bureau of Mines, 1-21.
- MANNING, D.A.C. 1982. An experimental study of the effects of fluorine on the crystallization of granite melts. In: A.M. Evans (Ed.). Metallization Associated with Acid Magmatism. John Wiley & Sons, New York, 191-203.
- MEINHOLD, G. 2010. Rutile and its applications in earth sciences: *Earth-Science Reviews*, 102, p. 1-28.
- MEINHOLD, G., ANDERS, B., KOSTOPOULOS, D., REISCHMANN, T. 2008. Rutile chemistry and thermometry as provenance indicator: An example from Chios Island, Greece: *Sedimentary Geology*, 203, p. 98-111.
- MONTALVÃO R.M.G., MUNIZ M.B., LSSLER R.S., DALL'AGNOL R., LIMA M.I.C., FERNANDES P.E.C.A., SILVA G.G. 1975. Geologia. In: BRASIL DNPM. Projeto RADAMBRASIL Folha NA.20 Boa Vista e parte das folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21. Rio de Janeiro. *Levantamento de Recursos Naturais* 8 p. 15-136.
- MORIMOTO, N.; FABRIES, J.; FENGUSON, A.K.; GINZBURG, I.V.; ROSS, M.; SEIFERT, F.A.; ZUSSYMAN, J.; AOKI, K.; GOTTARDI, G. 1988. Nomenclatura of pyroxenes. *Mineralogical Magazine. Mineralogical Society*. 52 p. 535-550.
- MOROGAN, V. (1989). Mass transfer and mobility of REE during fenitization at Alno, Sweden. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 103, 25–34.
- NACHIT, H.; IBHI, A.; ABIA, E. H.; OHOUD, C. R. 2005. Discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and neoformed biotites. *Geoscience*, v. 337, p. 1415–1420.
- O'HARA, K. 1988. Fluid flow and volume loss during mylonitization an origin for pyhyllonite in an over thrust setting North Carolina USA *Tectonophysics*, vol. 156, 21-36.
- OTTEN, M. T. 1984. The origin of brown hornblende in the Artfjallet gabbro and dolerites. *Contrib Mineral Petrol*, 86, p. 189-199.

- PAN, Y. 1997. Zircon and Monazite Forming Metamorphic Reactions at Manitawadge Ontario. Canada, *Mineral*, 35, p. 105-119.
- PAN, Y., FLEET, M.E. 1995. Site Preference of Rare Earth Elements in Fluorapatite. *American Mineralogist*, 80, p. 329-335.
- PARRY, W.T. 1986. Estimation of XCO_2 , P, and fluid inclusion volume from fluid inclusion temperature measurements in the system $\text{NaCl-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$. *Econ. Geol.*, 81, p. 1009-1013.
- PASERO, M., KAMPF, A. R., FERRARIS, C., PEKOV, I. V., RAKOVAN, J., WHITE, T. J. 2010. Nomenclature of the apatite supergroup minerals. *Eur. J. Mineral*, 22, 163-179.
- PASSCHIER, C.W; TROUW, R.A. 2005. Micro-tectonics. Springer, 2^o eds., 366 p.
- PIRAJNO, F. 2013: Effects of metasomatism on mineral systems and their host rocks: alkali metasomatism, skarns, greisens, tourmalinites, rodingites, black-wall alteration and listvenites. In: HARLOV, DE. & AUSTRHEIM, H. (eds.): Metasomatism and metamorphism: the role of fluids in crustal and upper mantle processes. Lecture Series in Earth Science, Springer, 203–251
- PLIMER, I.R. 1987. Fundamental parameters for the formation of granite-related tin deposits. *Geologische Rundschau*, 76(1), p. 23-40.
- POINTER, C. M., ASHWORTH, J. R.; IXER, R. A. 1988: The zircon thorite mineral group in metasomatized granite, Ririwai, Nigeria. 1: Geochemistry and metastable solid solution of thorite and coffinite. *Mineral. Petrol.*, 38, p. 245–262.
- POLLARD, P.J.; TAYLOR, R.G. 1986. Progressive evolution of alteration and tin mineralization: controls by interstitial permeability and fracture-related tapping of magmatic fluid reservoirs in tin granites. *Economic Geology*, 8, p. 1795-1800.
- RABBIA, O. M., HERNANDEZ, L. B., FRENCH, D. H., KING, R. W., AYERS, J. C. 2009. The El Teniente porphyry Cu–Mo deposit from a hydrothermal rutile perspective. *Miner Deposita*, 44, p. 849-866.
- RAE, D. A.; CHAMBERS, A. D. 1988. Metasomatism in the North Qôroq centre, South Greenland: cathodoluminescence and mineral chemistry of alkali feldspars. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: *Earth Sciences*, 79, p. 1–12.
- RAE, D. A.; COULSON, I. M.; CHAMBERS, A. D. 1996. Metasomatism in the North Qôroq centre, South Greenland: apatite chemistry and rare-earth element transport. *Mineralogical Magazine*, 60, p. 207–220.

- RAMBOZ C., PICHAVANT M., WEISBROT A. 1982. Fluid immiscibility in natural processes: use and misuse of fluid inclusions data, II interpretation of inclusion data in terms of immiscibility. *Chem. Geol.*, 37, p. 29-48.
- RAPP, J.F.; KLEMME, S.; BUTLER, I.B.; HARLEY, S.L. 2010. Extremely high solubility of rutile in chloride and fluoride-bearing metamorphic fluids: an experimental investigation. *Geology*, 38, p. 323–326.
- REIS, N. J.; FRAGA, L .M. B. 1995. Granitogênese mesoproterozóica da porção central do Estado de Roraima, Petrologia e Litogeoquímica. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE GEOLOGIA, 8.,1995, Caracas. Anais. Caracas : [s.n.],.
- REIS N.J., FRAGA LM.B, FARIA M.S.G., ALMEIDA M.E. 2003. Geologia do Estado de Roraima, Brasil. *Géologie de la France*, 2-3-4: p. 121-134.
- REIS N.J., FARIA M.S.G., ALMEIDA M.E., OLIVEIRA M.A. 2004. Folhas NA.20-Boa Vista e NB.20-Roraima. In: Schobbenhaus C., Gonçalves J.H., Santos J.O.S., Abram M.B., Leão Neto R., Matos G.M.M., Vidotti R.M., Ramos M.A.B., Jesus J.D.A. (Eds.) Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas-SIG. Programa Geologia do Brasil. Brasília, CPRM, CD-ROM.
- RIEDER, M.; GIANCARLO, C.; D'YAKONOV, Y.; KAMENETSKII, V.F.; GOTTARDI, G.; GUGGENHEIM, S.; KOVAL, P.; MÜLLER, G.; NEIVA, A.M.R.; RADOSLOVICH, E.W.; ROBERT, J.L.; SASSI, F.P.; TAKEDA, H.; WEISS, Z.; WONES, D.R. 1998. Nomenclatura of the micas. *The Canadian Mineralogist*. 36, p. 41-48.
- RUBIN, J.N.; HENRY, C.D.; PRICE, J.G. 1993. The mobility of zirconium and other “immobile” elements during hydrothermal alteration. *Chemical Geology*, 110, p. 29-47.
- RYZHENKO B.; KOVALENKO, N.; PRISYAGINA, N. 2006. Titanium complexation in hydrothermal systems. *Geochem Int.*, 44, p. 879–895.
- RODRIGUES, B.; FRANÇA, Z.; FORJAZ, V. 2010. Evolução geoquímica em processos de fenitização. *Petrologia e Geoquímica*, 2, p. 261-268
- ROEDDER, E. 1984. Fluid Inclusions. Mineralogical Society of America. *Reviews in Mineralogy, Washington*, v. 12, 664 p.
- ROMANS, P. A., BROWN, L. & WHITE, J. C. 1975: An electron microprobe study of yttrium, rare earth and phosphorous distribution in zoned and ordinary zircon. *Am. Mineral.*, 60, p. 475–480.

- ROSA-COSTA, L.T. 2006. *Geocronologia $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, Sm-Nd, U-Th-Pb e $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ do Segmento Sudeste do Escudo das Guianas: Evolução crustal e Termocronologia do Evento Transamazônico*. Tese de Doutorado em Geoquímica e Petrologia – Universidade Federal do Pará, CG, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém.
- RUBIN, J.N.; HENRY, C.D.; PRICE, J.G. 1993. The mobility of zirconium and other immobile elements during hydrothermal alteration. *Chem. Geol.* 110, p. 29-47.
- SALAS N. J.; SANTOS J. O. S. 1974. Determinações geocronológicas pelo método da birrefringência em fonólito na área do Projeto Norte da Amazônia. In: SBG, 28º Congresso Brasileiro de Geologia. Porto Alegre, Anais, v. 6, p. 221-224.
- SANTOS, J. O. S.; OLSZEWSKI, W. 1988. Idade dos granulitos tipo Kanuku em Roraima. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE GEOLOGIA, 7, Belém. Anais... Belém, SBG/DNPM, p. 378-388.
- SANTOS, J. O. S. 1999. New understanding of the Amazon Craton Gold Provinces. In: New Developments in Economic Geology. Center for Teaching and research in strategic Mineral Deposits. Perth, University of Western Australia, 10p.
- SANTOS, J.O.S, HARTMAN, L.A., GAUDETTE, H.E., GROVES, D.I., MCNAUGHTON, N. J., FLETCHER, I.R. 2000. A new understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on integration of Field mapping and U-Pb band Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research* 3, p. 453-488.
- SANTOS J. O. S. 2003. Geotectônica dos Escudos das Guianas e Brasil Central. In: Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Vidotti R.M., Gonçalves J.H (Eds.) *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas e SIG*. Brasília, CPRM, p. 169–226.
- SANTOS, J.O.S., HARTMANN, L.A., FARIA, M.S.G., RIKER, S.R., SOUZA, M.M., ALMEIDA, M.E., MCNAUGHTON, N.J. 2006. A compartimentação do Cráton Amazonas em províncias: avanços ocorridos no período 2000-2006. In: SBG-NO, *Simp. Geol. Amaz.*, 9, Belém, CD-Rom.
- SANTOS, J. O. S., FARIA, M. S. G., RIKER, S. L. R., SOUZA, M. M., HARTMANN, L. A., MCNAUGHTON, N. J., ALMEIDA, M. E., FLETCHER I. R., 2006a. A faixa colisional K'Mudku no norte do Cráton Amazonas: reflexo intracontinental do Orógeno Sunsás na margem ocidental do cráton. In: SBG-Núcleo Norte, X Simpósio de Geologia da Amazônia (CD ROM).
- SANTOS, J. O. S., MCNAUGHTON, N. J., FARIA, M. S. G., 2009a. Ortognaisse Mucajaí: uma complexa história evolutiva desvendada através de datações U-Pb em titanita e zircão. In Simpósio de Geologia da Amazônia, XI. Manaus, 2009 CD-ROM.

- SCHALTEGGER, U. 2007. Hydrothermal zircon. *Elements*, 3, p. 51-79.
- SCHMIDT, M.W. 1994. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: na experimental calibration of the Al in hornblende barometer. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 110, p. 304-310.
- SHEPHERD, T.J.; RANKIN, A.H.; ALDERTON, D.H.M. 1985. A practical guide to fluid inclusions studies. Glasgow, Blackie and Sons Ltda, 239p.
- SIBSON, R. H. 1977. Fault rocks and fault mechanisms. *Journal of Geological Society*, London, 133, p. 191-213.
- SILLITOE, R.H.; HALLS, C.; GRANT, J.N. 1975. Porphyry tin deposits in Bolivia. *Economic Geology*, 70, p. 913-927.
- SIMPSON, C. & WINTSCH, R. P. 1989. Evidence for deformation-induced K-feldspar replacement by mirmekite. *Journal Metamorphic Geology*, vol.94, p.261 -275.
- SPEAR, F. S., WARK, D. A., CHENEY, J. T., SCHUMACHER, J. C., AND WATSON, E. B., 2006. Zr-in-rutile thermometry in blueschists from Sifnos, Greece: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 152, n. 3, p. 375-385.
- SPEER, F. S., 1993. The calculation of metamorphic phase equilibria I: geothermometry and geobarometry. Chapter 15. In: *Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature time paths. Mineral. Soc. Amer. Monograph*. 799p.
- SPENCER, K.J., LINDSLEY, D.H. 1981. A solution model for coexisting iron-titanium oxides. *American Mineralogist*, 66, 1189-1201.
- STORMER, J.C.J. 1983. The effects of recalculation on estimates of temperature and oxygen fugacity from analyses of multicomponent iron-titanium oxides. *American Mineralogist*, 68, p. 586-594.
- SOTO, J. I., SOTO, V. M. 1995. PTMAFIC: software package for thermometry, barometry, and activity calculations in mafic rocks using an IBM compatible computer. *Comput. & Geosci.*, 21, p. 619-652.
- STRECKEISEN A. 1976. To each plutonic rocks its proper name. *Earth Science Reviews* v 12, p. 1-33.
- SUMÁRIO MINERAL 2009. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) 2009. Brasília/DF - Brasil. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br>>. Acesso em: 30 de Mai. 2017.
- TARAZONA C. A. 2015. *Análise das petrotramas das rochas charnockíticas da Serra da Prata, Mucajaí/RR*. Tese de Mestrado, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas, 202 p.

- TASSINARI, C.C.G., BETTENCOUR, T. J.S., GERALDES, M.C., MACAMBIRA, M.J.B., LAFON, J.M. 2000. The Amazonian Craton. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.) Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro, 31st Inter. Geol. Congr, FINEP/CT Petro, 2000. p.41-95.
- TASSINARI, C.C.G., MACAMBIRA, M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, v. 22, n. 3, p.174-182.
- TASSINARI, C. C. G.; MACAMBIRA, M. J. 2004. A evolução tectônica do Craton Amazônico. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO NEVES, B. B. (orgs.) Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução e obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 647p.
- TEXEIRA, W., TASSINARI, C.C.G., CORDANI, U.G., KAWASHITA, K. 1989. A review of the geochronology of the Amazonian Craton: tectonic implication. *Precambrian Research* 42 p.213-227.
- TITAYEVA, N.A. 1994. Nuclear geochemistry.– CRC press, 304 p.
- TOMKINS, H.S., POWELL, R., AND ELLIS, D.J. 2007. The pressure dependence of the zirconium-in-rutile thermometer: *Journal of Metamorphic Geology*, 25, n. 6, p. 703-713.
- TRIEBOLD, S., VON EYNATTEN, H., LUVIZOTTO, G.L., ZACK, T. 2007. Deducing source rock lithology from detrital rutile geochemistry: An example from the Erzgebirge, Germany: *Chemical Geology*, 244, p. 421-436.
- TULLIS, T. E. 1983. Deformation of feldspar. In RIBBE, P H. (ed.), Feldspar mineralogy, miner. Soc. Am. Review., vol. 2, p. 247-323.
- TULLOCH, A.J. 1979 Secondary Ca-Al silicates as low-grade alteration products of granitoid biotite. *Contrib.Mineral.Petrol.*, 69, p. 105-117.
- VAZ P.T.; WANDERLEY FILHO J.R.; BUENO G.V. 2007. Bacia do Tacutu. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15, p. 289–297.
- VERNON, R. H. 1975. Deformation and recrystallization of the plagioclase grain. *Am. Mineral*, 60, p. 884 -888.
- WATSON, E.B., WARK, D.A., AND THOMAS, J.B. 2006. Crystallization thermometers for zircon and rutile: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 151, p. 413-433.
- WERNER, A.G. 1786. Kurze Klassifikation und Beschreibung der verschiedenen Gebirgsarten. Abh. Böhmischen Gesell. Wissen., 1, 272–297.

- WILKINSON, J.J. 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, 55, p. 229-272.
- WOOD, B. J.; BANNO, S. 1973. Garnet-orthopyroxene and orthopyroxene clinopyroxene relationship in simple and complex system. *Contributions to Mineralogy and Petrology, Berlin*, 42, p. 109-124.
- YAVUZ, F. 1999. NEWAMPHCALC. Mineralogical software (Internet Free Download).
- ZACK, T.; MORAES, R.; KRONZ, A. 2004b, Temperature dependence of Zr in rutile: Empirical calibration of a rutile thermometer: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 148, p. 471-488.
- ZEN, E.A., HAMMARSTROM, J.M. 1984. Magmatic epidote and petrologic significance. *Geology*, 12, p. 515-518.
- ZIEMNIAK, S.E; OPALKA, E.P. 1993. Titanium (IV) oxide phase stability in alkaline sodium phosphate solutions at elevated temperatures. *Chem. Mater.*, 5, p. 690-694.

APÊNDICE A

PROCESSOS DE FENITIZAÇÃO

Brögger (1921), descreve pela primeira vez o termo “fenito” para asinar um grupo de rochas, de composição aproximadamente granítica que, sujeito a alteração metassomática (devida a soluções possivelmente relacionadas com um magma ijolítico-melteijítico) se transformou numa rocha alcalina de composição sienítica. Conceito que posteriormente Eckermann (1948) discute e estende como a todos os produtos de metassomatismo devidos a intrusões alcalinas e/ou carbonatíticas. Por outro lado, Morogan (1989) e Pirajno (2013) explicam que a fenitização refere-se à soma de alterações metassomáticas que levam a uma rocha entrar em equilíbrio com um silicato alcalino. Nos seus trabalhos, os autores concluem que em corpos de composição granítica com processos de fenitização pode ocorrer a seguinte reação: minerais reliquiares (feldspatos, biotita, quartzo, zircão) + K-Feldspato + biotita + óxido Fe-Ti $\pm$ albita $\pm$ hornblenda $\rightarrow$ K-feldspato + aegirina + apatita + calcita $\pm$ biotita $\pm$ fluorita $\pm$ titanita. Processos registrados na literatura são descritos por Rodrigues et al. (2010) e Druppel et al. (2005) em aegirinas formadas em processos de fenitização associados a emplacamento de corpos alcalinos em áreas regionalmente compostas por embasamentos gnaissicos de composição granítica. Rodrigues et al. (2010), mostra a evolução geoquímica em processos de fenitização em rochas regionais afetadas por fluidos alcalinos, explicando que ao longo dos processos fenitizantes diminuem os teores de silício e de alumínio enquanto aumentam os de potássio, ferro, magnésio, cálcio, sódio, titânio, fósforo, manganésio, H₂O⁺ e dióxido de carbono, enfatizando que para que ocorra o aumento da concentração de H₂O⁺ e de CO₂ deve existir um fluxo de soluções através de pequenas fissuras existentes nas rochas bem como, em menor escala, ao longo das interfaces dos minerais.

ANEXOS

ANEXO I

RESULTADOS ANALÍTICOS QUÍMICA MINERAL

Tabela 1. Resultados analíticos para Feldspatos em gnaisses

Litotipo	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	Litotipo	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG
Amostra	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	Amostra	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	
Ponto	1_01	1_02	1_03	1_04	1_05	1_07	1_06	2_01	2_02	2_03	2_04	3_07	3_08	3_09	4_04	4_05	4_06	4_07	Ponto	4_08	4_09	4_10	4_11	4_12	4_13	4_14	5_05	5_04	5_03	5_02	5_01	5_06	5_07	5_08	5_09	1_01	1_02			
SiO ₂	61,398	61,664	61,729	62,257	62,178	61,519	62,205	60,420	60,410	60,222	60,905	61,452	61,864	61,435	61,721	61,127	57,476	60,275	SiO ₂	60,704	61,333	61,120	62,067	61,713	61,547	61,843	61,347	61,749	61,680	62,027	61,822	65,162	65,201	65,427	65,387	58,183	60,183			
TiO ₂	0,198	0,029	0,027	0,106	0,148	0,000	0,005	0,000	0,270	0,087	0,174	0,000	0,010	0,000	0,121	0,000	0,058	0,164	TiO ₂	0,092	0,000	0,126	0,135	0,000	0,000	0,005	0,072	0,000	0,010	0,092	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,024	0,000			
Al ₂ O ₃	24,781	24,209	24,196	24,172	24,208	24,253	24,694	24,580	24,762	24,899	24,555	24,112	23,881	24,303	24,114	25,009	24,852	24,494	Al ₂ O ₃	24,224	24,547	24,192	24,370	24,519	24,806	24,086	24,365	24,268	24,459	24,146	18,271	18,500	18,547	18,458	24,309	24,921				
FeO	0,077	0,061	0,069	0,009	0,001	0,038	0,047	0,000	0,026	0,013	0,000	0,010	0,093	0,114	0,100	0,042	0,133	0,060	FeO	0,033	0,000	0,028	0,025	0,000	0,096	0,048	0,044	0,000	0,079	0,067	0,028	0,025	0,023	0,020	0,044	0,037	0,040			
MnO	0,000	0,022	0,015	0,038	0,058	0,000	0,041	0,018	0,000	0,000	0,030	0,000	0,000	0,000	0,048	0,015	0,015	0,000	MnO	0,064	0,067	0,000	0,000	0,055	0,001	0,015	0,000	0,000	0,000	0,043	0,000	0,035	0,009	0,000	0,000	0,026				
MgO	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,007	0,018	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	MgO	0,000	0,025	0,002	0,000	0,000	0,000	0,022	0,000	0,000	0,000	0,028	0,000	0,018	0,000	0,000	0,002	0,032	0,000			
CaO	5,829	5,946	5,960	5,827	5,842	5,893	6,009	6,645	7,157	6,932	6,350	5,893	5,784	5,903	5,916	6,576	7,567	6,343	CaO	6,958	6,305	5,781	5,860	6,174	6,104	5,938	6,479	6,012	5,968	6,036	5,844	0,004	0,014	0,003	0,004	6,770	6,550			
Na ₂ O	8,748	8,118	8,499	8,533	8,521	8,459	8,353	8,132	7,683	8,033	8,243	8,335	8,662	8,489	8,684	8,074	7,436	7,987	Na ₂ O	7,940	8,321	8,533	8,504	8,333	8,253	8,197	8,299	8,366	8,333	8,620	8,290	0,647	0,560	0,807	2,431	7,453	7,968			
K ₂ O	0,154	0,359	0,345	0,228	0,201	0,319	0,283	0,298	0,260	0,296	0,261	0,211	0,210	0,172	0,193	0,232	1,018	0,290	K ₂ O	0,260	0,190	0,255	0,220	0,152	0,292	0,232	0,815	0,292	0,194	0,220	0,231	15,733	15,656	15,475	13,112	0,250	0,150			
Cr ₂ O ₃	0,127	0,057	0,028	0,022	0,105	0,000	0,023	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,061	Cr ₂ O ₃	0,047	0,000	0,000	0,106	0,034	0,000	0,070	0,000	0,000	0,034	0,000	0,000	0,000	0,035	0,000	0,000	0,127	0,118			
V ₂ O ₅	0,029	0,000	0,000	0,023	0,035	0,001	0,033	0,000	0,076	0,000	0,071	0,000	0,040	0,033	0,000	0,000	0,035	0,006	V ₂ O ₅	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,007	0,059	0,023	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000			
NO	0,070	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,038	0,000	0,000	0,029	0,000	0,000	0,000	0,000	0,070	0,038	0,032	0,146	NO	0,000	0,000	0,016	0,000	0,016	0,089	0,000	0,022	0,000	0,000	0,016	0,025	0,019	0,006	0,051	0,003	0,000	0,057			
TOTAL	101,41	100,47	100,87	101,22	101,30	100,49	101,73	100,10	100,66	100,51	100,59	100,01	100,54	100,45	100,97	101,11	98,63	99,83	TOTAL	100,32	100,79	100,05	101,29	101,00	101,19	100,46	99,72	100,69	100,63	101,59	100,43	99,88	100,03	100,34	99,44	97,19	100,01			
T																			T																					
Si	2,698	2,729	2,725	2,734	2,730	2,724	2,720	2,693	2,679	2,676	2,699	2,730	2,737	2,721	2,723	2,693	2,625	2,693	Si	2,701	2,709	2,719	2,725	2,718	2,708	2,735	2,733	2,727	2,725	2,719	2,735	3,007	3,002	3,002	3,003	2,671	2,682			
Al	1,284	1,263	1,259	1,251	1,252	1,266	1,273	1,291	1,294	1,304	1,282	1,262	1,245	1,269	1,254	1,299	1,338	1,290	Al	1,270	1,278	1,268	1,261	1,272	1,286	1,255	1,279	1,263	1,264	1,263	1,259	0,994	1,004	1,003	0,999	1,315	1,309			
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000			
Ti	0,007	0,001	0,001	0,004	0,005	0,000	0,000	0,000	0,009	0,003	0,006	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,002	0,006	Ti	0,003	0,000	0,004	0,004	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000			
Cr	0,004	0,002	0,001	0,001	0,004	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	Cr	0,002	0,000	0,000	0,004	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,005	0,004			
V	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,003	0,000	0,003	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	V	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000			
ΣT	3,994	3,994	3,986	3,990	3,992	3,990	3,995	3,984	3,984	3,983	3,989	3,993	3,984	3,991	3,981	3,992	3,967	3,990	ΣT	3,975	3,987	3,991	3,994	3,992	3,994	3,993	4,014	3,990	3,993	3,986	3,993	4,001	4,007	4,005	4,003	3,992	3,995			
A																			A																					
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Mg	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000			
Fe ²⁺	0,003	0,002	0,003	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003	0,004	0,004	0,002	0,005	0,002	Fe ²⁺	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,004	0,002	0,002	0,000	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001				
Mn	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,001	0,000	Mn	0,002	0,003	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001			
Ca	0,274	0,282	0,282	0,274	0,275	0,280	0,281	0,317	0,340	0,330	0,301	0,280	0,274	0,280	0,280	0,310	0,370	0,304	Ca	0,332	0,298	0,275	0,276	0,291	0,288	0,281	0,227	0,284	0,283	0,283	0,277	0,000	0,001	0,000	0,000	0,333	0,313			
Na	0,745	0,696	0,727	0,727	0,725	0,726	0,708	0,703	0,660	0,692	0,708	0,718	0,743	0,729	0,743	0,690	0,659	0,692	Na	0,685	0,713	0,736	0,724	0,711	0,708	0,703	0,717	0,716	0,714	0,732	0,711	0,058	0,050	0,072	0,216	0,663	0,688			
K	0,009	0,020	0,019	0,013	0,011	0,018	0,016	0,017	0,015	0,017	0,015	0,012	0,012	0,010	0,011	0,013	0,059	0,017	K	0,015	0,011	0,014	0,012	0,009	0,016	0,013	0,046	0,016	0,011	0,012	0,013	0,926	0,920	0,906	0,768	0,015	0,009			
ΣA	1,034	1,002	1,032	1,015	1,013	1,026	1,010	1,038	1,017	1,040	1,025	1,011	1,032	1,023	1,041	1,017	1,095	1,019	ΣA	1,035	1,026	1,027	1,013	1,014	1,015	1,001	0,993	1,017	1,010	1,033	1,004	0,987	0,973	0,981	0,987	1,015	1,014			
% An	26,686	28,228	27,401	27,052	27,171	27,307	27,999	30,600	33,491	31,767	29,429	27,761	26,643	27,495	27,062	30,639	34,031	30,002	% An	32,159	29,205	26,856	27,242	28,804	28,541	28,212	22,938	27,964	28,047	27,566	27,669	0,020	0,071	0,015	0,020	32,936	30,973			
% Ab	72,474	69,742	70,710	71,688	71,716	70,933	70,431	67,766	65,060	66,617	69,131	71,055	72,205	71,551	71,886	68,074	60,517	68,364	% Ab	66,410	69,747	71,734	71,540	70,352	69,833	70,475	72,385	70,419	70,867	71,238	71,028	5,8								

Tabela 1. Resultados analíticos para Feldspatos em gnaisses (continuação)

Litotipo	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	Litotipo	AG	AG	AG	AG	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM
Amostra	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	Amostra	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	
Ponto	1_03	1_04	1_05	1_16	1_18	1_19	2_10	2_11	2_12	2_13	2_17	2_18	2_19	3_01	3_02	3_03	4_10	4_12	Ponto	4_13	5_09	5_10	5_11	2_04	2_05	2_06	2_07	2_14	2_15	2_16	2_17	4_01	4_02	4_03	4_08	4_07	4_06
SiO ₂	60,679	60,925	60,234	61,388	61,479	60,839	60,579	61,040	60,673	60,627	61,124	60,779	60,838	65,585	65,334	65,524	61,264	60,254	SiO ₂	61,395	60,158	60,366	60,121	65,144	66,036	65,880	65,274	65,716	65,423	64,737	65,440	64,826	64,645	65,144	64,794	64,111	63,347
TiO ₂	0,000	0,000	0,048	0,015	0,000	0,127	0,082	0,000	0,000	0,033	0,068	0,000	0,077	0,122	0,010	0,000	0,000	0,148	TiO ₂	0,014	0,000	0,000	0,072	0,072	0,000	0,000	0,000	0,064	0,000	0,000	0,038	0,068	0,000	0,000	0,034	0,000	
Al ₂ O ₃	24,628	24,647	24,896	24,612	24,534	24,223	24,944	24,461	24,755	24,394	24,473	24,512	24,621	18,288	18,040	18,334	24,175	24,588	Al ₂ O ₃	24,500	24,272	24,356	24,351	21,931	21,823	22,101	22,612	18,386	18,142	18,014	18,020	22,050	22,380	22,527	22,137	22,562	23,454
FeO	0,098	0,043	0,000	0,121	0,099	0,019	0,071	0,189	0,123	0,100	0,196	0,089	0,004	0,000	0,014	0,067	0,188	0,124	FeO	0,136	0,103	0,063	0,000	0,025	0,082	0,050	0,041	0,047	0,029	0,075	0,050	0,042	0,038	0,016	0,001	0,023	0,013
MnO	0,081	0,000	0,000	0,039	0,014	0,005	0,058	0,106	0,000	0,000	0,028	0,023	0,000	0,000	0,000	0,064	0,000	0,000	MnO	0,000	0,048	0,000	0,018	0,013	0,103	0,000	0,000	0,000	0,081	0,000	0,034	0,011	0,065	0,000	0,000	0,000	0,066
MgO	0,000	0,000	0,030	0,000	0,042	0,003	0,000	0,007	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,021	0,009	0,000	0,000	0,000	MgO	0,034	0,000	0,016	0,000	0,000	0,005	0,013	0,006	0,000	0,000	0,003	0,019	0,006	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000
CaO	6,281	6,218	6,483	6,066	5,911	6,099	6,277	6,200	6,229	6,323	6,222	6,205	6,309	0,004	0,000	0,057	5,818	6,657	CaO	6,124	6,191	6,153	6,088	3,170	2,905	3,079	3,341	0,000	0,000	0,000	0,025	3,625	3,579	3,471	3,711	3,824	4,736
Na ₂ O	8,156	8,111	7,964	8,225	7,980	7,749	8,119	8,159	8,306	7,999	8,065	8,021	8,092	1,241	0,481	0,683	8,348	8,257	Na ₂ O	8,111	8,335	7,878	8,119	10,024	10,305	9,852	9,667	0,414	0,470	0,419	0,482	9,797	9,677	9,993	9,761	9,594	8,979
K ₂ O	0,204	0,235	0,210	0,203	0,220	0,210	0,169	0,211	0,183	0,161	0,203	0,156	0,154	14,927	16,080	15,700	0,116	0,175	K ₂ O	0,169	0,288	0,305	0,272	0,158	0,235	0,165	0,140	16,409	16,135	15,855	16,195	0,227	0,191	0,198	0,141	0,152	0,152
Cr ₂ O ₃	0,000	0,002	0,034	0,000	0,000	0,081	0,000	0,090	0,000	0,033	0,010	0,059	0,000	0,082	0,105	0,000	0,058	0,000	Cr ₂ O ₃	0,000	0,081	0,045	0,081	0,000	0,092	0,082	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,131	0,000	0,022	0,000	0,000	0,000
V ₂ O ₃	0,019	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,021	0,000	0,000	0,000	0,038	0,000	0,000	0,000	0,036	0,000	0,000	V ₂ O ₃	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,025	0,000	0,057	0,032	0,000	0,035	0,013	0,000	0,028	0,000	0,032	0,000	0,000
NO	0,000	0,010	0,000	0,010	0,029	0,032	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,013	0,000	0,010	0,000	0,029	0,010	NO	0,016	0,000	0,051	0,025	0,000	0,000	0,000	0,010	0,098	0,019	0,000	0,000	0,054	0,000	0,000	0,041	0,038	
TOTAL	100,15	100,19	99,90	100,70	100,31	99,39	100,30	100,48	100,27	99,68	100,39	99,88	100,11	100,27	100,08	100,47	100,00	100,21	TOTAL	100,50	99,48	99,23	99,147	100,55	101,61	101,22	101,15	101,17	100,30	99,14	100,32	100,84	100,60	101,37	100,58	100,35	100,79
T																			T																		
Si	2,699	2,706	2,686	2,712	2,722	2,719	2,690	2,707	2,696	2,707	2,710	2,707	2,703	3,006	3,013	3,007	2,724	2,685	Si	2,716	2,699	2,707	2,701	2,857	2,868	2,865	2,843	3,003	3,012	3,012	3,013	2,842	2,837	2,837	2,844	2,822	2,783
Al	1,291	1,290	1,308	1,281	1,280	1,276	1,305	1,278	1,296	1,284	1,279	1,287	1,289	0,988	0,981	0,991	1,267	1,291	Al	1,277	1,283	1,287	1,289	1,133	1,117	1,133	1,161	0,990	0,984	0,988	0,978	1,139	1,157	1,156	1,145	1,171	1,214
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,004	0,003	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,003	0,004	0,000	0,000	0,000	0,005	Ti	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Cr	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,000	0,003	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,003	0,004	0,000	0,002	0,000	Cr	0,000	0,003	0,002	0,003	0,000	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
V	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	V	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000
ΣT	3,991	3,996	3,996	3,995	4,002	4,002	3,997	3,989	3,992	3,993	3,992	3,997	3,995	4,001	3,998	3,999	3,993	3,981	ΣT	3,994	3,985	3,996	3,995	3,993	3,989	4,001	4,006	3,997	3,996	4,001	3,993	3,987	3,995	3,994	3,990	3,994	3,997
A																			A																		
Mg	0,000	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	Mg	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	
Fe ²⁺	0,004	0,002	0,000	0,004	0,004	0,001	0,003	0,007	0,005	0,004	0,007	0,003	0,000	0,000	0,001	0,003	0,007	0,005	Fe ²⁺	0,005	0,004	0,002	0,000	0,001	0,003	0,002	0,001	0,002	0,001	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000
Mn	0,003	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,002	0,004	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	Mn	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002
Ca	0,299	0,296	0,310	0,287	0,280	0,292	0,299	0,295	0,297	0,302	0,296	0,296	0,300	0,000	0,000	0,003	0,277	0,318	Ca	0,290	0,298	0,296	0,293	0,149	0,135	0,143	0,156	0,000	0,000	0,000	0,001	0,170	0,168	0,162	0,174	0,180	0,223
Na	0,703	0,698	0,688	0,705	0,685	0,671	0,699	0,701	0,715	0,692	0,693	0,693	0,697	0,110	0,043	0,061	0,720	0,713	Na	0,696	0,725	0,685	0,707	0,852	0,868	0,831	0,816	0,037	0,042	0,038	0,043	0,833	0,823	0,844	0,830	0,819	0,765
K	0,012	0,013	0,012	0,011	0,012	0,012	0,010	0,012	0,010	0,009	0,011	0,009	0,009	0,873	0,946	0,919	0,007	0,010	K	0,010	0,016	0,017	0,016	0,009	0,013	0,009	0,008	0,957	0,948	0,941	0,951	0,013	0,011	0,011	0,008	0,009	0,009
ΣA	1,021	1,009	1,012	1,009	0,986	0,978	1,012	1,019	1,027	1,008	1,009	1,002	1,007	0,985	0,991	0,988	1,011	1,046	ΣA	1,003	1,045	1,003	1,017	1,011	1,023	0,986	0,982	0,999	0,994	0,982	1,000	1,020	1,006	1,017	1,013	1,011	1,000
% An	29,512	29,364	30,660	28,624	28,675	29,938	29,650	29,223	29,002	30,124	29,547	29,681	29,850	0,020	0,000	0,285	27,622	30,526	% An	29,158	28,639	29,621	28,847	14,746	13,306	14,590	15,909	0,000	0,000	0,000	0,124	16,764	16,789	15,929	17,226	17,897	22,376
% Ab	69,347	69,315	68,157	70,235	70,054	68,834	69,400	69,592	69,983	68,963	69,306	69,431	69,283	11,216	4,348	6,184	71,722	68,518	% Ab	69,884	69,774	68,631	69,618	84,379	85,413	84,479	83,298</										

Tabela 1. Resultados analíticos para Feldspatos em gnaisses (continuação)

Litotipo	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM
Amostra	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2
Ponto	4_05	4_04	5_20	5_21	6_09	6_10	6_11	7_05	7_06	7_07
SiO ₂	64,358	63,734	63,593	63,231	64,514	65,489	64,715	64,790	65,132	64,933
TiO ₂	0,043	0,111	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al ₂ O ₃	22,602	22,923	23,357	22,960	21,883	22,062	22,362	21,817	22,018	21,706
FeO	0,065	0,040	0,078	0,097	0,037	0,044	0,034	0,117	0,127	0,125
MnO	0,000	0,006	0,027	0,000	0,094	0,018	0,010	0,000	0,025	0,000
MgO	0,063	0,009	0,000	0,000	0,010	0,027	0,023	0,000	0,000	0,014
CaO	3,768	4,361	4,520	4,436	3,311	3,288	3,549	3,162	3,268	3,239
Na ₂ O	9,687	9,142	9,287	9,141	9,577	10,113	9,870	10,096	9,836	9,896
K ₂ O	0,211	0,205	0,095	0,108	0,151	0,159	0,091	0,171	0,153	0,159
Cr ₂ O ₃	0,001	0,034	0,079	0,056	0,000	0,000	0,024	0,000	0,033	0,000
V ₂ O ₃	0,054	0,031	0,000	0,000	0,000	0,000	0,043	0,000	0,062	0,000
NiO	0,010	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,003	0,000
TOTAL	100,86	100,61	101,04	100,03	99,58	101,20	100,72	100,15	100,66	100,07
T										
Si	2,821	2,802	2,787	2,797	2,855	2,855	2,836	2,855	2,854	2,862
Al	1,168	1,188	1,206	1,197	1,141	1,134	1,155	1,133	1,137	1,127
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	0,001	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,000	0,001	0,003	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
V	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000
ΣT	3,992	3,996	3,996	3,995	3,997	3,989	3,993	3,988	3,995	3,989
A										
Mg	0,004	0,001	0,000	0,000	0,001	0,002	0,002	0,000	0,000	0,001
Fe ²⁺	0,002	0,001	0,003	0,004	0,001	0,002	0,001	0,004	0,005	0,005
Mn	0,000	0,000	0,001	0,000	0,004	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000
Ca	0,177	0,205	0,212	0,210	0,157	0,154	0,167	0,149	0,153	0,153
Na	0,823	0,779	0,789	0,784	0,822	0,855	0,839	0,863	0,836	0,846
K	0,012	0,011	0,005	0,006	0,009	0,009	0,005	0,010	0,009	0,009
ΣA	1,019	0,999	1,010	1,004	0,993	1,021	1,014	1,026	1,003	1,013
% An	17,486	20,621	21,083	21,017	15,902	15,098	16,493	14,615	15,379	15,181
% Ab	81,348	78,225	78,389	78,373	83,235	84,033	83,003	84,444	83,764	83,932
% Or	1,166	1,154	0,528	0,609	0,864	0,869	0,504	0,941	0,857	0,887
Classif.	Oligoc	Oligoc	Oligoc	Oligoc	Oligoc	Oligoc	Oligoc	Oligoc	Oligoc	Oligoc

Tabela 2. Resultados analíticos para Anfibólios em gnaisses

Litotipo	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG
Amostra	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14
Ponto	1_06	1_07	1_08	1_13	1_14	1_15	2_01	2_02	2_03	2_04	2_14	2_15	2_16	3_04	3_05	3_06	4_14	4_15	4_16	5_01	5_02	5_03	
SiO ₂	41,28	41,49	41,59	41,35	41,14	41,38	41,74	42,19	41,99	41,56	42,12	42,27	41,44	41,15	41,54	41,51	40,81	41,20	41,96	41,21	40,90	40,86	
TiO ₂	1,25	1,70	1,39	0,96	1,33	1,64	1,82	1,22	1,43	1,21	1,08	1,69	0,80	1,85	1,44	1,30	1,25	1,56	1,42	1,02	1,12	1,18	
Al ₂ O ₃	10,78	10,82	11,00	11,66	10,94	10,72	11,07	10,92	10,88	11,01	10,67	10,19	11,03	10,84	10,65	10,96	10,87	10,65	10,69	10,33	10,78	10,84	
FeO	21,02	20,85	20,85	20,78	20,93	21,37	20,01	19,40	19,93	20,38	20,61	20,87	21,60	20,66	20,93	20,82	21,46	21,53	21,31	20,18	19,06	20,05	
MnO	0,54	0,67	0,67	0,42	0,64	0,64	0,67	0,58	0,60	0,47	0,58	0,59	0,41	0,85	0,54	0,69	0,64	0,60	0,55	0,59	0,61	0,50	
MgO	7,65	8,09	7,86	7,90	8,06	7,92	7,98	8,10	7,93	7,79	8,04	8,16	7,67	8,01	8,01	8,17	7,79	7,71	7,93	7,78	7,77	7,46	
CaO	11,08	10,98	11,13	11,39	11,37	11,01	11,24	11,17	11,37	11,27	11,28	11,25	11,22	11,17	11,29	11,18	11,03	11,04	10,91	10,15	10,55	10,91	
Na ₂ O	1,44	1,42	1,28	1,17	1,30	1,24	1,48	1,27	1,22	1,39	1,44	1,38	1,21	1,42	1,40	1,60	1,47	1,61	1,53	1,64	1,65	1,63	
K ₂ O	1,46	1,47	1,52	1,48	1,46	1,55	1,45	1,49	1,48	1,69	1,58	1,43	1,51	1,59	1,47	1,44	1,55	1,48	1,54	1,41	1,59	1,50	
F	0,21	0,17	0,21	0,18	0,30	0,19	0,20	0,25	0,20	0,19	0,08	0,29	0,12	0,30	0,20	0,21	0,20	0,39	0,34	0,25	0,16	0,23	
Cl	0,10	0,10	0,09	0,13	0,14	0,13	0,11	0,09	0,12	0,10	0,13	0,10	0,09	0,09	0,07	0,10	0,13	0,10	0,11	0,11	0,17	0,14	
Sc ₂ O ₃																							
Cr ₂ O ₃	0,00	0,07	0,13	0,10	0,00	0,12	0,00	0,04	0,02	0,03	0,01	0,02	0,04	0,18	0,15	0,06	0,04	0,02	0,13	0,13	0,09	0,02	
V ₂ O ₃	0,03	0,09	0,02	0,08	0,05	0,07	0,01	0,07	0,00	0,02	0,03	0,05	0,06	0,06	0,04	0,08	0,07	0,06	0,03	0,14	0,10	0,04	
NiO	0,05	0,01	0,06	0,05	0,01	0,00	0,08	0,01	0,00	0,00	0,04	0,07	0,04	0,01	0,03	0,06	0,02	0,01	0,00	0,19	0,00	0,05	
TOTAL	96,89	97,93	97,79	97,64	97,68	97,98	97,86	96,79	97,16	97,09	97,68	98,37	97,24	98,18	97,73	98,19	97,33	97,95	98,45	95,13	94,56	95,41	
Fe2O3	5,765	7,026	6,557	6,567	6,680	7,653	4,443	4,119	4,051	4,159	4,992	5,604	7,040	6,239	5,862	6,659	7,382	6,295	6,682	7,147	3,932	3,719	
FeO	15,835	14,524	14,946	14,867	14,923	14,488	16,017	15,696	16,284	16,641	16,120	15,826	15,265	15,043	15,654	14,832	14,822	15,863	15,300	13,749	15,524	16,701	
OH																							
OH	1,870	1,892	1,877	1,881	1,819	1,874	1,876	1,855	1,872	1,883	1,929	1,833	1,920	1,829	1,884	1,871	1,868	1,782	1,808	1,844	1,872	1,847	
Cl	0,025	0,026	0,023	0,034	0,037	0,033	0,029	0,024	0,031	0,025	0,034	0,026	0,024	0,024	0,018	0,027	0,033	0,027	0,028	0,030	0,046	0,037	
F	0,104	0,082	0,099	0,085	0,145	0,092	0,095	0,120	0,097	0,092	0,037	0,141	0,056	0,147	0,097	0,103	0,099	0,191	0,164	0,126	0,082	0,116	
ΣOH	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	
T																							
Si	6,393	6,338	6,363	6,318	6,311	6,327	6,387	6,498	6,458	6,422	6,455	6,444	6,373	6,298	6,369	6,333	6,298	6,343	6,401	6,476	6,467	6,437	
Al	1,607	1,662	1,637	1,682	1,689	1,673	1,613	1,502	1,542	1,578	1,545	1,556	1,627	1,702	1,631	1,667	1,702	1,657	1,599	1,524	1,533	1,563	
ΣT	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	
C																							
Al	0,361	0,286	0,347	0,418	0,289	0,258	0,384	0,479	0,431	0,427	0,382	0,275	0,371	0,253	0,293	0,304	0,275	0,274	0,324	0,389	0,475	0,449	
Ti	0,145	0,195	0,160	0,110	0,154	0,188	0,209	0,141	0,165	0,140	0,124	0,194	0,093	0,213	0,167	0,149	0,145	0,181	0,163	0,120	0,133	0,140	
Fe ³⁺	0,403	0,473	0,464	0,531	0,553	0,556	0,254	0,237	0,260	0,261	0,332	0,372	0,563	0,441	0,436	0,478	0,566	0,432	0,409	0,419	0,233	0,219	
V	0,004	0,011	0,003	0,009	0,007	0,009	0,001	0,008	0,000	0,002	0,003	0,007	0,008	0,008	0,004	0,010	0,008	0,007	0,004	0,018	0,013	0,005	
Cr	0,000	0,008	0,016	0,012	0,000	0,015	0,000	0,005	0,003	0,004	0,001	0,002	0,005	0,022	0,018	0,007	0,005	0,003	0,016	0,016	0,011	0,003	
Mg	1,767	1,842	1,794	1,799	1,843	1,806	1,820	1,858	1,819	1,794	1,836	1,853	1,758	1,828	1,830	1,857	1,792	1,769	1,805	1,823	1,831	1,751	
Ni	0,006	0,001	0,008	0,006	0,001	0,000	0,010	0,001	0,000	0,000	0,004	0,008	0,005	0,001	0,003	0,008	0,002	0,001	0,000	0,023	0,000	0,007	
Fe ²⁺	2,314	2,183	2,204	2,115	2,132	2,168	2,307	2,261	2,303	2,373	2,310	2,288	2,197	2,203	2,248	2,179	2,204	2,333	2,281	2,191	2,288	2,422	
Mn	0,000	0,000	0,005	0,000	0,021	0,000	0,014	0,008	0,019	0,000	0,007	0,000	0,000	0,031	0,002	0,008	0,001	0,000	0,000	0,000	0,015	0,004	
ΣC	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	
B																							
Mn	0,071	0,087	0,082	0,054	0,062	0,083	0,073	0,068	0,059	0,062	0,069	0,076	0,053	0,078	0,068	0,081	0,082	0,078	0,071	0,078	0,066	0,063	
Fe ²⁺	0,005	0,007	0,000	0,009	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,030	0,042	0,000	0,000	
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Ca	1,838	1,798	1,824	1,864	1,868	1,804	1,843	1,842	1,874	1,865	1,852	1,836	1,848	1,832	1,855	1,827	1,824	1,821	1,784	1,708	1,787	1,841	
Na	0,086	0,108	0,094	0,072	0,070	0,104	0,084	0,090	0,067	0,072	0,079	0,087	0,081	0,089	0,078	0,092	0,094	0,096	0,115	0,171	0,146	0,096	
ΣB	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	
A																							
Na	0,347	0,313	0,285	0,275	0,317	0,262	0,356	0,288	0,296	0,344	0,348	0,321	0,279	0,332	0,338	0,382	0,345	0,383	0,337	0,329	0,359	0,402	
K	0,289	0,287	0,296	0,288	0,286	0,302	0,284	0,293	0,289	0,332	0,310	0,278	0,297	0,310	0,287	0,280	0,306	0,291	0,299	0,283	0,321	0,301	
ΣA	0,64	0,60	0,58	0,56	0,60	0,56	0,64	0,58	0,59	0,68	0,66	0,60	0,58	0,64	0,62	0,66	0,65	0,67	0,64	0,61	0,68	0,70	
Fe/(Fe+Mg)	0,606	0,591	0,598	0,596	0,593	0,602	0,585	0,573	0,585	0,595	0,590	0,589	0,612	0,591	0,595	0,589	0,607	0,610	0,601	0,593	0,579	0,601	
Grupo composicional	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	

Tabela 2. Resultados analíticos para Anfibólios em gnaisses (continuação)

Litotipo	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM
Amostra	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2
Ponto	2_08	2_09	3_01	3_02	3_03	3_04	3_07	3_08	3_11	3_12	3_13	5_04	5_05	5_06	5_07	5_10	5_11	5_12	5_13	5_14	5_15	5_16
SiO ₂	39,86	39,59	38,95	38,90	40,00	40,27	39,77	40,25	40,21	39,84	39,05	39,86	41,62	41,81	39,29	40,00	40,33	40,25	39,20	37,36	39,81	39,28
TiO ₂	0,43	0,81	0,74	0,94	0,76	1,08	1,06	0,87	1,01	1,05	0,50	0,83	1,20	1,81	1,10	0,89	0,23	0,86	0,47	0,81	0,82	0,62
Al ₂ O ₃	10,84	10,74	11,15	11,32	10,02	10,02	10,95	10,59	10,84	10,77	11,20	10,87	9,43	9,68	10,69	9,99	10,12	10,56	10,83	10,10	10,69	11,47
FeO	28,49	27,98	29,20	28,11	27,86	27,94	28,63	29,11	27,87	28,40	27,55	28,37	28,05	27,75	28,23	28,61	29,15	29,05	29,51	28,68	28,59	28,42
MnO	0,56	0,59	0,42	0,68	0,50	0,52	0,39	0,48	0,69	0,61	0,42	0,50	0,61	0,58	0,65	0,64	0,55	0,50	0,61	0,43	0,67	0,66
MgO	3,63	3,73	3,23	3,36	3,75	3,85	3,51	3,74	3,61	3,51	3,50	3,59	3,96	3,95	3,31	3,84	3,72	3,88	3,70	3,38	3,46	3,33
CaO	10,51	10,81	10,90	10,84	10,87	10,93	10,60	10,85	10,97	11,02	10,81	10,88	10,69	10,76	10,88	10,79	10,76	11,08	10,92	10,69	10,84	10,82
Na ₂ O	1,49	1,37	1,44	1,30	1,46	1,34	1,44	1,30	1,32	1,34	1,42	1,47	1,54	1,53	1,35	1,41	1,20	1,19	1,42	1,30	1,38	1,53
K ₂ O	1,81	1,64	1,92	1,83	1,57	1,60	1,64	1,62	1,61	1,64	1,75	1,66	1,45	1,48	1,60	1,54	1,65	1,59	1,66	1,73	1,67	1,83
F	0,32	0,33	0,36	0,42	0,38	0,33	0,35	0,32	0,24	0,38	0,37	0,31	0,43	0,36	0,22	0,31	0,32	0,31	0,37	0,32	0,28	0,31
Cl	0,21	0,22	0,22	0,22	0,16	0,22	0,24	0,19	0,20	0,22	0,25	0,20	0,18	0,17	0,20	0,18	0,22	0,18	0,21	0,20	0,18	0,21
Sc ₂ O ₃																						
Cr ₂ O ₃	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,11	0,00	0,01	0,04	0,06	0,04	0,09	0,01	0,00	0,04	0,00	0,01
V ₂ O ₃	0,03	0,07	0,06	0,05	0,07	0,09	0,01	0,03	0,07	0,06	0,01	0,11	0,07	0,04	0,00	0,08	0,00	0,01	0,00	0,06	0,03	0,05
NiO	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,11	0,00	0,09	0,08	0,00	0,00	0,05	0,03	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00
TO TAL	98,2	97,9	98,55	97,96	97,41	98,22	98,61	99,36	98,64	98,92	96,94	98,73	99,32	99,96	97,57	98,35	98,36	99,47	98,88	95,12	98,44	98,54
Fe2O3	8,465	7,578	7,704	7,445	6,172	6,426	8,041	8,871	6,536	7,097	6,436	7,249	6,270	5,143	6,769	8,388	9,390	8,876	10,097	8,716	7,628	7,339
FeO	20,877	21,158	22,265	21,407	22,303	22,159	21,398	21,124	21,991	22,010	21,760	21,847	22,405	23,127	22,142	21,064	20,699	21,068	20,421	20,839	21,728	21,814
OH																						
OH	1,783	1,779	1,764	1,727	1,763	1,776	1,762	1,793	1,828	1,753	1,746	1,794	1,737	1,778	1,837	1,800	1,783	1,801	1,760	1,776	1,814	1,787
Cl	0,057	0,058	0,058	0,060	0,044	0,060	0,063	0,049	0,053	0,059	0,068	0,053	0,048	0,045	0,053	0,048	0,060	0,049	0,056	0,057	0,048	0,057
F	0,160	0,164	0,178	0,213	0,193	0,164	0,175	0,158	0,118	0,188	0,186	0,153	0,215	0,176	0,110	0,152	0,157	0,150	0,184	0,167	0,139	0,156
ΣOH	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
T																						
Si	6,314	6,284	6,187	6,195	6,392	6,376	6,276	6,290	6,326	6,275	6,273	6,283	6,517	6,495	6,271	6,322	6,365	6,273	6,174	6,145	6,294	6,219
Al	1,686	1,716	1,813	1,805	1,608	1,624	1,724	1,710	1,674	1,725	1,727	1,717	1,483	1,505	1,729	1,678	1,635	1,727	1,826	1,855	1,706	1,781
ΣT	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
C																						
Al	0,338	0,293	0,274	0,319	0,279	0,246	0,311	0,240	0,337	0,274	0,393	0,302	0,258	0,267	0,282	0,182	0,246	0,212	0,183	0,103	0,286	0,359
Ti	0,051	0,096	0,088	0,112	0,091	0,129	0,126	0,102	0,120	0,124	0,060	0,099	0,141	0,211	0,131	0,106	0,027	0,101	0,056	0,100	0,097	0,074
Fe ³⁺	0,649	0,637	0,680	0,644	0,512	0,526	0,611	0,740	0,524	0,608	0,547	0,592	0,396	0,299	0,581	0,712	0,816	0,794	0,935	0,887	0,637	0,602
V	0,004	0,009	0,007	0,007	0,009	0,011	0,002	0,004	0,009	0,008	0,001	0,014	0,009	0,005	0,000	0,010	0,000	0,001	0,000	0,008	0,004	0,007
Cr	0,000	0,003	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,014	0,000	0,001	0,005	0,008	0,004	0,011	0,001	0,000	0,006	0,000	0,001
Mg	0,857	0,882	0,764	0,797	0,892	0,909	0,827	0,871	0,846	0,825	0,839	0,843	0,925	0,914	0,786	0,904	0,876	0,901	0,868	0,830	0,815	0,785
Ni	0,003	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,014	0,000	0,012	0,010	0,000	0,000	0,007	0,004	0,000	0,000	0,002	0,003	0,000
Fe ²⁺	3,098	3,075	3,187	3,099	3,211	3,174	3,122	3,042	3,144	3,132	3,146	3,139	3,260	3,298	3,187	3,070	3,020	2,990	2,951	3,058	3,143	3,160
Mn	0,000	0,003	0,000	0,021	0,003	0,002	0,000	0,000	0,021	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,023	0,005	0,000	0,000	0,007	0,006	0,014	0,011
ΣC	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
B																						
Mn	0,074	0,076	0,056	0,070	0,065	0,068	0,052	0,064	0,071	0,066	0,057	0,066	0,081	0,076	0,065	0,081	0,074	0,067	0,074	0,054	0,076	0,077
Fe ²⁺	0,027	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	0,045	0,022	0,000	0,000	0,008	0,010	0,016	0,009	0,000	0,000	0,011	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	1,783	1,838	1,854	1,850	1,860	1,855	1,792	1,817	1,849	1,859	1,860	1,838	1,793	1,791	1,860	1,827	1,820	1,850	1,842	1,884	1,837	1,835
Na	0,116	0,086	0,078	0,080	0,074	0,077	0,111	0,098	0,081	0,075	0,074	0,086	0,110	0,124	0,075	0,092	0,096	0,080	0,084	0,062	0,087	0,088
ΣB	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
A																						
Na	0,343	0,336	0,365	0,320	0,379	0,334	0,331	0,297	0,322	0,333	0,368	0,364	0,358	0,337	0,342	0,340	0,272	0,281	0,348	0,351	0,336	0,383
K	0,365	0,331	0,389	0,371	0,320	0,324	0,330	0,322	0,324	0,329	0,359	0,334	0,289	0,293	0,327	0,310	0,332	0,316	0,333	0,362	0,336	0,369
ΣA	0,71	0,67	0,75	0,69	0,70	0,66	0,66	0,62	0,65	0,66	0,73	0,70	0,65	0,63	0,67	0,65	0,60	0,60	0,68	0,71	0,67	0,75
Fe/(Fe+Mg)	0,815	0,808	0,835	0,824	0,807	0,803	0,820	0,814	0,813	0,819	0,815	0,816	0,799	0,798	0,827	0,807	0,815	0,808	0,817	0,826	0,823	0,827
Grupo composicional</																						

Tabela 2. Resultados analíticos para Anfibólios em gnaisses (continuação)

Litotipo	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM
Amostra	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2
Ponto	5_26	5_27	5_28	5_29	6_04	6_03	6_02	6_01	7_01	7_02	7_03	7_04	7_15	7_16	7_17
SiO ₂	38,36	39,56	40,33	39,76	39,27	40,68	40,97	41,12	39,64	39,28	40,04	39,85	39,51	39,55	39,55
TiO ₂	0,30	0,67	0,75	1,00	0,42	0,94	1,61	1,38	0,57	1,02	1,09	0,59	0,84	0,68	0,68
Al ₂ O ₃	11,83	10,87	10,95	10,74	11,71	10,37	9,51	9,50	10,41	9,94	10,14	11,12	11,43	10,39	11,01
FeO	27,79	27,63	27,89	28,08	28,79	27,87	27,60	27,93	27,87	27,84	27,88	26,92	28,04	27,89	28,80
MnO	0,42	0,47	0,44	0,66	0,65	0,57	0,63	0,66	0,53	0,37	0,40	0,47	0,60	0,58	0,62
MgO	3,50	3,70	3,80	3,76	3,41	3,85	4,16	4,27	3,78	3,82	3,93	3,46	3,45	3,92	3,58
CaO	10,87	10,93	10,62	10,59	10,87	10,79	10,74	10,81	10,85	10,93	10,45	10,90	10,84	11,08	10,68
Na ₂ O	1,45	1,43	1,40	1,30	1,54	1,45	1,49	1,49	1,46	1,33	1,42	1,43	1,47	1,56	1,33
K ₂ O	1,93	1,64	1,65	1,70	1,68	1,47	1,53	1,45	1,71	1,60	1,54	1,80	1,78	1,61	1,83
F	0,40	0,49	0,30	0,34	0,35	0,41	0,39	0,34	0,40	0,25	0,37	0,38	0,43	0,34	0,39
Cl	0,26	0,21	0,19	0,23	0,23	0,15	0,13	0,15	0,21	0,18	0,17	0,23	0,24	0,17	0,23
Sc ₂ O ₃															
Cr ₂ O ₃	0,01	0,04	0,02	0,00	0,05	0,06	0,04	0,00	0,00	0,01	0,01	0,10	0,00	0,08	0,02
V ₂ O ₃	0,08	0,00	0,02	0,03	0,07	0,03	0,02	0,03	0,05	0,09	0,00	0,05	0,03	0,05	0,05
NiO	0,00	0,03	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,02	0,00	0,00	0,06	0,07	0,00	0,00
TOTAL	97,19	97,67	98,44	98,17	99,05	98,63	98,82	99,18	97,48	96,65	97,45	97,35	98,72	97,88	98,75
Fe₂O₃	7,315	6,393	7,694	8,439	8,612	6,832	6,104	7,118	6,776	6,516	7,773	4,457	6,974	6,604	9,041
FeO	21,203	21,873	20,968	20,482	21,040	21,719	22,108	21,530	21,770	21,978	20,884	22,906	21,769	21,951	20,662
OH															
OH	1,727	1,696	1,802	1,769	1,764	1,754	1,770	1,793	1,742	1,824	1,767	1,747	1,722	1,782	1,746
Cl	0,072	0,056	0,050	0,061	0,062	0,040	0,035	0,039	0,056	0,049	0,047	0,062	0,064	0,045	0,060
F	0,201	0,248	0,148	0,170	0,174	0,205	0,195	0,168	0,203	0,127	0,186	0,191	0,214	0,173	0,194
ΣOH	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
T															
Si	6,155	6,306	6,345	6,287	6,175	6,398	6,442	6,430	6,335	6,320	6,373	6,376	6,241	6,291	6,235
Al	1,845	1,694	1,655	1,713	1,825	1,602	1,558	1,570	1,665	1,680	1,627	1,624	1,759	1,709	1,765
ΣT	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
C															
Al	0,392	0,348	0,374	0,287	0,343	0,319	0,204	0,180	0,294	0,205	0,275	0,472	0,369	0,237	0,281
Ti	0,036	0,081	0,089	0,119	0,049	0,112	0,190	0,162	0,069	0,124	0,130	0,071	0,100	0,081	0,080
Fe ³⁺	0,665	0,546	0,563	0,662	0,740	0,507	0,408	0,524	0,579	0,597	0,569	0,320	0,555	0,607	0,748
V	0,010	0,000	0,002	0,004	0,008	0,003	0,003	0,003	0,006	0,011	0,000	0,006	0,004	0,006	0,007
Cr	0,001	0,005	0,003	0,000	0,007	0,008	0,005	0,000	0,000	0,001	0,001	0,012	0,000	0,009	0,002
Mg	0,837	0,879	0,891	0,885	0,799	0,903	0,974	0,995	0,900	0,916	0,932	0,826	0,812	0,930	0,841
Ni	0,000	0,004	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,002	0,000	0,000	0,008	0,008	0,000	0,000
Fe ²⁺	3,059	3,136	3,066	3,042	3,045	3,149	3,216	3,127	3,145	3,145	3,092	3,282	3,150	3,104	3,040
Mn	0,000	0,001	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,003	0,003	0,026	0,000
ΣC	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
B															
Mn	0,058	0,062	0,058	0,089	0,079	0,075	0,083	0,087	0,067	0,050	0,053	0,061	0,077	0,052	0,082
Fe ²⁺	0,004	0,000	0,040	0,008	0,000	0,010	0,006	0,002	0,000	0,004	0,049	0,000	0,000	0,000	0,010
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	1,868	1,866	1,790	1,793	1,832	1,817	1,810	1,810	1,857	1,884	1,782	1,869	1,835	1,889	1,804
Na	0,070	0,071	0,112	0,110	0,090	0,097	0,101	0,101	0,076	0,062	0,116	0,070	0,088	0,059	0,105
ΣB	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
A															
Na	0,380	0,370	0,316	0,289	0,380	0,345	0,354	0,351	0,377	0,351	0,323	0,373	0,361	0,420	0,302
K	0,395	0,334	0,331	0,343	0,338	0,294	0,307	0,288	0,348	0,328	0,313	0,368	0,359	0,328	0,369
ΣA	0,77	0,70	0,65	0,63	0,72	0,64	0,66	0,64	0,72	0,68	0,64	0,74	0,72	0,75	0,67
Fe/(Fe+Mg)	0,817	0,807	0,805	0,807	0,826	0,802	0,788	0,786	0,805	0,804	0,799	0,814	0,820	0,800	0,819
Grupo composicional	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca

Tabela 3. Resultados analíticos para Biotitas em gnaisses

Títolo	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	AG	
Amostra	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-7	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	RM-14	
Ponto	1_08	1_09	1_10	1_11	1_12	2_05	2_06	3_01	3_02	3_03	3_04	3_05	3_06	4_01	4_02	4_03	1_10	1_11	1_12	2_05	2_06	2_07	2_08	2_09	3_07	3_08	4_01	4_02	4_03	4_04	4_05	4_06
SiO ₂	35,34	35,12	35,11	35,36	34,92	35,31	34,91	35,07	35,12	34,86	35,17	34,96	35,23	35,01	35,38	35,29	35,72	36,40	35,97	35,75	36,01	35,73	35,80	36,13	36,06	35,68	36,16	36,18	35,61	35,98	36,01	36,01
TiO ₂	3,47	3,35	2,69	3,28	3,01	3,91	3,94	3,49	3,37	3,72	3,60	2,87	3,03	3,78	3,08	3,41	4,60	4,51	4,84	4,56	4,35	4,97	4,15	4,61	4,22	4,28	4,41	4,47	5,06	4,37	4,57	4,45
Al ₂ O ₃	14,54	15,14	15,19	15,32	15,48	15,05	14,98	15,27	15,06	15,12	15,23	14,91	14,58	14,92	15,10	14,94	13,93	13,89	13,86	13,90	13,75	14,02	14,07	13,78	13,87	13,83	14,23	14,32	14,06	14,28	14,06	14,24
FeO	24,19	24,79	24,97	24,50	23,99	24,00	23,57	24,79	23,99	24,23	24,83	24,62	25,36	24,53	24,06	24,85	21,26	21,46	21,88	21,50	22,09	21,99	22,44	22,38	21,31	21,34	20,87	21,05	21,31	20,98	21,37	21,42
MnO	0,49	0,50	0,52	0,38	0,35	0,51	0,52	0,42	0,56	0,35	0,44	0,49	0,53	0,69	0,53	0,37	0,27	0,13	0,31	0,35	0,28	0,31	0,31	0,30	0,39	0,21	0,24	0,31	0,42	0,25	0,30	0,41
MgO	6,86	7,05	7,08	6,84	7,31	6,31	6,49	7,01	7,00	7,17	6,97	6,83	7,00	6,63	6,95	7,12	9,84	9,86	9,89	9,52	9,48	9,53	9,46	9,43	9,74	9,90	9,76	9,78	9,77	10,36	10,28	10,43
CaO	0,02	0,00	0,00	0,04	0,04	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,17	0,00	0,07	0,07	0,03	0,06	0,11	0,05	0,06	0,02	0,09	0,17	0,12	0,07	0,10	0,05	0,11	0,08	0,09	0,06	0,04	0,05	0,06	0,09	0,12	0,11	0,11	0,06	0,12	0,14	0,06	0,06
K ₂ O	9,59	9,69	9,65	9,43	9,52	9,74	9,48	9,46	9,51	9,82	9,51	9,43	9,50	9,65	9,32	9,44	9,28	9,70	9,72	9,55	9,71	9,51	9,74	9,79	9,48	9,53	9,59	9,55	9,66	9,38	9,56	9,57
F	0,42	0,34	0,41	0,64	0,37	0,68	0,71	0,54	0,67	0,28	0,52	0,40	0,45	0,79	0,68	0,72	0,47	0,54	0,50	0,34	0,43	0,53	0,52	0,43	0,51	0,60	0,53	0,52	0,35	0,48	0,55	0,70
Cl	0,15	0,09	0,12	0,09	0,08	0,10	0,09	0,07	0,09	0,04	0,10	0,10	0,07	0,08	0,10	0,10	0,11	0,10	0,11	0,07	0,13	0,09	0,09	0,07	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,09
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,09	0,02	0,08	0,11	0,09	0,00	0,08	0,03	0,01	0,05	0,11	0,09	0,03	0,06	0,03	0,00	0,05	0,02	0,00	0,10	0,10	0,00	0,07	0,00	0,00	0,02
V ₂ O ₃	0,04	0,03	0,05	0,03	0,07	0,09	0,08	0,06	0,10	0,05	0,06	0,12	0,08	0,04	0,08	0,11	0,08	0,01	0,00	0,08	0,10	0,04	0,07	0,01	0,03	0,01	0,04	0,09	0,06	0,12	0,04	0,01
NiO	0,00	0,06	0,00	0,13	0,02	0,04	0,06	0,04	0,03	0,04	0,00	0,07	0,06	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00	0,03	0,05	0,06	0,00	0,04	0,04	0,06	0,00	0,08	0,01	0,00
TOTAL	95,3	96,2	95,9	96,1	95,2	95,8	95,0	96,3	95,6	95,8	96,6	95,0	96,1	96,2	95,4	96,5	95,8	96,8	97,2	95,8	96,4	96,8	96,8	97,1	95,8	95,7	96,2	96,5	96,6	96,5	96,9	97,4
OH	1,876	1,903	1,883	1,828	1,897	1,817	1,811	1,857	1,820	1,926	1,859	1,886	1,879	1,792	1,816	1,808	1,869	1,857	1,865	1,908	1,877	1,860	1,861	1,888	1,862	1,841	1,858	1,862	1,903	1,872	1,855	1,818
Cl	0,020	0,012	0,016	0,012	0,011	0,013	0,011	0,009	0,012	0,005	0,013	0,014	0,009	0,011	0,013	0,014	0,015	0,013	0,014	0,009	0,017	0,012	0,011	0,009	0,012	0,012	0,013	0,013	0,013	0,011	0,012	
F	0,104	0,085	0,101	0,160	0,092	0,170	0,178	0,134	0,168	0,069	0,128	0,101	0,111	0,197	0,171	0,178	0,116	0,130	0,121	0,083	0,106	0,128	0,128	0,104	0,126	0,147	0,130	0,126	0,084	0,117	0,134	0,170
ΣOH	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	
T	2,800	2,760	2,772	2,778	2,759	2,785	2,774	2,753	2,774	2,743	2,753	2,783	2,782	2,763	2,796	2,771	2,769	2,795	2,760	2,775	2,787	2,752	2,767	2,779	2,796	2,776	2,786	2,780	2,742	2,761	2,762	2,752
Si	1,200	1,240	1,228	1,222	1,241	1,215	1,226	1,247	1,226	1,257	1,247	1,217	1,218	1,237	1,204	1,229	1,231	1,205	1,240	1,225	1,213	1,248	1,233	1,221	1,204	1,224	1,214	1,220	1,258	1,239	1,238	1,248
Al	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
M	0,158	0,162	0,186	0,197	0,200	0,184	0,176	0,165	0,176	0,145	0,157	0,181	0,139	0,151	0,202	0,153	0,041	0,052	0,013	0,046	0,041	0,025	0,049	0,028	0,063	0,043	0,078	0,077	0,018	0,052	0,033	0,036
Ti	0,207	0,198	0,160	0,194	0,179	0,232	0,236	0,206	0,200	0,220	0,212	0,172	0,180	0,224	0,183	0,201	0,268	0,261	0,279	0,266	0,253	0,288	0,241	0,266	0,246	0,250	0,256	0,258	0,293	0,253	0,264	0,256
Cr	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,005	0,001	0,005	0,007	0,005	0,000	0,005	0,002	0,001	0,003	0,007	0,005	0,002	0,003	0,002	0,000	0,003	0,001	0,000	0,006	0,000	0,004	0,000	0,000	0,001	
V	0,002	0,002	0,003	0,002	0,004	0,006	0,005	0,003	0,006	0,003	0,004	0,008	0,005	0,002	0,005	0,007	0,005	0,000	0,000	0,005	0,006	0,003	0,005	0,001	0,002	0,001	0,002	0,006	0,003	0,008	0,003	0,001
Mg	0,810	0,826	0,833	0,801	0,861	0,742	0,769	0,821	0,824	0,841	0,814	0,811	0,824	0,780	0,819	0,834	1,136	1,128	1,131	1,101	1,094	1,094	1,090	1,081	1,126	1,148	1,121	1,121	1,185	1,175	1,188	
Ni	0,000	0,004	0,000	0,008	0,001	0,003	0,004	0,003	0,002	0,002	0,000	0,005	0,004	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000	0,002	0,003	0,003	0,000	0,003	0,003	0,004	0,000	0,005	0,000	0,000
Fe ²⁺	1,603	1,629	1,649	1,610	1,585	1,583	1,566	1,627	1,584	1,595	1,625	1,639	1,675	1,619	1,590	1,632	1,378	1,378	1,404	1,395	1,429	1,416	1,450	1,439	1,382	1,388	1,345	1,353	1,372	1,346	1,371	1,370
Mn	0,033	0,033	0,035	0,025	0,034	0,034	0,035	0,028	0,037	0,023	0,029	0,033	0,035	0,046	0,036	0,025	0,018	0,009	0,020	0,023	0,018	0,020	0,020	0,019	0,026	0,014	0,016	0,020	0,027	0,016	0,020	0,027
ΣM	2,81	2,85	2,87	2,84	2,85	2,78	2,80	2,85	2,84	2,84	2,85	2,85	2,87	2,83	2,84	2,86	2,85	2,83	2,85	2,84	2,84	2,85	2,86	2,84	2,84	2,85	2,83	2,84	2,84	2,87	2,87	2,88
I	0,002	0,000	0,000	0,003	0,003	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000	0,004	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
Ca	0,027	0,000	0,011	0,011	0,005	0,009	0,016	0,008	0,008	0,003	0,014	0,026	0,018	0,011	0,015	0,008	0,016	0,011	0,013	0,009	0,006	0,007	0,009	0,013	0,018	0,016	0,017	0,009	0,018	0,021	0,009	0,008
Na	0,969	0,971	0,972	0,945	0,959	0,980	0,961	0,947	0,958	0,985	0,950	0,958	0,957	0,971	0,939	0,946	0,917	0,950	0,952	0,946	0,959	0,935	0,961	0,961	0,937	0,946	0,943	0,936	0,949	0,918	0,935	0,933
K	1,00	0,97	0,98	0,96	0,97	0,99	0,98	0,96	0,97	0,99	0,96	0,99	0,98	0,98	0,95	0,95	0,93	0,96	0,96	0,96	0,97	0,94	0,97	0,98	0,96	0,96	0,95	0,97	0,94	0,94	0,94	0,94
ΣI																																
Mg/(Mg+Fe)	0,336	0,336	0,336	0,332	0,352	0,319	0,329	0,335	0,342	0,345	0,334	0,331	0,330	0,325	0,340	0,338	0,452	0,450	0,446	0,441	0,433	0,436	0,429	0,429	0,449	0,453	0,455	0,453	0,450	0,468	0,462	0,465

Tabela 3. Resultados analíticos para Biotitas em gnaisses (continuação)

Litotipo	AG	AG	AG	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM			
Amostra	RM-14	RM-14	RM-14	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2				
Ponto	4_07	4_08	4_09	2_12	2_13	3_09	3_10	5_01	5_03	5_08	5_09	5_17	5_18	5_19	5_23	5_24	5_25	6_05	6_06	6_07	6_08	6_12	6_13	6_14	6_15	7_08	7_09	7_10	7_11	7_12	7_13	7_14					
SiO ₂	36,06	35,29	35,92	34,51	34,83	33,91	35,22	35,20	34,97	34,58	35,26	35,40	35,47	34,79	35,22	35,16	35,05	34,41	35,22	35,24	35,12	34,54	34,97	34,80	35,12	34,42	35,34	35,20	34,88	34,69	34,54	35,05					
TiO ₂	4,17	4,33	4,88	1,62	2,16	1,93	2,07	1,78	2,12	2,09	2,79	2,14	2,31	1,53	2,74	2,05	2,16	1,78	2,37	2,15	2,24	2,78	2,83	3,04	3,33	2,05	2,43	2,75	3,16	2,94	2,82	2,32					
Al ₂ O ₃	14,06	14,09	14,27	14,82	14,66	14,14	14,31	14,87	14,53	15,07	14,72	14,14	14,35	14,51	14,31	14,61	14,24	14,17	14,94	14,99	14,94	14,39	14,97	14,94	14,30	14,59	14,68	14,64	14,34	14,53	14,72	14,67					
FeO	21,44	22,16	21,60	28,84	29,02	30,35	29,80	29,64	29,63	29,48	28,91	29,22	28,82	29,49	29,23	29,35	28,95	30,19	30,15	28,98	28,14	29,16	29,48	29,44	29,91	27,98	27,21	28,13	28,00	27,24	27,65	27,48					
MnO	0,27	0,21	0,40	0,31	0,35	0,23	0,39	0,25	0,42	0,28	0,38	0,48	0,40	0,40	0,31	0,42	0,39	0,41	0,28	0,39	0,40	0,43	0,46	0,38	0,33	0,20	0,36	0,31	0,41	0,33	0,22	0,38					
MgO	9,66	9,78	9,64	5,04	5,38	5,40	5,63	5,52	5,51	5,28	5,60	5,58	5,92	6,02	5,55	5,74	5,46	5,49	5,50	5,89	5,35	5,26	5,01	4,78	4,65	5,29	5,38	5,51	5,09	5,30	5,56	5,65					
CaO	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,05	0,05	0,03	0,00	0,00	0,04	0,02	0,04	0,02	0,00	0,04	0,04	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02					
Na ₂ O	0,14	0,15	0,16	0,08	0,14	0,09	0,06	0,10	0,08	0,05	0,03	0,13	0,12	0,13	0,02	0,10	0,08	0,02	0,07	0,05	0,10	0,08	0,06	0,05	0,07	0,07	0,06	0,00	0,06	0,03	0,09	0,07					
K ₂ O	9,33	9,51	9,47	9,28	9,19	8,68	9,29	9,32	9,64	9,24	9,46	9,52	9,31	9,34	9,54	9,51	9,52	9,32	9,54	9,43	9,59	9,47	9,62	9,42	9,62	9,24	9,31	9,42	9,47	9,42	9,18	9,35					
F	0,47	0,52	0,45	0,26	0,29	0,31	0,42	0,34	0,37	0,33	0,37	0,41	0,34	0,36	0,37	0,49	0,36	0,34	0,30	0,30	0,27	0,30	0,30	0,31	0,32	0,33	0,42	0,34	0,21	0,38	0,39	0,30					
Cl	0,07	0,12	0,09	0,16	0,11	0,13	0,15	0,11	0,15	0,13	0,15	0,19	0,14	0,13	0,13	0,13	0,15	0,16	0,17	0,16	0,16	0,17	0,15	0,15	0,14	0,13	0,14	0,11	0,14	0,15	0,14	0,16					
Cr ₂ O ₃	0,04	0,02	0,07	0,00	0,00	0,08	0,11	0,03	0,06	0,03	0,04	0,08	0,01	0,03	0,01	0,04	0,03	0,06	0,07	0,17	0,06	0,02	0,00	0,05	0,02	0,00	0,06	0,09	0,00	0,05	0,02	0,04					
V ₂ O ₅	0,08	0,12	0,10	0,05	0,06	0,03	0,11	0,00	0,02	0,02	0,06	0,01	0,07	0,00	0,01	0,00	0,09	0,00	0,04	0,06	0,08	0,07	0,06	0,00	0,03	0,11	0,07	0,07	0,02	0,01	0,07	0,03					
NiO	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,08	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,06	0,09	0,01	0,00	0,16	0,00	0,06	0,01	0,06	0,10	0,00	0,07	0,00	0,00					
TOTAL	95,8	96,3	97,0	95,0	96,2	95,3	97,6	97,2	97,6	96,6	97,8	97,3	97,3	96,8	97,5	97,7	96,5	96,4	98,7	97,9	96,5	96,7	98,1	97,3	97,9	94,5	95,6	96,7	95,8	95,2	95,4	95,5					
OH																																					
OH	1,876	1,856	1,879	1,911	1,911	1,902	1,875	1,900	1,888	1,899	1,887	1,871	1,897	1,891	1,889	1,861	1,890	1,890	1,904	1,904	1,911	1,901	1,907	1,902	1,902	1,897	1,874	1,900	1,928	1,884	1,881	1,902					
Cl	0,010	0,016	0,011	0,022	0,014	0,018	0,020	0,015	0,020	0,017	0,020	0,025	0,019	0,017	0,018	0,018	0,020	0,022	0,023	0,021	0,022	0,023	0,020	0,021	0,018	0,018	0,019	0,015	0,019	0,020	0,019	0,021					
F	0,114	0,128	0,109	0,067	0,074	0,080	0,105	0,085	0,093	0,084	0,093	0,103	0,084	0,091	0,093	0,122	0,090	0,088	0,073	0,075	0,068	0,076	0,074	0,077	0,080	0,085	0,106	0,085	0,053	0,096	0,100	0,076					
ΣOH	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00			
T																																					
Si	2,792	2,740	2,752	2,798	2,787	2,760	2,791	2,792	2,777	2,762	2,774	2,812	2,802	2,780	2,788	2,783	2,804	2,776	2,759	2,770	2,794	2,762	2,756	2,759	2,778	2,798	2,825	2,791	2,793	2,792	2,773	2,806					
Al	1,208	1,260	1,248	1,202	1,213	1,240	1,209	1,208	1,223	1,238	1,226	1,188	1,198	1,220	1,212	1,217	1,196	1,224	1,241	1,230	1,206	1,238	1,244	1,241	1,222	1,202	1,175	1,209	1,207	1,208	1,227	1,194					
ΣT	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00			
M																																					
Al	0,075	0,029	0,040	0,214	0,169	0,117	0,128	0,182	0,137	0,181	0,139	0,135	0,137	0,146	0,122	0,145	0,146	0,123	0,139	0,158	0,195	0,119	0,147	0,154	0,111	0,195	0,208	0,159	0,146	0,170	0,165	0,190					
Ti	0,243	0,253	0,281	0,099	0,130	0,118	0,124	0,106	0,127	0,126	0,165	0,128	0,137	0,092	0,163	0,122	0,130	0,108	0,139	0,127	0,134	0,167	0,168	0,181	0,198	0,125	0,146	0,164	0,190	0,178	0,170	0,140					
Cr	0,003	0,001	0,004	0,000	0,000	0,005	0,007	0,002	0,003	0,002	0,003	0,005	0,001	0,002	0,001	0,003	0,002	0,004	0,004	0,011	0,004	0,001	0,000	0,003	0,001	0,000	0,004	0,005	0,000	0,003	0,001	0,003					
V	0,005	0,007	0,006	0,003	0,004	0,002	0,007	0,000	0,000	0,001	0,001	0,004	0,001	0,004	0,000	0,001	0,000	0,006	0,000	0,003	0,004	0,005	0,004	0,004	0,000	0,002	0,007	0,005	0,005	0,002	0,001	0,004	0,002				
Mg	1,115	1,132	1,101	0,609	0,642	0,655	0,665	0,652	0,652	0,629	0,657	0,660	0,697	0,718	0,655	0,677	0,651	0,660	0,643	0,690	0,634	0,627	0,589	0,565	0,549	0,642	0,642	0,652	0,607	0,636	0,665	0,675					
Ni	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,003	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,004	0,006	0,001	0,000	0,010	0,000	0,004	0,001	0,004	0,006	0,000	0,004	0,000	0,000					
Fe ²⁺	1,389	1,439	1,384	1,955	1,942	2,066	1,976	1,966	1,967	1,969	1,903	1,941	1,903	1,971	1,935	1,943	1,936	2,036	1,975	1,905	1,872	1,950	1,943	1,952	1,978	1,902	1,819	1,865	1,875	1,834	1,857	1,840					
Mn	0,018	0,014	0,026	0,021	0,024	0,016	0,026	0,017	0,028	0,019	0,025	0,032	0,026	0,027	0,021	0,028	0,026	0,028	0,018	0,026	0,027	0,029	0,031	0,025	0,022	0,014	0,025	0,021	0,028	0,022	0,015	0,026					
ΣM	2,85	2,88	2,84	2,90	2,91	2,98	2,93	2,93	2,92	2,93	2,90	2,90	2,91	2,96	2,90	2,92	2,90	2,96	2,92	2,93	2,87	2,90	2,89	2,88	2,87	2,89	2,85	2,88	2,85	2,85	2,88	2,87	2,87	2,87			
I																																					
Ca	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,004	0,002	0,000	0,000	0,003	0,002	0,003	0,002	0,0033																							

Tabela 4. Resultados analíticos para Titanitas em gnaisses

Litotipo	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM
Amostra	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2
Ponto	2_01	2_02	2_03	3_05	3_06	6_D	6_E
SiO2	29,781	30,569	31,982	30,603	30,915	31,047	30,799
TiO2	35,95	37,88	35,782	37,048	35,711	37,229	36,771
Al2O3	2,495	2,611	2,639	2,165	2,493	2,44	2,263
FeO Total	1,2	1,283	1,42	1,152	1,27	1,176	1,235
MnO	0,062	0,127	0,127	0,087	0,21	0,126	0,159
MgO	0,03	0	0,062	0,000	0,000	0,022	0,044
CaO	27,676	27,434	27,066	27,889	28,186	27,907	27,178
Na2O	0,023	0,048	0	0,031	0,042	0,014	0,032
K2O	0,00	0,000	0,017	0,000	0,033	0	0,005
Cr2O3	0	0,058	0,048	0,000	0,01	0,012	0
V2O3	0,205	0,251	0,337	0,246	0,227	0,301	0,278
NiO	0	0,031	0,016	0,028	0	0	0
P2O5	0,000	0,000	0,000	0,000	0	0	0
F	0,815	0,961	1,063	0,778	0,81	0,984	0,811
Cl	0,014	0,002	0	0	0,005	0,006	0,009
TOTAL	98,251	101,255	100,559	100,027	99,912	101,264	99,584
Si	0,799	0,795	0,834	0,805	0,814	0,807	0,812
Ti	0,725	0,741	0,701	0,733	0,708	0,728	0,729
Al	0,079	0,080	0,081	0,067	0,077	0,075	0,070
Fe2+	0,027	0,028	0,031	0,025	0,028	0,026	0,027
Mn	0,001	0,003	0,003	0,002	0,005	0,003	0,004
Mg	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,002
Ca	0,795	0,764	0,756	0,786	0,795	0,777	0,767
Na	0,001	0,002	0,000	0,002	0,002	0,001	0,002
K	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000
Cr	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
V	0,004	0,004	0,006	0,004	0,004	0,005	0,005
Ni	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
P	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
F	0,069	0,079	0,088	0,065	0,067	0,081	0,068
Cl	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
TOTAL	2,502	2,498	2,503	2,488	2,503	2,502	2,486

Tabela 5. Resultados analíticos para Plagioclásios em gabros

Litotipo	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN
----------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Tabela 5. Resultados analíticos para Plagioclásios em gabros (continuação)

Litotipo	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN
----------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tabela 6. Resultados analíticos para Piroxênios em gabros

Litotipo	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN
Amostra	RM-8	RM-8	RM-8	RM-8	RM-8	RM-8	RM-8	RM-12	RM-12	RM-12	RM-12	RM-12	RM-12	RM-12	RM-12	RM-12	RM-12	RM-12	RM-12	RM-12	RM-12	RM-12	RM-12	RM-12	RM-12	RM-12	
Ponto	2_02	2_03	2_06	4_04	5_09	5_11	6_07	2_03	2_04	2_05	3_06	3_07	5_01	5_02	5_03	5_04	5_05	5_11	5_12	6_01	6_02	6_09	7_06	7_07	7_08	8_09	8_10
SiO ₂	51,63	51,40	50,98	52,40	52,14	52,38	52,20	51,79	52,36	51,63	53,26	51,13	52,45	52,38	50,23	52,03	50,95	52,13	53,22	52,53	52,27	53,16	51,43	51,48	51,35	51,15	51,18
TiO ₂	0,16	0,32	0,05	0,24	0,10	0,16	0,06	0,09	0,00	0,24	0,05	0,21	0,05	0,31	0,00	0,09	0,06	0,13	0,00	0,09	0,21	0,00	0,23	0,34	0,27	0,00	0,07
Al ₂ O ₃	1,05	0,93	0,87	0,99	1,07	0,81	1,06	1,32	1,01	1,50	1,01	0,87	1,35	1,28	1,20	0,74	1,22	1,39	1,11	1,17	1,30	0,97	0,54	0,62	0,69	0,77	0,75
FeO	11,97	12,53	12,85	13,34	12,54	11,93	12,21	9,03	8,02	8,78	8,45	10,51	8,83	10,09	25,76	26,75	10,16	8,92	8,56	9,03	10,15	8,92	27,49	27,32	27,45	25,79	26,05
MnO	0,38	0,38	0,25	0,30	0,14	0,24	0,27	0,16	0,18	0,19	0,18	0,22	0,24	0,27	0,52	0,67	0,17	0,20	0,18	0,26	0,28	0,15	0,57	0,56	0,65	0,59	0,56
MgO	11,42	11,28	11,48	12,07	11,26	11,45	11,25	13,56	14,08	13,80	13,49	13,56	13,24	13,34	17,38	18,55	13,43	13,72	13,86	13,46	13,59	13,80	18,05	18,08	17,84	18,90	18,70
CaO	22,18	21,76	21,71	19,74	21,86	22,23	21,95	22,93	23,14	22,71	22,85	22,33	22,68	21,20	0,37	0,40	21,95	22,31	22,55	22,70	21,33	22,97	0,33	0,44	0,42	0,38	0,43
Na ₂ O	0,32	0,30	0,31	0,28	0,25	0,29	0,42	0,36	0,29	0,36	0,35	0,24	0,33	0,31	0,04	0,05	0,33	0,34	0,29	0,27	0,37	0,30	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,07	0,00	0,17	0,00	0,06	0,05	0,21	0,07	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,05	0,00	0,05	0,02	0,00	0,12	0,00	0,02	0,12
V ₂ O ₅	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,03	0,03	0,07	0,08	0,03	0,00	0,07	0,07	0,08	0,01	0,00	0,04	0,06	0,05	0,00	0,04	0,04	0,03	0,00	0,00	0,03	0,08
NiO	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,04	0,03	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00
TOTAL	99,12	98,88	98,51	99,47	99,38	99,61	99,48	99,53	99,20	99,33	99,71	99,36	99,31	99,30	95,50	99,27	98,33	99,21	99,94	99,56	99,60	100,33	98,69	98,99	98,73	97,62	97,92
Fe ₂ O ₃	0,81	0,61	1,98	0,00	0,00	0,00	0,16	2,75	1,92	2,65	0,00	3,70	0,57	0,00	0,00	0,00	3,28	1,45	0,12	0,85	1,12	1,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	11,25	11,98	11,07	13,34	12,54	11,93	12,07	6,55	6,29	6,39	8,45	7,17	8,31	10,09	25,76	26,75	7,21	7,61	8,45	8,27	9,15	7,98	27,49	27,32	27,45	25,79	26,05
T																											
Si	1,97	1,97	1,96	2,00	1,99	1,99	1,99	1,94	1,96	1,93	1,99	1,93	1,97	1,98	2,01	2,00	1,94	1,96	1,98	1,97	1,96	1,97	2,00	1,99	1,99	1,99	1,99
Al	0,03	0,03	0,04	0,00	0,01	0,01	0,01	0,06	0,04	0,07	0,01	0,04	0,03	0,02	0,00	0,00	0,05	0,04	0,02	0,03	0,04	0,03	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
ΣT	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,97	2,00	2,00	2,01	2,00	1,99	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
M1																											
Al	0,02	0,01	0,00	0,04	0,04	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,03	0,06	0,03	0,00	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02
Fe ³⁺	0,02	0,02	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,05	0,07	0,00	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,08	0,04	0,00	0,02	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
V	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,65	0,65	0,66	0,69	0,64	0,65	0,64	0,76	0,79	0,77	0,75	0,76	0,74	0,75	0,94	0,96	0,76	0,77	0,77	0,75	0,76	0,76	0,97	0,97	0,96	0,97	0,97
Fe ²⁺	0,30	0,31	0,28	0,26	0,32	0,31	0,32	0,16	0,15	0,14	0,21	0,15	0,21	0,21	0,00	0,00	0,15	0,17	0,19	0,20	0,18	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣM1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
M2																											
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,08	0,07	0,12	0,12
Fe ²⁺	0,06	0,07	0,07	0,16	0,08	0,07	0,07	0,05	0,04	0,06	0,05	0,07	0,05	0,11	0,86	0,86	0,08	0,07	0,07	0,06	0,11	0,06	0,89	0,88	0,89	0,84	0,85
Mn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Ca	0,91	0,89	0,89	0,81	0,89	0,91	0,90	0,92	0,93	0,91	0,91	0,90	0,91	0,86	0,02	0,02	0,89	0,90	0,90	0,91	0,86	0,91	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Na	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣM2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
mg#	0,62	0,61	0,61	0,61	0,61	0,63	0,62	0,72	0,75	0,73	0,74	0,69	0,72	0,70	0,54	0,55	0,70	0,73	0,74	0,72	0,70	0,73	0,53	0,54	0,53	0,56	0,56
Classif.	Diops	Diops	Diops	Augita	Diops	Diops	Diops	Diops	Diops	Diops	Diops	Diops	Diops	Augita	Clinoens	Clinoens	Diops	Diops	Diops	Diops	Diops	Diops	Clinoens	Clinoens	Clinoens	Clinoens	Clinoens

Tabela 6. Resultados analíticos para Piroxênios em gabros (continuação)

Litotipo	GN	GN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN
Amostra	RS-4A	RS-4A	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34
Ponto	1_04	5_03	1_04	1_05	2_01	2_02	2_03	2_04	2_05	2_09	2_10	2_10A	2_14	2_15	3_20	3_21	4_07	5_02	5_05	5_06	5_07	6_01	6_03	6_09	6_10	7_05	7_06
SiO ₂	53,55	52,05	51,21	52,70	52,41	52,74	51,79	51,20	51,38	52,37	52,30	52,80	51,94	50,95	52,58	52,35	52,70	52,47	46,09	51,58	51,75	51,27	52,09	52,98	53,36	51,98	52,45
TiO ₂	0,15	0,71	0,02	0,00	0,00	0,00	0,10	0,12	0,00	0,11	0,17	0,05	0,16	0,37	0,23	0,01	0,05	0,09	6,18	0,00	0,00	0,03	0,11	0,44	0,10	0,13	0,13
Al ₂ O ₃	1,15	1,80	0,67	0,98	1,17	0,91	0,81	0,86	0,77	0,76	0,95	0,57	0,85	1,04	1,36	1,30	1,33	0,90	0,67	0,91	0,84	0,97	0,72	1,21	1,34	0,78	1,42
FeO	11,46	11,43	26,05	8,40	8,59	8,61	23,74	25,89	26,29	25,40	26,37	25,28	26,63	26,67	9,29	9,22	8,98	26,97	29,81	26,76	26,14	25,38	25,52	8,82	9,07	26,16	8,77
MnO	0,42	0,51	0,67	0,14	0,19	0,38	0,67	0,65	0,71	0,58	0,67	0,60	0,72	0,58	0,21	0,30	0,19	0,77	0,68	0,87	0,85	0,52	0,74	0,25	0,21	0,61	0,22
MgO	12,50	12,02	17,60	13,36	13,67	13,90	18,55	18,92	18,89	19,36	18,62	19,42	18,91	19,15	13,51	13,65	13,60	19,17	17,39	18,70	18,89	18,73	19,34	13,43	13,51	18,91	13,07
CaO	22,29	20,99	1,73	22,99	22,02	22,92	2,10	0,37	0,40	1,42	0,73	1,05	1,01	0,41	22,65	21,81	22,67	0,54	0,34	0,41	0,46	1,23	0,35	21,97	21,94	0,40	22,19
Na ₂ O	0,38	0,47	0,03	0,26	0,31	0,21	0,06	0,00	0,03	0,00	0,00	0,04	0,00	0,04	0,34	0,24	0,36	0,05	0,01	0,03	0,00	0,00	0,01	0,32	0,27	0,01	0,37
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,09	0,18	0,09	0,00	0,10	0,05	0,05	0,04	0,08	0,04	0,14	0,04	0,18	0,00	0,12	0,08	0,09	0,14	0,00	0,22	0,10	0,09	0,00	0,00	0,15
V ₂ O ₅	0,05	0,02	0,05	0,04	0,00	0,01	0,08	0,00	0,04	0,00	0,04	0,03	0,00	0,00	0,06	0,05	0,06	0,02	0,05	0,02	0,01	0,05	0,00	0,08	0,04	0,00	0,02
NiO		0,00	0,00	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,04	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,02	0,09	0,00	0,04	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00
TOTAL	101,96	100,01	98,10	99,06	98,50	99,67	98,00	98,05	98,56	100,08	99,93	99,91	100,38	99,26	100,42	98,93	100,05	101,07	101,39	99,42	98,94	98,43	98,99	99,59	99,86	98,99	98,79
Fe₂O₃	0,38	0,00	0,00	0,01	0,20	1,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,95	1,25	0,33	1,20	0,05	1,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	11,13	11,43	26,05	8,39	8,41	7,58	23,74	25,89	26,29	25,40	26,37	25,28	26,50	25,82	8,17	8,92	7,90	26,93	28,40	26,76	26,14	25,38	25,52	8,82	9,07	26,16	8,77
T																											
Si	1,98	1,96	2,00	1,98	1,98	1,97	2,00	1,99	1,98	1,99	2,00	2,00	1,97	1,95	1,96	1,97	1,96	1,98	1,78	1,98	1,99	1,98	2,00	1,99	1,99	2,00	1,98
Al	0,02	0,04	0,00	0,02	0,02	0,03	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,03	0,05	0,04	0,03	0,04	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02
ΣT	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,81	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
M1																											
Al	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,01	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,01	0,00	0,01	0,03	0,02	0,02	0,00	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	0,05	0,03	0,05
Fe ³⁺	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Cr	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
V	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,69	0,68	0,97	0,75	0,77	0,77	0,95	0,97	0,98	0,98	0,95	0,97	0,98	0,96	0,75	0,77	0,76	0,98	0,81	0,98	0,97	0,97	0,96	0,75	0,75	0,96	0,74
Fe ²⁺	0,27	0,26	0,00	0,22	0,19	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,19	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,19	0,00	0,21	0,21
ΣM1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
M2																											
Mg	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,11	0,12	0,11	0,12	0,11	0,13	0,09	0,13	0,00	0,00	0,00	0,10	0,19	0,09	0,11	0,11	0,14	0,00	0,00	0,12	0,00
Fe ²⁺	0,08	0,10	0,85	0,05	0,08	0,06	0,77	0,84	0,85	0,81	0,84	0,80	0,84	0,83	0,07	0,09	0,06	0,85	0,92	0,86	0,84	0,82	0,82	0,09	0,10	0,84	0,07
Mn	0,01	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01
Ca	0,88	0,85	0,07	0,93	0,89	0,92	0,09	0,02	0,02	0,06	0,03	0,04	0,04	0,02	0,90	0,88	0,90	0,02	0,01	0,02	0,02	0,05	0,01	0,88	0,88	0,02	0,90
Na	0,03	0,03	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,03	0,03
ΣM2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
mg#	0,63	0,64	0,54	0,74	0,73	0,73	0,58	0,56	0,55	0,57	0,55	0,57	0,55	0,56	0,72	0,72	0,73	0,55	0,50	0,55	0,56	0,56	0,57	0,73	0,72	0,56	0,72
Classif.	Augita	Diops	Clinoen	Diops	Diops	Diops	Clinoen	Clinoen	Clinoen	Clinoen	Clinoen	Clinoen	Clinoen	Clinoen	Diops	Diops	Diops	Clinoen	Clinoen	Clinoen	Clinoen	Clinoen	Clinoen	Diops	Diops	Clinoen	Diops

Tabela 7. Resultados analíticos para Anfibólios em gabros

Litotipo	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN
Amostra	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34
Ponto	1_01	1_02	1_06	1_10	1_11	1_12	1_16	2_05A	3_03	3_04	3_05	3_06	3_08	3_11	3_13	3_14
SiO ₂	45,41	44,18	44,60	43,60	44,19	43,09	43,37	44,82	43,61	43,39	43,76	43,99	44,08	43,91	44,02	43,31
TiO ₂	1,79	1,48	1,21	2,07	1,79	1,20	1,56	1,13	1,58	1,98	1,34	1,47	1,64	1,51	1,45	1,60
Al ₂ O ₃	9,54	9,45	9,65	10,16	10,74	10,73	10,19	10,06	10,62	10,48	10,07	10,54	10,18	10,66	10,20	10,65
FeO	14,32	15,04	14,95	15,69	15,65	15,19	14,59	15,35	14,73	14,62	14,66	14,66	14,76	14,92	14,78	15,01
MnO	0,10	0,18	0,15	0,10	0,17	0,26	0,14	0,17	0,13	0,06	0,20	0,18	0,18	0,12	0,15	0,17
MgO	11,85	11,42	11,61	11,21	10,87	10,71	11,10	11,77	11,21	11,10	11,26	11,14	10,88	11,41	11,18	10,95
CaO	11,48	11,66	11,46	11,51	11,52	11,77	11,56	11,63	11,39	11,41	11,37	11,49	11,43	11,46	11,40	11,29
Na ₂ O	1,02	1,21	1,09	1,28	1,25	1,26	1,18	1,10	1,19	1,23	1,22	1,17	1,31	1,34	1,23	1,37
K ₂ O	1,00	1,00	0,94	1,11	1,17	1,18	1,07	1,00	1,03	1,07	1,17	1,11	1,06	1,13	1,12	1,21
F	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Cl	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,04	0,02	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00
Cr ₂ O ₃	0,00	0,07	0,01	0,10	0,30	0,26	0,09	0,11	0,14	0,14	0,22	0,08	0,17	0,10	0,16	0,17
V ₂ O ₃	0,16	0,10	0,09	0,18	0,21	0,19	0,21	0,13	0,13	0,14	0,21	0,19				
NiO	0,00	0,03	0,00	0,08	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,06	0,11	0,05	0,00	0,02	0,00
TOTAL	96,68	95,81	95,86	97,09	97,86	95,84	95,10	97,33	95,78	95,64	95,54	96,12	95,76	96,57	95,75	95,73
Fe2O3	3,25	3,14	4,47	4,36	3,60	2,64	2,72	5,48	3,97	2,92	3,59	3,26	1,95	3,93	3,16	3,37
FeO	11,39	12,21	10,93	11,76	12,41	12,81	12,15	10,42	11,16	11,99	11,42	11,72	13,00	11,39	11,94	11,98
OH																
OH	2,00	2,00	1,95	2,00	2,00	2,00	1,99	2,00	1,99	1,99	2,00	2,00	2,00	2,00	1,98	2,00
Cl	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
F	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
ΣOH	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
T																
Si	6,75	6,68	6,71	6,53	6,55	6,54	6,60	6,64	6,57	6,56	6,63	6,61	6,66	6,57	6,65	6,56
Al	1,25	1,32	1,29	1,47	1,45	1,46	1,40	1,36	1,43	1,44	1,37	1,39	1,34	1,43	1,35	1,44
ΣT	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
C																
Al	0,42	0,36	0,42	0,32	0,43	0,46	0,43	0,39	0,46	0,43	0,42	0,48	0,48	0,45	0,46	0,46
Ti	0,20	0,17	0,14	0,23	0,20	0,14	0,18	0,13	0,18	0,22	0,15	0,17	0,19	0,17	0,16	0,18
Fe ³⁺	0,18	0,18	0,25	0,24	0,20	0,16	0,16	0,35	0,22	0,17	0,20	0,18	0,11	0,22	0,18	0,19
V	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr	0,00	0,01	0,00	0,01	0,04	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02
Mg	2,62	2,57	2,60	2,50	2,40	2,43	2,52	2,60	2,52	2,50	2,54	2,50	2,45	2,55	2,52	2,47
Ni	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	1,56	1,69	1,58	1,66	1,71	1,76	1,68	1,50	1,59	1,64	1,62	1,63	1,75	1,60	1,66	1,68
ΣC	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
B																
Mn	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Fe ²⁺	0,04	0,03	0,05	0,06	0,04	0,01	0,03	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,01	0,05	0,03	0,03
Ca	1,83	1,89	1,85	1,85	1,83	1,91	1,89	1,84	1,84	1,85	1,84	1,85	1,85	1,84	1,84	1,83
Na	0,12	0,06	0,08	0,08	0,11	0,05	0,07	0,08	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12	0,10	0,11	0,11
ΣB	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
A																
Na	0,17	0,29	0,23	0,29	0,25	0,33	0,28	0,23	0,25	0,26	0,26	0,24	0,27	0,29	0,25	0,29
K	0,19	0,19	0,18	0,21	0,22	0,23	0,21	0,19	0,20	0,21	0,23	0,21	0,20	0,21	0,22	0,23
ΣA	0,36	0,48	0,41	0,50	0,47	0,55	0,49	0,42	0,45	0,46	0,49	0,46	0,47	0,50	0,47	0,52
Mg/(Mg+Fe)	0,65	0,62	0,65	0,63	0,61	0,60	0,62	0,67	0,64	0,62	0,64	0,63	0,60	0,64	0,63	0,62
mg#	0,59	0,57	0,58	0,56	0,55	0,55	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,56	0,57	0,57	0,56
Grupo composicional	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca

Tabela 8. Resultados analíticos para Biotitas em gabros

Litotipo	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN
Amostra	RM-8	RM-8	RM-8	RM-8	RM-8	RM-8	RM-8	RM-8	RM-8	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A
Ponto	2_04	2_05	2_08	5_03	5_04	5_05	6_08	6_09	6_10	1_06	1_07	1_08	2_01	2_02	2_03	2_05	3_01	3_02	3_07	3_08	3_09	5_01
SiO ₂	35,17	35,13	35,85	35,64	35,87	35,52	36,01	36,08	36,15	36,68	36,80	37,22	36,00	36,16	36,82	36,61	36,37	36,20	36,60	36,95	36,49	36,91
TiO ₂	5,49	6,11	5,90	5,95	5,57	5,82	4,98	6,16	5,84	4,66	5,74	4,73	4,53	5,55	3,98	4,98	4,93	4,18	4,68	4,61	4,08	5,21
Al ₂ O ₃	13,53	13,76	13,56	13,71	13,53	13,67	13,71	13,65	13,99	13,85	13,88	14,16	13,50	13,73	14,60	14,10	13,54	13,61	14,02	14,22	13,82	13,71
FeO	19,99	20,63	20,15	20,35	20,48	21,62	20,20	20,40	20,71	20,20	18,37	18,71	18,59	18,69	17,63	18,92	18,83	19,35	18,89	18,59	19,31	19,43
MnO	0,04	0,06	0,00	0,07	0,03	0,07	0,14	0,10	0,13	0,13	0,20	0,15	0,05	0,14	0,03	0,09	0,07	0,10	0,07	0,00	0,13	0,21
MgO	9,72	9,35	9,91	9,37	9,69	9,36	9,59	9,54	9,65	10,61	11,51	11,70	11,08	11,28	11,81	11,14	10,73	10,83	11,22	11,49	11,33	11,12
CaO	0,00	0,01	0,05	0,05	0,01	0,02	0,04	0,04	0,02	0,08	0,05	0,07	0,02	0,00	0,05	0,02	0,00	0,06	0,02	0,05	0,01	0,00
Na ₂ O	0,00	0,01	0,02	0,05	0,04	0,05	0,09	0,09	0,05	0,07	0,10	0,13	0,08	0,09	0,03	0,10	0,07	0,04	0,10	0,13	0,11	0,11
K ₂ O	9,69	9,41	9,19	9,65	9,61	9,47	9,70	9,55	9,66	9,56	9,71	9,48	9,62	9,55	9,41	9,35	9,51	9,37	9,53	9,50	8,94	9,51
F	0,23	0,36	0,36	0,35	0,38	0,25	0,39	0,40	0,40	0,43	0,49	0,51	0,37	0,45	0,45	0,39	0,45	0,46	0,51	0,45	0,45	0,34
Cl	0,03	0,07	0,02	0,04	0,07	0,05	0,06	0,05	0,04	0,18	0,21	0,20	0,18	0,21	0,21	0,20	0,16	0,20	0,19	0,17	0,18	0,17
Cr ₂ O ₃	0,09	0,06	0,00	0,04	0,02	0,00	0,07	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,04
V ₂ O ₃	0,14	0,13	0,20	0,13	0,12	0,07	0,12	0,24	0,16	0,13	0,12	0,13	0,16	0,04	0,13	0,05	0,12	0,07	0,10	0,04	0,10	0,07
NiO	0,00	0,00	0,04	0,02	0,00	0,05	0,03	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,09	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
TOTAL	94,11	95,07	95,25	95,39	95,41	96,01	95,13	96,31	96,78	96,58	97,22	97,18	94,28	95,91	95,20	95,93	94,82	94,51	95,86	96,17	95,02	96,80
OH																						
OH	1,94	1,90	1,91	1,91	1,90	1,93	1,90	1,90	1,90	1,87	1,86	1,85	1,89	1,86	1,87	1,88	1,87	1,86	1,85	1,87	1,87	1,90
Cl	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
F	0,06	0,09	0,09	0,09	0,09	0,06	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12	0,12	0,09	0,11	0,11	0,09	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11	0,08
ΣOH	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
T																						
Si	2,76	2,74	2,77	2,76	2,78	2,75	2,80	2,77	2,76	2,80	2,77	2,80	2,80	2,77	2,81	2,79	2,81	2,82	2,80	2,80	2,81	2,80
Al	1,24	1,26	1,23	1,24	1,22	1,25	1,20	1,23	1,24	1,20	1,23	1,20	1,20	1,23	1,19	1,21	1,19	1,18	1,20	1,20	1,19	1,20
ΣT	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,99	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
M																						
Al	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,05	0,00	0,02	0,05	0,00	0,06	0,04	0,01	0,12	0,06	0,05	0,06	0,06	0,08	0,07	0,02
Ti	0,32	0,36	0,34	0,35	0,32	0,34	0,29	0,36	0,34	0,27	0,33	0,27	0,27	0,32	0,23	0,29	0,29	0,24	0,27	0,26	0,24	0,30
Cr	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
V	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Mg	1,14	1,09	1,14	1,08	1,12	1,08	1,11	1,09	1,10	1,21	1,29	1,31	1,29	1,29	1,34	1,27	1,24	1,26	1,28	1,30	1,30	1,26
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	1,31	1,34	1,30	1,32	1,33	1,40	1,31	1,31	1,32	1,29	1,16	1,18	1,21	1,20	1,13	1,21	1,22	1,26	1,21	1,18	1,24	1,23
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
ΣM	2,80	2,80	2,81	2,78	2,80	2,83	2,79	2,78	2,79	2,83	2,80	2,83	2,82	2,82	2,83	2,83	2,80	2,84	2,83	2,82	2,87	2,82
I																						
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
K	0,97	0,93	0,91	0,95	0,95	0,93	0,96	0,93	0,94	0,93	0,93	0,91	0,96	0,93	0,92	0,91	0,94	0,93	0,93	0,92	0,88	0,92
ΣI	0,97	0,94	0,91	0,96	0,96	0,94	0,98	0,95	0,95	0,95	0,95	0,93	0,97	0,95	0,93	0,92	0,95	0,95	0,94	0,94	0,90	0,93
Mg/(Mg+Fe)	0,46	0,45	0,47	0,45	0,46	0,44	0,46	0,45	0,45	0,48	0,53	0,53	0,52	0,52	0,54	0,51	0,50	0,50	0,51	0,52	0,51	0,50
mg#	0,46	0,45	0,47	0,45	0,46	0,43	0,46	0,45	0,45	0,48	0,52	0,53	0,51	0,52	0,54	0,51	0,50	0,50	0,51	0,52	0,51	0,50

Tabela 8. Resultados analíticos para Biotitas em gabros (continuação)

Litotipo	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN
Amostra	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34
Ponto	5 02	6 01	6 02	6 03	7 01	7 02	7 03	2 13	3 09	1 13	1 14	1 15	3 10	3 12	3 16	3 17	3 18	3 19	4 04	4 05	4 11	4 12
SiO ₂	36,73	36,31	37,09	36,67	36,17	36,22	36,29	36,45	35,56	36,24	36,89	36,34	36,17	35,93	36,69	35,64	36,57	36,03	35,98	36,30	36,44	36,09
TiO ₂	5,09	5,29	4,71	4,60	5,33	5,23	5,01	4,48	5,32	5,72	4,87	4,83	5,91	6,08	4,82	5,69	5,63	6,12	5,23	6,14	4,81	5,63
Al ₂ O ₃	13,89	13,52	13,06	13,66	13,50	13,35	13,89	13,36	13,27	14,24	14,23	14,33	13,87	13,98	14,11	13,83	14,06	13,87	13,89	13,78	14,05	13,95
FeO	19,93	19,76	20,14	19,95	18,98	18,70	19,07	18,40	18,30	16,44	17,29	17,01	16,88	17,00	17,08	17,41	18,08	18,09	17,53	17,39	17,49	17,88
MnO	0,08	0,16	0,11	0,13	0,03	0,09	0,06	0,12	0,13	0,08	0,00	0,00	0,02	0,07	0,06	0,00	0,00	0,11	0,10	0,04	0,16	0,05
MgO	11,00	11,31	10,98	11,29	11,00	10,45	11,18	11,25	10,68	11,94	12,09	12,52	11,87	11,80	11,69	11,63	11,78	11,74	12,00	12,13	12,17	11,89
CaO	0,01	0,00	0,09	0,03	0,03	0,02	0,02	0,00	0,01	0,25	0,00	0,00	0,06	0,01	0,00	0,02	0,00	0,03	0,01	0,00	0,01	0,01
Na ₂ O	0,06	0,11	0,07	0,05	0,05	0,14	0,12	0,13	0,11	0,03	0,06	0,06	0,05	0,08	0,03	0,05	0,05	0,01	0,04	0,11	0,16	0,08
K ₂ O	9,60	9,66	9,22	9,67	9,63	9,58	9,51	9,61	9,40	9,70	9,73	9,46	9,30	9,39	9,33	9,64	9,50	9,31	9,67	9,52	9,45	9,45
F	0,46	0,53	0,47	0,44	0,40	0,38	0,45	0,52	0,40	0,03	0,00	0,00	0,00	0,09	0,03	0,06	0,02	0,01	0,06	0,03	0,01	0,00
Cl	0,18	0,17	0,18	0,16	0,20	0,20	0,21	0,23	0,21	0,02	0,03	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,04	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02
Cr ₂ O ₃	0,00	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,08	0,01	0,15	0,32	0,26	0,08	0,32	0,19	0,20	0,20	0,23	0,33	0,24	0,26	0,23
V ₂ O ₃	0,16	0,03	0,12	0,13	0,00	0,04	0,05	0,11	0,16	0,20	0,17	0,21	0,15	0,23	0,28	0,18	0,17	0,16	0,22	0,20	0,29	0,19
NiO	0,05	0,00	0,00	0,02	0,03	0,03	0,01	0,05	0,00	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,00	0,09	0,08	0,16	0,06	0,06	0,05	0,00
TOTAL	97,23	96,86	96,24	96,78	95,39	94,42	95,88	94,77	93,56	95,04	95,76	95,03	94,39	94,96	94,32	94,44	96,17	95,87	95,14	95,95	95,37	95,45
OH																						
OH	1,87	1,85	1,86	1,87	1,88	1,88	1,86	1,84	1,87	1,99	2,00	2,00	2,00	1,98	1,99	1,98	1,99	2,00	1,98	1,99	2,00	2,00
Cl	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,11	0,13	0,11	0,11	0,10	0,09	0,11	0,13	0,10	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
ΣOH	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
T																						
Si	2,78	2,77	2,84	2,79	2,79	2,82	2,78	2,82	2,79	2,75	2,79	2,76	2,76	2,74	2,81	2,74	2,76	2,73	2,75	2,74	2,77	2,74
Al	1,22	1,21	1,16	1,21	1,21	1,18	1,22	1,18	1,21	1,25	1,21	1,24	1,24	1,26	1,19	1,25	1,24	1,24	1,25	1,23	1,23	1,25
ΣT	4,00	3,98	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,99	4,00	4,00	4,00	3,97	4,00	3,97	4,00	3,99
M																						
Al	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01	0,04	0,03	0,04	0,02	0,03	0,05	0,04	0,01	0,00	0,08	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
Ti	0,29	0,30	0,27	0,26	0,31	0,31	0,29	0,26	0,31	0,33	0,28	0,28	0,34	0,35	0,28	0,33	0,32	0,35	0,30	0,35	0,28	0,32
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
V	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Mg	1,24	1,29	1,25	1,28	1,26	1,21	1,28	1,30	1,25	1,35	1,36	1,42	1,35	1,34	1,33	1,33	1,33	1,33	1,37	1,37	1,38	1,35
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	1,26	1,26	1,29	1,27	1,22	1,22	1,22	1,19	1,20	1,04	1,09	1,08	1,08	1,08	1,09	1,12	1,14	1,15	1,12	1,10	1,11	1,14
Mn	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
ΣM	2,83	2,86	2,84	2,85	2,81	2,78	2,83	2,82	2,80	2,78	2,82	2,85	2,80	2,81	2,81	2,81	2,82	2,86	2,83	2,85	2,84	2,84
I																						
Ca	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,01
K	0,93	0,94	0,90	0,94	0,95	0,95	0,93	0,95	0,94	0,94	0,92	0,91	0,91	0,91	0,91	0,95	0,91	0,90	0,94	0,92	0,92	0,92
ΣI	0,94	0,96	0,92	0,95	0,96	0,97	0,95	0,97	0,96	0,97	0,95	0,93	0,92	0,93	0,91	0,95	0,92	0,90	0,95	0,93	0,94	0,93
Mg/(Mg+Fe)	0,50	0,51	0,49	0,50	0,51	0,50	0,51	0,52	0,51	0,56	0,55	0,57	0,56	0,55	0,55	0,54	0,54	0,54	0,55	0,55	0,55	0,54
mg#	0,49	0,50	0,49	0,50	0,51	0,50	0,51	0,52	0,51	0,56	0,55	0,57	0,56	0,55	0,55	0,54	0,54	0,53	0,55	0,55	0,55	0,54

Tabela 9. Resultados analíticos para Ilmenitas em gabros

Litotipo	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	HGN	HGN	HGN	HGN
Amostra	RM 8	RM 8	RM 8	RM 8	RM 8	RM-12	RM-12	RM-12	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34
Ponto	2_13	3_02	3_07	6_11	6_12	5_10	6_12	6_13	1_09	1_12	1_13	2_07	2_08	3_03	3_04	4_01	4_02	4_03	5_07	7_10	7_11	7_12	1_17	1_18	3_25	3_26
SiO ₂	0,05	0,04	0,08	0,05	0,00	0,04	0,04	0,18	0,03	0,07	0,02	0,00	0,05	0,02	0,01	0,03	0,03	0,09	0,06	0,04	0,08	0,02	0,02	0,01	0,05	0,13
TiO ₂	54,19	54,40	52,18	53,92	53,96	52,08	50,69	50,71	51,11	52,76	48,65	50,85	50,30	51,79	52,35	50,52	53,18	50,82	50,99	51,85	52,20	51,51	52,01	49,42	49,39	50,02
Al ₂ O ₃	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,00	0,00	0,85	0,05	0,01	0,01	0,00	0,04	0,03	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,13	0,03	0,00	0,00	0,00	0,20
FeO	43,01	44,76	45,34	46,13	47,00	44,79	46,21	45,10	44,68	46,38	45,08	46,10	45,25	46,07	46,89	46,07	46,96	45,82	46,46	44,89	45,59	46,95	45,99	46,64	47,15	46,71
MnO	1,17	0,97	0,83	0,87	1,12	0,52	0,50	0,49	1,44	1,49	1,48	1,59	1,57	1,59	1,40	1,40	1,47	1,45	1,42	1,34	1,20	1,41	1,07	1,26	1,33	0,71
MgO	0,03	0,04	0,00	0,04	0,08	0,39	0,20	0,17	0,05	0,01	0,04	0,06	0,02	0,01	0,06	0,03	0,02	0,06	0,00	0,03	0,00	0,03	0,06	0,07	0,06	0,17
CaO	0,03	0,01	0,06	0,03	0,02	0,00	0,05	0,08	0,10	0,01	0,00	0,06	0,00	0,00	0,03	0,07	0,01	0,05	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,05
Na ₂ O	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,06	0,05	0,01	0,02	0,07	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,01	0,00
K ₂ O	0,12	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
Cl	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
Cr ₂ O ₃	0,00	0,07	0,00	0,07	0,10	0,00	0,03	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,02	0,02	0,10	0,00	0,05	0,01	0,05	0,00	0,00	0,09	0,08	0,10	0,00	0,00
V ₂ O ₃	0,44	0,60	0,53	0,45	0,43	0,67	0,72	0,66	0,42	0,38	0,46	0,51	0,37	0,33	0,36	0,39	0,38	0,45	0,30	0,32	0,45	0,41	0,53	0,41	0,38	0,36
NiO	0,01	0,00	0,06	0,00	0,02	0,05	0,09	0,03	0,06	0,04	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,07	0,04	0,02
TOTAL	99,09	100,93	99,12	101,61	102,74	98,61	98,59	98,32	97,99	101,31	95,82	99,21	97,65	99,86	101,19	98,54	102,17	98,80	99,29	98,50	99,69	100,46	99,83	98,08	98,41	98,36
B																										
Si	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	1,04	1,02	1,00	1,01	1,00	1,00	0,97	0,97	0,99	0,99	0,96	0,97	0,98	0,98	0,98	0,97	0,99	0,97	0,97	1,00	0,99	0,97	0,99	0,95	0,95	0,96
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
V	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Fe ³⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,01	0,02	0,07	0,05	0,04	0,02	0,03	0,05	0,02	0,04	0,04	0,00	0,00	0,04	0,01	0,09	0,09	0,06
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣB	1,05	1,04	1,01	1,02	1,01	1,01	1,03	1,03	1,01	1,02	1,04	1,03	1,02	1,02	1,02	1,03	1,01	1,02	1,03	1,01	1,01	1,03	1,01	1,05	1,05	1,04
A																										
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Fe ²⁺	0,92	0,94	0,97	0,96	0,97	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,94	0,95	0,94	0,94	0,96	0,96	0,94	0,96	0,91	0,92	0,94
Mn	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣA	0,95	0,96	0,99	0,98	0,99	0,99	0,97	0,97	0,99	0,98	0,96	0,97	0,98	0,98	0,98	0,97	0,99	0,98	0,97	0,99	0,99	0,97	0,99	0,95	0,95	0,96
% Ilmenita	97,21	97,72	98,17	97,99	97,38	97,33	98,08	98,24	96,60	96,78	96,38	96,25	96,40	96,52	96,77	96,75	96,79	96,53	96,87	96,96	97,40	96,80	97,47	96,82	96,74	97,76
% Pirofanita	2,68	2,14	1,83	1,87	2,34	1,14	1,12	1,10	3,20	3,20	3,44	3,53	3,52	3,46	3,02	3,13	3,12	3,22	3,13	2,92	2,60	3,08	2,31	2,89	3,03	1,59
% Geikielita	0,12	0,14	0,00	0,15	0,28	1,52	0,80	0,67	0,20	0,02	0,18	0,22	0,08	0,02	0,22	0,12	0,09	0,25	0,00	0,12	0,00	0,12	0,22	0,29	0,23	0,66

Tabela 10. Resultados analíticos para Magnetitas em gabros

Litotipo	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN	GN
Amostra	RM-8	RM-8	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A
Ponto	3 06	3 09	1 10	1 11	2 09	2 10	3 05	3 06	6 04	6 05	6 06	7 05	7 06
SiO ₂	0,96	0,10	0,04	0,05	0,13	0,05	0,05	0,10	0,02	0,07	0,09	0,08	0,04
TiO ₂	0,32	0,44	0,12	0,08	0,00	0,02	0,09	0,06	0,08	0,00	0,00	0,00	0,01
Al ₂ O ₃	2,14	0,26	0,33	0,06	0,21	0,10	0,07	0,05	0,12	0,11	0,08	0,14	0,12
FeO	90,80	93,77	97,24	98,51	94,98	95,75	96,56	97,49	97,55	98,70	95,13	97,08	97,04
MnO	0,04	0,00	0,01	0,06	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,04	0,09	0,05	0,03
MgO	0,12	0,04	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,02	0,04	0,00	0,02	0,03
CaO	0,39	0,05	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,01	0,03	0,04	0,00	0,00
Na ₂ O	0,00	0,03	0,00	0,05	0,05	0,00	0,01	0,04	0,00	0,05	0,02	0,00	0,02
K ₂ O	0,03	0,00	0,04	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,02	0,02	0,03	0,01	0,03
Cl	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
F	0,32	0,29	0,19	0,34	0,26	0,27	0,23	0,22	0,35	0,39	0,23	0,25	0,34
Cr ₂ O ₃	0,24	0,34	0,04	0,06	0,09	0,11	0,10	0,05	0,02	0,04	0,08	0,05	0,11
V ₂ O ₃	0,96	1,29	0,38	0,28	0,41	0,47	0,45	0,35	0,50	0,32	0,28	0,49	0,47
NiO	0,00	0,02	0,12	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	96,33	96,62	98,58	99,53	96,16	96,81	97,62	98,39	98,69	99,80	96,06	98,15	98,25
Fe₂O₃	64,27	68,27	71,83	73,02	70,09	70,67	71,26	72,07	72,02	73,20	70,48	71,64	71,80
FeO	32,97	32,34	32,61	32,82	31,92	32,17	32,44	32,64	32,75	32,84	31,71	32,62	32,44
M													
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Si	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
V	0,03	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Al	0,09	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
Fe ³⁺	1,78	1,91	1,96	1,98	1,97	1,98	1,97	1,98	1,98	1,98	1,98	1,97	1,98
Mg	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣM	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
T													
Fe ³⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	0,98	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	0,99	0,99
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣT	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
% Magnetita	93,11	96,43	98,30	99,22	98,74	98,94	98,85	99,26	98,93	99,29	99,15	98,89	98,94
% Ulvo-espinélio	0,47	0,62	0,16	0,11	0,00	0,03	0,13	0,08	0,10	0,00	0,00	0,00	0,02
% Cromita	0,36	0,50	0,06	0,09	0,14	0,16	0,14	0,07	0,02	0,06	0,12	0,07	0,16
% Hercinita	4,18	0,37	0,72	0,03	0,47	0,12	0,14	0,06	0,17	0,01	0,17	0,20	0,07
% Gahnita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
% Espinélio	0,34	0,10	0,00	0,04	0,00	0,05	0,00	0,02	0,05	0,11	0,00	0,04	0,09
% Jacobsita	0,06	0,00	0,02	0,09	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,06	0,14	0,07	0,04
%Coulsonita	1,48	1,94	0,56	0,41	0,61	0,70	0,67	0,51	0,73	0,46	0,41	0,72	0,69
%Trevorita	0,00	0,04	0,18	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 11. Resultados analíticos para Piritas em gabros

Litotipo	GN	GN	GN	GN	GN	GN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN	HGN
Amostra	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-4A	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34	RS-34
Ponto	4 A1	4 A2	4 A3	4 A4	5 A1	5 A2	1 19	2 16	2 17	3 22	3 23	3 24	3 27	3 28	7 07	7 08	
S	50,58	52,79	52,18	52,78	53,19	53,44	51,61	54,03	54,13	52,85	51,82	53,57	52,87	53,14	53,32	53,51	
Fe	45,12	42,50	45,22	45,82	46,57	45,57	45,53	46,03	44,30	45,17	45,00	46,78	44,57	45,03	45,60	46,05	
As	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Au	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ag	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Sb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Sn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Mn	0,00	0,02	0,08	0,01	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,05	
Zn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Co	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Si	0,66	0,03	0,25	0,01	0,04	0,02	0,03	0,00	0,01	0,02	0,05	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	
Ti	0,00	0,04	0,12	0,01	0,24	0,74	0,00	0,00	0,05	0,01	0,07	0,00	0,00	0,04	0,00	0,06	
V	0,00	0,00	0,02	0,00	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,00	
Cl	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	
Al	0,32	0,02	0,08	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	
Mg	0,14	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ni	0,22	0,00	0,07	0,36	0,00	0,00	0,09	0,00	1,95	0,89	0,94	0,11	0,00	0,78	0,04	0,02	
TOTAL	97,04	95,41	98,05	98,99	100,18	99,79	97,30	100,08	100,46	99,04	98,30	100,46	97,55	99,02	99,00	99,70	
S	1,58	1,65	1,63	1,65	1,66	1,67	1,61	1,69	1,69	1,65	1,62	1,67	1,65	1,66	1,66	1,67	
Fe	0,81	0,76	0,81	0,82	0,83	0,82	0,82	0,82	0,79	0,81	0,81	0,84	0,80	0,81	0,82	0,82	
As	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
%S	66,13	68,39	66,78	66,74	66,55	67,14	66,38	67,16	68,04	67,09	66,73	66,61	67,39	67,28	67,07	66,93	
%Fe	33,87	31,61	33,22	33,26	33,45	32,86	33,62	32,84	31,96	32,91	33,27	33,39	32,61	32,72	32,93	33,07	
%As	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Tabela 12. Resultados analíticos para Aegirinas em Fenitização

Litotipo	Fenitização	Fenitização	Fenitização	Fenitização	Fenitização	Fenitização
Amostra	SR3-04	SR3-04	SR3-04	SR3-04	SR3-04	SR3-04
Ponto	2_12	2_13	5_01	5_02	5_03	5_04
SiO ₂	51,786	51,889	51,49	51,259	51,709	50,665
TiO ₂	4,872	3,73	3,751	5,349	2,007	2,946
Al ₂ O ₃	0,297	0,276	0,323	0,228	0,469	0,292
FeO	23,798	25,416	24,364	24,206	27,388	25,971
MnO	0,358	0,203	0,442	0,298	0,076	0,135
MgO	0,905	0,824	0,791	0,949	0,546	0,421
CaO	0,047	0,037	0,111	0,13	0,089	0,067
Na ₂ O	12,729	13,159	12,691	12,212	12,347	12,554
Cr ₂ O ₃	0	0,01	0,087	0,044	0,033	0,095
V ₂ O ₃	0,126	0,211	0,174	0,203	0,048	0,181
NiO	0,069	0	0	0,022	0,097	0,038
TOTAL	94,987	95,755	94,224	94,9	94,809	93,365
Fe₂O₃	20,685	25,281	22,518	18,786	24,734	24,399
FeO	5,186	2,669	4,103	7,304	5,133	4,018
T						
Si	2,026	2,007	2,028	2,020	2,033	2,020
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ΣT	2,026	2,007	2,028	2,020	2,033	2,020
M1						
Al	0,014	0,013	0,015	0,011	0,022	0,014
Fe ³⁺	0,609	0,736	0,667	0,557	0,732	0,732
Ti	0,143	0,109	0,111	0,159	0,059	0,088
Cr	0,000	0,000	0,003	0,001	0,001	0,003
V	0,004	0,007	0,005	0,006	0,002	0,006
Ni	0,002	0,000	0,000	0,001	0,003	0,001
Mg	0,053	0,048	0,046	0,056	0,032	0,025
Fe ²⁺	0,170	0,086	0,135	0,209	0,149	0,131
Mn	0,005	0,002	0,015	0,000	0,000	0,000
ΣM1	1,000	1,000	0,998	1,000	1,000	1,000
M2						
Fe ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,031	0,019	0,003
Mn	0,006	0,004	0,000	0,010	0,003	0,005
Ca	0,002	0,002	0,005	0,005	0,004	0,003
Na	0,965	0,987	0,969	0,933	0,941	0,970
ΣM2	0,974	0,993	0,974	0,980	0,967	0,980
Classif.	Na	Na	Na	Na	Na	Na

Tabela 13. Resultados analíticos para Rutilo em Minério

Litotipo	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min
Amostra	SR3-04	SR3-04	SR3-04	SR3-04	SR3-04	SR3-04	SR3-04	SR3-04	SR3-04	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02	
Ponto	1_01	1_02	1_03	1_04	2_04	2_12	2_13	4_05	4_08	1_02	1_03	1_04A	2_G	2_H	7_03	7_04	8_02	8_03	8_04	8_05	8_06	8_07	8_08	8_09	8_10	
TiO ₂	94,10	95,37	93,86	95,04	93,96	99,74	95,78	92,06	90,91	92,94	94,38	85,95	90,88	82,53	92,69	88,36	91,55	86,58	90,25	94,37	92,57	89,98	84,78	95,44	94,06	
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Al ₂ O ₃	0,07	0,03	0,08	0,14	1,76	0,03	0,05	0,03	0,06	0,37	0,03	1,63	0,08	0,08	0,00	0,02	0,06	0,00	0,03	0,08	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,14
Nb ₂ O ₅	2,16	3,69	2,66	2,04	3,15	0,83	0,81	4,92	5,25	1,59	2,37	5,83	8,13	3,80	3,68	7,79	2,37	7,59	6,70	1,70	2,48	7,92	2,65	2,08	1,61	
Ta ₂ O ₅	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,08	0,14	0,01	0,17	0,13	0,03	0,03	0,00	0,28	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
FeO	1,92	1,82	1,40	1,16	1,49	1,56	1,23	2,37	2,28	2,57	2,45	2,15	1,79	1,74	1,58	2,29	1,79	2,34	2,03	2,20	2,06	2,26	4,34	2,37	2,17	
MnO	0,05	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00	0,01	0,09	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,04	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,07	0,14	0,05	0,00	0,00	
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CaO	0,00	0,18	0,00	0,65	0,12	0,21	0,32	0,36	0,00	0,02	0,12	0,30	0,06	0,18	0,15	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,09	
SiO ₂	0,30	0,25	0,23	0,91	0,43	0,08	0,43	0,63	0,51	0,23	0,06	1,19	0,06	1,43	0,12	0,12	0,34	0,55	0,20	0,38	0,06	0,33	5,64	0,09	0,17	
ZrO ₂	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	
La ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,01	0,08	0,02	
Ce ₂ O ₃	0,00	0,17	0,05	0,15	0,02	0,13	0,10	0,12	0,09	0,08	0,08	0,08	0,17	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Pr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,06	0,00	0,02	0,00	0,10	0,00	0,11	0,00	0,00	0,06	0,06	0,00	0,09	0,01	0,08	0,05	0,14	0,09	0,10	0,03	0,06	0,05	0,00	
Nd ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,01	0,04	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,00	0,08	0,00	0,00	
Sm ₂ O ₃	0,00	0,03	0,03	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,00	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,03	
Eu ₂ O ₃	0,00	0,02	0,03	0,01	0,05	0,06	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,08	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,06	0,02	0,01	0,04	
Gd ₂ O ₃	0,00	0,00	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,01	0,00	0,00	
Tb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Dy ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ho ₂ O ₃	0,00	0,09	0,00	0,02	0,06	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	
Er ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,07	0,00	0,03	0,01	0,04	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tm ₂ O ₃	0,00	0,01	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,08	0,00	0,02	0,02	0,00	0,06	
Yb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	
Tm ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,04	0,05	0,03	0,02	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,06	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	
Lu ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,06	0,01	0,00	0,03	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
UO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	1,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
TOTAL	98,60	101,66	98,53	100,15	102,48	102,83	98,99	100,78	99,44	98,05	99,67	97,55	101,51	90,00	98,49	98,86	96,62	97,35	99,51	99,09	97,42	100,96	97,73	100,40	98,38	
Ti	0,97	0,96	0,97	0,96	0,91	0,98	0,98	0,94	0,94	0,96	0,96	0,89	0,92	0,93	0,96	0,92	0,96	0,92	0,90	0,95	0,97	0,92	0,87	0,89	0,95	
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Nb	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,03	0,03	0,01	0,01	0,04	0,05	0,03	0,02	0,05	0,01	0,05	0,04	0,01	0,02	0,05	0,02	0,01	0,01	
Ta	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Fe	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05	0,02	0,02	
Ca	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Si	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	
La	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,03	0,00	0,00	0,01	0,11	0,03	
Ce	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Pr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Nd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Sm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Eu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Gd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Dy	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ho	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Er	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Yb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Lu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,																

Tabela 14. Resultados analíticos para Fluorapatita em Minério

Litotipo	Minério	Minério	Minério	Minério	Minério	Minério	Minério	Minério	Minério
Amostra	SR3-04	SR3-04	SR3-04	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02
Ponto	4_07	6_05	6_06	2_B	2_C	7_01	7_02	2_15	2A
CaO	50,702	54,371	53,718	1,494	1,514	1,804	0,409	1,071	2,043
Na ₂ O	1,367	0,033	0,010	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000
MnO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FeO	0,089	0,000	0,193	0,135	5,383	0,298	0,322	0,025	1,723
K ₂ O	0,044	0,000	0,000	0,032	0,026	0,024	0,034	0,036	0,024
P ₂ O ₅	35,768	36,038	37,002	0,155	0,503	0,672	0,423	0,330	0,519
Al ₂ O ₃	0,115	0,041	0,024	0,161	0,252	0,179	0,060	0,154	0,131
SiO ₂	0,000	0,055	0,035	0,148	0,608	0,234	0,098	0,000	0,325
F	6,730	7,482	6,958	7,239	7,318	6,848	6,697	6,474	7,211
Nb ₂ O ₅	0,161	0,000	0,000	0,157	0,000	0,162	0,000	0,000	0,000
Ta ₂ O ₅	0,075	0,063	0,089	0,000	0,069	0,128	0,000	0,092	0,000
Y ₂ O ₃	0,009	0,005	0,023	0,262	1,606	1,002	0,579	0,454	0,549
La ₂ O ₃	0,055	0,000	0,013	5,548	5,091	5,471	5,118	5,679	5,467
Ce ₂ O ₃	0,723	0,018	0,055	18,364	17,578	20,711	20,957	21,154	21,025
Pr ₂ O ₃	0,131	0,000	0,000	6,946	6,429	6,462	5,934	7,018	5,994
Nd ₂ O ₃	0,709	0,020	0,017	43,422	44,484	42,985	40,575	46,826	41,287
Sm ₂ O ₃	0,724	0,036	0,000	4,854	4,856	4,480	4,129	4,757	4,154
Eu ₂ O ₃	0,221	0,002	0,010	1,879	1,851	1,859	1,659	1,779	1,471
Gd ₂ O ₃	0,718	0,061	0,055	1,764	1,808	1,896	1,635	1,880	1,534
Tb ₂ O ₃	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dy ₂ O ₃	0,000	0,000	0,000	0,330	0,156	0,016	0,044	0,175	0,170
ThO ₂	0,028	0,013	0,014	2,101	2,577	5,589	2,708	3,286	4,205
SrO	0,218	0,204	0,162	0,622	0,486	0,569	0,431	0,454	1,065
Ho ₂ O ₃	0,081	0,000	0,053	0,031	0,000	0,000	0,073	0,016	0,093
Er ₂ O ₃	0,102	0,049	0,000	0,169	0,184	0,112	0,034	0,093	0,036
Tm ₂ O ₃	0,000	0,000	0,017	0,260	0,195	0,192	0,000	0,090	0,228
Yb ₂ O ₃	0,051	0,057	0,058	0,000	0,000	0,000	0,096	0,008	0,000
Lu ₂ O ₃	0,056	0,022	0,000	0,000	0,082	0,001	0,035	0,028	0,000
UO ₂	0,000	0,000	0,000	0,036	0,000	0,027	0,000	0,000	0,006
	98,877	98,570	98,506	96,109	103,056	101,721	92,057	101,879	99,260
OH	1,451	1,404	1,445	0,723	0,823	0,830	0,748	0,866	0,773
Ca	1,400	1,468	1,453	0,089	0,082	0,104	0,026	0,064	0,118
Na	0,068	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	0,002	0,000	0,004	0,006	0,229	0,013	0,016	0,001	0,078
K	0,001	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002
P	0,781	0,769	0,791	0,007	0,022	0,031	0,021	0,015	0,024
Al	0,003	0,001	0,001	0,011	0,015	0,011	0,004	0,010	0,008
Si	0,000	0,001	0,001	0,008	0,031	0,013	0,006	0,000	0,017
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
F	0,549	0,596	0,555	1,277	1,177	1,170	1,252	1,134	1,227
Nb	0,002	0,000	0,000	0,004	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000
Ta	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002	0,000	0,001	0,000
Y	0,000	0,000	0,000	0,008	0,043	0,029	0,018	0,013	0,016
La	0,001	0,000	0,000	0,114	0,095	0,109	0,112	0,116	0,109
Ce	0,007	0,000	0,001	0,375	0,327	0,410	0,453	0,429	0,414
Pr	0,001	0,000	0,000	0,141	0,119	0,127	0,128	0,142	0,118
Nd	0,007	0,000	0,000	0,865	0,808	0,829	0,856	0,926	0,794
Sm	0,006	0,000	0,000	0,093	0,085	0,083	0,084	0,091	0,077
Eu	0,002	0,000	0,000	0,036	0,032	0,034	0,033	0,034	0,027
Gd	0,006	0,001	0,000	0,033	0,030	0,034	0,032	0,035	0,027
Tb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dy	0,000	0,000	0,000	0,006	0,003	0,000	0,001	0,003	0,003
Th	0,000	0,000	0,000	0,013	0,015	0,034	0,018	0,021	0,026
Sr	0,003	0,003	0,002	0,020	0,014	0,018	0,015	0,015	0,033
Ho	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002
Er	0,001	0,000	0,000	0,003	0,003	0,002	0,001	0,002	0,001
Tm	0,000	0,000	0,000	0,005	0,003	0,003	0,000	0,002	0,004
Yb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
Lu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000
U	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabela 15. Resultados analíticos para zircão em Minério

Litotipo	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Litotipo	Minério	Minério	Minério	Minério	Minério	Minério	Minério	Minério
Amostra	SR3-04	SR3-04	SR3-04	SR3-04	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02	Amostra	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02	SR3-02
Ponto	2_01	2_03	2_14	2_15	2_01	2_02	2_03	2_04	2_05	Ponto	2_07C	2_07D	2_08	3_01	3_02	4_01	4_02	4_03
SiO ₂	31,92	30,98	32,17	32,48	33,47	31,93	31,58	30,51	32,33	SiO ₂	32,69	31,73	32,16	31,82	31,15	32,82	32,56	31,68
ZrO ₂	65,67	64,49	64,20	64,80	63,49	62,59	63,36	64,12	62,27	ZrO ₂	60,60	62,56	61,12	61,03	62,26	62,73	62,07	62,26
HfO ₂	1,80	1,12	1,28	1,35	1,77	1,39	1,09	1,25	1,41	HfO ₂	1,04	1,67	1,38	1,80	0,40	0,95	1,86	1,47
TiO ₂	0,03	0,03	0,26	0,00	0,25	0,12	0,00	0,08	0,02	TiO ₂	0,03	0,00	0,21	0,00	0,12	0,13	0,12	0,06
Al ₂ O ₃	0,02	0,23	0,00	0,00	0,03	0,04	0,02	0,05	0,00	Al ₂ O ₃	0,00	0,02	0,04	0,02	0,00	0,00	0,02	0,05
FeO	0,09	0,26	0,20	0,19	0,00	0,10	0,05	0,07	0,03	FeO	0,15	0,30	0,07	0,03	0,08	0,07	0,00	0,06
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,03	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,15	0,00	0,00	MnO	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,07	0,08	0,00
CaO	0,22	0,15	0,29	0,00	0,06	0,30	0,00	0,00	0,40	CaO	0,00	0,00	0,00	0,40	0,31	0,35	0,00	0,09
ThO ₂	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,00	0,00	ThO ₂	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,04	0,01	0,02
P ₂ O ₅	0,00	0,13	0,18	0,12	0,19	0,71	0,34	0,35	0,24	P ₂ O ₅	0,46	0,43	0,48	0,37	0,59	0,35	0,42	0,31
Nb ₂ O ₅	0,18	0,09	0,27	0,43	0,30	0,62	1,00	0,38	0,58	Nb ₂ O ₅	0,62	0,20	0,77	0,74	0,71	0,64	0,49	0,87
Ta ₂ O ₅	0,09	0,18	0,15	0,12	0,01	0,06	0,00	0,16	0,15	Ta ₂ O ₅	0,00	0,19	0,00	0,16	0,00	0,00	0,28	0,00
Y ₂ O ₃	0,00	0,08	0,16	0,13	0,18	0,89	0,67	0,54	0,70	Y ₂ O ₃	0,72	0,57	0,47	0,74	0,84	0,73	0,34	0,61
La ₂ O ₃	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	La ₂ O ₃	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce ₂ O ₃	0,08	0,00	0,04	0,06	0,00	0,06	0,04	0,00	0,00	Ce ₂ O ₃	0,13	0,05	0,00	0,09	0,06	0,00	0,07	0,08
Pr ₂ O ₃	0,03	0,00	0,05	0,00	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00	Pr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02
Nd ₂ O ₃	0,00	0,00	0,02	0,03	0,03	0,00	0,02	0,00	0,08	Nd ₂ O ₃	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,04	0,02
Sm ₂ O ₃	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,16	Sm ₂ O ₃	0,00	0,08	0,13	0,00	0,02	0,00	0,09	0,00
Eu ₂ O ₃	0,03	0,02	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Eu ₂ O ₃	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,04	0,06	0,12
Gd ₂ O ₃	0,08	0,00	0,00	0,04	0,04	0,07	0,00	0,06	0,00	Gd ₂ O ₃	0,03	0,02	0,00	0,04	0,00	0,04	0,00	0,07
Tb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Tb ₂ O ₃	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
Dy ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	Dy ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00
Ho ₂ O ₃	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	Ho ₂ O ₃	0,02	0,02	0,02	0,12	0,00	0,10	0,00	0,05
Er ₂ O ₃	0,04	0,08	0,03	0,03	0,03	0,14	0,03	0,06	0,08	Er ₂ O ₃	0,11	0,04	0,12	0,12	0,14	0,07	0,08	0,09
Tm ₂ O ₃	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	Tm ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Yb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,10	0,05	0,00	0,17	0,09	0,10	0,08	Yb ₂ O ₃	0,12	0,06	0,00	0,06	0,11	0,03	0,01	0,08
Lu ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Lu ₂ O ₃	0,00	0,05	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00
UO ₂	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	UO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	100,35	97,96	99,61	99,96	99,88	99,42	98,57	97,81	98,54	TOTAL	96,76	98,05	97,05	97,54	96,84	99,25	98,67	97,99
Si	0,98	0,98	0,99	1,00	1,02	0,99	0,98	0,97	1,00	Si	1,02	0,99	1,01	1,00	0,98	1,01	1,01	0,99
Zr	0,99	0,99	0,97	0,97	0,94	0,94	0,96	0,99	0,94	Zr	0,93	0,96	0,93	0,94	0,96	0,94	0,94	0,95
Hf	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	Hf	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01
Ti	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Fe	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	Ca	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
Th	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Th	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	P	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Nb	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	Nb	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ta	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Ta	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	Y	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
La	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	La	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Ce	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Pr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Nd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Sm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Eu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Gd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Tb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dy	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Dy	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ho	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Ho	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Er	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Er	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Tm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Yb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Lu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	U	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

ANEXO II
RESULTADOS MICROTERMOMÉTRICOS DE
INCLUSÕES FLUIDAS

Tabela 1. Resultados microtermométricos de IF aquosas e aquocarbônicas

AMOSTRA	No. IF	TIPO	Vol CO2 %	VCO2/VT	Tf CO2 (°C)	Tf Clat (°C)	Th CO2 (°C)	d CO2	d global	XCO2	XH2O	XNaCl	Tf Gelo (°C)	Tf Eut. (°C)	NaCl (%)	Th (°C)
RM-20d	2	AQB	35	0,35	-61,6	-9,7	-3,3	0,9473	1,0797	0,1730	0,7662	0,0608			20,47	164,8
	3	AQB	40	0,4	-69,3	-6,4	-5,3	0,9585	1,0715	0,2075	0,7361	0,0564			19,90	187,9
	4	AQB	55	0,55	-60,7	-8,9	-6,5	0,9651	1,0487	0,3260	0,6245	0,0495			20,44	179,2
	5	AQB	65	0,65	-58,8	-3,1	5,3	0,8946	0,9786	0,4047	0,5571	0,0382			18,18	173,1
	7	AQB	40	0,4	-61,1	-5,2	4,2	0,9020	1,0460	0,1976	0,7469	0,0555			19,41	197,5
	8	AQB	45	0,45	-62,9	-8,2	-2,5	0,9428	1,0568	0,2403	0,7042	0,0555			20,36	293,7
	9	AQB	50	0,5	-61,5	-9,2	-7,8	0,9721	1,0615	0,2850	0,6624	0,0525			20,46	217,9
	10	AQB	30	0,3	-60,8	n.d	-6,2									203,5
	11	AQ	10	0,1									-20,40	-49,9	22,65	110,0
	13	AQ	15	0,15									-14,40	n.d		150,0
	14	AQ	25	0,25									-8,10	-39,9	11,81	133,4
	15	AQ	30	0,3									-15,80	-41,1	19,29	157,1
	16	AQ	20	0,2									-3,6	-25,3	5,86	143,8
	17	AQB	35	0,35	-60,2	-5,9	2,1	0,9153	1,0649	0,1680	0,7734	0,0586			19,72	170,1
	18	AQB	60	0,6	-63,3	-7,8	-3,1	0,9462	1,0276	0,3679	0,5861	0,0460			20,30	322,5
	1	AQB	85	0,85	-59,3	6,6	26,2	0,6921	0,7445	0,6170	0,3751	0,0080			6,46	n.d
	2	AQB	45	0,45	-60	7,6	27,4	0,6696	0,8657	0,1839	0,8039	0,0122			4,69	320,7
	3	AQB	60	0,6	n.d	6,5	25,4	0,7054	0,8398	0,3029	0,6821	0,0149			6,63	294,0
	4	AQ	10	0,1									-18,2	-38,7	21,11	n.d
	5	AQ	10	0,1									-22,6	n.d		177,7
	6	AQB	55	0,55	-57,6	-7,7	2,9	0,9103	1,0170	0,3137	0,6365	0,0499			20,27	269,9
	7	AQB	70	0,7	-57,4	n.d	16,7									n.d
	8	AQ	15	0,15									-9,1	-45,2	12,96	198,2
	9	AQB	90	0,9	-59,3	-5,8	3,0	0,9096	0,9332	0,7707	0,2132	0,0161			19,68	178,5
	10	AQB	85	0,85	-62,3	-4,0	-0,1	0,9600	0,9287	0,6834	0,2956	0,0211			18,77	n.d
	11	AQB	55	0,55	-58,0	-7,0	0,1	0,9275	1,0259	0,6333	0,3177	0,0491			20,09	215,5
	12	AQB	80	0,8	-61,0	-4,4	-0,2	0,9293	0,9712	0,6039	0,3694	0,0267			18,99	n.d
	13	AQ	20	0,2									-14,2	-34,0	17,96	225,0
	14	AQB	50	0,5	-59,2	-9,5	-0,4	0,9305	1,0397	0,2766	0,6702	0,0532			20,47	n.d
	15	AQB	30	0,3	-62,2	-15,7	-10,8									169,2

Tabela 1. Resultados microtermométricos de IF aquosas e aquocarbônicas (continuação)

CAMPO	IF	TIPO	Vol CO2 %	VCO2/VT	Tf CO2 (°C)	Tf Clat (°C)	Th CO2 (°C)	d CO2	d global	XCO2	XH2O	XNaCl	Tf Gelo (°C)	Tf Eut. (°C)	NaCl (%)	Th (°C)
RS - Z25	1	AQ	15	0,15									-12,9	-37,3	16,8	194,8
	2	AQB	40	0,4	-63,1	-1,3	9,6	0,8648	1,0187	0,191	0,7617	0,0473			16,76	252,10
	3	AQ	20	0,2									-6,0	-28,0	9,21	189,6
	4	AQB	75	0,75	-61,3	-7,9	14,2	0,8288	0,9086	0,5053	0,4587	0,036			20,31	149,4
	5	AQ	30	0,3									-8,4	-40,9	12,16	204,7
	7	AQ	25	0,25									-1,1	-36,1	1,91	175,6
	1	AQB	25	0,25	-62,2	6,4	20,3	0,7711	0,9755	0,0954	0,8847	0,0199			6,80	318,5
	2	AQ	10	0,1									-11,2	-41,3	15,17	197,2
	3	AQ	15	0,15									-2,3	-35,1	3,87	182,1
	4	AQB	65	0,65	-59,9	1,1	13,7	0,833	0,9275	0,3876	0,5823	0,03			14,33	298,3
	5	AQB	80	0,8	-57,7	-4,3	9,3	0,867	0,9213	0,5872	0,3851	0,0277			18,94	288,5
	6	AQB	95	0,95	-64,1	-7,0	15,8	0,815	0,8317	0,8641	0,1261	0,0098			20,09	313,6
	7	AQ	20	0,2									-6,3	-27,8	9,60	149,1
	8	AQ	10	0,1									-1,2	-43,9	2,07	163,2
	9	AQ	15	0,15									-0,30	-34,2	0,53	150,0