



BRUNA DE AGUIAR SCHORR

EVOLUÇÃO METAMÓRFICA E ESTRUTURAL DO COMPLEXO BOSSOROCA

PORTO ALEGRE

2024

BRUNA DE AGUIAR SCHORR

EVOLUÇÃO METAMÓRFICA E ESTRUTURAL DO COMPLEXO BOSSOROCA

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria de Fátima A. S. Bitencourt

Co-orientador: Prof. Dr. Giuseppe Betino De Toni

PORTO ALEGRE

2024

CIP - Catalogação na Publicação

de Aguiar Schorr, Bruna
Evolução Metamórfica e Estrutural do Complexo
Bossoroca / Bruna de Aguiar Schorr. -- 2024.
76 f.
Orientadora: Maria de Fátima Aparecida Saraiva
Bitencourt.

Coorientadora: Giuseppe Betino De Toni.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,
BR-RS, 2024.

1. Complexo Bossoroca. 2. Geologia Estrutural. 3.
Geologia Metamórfica. I. Aparecida Saraiva Bitencourt,
Maria de Fátima, orient. II. Betino De Toni,
Giuseppe, coorient. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **EVOLUÇÃO METAMÓRFICA E ESTRUTURAL DO COMPLEXO BOSSOROCA**, elaborado por **Bruna de Aguiar Schorr**, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Dr. Daniel Triboli Vieira

Prof. Dr. Marcus Vinicius Dorneles Remus

Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a minha orientadora, Fátima, pelas discussões, orientações, ensinamentos em campo (meus preferidos) e em sala de aula, e principalmente, por acreditar no meu potencial. Agradeço imensamente ao meu co-orientador Giuseppe, que transcende a barreira professor-aluno e consegue sempre me fazer, para além da técnica, dar o meu melhor como pessoa. Além de claro, os infinitos aprendizados geológicos. Também sou grata ao Magmatismo Sintectônico e a cada um que faz parte dele, Douglas, Lucas, Victor, Cami, Felipe, Fran, Sté, Cris, João, Jordana, Ingke. Trabalhar com amigos é bom demais, e poder contar com vocês é o privilégio.

Também foi fundamental minha grande parceira Ana, por enfrentar comigo cada fase, boa e ruim, desde o primeiro ano de curso. Aos amigos que sempre me apoiaram e estiveram presentes, Thaís e Paloma por todo o cuidado, Nic por me fazer sonhar cada vez mais longe, Leko por todo o carinho e atenção, e a todos que compartilharam comigo a caminhada da graduação, com os quais também pude aprender e ensinar, sou muito grata a vocês.

Por fim, a meu pai e minha irmã, muito obrigada por todo amor e preocupação. A meu irmão agradeço por ter me apresentado a geologia. E a minha mãe, que sonhava em cursar biologia, agradeço por ter herdado a curiosidade pela natureza e seus processos.

“Somos assim. Sonhamos o voo, mas tememos as alturas. Para voar é preciso amar o vazio. Porque o voo só acontece se houver o vazio. O vazio é o espaço da liberdade, a ausência de certezas. Os homens querem voar, mas temem o vazio. Não podem viver sem certezas. Por isso trocam o voo por gaiolas. As gaiolas são o lugar onde as certezas moram.”

Rubem Alves em *Religião e Repressão*.

RESUMO

O Complexo Bossoroca (CB), na porção oeste do Escudo Sul-riograndense, é constituído por uma associação metavulcanosedimentar. O complexo compreende as sequências Arroio Lajeado e Campestre, esta última composta por rochas metavulcânicas, metavulcanoclásticas e metassedimentares deformadas e metamorfizadas em condições de baixo grau, predominantemente em fácies xisto verde. Devido a carência de estudos sobre o CB, o objetivo do trabalho é caracterizar o arcabouço estrutural do complexo e modelar as condições de pressão e temperatura do metamorfismo de contato causado pela intrusão do Complexo Granítico São Sepé (CGSS). Para tais objetivos foi essencial a análise petrográfica e a determinação das assembleias minerais nas diferentes porções do CB, próxima e distal do contato com o CGSS. A metodologia para a caracterização das estruturas foi trabalho de campo com coleta de dados estruturais e posterior tratamento destes em *softwares* gráficos. Para a estimativa das condições do metamorfismo de contato foi realizada amostragem, petrografia, geoquímica de rocha total e química mineral para modelagem geotermobarométrica através de métodos tradicionais e pseudosseções. Os resultados da geologia estrutural mostram que o CB, na parte preservada dos efeitos termais do CGSS, apresenta duas fases de dobramentos que constituem uma progressão de deformação. Esta envolve uma fase de dobras recumbentes F1 que gera a foliação metamórfica S1, seguida por uma segunda fase de dobras normais abertas F2. O trabalho de campo juntamente com a petrografia indica que as rochas próximas ao contato com o CGSS são metavulcânicas e metapelitos, de médio grau, na fácies anfíbolito, com evidências de metamorfismo de contato, bem como a ausência de trama e estruturas. Já as rochas da porção distal do granito são metapiroclásticas de baixo grau, na fácies xisto verde, com estruturas bem desenvolvidas indicando tectônica de empurrão para SW. As modelagens termodinâmicas estimaram condições de pressão e temperatura para o metamorfismo de contato entre 3,4-4,6 kba e 560-600 °C através de pseudoseção de metapelito, e entre 8,2-10 kbar e 651-693 °C através de geotermobarometria hornblenda-plagioclásio em uma metavulcânica. Estes dados, integrados com informações da bibliografia, sugerem uma trajetória de exumação da porção da crosta da parte norte do Bloco São Gabriel.

Palavras-Chave: metamorfismo de contato, deformação progressiva, Complexo Bossoroca, Complexo Granítico São Sepé.

ABSTRACT

The Bossoroca Complex (BC), in the western portion of the Southern Rio Grande Shield, is composed of a metavolcanosedimentary association. The complex comprises the Arroio Lajeado and Campestre sequences, the latter consisting of deformed and metamorphosed metavolcanic, metavolcanoclastic, and metasedimentary rocks under low to medium-grade conditions, predominantly in green schist facies. Due to the lack of studies on the BC, the objective of this work is to characterize the structural framework of the complex and model the pressure and temperature conditions of the contact metamorphism caused by the intrusion of the São Sepé Granitic Complex (SSGC). Petrographic analysis and the determination of mineral assemblages in different portions of the BC, proximal and distal to the contact with the SSGC, were essential for these objectives. The methodology for characterizing the structures involved fieldwork with the collection of structural data, followed by their processing in graphic software. Sampling, petrography, whole-rock geochemistry, and mineral chemistry were conducted for estimating the contact metamorphism conditions using traditional methods and pseudosections. Structural geology results show that the BC, in the preserved part unaffected by the thermal effects of the SSGC, exhibits two phases of folding constituting a deformation progression. This involves a phase of recumbent F1 folds generating the metamorphic foliation S1, followed by a second phase of open F2 normal folds. Fieldwork along with petrography indicates that rocks near the contact with the SSGC are metavolcanic and metapelites of medium grade in amphibolite facies, showing evidence of contact metamorphism and the absence of fabric and structures. On the other hand, rocks in the distal portion of the granite are low-grade metapelites in green schist facies, with well-developed structures indicating SW-directed thrust tectonics. Thermodynamic modeling estimated pressure and temperature conditions for contact metamorphism between 3.4-4.6 kbar and 560-600 °C through metapelite pseudosection and between 8.2-10 kbar and 651-693 °C through hornblende-plagioclase geothermobarometry in metavolcanic rocks. Integrated with literature information, these data suggest an exhumation trajectory of the crustal portion from the northern part of the São Gabriel Block.

Keywords: Contact Metamorphism, Progressive Deformation, Bossoroca Complex, São Sepé Granitic Complex.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....	17
Figura 2 – a) Esboço geotectônico do Gondwana Ocidental. b) Contexto geotectônico do Cinturão Dom Feliciano (modificado de Bitencourt e Nardi, 2000; De Toni et al., 2020a; entre outros). Estrelas amarelas indicam ocorrência de rochas de arco magmático Toniano metamorizadas em 650 Ma: CPB – Complexo Porto Belo; CVC – Complexo Várzea do Capivarita; POA – Gnaisses Porto Alegre; CCA – Complexo Cerro da Árvore; Pi – Gnaisses Piratini; CB – Gnaisses Cerro Bori.....	19
Figura 3 - Mapa geológico do Bloco São Gabriel (modificado de Philipp et al., 2018). As principais zonas de cisalhamento da região são indicadas (ZCPVN – Zona de Cisalhamento Palma-Vila Nova; ZCI – Zona de Cisalhamento Ibaré; ZCCS – Zona de Cisalhamento Caçapava do Sul), assim como as cidades (SS – São Sepé; CS – Caçapava do Sul; LS – Lavras do Sul; DP – Dom Pedrito; B – Bagé; VN – Vila Nova).	21
Figura 4 – Mapa do Complexo Bossoroca e das unidades adjacentes, com os pontos visitados em campo neste trabalho. Modificado de Gubert et al. (2016).	22
Figura 5 – Diagrama esquemático de um espectrômetro de fluorescência de raio X. Fonte: Klein e Dutrow (2009).....	28
Figura 6 – Diagrama esquemático da Microsonda Eletrônica. Adaptado de CAMECA (Ametek), (2015).	29
Figura 7 – Mapa com a disposição das estruturas lineares e planares medidas. Modificado de Gubert et al. (2016).	30
Figura 8 – Feições de campo das rochas próximas ao contato com o CGSS. a) Porfiroblastos de hornblenda decussada em agregados em rocha metavulcânica (BA01). b) Aspecto geral da rocha metavulcânica maciça com porfiroblastos de Crd (BA03). c) Detalhe da Figura 8b, porfiroblastos de cordierita em metapelito (BA03), cujo tamanho varia de 0,5 a 2 cm. d) Aspecto geral de um afloramento de rocha metapelítica no qual observa-se estrutura maciça.	31
Figura 9 – Intercalação de rochas metavulcânicas com texturas contrastantes. Camadas de granulometria muito fina encontram-se boudinadas, com fragmentos estirados contidos na xistosidade da rocha metavulcânica porfiroclástica.	32

Figura 10 - Projeções estereográficas equiárea de hemisfério inferior na rede de Schmidt. a) Polos dos planos de xistosidade metamórfica (S1). b) Atitudes de lineações de estiramento (Lx).	33
Figura 11 - Projeções estereográficas de hemisfério inferior na rede de Schmidt. a) Planos axiais e eixos das dobras F1. b) Planos axiais e eixos das dobras F2.....	34
Figura 12 – Afloramento do ponto BA09, no qual observa-se camada reliquiar S0, com a linha vermelha representativa no croqui, e foliação metamórfica S1, com a linha amarela representativa.....	35
Figura 13 – Dobra assimétrica aberta com eixo sub-horizontal, observa-se que o PA da dobra é de alto ângulo e há desenvolvimento de clivagem plano-axial; a linha tracejada amarela representa a foliação metamórfica S1 dobrada.	36
Figura 14 – Fragmento lítico em rocha metavulcânica porfiroclástica interpretado como indicador cinemático visto em campo.	37
Figura 15 – Indicadores cinemáticos em escala microscópica na amostra BA09-A-1. a) Fotomicrografia a luz natural de porfiroclastos de plagioclásio com sombra de pressão composta por tremolita, actinolita e mica branca. O maior porfiroclasto ao centro encontra-se com alongamento oblíquo em relação à foliação, o que sugere cinemática horária (topo para SW). b) Mesmo cristal da Figura 8a, porém, sob luz polarizada, permitindo a visualização da recristalização das micas. c) Porfiroclasto composto por agregado de cristais de quartzo como indicador cinemático de topo para SW (luz natural). d) Mesma região da Figura 8d, porém, sob luz polarizada.....	37
Figura 16 - a) Textura porfiroblástica dos cristais de Hbl, envoltos por uma matriz quartzo-feldspática (luz natural). b) Mesma região da figura 5a, porém, sob luz polarizada, possibilitando melhor visualização da matriz. c) Porfiroblasto de hornblenda com textura poiquiloblástica, dada por inclusões de apatita e opacos (luz natural). d) Mesmo cristal da Figura 16c, entretanto, sob luz polarizada.	39
Figura 17 – Aspectos petrográficos da rocha metapelítica. a) Textura lepidoblástica da Bt e porfiroblastos de Grt cortando a foliação principal da rocha. b) Mesma região da Figura 17a, porém, sob luz polarizada, sendo possível observar a matriz quartzo-feldspática com textura granoblástica poligonal. c) Fotomicrografia a luz natural em detalhe das inclusões de Qz nas granadas. d) Mesma região da Figura 17c, entretanto, sob luz polarizada, sendo visível a textura granoblástica poligonal da matriz quartzo-feldspática.	40

Figura 18 – a) Detalhe das granadas poiquiloblásticas com auréola de clorita, e dos cristais de biotita decussada; também é possível observar matriz quartzo-feldspática, com textura, em parte, poligonal (luz natural). b) Mesmos cristais de Grt, porém, sob luz polarizada.	42
Figura 19 - a) Vista do afloramento do qual a amostra BA03-A foi coletada, onde é possível observar os porfiroblastos de Crd a olho nu. b) Detalhe em afloramento dos porfiroblastos de Crd. c) Fotomicrografia a luz natural do porfiroblasto de Crd. d) Mesma região da Figura 19c, porém, sob luz polarizada. e) Fotomicrografia a luz natural em detalhe da textura esqueletal da Crd. f) Mesma região da Figura 19e, entretanto, sob luz polarizada.	43
Figura 20 – a) Cristal de estauroлита com textura esqueletal (luz natural). b) Mesmo cristal da Figura 20a, porém, sob luz polarizada. c) Outro cristal de St (luz natural). d) Mesmo cristal de St da Figura 20c, porém, sob luz polarizada.	44
Figura 21 – a) Porfiroclastos de Qz e Pl envoltos por Act e Tr. Na porção superior da imagem se observa uma camada com espessura de 0,5 a 1 mm de tufo (luz natural) b) Mesma região da Figura 21a, entretanto, sob luz polarizada. c) Porfiroclastos de Qz e Pl envoltos por matriz fina (luz natural). d) Mesma região da Figura 21c, porém, sob luz polarizada.	45
Figura 22 - a) Porfiroclasto de Pl, circundado por cristais de Act e Tr e matriz quartzo-feldspática (luz natural). b) Mesmo cristal da Figura 22a, porém, sob luz polarizada. c) Camada de tufo intercalada na metavulcânica piroclástica (luz natural). d) Mesma região da Figura 22c, porém, sob luz polarizada.....	46
Figura 23 - Diagrama ternário de classificação dos feldspatos com a composição dos cristais de plagioclásio analisados.	53
Figura 24 – Diagrama ternário de classificação das granadas com a composição dos cristais representativos analisados.....	54
Figura 25 – Pseudosseção modelada a partir da química de rocha total da amostra BA02-A.....	56
Figura 26 – Pseudosseção modelada a partir da química de rocha total da amostra BA03-A.....	58
Figura 27 – Interpolação das isopleias calculadas sob área da paragênese descrita para a amostra BA03-A. A área de sobreposição das isopleias está representada com a elipse roxa.	60

- Figura 28** – Croqui esquemático da relação ortogonal entre o acamamento original (S0) e a foliação metamórfica (S1) que sugere a existência de uma zona de charneira. Possível observar que nos flancos da dobra, S0 se paraleliza a S1.62
- Figura 29** - Trajetória P-T sugerida para as rochas da porção norte do BSG, com base na integração dados geotermobarométricos obtidos com os dados de literatura.65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Localização e assembleia mineral das lâminas petrográficas analisadas.	38
Tabela 2 - Resultados das análises de geoquímica de rocha total.	47
Tabela 3 - Dados tratados que foram utilizados no Perple_X.	48
Tabela 4 - Análises representativas de química mineral para a amostra BA01-A. ...	49
Tabela 5 – Análises representativas de química mineral para a amostra BA02-A....	50
Tabela 6 – Análises representativas de química mineral para a amostra BA03-A....	51
Tabela 7 – Geotermobarometria realizada nos pares de hornblenda e plagioclásio.	55

LISTA DE ABREVIÇÕES

BSG – Bloco São Gabriel

CB – Complexo Bossoroca

CDF – Cinturão Dom Feliciano

CGSS – Complexo Granítico São Sepé

PA – Plano Axial

XAn – Teor de Anortita – $Ca/(Na+Ca)$

XMg -Teor de Magnésio – $Mg/(Fe+Mg)$

XGros -Teor de Grossulária – $Ca/(Fe+Mg+Ca+Mn)$

XSp - Teor de Espessartita – $Mn/(Fe+Mg+Ca+Mn)$

XPy - Teor de Piropo – $Mg/(Fe+Mg+Ca+Mn)$

XAlm - Teor de Almandina – $Fe/(Fe+Mg+Ca+Mn)$

Ab - Albita

Alm – Almandina

Bt - Biotita

Cpx - Clinopiroxênio

Crd - Cordierita

St - Estaurolita

Grt – Granada

Kfs – K-feldspato

Ms - Muscovita

Op - Opacos

Opx - Ortopiroxênio

Pl – Plagioclásio

Qz – Quartzo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1. Localização e Vias de Acesso	16
1.2. Objetivos	18
1.3. Justificativa	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1. Contexto Geológico e Geotectônico da Área de Estudo	19
2.2. Bloco São Gabriel	20
2.3 O Complexo Bossoroca	21
2.4 Relação do Complexo Granítico São Sepé com o Complexo Bossoroca	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
3.1 Pré-campo	25
3.1.1 Revisão bibliográfica.....	25
3.1.2 Planejamento de campo	25
3.2 Campo	26
3.3 Pós-campo	26
3.3.1 Tratamento dos dados estruturais	26
3.3.2 Petrografia	26
3.3.3 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX)	27
3.3.4 Microsonda Eletrônica.....	28
3.3.5 Pseudosseção	29
4 RESULTADOS	30
4.1 Geologia Estrutural	30
4.1 Petrografia	38
BA01-A	38
BA02-A	39
BA03-A	41
BA05-A	44
BA09-A-1	45
4.3 Geoquímica de Rocha Total	46
4.4 Química Mineral	48
4.5 Geotermobarometria	54
4.5.1 BA01-A.....	54
4.5.2 BA02-A.....	55

4.5.3 BA03-A.....	57
5 DISCUSSÃO	61
5.1 Geologia Estrutural	61
5.2 Petrografia	63
5.3 Geotermobarometria	64
6 CONCLUSÕES	66
APÊNDICES.....	69

1 INTRODUÇÃO

O entendimento das condições de metamorfismo é de extrema importância para a evolução dos modelos de reconstrução tectônica dos terrenos orogênicos neoproterozóicos. O Complexo Bossoroca está localizado no Bloco São Gabriel, que representa uma das principais unidades geotectônicas do sul do Brasil. As rochas que compõem o complexo registram o metamorfismo regional, cuja caracterização auxilia na compreensão da convergência que resultou na colagem do supercontinente Gondwana Oeste. Entretanto, a intrusão posterior do Complexo Granítico São Sepé afetou termicamente as rochas do Complexo Bossoroca, no qual é possível observar indicativos texturais e mineralógicos de metamorfismo de contato. Desta forma é necessário realizar a distinção das condições metamórficas.

Através da identificação das assembleias minerais e da química das rochas metavulcânicas e metassedimentares da porção proximal ao CGSS, foi possível modelar as condições específicas de temperatura e pressão do metamorfismo de contato. Devido a influência termal causada pelo granito, é difícil a visualização de estruturas nesta área do complexo. Porém, as rochas metapiroclásticas da porção sul, distal da intrusão do CGSS, apresentam estruturas bem preservadas, das quais foi possível adquirir dados estruturais em trabalho de campo, que permitiu uma integração entre o arcabouço estrutural, a petrografia e as condições metamórficas do Complexo Bossoroca.

1.1. Localização e Vias de Acesso

A área de estudo situa-se entre os municípios de Vila Nova do Sul, São Sepé e Caçapava do Sul, no centro-oeste do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). Localizada a aproximadamente 280 km a oeste de Porto Alegre, para acesso a região utiliza-se a BR-290, seguido pelas estradas vicinais à norte ou a sul da rodovia. Abrange parte das Folhas Vila Nova e Passo do Salsinho.

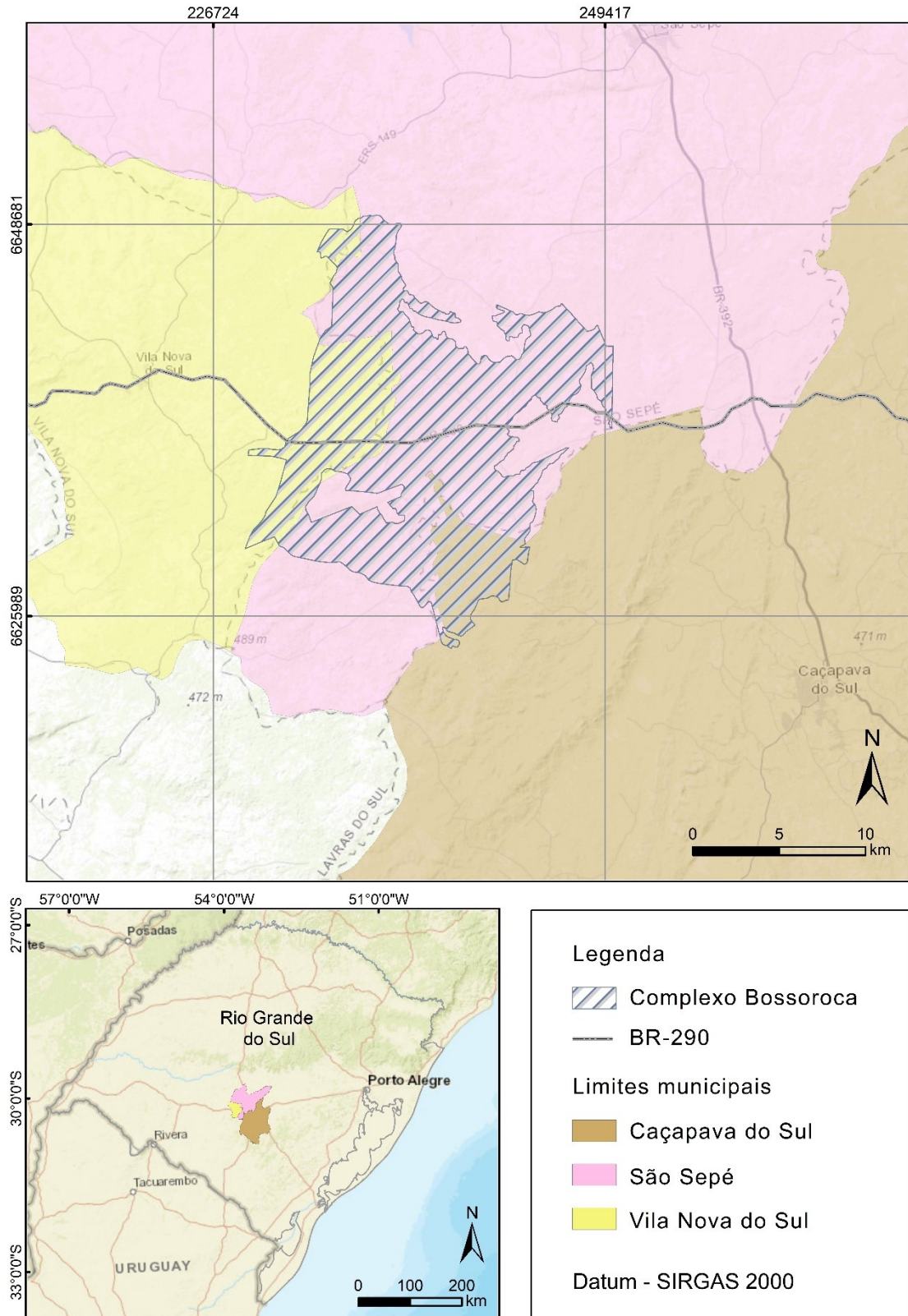


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

1.2. Objetivos

O objetivo geral do trabalho é modelar o metamorfismo de contato causados pela intrusão do Complexo Granítico São Sepé registrado nos xistos do Complexo Bossoroca, bem como analisar as condições petrográficas e estruturais do metamorfismo regional registrado nas rochas que não foram afetadas pela influência termal do CGSS. Tal objetivo geral foi alcançado com o cumprimento dos seguintes objetivos específicos:

- (1) descrever as estruturas do CB;
- (2) determinar as paragêneses das rochas do CB;
- (3) modelar as condições geotermobarométricas registradas nessas litologias.

1.3. Justificativa

O Complexo Bossoroca carece de estudos sistemáticos que caracterizem as condições de metamorfismo e deformação, cujo modelamento petrológico contribui para o avanço do entendimento do Bloco São Gabriel, em específico, e do Cinturão Dom Feliciano no contexto da colagem do supercontinente Gondwana Oeste, em geral.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Contexto Geológico e Geotectônico da Área de Estudo

O Gondwana Ocidental apresenta diversidade litológica e terrenos tectônicos Tonianos que fundamentam a orogenia do ciclo brasileiro. Esses terrenos foram fortemente retrabalhados durante as fases orogênicas mais jovens (Philipp et al. 2018).

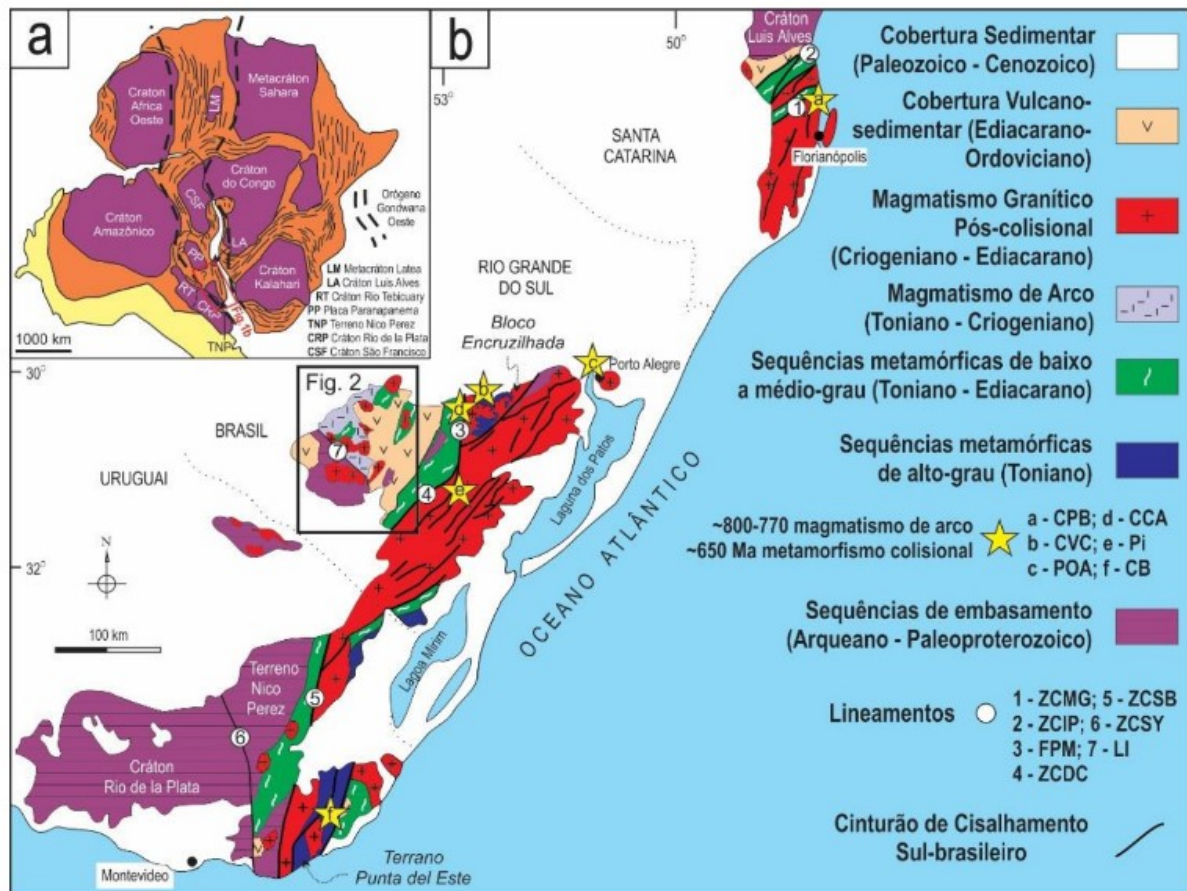


Figura 2 – a) Esboço geotectônico do Gondwana Ocidental. **b)** Contexto geotectônico do Cinturão Dom Feliciano (modificado de Bitencourt e Nardi, 2000; De Toni et al., 2020a; entre outros). Estrelas amarelas indicam ocorrência de rochas de arco magmático Toniano metamorfizadas em 650 Ma: CPB – Complexo Porto Belo; CVC – Complexo Várzea do Capivarita; POA – Gnaisses Porto Alegre; CCA – Complexo Cerro da Árvore; Pi – Gnaisses Piratini; CB – Gnaisses Cerro Bori.

Raramente todos os episódios da história dos cinturões orogênicos é preservada. O Bloco São Gabriel apresenta uma das melhores exibições do período inicial do Ciclo Brasileiro, cujos elementos estão relacionados com a construção e fechamento dos oceanos neoproterozóicos. O Cinturão Dom Feliciano foi formado durante uma evolução de cerca de 450 Ma, começando com a abertura do Oceano

Charrua, na porção sudoeste do Gondwana, entre 930-900 Ma, entre o cráton do Rio de La Plata e o Terreno Nico Perez. O encerramento deste oceano gerou dois arcos magmáticos juvenis entre 890-860 Ma e 770-720 Ma. A colisão do sistema de arco contra o Terreno Taquarembó foi registrado por um evento de metamorfismo entre 720-700 Ma. Seguiu-se a abertura e o encerramento do Oceano Adamastor em posição de retroarco (*backarc*) e a colisão entre o cráton Rio de la Plata e Kalahari no final do Neoproterozóico, definido entre 650-620 Ma. O colapso do cinturão é representado pelas bacias de *foreland* ou de colisões tardias, com uma idade deposicional máxima de 540 Ma. Quatro eventos distintos podem ser reconhecidos pelo desenvolvimento de quatro sistemas de arco: (1) Passinho (890-860 Ma), (2) São Gabriel (770-680 Ma), (3) Porongos (800-750 Ma) e (4) Dom Feliciano (770-680 Ma), definindo duas orogenias principais (Philipp et al. 2018). O Cinturão Dom Feliciano é dividido de oeste para leste nos seguintes domínios: (1) Bloco São Gabriel, (2) Faixa de Dobramentos Tijucas, (3) Batólito Florianópolis-Pelotas-Aigua e (4) Terreno Punta Del Este (Philipp et al. 2018).

2.2. Bloco São Gabriel

O Bloco São Gabriel (BSG) ocorre no oeste do Cinturão Dom Feliciano e tem uma forma alongada de direção N20-30°E, referente a uma área de aproximadamente 110 km x 60 km. O BSG é coberto no oeste e a norte pelas unidades Fanerozóicas da Bacia do Paraná, é limitada a sul pela Zona de Cisalhamento Ibaré e a leste pela Zona de Cisalhamento Caçapava do Sul, conforme Figura 3 (Philipp et al. 2018).

O Bloco São Gabriel consiste em remanescentes de complexos ofiolíticos e dois arcos magmáticos neoproterozóicos; o mais velho é um arco intraoceânico (Passinho) e o mais novo representa um arco de margem continental ativa (São Gabriel). Eles são cobertos pelas sequências sedimentares e vulcânicas da Bacia do Camaquã e posteriormente cortado por rochas graníticas (Gubert et al. 2016).

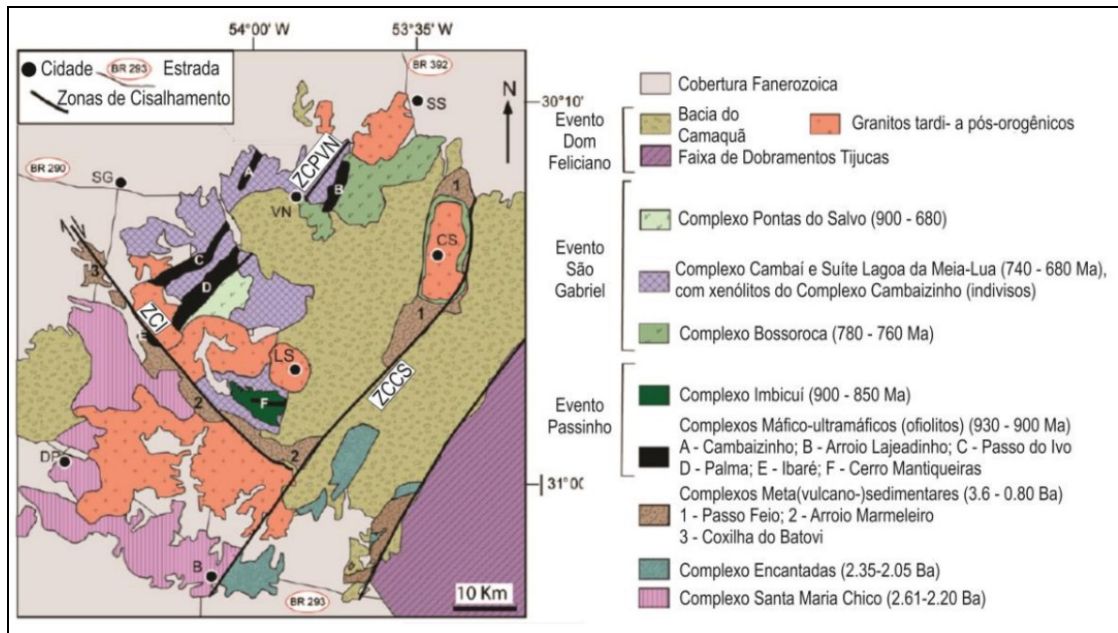


Figura 3 - Mapa geológico do Bloco São Gabriel (modificado de Philipp et al., 2018). As principais zonas de cisalhamento da região são indicadas (ZCPVN – Zona de Cisalhamento Palma-Vila Nova; ZCI – Zona de Cisalhamento Ibaré; ZCCS – Zona de Cisalhamento Caçapava do Sul), assim como as cidades (SS – São Sepé; CS – Caçapava do Sul; LS – Lavras do Sul; DP – Dom Pedrito; B – Bagé; VN – Vila Nova).

2.3 O Complexo Bossoroca

O Complexo Bossoroca foi designado por Koppe et al. (1985) como uma associação de rochas ultramáficas, máficas e vulcano-sedimentares, que forma um cinturão de orientação N20-30°E de aproximadamente 25km de extensão e 15km de largura. O metamorfismo é de baixo grau, predominantemente na fácies xisto verde, crescendo no sentido oeste até o contato com o Complexo Cambaí.

As rochas do Complexo Bossoroca eram originalmente conhecidas como Sequência Bossoroca (Hartmann, 1985), que incluía as litologias correspondentes à Formação Vacacaí. Neste trabalho, os autores propuseram três nomes para as rochas da região dos municípios de São Sepé e Vila Nova: Sequência Sanga do Areal, Sequência Bossoroca e Complexo granítico-gnáissico Cambaí. Koppe et al. (1985), ao trabalhar na mesma sequência metavulcano-sedimentar nas proximidades da mina de ouro Bossoroca, propôs o nome de Complexo Bossoroca. Este complexo foi subdividido em: (1) Sequência Arroio Lajeado, que compreende xistos magnesianos, serpentinitos, metaperidotitos e metapiroxenitos e (2) Sequência

Campestre, composta por uma associação de rochas metavulcânicas, metavulcanoclásticas e metassedimentares. O complexo é intrudido a norte pelo Granito São Sepé, coberto a leste pelas rochas vulcânicas da Formação Acampamento Velho (Bacia do Camaquã) e pelas rochas sedimentares da Formação Rio Bonito (Bacia do Paraná). A sul é intrudido pelos granitos Cerro da Cria e Ramada (Gubert et al. 2016).

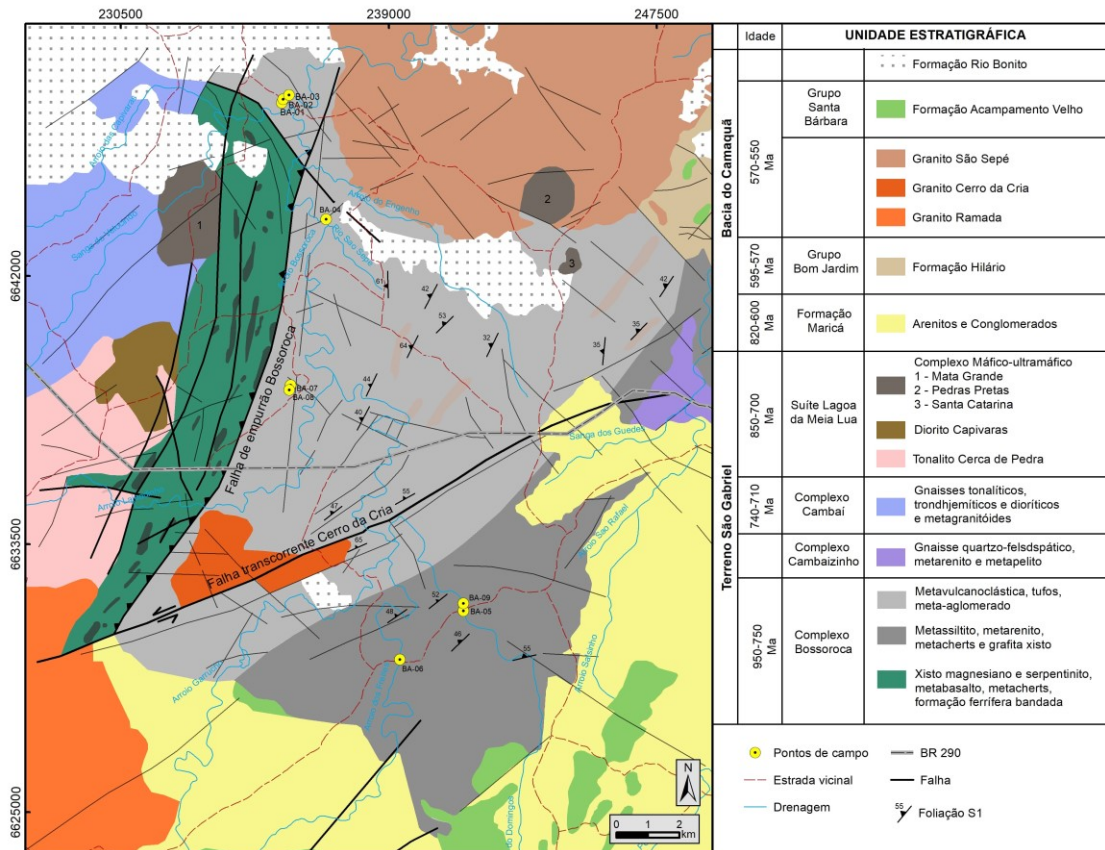


Figura 4 – Mapa do Complexo Bossoroca e das unidades adjacentes, com os pontos visitados em campo neste trabalho. Modificado de Gubert et al. (2016).

Rochas metavulcanoclásticas - esta subunidade ocupa as porções centrais e oeste da área e consiste principalmente em rochas metapiroclásticas classificadas pelo tamanho de grão. Inclui metatufo, tufo de meta-cristal, meta-lapilli tufo, meta-aglomerado e metabrecha, com pequenas intrusões subvulcânicas e de fluxos de lava. Vários ciclos de atividade vulcânica formaram um espesso pacote de rochas piroclásticas de composição variada de intermediária a ácida, com predominância de rochas intermediárias. As rochas apresentam acamamento contínuo e irregular alternando entre camadas de diferentes tamanhos de grão, com laminação de menos

de 1 cm a 1 m. O principal depósito desta unidade foi gerado por fluxo de cinzas, púmices e lavas (Gubert et al., 2016).

Rochas metavulcânicas – ocorrem geralmente formando lentes espessas variando de 0,5 a 15 m. Petrograficamente, podem ser classificadas como meta-andesito e metadacito. As rochas apresentam coloração cinza a cinza-esverdeado, estrutura maciça com textura blastoporfirítica caracterizadas por fenocristais de plagioclásio e quartzo hexagonal ou arredondado. A matriz é composta de plagioclásio, quartzo, clorita, biotita, epidoto, sericita, carbonato e minerais opacos, e apresenta foliação metamórfica incipiente. Os fenocristais são de plagioclásio (em torno de 80% de abundância) e quartzo (em torno de 20%), geralmente corroído nas bordas. Minerais máficos como a hornblenda e a biotita são intensamente alterados para sericita, epidoto e carbonato. A presença de agregados de clorita, epidoto e carbonato é provavelmente devido à alteração dos fenocristais de anfibólios. A biotita é parcialmente transformada em clorita, e finas agulhas de actinolita, titanita e zircão são minerais acessórios (Gubert et al., 2016).

Rochas meta-epiclásticas - Expostos na porção leste da área, ocorrem como lentes métricas atingindo camadas de até 20 m de largura com até 150 - 300 m de comprimento. Compreendem predominantemente metapelitos, e subordinadamente, metarenitos, metassiltitos e metaconglomerado. Os metarenitos estão associados a metassiltitos e metapelitos e apresentam um acamamento primário plano-paralelo, que apresenta forte retrabalhamento piroclástico ou de rochas vulcânicas, o que é evidenciado pela presença de porfiroclastos de quartzo azul. Os metarenitos são compostos predominantemente por grãos de quartzo, plagioclásio e muscovita, e a matriz é composta por clorita, epidoto e minerais opacos. O metassiltito e metapelito ocorrem em camadas centimétricas intercaladas com metarenitos. Este bandamento composicional é centimétrico e apresenta estruturas sedimentares primárias, como camadas gradacionais com estratificação cruzada laminada. O metaconglomerado é geralmente intercalado com arenitos e apresentam estratificação gradacional pouco desenvolvida. Os seixos do metaconglomerado variam entre 4 e 60 cm e incluem granito, metadacito, metandesito, rochas metavulcanoclásticas e quartzo. Os protólitos sedimentares foram gerados após a deposição da associação metavulcânica e anterior ao principal evento metamórfico e deformacional. Alguns clastos

são alongados em formas elípticas, resultante da intensa deformação regional (Gubert et al., 2016).

Rochas metassedimentares químicas - Estas rochas não são abundantes e incluem principalmente metachert e formação ferrífera bandada e metachert ferruginoso. Normalmente estão intercalados com metatufo e meta-lápili tufo (Gubert et al., 2016).

2.4 Relação do Complexo Granítico São Sepé com o Complexo Bossoroca

O Complexo Granítico São Sepé (CGSS) (Sartori, 1978), ou também denominado por Porcher et al. (1991) de Granito São Sepé, constitui um corpo maciço de forma alongada segundo a direção NE-SW. O CGSS apresenta relações de contato intrusivas com os complexos Bossoroca e Passo Feio, e com as rochas sedimentares do Grupo Maricá. O posicionamento do CGSS no extremo norte da porção ocidental do Escudo-Sul-Riograndense, ocorreu a 550 Ma (Remus et al., 2000) e representa o magmatismo do Evento Dom Feliciano, etapa pós-colisional do Ciclo Brasileiro (Chemale Jr., 2000). A intrusão granítica gerou, por metamorfismo de contato, uma auréola termal com cerca de 2 a 4 km de extensão e intensa circulação de fluidos tardi-magmáticos nas rochas do Complexo Bossoroca (Mattos et al, 2004).

A porção aflorante do CGSS apresenta dimensões de aproximadamente 22 km de comprimento e 15 km de largura. A exposição destas rochas graníticas decorreu da erosão da Formação Rio Bonito, que ainda cobre parte da sua porção periférica, a noroeste, norte e nordeste. Nas rochas do Complexo Bossoroca observa-se o desenvolvimento de cornubianitos sobre protólitos de composição pelítica, quartzo-feldspática e rochas metavulcânicas básicas, resultante da intensa transformação metamórfica gerada pelo contato intrusivo do CGSS (Mattos et al., 2004).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste trabalho compreende três etapas principais, sendo estas a etapa pré-campo, campo e pós-campo.

3.1 Pré-campo

3.1.1 Revisão bibliográfica

O entendimento a respeito dos trabalhos já existentes acerca da geologia da área de estudo, bem como a revisão de conceitos necessários para a compreensão dos processos geológicos observados em campo e em análise petrográfica, é essencial para execução de todas as fases deste trabalho. Para tanto, foram realizadas leituras e estudos sobre diversas publicações relacionadas à área de estudo, dentre as quais, a mais consultada foi Gubert et al. (2016), por se tratar da publicação mais recente com enfoque específico na unidade estudada.

3.1.2 Planejamento de campo

Para esta etapa foram revisados os trabalhos que definiram o Complexo Bossoroca, para melhor entendimento de sua delimitação geográfica e características petrográficas observáveis em campo. Também foi estudada a colocação do Complexo Granítico São Sepé e a seus efeitos temais nas rochas do Complexo Bossoroca, de modo a conseguir discernir em campo as zonas afetadas pelo metamorfismo de contato de zonas não afetadas.

A utilização de softwares como *Google Earth* e *ArcGis* é de grande importância no planejamento de campo, possibilitando um trabalho de campo com auxílio de mapas com a delimitação da área de estudo e dos corpos em contato, em especial, o Complexo Granítico São Sepé. Foram utilizadas imagens de satélite para prospecção de possíveis afloramentos e delimitação dos pontos potenciais a serem visitados. Arquivos digitais da geologia do estado, criados pela CPRM foram utilizados na elaboração de mapas que permitiram a visualização clara dos limites da área de estudo.

3.2 Campo

Esta etapa foi realizada considerando os pontos potenciais prospectados na etapa de planejamento de campo e teve como principal objetivo a coleta de dados e amostras da forma mais representativa possível. Sendo assim, foram visitados quatro pontos próximos ao contato com o CGSS, na porção norte da área, dois pontos na porção centro-oeste da área, e três pontos na porção sul do complexo, totalizando nove pontos de campo (vide Figura 4). Desta forma, foi possível estudar as diferentes paragéneses, texturas e estruturas do metamorfismo de contato e do metamorfismo regional.

De todos os pontos foram coletadas amostras orientadas, sendo marcado o corte paralelo à lineação e perpendicular à foliação (plano XZ) nas amostras que seriam laminadas. Foram registradas fotografias de todos os afloramentos e de suas principais texturas e estruturas em detalhes. No ponto BA09 foi feito croqui de detalhe do afloramento no qual foram representadas as medidas estruturais realizadas. O croqui deste ponto foi digitalizado e vetorizado em *software* Corel Draw para melhor compreensão das relações estruturais observadas em campo.

3.3 Pós-campo

3.3.1 Tratamento dos dados estruturais

As atitudes das estruturas planares e lineares foram representadas em um mapa que foi elaborado utilizando o *software* ArcGIS®, permitindo assim a análise da distribuição e variação das estruturas do complexo. Ademais, as atitudes também foram apresentadas por meio de projeção estereográfica equiárea do hemisfério inferior, o que foi feito utilizando o *software* Stereo32®, e posteriormente, o *software* Corel Draw para edições finais das imagens.

3.3.2 Petrografia

A análise petrográfica foi realizada em campo e, posteriormente, em um total de 16 lâminas delgadas que foram confeccionadas no Laboratório de Preparação de Amostras (LPA) que encontra-se nas dependências do Instituto de Geociências (IGEO) da UFRGS. Os cortes das amostras foram marcados de modo perpendicular

à foliação e paralelos à lineação, a fim de observar variações composicionais das camadas e possíveis indicadores cinemáticos confiáveis.

Os equipamentos utilizados nas descrições das lâminas petrográficas foram um microscópio petrográfico Olympus BX51 e uma lupa localizados no Departamento de Geologia da UFRGS. Ambos necessários para uma análise detalhada da mineralogia, texturas e estruturas das rochas, sendo a lupa de luz transmitida, útil no reconhecimento geral das lâminas, e o microscópio petrográfico, na identificação de minerais e visualização de microestruturas.

3.3.3 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX)

A Fluorescência de Raios-X (FRX) é uma técnica essencial para o desenvolvimento deste trabalho, pois proporciona a obtenção dos dados quantitativos (geoquímica de rocha total) que foram utilizados de entrada para a realização da pseudosseção.

A FRX é uma técnica quantitativa que viabiliza a análise de elementos químicos com número atômico maior que 10. Para este trabalho, foi realizada análises apenas nos elementos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5). Foram selecionadas 3 amostras, cujo critério de escolha foi a presença de minerais índice metamórficos. Para que a análise seja realizada é necessário preparar as amostras, de forma a transformá-las em pó (granulometria inferior a 200 *mesh*). Para tanto, é feita a britagem da rocha, com auxílio de um britador e, posteriormente, após tomar o cuidado de lavar a amostra para evitar contaminação química, é feita a moagem da brita, com um gral e um pistilo de porcelana, e se necessário, com o moinho de bolas, sendo utilizado para a análise 10g de material. As amostras foram analisadas no equipamento RIX2000 da Rigaku do Laboratório de Fluorescência de Raios-X do Instituto de Geociências da UFRGS com parâmetros 50 kV e 50 mA, onde o pó produzido é prensado em uma pastilha de vidro, para então ser analisado pelo equipamento (Figura 5).

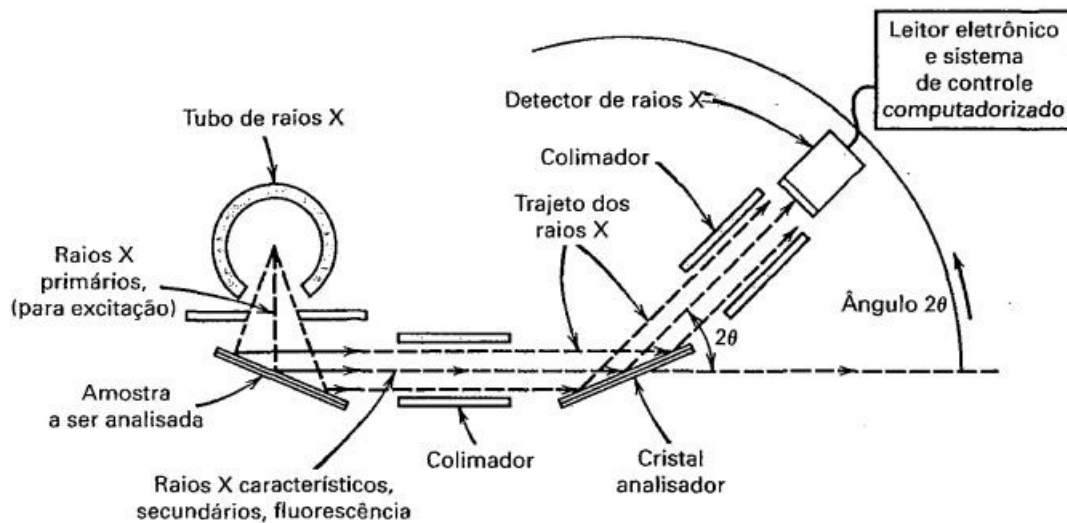


Figura 5 – Diagrama esquemático de um espectrômetro de fluorescência de raio X. Fonte: Klein e Dutrow (2009).

3.3.4 Microsonda Eletrônica

A Microsonda Eletrônica (ME) se faz essencial neste trabalho para a obtenção da química mineral de todos os minerais com soluções sólidas, o que é necessário para plotar as isoplefas nas pseudosseções, como será explicado no próximo subitem. Foram realizadas duas sessões no Laboratório de Microsonda Eletrônica (ME) do IGEO-UFRGS, nas quais foram analisadas 3 lâminas, sendo estas correspondentes às amostras escolhidas para análises de FRX.

A ME possibilita fazer análises quantitativas de elementos maiores (B ao U) com mais de 1% de abundância e elementos traço com pelo menos 100 ppm. Como pode ser visto na Figura 6, o feixe de elétrons é emitido de um canhão eletrônico que é focalizado por um conjunto de lentes condensadoras. Depois de incidir na amostra, este excita um volume de amostra de 1-3 μ m, o padrão de raios X secundários é lido por um espectrômetro de raios X (Klein e Dutrow, 2009).

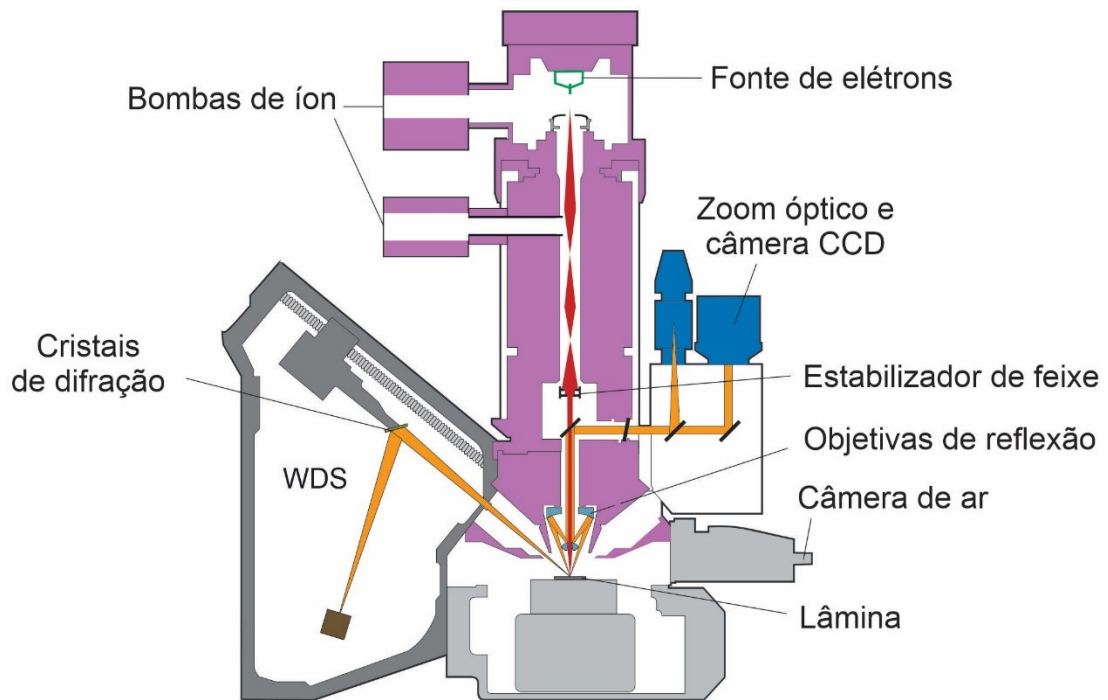


Figura 6 – Diagrama esquemático da Microsonda Eletrônica. Adaptado de CAMECA (Ametek), (2015).

3.3.5 Pseudosseção

A pseudosseção é um diagrama de fases calculado para a geoquímica de rocha total da litologia analisada, visando modelar as suas condições metamórficas de pressão e temperatura. Também é possível plotar isopleias, que são curvas de mesma composição para uma fase, com os teores de XMg ou membros finais de soluções sólidas, calculados com base na química mineral. Os dados de geoquímica de rocha total foram obtidos através do método de FRX, e os dados de química mineral foram obtidos na Microsonda Eletrônica.

O diagrama de fases é feito através do pacote de *softwares* Perple_X (Conolly, 2005; 2009), no qual as primeiras informações necessárias são os dados de geoquímica de rocha total e o intervalo de pressão e temperatura que comporte a paragênese que se deseja estudar. Posteriormente, é necessário o entendimento da paragênese em equilíbrio, o que é feito através da análise da assembleia mineral reconhecida em lâmina delgada, para reconhecer em qual campo de estabilidade a litologia está representada na pseudosseção. A área de sobreposição das curvas composicionais dos distintos minerais analisados através de ME restringe as

condições de pressão e temperatura na qual aquela assembleia foi formada em equilíbrio.

4 RESULTADOS

4.1 Geologia Estrutural

Os pontos visitados no trabalho de campo realizado podem ser divididos em dois domínios de acordo com as estruturas e aspectos texturais observados, sendo eles 1) a porção norte do CB, próximo do contato com o CGSS (BA01, BA02, BA03 e BA04) e 2) a porção central e sul da unidade, distante da interferência termal dos granitos pós-orogênicos (BA05, BA06, BA07, BA08 e BA09). Foram coletadas em trabalho de campo atitudes planares e lineares em ambos domínios do CB, que estão representadas no mapa da Figura 7.

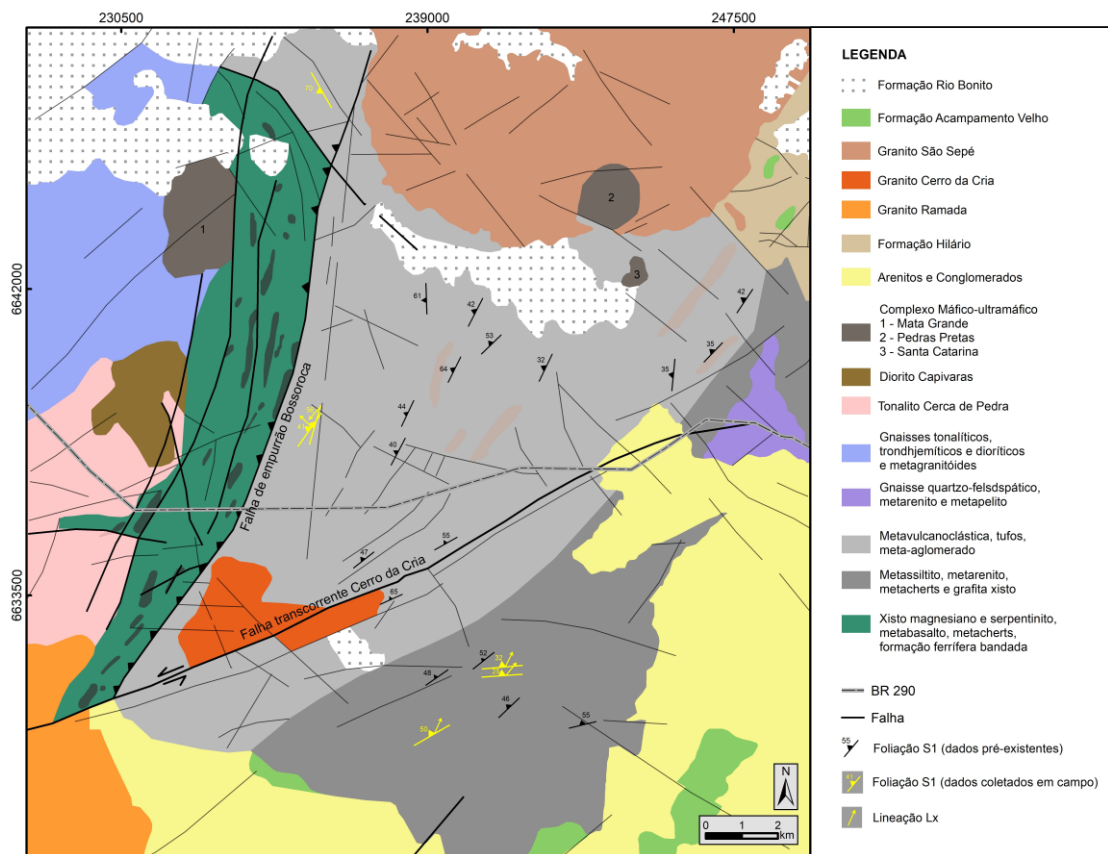


Figura 7 – Mapa com a disposição das estruturas lineares e planares medidas. Modificado de Gubert et al. (2016).

Na porção norte da área, próxima ao contato com o CGSS, observa-se rochas meta-vulcânicas, vulcanoclásticas e meta-pelito. É difícil a visualização de estruturas planares e lineares, sendo estas, na maioria dos pontos, inexistentes. Como pode ser visto na Figura 8, as rochas são maciças, com textura granoblástica, sendo possível, em alguns pontos, a identificação em campo dos porfiroblastos de hornblenda e cordierita.

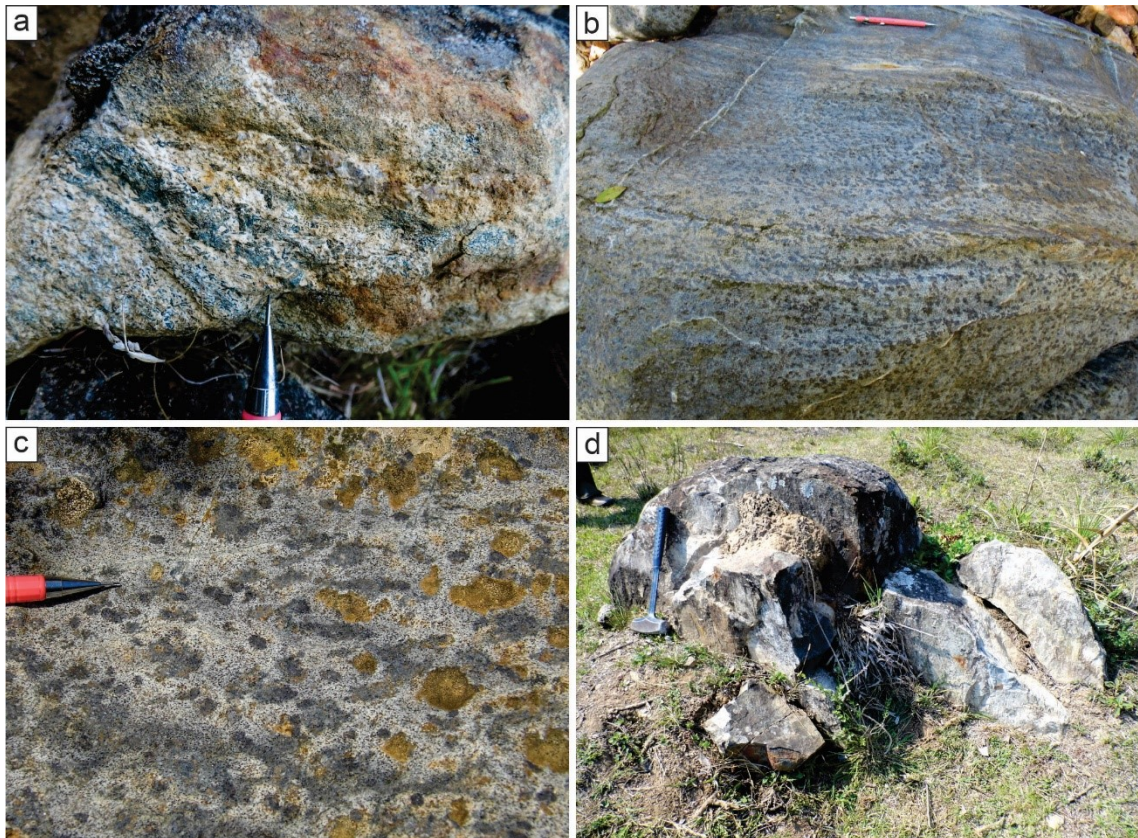


Figura 8 – Feições de campo das rochas próximas ao contato com o CGSS. **a)** Porfiroblastos de hornblenda decussada em agregados em rocha metavulcânica (BA01). **b)** Aspecto geral da rocha metavulcânica maciça com porfiroblastos de Crd (BA03). **c)** Detalhe da Figura 8b, porfiroblastos de cordierita em metapelito (BA03), cujo tamanho varia de 0,5 a 2 cm. **d)** Aspecto geral de um afloramento de rocha metapelítica no qual observa-se estrutura maciça.

Já nos pontos visitados na porção central e sul do complexo, as rochas são vulcanoclásticas e apresentam uma xistosidade metamórfica principal S_1 marcada pelo alinhamento de cristais de biotita e feldspato, e eventualmente quartzo e fragmentos líticos estirados, conferindo uma textura porfiroclástica. Esta xistosidade contém uma lineação de estiramento de alto *rake*. Intercaladas com o xisto, é possível observar camadas que variam em tamanho de milímetros a decímetros, com textura muito fina, o que dificulta a identificação composicional. Estas camadas estão

boudinadas e seus fragmentos contidos na S1 são alongados paralelamente à lineação de estiramento, como pode ser visto na Figura 9.

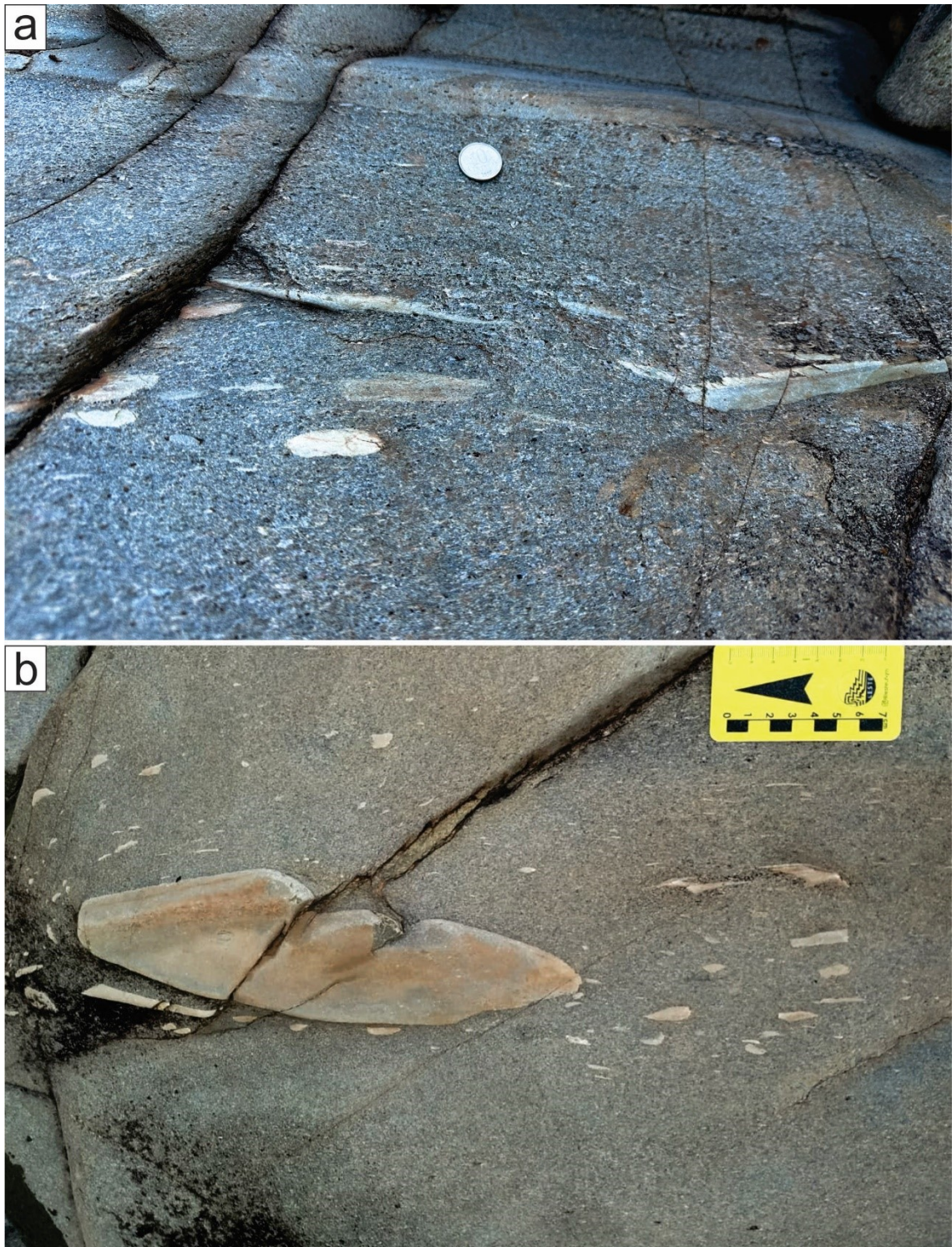


Figura 9 – Intercalação de rochas metavulcânicas com texturas contrastantes. Camadas de granulometria muito fina encontram-se boudinadas, com fragmentos estirados contidos na xistosidade da rocha metavulcânica porfiroclástica.

Conforme os estereogramas da Figura 10a, as estruturas planares S1 têm direção preferencial NE-SW e um padrão de distribuição em guirlanda, com medidas de mergulho preferencialmente em baixo ou médio ângulo para NW, mas também variando para baixo a médio ângulo para N e NNE, e alto ângulo para SW. Já as estruturas lineares apresentam caimentos baixos para NE na porção sul do complexo, e para SW e NW na porção central da área de estudo, como pode ser visto na Figura 10b.

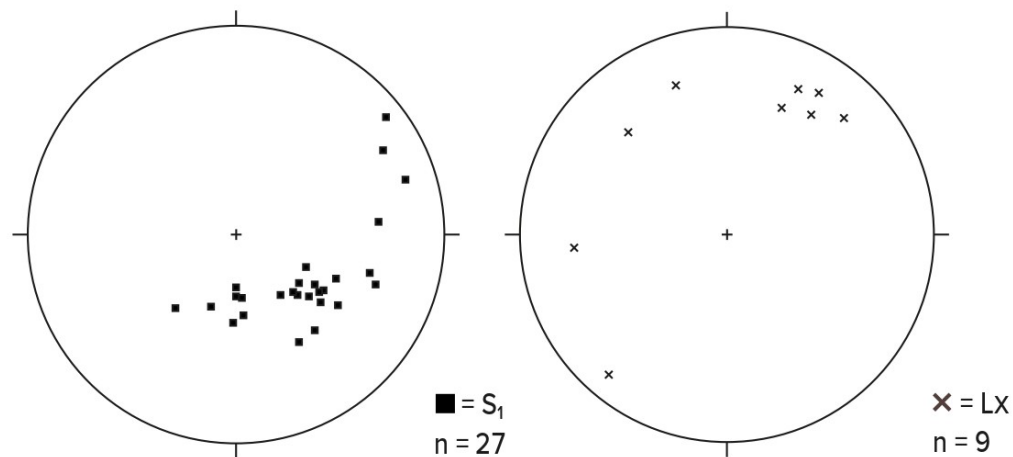


Figura 10 - Projeções estereográficas equiárea de hemisfério inferior na rede de Schmidt. **a)** Polos dos planos de xistosidade metamórfica (S1). **b)** Atitudes de lineações de estiramento (Lx).

Nos pontos da porção sul do complexo, foram observadas dobras fechadas recumbentes, com PA sub-horizontal, e dobras abertas com PA subvertical, que foram interpretadas como F1 e F2, respectivamente. Os eixos de F1 e F2 são paralelos, com caimento baixo para NE. O plano axial das dobras F1 tem direção NW e mergulho de baixo a médio ângulo para NE, como pode ser visto na Figura 11a, sendo concordante com a foliação S1 daquele afloramento. Já as F2 têm plano axial de direção NE e mergulho de alto ângulo para NW, conforme Figura 11b.

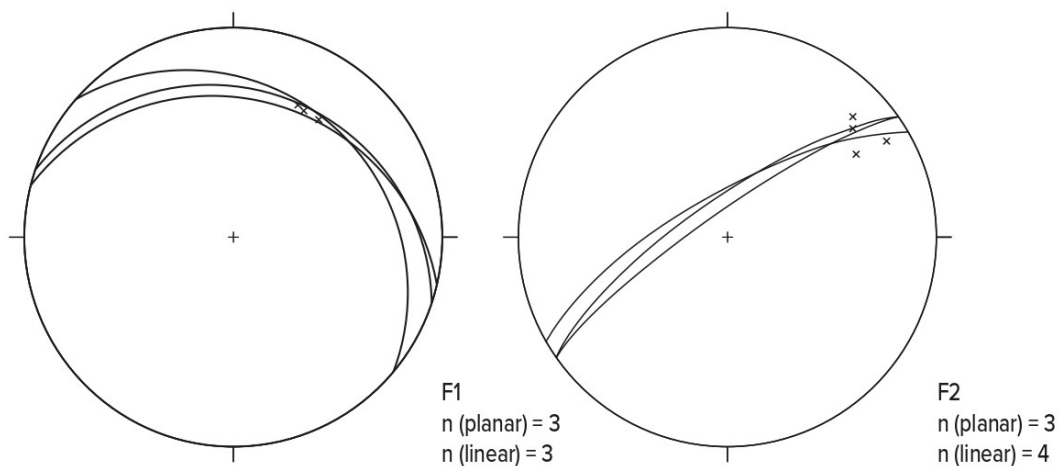


Figura 11 - Projeções estereográficas de hemisfério inferior na rede de Schmidt. **a)** Planos axiais e eixos das dobras F1. **b)** Planos axiais e eixos das dobras F2.

No ponto BA09, é possível observar na rocha principal vulcanoclástica, uma camada de tufo de aproximadamente 8 cm de espessura, na qual é visível o acamadamento reliquiar S_0 . Observa-se o acamadamento dobrado e deslocado ao longo de planos axiais que coincidem com a orientação geral da S_1 na área (Figura 12), interpretada como foliação plano axial da primeira fase de dobras. A Figura 13 mostra a dobra F2 assimétrica aberta com eixo sub-horizontal, e a foliação metamórfica S_1 dobrada.

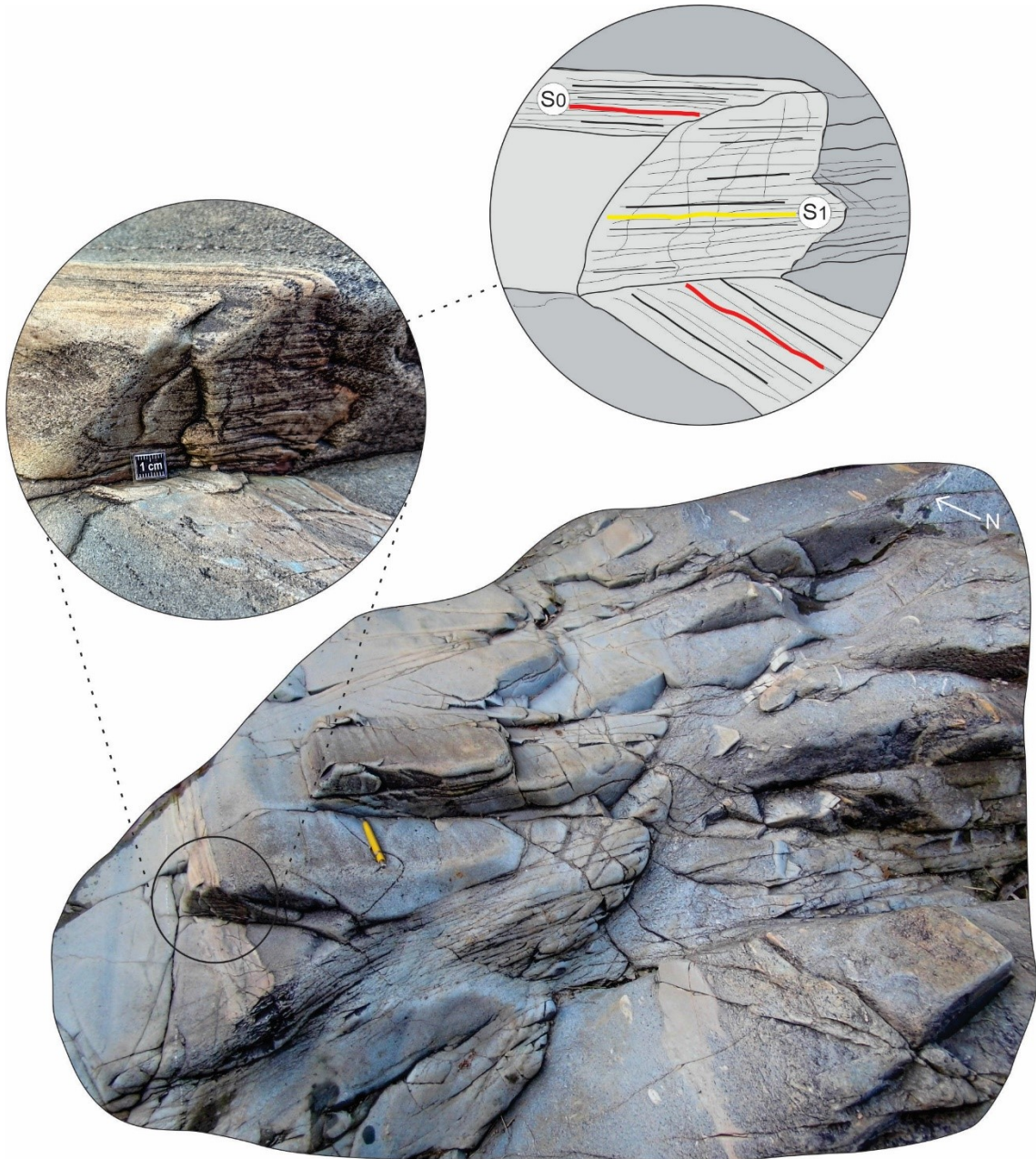


Figura 12 – Afloramento do ponto BA09, no qual observa-se camada reliquiar S0, com a linha vermelha representativa no croqui, e foliação metamórfica S1, com a linha amarela representativa.



Figura 13 – Dobra assimétrica aberta com eixo sub-horizontal, observa-se que o PA da dobra é de alto ângulo e há desenvolvimento de clivagem plano-axial; a linha tracejada amarela representa a foliação metamórfica S1 dobrada.

No ponto BA-05 é possível observar um indicador cinemático, sendo um fragmento de rocha provavelmente gerado pela boudinagem das camadas, ou alternativamente um piroclasto primário reliquiar na rocha metavulcânica. O indicador cinemático é indicativo de movimento de topo para SW, conforme Figura 14. Já em escala microscópica, a lâmina oriunda de amostra do ponto BA-09 apresenta cinemática aparente horária (Figura 15) que, com base na orientação da amostra, também indica topo para SW.

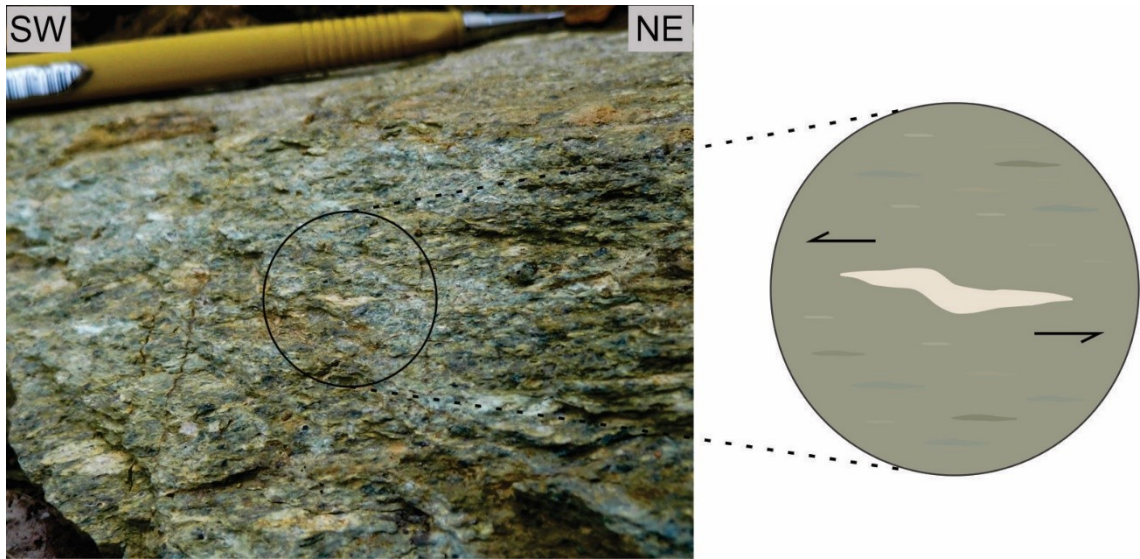


Figura 14 – Fragmento lítico em rocha metavulcânica porfiroclástica interpretado como indicador cinemático visto em campo.

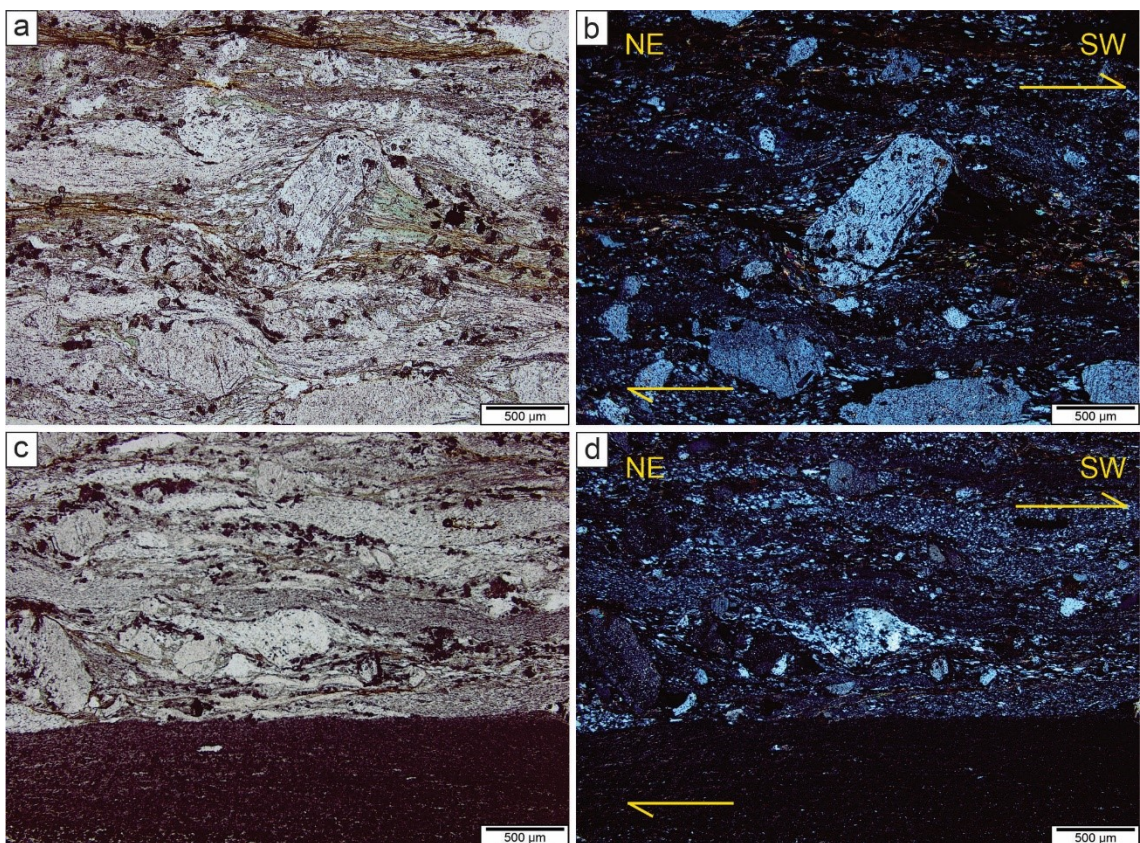


Figura 15 – Indicadores cinemáticos em escala microscópica na amostra BA09-A-1. **a)** Fotomicrografia a luz natural de porfiroclastos de plagioclásio com sombra de pressão composta por tremolita, actinolita e mica branca. O maior porfiroclasto ao centro encontra-se com alongamento oblíquo em relação à foliação, o que sugere cinemática horária (topo para SW). **b)** Mesmo cristal da Figura 8a, porém, sob luz polarizada, permitindo a visualização da recristalização das micas. **c)** Porfiroclasto composto por agregado de cristais de quartzo como indicador cinemático de topo para SW (luz natural). **d)** Mesma região da Figura 8d, porém, sob luz polarizada.

4.1 Petrografia

A petrografia foi realizada em lâminas oriundas dos dois trabalhos de campo realizados. A Tabela 1 apresenta as assembleias minerais descritas e sua respectiva localização. Das cinco assembleias minerais, três foram selecionadas para a modelagem geotermobarométrica através da produção das pseudosseções, sendo estas: (1) Hbl-Qz-Pl-Kfs-Op-Ap; (2) Grt-Bt-Qz-Pl-Kfs-Op; e (3) Grt-Bt-Qz-Pl-Kfs-Op-Crd-St.

Tabela 1 - Localização e assembleia mineral das lâminas petrográficas analisadas.

Amostra	Coordenadas (UTM)	Assembleia Mineral
BA01-A *	235602mE / 6647499mN	Hbl-Qz-Pl-Kfs-Op-Ap
BA02-A *	235642mE / 6647602mN	Grt-Bt-Qz-Pl-Kfs-Op
BA03-A * BA03-B	235830mE / 6647739mN	Grt-Bt-Qz-Pl-Kfs-Op-Crd-St
BA04-A BA04-B BA04-C	237007mE / 6643802mN	Grt-Bt-Qz-Pl-Kfs-Op-Ms-St
BA05-A BA05-B BA05-C	241362mE / 6631382mN	Tr-Act-Qz-Pl-Kfs-Op-Ep
BA06-A	239342mE / 6629840mN	Tr-Act-Qz-Pl-Kfs-Op-Ep
BA07-A	235879mE / 6638541mN	Tr-Act-Qz-Pl-Kfs-Op-Ep
BA08-B1 BA08-B2	235836mE / 6638385mN	Tr-Act-Qz-Pl-Kfs-Op-Ep
BA09-A1 BA09-A2	241366mE / 6631621mN	Tr-Act-Qz-Pl-Kfs-Op-Ep

* Amostra selecionada para pseudosseção.

BA01-A

A amostra BA01-A possui textura granoblástica (Figura 16) e sua mineralogia principal é composta por Hbl (~25%), Qz (~25%), feldspatos (~45%), Ap (~2%), e Op (~3%). Os grãos de hornblenda têm textura porfiroblástica decussada com contatos

sinuosos e textura poiquiloblástica, apresentam pleocroísmo de verde claro a verde escuro e encontram-se formando agregados e parcialmente substituídos para biotita. Os cristais de apatita ocorrem como inclusões nos grãos de Hbl, como pode ser visto na Figura 16 c e d. Os grãos de Pl da matriz estão sericitizados. Os opacos estão predominantemente associados ao anfibólio. Os cristais de Hbl variam de 0,2 a 3,5 mm, e os cristais de Qz e feldspatos que compõem a matriz variam entre 0,08 e 0,6 mm. A rocha foi classificada como metavulcânica.

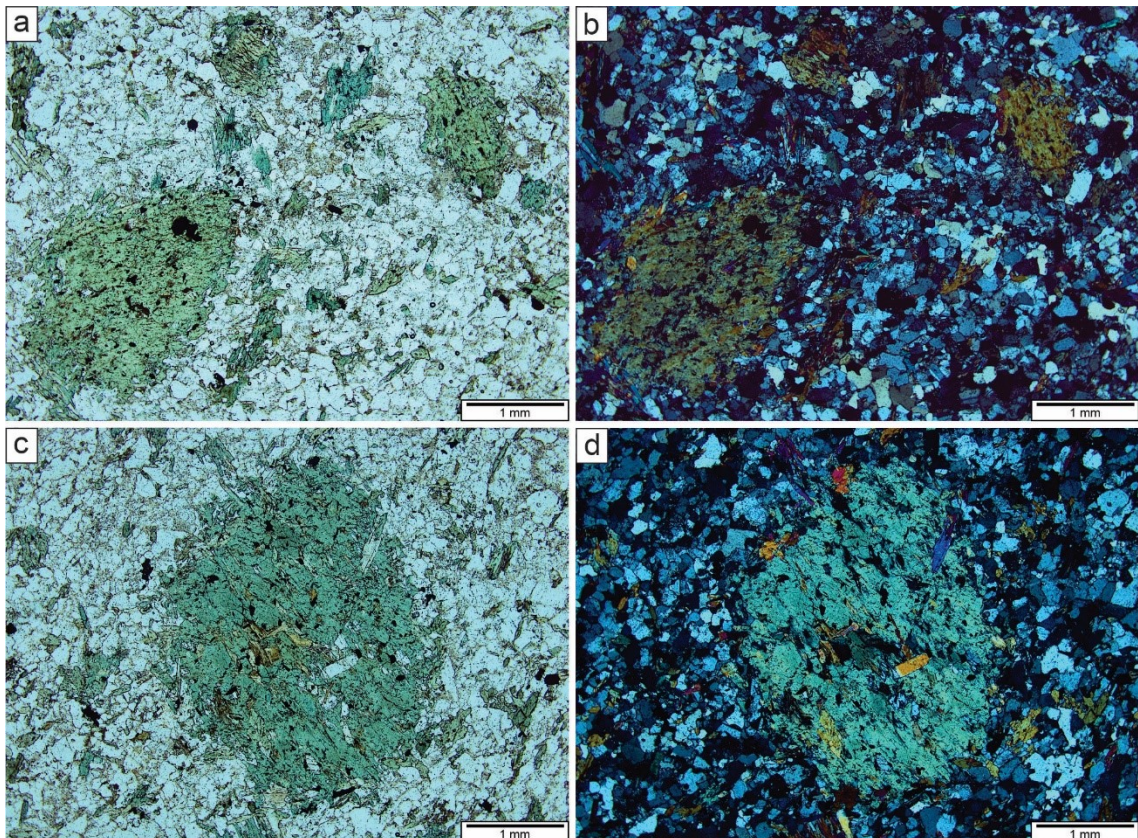


Figura 16 - a) Textura porfiroblástica dos cristais de Hbl, envoltos por uma matriz quartzo-feldspática (luz natural). **b)** Mesma região da figura 5a, porém, sob luz polarizada, possibilitando melhor visualização da matriz. **c)** Porfiroblasto de hornblenda com textura poiquiloblástica, dada por inclusões de apatita e opacos (luz natural). **d)** Mesmo cristal da Figura 16c, entretanto, sob luz polarizada.

BA02-A

A mineralogia principal da rocha é composta por Qz, Pl e Kfs em proporções similares (~20%), Bt (~25%), Grt (~10%) e Op (~5%). Os grãos de Qz-Pl-Kfs constituem uma matriz de textura granoblástica e variam, predominantemente de 0,04 a 0,08 mm, com porções em que chegam a 0,2 mm. Os cristais de Bt têm textura lepidoblástica (Figura 17 a e b), apresentam pleocroísmo de marrom claro a marrom

escuro e variam de 0,08 a 0,4 mm. A Grt é poiquiloblástica com inclusões de Qz, como pode ser visto na Figura 17 c e d, e varia de 0,08 a 0,4 mm. Os cristais de Bt estão orientados e controlados pela foliação, enquanto a Grt corta a foliação principal, sendo portanto pós-cinemática. Devido a composição peraluminosa da rocha, com pouca granada e biotita em abundância, classifica-se essa rocha como metapelito.

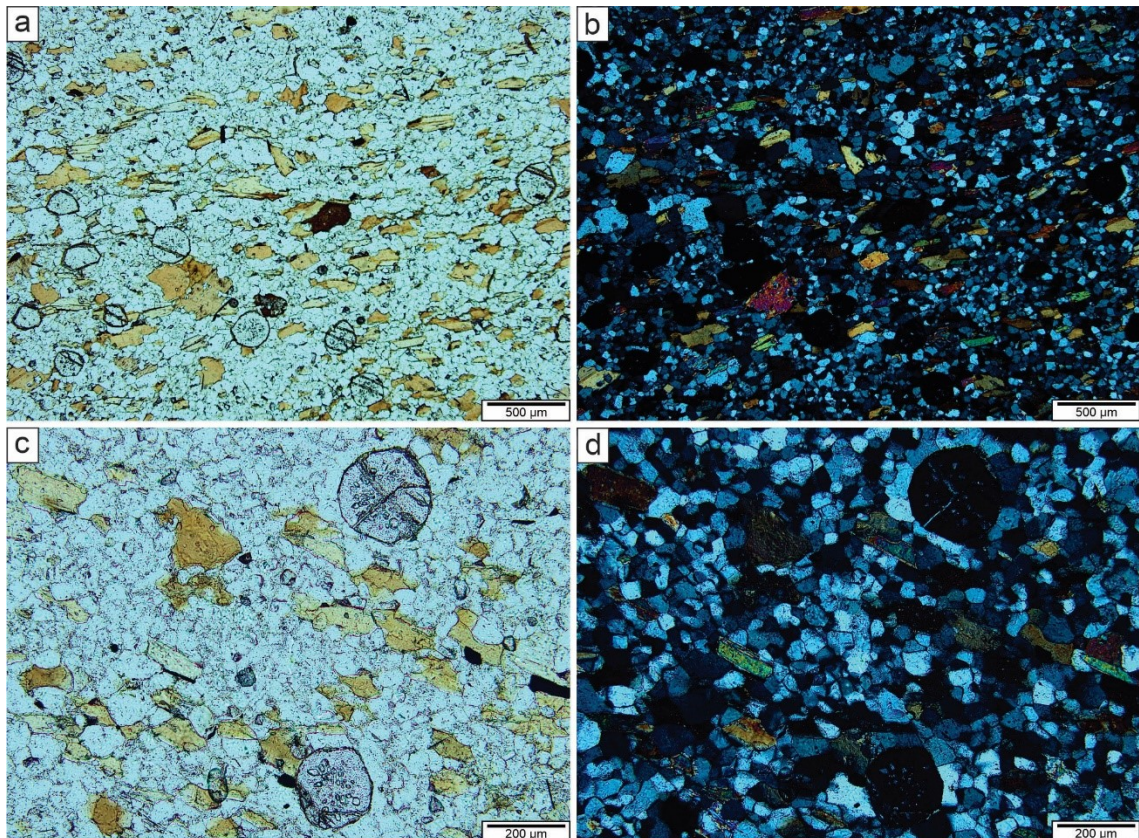


Figura 17 – Aspectos petrográficos da rocha metapelítica. **a)** Textura lepidoblástica da Bt e porfiroblastos de Grt cortando a foliação principal da rocha. **b)** Mesma região da Figura 17a, porém, sob luz polarizada, sendo possível observar a matriz quartzo-feldspática com textura granoblástica poligonal. **c)** Fotomicrografia a luz natural em detalhe das inclusões de Qz nas granadas. **d)** Mesma região da Figura 17c, entretanto, sob luz polarizada, sendo visível a textura granoblástica poligonal da matriz quartzo-feldspática.

BA03-A

A mineralogia principal da amostra BA03-A é Qz, Kfs e Pl compondo a matriz em proporções similares (~20%), Bt (~20%), Gt (~6%), Crd (~8%), St (~3%) e Op (~3%). Os cristais de Bt apresentam pleocroísmo de marrom claro a marrom escuro, sendo que parte tem textura lepidoblástica fina e parte tem textura decussada, sendo a biotita em ambos os casos com textura poiquiloblástica com inclusões de Qz. A Grt é poiquiloblástica com inclusões de Qz e possui auréola de clorita, conforme Figura 18. Os cristais de Crd e St têm textura esquelética, como pode ser visto em detalhe nas Figura 19 e Figura 20. A matriz tem textura granoblástica poligonal cujos minerais variam de 0,04 a 0,2 mm. Os feldspatos são sericitizados. Os cristais de Bt variam de 0,08 a 0,8 mm, os de Grt entre 0,1 e 0,4 mm, os de Crd de 0,8 a 8 mm, e os de St de 0,2 a 0,8 mm. A rocha foi classificada como metapelítica.

Devido ao caráter esquelético dos porfiroblastos de Crd (Figura 19) e St (Figura 20), a distinção entre os minerais foi dificultada na petrografia. Salienta-se que a distinção foi apoiada nos dados oriundos das análises de Microsonda Eletrônica, que serão detalhados no capítulo a seguir.

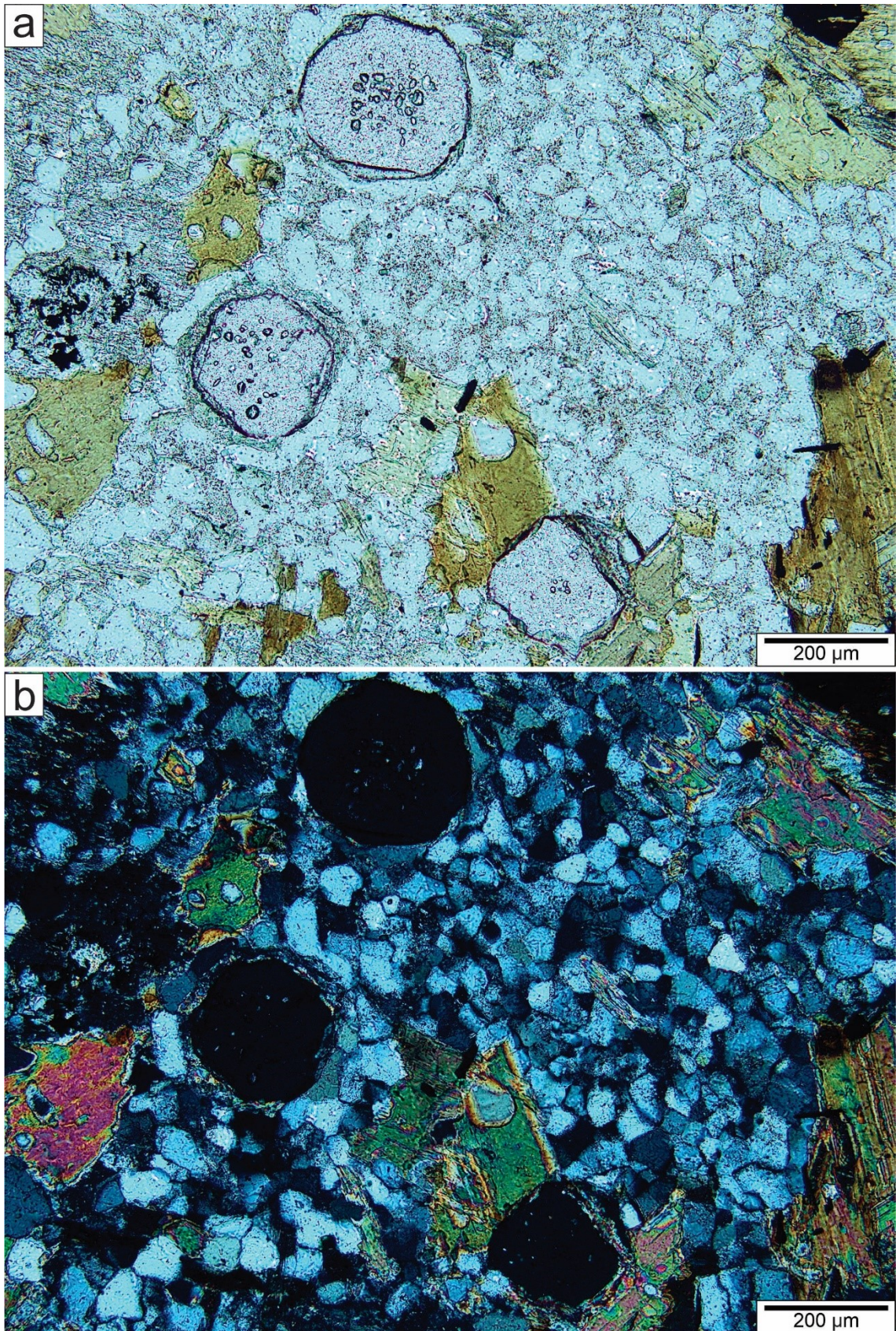


Figura 18 – a) Detalhe das granadas poiquiloblásticas com auréola de clorita, e dos cristais de biotita decussada; também é possível observar matriz quartzo-feldspática, com textura, em parte, poligonal (luz natural). **b)** Mesmos cristais de Grt, porém, sob luz polarizada.

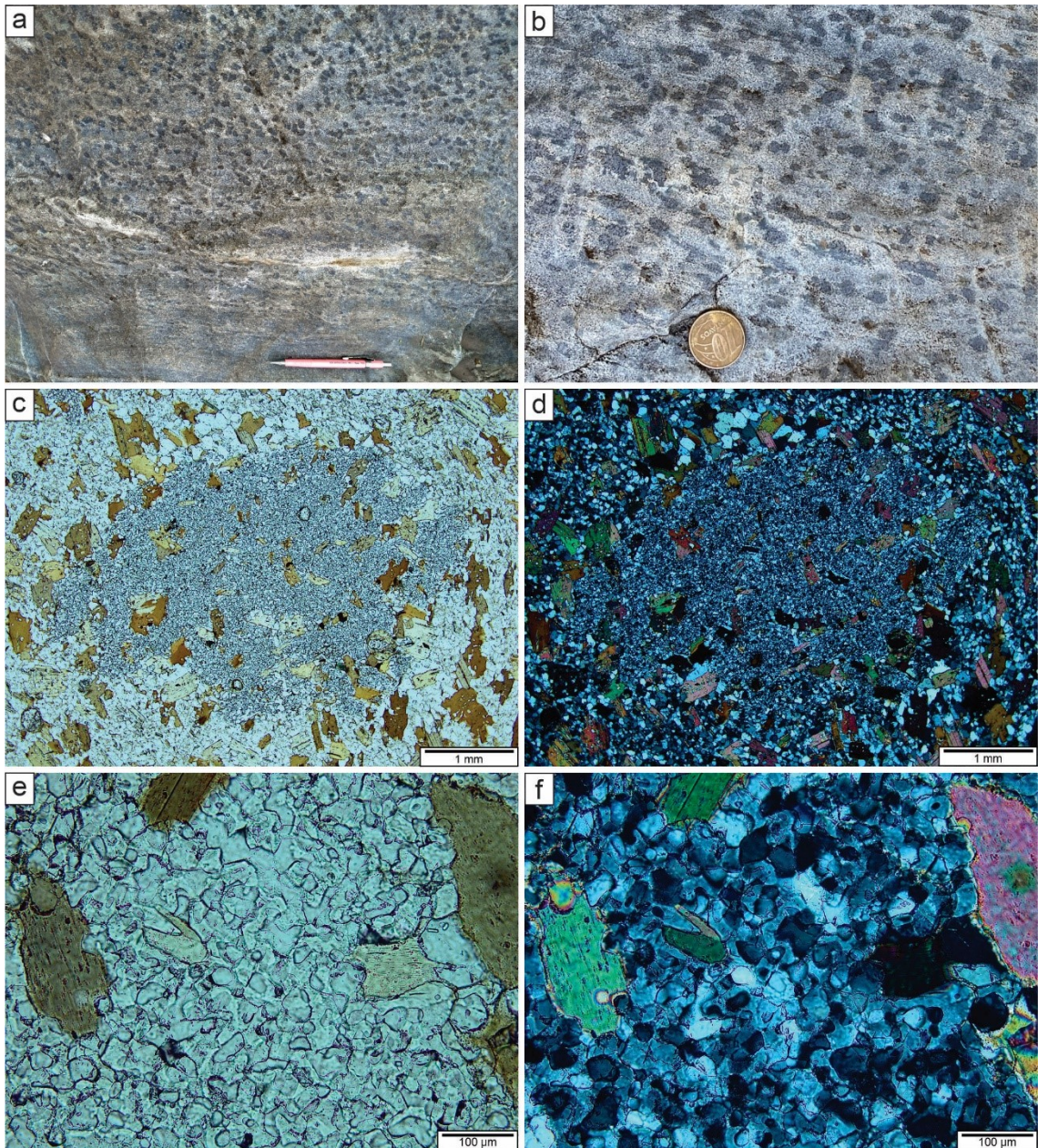


Figura 19 - a) Vista do afloramento do qual a amostra BA03-A foi coletada, onde é possível observar os porfiroblastos de Crd a olho nu. **b)** Detalhe em afloramento dos porfiroblastos de Crd. **c)** Fotomicrografia a luz natural do porfiroblasto de Crd. **d)** Mesma região da Figura 19c, porém, sob luz polarizada. **e)** Fotomicrografia a luz natural em detalhe da textura esquelética da Crd. **f)** Mesma região da Figura 19e, entretanto, sob luz polarizada.

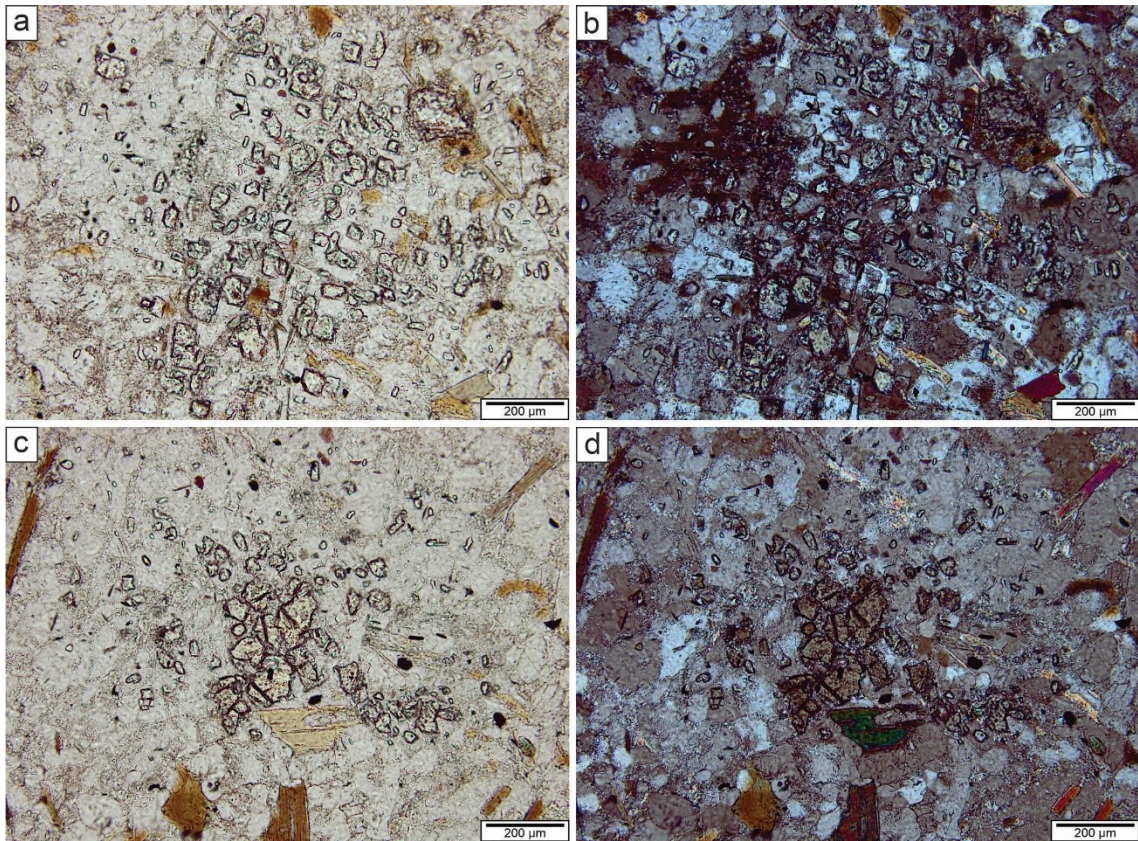


Figura 20 – a) Cristal de estauroilita com textura esqueletal (luz natural). **b)** Mesmo cristal da Figura 20a, porém, sob luz polarizada. **c)** Outro cristal de St (luz natural). **d)** Mesmo cristal de St da Figura 20c, porém, sob luz polarizada.

BA05-A

A amostra BA05-A é composta essencialmente por PI (~35%), Qz (~25%), Act (~15%), Tr (~15%), Ms (~4%), Ep (~3%), Op (~3%). A rocha apresenta lentes de material tufáceo de até 1 mm de espessura. Os porfiroclastos de PI variam de 0,2 a 0,8 mm, enquanto os cristais de PI da matriz variam de 0,02 a 0,08 mm, ambos com alteração para micas brancas. O Qz da matriz tem textura granoblástica, variando de 0,01 a 0,08 mm, e como porfiroclastos variam de 0,3 a 1,5 mm, como mostra a Figura 21. Os cristais de Act têm textura nematoblástica e pleocroísmo de incolor a verde claro e medem em torno de 0,4 mm de espessura. Os cristais de Tr têm textura nematoblástica e variam até 0,8 mm de espessura. O Ep varia entre 0,06 e 0,6 mm. A rocha foi classificada como metapiroclástica.

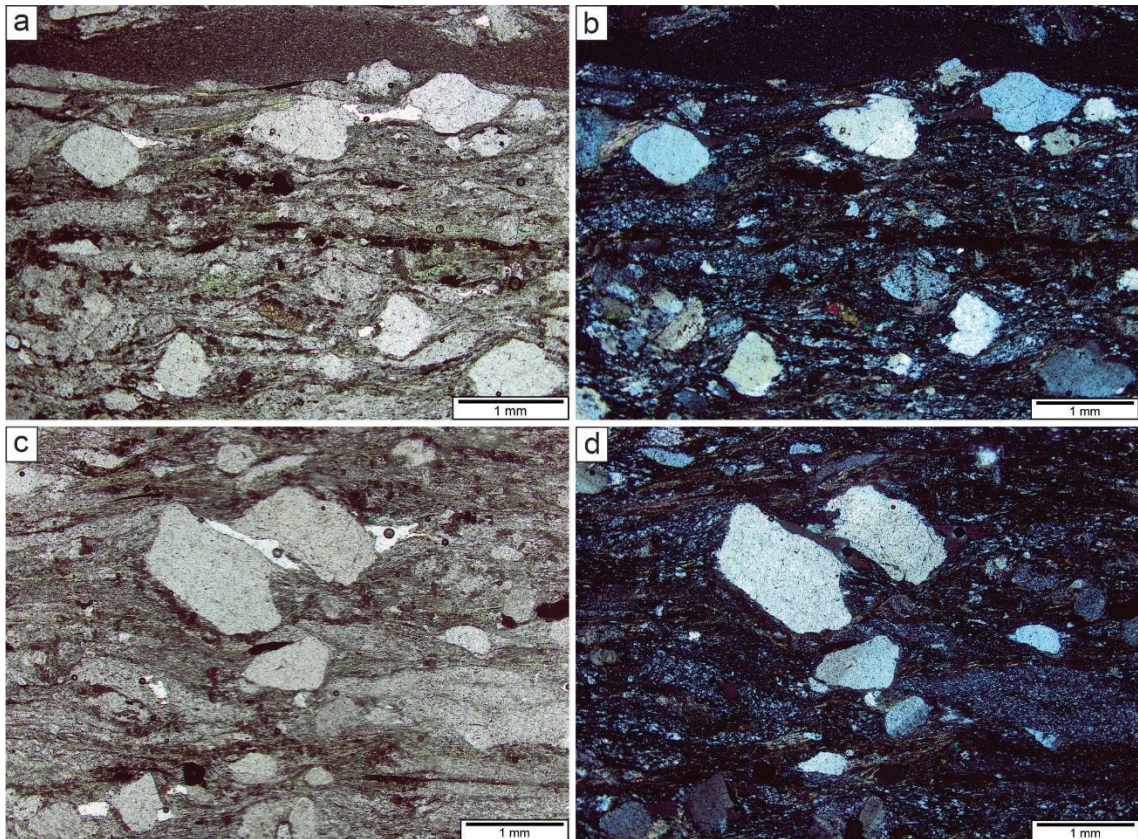


Figura 21 – **a)** Porfiroclastos de Qz e Pl envoltos por Act e Tr. Na porção superior da imagem se observa uma camada com espessura de 0,5 a 1 mm de tufo (luz natural) **b)** Mesma região da Figura 21a, entretanto, sob luz polarizada. **c)** Porfiroclastos de Qz e Pl envoltos por matriz fina (luz natural). **d)** Mesma região da Figura 21c, porém, sob luz polarizada.

BA09-A-1

A mineralogia principal da rocha é composta por Pl (~40%), Qz (~20%), Act (~15%), Tr (~15%), Ms (~4%), Ep (~3%), Op (~3%). Os porfiroclastos de Pl (Figura 22 a e b) variam de 0,08 a 1,12 mm, enquanto os cristais de Pl da matriz variam de 0,02 a 0,08 mm, ambos estão sericitizados. O Qz com textura granoblástica presente na matriz varia de 0,01 a 0,08 mm. Os cristais de Act têm textura nematoblástica e pleocroísmo de incolor a verde claro e medem em torno de 0,8 mm de espessura. Os cristais de Tr têm textura nematoblástica e variam até 0,8 mm de espessura. O Ep varia entre 0,08 a 0,8 mm. É possível observar uma lente de composição tufácea de até 2,2 mm de espessura, como pode ser visto na Figura 22 c e d. A gradação de tamanho de grão na camada tufácea é característica reliquiar, assim como a forma dos fragmentos angulosos (cristaloclastos) na rocha porfiroclástica, sugestivo da natureza piroclástica do protólito. A rocha foi classificada como metapiroclástica.

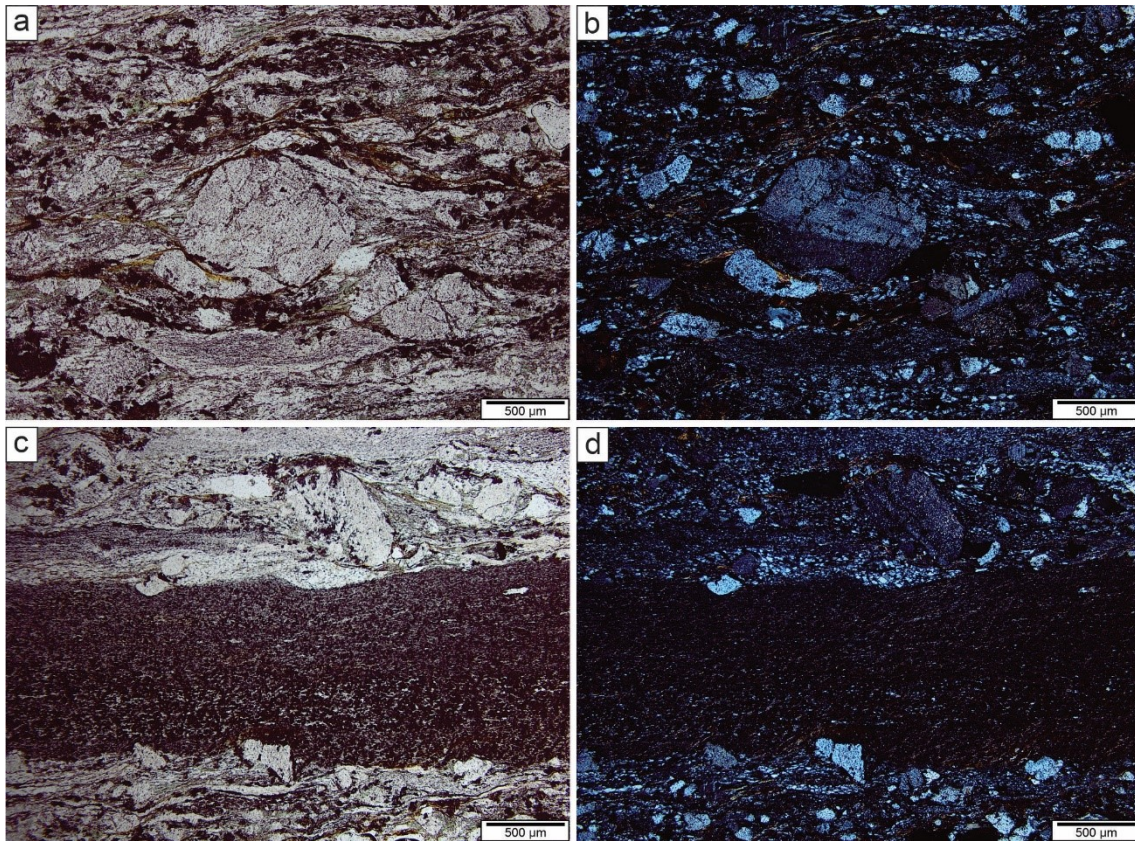


Figura 22 - a) Porfiroclasto de Pl, circundado por cristais de Act e Tr e matriz quartzo-feldspática (luz natural). **b)** Mesmo cristal da Figura 22a, porém, sob luz polarizada. **c)** Camada de tufo intercalada na metavulcânica piroclástica (luz natural). **d)** Mesma região da Figura 22c, porém, sob luz polarizada.

4.3 Geoquímica de Rocha Total

Análises de química de rocha total foram feitas por Espectrometria de Fluorescência de Raios X realizadas no Centro de Pesquisas em Petrologia e Geoquímica (CPGq) no Instituto de Geociências da UFRGS, através da técnica de amostra fundida com curva de calibração com o padrão ACE e tubos de raios-X de Rh. Os voláteis foram avaliados através de técnicas gravimétricas (LOI – *loss of ignition*). Os dados brutos resultantes da análise são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados das análises de geoquímica de rocha total.

Óxidos (% em peso)	BA01-A	BA02-A	BA03-A
SiO ₂	62,80	68,03	63,61
Al ₂ O ₃	16,41	13,77	16,98
TiO ₂	0,55	0,75	0,66
Fe ₂ O ₃	5,74	6,46	6,89
MnO	0,12	0,13	0,13
MgO	1,97	1,19	2,50
CaO	6,70	3,20	2,45
Na ₂ O	4,21	3,84	3,08
K ₂ O	0,57	1,60	2,39
P ₂ O ₅	0,25	0,14	0,11
L.O.I.	0,70	0,90	1,20
TOTAL	100	100	100

O P₂O₅ não é um dado de entrada aceito no Perple_X, logo, utiliza-se a metodologia descrita no Apêndice A para definir a quantidade de CaO que seria proporcional ao P₂O₅ para formar apatita (CaO_{apatita}) e se retira esse valor do CaO analisado. O Fe₂O₃ foi convertido para FeO sendo multiplicado pelo fator de conversão de 0,89. Os dados tratados são apresentados na Tabela 3 do modo como foram utilizados no Perple_X.

Tabela 3 - Dados tratados que foram utilizados no Perple_X.

Óxidos (% em peso)	BA01-A	BA02-A	BA03-A
SiO ₂	62,80	68,03	63,61
Al ₂ O ₃	16,41	13,77	16,98
TiO ₂	0,55	0,75	0,66
FeO	5,16	5,81	6,20
MnO	0,12	0,13	0,13
MgO	1,97	1,19	2,50
CaO-CaO _{apatita}	6,40	3,03	2,32
Na ₂ O	4,21	3,84	3,08
K ₂ O	0,57	1,60	2,39
H ₂ O	0,70	0,90	1,20

4.4 Química Mineral

Análises químicas de minerais foram obtidas na microsonda eletrônica (ME) do Instituto de Geociências da UFRGS sob condições analíticas de 15nV e 15nA. Foram realizadas análises pontuais em cristais de hornblenda, plagioclásio, K-feldspato, granada, estauroлита, cordierita e biotita, cujos resultados completos podem ser vistos no Apêndice B. As Tabela 4, Tabela 5 e Tabela 6 apresentam os resultados de análises pontuais representativas em porcentagem peso para os óxidos obtidos na ME, seus respectivos íons recalculados com base na fórmula química do mineral, os membros finais calculados de Py, Alm, Gross e Sp, e os teores de XAn, XMg.

A Tabela 4 apresenta as análises pontuais representativas da amostra BA01-A que foram realizadas em cristais de plagioclásio e hornblenda. Os cristais de plagioclásio apresentam valores de XAn que variam de 0,40 até 0,46.

Tabela 4 - Análises representativas de química mineral para a amostra BA01-A.

% peso dos óxidos de cada mineral								
Mineral	Plagioclásio				Hornblenda			
SiO₂	57,11	56,74	56,35	57,64	44,19	41,97	42,73	46,87
TiO₂					0,37	0,32	1,93	2,37
Al₂O₃	27,56	27,70	27,63	27,02	13,39	15,22	14,10	9,92
FeO	0,15	0,17	0,16	0,09	0,47	0,45	0,48	0,69
MnO					16,59	17,24	16,69	18,77
MgO					9,18	8,12	8,53	10,86
CaO	9,29	9,83	9,74	8,63	11,15	11,10	11,20	8,12
Na₂O	6,65	6,45	6,21	6,83	0,98	1,43	1,28	0,63
K₂O	0,04	0,04	0,04	0,06	0,23	0,29	0,31	0,20
Número de cátions								
	O 8				O 32			
Si	2,55	2,53	2,53	2,58	6,57	6,32	6,36	6,86
Ti					0,04	0,04	0,22	0,26
Al	1,45	1,46	1,46	1,42	2,34	2,70	2,47	1,71
Fe	0,01	0,01	0,01	0,00	1,70	1,82	1,83	2,19
Mn					0,06	0,06	0,06	0,09
Mg					2,03	1,82	1,89	2,37
Ca	0,44	0,47	0,47	0,41	1,77	1,79	1,79	1,27
Na	0,57	0,56	0,54	0,59	0,28	0,42	0,37	0,18
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,06	0,06	0,04
XAn	0,43	0,45	0,46	0,40				

A amostra BA02-A teve análises pontuais realizadas em cristais de granada e biotita, conforme Tabela 5. Os cristais de biotita apresentam valores representativos de XMg entre 0,45 e 0,48 enquanto os cristais de granada mostram os membros finais Py entre 0,11 e 0,12, Alm entre 0,71 e 0,72, Gross entre 0,45 e 0,54 e Sp em torno de 0,10.

Tabela 5 – Análises representativas de química mineral para a amostra BA02-A.

% peso dos óxidos de cada mineral								
Mineral	Granada				Biotita			
SiO₂	37,34	37,61	37,23	37,15	34,81	35,00	35,66	35,39
TiO₂	0,02	0,02	0,04	0,06	1,13	2,07	1,69	2,49
Al₂O₃	20,92	20,56	21,09	20,78	17,74	18,88	19,26	19,03
FeO	31,25	31,28	31,23	31,16	19,86	18,56	18,18	18,43
MnO	4,58	4,54	4,62	4,55	0,15	0,09	0,08	0,08
MgO	2,83	2,94	3,07	3,00	10,15	8,61	9,25	8,91
CaO	1,68	1,61	1,54	1,85	0,12	0,00	0,03	0,00
Na₂O					0,02	0,13	0,09	0,13
K₂O					7,48	9,58	9,61	9,50
Número de cátions								
	O 24				O 11			
Si	3,05	3,07	3,03	3,03	5,46	5,42	5,43	5,39
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,24	0,19	0,29
Al	2,01	1,98	2,02	2,00	3,28	3,44	3,46	3,42
Fe	2,13	2,14	2,12	2,13	2,60	2,40	2,31	2,35
Mn	0,32	0,31	0,32	0,31	0,02	0,01	0,01	0,01
Mg	0,34	0,36	0,37	0,36	2,37	1,99	2,10	2,02
Ca	0,15	0,14	0,13	0,16	0,02	0,00	0,00	0,00
Na					0,01	0,04	0,03	0,04
K					1,50	1,89	1,86	1,85
XMg	0,14	0,14	0,15	0,15	0,48	0,45	0,48	0,46
Alm	0,72	0,72	0,72	0,71				
Py	0,11	0,12	0,12	0,12				
Gros	0,49	0,47	0,45	0,54				
Sp	0,10	0,10	0,10	0,10				

A Tabela 6 apresenta as análises pontuais realizadas na amostra BA03-A nos cristais de granada, biotita, cordierita e estauroлита. O XMg nos cristais de biotita é entre 0,46 e 0,47, nos de cordierita entre 0,65 e 0,68 e nos de estauroлита entre 0,13 e

0,15. Já as análises das granadas mostram XMg entre 0,14 e 0,15 e os membros finais Py entre 0,11 e 0,12, Alm entre 0,67 e 0,69, Gross entre 0,45 e 0,48 e Sp entre 0,14 e 0,15.

Tabela 6 – Análises representativas de química mineral para a amostra BA03-A.

% peso dos óxidos de cada mineral									
Mineral	Granada				Biotita				
SiO₂	37,32	37,49	37,58	37,52	35,30	34,88	35,07	35,03	
TiO₂	0,04	0,08	0,03	0,06	1,93	1,95	1,58	1,73	
Al₂O₃	20,91	21,19	20,87	20,90	18,88	18,82	19,72	19,44	
FeO	29,72	29,73	29,94	29,91	19,12	19,44	18,58	18,83	
MnO	6,45	6,51	6,35	6,46	0,21	0,22	0,20	0,16	
MgO	3,05	3,02	2,77	2,96	9,41	9,20	9,00	9,15	
CaO	1,65	1,57	1,60	1,63	0,00	0,00	0,00	0,00	
Na₂O					0,11	0,09	0,16	0,17	
K₂O					9,30	9,23	9,12	9,23	
Número de cátions									
	O 24				O 11				
Si	3,03	3,03	3,05	3,04	5,38	5,37	5,38	5,37	
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,23	0,18	0,20	
Al	2,00	2,02	2,00	1,99	3,39	3,41	3,56	3,51	
Fe	2,02	2,01	2,03	2,02	2,44	2,50	2,38	2,41	
Mn	0,44	0,45	0,44	0,44	0,03	0,03	0,03	0,02	
Mg	0,37	0,36	0,34	0,36	2,14	2,11	2,06	2,09	
Ca	0,14	0,14	0,14	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	
Na					0,03	0,03	0,05	0,05	
K					1,81	1,81	1,78	1,80	
XMg	0,15	0,15	0,14	0,15	0,47	0,46	0,46	0,46	
Alm	0,67	0,68	0,69	0,68,26					
Py	0,12	0,12	0,11	0,12					
Gros	0,48	0,45	0,47	0,47					
Sp	0,14	0,15	0,14	0,14					

Tabela 6 - continuação

% peso dos óxidos de cada mineral								
Mineral	Cordierita				Estauroлита			
SiO₂	48,58	48,93	48,53	48,93	27,26	27,17	26,65	27,05
TiO₂	0,00	0,01	0,00	0,01	0,24	0,37	0,37	0,32
Al₂O₃	33,37	33,45	33,21	33,23	54,26	54,40	55,44	54,77
FeO	7,78	7,12	7,63	7,47	12,15	12,29	12,55	11,56
MnO	0,44	0,49	0,45	0,47	0,37	0,49	0,38	0,65
MgO	8,25	8,55	8,15	8,07	1,09	1,11	1,04	1,16
CaO	0,02	0,03	0,02	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02
Na₂O								
K₂O								
Número de cátions								
	O 18				O 48			
Si	4,99	5,00	5,00	5,02	7,70	7,65	7,46	7,62
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,08	0,08	0,07
Al	4,04	4,03	4,03	4,02	18,06	18,05	18,30	18,18
Fe	0,67	0,61	0,66	0,64	2,87	2,89	2,94	2,72
Mn	0,04	0,04	0,04	0,04	0,09	0,12	0,09	0,16
Mg	1,26	1,30	1,25	1,23	0,46	0,47	0,44	0,49
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Na								
K								
XMg	0,65	0,68	0,65	0,65	0,14	0,14	0,13	0,15

As análises de química mineral mostram que os cristais de feldspato alcalino da amostra BA01-A têm uma variação de XAn de 0,40 até 0,46. O gráfico da Figura 23 mostra que os cristais analisados são exclusivamente classificados como andesina.

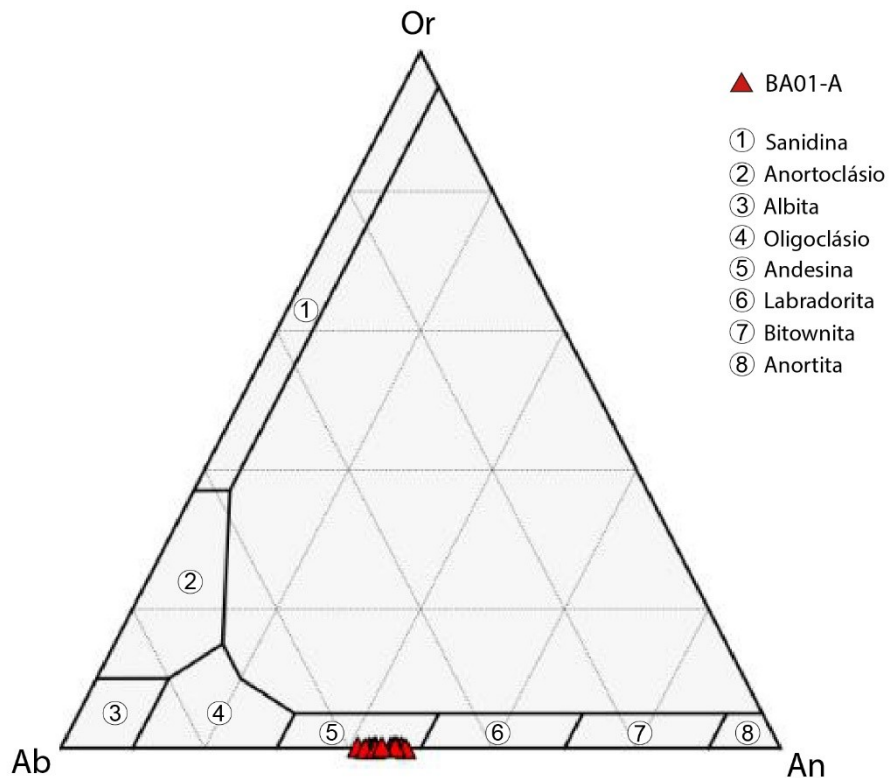


Figura 23 - Diagrama ternário de classificação dos feldspatos com a composição dos cristais de plagioclásio analisados.

Já as granadas apresentam teores de X_{Alm} entre 0,71 e 0,72 na amostra BA02-A e entre 0,67 e 0,68 na amostra BA03-B, como pode ser visto na Figura 24. Sendo assim, todas as granadas analisadas são classificadas como almandina.

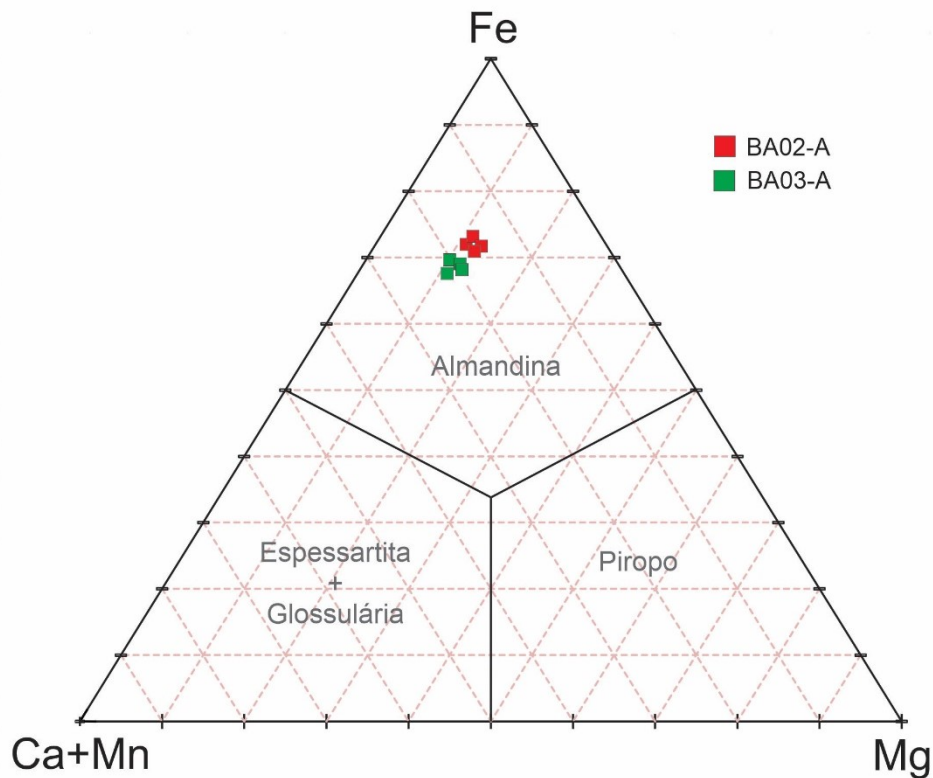


Figura 24 – Diagrama ternário de classificação das granadas com a composição dos cristais representativos analisados.

4.5 Geotermobarometria

4.5.1 BA01-A

A modelagem realizada em pseudosseção para a amostra metavulcânica BA01-A apresentou paragêneses discordantes da paragênese descrita em petrografia. A análise petrográfica indica uma assembleia mineral composta por Hbl-Qz-Pl-Kfs-Op-Ap, enquanto a pseudosseção apresenta presença de Grt, Bt, Cpx e Opx. Portanto, foi realizada geotermobarometria clássica segundo a referência de Holland e Blundy (1994) para cálculos de temperatura e de Anderson e Smith (1995) e Molina et al. (2015) para cálculos de pressão.

Foram selecionados sete pares representativos de hornblenda e plagioclásio que apresentam aparente condições de equilíbrio químico devido suas relações de contato direto. Os pontos analisados em ME foram posicionados próximos ao limite entre os grãos. Como pode ser visto na Tabela 7, a estimativa das condições

calculadas através do geotermômetro de Holland e Blundy (1994) varia de 651-693,9 °C e as pressões calculadas pelo geobarômetro de Anderson e Smith (1995) ocorrem no intervalo de 8,2-9,3 kbar. Já a estimativa de pressão calculada pelo geobarômetro de Molina et al. (2015) varia de 8-10 kbar.

Tabela 7 – Geotermobarometria realizada nos pares de hornblenda e plagioclásio.

Par Hbl-Pl	Condições		
	T (°C)	P (Kbar)	P (Kbar)
1	660,8	8,74	8
2	693,9	8,53	9
3	686,3	9,36	9
4	675,6	8,28	9
5	651,4	9,15	10
6	654,4	9,24	9
7	689	8,34	8

*Condições calculadas pelo geotermômetro de Holland and Blundy (1994)

*Condições calculadas pelo geotermômetro de Molina et al. (2015)

4.5.2 BA02-A

Para a amostra BA02-A a pseudosseção (Figura 25) foi calculada com base na geoquímica de rocha total (Tabela 3) entre os intervalos de temperatura de 500-800 °C e de pressão de 2,5-7,5 kbar. As paragêneses presentes na pseudosseção apresentam anfibólio e clinopiroxênio, o que não foi observado na análise petrográfica da amostra, cuja assembleia mineral é Grt-Bt-Qz-Pl-Kfs-Op. Sendo assim, as paragêneses que mais se assemelham à descrita é a da área com Pl-Amph-Grt-Bt-IlGkPy-Qz-H₂O e a da área com Pl-Amph-Grt-Bt-IlGkPy-Qz-H₂O. Neste caso, a estimativa de condições geotermobarométricas é entre 500-590 °C e 2,6-5,9 kbar.

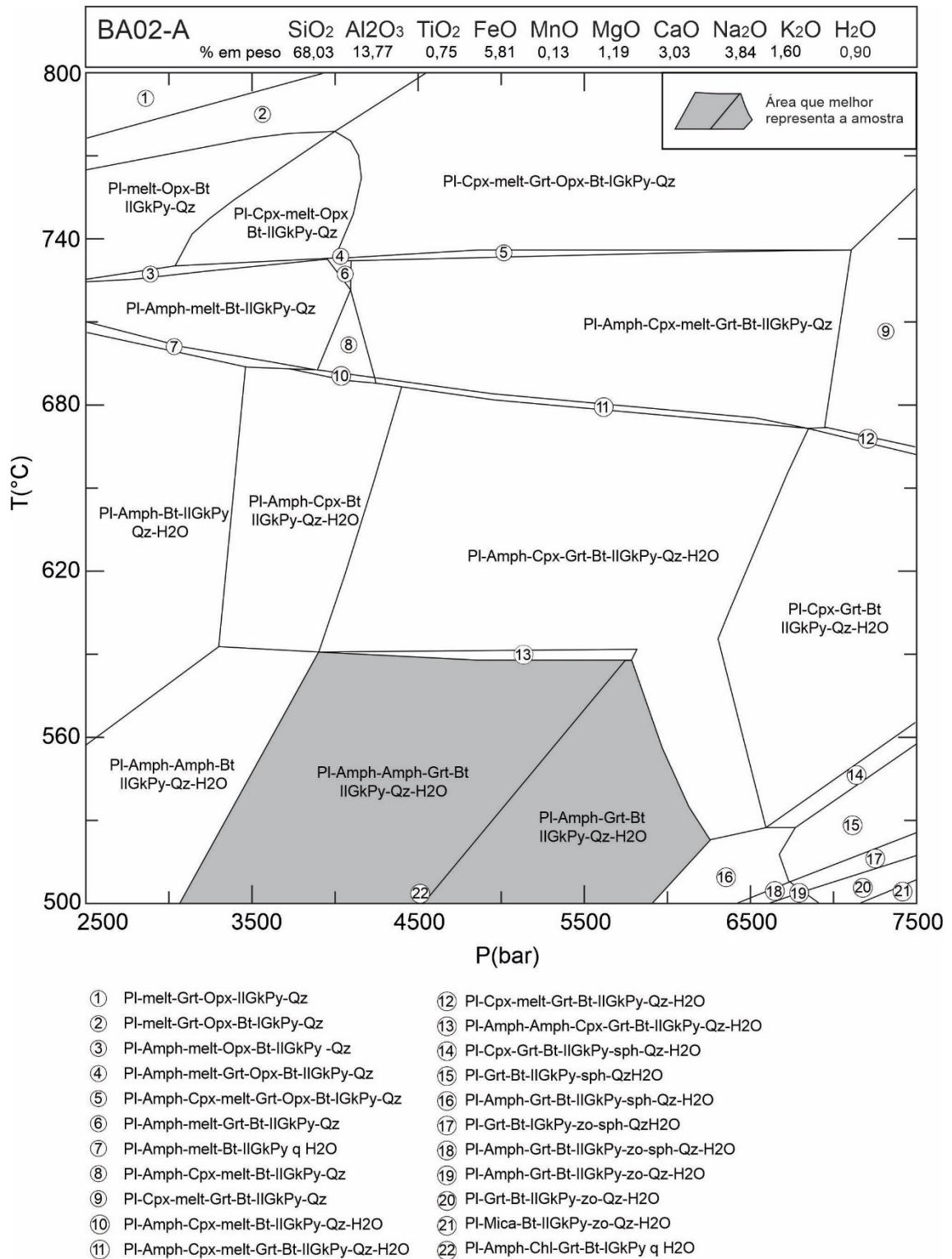


Figura 25 – Pseudosseção modelada a partir da química de rocha total da amostra BA02-A.

As isopletas modeladas se apresentam em disparidade com os valores analisados em ME, o que impossibilitou o cálculo das curvas representativas das análises de XMg de Bt e dos membros finais de Grt. A presença de anfibólio e clinopiroxênio no modelo pode ser responsável pela incoerência entre as isopletas e as análises, tendo em vista que a modelagem pode ter redistribuído os elementos químicos no sistema nestes minerais inexistentes.

4.5.3 BA03-A

Para a amostra BA03-A foi modelada uma pseudosseção (Figura 26) utilizando a geoquímica de rocha total (Tabela 3) para os intervalos de temperatura entre 500-800 °C e de pressão entre 2,5-7,5 kbar. A paragênese descrita para a amostra é igual a área de n° 22 (Pl-Grt-St-Bt-Crd-IIIGKPy-Qz), que indica condições variando de 560-600 °C e 3,4-4,6 kbar.

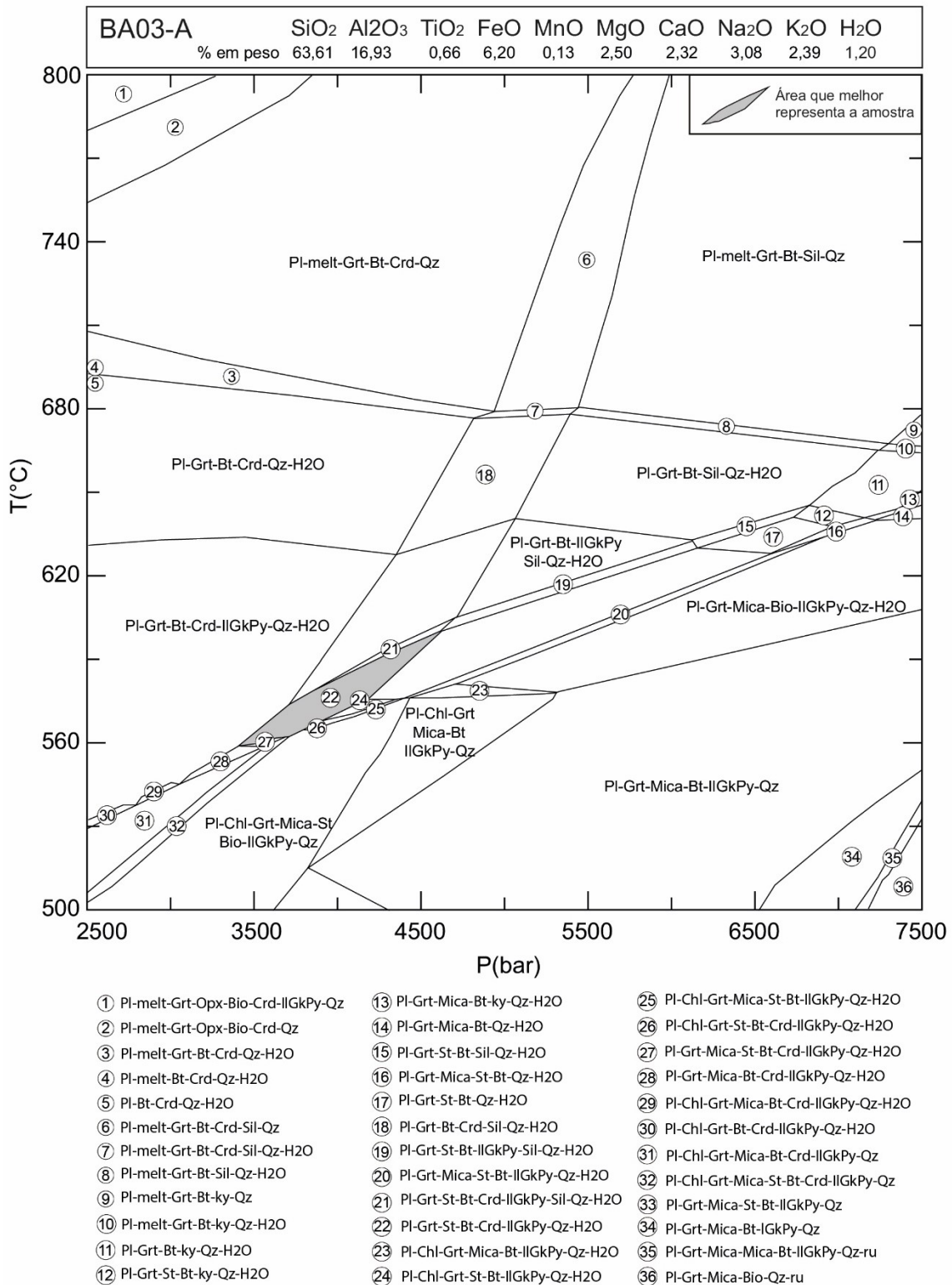


Figura 26 – Pseudosseção modelada a partir da química de rocha total da amostra BA03-A.

Foram calculadas as isopletras representativas dos valores analisados de XMg de Crd entre 0,65 e 0,68, XMg de St entre 0,13 e 0,15, XMg de Bt entre 0,46 e 0,47 e XPy de 0,11 e 0,12, conforme dados da Tabela 6. Já os valores analisados de XAlm, XSp e XGss, na modelagem, se afastam da maioria das curvas. Portanto, foram plotados valores dentro da possibilidade da modelagem, extrapolando o *range* para além dos valores analisados, de modo a compatibilizar estas isopletras com as outras 4 curvas analisadas. Deste modo, foram calculadas isopletras representativas de valores de XAlm entre 0,67 e 0,76, de XSp entre 0,05 e 0,15 e de XGss de 0,025 e 0,05.

Como pode ser visto na Figura 27, o uso das isopletras restringe o campo das condições geotermobarométricas da amostra BA03-A. As isopletras cruzam em um intervalo de temperatura de 560-590 °C e pressão de 3750-4250 bar, que se encontra dentro dos limites previstos para a assembleia mineral de nº 22 (Figura 26).

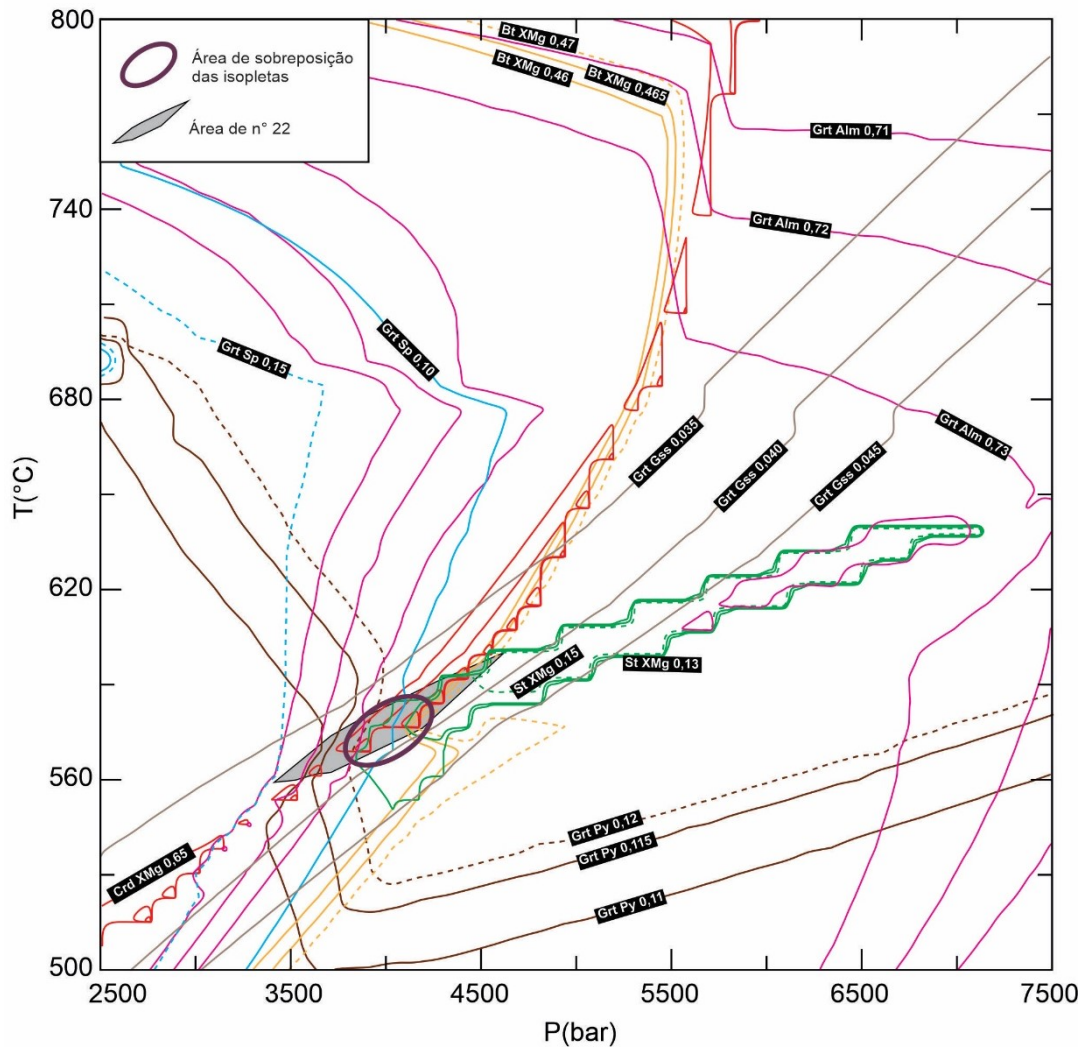


Figura 27 – Interpolação das isopletas calculadas sob área da paragênese descrita para a amostra BA03-A. A área de sobreposição das isopletas está representada com a elipse roxa.

5 DISCUSSÃO

5.1 Geologia Estrutural

Os resultados obtidos na porção sul da área estudada indicam que o CB apresenta duas fases de dobramentos. A progressão da deformação estabelecida envolve uma fase de dobras recumbentes F1 que afeta o acamamento original (S0) e gera a foliação metamórfica S1. Seguida por uma segunda fase de dobras normais abertas F2 que redobram as estruturas F1, formando um padrão de interferência do tipo laço.

O padrão de distribuição das atitudes da foliação metamórfica S1 forma uma guirlanda no estereograma (Figura 10), o que foi atribuído a uma dobra com eixo de médio caimento para NW. O eixo deduzido condiz com as dobras correspondentes a fase de dobramentos F2.

Em comparação com os dados de literatura, Wildner (1990) designou os eventos deformacionais D1-D2, progressivos e coaxiais, sendo D2 a fase de dobramentos que gera a xistosidade principal na concepção do autor, D1 deu origem as estruturas F1, que gerou superfícies axiais paralelas a foliação de transposição S1. A progressão estabelecida com base no trabalho de campo é correspondente ao que Wildner definiu como D1-D2.

O alto ângulo entre o acamamento original (S0) e o desenvolvimento dos planos de foliação metamórfica (S1) observado localmente (BA-09, Figura 12) contrasta com as estruturas observadas em outras áreas e sugere que esta porção do afloramento represente uma zona de charneira de uma dobra de maior amplitude (Figura 28).

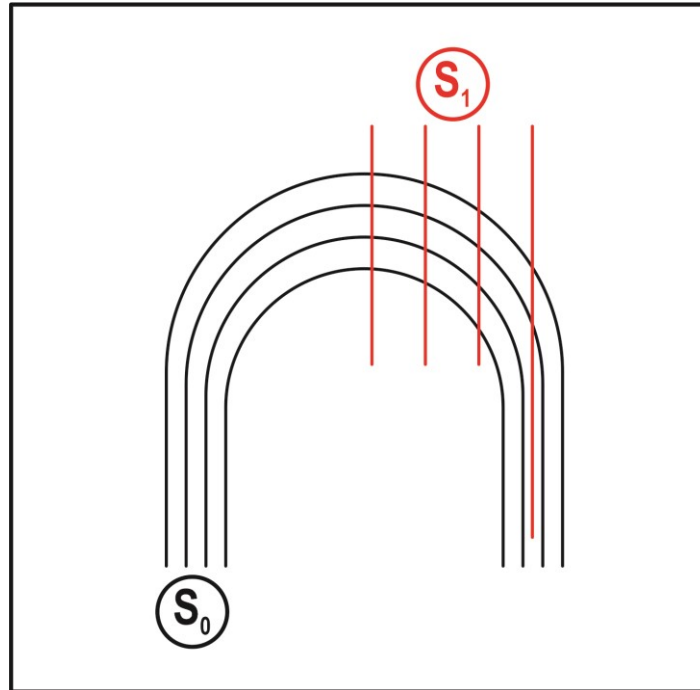


Figura 28 – Croqui esquemático da relação ortogonal entre o acamamento original (S0) e a foliação metamórfica (S1) que sugere a existência de uma zona de charneira. Possível observar que nos flancos da dobra, S0 se paraleliza a S1.

Segundo Wildner (1990), o CB apresenta faixas de imbricação tectônica que indicam um transporte de massa no sentido NNE-SSW. Analisando os resultados obtidos no trabalho de campo realizado, os *rakes* das lineações são de alto ângulo, o que sugere um importante componente de movimentação ao longo do mergulho do plano, cuja cinemática de topo para SW observada em escala de afloramento e microtectônica indica ser de empurrão (movimento inverso (Figura 14 e Figura 15), confirmando as interpretações daquele autor.

Em contraste, as rochas da porção norte da área estudada encontram-se maciças, com as estruturas deformacionais obliteradas pelos efeitos do metamorfismo de contato causado pela intrusão do Granito São Sepé.

5.2 Petrografia

As cinco assembleias minerais (Tabela 1) foram descritas a fim de analisar a presença de minerais índices de condições do metamorfismo e das texturas que o caracterizam. As rochas amostradas na parte norte da área de estudo, próximas ao contato com o Complexo Granítico São Sepé apresentam Grt em sua paragênese. Entretanto, observa-se que a Grt corta a foliação principal observada nos cristais de Bt, o que evidencia que a Grt é posterior ao metamorfismo que gerou a foliação (Figura 17). Ainda, os cristais de Bt têm duas fases distintas, como pode ser visto na descrição da amostra de rocha metapelítica (BA03-A), na qual se observa parte dos cristais de Bt com textura lepidoblástica, seguindo uma orientação preferencial, e parte com textura decussada, discordantes da foliação observada na lâmina e com orientação aleatória. Na mesma amostra, os cristais de Crd e St têm textura esquelética, indicando a existência de uma fonte de calor suficiente para nuclear o mineral índice da fácies anfíbolito (estaurolita), mas que se esgotou antes que o mesmo houvesse se formado por completo. Também é possível observar auréola de clorita em parte das granadas, o que é interpretado como produto de retrometamorfismo. A hornblenda da amostra metavulcânica (BA01-A) também apresenta textura decussada, típica de metamorfismo de contato.

As assembleias descritas para as rochas da porção norte do CB, próximas ao contato com o CGSS, apresentam granada e estaurolita, minerais índices de metamorfismo de médio grau, na fácies anfíbolito, com evidências de metamorfismo de contato, como por exemplo a ausência de trama. Já as assembleias descritas para as rochas da porção distal do granito apresentam epidoto, actinolita e tremolita, minerais índices da fácies xisto verde, intensamente controlados por uma trama dúctil, com estruturas bem desenvolvidas, o que remete aos efeitos de metamorfismo regional orogênico. Presume-se que os efeitos termais da intrusão do CGSS foram restritos às suas imediações, preservando as assembleias metamórficas de baixo grau e trama dúctil na porção sul da área de estudo, ao mesmo tempo que desenvolveu as assembleias de médio grau e trama aleatória na área norte, próximo à intrusão (Matos et al., 2004).

5.3 Geotermobarometria

A geotermobarometria foi realizada apenas nas rochas afetadas termicamente pela intrusão do CGSS. A elaboração de pseudosseção permite definir as condições de pressão e temperatura registradas na amostra BA03-A, cuja paragênese principal (Pl-Grt-St-Bt-Crd-IlGKPy-Qz) registra condições variando entre 560-600 °C e 3,4-4,6 kbar. A geotermobarometria clássica aplicada para estimar as condições da amostra BA01-A registra temperatura entre 651-693,9 °C e pressão entre 8,2-10 kbar. Já a área da pseudosseção calculada para a amostra BA02-A, sem o auxílio de isopletras e com problemas na modelagem da assembleia metamórfica observada, apresenta valores de temperatura um pouco mais baixos que as demais amostras, entre 500-590 °C e valores de pressão entre 2,6-5,9 kbar. Em função disso, a modelagem desta amostra não será utilizada nesta discussão.

Quando comparados os resultados da amostra BA03-A com os trabalhos da literatura, estes apresentam condições próximas às obtidas por Mattos et al. (2004), que registrou temperaturas máximas entre 520-620 °C e pressões entre 2,5-4,5 kbar. Enquanto a amostra BA01-A apresentou valores tanto de pressão quanto de temperatura mais elevados, discrepantes das condições calculadas por Mattos et al. (2004). Uma hipótese para as pressões elevadas da amostra BA01-A é que esta rocha tenha sido afetada pelo metamorfismo de contato em maior profundidade, sendo, posteriormente soerguida, durante a ascensão do CGSS. Segundo Gastal e Ferreira (2013) o CGSS é composto por múltiplas intrusões em epizona, formado a partir de colunas verticais de magma, e o seu posicionamento aconteceu sob condições de 2,5-1,6 kbar. As múltiplas intrusões do granito em epizona podem ter trazido um fragmento encaixante mais profundo (BA01-A) para condições mais próximas à superfície, sem que tenha havido tempo suficiente para o seu reequilíbrio.

Portanto, é possível traçar uma trajetória das condições geotermobarométricas da amostra BA01-A (com as pressões mais elevadas) seguida pelas condições da amostra BA03-A, dos dados obtidos por Mattos et al. (2004) para o CB, e por último, das condições definidas para o CGSS por Gastal e Ferreira (2013). Deste modo, é traçada uma trajetória de exumação da porção da crosta da parte norte do Bloco São Gabriel que está apresentada na Figura 29.

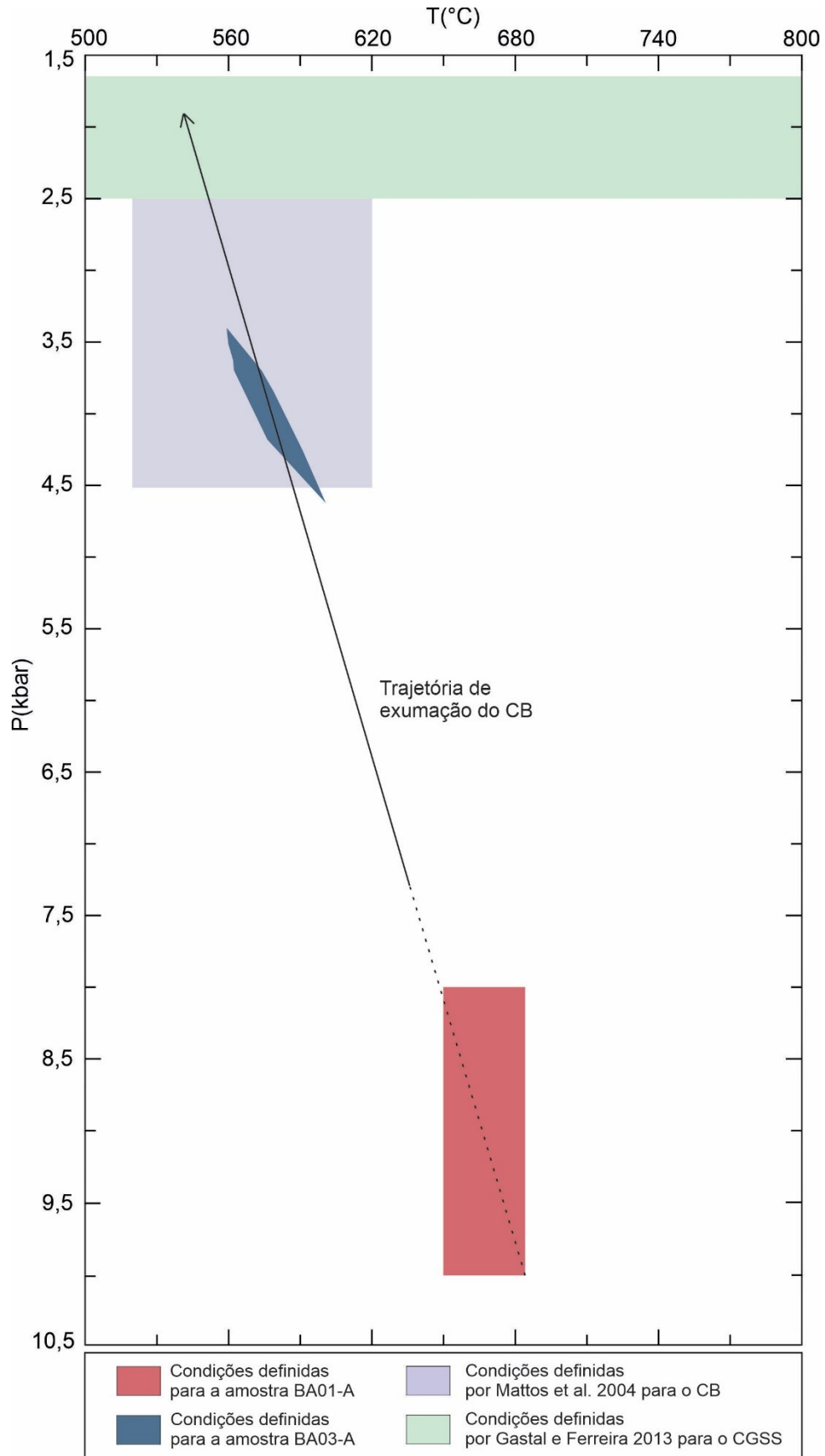


Figura 29 - Trajetória P-T sugerida para as rochas da porção norte do BSG, com base na integração dados geotermobarométricos obtidos com os dados de literatura.

6 CONCLUSÕES

Com base na integração de trabalho de campo, caracterização estrutural e petrográfica, análises de química de rocha, química mineral e geotermobarometria das rochas metavulcânicas, metassedimentares e metapiroclásticas do Complexo Bossoroca, conclui-se que:

- (1) As rochas metapiroclásticas da porção sul, distante do contato com o CGSS, preservam evidências de empurrão para SW sob condições de fácies xisto verde, com minerais índice como actinolita, epidoto e clorita. Nesta área, o CB apresenta duas fases de dobramentos distintas que constituem uma progressão de deformação;
- (2) As rochas nas imediações do contato com o CGSS são metamórficas de médio grau, na fácies anfibolito, com evidências de metamorfismo de contato, com a ausência de trama e estruturas;
- (3) As modelagens termodinâmicas estimaram condições de pressão e temperatura entre 3,4-4,6 kba e 560-600 °C para uma rocha metapelítica portadora de Grt, Cd e St (amostra BA03-A), e de forma contrastante, entre 8,2-10 kbar e 651-693 °C para uma rocha metavulcânica portadora de hornblenda (amostra BA01-A);
- (4) A integração destes dados com outros anteriormente publicados sugerem uma trajetória de exumação do Complexo Bossoroca e da porção norte do Bloco São Gabriel durante o magmatismo do CGSS.

REFERÊNCIAS

- Bitencourt, M. de F.; Nardi, L. V. Stoll.; 2000. Tectonic setting and sources of magmatism related to the Southern Brazilian Shear Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, n. 1, p. 186-189.
- Connolly, J.A.D.; 2005. Computation of phase equilibria by linear programming: a tool for geodynamic modeling and its application to subduction zone decarbonation. *Earth Planet. Sci. Lett.* 236 (1–2), 524–541.
- De Toni, G. B., Bitencourt, M. F., Nardi, L. V. S., Florisbal, L. M., Almeida, B. S., & Geraldés, M.; 2020. Dom Feliciano Belt orogenic cycle tracked by its pre-collisional magmatism: the Tonian (ca. 800 Ma) Porto Belo Complex and its correlations in southern Brazil and Uruguay. *Precambrian Research*, v. 342, p. 105702.
- Gastal, M. C. e Ferreira, Fr. JF.; 2013. Discussão dos processos de construção do Complexo granítico São Sepé, RS: feições geológicas e petrográficas. *Pesquisas em Geociências*, v. 40, n. 3, p. 233-257.
- Gubert, M. L., Philipp, R. P., & Basei, M. A. S.; 2016. The Bossoroca Complex, São Gabriel Terrane, Dom Feliciano Belt, southernmost Brazil: UPb geochronology and tectonic implications for the neoproterozoic São Gabriel Arc. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 70, p. 1-17.
- Gruber, L.; 2010. Geocronologia U-Pb em Zircão Detrítico aplicada ao estudo de proveniência de metassedimentos do Complexo Metamórfico Porongos–Região de Santana da Boa Vista, RS.
- Hartmann, L. A., Philipp, R. P., Santos, J. O. S., & McNaughton, N. J.; 2011. Time frame of 753–680 Ma juvenile accretion during the São Gabriel orogeny, southern Brazilian Shield. *Gondwana Research*, v. 19, n. 1, p. 84-99.
- John Wiley & Sons Ltd; 2015. *Electron probe microanalysis*. Em: *Essential Knowledge Briefings*.
- Klein, C. e Dutrow, B. *Manual de ciência dos minerais*. Bookman Editora, 2009.
- Kretz, R. Symbols for rock-forming minerals. *Am. Mineralogist* 68, 277e279, 1983.

Mattos, I. C., Philipp, R. P., Mexias, A. S., & Gomes, M. E. B. G. B.; 2004. Metamorfismo de contato no Complexo Bossoroca, porção SW do Complexo Granítico São Sepé, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 34, n. 1, p. 1-10.

Philipp, R. P.; Pimental, M. M.; Basei, M. A. S.; 2018 The tectonic evolution of the São Gabriel terrane, Dom Feliciano belt, southern Brazil: the closure of the Charrua ocean. *Geology of Southwest Gondwana*, p. 243-265.

Saalmann, K. Remus, M. V. D.; Hartmann, L. A.; 2006. Tectonic evolution of the Neoproterozoic São Gabriel block, southern Brazil: constraints on Brasiliano orogenic evolution of the Rio de La Plata cratonic margin. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 21, n. 3, p. 204-227.

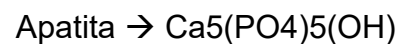
Wildner, Wilson; 1990. Caracterização geológica e geoquímica das sequências, ultramáfica e Vulcano-sedimentares da Região da Bossoroca – RS; 180p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

APÊNDICES

APÊNDICE A

CaOapatita

O P₂O₅ identificado nas análises geoquímicas de rocha total é considerado um óxido exclusivo para a formação de cristais de apatita. Dessa maneira, o peso deste óxido foi equiparado a um peso correspondente de CaO, proporcional à relação desses óxidos na fórmula da apatita. Esta proporção é determinada da seguinte forma:



$$5 \text{ mol de CaO} : 1.5 \text{ mol P}_2\text{O}_5$$

$$\text{CaO} \rightarrow 56.08 \text{ g mol}^{-1}$$

$$\text{P}_2\text{O}_5 \rightarrow 141.94 \text{ g mol}^{-1}$$

$$5 * 56.08 \text{ g mol}^{-1} : 1.5 * 141.94 \text{ g mol}^{-1}$$

$$= 280.4 : 212.91$$

$$= \mathbf{1.317 \text{ (fator para obtenção de CaOapatita)}}$$

Portanto, emprega-se o P₂O₅ obtido nas análises multiplicado pelo fator indicado, resultando no CaOapatita. Esse valor é então subtraído do teor de CaO obtido nas análises geoquímicas de rocha total, pois representa uma proporção de óxido de cálcio que não será utilizado na modelagem termodinâmica, devido à ausência de P₂O₅ no Perple_X.

APÊNDICE B
Resultados de Química Mineral

Plagioclásio									
BA01-A									
DataSet/Point	4 / 1 .	9 / 1 .	11 / 1 .	12 / 1 .	14 / 1 .	21 / 1 .	23 / 1 .	25 / 1 .	28 / 1 .
Na2O	6,65	6,45	6,66	6,35	6,62	6,61	6,18	6,31	6,27
SiO2	57,11	56,74	57,71	56,39	57,10	57,37	56,01	56,23	56,32
MgO									
Al2O3	27,56	27,70	27,07	27,85	27,42	26,94	27,92	27,76	27,94
K2O	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,02	0,03	0,04	0,04
CaO	9,29	9,83	9,06	9,83	9,29	9,09	10,05	9,98	9,91
TiO2									
FeO	0,15	0,17	0,22	0,14	0,04	0,20	0,18	0,20	0,18
MnO									
Rb2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BaO	0,03	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,05	0,01	0,02
Total	100,83	100,92	100,77	100,63	100,52	100,24	100,42	100,53	100,68

Plagioclásio							
BA01-A							
DataSet/Point	31 / 1 .	34 / 1 .	36 / 1 .	38 / 1 .	40 / 1 .	42 / 1 .	44 / 1 .
Na2O	6,01	6,21	6,83	6,51	6,80	6,61	6,47
SiO2	55,91	56,35	57,64	57,47	57,15	57,43	56,88
MgO							
Al2O3	27,78	27,63	27,02	27,12	26,98	27,31	27,26
K2O	0,02	0,04	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03
CaO	10,01	9,74	8,63	9,05	8,97	9,24	9,38
TiO2							
FeO	0,09	0,16	0,09	0,11	0,11	0,15	0,13
MnO							
Rb2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BaO	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
Total	99,84	100,13	100,27	100,29	100,03	100,80	100,15

Hornblenda									
BA01-A									
DataSet/Point	1 / 1 .	2 / 1 .	3 / 1 .	5 / 1 .	6 / 1 .	7 / 1 .	8 / 1 .	10 / 1 .	13 / 1 .
Na2O	1,26	1,04	1,18	0,86	1,03	1,17	1,28	1,34	1,40
SiO2	43,22	43,67	43,74	44,92	44,60	43,43	43,75	43,03	42,61
MgO	8,55	8,89	8,87	9,51	9,33	8,73	8,91	8,48	8,06
Al2O3	13,83	13,88	13,48	12,65	12,73	13,62	13,59	14,19	15,00
K2O	0,32	0,27	0,30	0,25	0,28	0,33	0,31	0,37	0,30
CaO	11,25	11,29	11,02	10,14	10,84	11,30	11,25	11,11	11,33
TiO2	0,60	0,47	0,58	0,47	0,51	0,61	0,58	0,63	0,43
FeO	16,64	16,77	16,99	17,39	16,98	17,08	16,96	17,20	17,03
MnO	0,49	0,49	0,44	0,56	0,51	0,42	0,41	0,42	0,47
Rb2O									
BaO									
Total	96,15	96,75	96,60	96,75	96,81	96,68	97,03	96,77	96,62

Hornblenda									
BA01-A									
DataSet/Point	15 / 1 .	16 / 1 .	17 / 1 .	18 / 1 .	19 / 1 .	20 / 1 .	22 / 1 .	24 / 1 .	26 / 1 .
Na2O	1,32	0,99	1,08	0,98	1,43	1,28	1,00	1,18	1,55
SiO2	43,38	43,80	43,89	44,19	41,97	42,73	43,59	43,54	42,15
MgO	8,54	8,86	8,99	9,18	8,12	8,53	8,70	8,96	8,32
Al2O3	13,44	13,62	13,27	13,39	15,22	14,10	14,18	13,36	14,78
K2O	0,34	0,28	0,30	0,23	0,29	0,31	0,24	0,35	0,35
CaO	11,21	11,39	11,34	11,15	11,10	11,20	11,39	11,23	11,18
TiO2	0,62	0,48	0,59	0,50	0,55	0,60	0,44	0,64	0,67
FeO	16,85	16,25	16,25	16,59	17,24	16,69	16,48	16,80	17,16
MnO	0,50	0,50	0,47	0,47	0,45	0,48	0,44	0,44	0,45
Rb2O									
BaO									
Total	96,20	96,18	96,19	96,67	96,37	95,92	96,47	96,50	96,63

Hornblenda									
BA01-A									
DataSet/Point	27 / 1 .	29 / 1 .	30 / 1 .	32 / 1 .	33 / 1 .	35 / 1 .	37 / 1 .	39 / 1 .	41 / 1 .
Na2O	0,63	1,14	0,92	0,89	0,03	1,22	1,23	1,32	1,38
SiO2	46,87	43,79	45,17	43,59	26,94	43,05	43,90	42,80	42,75
MgO	10,86	9,05	9,53	8,53	15,74	8,71	8,96	8,37	8,56
Al2O3	9,92	13,37	12,72	14,33	19,02	13,80	13,32	14,28	14,26
K2O	0,20	0,28	0,23	0,23	0,03	0,32	0,25	0,34	0,29
CaO	8,12	11,33	9,94	11,02	0,08	11,18	11,02	11,39	11,02
TiO2	0,35	0,60	0,38	0,36	0,10	0,65	0,51	0,66	0,51
FeO	18,77	16,79	17,50	17,21	23,65	16,82	17,02	16,69	17,39
MnO	0,69	0,44	0,56	0,47	0,24	0,47	0,46	0,50	0,47
Rb2O									
BaO									
Total	96,41	96,80	96,95	96,63	85,84	96,23	96,67	96,33	96,63

Hornblenda		
BA01-A		
DataSet/Point	43 / 1 .	45 / 1 .
Na2O	0,05	1,10
SiO2	53,35	43,66
MgO	15,08	8,53
Al2O3	1,07	14,13
K2O	0,00	0,29
CaO	0,80	11,27
TiO2	0,07	0,46
FeO	19,01	16,39
MnO	1,01	0,47
Rb2O		
BaO		
Total	90,43	96,29

Biotita									
BA02-A									
DataSet/Point	1 / 1 .	2 / 1 .	8 / 1 .	11 / 1 .	12 / 1 .	13 / 1 .	19 / 1 .	20 / 1 .	23 / 1 .
Na2O	0,00	0,03	0,13	0,02	0,09	0,13	0,11	0,13	0,14
SiO2	26,21	27,06	35,08	34,81	35,07	35,00	35,26	34,99	35,48
MgO	13,92	13,71	9,28	10,15	9,05	8,61	8,71	9,05	9,35
Al2O3	19,66	19,62	18,96	17,74	18,89	18,88	18,70	18,76	18,81
K2O	0,00	0,07	9,33	7,48	9,64	9,58	9,55	9,45	9,09
CaO	0,06	0,09	0,01	0,12	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
TiO2	0,06	0,14	2,00	1,13	2,29	2,07	2,17	1,73	2,05
FeO	25,23	24,24	18,50	19,86	18,42	18,56	18,54	18,25	18,44
MnO	0,28	0,28	0,15	0,15	0,10	0,09	0,10	0,05	0,13
Cr2O3									
Total	85,42	85,24	93,46	91,46	93,56	92,92	93,13	92,42	93,49

Biotita						
BA02-A						
DataSet/Point	24 / 1	25 / 1	26 / 1	28 / 1	29 / 1	30 / 1
Na2O	0,13	0,09	0,09	0,06	0,13	0,08
SiO2	35,26	35,47	35,66	30,69	35,39	35,15
MgO	8,89	9,15	9,25	9,19	8,91	8,89
Al2O3	19,08	19,32	19,26	18,16	19,03	19,05
K2O	9,42	9,43	9,61	5,17	9,50	9,54
CaO	0,00	0,00	0,03	0,30	0,00	0,00
TiO2	1,67	1,65	1,69	1,78	2,49	2,15
FeO	18,05	18,59	18,18	24,20	18,43	18,20
MnO	0,09	0,06	0,08	0,25	0,08	0,11
Cr2O3						
Total	92,58	93,75	93,83	89,80	93,96	93,18

Biotita										
BA03-A										
DataSet/Point	4 / 1.	9 / 1.	15 / 1.	17 / 1.	18 / 1.	19 / 1.	20 / 1.	21 / 1.	26 / 1.	34 / 1.
SiO2	35,30	34,96	35,20	35,09	34,88	35,40	35,07	35,06	35,03	35,23
MgO	9,41	9,19	9,10	9,00	9,20	9,09	9,00	9,29	9,15	9,72
Al2O3	18,88	19,11	19,05	18,49	18,82	18,97	19,72	18,87	19,44	18,86
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
TiO2	1,93	1,88	1,93	2,45	1,95	2,37	1,58	1,79	1,73	2,03
Fe2O3										
FeO	19,12	19,42	18,76	19,67	19,44	18,67	18,58	18,97	18,83	18,14
MnO	0,21	0,19	0,26	0,20	0,22	0,18	0,20	0,21	0,16	0,16
Na2O	0,11	0,11	0,17	0,15	0,09	0,15	0,16	0,12	0,17	0,14
K2O	9,30	8,99	9,08	9,28	9,23	9,20	9,12	9,28	9,23	9,14
Cr2O3										
Total	94,26	93,86	93,55	94,34	93,82	94,04	93,44	93,58	93,75	93,43

Granada									
BA02-A									
DataSet/Point	3 / 1.	4 / 1.	5 / 1.	6 / 1.	7 / 1.	9 / 1.	10 / 1.	14 / 1.	15 / 1.
Na2O									
SiO2	37,34	37,61	37,32	37,48	37,23	37,31	37,25	37,15	100,58
MgO	2,83	2,94	2,90	2,98	3,07	2,96	3,06	3,00	0,00
Al2O3	20,92	20,56	20,72	20,71	21,09	20,93	20,79	20,78	0,05
K2O									
CaO	1,68	1,61	1,81	1,62	1,54	1,64	1,59	1,85	0,01
TiO2	0,02	0,02	0,07	0,05	0,04	0,02	0,06	0,06	0,04
FeO	31,25	31,28	31,15	30,91	31,23	31,16	31,07	31,16	0,65
MnO	4,58	4,54	4,58	4,61	4,62	4,64	4,58	4,55	0,05
Cr2O3	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
Total	98,63	98,56	98,56	98,38	98,83	98,67	98,41	98,54	101,39

Granada						
BA02-A						
DataSet/Point	16 / 1	17 / 1	18 / 1	21 / 1	22 / 1	27 / 1
Na2O
SiO2	37,06	37,39	37,66	37,24	37,42	37,13
MgO	2,60	2,99	2,71	2,42	2,92	2,91
Al2O3	20,43	20,93	20,86	20,71	20,60	20,93
K2O						
CaO	1,57	1,67	1,64	1,58	1,90	1,71
TiO2	0,04	0,04	0,03	0,00	0,09	0,02
FeO	31,69	31,56	31,30	31,61	31,26	31,20
MnO	4,64	4,55	4,52	5,00	4,74	4,63
Cr2O3	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,02
Total	98,03	99,16	98,72	98,56	98,94	98,55

Granada										
BA03-A										
DataSet/Point	5 / 1.	6 / 1.	7 / 1.	8 / 1.	10 / 1.	16 / 1.	22 / 1.	23 / 1.	24 / 1.	25 / 1.
SiO2	37,32	37,33	37,49	36,99	37,39	37,58	37,24	37,35	37,52	37,46
MgO	3,05	3,09	3,02	2,72	3,03	2,77	3,01	3,07	2,96	3,03
Al2O3	20,91	20,89	21,19	21,33	21,17	20,87	20,87	20,86	20,90	21,24
CaO	1,65	1,56	1,57	1,65	1,61	1,60	1,63	1,58	1,63	1,37
TiO2	0,04	0,07	0,08	0,06	0,04	0,03	0,06	0,05	0,06	0,04
Fe2O3										
FeO	29,72	29,90	29,73	29,95	30,04	29,94	29,92	29,79	29,91	29,81
MnO	6,45	6,39	6,51	6,42	6,51	6,35	6,32	6,34	6,46	6,59
Na2O										
K2O										
Cr2O3	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,01
Total	99,15	99,22	99,60	99,12	99,78	99,17	99,06	99,07	99,43	99,55

Cordierita							
BA03-A							
DataSet/Point	1 / 1.	2 / 1.	3 / 1.	30 / 1.	31 / 1.	32 / 1.	33 / 1.
SiO2	48,58	48,93	48,48	48,53	48,93	48,84	48,73
MgO	8,25	8,55	8,11	8,15	8,07	8,32	8,21
Al2O3	33,37	33,45	33,22	33,21	33,23	33,20	32,84
CaO	0,02	0,03	0,04	0,02	0,01	0,03	0,02
TiO2	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00
Fe2O3	8,65	7,92	8,29	8,48	8,30	8,19	8,31
FeO	7,78	7,12	7,46	7,63	7,47	7,37	7,48
MnO	0,44	0,49	0,48	0,45	0,47	0,44	0,46
Na2O							
K2O							
Cr2O3							
Total	99,30	99,38	98,64	98,85	99,01	99,04	98,57

Estaurolita							
BA03-A							
DataSet/Point	11 / 1.	12 / 1.	13 / 1.	14 / 1.	27 / 1.	28 / 1.	29 / 1.
SiO2	27,26	27,17	26,65	27,05	26,71	27,15	26,97
MgO	1,09	1,11	1,04	1,16	1,03	1,12	1,17
Al2O3	54,26	54,40	55,44	54,77	54,32	54,42	54,40
CaO	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,03	0,01
TiO2	0,24	0,37	0,37	0,32	0,34	0,67	0,54
Fe2O3	13,51	13,66	13,95	12,85	14,38	14,26	14,21
FeO	12,15	12,29	12,55	11,56			
MnO	0,37	0,49	0,38	0,65	0,30	0,44	0,32
Na2O							
K2O							
Cr2O3	0,02	0,01	0,04	0,03	0,01	0,02	0,00
Total	96,76	97,22	97,88	96,86	97,09	98,12	97,62