



EDUARDA MEDEIROS GOMES

**INJEÇÕES LEUCOGRANÍTICAS SINTECTÔNICAS ORIUNDAS DA FUSÃO
PARCIAL DOS PARAGNAISSES DO COMPLEXO VÁRZEA DO CAPIVARITA NA
FOLHA ENCRUZILHADA DO SUL, RS**

Porto Alegre - RS

2018

EDUARDA MEDEIROS GOMES

**INJEÇÕES LEUCOGRANÍTIAS SINTECTÔNICAS ORIUNDAS DA FUSÃO
PARCIAL DOS PARAGNAISSES DO COMPLEXO VÁRZEA DO CAPIVARITA NA
FOLHA ENCRUZILHADA DO SUL, RS**

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 Bitencourt

Porto Alegre - RS

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Gomes, Eduarda Medeiros

Inieções leucograníticas sintectônicas oriundas da fusão parcial dos paragneisses do Complexo Várzea do Capivarita na folha Encruzilhada do Sul, RS. / Eduarda Medeiros Gomes. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2018.

[72 f.]

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2018.

Orientadora: Maria de Fatima Aparecida Saraiva Bitencourt

1. Migmatitos. 2. Batólito Pelotas. 3. Escudo Sul-rio-grandense. 4. Petrologia.
5. Geoquímica. I. Título.

CDU 550.8

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sônia Teresinha Duarte de Oliveira

CRB 10/2310

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6569

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **INJEÇÕES LEUCOGRANÍTICAS SINTECTÔNICAS ORIUNDAS DA FUSÃO PARCIAL DOS PARAGNAISSES DO COMPLEXO VÁRZEA DO CAPIVARITA NA FOLHA ENCRUZILHADA DO SUL, RS**, elaborado por EDUARDA MEDEIROS GOMES, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Profª. Msc. Andrea Sander

Prof. Dr. Edinei Koester

Dra. Larissa Carniel

Para as que lutaram e
para as que lutam.
Seremos sempre resistência.

AGRADECIMENTOS

Agradecer só faz bem, e por isso tenho muita gente para agradecer e eu espero não esquecer ninguém. Obviamente, não poderia iniciar por outra pessoa que não fosse minha mamãe. Mãe, tu foste fundamental em toda minha caminhada para me tornar a pessoa que sou e hoje estar concluindo o curso de Geologia numa universidade federal. Pai, obrigada por todo apoio sempre e por todo amor, também foi fundamental nessa formação. Vó, não tenho nem palavras para retribuir todo o amor e toda contribuição nessa trajetória, obrigada pela paciência (aquela que não tenho), obrigada por todo o esforço e suporte sempre, desde os cursos de inglês até as idas aos congressos, és a pessoa mais sensacional desse mundo! Vou ter que agradecer também a Fafa, Sofia, Mari, Lulu e Tia Adriana, porque ninguém é ciumento nessa família (ó, céus). Obrigada por todo apoio sempre e por serem igualmente responsáveis por quem sou hoje!

Fátima, obrigada por me orientar, inclusive nos momentos mais difíceis, aqueles momentos que as rochas sumiram (*spoiler alert*) e sempre que meu cérebro queria ir além do que eu e os dados podíamos. Obrigada por entender (ou não) minha procrastinação eterna. Prof. Lauro Nardi, foste fundamental na reta final desse trabalho, pelo nosso debate geoquímico todo o ânimo retornou! Agradeço a todo o grupo de pesquisa Magmatismo Sintectônico. Um salve especial ao Pepe que sempre achou um tempo para discutir meus dados (e os de todo mundo que precisasse). Elisa, obrigada por ser essa companheira de área, de campo, de bolsa, de faixa, foi maravilhoso te ter do meu lado em todos os diversos grupos! Mais agradecimentos especiais aos que contribuíram bem diretamente (desculpa se esqueci de alguém): Dioni, pelo campo e correções desde o Temático I; Fran, por me ensinar a ver texturinhas de fusão; Victor, por todas as dicas de ArcGIS, Corel, risos, maldades, etc; Pedro, obrigadão por desentortar meus croquis! Sté e Matheus, obrigada pelas dicas sempre.

Agradeço imensamente às professoras e aos professores que tive, vocês são essenciais ao mundo, ao conhecimento, ao debate científico.

Obrigada amigxs geológicos, especialmente a eterna FAIXA SEIS. Elisa, Mauris e Pri, amo vocês, vocês foram meu suporte desde o mapeamento, estarei sempre aqui para o que precisar. Jeff, baita companheiro de tragédias de mapa, aquele valeu! Flora, obrigada por estar sempre ouvidos, te amo! Obrigada CAEG pelos momentos de paz e também pelos momentos de stress junto a ti.

Aquele valeu que não pode faltar para as amigas de longa data: Thêmis, que sempre esteve aqui quando precisei, e obrigada piriis Caris e Sabris pela amizade de sempre.

Obrigada a todos que me ouviram reclamar intensamente durante o último ano, que me apoiaram e que disseram “tu consegue”. Obrigada a todos que me fizeram companhia nos dias e noites de desespero quando o prazo começou a se esgotar.

Um salve de eterno amor ao Ciência sem Fronteiras, a todo aprendizado acadêmico e pessoal que tive em meu um ano na Irlanda. Obrigada UCC, obrigada aos amigxs que ficaram, aos colegas de apê e, em especial a Lari, minha companheira para vida. Valeu Dilmãe!!!

Eeeee vai ter formatura, sim!!

RESUMO

O Complexo Várzea do Capivarita (CVC), localizado no segmento meridional da Província Mantiqueira, no Escudo Sul-rio-grandense (ESrg), representa parte do embasamento do Batólito Pelotas e compreende ortognaisses e paragnaisses pelíticos e calcissilicáticos, intercalados tectonicamente, além de sienitos sintectônicos. Apresentam idades de cristalização de 790-780 Ma e metamorfismo de fácies granulito 650-640 Ma (U-Pb em zircão). Dois eventos deformacionais são registrados no CVC, D₁ relacionado a um regime de cavalgamento e D₂ à uma zona de cisalhamento oblíqua. A presença significativa de injeções leucograníticas deformadas nos gnaisses, encontradas na região de Encruzilhada do Sul, bem como a verificação de feições de fusão parcial no CVC e os relatos de migmatização, sugerem que essas injeções seriam oriundas da fusão parcial dos gnaisses. Tendo em vista a importância das injeções na área de estudos, a caracterização petrográfica, geoquímica e estrutural dessas e de sua relação com os gnaisses deve auxiliar no entendimento da evolução metamórfico-deformacional de parte do ESrg. As injeções são granada-biotita monzogranitos, alotriomórficos com textura fina a média, de espessura geralmente centimétrica e venulações milimétricas. A foliação fina bem desenvolvida dada pela orientação da biotita é concordante com o bandamento gnaissico relacionado ao primeiro evento de deformação, e sugere que essas injeções são sindeformacionais. O amalgamento de vênulas até corpos decimétricos verificado em campo pode indicar a presença de corpos leucograníticos de maior escala. Onze lâminas petrográficas de paragnaisses e leucogranitos mostram que ocorreu migmatização dos gnaisses com segregação do leucossoma. O leucossoma mostra similaridades com as injeções em relação ao seu conteúdo mineralógico (Bt-Grt-Kfs-Qz-Pl) e texturas. A presença de xenocristais de granada e resíduos de textura granoblástica nas injeções também é um indício para correlacionar ambas litologias. Análises químicas foram realizadas em oito amostras e mostram que os leucogranitos são diferenciados em relação aos gnaisses, com teores de SiO₂ entre 69 e 76%, Al₂O₃ (12,2 – 15,1%), Na₂O (2,4 - 3,1%), K₂O (1,7 - 4,2%), CaO (1,2 - 4,3). Os valores são coerentes com as estimativas do líquido gerado pela fusão parcial dos gnaisses, à exceção dos valores maiores de CaO e menores de K₂O do que os esperados. A presença de rochas calcissilicáticas na região pode contribuir para os altos valores de CaO e as diferentes paragêneses dos paragnaisses pelíticos à variação no K₂O. Os valores de A/CNK indicam o caráter peraluminoso das injeções. A correlação petrográfica e geoquímica entre leucossomas e leucogranitos, além dos altos valores de SiO₂, o caráter peraluminoso e também a presença de coríndon normativo, indicam que esses leucogranitos são oriundos da fusão crustal dos paragnaisses do CVC, podendo ser classificados como granitos do tipo-S. A presença de grande volume de injeções e a ausência de deformação relacionada a transcorrência sugere pouca migração do líquido gerado pela fusão parcial.

Palavras-Chave: Migmatitos. Batólito Pelotas. Escudo Sul-rio-grandense. Petrologia. Geoquímica.

ABSTRACT

The Várzea do Capivarita Complex (VCC), situated in the southern Mantiqueira Province, Sul-rio-grandense Shield, is part of the Pelotas Batolith basement, comprising orthogneisses, pelitic and calcisilicate paragneisses, tectonic interleaved, and syntectonic syenites. The rocks show crystallization ages of 790-780 Ma and metamorphism 650-640 Ma (U-Pb in zircon). The VCC registered two deformational events, D₁ related to a thrusting event and D₂ related to an oblique shear zone. The substantial presence of leucogranitic injections found in Encruzilhada do Sul region, together with the verification of partial melt features and migmatization reports for VCC, suggests that the leucogranites are originated from the partial melt of the gneisses. Regarding the importance of these injections in the study area, the petrographic, geochemistry and structural characterization of these and their relation with the gneisses should help the understanding of the Sul-rio-grandense Shield metamorphic and deformational evolution. The injections are garnet-biotite monzogranites, aliotriomorphic and fine to medium-grained. They show centimetric thickness or milimetric venulations. Foliations are fine and well-developed marked by biotite orientation, concordant with the gneissic banding related to D₁, suggesting that the injections are syntectonics. Milimetric venulations can amalgamate to decimetric bodies, which can indicate the presence of larger leucogranitic bodies. Eleven thin sections of paragneisses and leucogranites show that there was migmatization of the gneisses with leucosome segregation. The leucosome shows similarities with the injections regarding to its mineralogical (Bt-Grt-Kfs-Qz-Pl) and textural content. The presence of garnet xenocrystals and residual granoblastic textures in the injections are a good correlation between both lithologies. Geochemistry analysis in eight samples shows the occurrence of differentiation of the leucogranites when compared to gneisses, with SiO₂ contents between 69 and 76%, Al₂O₃ (12,2 – 15,1%), Na₂O (2,4 - 3,1%), K₂O (1,7 - 4,2%), CaO (1,2 - 4,3). The values are coherent with the melt estimated for the partial melt of the paragneisses, except for higher CaO values and lower K₂O. The presence of calc-silicate rocks in VCC can contribute to these higher CaO values and the different paragenesis of the pelitic gneisses to the K₂O variation. The A/CNK values indicate the leucogranites peraluminous character. The petrographic and geochemistry correlation between leucossomes and leucogranites, in addition with the high SiO₂ values, the peraluminous character and the presence of normative corundum, indicate that these leucogranites are originated from the crustal melt of the VCC paragneisses, classifying them as type-S granites. The presence of large injections volumes and the absence of shear deformation suggests the low migration of the melt.

Keywords: Migmatites. Pelotas Batolith. Sul-rio-grandense Shield. Petrology. Geochemistry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da área de estudo no estado do Rio Grande do Sul e rota de acesso de Porto Alegre até a cidade de Encruzilhada do Sul, localizada na folha de mesmo nome. No entorno dessa, folhas adjacentes.....	16
Figura 2 - Configuração geológica dos Escudos Uruguaio, Sul-rio-grandense e Catarinense, com a localização aproximada da área de estudos.	18
Figura 3 - Mapa geológico da região de Encruzilhada do Sul.....	19
Figura 4 - Resumo da nomenclatura utilizada para as partes de um migmatito.....	24
Figura 5 - Analisador de Fluorescência de Raios X com seus principais componentes.....	28
Figura 6 - Mapa geológico da área de estudo com a indicação dos pontos visitados e daqueles com indícios de fusão parcial, lâmina e geoquímica.....	30
Figura 7 - Amostra com bandamento composto gerado pelas injeções leucograníticas nos gnaisses pelíticos (amostra EE-10E). As marcações indicam os locais de laminação.....	30
Figura 8 – (A) Croqui mostrando o amalgamento das venulações milimétricas e centimétricas para corpos maiores cortando o bandamento; (B) estereograma mostrando a concordância da foliação das injeções com o bandamento gnáissico (polos dos planos em rede equiária de Schmit, hemisfério inferior); (C) amostra coletada no local com a marcação da lâmina petrográfica.....	31
Figura 9 - Venulações interdigitadas com dobras indicando topo para norte.	31
Figura 10 - Croqui explicativo do ponto EE-11, no qual foi encontrada foliação subvertical relacionada à deformação D2. (a) detalhe das foliações sendo truncadas; (b) dobra assimétrica.	32
Figura 11 - Textura granoblástica no paragnaisse mostrando quartzo e cordierita pinitizada, em luz natural (A) e luz polarizada (B).	33
Figura 12 - Lâmina a luz natural (A) e nicóis cruzados (B) mostrando a variação textural e, nessa interface, as granadas instáveis.	35
Figura 13 - Crd-Bt gnaisse com bolsões de fusão, representando o leucossoma, que contém quartzo e feldspatos peritéticos.	36

Figura 14 - Fotomicrografias em luz natural e luz polarizada mostrando a textura alotriomórfica inequigranular. Em (A) pode-se ver a presença de biotitas esparsas e granadas bastante fraturadas e em (B) pode-se verificar a presença de quartzo e feldspatos de tamanho maior.....	39
Figura 15 - (A) fenocristal de plagioclásio com inclusões de quartzo; (B) cristais de plagioclásio com dupla macla ao lado de um Kfs, mostrando contato interlobado entre eles.	40
Figura 16 - (A) Presença de mirmequitos (setas) no contato entre Kfs e Qz, também pode-se verificar os contatos interlobados entre os mesmos e o quartzo intersticial; (B) Granadas fraturadas com biotita verde e muscovita preenchendo as fraturas e inclusões de quartzo.....	41
Figura 17 - Bandamento dado pela variação do tamanho de grão mostrano (I) bandas finas ricas em biotita; (II) bandas ricas em Pl e Qz com tamanho de grão entre 1 e 4mm; (III) quartzo estirado na banda mais grossa; (IV) banda mais fina com grãos aproximadamente equigranulares.....	42
Figura 18 - Plagioclásio com contatos irregulares mostrando, normalmente, maclas bem formadas, com presença de sericitização; quartzo estirado no interstício dos cristais de plagioclásio.....	43
Figura 19 - bandamento irregular dado pela variação no tamaho de grão. (I) bandas mais finas e (II) bandas com textura média e predominância de quartzo.	44
Figura 20 - (A) Quartzo anédrico com subgrãos do tipo tabuleiro de xadrez, inclusões arredondadas de quartzo em Pl, Qz e Kfs; (B) Agregado de microclínio com contatos interlobados.	46
Figura 21 – (A) Biotita castanho avermelhada em agregados. Em (B) pode-se ver a presença de opacos entre as lamelas, caracterizando uma textura sagenítica.	47
Figura 22 - Banda com textura grossa mostrando quartzo e Kfs pertítico estirados em contato irregular com banda mais fina, inequigranular. Máficos são raros.	48
Figura 23 - (A) Quartzo estirado na banda de textura grossa, com presença de uma muscovita (4mm) mostrando deformação. (B) Recristalização do quartzo por bulging e subgrãos.	49
Figura 24 - K-feldspato pertítico na banda de granulometria mais grossa. Ao lado desse, granadas com fratuas preenchidas por muscovita	50

Figura 25 - Granada com fraturas preenchidas por muscovita e entorno rodeado por muscovita. Também ocorre um opaco avermelhado nas fraturas e no entorno.	51
Figura 26 - Gráficos de SiO ₂ x elementos maiores, mostrando a variação composicional conforme ocorre a diferenciação. As setas indicam os <i>trends</i> composicionais. Valores em peso%.	54
Figura 27 - Gráficos de SiO ₂ x elementos maiores, mostrando a variação composicional conforme ocorre a diferenciação. As setas indicam os <i>trends</i> composicionais. Valores em peso%.	55
Figura 28 - Gráficos de SiO ₂ x elementos traços.	57
Figura 29 - Gráfico A/CNK x A/NK (SHAND, 1943), mostrando o caráter peraluminoso da maioria dos leucogranitos e das estimativas do líquido gerado pela fusão parcial dos gnaisses.	58
Figura 30 - Gráfico ternário Ab-Qz-Or, confeccionado a partir dos dados obtidos da mesonorma para granitos, mostrando proximidade entre os leucogranitos e as estimativas do líquido gerado pela fusão parcial.	59

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Contagem modal com 230 a 300 pontos realizada nas lâminas de leucogranito com análise geoquímica. Valores em %. Considerou-se traço aqueles que foram vistos em lâmina, porém, por serem poucos e pequenos, não apareceram na contagem.37
- Tabela 2 - Dados geoquímicos obtidos por FRX para as amostras selecionadas. Óxidos em peso% e elementos traços em ppm. LOI = perda ao fogo.52
- Tabela 3 - Dados estimados para a fusão parcial obtidos por Costa (2018), recalculados para % em peso e sem H₂O para comparação com as análises químicas obtidas nesse trabalho.53
- Tabela 4 - Mesonorma para granitos calculada no GCDkit para leucogranitos e estimativas do líquido gerado por fusão parcial. Cabe ressaltar que para os valores estimados não há P₂O₅, MnO, TiO₂ e traços.58

LISTA DE ABREVIATURAS

ESgr – Escudo Sul-rio-grandense

CVC – Complexo Várzea do Capivarita

CAR – Complexo Arroio dos Ratos

CDF – Cinturão Dom Feliciano

ZCTDC – Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu

FPM – Falha Passo dos Marinheiros

ZCPC - Zona de Cisalhamento Passo das Canas

As fases mineralógicas seguem as abreviações sugeridas por Whitney & Evans (2010) e encontram-se no Anexo A.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Localização	15
1.2 Objetivos	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 Geologia Regional.....	17
2.2 Complexo Várzea do Capivarita	20
2.2.1 <i>As rochas do Complexo Várzea do Capivarita</i>	21
2.2.2 <i>Geologia Estrutural</i>	22
2.3 Migmatitos e fusão parcial	23
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
4.1 Etapa Pré-Campo	25
4.2 Etapa de campo	25
4.3 Etapa pós-campo	26
4.3.1 <i>Análise petrográfica</i>	26
4.3.2 <i>Análise geoquímica por Fluorescência de Raios X</i>	27
4 RESULTADOS	29
4.1 Descrições petrográficas	33
4.1.1 <i>Paragneisses</i>	33
4.1.2 <i>Injeções Leucograníticas</i>	36
4.2 Análises geoquímicas.....	51
5 DISCUSSÃO	60
6 CONCLUSÕES	64
REFERÊNCIAS	65
ANEXO A	72

1 INTRODUÇÃO

O Complexo Várzea do Capivarita (CVC), localizado no Escudo Sul-rio-grandense (ESrg), porção meridional da Província Mantiqueira, aflora como pendentes de teto e xenólitos do Batólito Pelotas, configurando seu embasamento. Compreende uma associação de paragneisses, ortogneisses e sienitos sintectônicos (MARTIL, 2016), com relatos de migmatização dos gnaisses e possível geração de corpos graníticos de grande escala (GROSS et al., 2006; PHILIPP et al., 2013; BOM et al, 2014; COSTA, 2018).

De acordo com Martil et al., (2017), os paragneisses são pelíticos e calcissilicáticos, enquanto os ortogneisses são descritos como tonalíticos a graníticos. Esses apresentam diferenças petrográficas e texturais nas diferentes áreas de afloramento do complexo. O trabalho de campo na região de Encruzilhada do Sul, que inicialmente visava à caracterização dos ortogneisses graníticos, permitiu a identificação de um volume significativo de injeções leucograníticas. A fusão parcial de gnaisses pelíticos com a geração de leucogranitos peraluminosos é comum em cinturões orogênicos, como mostrado por Sawyer (1987), Barbarin (1999), Vanderhaeghe (2009), entre outros autores.

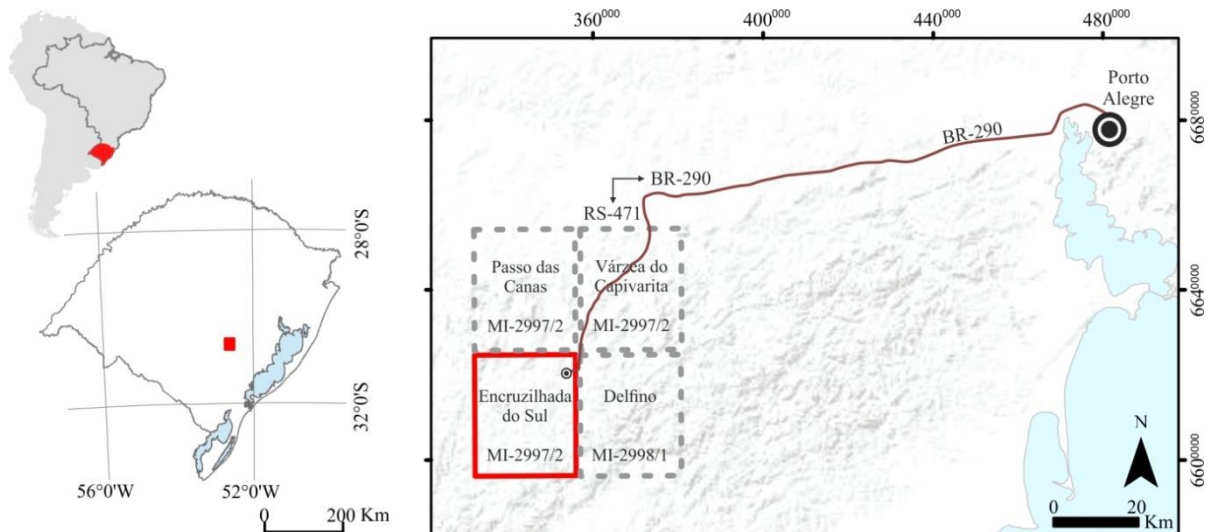
Tendo em vista o volume de injeções encontradas, vê-se a importância dessas dentro do contexto geológico regional, justificando a investigação das mesmas, a fim de caracterizá-las e entender a relação dessa com suas encaixantes. Os relatos de fusão parcial e migmatização do CVC torna possível a hipótese de que essas injeções sejam oriundas da fusão parcial dos gnaisses. O entendimento da origem dessas injeções no CVC é importante para a compreensão da história metamórfico-deformacional do embasamento do Batólito Pelotas durante o Neoproterozoico.

1.1 Localização

A área de estudo localiza-se em uma das principais exposições do CVC, na folha Encruzilhada do Sul (SH-22-Y-A-IV-2), que compreende seu município homônimo, a cerca de 170km a SW da capital Porto Alegre. A partir da capital pode-se chegar a Encruzilhada do

Sul tomando-se a BR-290 e posteriormente a RS-471, que é um dos principais acessos para a região (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área de estudo no estado do Rio Grande do Sul e rota de acesso de Porto Alegre até a cidade de Encruzilhada do Sul, localizada na folha de mesmo nome. No entorno dessa, folhas adjacentes.



Fonte: produção da autora com utilização de Base Cartográfica Vetorial (HASENACK & WEBER, 2010) e terreno sombreado (Esri, USGS, NOAA).

1.2 Objetivos

O objetivo geral desse trabalho é a caracterização das injeções leucograníticas, correlacionando-as com os paragneisses presentes na folha Encruzilhada do Sul, identificando a possibilidade de corpos de maior escala serem oriundos da fusão parcial e estabelecendo relações estruturais para discutir a possível migração dessa fusão. Esses objetivos deverão ser alcançados através de:

- a) caracterização petrográfica com análise de microestruturas e texturas;
- b) caracterização geoquímica com correlação entre leucogranitos e possíveis protólitos.
- c) caracterização estrutural.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para melhor compreensão do que será abordado nesse trabalho, devem-se alocar as rochas de estudo no contexto geológico regional e local. Além disso, as definições utilizadas nas descrições de algumas amostras também são compiladas.

2.1 Geologia Regional

A Província Mantiqueira (ALMEIDA et al., 1977) representa um sistema orogênico Neoproterozoico, responsável pelo amalgamento do Oeste do Gondwana durante o Ciclo Brasileiro-Pan Africano. Compreende os cinturões Araçuaí, Ribeira e Dom Feliciano (ALMEIDA et al., 2000; HEILBRON et al., 2004; JOST; HARTMANN, 1984). O Cinturão Dom Feliciano (CDF) constitui a porção meridional da Província Mantiqueira e compreende parte dos Escudos Catarinense, Sul-rio-grandense e Uruguaio. Foi gerado por dois eventos relacionados à colisão oblíqua e à geração de arcos-magmáticos e um terceiro responsável pela geração de zonas de cisalhamento transcorrentes de grande escala (FERNANDES et al., 1992; 1995a; PHILIPP et al., 2016). A Figura 2 mostra a configuração geológica dos escudos citados que, além do CDF, compreendem também fragmentos Arqueanos-Paleoproterozoicos (OYHANTÇABAL et al., 2011; PHILIPP et al., 2016).

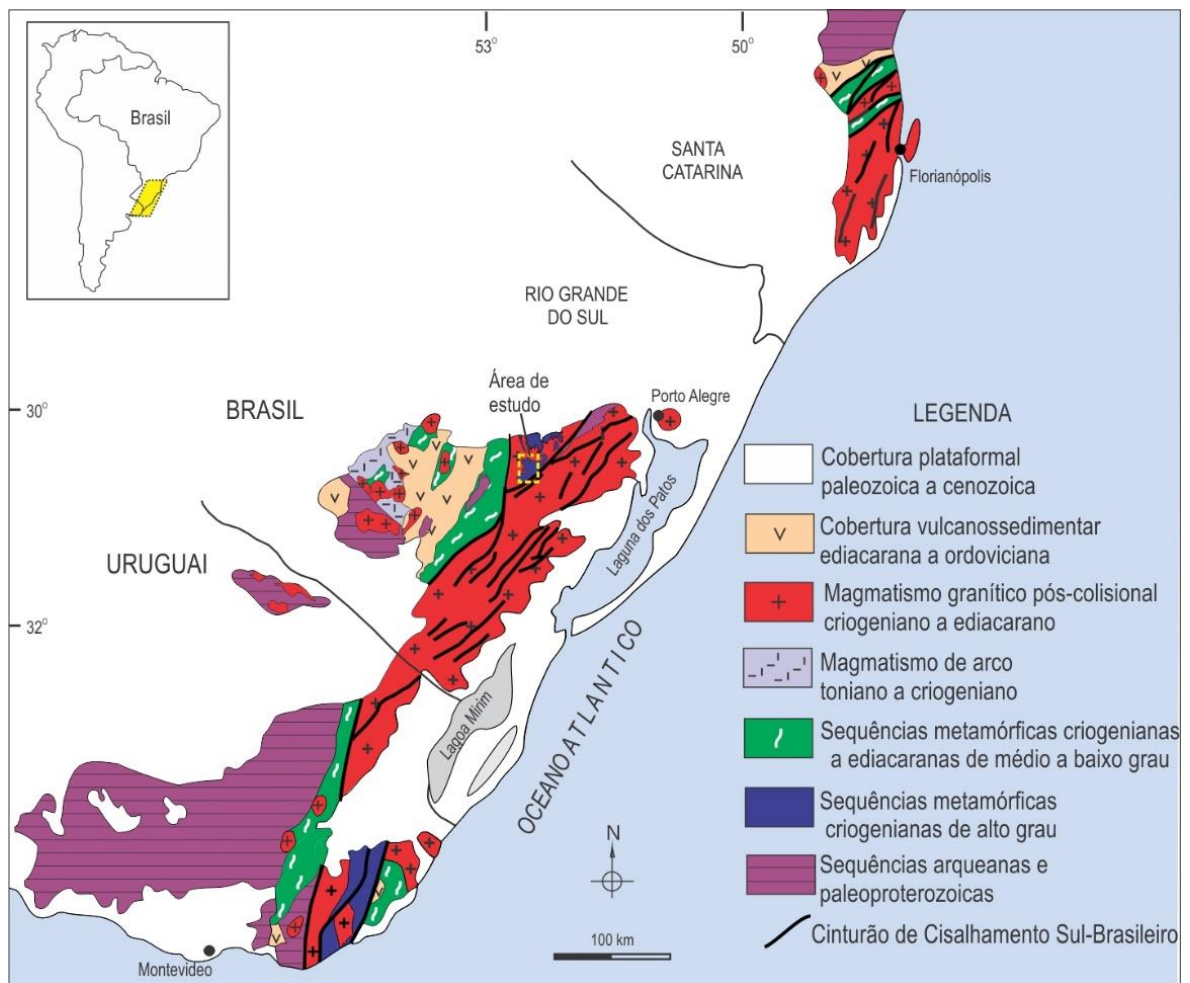
O CDF é dividido em domínios tectônicos, os quais apresentam características e rochas distintas, sendo cortados e divididos por zonas de cisalhamento com direção variável NE-SW e N-S (BITENCOURT & NARDI, 2000; FRAGOSO CÉSAR, 1991; PHILIPP et al., 2016). Essas zonas de transcorrência compõe o Cinturão de Cisalhamento Sul-Brasileiro (figura 2) que apresenta intenso magmatismo pós-colisional (650-580 Ma), relacionados ao último evento orogênico (BITENCOURT; NARDI, 2000; PHILIPP et al., 2016).

Essa porção mais oriental do CDF no ESrg, dominada por granitoides pós-colisionais, denomina-se Batólito Pelotas (FRAGOSO CÉSAR et al., 1986) e possui septos do embasamento aflorando como pendentes de teto e xenólitos nas suítes graníticas (FRAGOSO CÉSAR et al., 1986; HARTMANN et al., 2000; PHILIPP, 1998). A oeste do BP está Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu (ZCTDC), com direção NE e movimento

sinistral (PICADA, 1971; FERNANDES et al., 1993; PHILIPP et al., 2016), que o delimita do Bloco Tijucas.

A região de Encruzilhada do Sul, apesar de ainda incluída dentro do Batólito Pelotas, localiza-se a oeste da ZCTDC, delimitando-se do Bloco Tijucas pela Falha Passo dos Marinheiros (FPM), de direção N-S e cinemática destal (JOST; HARTMANN, 1984). Alguns autores já referenciam a região como um bloco a parte, denominado Bloco Encruzilhada, devido às características distintas em comparação com os blocos adjacentes, à separação tectônica e às diferenças geofísicas (JOST; HARTMANN, 1984; FRAGOSO CÉSAR, 1991; HARTMANN et al., 2016; DE TONI, 2016). Ainda, a análise dos dados de campo magnético total (HARTMANN et al., 2016) e dados preliminares de traçados de lineamentos (DE TONI, 2016) sugerem maiores semelhanças do Bloco Encruzilhada com o Bloco Tijucas.

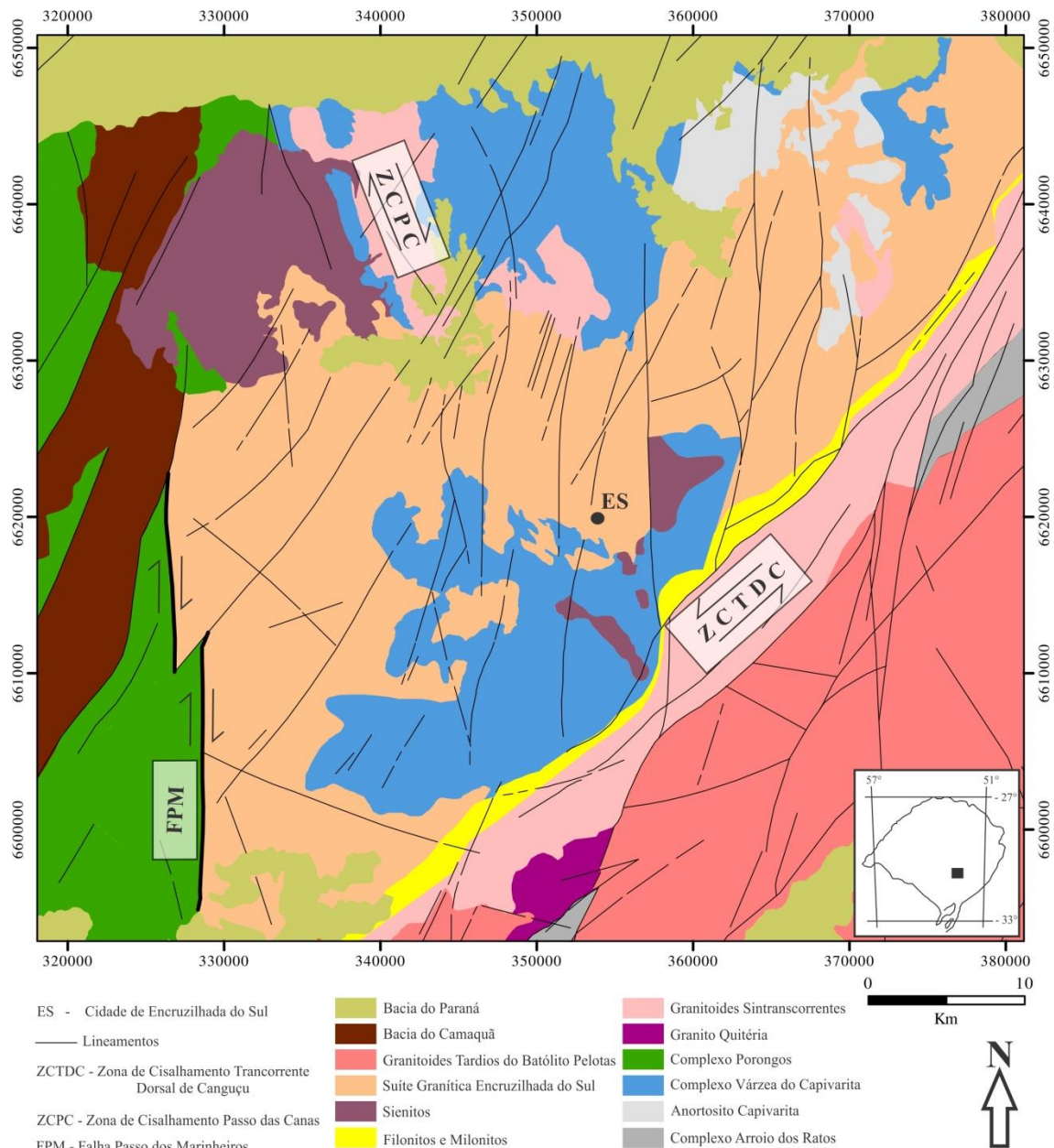
Figura 2 - Configuração geológica dos Escudos Uruguaio, Sul-rio-grandense e Catarinense, com a localização aproximada da área de estudos.



Fonte: Modificado de Bitencourt; Nardi (2000)

A área do Bloco Encruzilhada (figura 3) é formada, em grande parte, pela Suíte Granítica Encruzilhada do Sul e compreende também granitoides sintranscorrentes nas Zonas de Cisalhamento Passo das Canas (ZCPC) e Dorsal de Canguçu, além da presença de sienitos (Sienito Piquiri e Sienito Arroio do Silva) e anortosito (Anortosito Capivarita). Grandes áreas de afloramento do Complexo Várzea do Capivarita ocorrem na região: a porção mais a sul, localizada majoritariamente na Folha Encruzilhada do Sul, porções a norte (folha Passo das Canas) e uma área aflorante a NE na folha Várzea do Capivarita (UFRGS, 2010; MARTIL, 2016).

Figura 3 - Mapa geológico da região de Encruzilhada do Sul.



Fonte: modificado de Martil (2016).

2.2 Complexo Várzea do Capivarita

O Complexo Várzea do Capivarita foi descrito pela primeira vez por Frantz et al. (1984), com denominação de Complexo Metamórfico Várzea do Capivarita, como uma sequência de gnaisses para- e orto-derivados, e metanortositos. Os autores descrevem paragnaisses aluminosos, calcissilicáticos e quartzo-feldspáticos, além de ortognaisses granodioríticos e tonalíticos, apontando metamorfismo de alto grau e a presença de um bandamento com direção preferencial NW.

Fernandes et al. (1988), incluem todos os ortognaisses da região ao Complexo Arroio dos Ratos (CAR), e separa o metanortosito, deixando apenas paragnaisses na então Suíte Metamórfica Várzea do Campivarita. Fernandes et al. (1992) verificam a não correlação completa entre as rochas orto-derivadas pertencentes às áreas a leste e oeste da ZCTDC. Datações geocronológicas do CAR destoantes entre idades Paleoproterozoicas (SILVA et al., 1997; LEITE et al., 2000) e Neoproterozoicas (KOESTER et al., 2008), levaram os últimos autores a considerar a possibilidade da existência de dois eventos magmáticos diferentes.

A impossibilidade da divisão de para- e ortognaisses, na porção a oeste da ZCTDC, devido à intercalação de ambos (MARTIL, 2007) motivou que os ortognaisses dessa porção voltassem a ser considerados parte do CVC, conforme proposto inicialmente por Frantz et al. (1984), bem como a utilização do termo “Complexo”. Para embasar ainda mais essa separação, os trabalhos paralelos de Martil (2016) e Gregory et al. (2015) mostram diferentes idades de cristalização para os ortognaisses do CVC e do CAR, sendo essas Neoproterozoicas e Paleoproterozoicas, respectivamente. Ainda assim, diversos autores ainda utilizam a definição sugerida por Fernandes et al. (1988), inserindo todos os ortognaisses no CAR (BOM, 2014; BOM et al, 2014; GRUBER, 2016; PHILIPP et al., 2016). A retirada do termo “metamórfico” do nome se deu pela presença de sienitos sintectônicos (MARTIL, 2010; DE TONI, 2012).

2.2.1 As rochas do Complexo Várzea do Capivarita

Os ortognaisses do CVC foram caracterizados para a folha Passo das Canas (SH-22-Y-A-III-4) por Martil (2010, 2016) e Martil et al. (2011, 2017). Esses são descritos como rochas cinza escura de composição tonalítica a granítica, apresentando paragêneses de fácies granulito. O bandamento é marcado pela intercalação de bandas máficas e félsicas de espessura milimétrica e regulares. A textura é predominantemente granoblástica poligonal fina, tanto nas porções quartzo-feldspáticas quanto nas bandas máficas dos gnaisses tonalíticos, que apresentam clinopiroxênios, ortopiroxênios e biotita. Esses ortognaisses apresentam geoquímica compatível com ambiente de arco continental maduro, mostrando afinidade cálcio-alcálica, meta- a peraluminosas. Datações indicam idades de cristalização e metamorfismo Neoproterozoicas, de 790-780 Ma e 650-640 Ma, respectivamente (MARTIL, 2016). Em contrapartida, UFRGS (2010), durante mapeamento das folhas Encruzilhada do Sul e Passo das Canas, descreve gnaisses graníticos para a folha Encruzilhada do Sul, que mostram biotita nas fases máficas, com textura lepidoblástica subordinada, e, por vezes, a presença de granadas. Não é descrita a presença de piroxênios.

Os paragnaisses pelíticos e cálcissilicáticos apresentam bandamento composto dado pela segregação metamórfica (BOM et al, 2014). Diversas paragêneses são descritas para os gnaisses pelíticos, compostas normalmente por quartzo e feldspato e, presença de minerais como hercinita, granada, cordierita, silimanita, biotita e andaluzita (FRANTZ, 1984; GROSS et al, 2006; MARTIL, 2010; SILVA et al., 2002, UFRGS, 2010). Estudos realizados para a determinação das condições de pressão e temperatura do metamorfismo do CVC mostram dados contrastantes; Silva et al. (2002) encontram temperaturas entre 660-750°C e pressão de 3,5kbar; Gross et al. (2006) temperaturas aproximadas de 740°C e pressões similares às anteriores. Também foram sugeridas temperaturas ultra-altas e pressões entre 4-8kbar (BOM et al., 2014). Por fim, Costa (2018) delimita duas condições ambas em 800°C e pressões de 2,6 - 4,5kbar, sugerindo uma exumação isotermal.

UFRGS (2010) descreve diversas injeções quartzo-feldspáticas, de textura granoblástica, milimétricas a centimétricas, gerando um bandamento composto, além de veios leucograníticos, nos gnaisses do CVC. A petrografia sugere possível fusão parcial através da recristalização de subgrãos e sugere-se uma forte interação entre magmas graníticos (oriundos das injeções) através de mecanismos estruturais. A migmatização dos gnaisses do CVC é

relatada por Gross (2006) e Bom et al. (2014) para áreas a noroeste de Encruzilhada do Sul (Figura 3). A primeira autora descreve metapelitos migmatíticos com leucossomas formados por quartzo, biotita e K-feldspato, com porfiroblastos de granada presentes na interface leucossoma/melanossoma. Bom et al. (2014) descrevem injeções leucograníticas ricas em muscovita e/ou biotita. Ambos os autores correlacionam a fusão parcial dos gnaisses às altas temperaturas atingidas e ao aquecimento gerado por um grande volume de magma. Philipp et al. (2013) sugerem que a fusão dos gnaisses do CVC e do CAR geraram corpos graníticos peraluminosos da Suíte Cordilheira (Granitos Cordilheira e Arroio Francisquinho).

O Sienito Arroio das Palmas é intrusivo no CVC e seu posicionamento está relacionado ao evento metamórfico-deformacional de fácies granulito que afetou os gnaisses do complexo. Apresenta foliação primária e milonítica concordante com o bandamento metamórfico e possui textura porfirítica a inequigranular média, com matriz máfica fina composta basicamente por biotita, anfibólio e clinopiroxênio, e presença de até 40% de megacristais de K-feldspato, estirados, com mirmequitização comum (UFRGS, 2010; DE TONI, 2012; 2015).

2.2.2 Geologia Estrutural

Segundo Martil (2016), as rochas do CVC, na folha Passo das Canas (Figura 1 e Figura 3), apresentam intercalação tectônica em diversas escalas relacionadas a um evento de deformação D_1 que gerou um bandamento S_1 com direção NNW, com mergulhos originalmente sub-horizontais. Contida em S_1 , encontra-se uma lineação de estiramento com alta obliquidade, indicando o regime tectônico de cavalgamento. A deformação D_2 gerou uma foliação S_2 subvertical, também com direção NNW, e transpôs S_1 em S_2 . A lineação de estiramento contida em S_2 mostra um baixo rake, levando a interpretação de uma zona de cisalhamento oblíqua de cinemática dextral.

Para a área de Encruzilhada do Sul, UFRGS (2010) relata a presença de S_1 , relacionada ao principal evento deformacional, porém o projeto de mapeamento apresenta variações na direção dessa foliação entre NE-SW, NW-SE, N-S e E-W. São descritas lineações minerais de silimanita e biotita, além de lineação de estiramento. Não são descritos domínios representados por foliações subverticais, mas é descrita a presença de mais de uma

fase de deformação, com presença de dobramentos. Costa (2018) interpreta a variação da foliação descrita como uma dobra sinforme com eixo para SW.

2.3 Migmatitos e fusão parcial

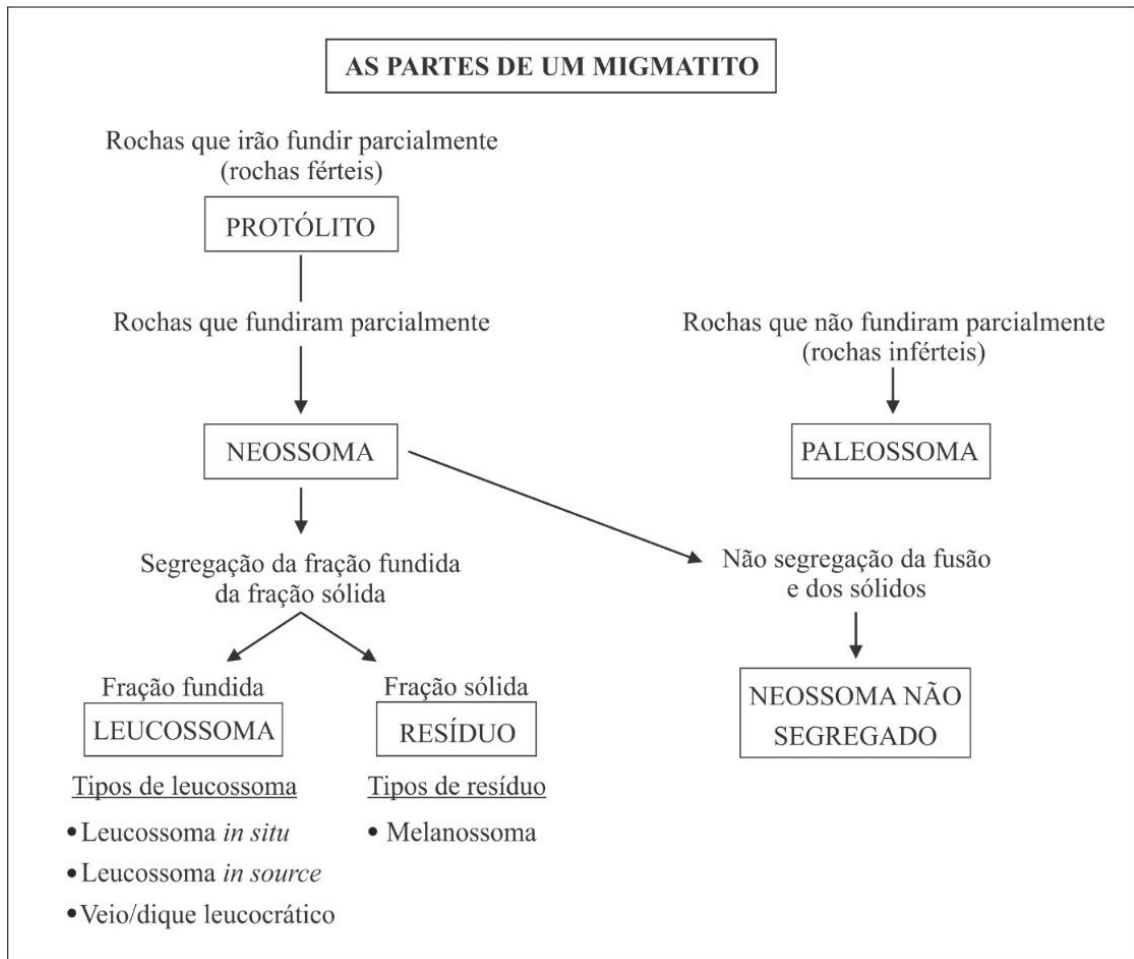
A abordagem e discussão acerca de fusão parcial torna necessário o estabelecimento da nomenclatura e conceitos utilizados, visto as diferentes terminologias utilizadas por diferentes autores. Para isso, utilizou-se as definições de Sawyer (2008) para migmatitos, resumidas na Figura 4. Segundo o autor,

migmatitos são rochas encontradas em terrenos metamórficos de médio a alto grau, que podem ser heterogêneas em escalas macro e microscópicas, e consistem de duas ou mais diferentes partes. Uma das partes deve ser formada pela fusão parcial e contém rochas petrogeneticamente relacionadas entre elas (neossoma) e ao protólito, através da fusão parcial ou segregação do líquido da fração sólida. (SAWYER, 2008, página 4, tradução da autora)

Para estudar migmatitos deve-se estar atento à escala e a parte analisada, que pode ter sido fundida ou não. A parte que não sofreu fusão (porção infértil) chama-se *paleossoma*, e normalmente mostra características da rocha original. Contrariamente, a porção fértil do migmatito funde e gera o *neossoma*, que pode ser ou não segregado. Quando há segregação do neossoma pode-se dividi-lo em melanossoma e leucossoma. O *melanossoma* é a parte escura, rica em minerais máficos e considerada a fração sólida residual devido à extração do líquido gerado por fusão. O *leucossoma* é a parte félsica do migmatito, geralmente quartzo-feldspática, derivada da segregação do líquido gerado da fusão parcial (SAWYER, 2008).

Quando ocorre a fusão, o líquido gerado pode permanecer in situ, ser removido, coletado, acumulado ou injetado, por isso, divide-se as feições observadas nas diferentes escalas relacionadas à mobilidade e à migração desse líquido. O *leucossoma in situ* ocorre quando há segregação e o material fundido permanece no local de formação; o *leucossoma in source* ocorre quando há migração do local de formação, porém a fusão permanece dentro dos limites de seu protólito; o *veio leucocrático* corresponde ao produto da cristalização da fusão parcial segregada que migrou para fora de sua camada fonte (SAWYER, 2008).

Figura 4 - Resumo da nomenclatura utilizada para as partes de um migmatito.



Fonte: traduzido de Sawyer (2008).

A fusão parcial ocorre com o aumento das temperaturas de metamorfismo, atingindo as rochas férteis, nas quais a assembleia se torna instável. Inicia-se nas junções e bordas dos minerais, gerando pequenos filmes de fusão (*melt films*), e quando o volume de líquido gerado aumenta, podem ocorrer bolsões de fusão (*melt pockets* e *melt pools*) que passam a se interconectar e, assim, adquirem mobilidade (SAWYER, 1999). Em um migmatito, diferenças composicionais são esperadas devido às diferenças composicionais dos protólitos. A água é importante para a geração da fusão parcial e a formação dos migmatitos, e sua presença pode ou não ser atribuída e controlada por reações de desidratação das micas (JOHANNES, 1988). O processo de fusão parcial e sua segregação é fundamental na diferenciação da crosta continental (BROWN, 2001), podendo gerar corpos graníticos. Nesse contexto, granitos do tipo-S são gerados pela fusão parcial de rochas supracrustais (CHAPPELL; WHITE, 2001).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi dividido em três etapas: pré-campo, campo e pós campo. Através dessas foi possível fazer uma integração dos diferentes dados obtidos com a intenção de compreender as litologias classificadas como ortognaisses.

4.1 Etapa Pré-Campo

A etapa pré-campo constituiu na pesquisa bibliográfica e na preparação para o campo. A pesquisa bibliográfica incluiu artigos científicos, teses, dissertações, trabalhos de conclusão de curso e mapeamentos geológicos. Esses dados permitiram o embasamento conceitual à discussão apresentada.

O campo foi preparado principalmente com o auxílio das compilações das cadernetas do mapeamento geológico do Projeto Encruzilhada-Passo das Canas (UFRGS, 2010). Através desse, foram selecionados os pontos mais promissores de ortognaisses baseando-se nas dimensões do afloramento, mineralogia, estruturas, grau de alteração e relações com outras litologias. Para auxiliar durante essa organização também foram utilizadas imagens de satélite, cartas topográficas e fotografias aéreas.

4.2 Etapa de campo

O trabalho de campo foi realizado em abril de 2018, tendo duração de sete dias, nos quais foram visitados afloramentos descritos como ortognaisses e paragnaisses por UFRGS (2010) na região de Encruzilhada do Sul.

No total foram visitados e descritos 15 pontos na área. Os dados estruturais (foliações, lineações, planos axiais e eixos de dobras) foram medidos e, para melhor observação das estruturas, foi realizada a limpeza de alguns afloramentos. Quando necessário, foram

confeccionados croquis explicativos utilizando papel milimetrado e fotografias foram tiradas para fins didáticos.

Amostras foram coletadas sistematicamente visando à confecção de lâminas petrográficas e análises geoquímicas. Todas as amostras para laminação foram coletadas orientadas no plano horizontal, para que a observação das estruturas estivesse de acordo com sua orientação original. Para a análise geoquímica, teve-se cuidado para coletar amostras sem alteração e acondicioná-las em embalagens plásticas identificadas, não colocando marcador permanente diretamente na amostra, a fim de evitar qualquer contaminação.

4.3 Etapa pós-campo

A etapa pós-campo iniciou com a compilação e o tratamento dos dados obtidos em campo. Os croquis explicativos foram vetorizados através do *software CorelDraw X6®* e os estereogramas foram gerados no *software Stereo32*, a partir dos dados estruturais medidos.

As principais técnicas utilizadas nessa etapa foram a análise petrográfica e a análise geoquímica. No total, foram confeccionadas 11 lâminas para a realização de análise petrográfica e microestrutural, dentre elas amostras descritas como ortognaisses, paragnaisses e injeções leucograníticas centimétricas e decimétricas, que mostravam relação intrusiva nos gnaisses. Para a análise geoquímica a técnica analítica utilizada foi a Fluorescência de Raios X. Os dados geoquímicos foram tratados com o *software GCDkit 4.1*, no qual foi possível a confecção de gráficos binários e ternários, além do cálculo da mesonorma.

4.3.1 Análise petrográfica

As 11 lâminas petrográficas foram confeccionadas no Laboratório de Preparação de Amostras do IGEO/UFRGS. A marcação do corte foi sempre realizada perpendicular à foliação e paralela à lineação, a fim de ser observado o plano de movimento verdadeiro no caso de ocorrência de estruturas cinemáticas. Tendo em vista a análise geoquímica de quatro amostras de leucogranitos, as lâminas dessas amostras foram descritas em maior detalhe.

A descrição das lâminas consistiu em observações de textura e mineralogia, com contagem modal dos minerais presentes nas quatro lâminas principais, realizando no mínimo, 230 pontos em cada lâmina, tendo em vista a sua granulometria. Foi importante descrever a relação entre os minerais, tipos de extinção, zonação, tipos de maclas, presença de recristalização e estruturas de deformação. Para avaliar a relação entre os gnaisses e as injeções foi dada atenção a feições de fusão parcial como *melt pockets*, *melt pools* e corrosão de minerais sendo consumidos (SAWYER, 2008). As principais bibliografias utilizadas para a interpretação de texturas e estruturas nesse trabalho foram Passchier e Trouw (2005) e Vernon (2004).

4.3.2 Análise geoquímica por Fluorescência de Raios X

Foram selecionadas oito amostras para a análise através de FRX no Laboratório de Análise Geoquímica de Rochas do IGEO-UFRGS, que analisa quantitativamente os elementos maiores em óxidos SiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{t})$, MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , e os elementos traços Ba, Cr, Cu, Nb, Ni, Pb, Sr, Rb, Y, Zn, Zr.

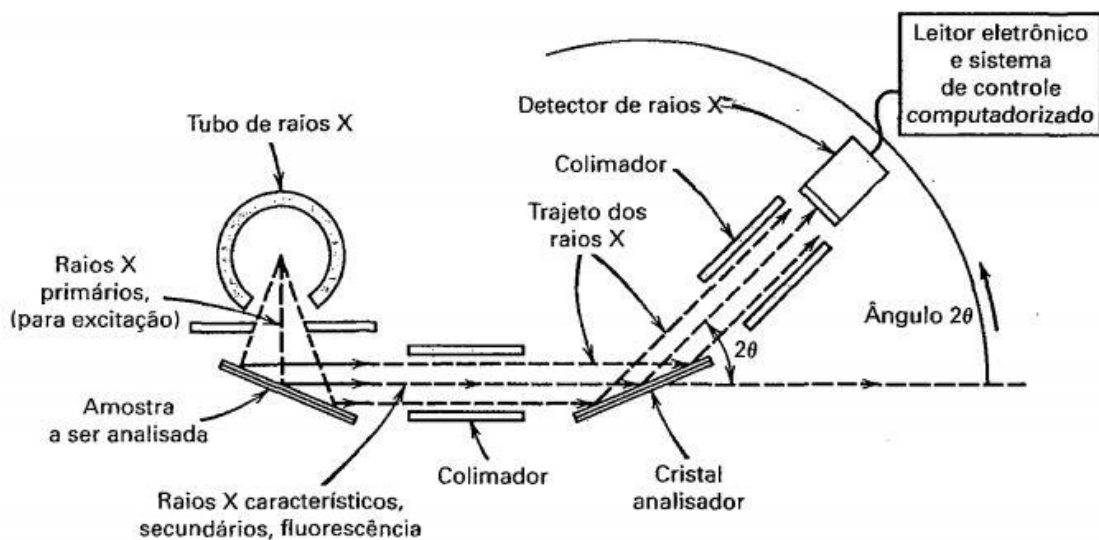
Para serem analisadas, as amostras foram preparadas iniciando com fragmentação por marreta. As amostras foram lavadas, secas em estufa (40°C) e posteriormente moídas em gral e pistilo de porcelana. O pó gerado foi quarteado e levado ao moinho de bolas para atingir a granulometria de 200 *mesh* necessária para a análise na FRX. Dez gramas de cada amostra foram entregues ao laboratório.

No laboratório onde é realizada a análise na FRX, através do equipamento X RIX 2000 da Rigaku, uma fração da rocha moída é prensada com cera espectroscópica para a análise de elementos traços, enquanto outra fração é transformada em pastilhas vítreas com tetraborato de lítio ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$) para análise de elementos maiores. Amostras padrões são preparadas da mesma forma para que o equipamento seja calibrado.

A FRX é uma técnica na qual a amostra é excitada por fótons de alta energia, causando a ionização das camadas internas, que então têm a vaga preenchida por elétrons externos. Assim, a energia em excesso é emitida na forma de um fóton de raio X característico do elemento. A energia emitida depende do número atômico do elemento e da diferença entre a energia dos elétrons envolvidos (POTTS; WEBB, 1992).

Para a análise por FRX é utilizado um espectrômetro de dispersão em comprimento de onda (WDS – *wavelength dispersive spectrometer*), que consiste resumidamente em um tubo de raios X que incide na amostra, levando a cristais analisadores e um detector (Figura 5). A dispersão dos raios através do cristal analisador é responsável pelo fenômeno de difração dado pela Lei de Bragg ($2d\sin\theta = n\lambda$). Utilizando o cristal se tem conhecimento de seu espaçamento interplanar e , dessa forma, se calcula o comprimento de onda do elemento. A análise quantitativa compara a intensidade dos raios X característicos detectados com a intensidade dos padrões, após a realização de algumas correções em ambos (POTTS; WEBB, 1992; JENKINS, 1999).

Figura 5 - Analisador de Fluorescência de Raios X com seus principais componentes.



Fonte: Klein & Dutrow (2009)

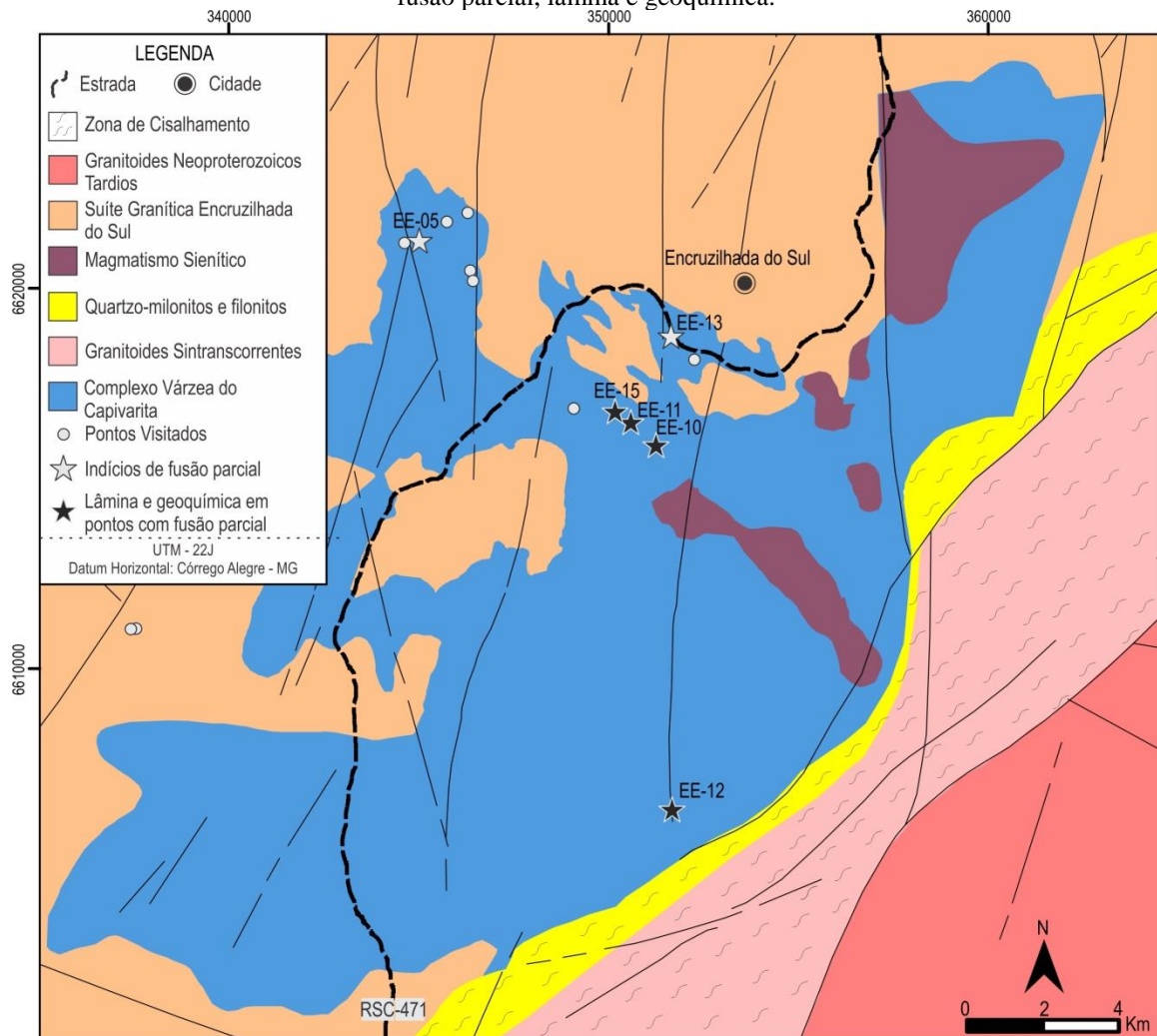
4 RESULTADOS

Conforme descrito na metodologia, o trabalho de campo propôs inicialmente visitar afloramentos descritos como ortognaisses, buscando explicar as diferenças encontradas em relação aos ortognaisses descritos para a folha Passo das Canas. Durante o trabalho de campo esperava-se encontrar biotita gnaisses descritos como ortognaisses graníticos, porém verificou-se que esses se tratam de outras litologias como (1) granitoides com foliação; (2) gnaisses calcissilicáticos; (3) intercalações composicionais dos paragnaisses; (4) leucogranitos de escala decimétrica. Assim, não foi verificada a presença de ortognaisses, tanto em escala de afloramento, quanto em escala microscópica.

Ainda em campo verificou-se o grande volume de injeções de granada-biotita leucogranito nos paragnaisses pelíticos, mostrando a importância das mesmas na associação de rochas estudada. Corpos leucograníticos métricos próximos a afloramentos gnáissicos também foram encontrados (aqueles que outrora foram descritos como ortognaisses). Feições de fusão encontradas nos gnaisses corroboram com a teoria de que essas injeções são oriundas da fusão parcial dos mesmos (Figura 6).

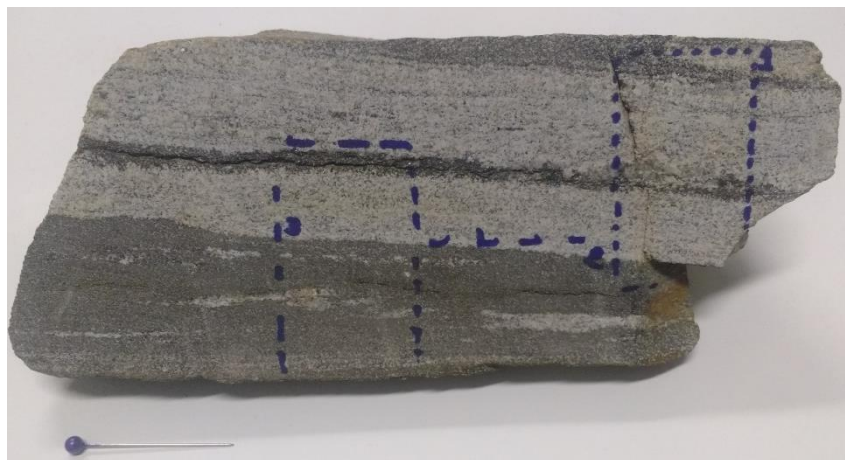
As injeções leucograníticas possuem textura fina a média com espessura, em geral, centimétrica, e venulações milimétricas interdigitadas, gerando um bandamento composto nos gnaisses (Figura 7). Essas venulações, por vezes, apresentam-se descontínuas e o amalgamento delas parece favorecer a formação de corpos decimétricos (Figura 8a). As venulações descontínuas e a presença de agregados máficos circundados por material félsico sugerem a ocorrência de fusão parcial. Verifica-se a existência de uma foliação fina, bem desenvolvida, dada pela orientação da biotita e lineação marcada pelo estiramento do quartzo e feldspatos. A foliação é concordante com o bandamento dos gnaisses, sugerindo mesma deformação (Figura 7b). Essa deformação é referente à D_1 descrita por Martil (2016), que gerou uma S_1 originalmente sub-horizontal e foi afetada por um dobramento regional (COSTA, 2018). Além disso, ocorrem pequenas dobras nas venulações interdigitadas, com indicação de topo para norte, mesma cinemática indicada por micas nos paragnaisses encontrados (Figura 9).

Figura 6 - Mapa geológico da área de estudo com a indicação dos pontos visitados e daqueles com indícios de fusão parcial, lâmina e geoquímica.



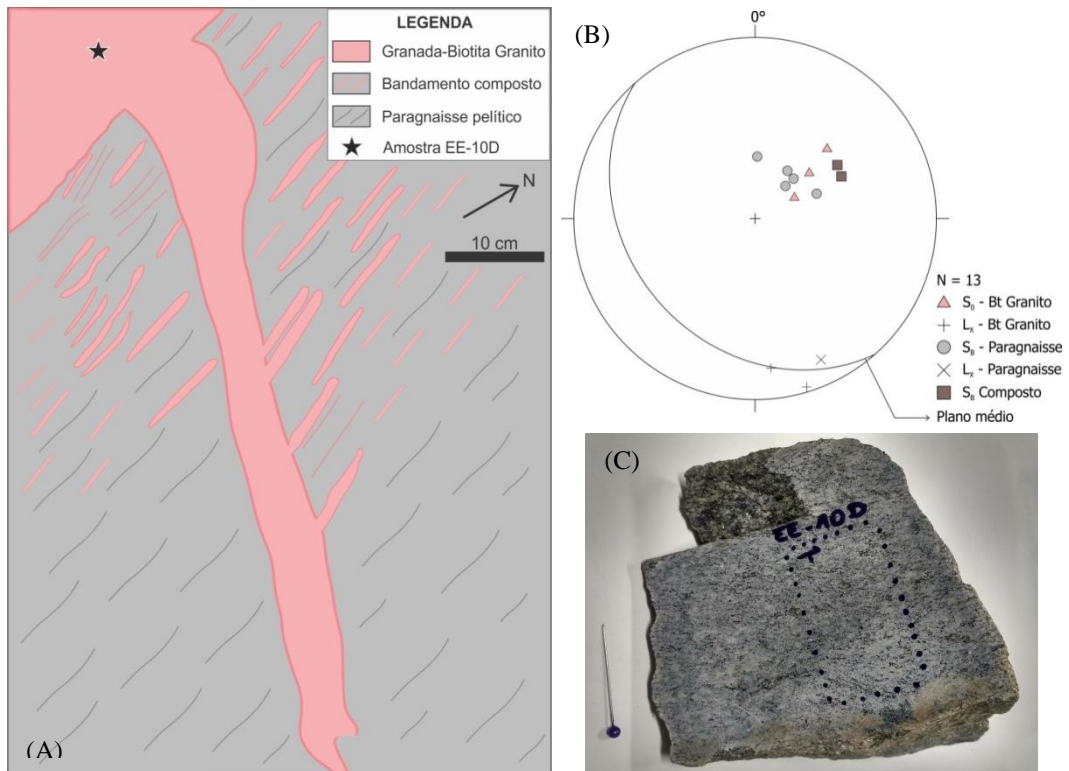
Fonte: modificado de Martil (2016).

Figura 7 - Amostra com bandamento composto gerado pelas injeções leucograníticas nos gnaisses pelíticos (amostra EE-10E). As marcações indicam os locais de laminação.



Fonte: própria autora.

Figura 8 – (A) Croqui mostrando o amalgamento das venulações milimétricas e centimétricas para corpos maiores cortando o bandamento; (B) estereograma mostrando a concordância da foliação das injeções com o bandamento gnáissico (polos dos planos em rede equiária de Schmit, hemisfério inferior); (C) amostra coletada no local com a marcação da lâmina petrográfica.



Fonte: própria autora.

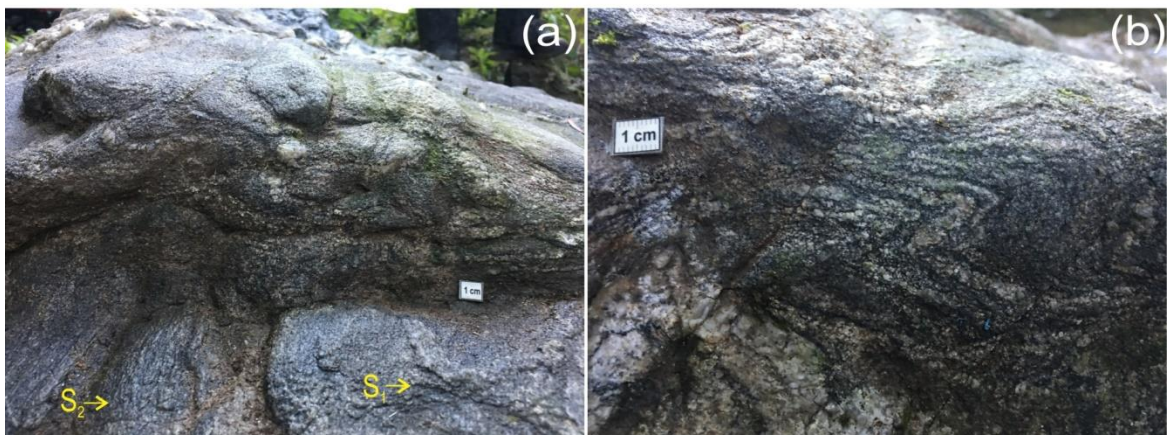
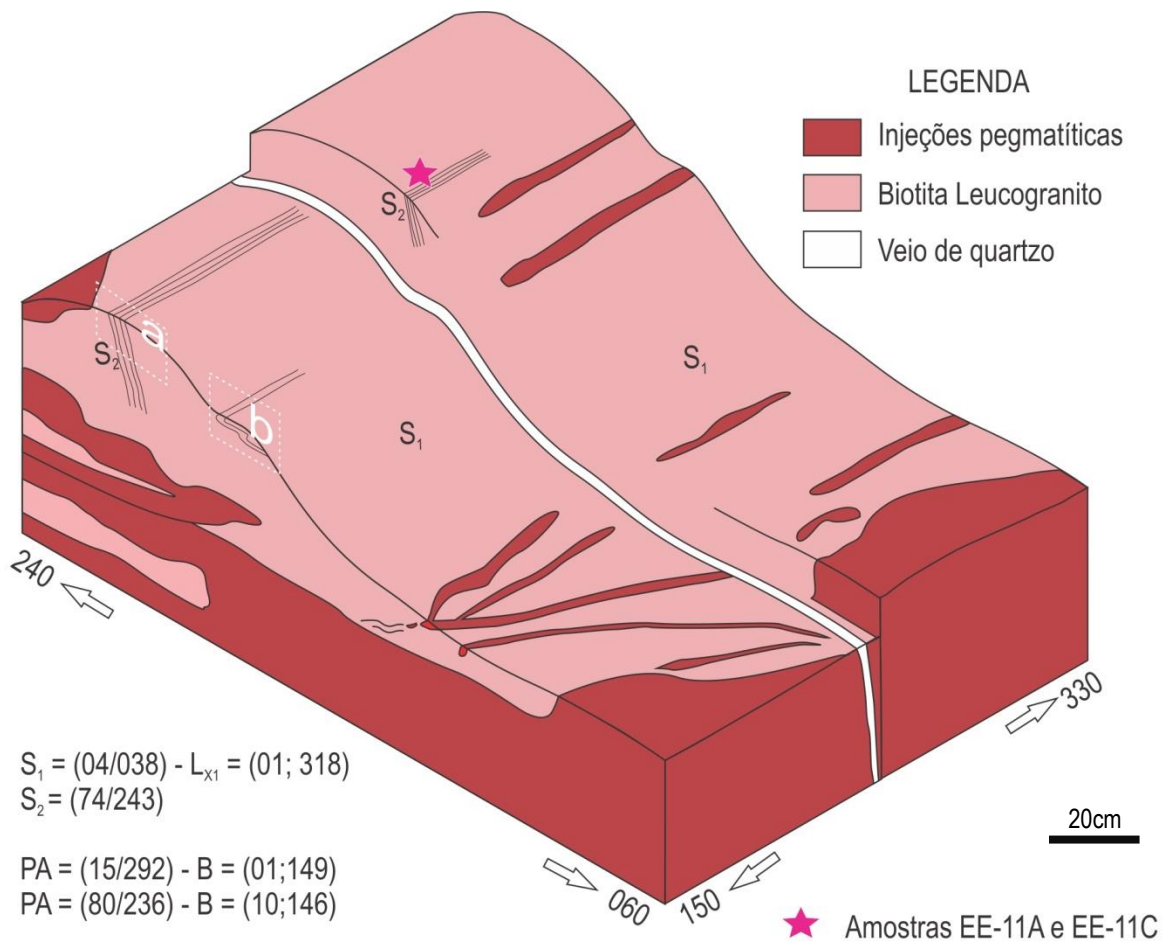
Figura 9 - Venulações interdigitadas com dobras indicando topo para norte.



Fonte: própria autora.

A deformação D_2 descrita por Martil (2016), que gerou foliações subverticais não havia sido descrita para a área de Encruzilhada do Sul durante o mapeamento de UFRGS (2010) e sugeriu-se que fosse pela falta de detalhamento estrutural. Porém, dentre os quinze pontos visitados, apenas um apresentou foliação relacionada à D_2 . A foliação subvertical foi encontrada no ponto EE-11 (22J, 350410mE, 6616614mN), sendo muito incipiente.

Figura 10 - Croqui explicativo do ponto EE-11, no qual foi encontrada foliação subvertical relacionada à deformação D_2 . (a) detalhe das foliações sendo truncadas; (b) dobra assimétrica.



Fonte: própria autora.

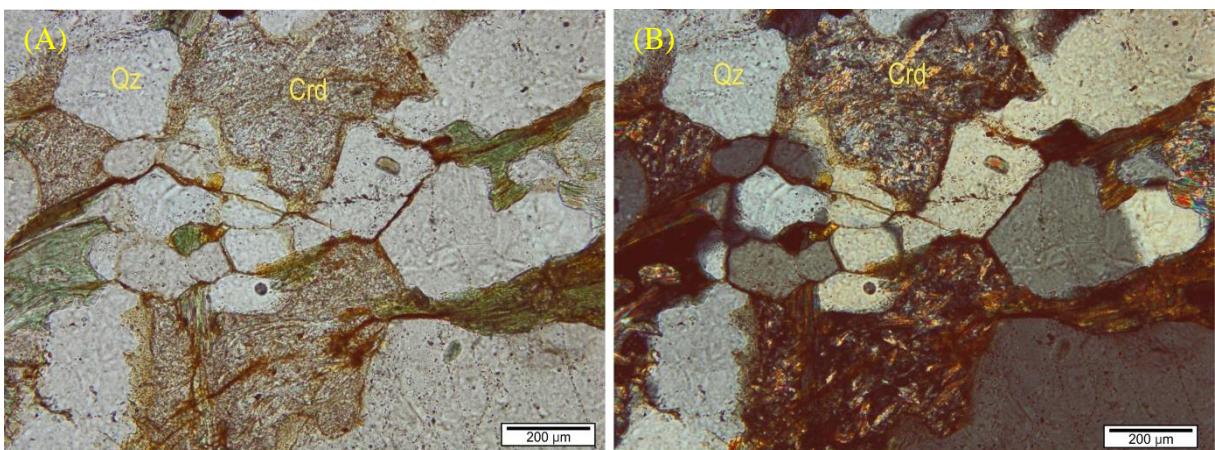
4.1 Descrições petrográficas

Para caracterizar as injeções leucograníticas e correlacioná-las com a fusão dos paragneisses do CVC foram descritas lâminas petrográficas de gnaisses e leucogranitos.

4.1.1 Paragneisses

Os paragneisses apresentam foliação marcada pela variação composicional e textural. Apresentam paragêneses variáveis entre Crd-Bt-Sil, Bt-Sil-Grt, Bt-Grt-Crd ou somente Bt, variando até mesmo em escala de afloramento, com bandas félsicas quartzo-feldspáticas, mostrando textura granoblástica poligonal e contendo cordierita pinitizada (Figura 11). Clorita e muscovita ocorrem como minerais secundários, enquanto zircão e monazita ocorrem como traços. A contagem modal de uma lâmina obteve como resultado: Qz (27,5%), Pl (21,2%), Bt (14,1%), Ms (12,7%), Crd (10,6%), Kfs (6,5%), Chl (4,8%), Op (1%), epidoto, granada e zircão (traços).

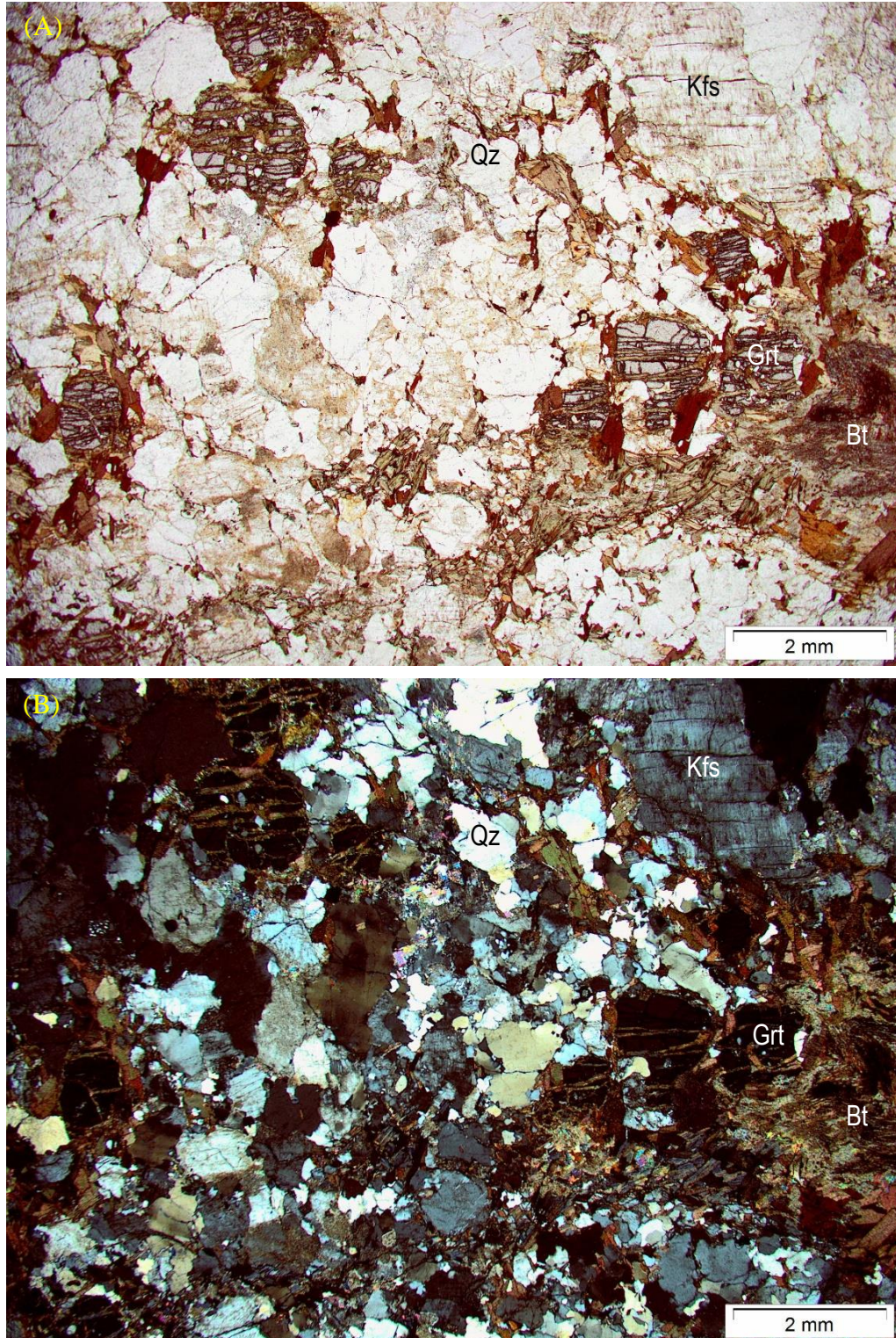
Figura 11 - Textura granoblástica no paragneisse mostrando quartzo e cordierita pinitizada, em luz natural (A) e luz polarizada (B).



Fonte: própria autora.

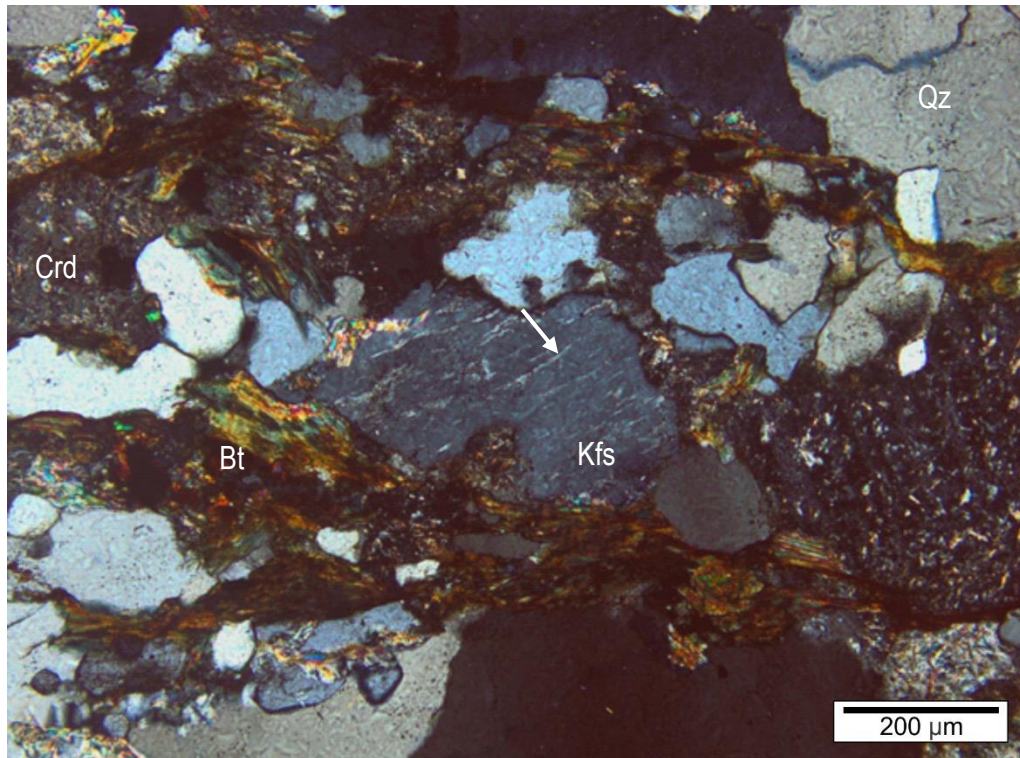
Em alguns locais, os paragnaisses apresentam feições de fusão, como *melt films*, *melt pockets* e *melt pools*, e é comum a segregação da fusão, gerando as venulações milimétricas ao longo do bandamento. Ocorrem volumes significativos de fusão nas lâminas, quando isso ocorre classifica-o como um migmatito, no qual a porção fundida representa o leucossoma. O leucossoma possui textura hipidiomórfica média a grossa (3 a 6 mm) e é formado por Qz, Pl e Kfs, com esparsas biotitas e/ou granadas. Ocorre variação nos teores de Pl e Kfs, por vezes sendo encontrados leucossomas com quartzo e apenas um desses minerais. Granadas são comuns na interface melanossoma/leucossoma, sendo essas instáveis (Figura 12). Por vezes, o leucossoma, não aparece segregado ou em bandas, mostrando cristais ígneos dispersos em meio ao melanossoma e vice-versa. É registrada a ocorrência de pertitas (Figura 13) e quartzo com subgrãos do tipo tabuleiro de xadrez e estirados.

Figura 12 - Lâmina a luz natural (A) e nicóis cruzados (B) mostrando a variação textural e, nessa interface, as granadas instáveis.



Fonte: própria autora.

Figura 13 - Crd-Bt gnaiss com bolsões de fusão, representando o leucossoma, que contém quartzo e feldspatos perfiticos.



Fonte: própria autora.

4.1.2 Injeções Leucograníticas

As injeções leucograníticas são majoritariamente de monzogranitos com textura alotriomórfica inequigranular fina a média, apresentando biotita e granada como minerais máficos. A foliação é marcada pela orientação da biotita. É comum a presença de textura mirmequítica, textura sagenítica (exsolução de rutilo em biotita) e pertitas. Há ocorrência de textura granoblástica poligonal como relicto de uma textura metamórfica original, sendo comum ou rara.

As amostras com análise geoquímica são descritas em maior detalhe para fins de comparação e discussão acerca dos componentes mineralógicos em relação aos dados de geoquímica de rocha total. Nessas, foi realizada a contagem modal dos grãos, com 230 a 300 pontos por lâmina. O resultado dessa contagem é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Contagem modal com 230 a 300 pontos realizada nas lâminas de leucogranito com análise geoquímica. Valores em %. Considerou-se traço aqueles que foram vistos em lâmina, porém, por serem poucos e pequenos, não apareceram na contagem.

	EE-10D	EE-10E-1	EE-11A	EE-12C
Qz	27,0	35,8	37,4	37,6
Kfs	27,4	24,4	22,7	30,7
Pl	30,0	31,0	25,6	24,4
Bt	11,3	6,7	13,3	2,9
Gt	1,7	tr	1,0	2,9
Chl	tr	0,5	tr	tr
Ms	1,7	1,6	-	1,0
Op	0,9	tr	tr	tr
Ep	-	-	tr	0,5
Zr	tr	tr	tr	tr
Mnz	-	-	tr	-
TOTAL	100	0	100	0

Fonte: própria autora.

EE-10D

A amostra EE-10D é uma injeção decimétrica discordante (Figura 8). Possui composição monzogranítica e apresenta textura alotriomórfica inequigranular fina a média (Figura 14), com tamanho médio dos grãos de 1 mm. A foliação é marcada pela biotita.

O *quartzo* é normalmente intersticial (0,9 mm em média, mín 0,1 mm, máx. 2,5 mm), por vezes estirado em uma orientação preferencial. Possui extinção ondulante e subgrãos do tipo tabuleiro de xadrez. Faz contatos interlobados e irregulares com outros minerais. Ocorrem alguns cristais menores (0,15mm), arredondados, normalmente como inclusão nos feldspatos. Rara textura granoblástica poligonal.

O *plagioclásio* é majoritariamente anédrico e raramente subédrico, com tamanho de grão variando entre 0,4 e 1,6 mm, porém pode ocorrer fenocristais com até 3,5mm (Figura 15a). Os cristais de plagioclásio ocorrem com maclas polissintéticas e algumas maclas simples. Podem-se ver alguns cristais com dupla macla (Figura 15b). Maclas de deformação são comuns. Há ocorrência de zonação em plagioclásio mais cálcico (andesina), enquanto o oligoclásio ocorre sem zonação. Tipicamente, apresenta contatos interlobados (Figura 15b) com outros minerais e raramente interdigitado entre cristais de plagioclásio. Cerca de 80% do

plagioclásio tem textura tipicamente ígnea, porém há ocorrência de resquílios de textura granoblástica poligonal localizada. Inclusões de quartzo e biotita são comuns.

O *K-feldspato* é anédrico e ocorre, na maioria das vezes, com alteração para sericita. Possui em média 0,8 mm, podendo chegar a 1,8 mm e, raramente, 3,5 mm. Apresenta maclas simples e pertitas submilimétricas. Microclínio ocorre esparsamente na lâmina. Textura mirmequítica é comum (Figura 16a). Ocorre textura poligonal localizada.

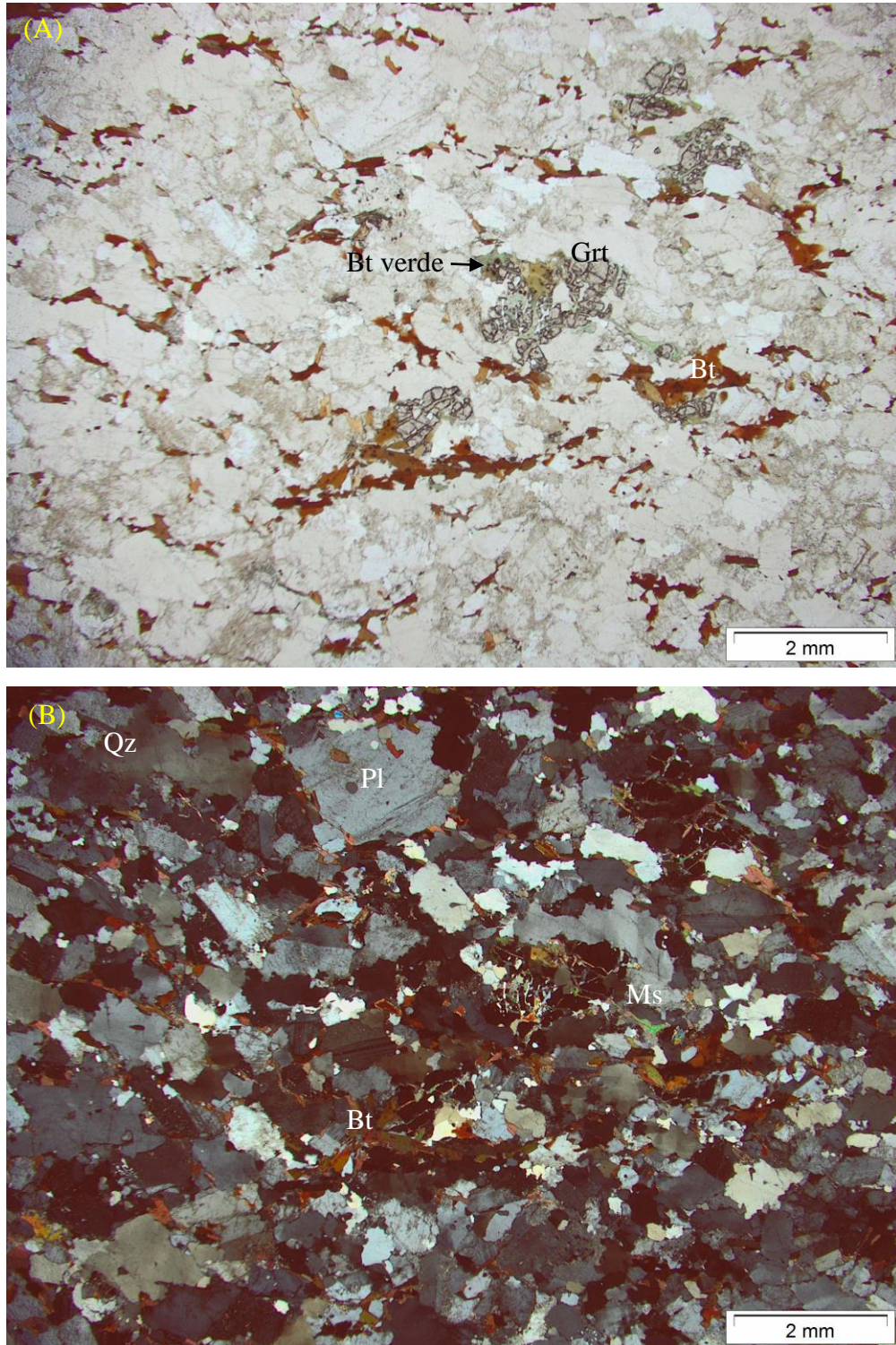
A *biotita* é anédrica com tamanho variando entre 0,3 e 0,6 mm, ocorrendo disseminada e raramente em agregados. Há uma orientação preferencial, mas ainda ocorre uma segunda direção de orientação. A cor de máxima absorção é em tons de marrom alaranjado. Raramente ocorre cloritização, com crescimento epitaxial entre biotita e clorita. Nesses grãos é comum a ocorrência de textura sagenítica. Apresenta contatos relativamente retos com os outros minerais.

A *granada* ocorre localizadamente, é anédrica, e os nove grãos contados estão em pedaços e totalmente fraturados. O tamanho original parece ser entre 0,9 a 1,5 mm. Em seu entorno e preenchendo suas fraturas, ocorre substituição da granada por biotita verde e muscovita. Inclusões de quartzo são comuns (Figura 16b).

Mica branca ocorre anédrica, como alteração nos feldspatos. *Muscovita* é rara e ocorre juntamente com a biotita.

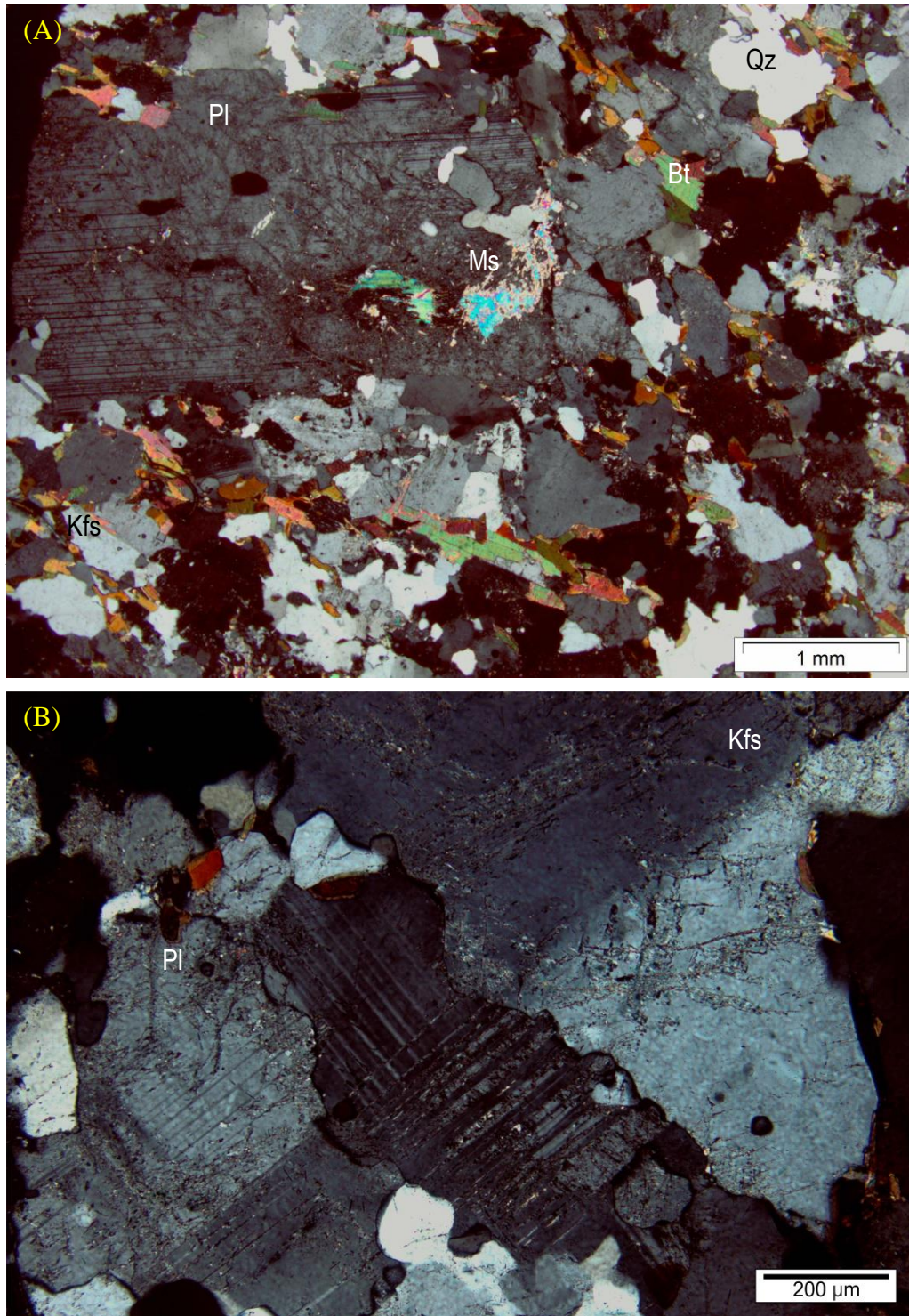
Zircão com 0,1 mm ocorre próximo às biotitas. Opaco e apatita ocorrem como traços, além de epidoto secundário.

Figura 14 - Fotomicrografias em luz natural e luz polarizada mostrando a textura alotriomórfica inequigranular. Em (A) pode-se ver a presença de biotitas esparsas e granadas bastante fraturadas e em (B) pode-se verificar a presença de quartzo e feldspatos de tamanho maior.



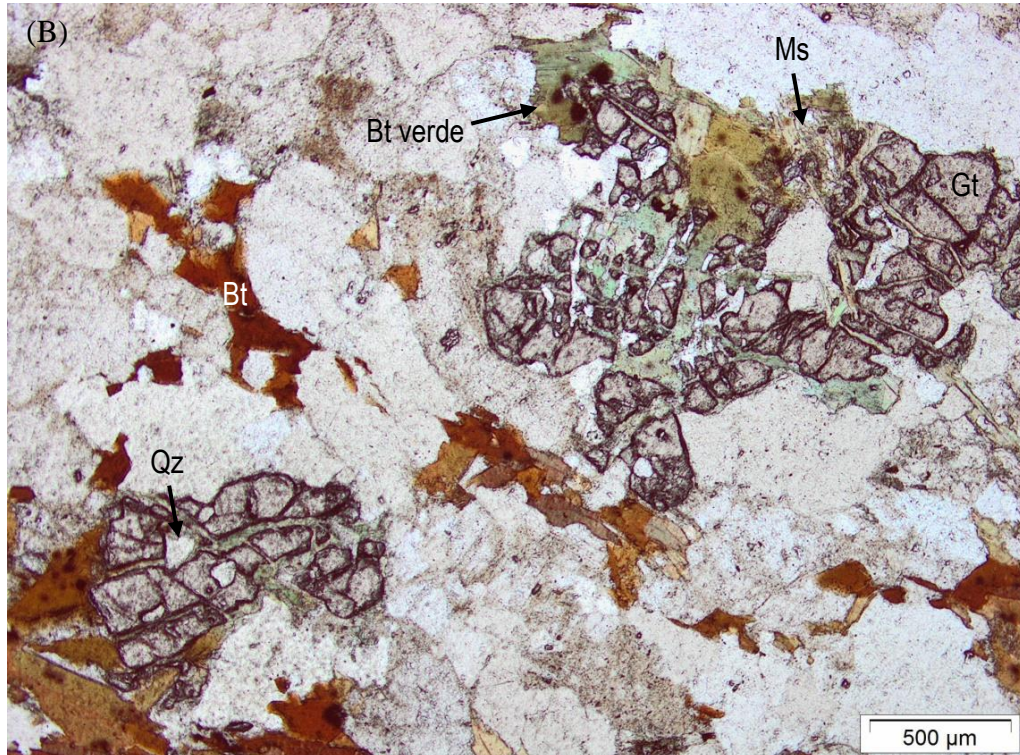
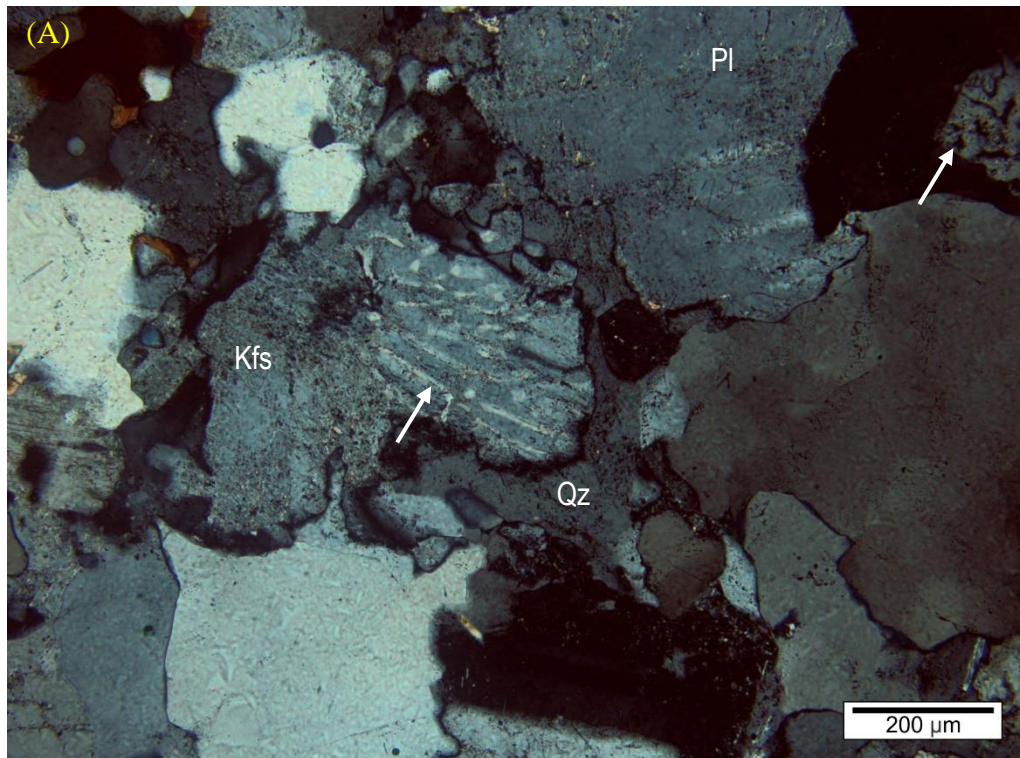
Fonte: própria autora.

Figura 15 - (A) fenocristal de plagioclásio com inclusões de quartzo; (B) cristais de plagioclásio com dupla macla ao lado de um Kfs, mostrando contato interlobado entre eles.



Fonte: própria autora.

Figura 16 - (A) Presença de mirmequitos (setas) no contato entre Kfs e Qz, também pode-se verificar os contatos interlobados entre os mesmos e o quartzo intersticial; (B) Granadas fraturadas com biotita verde e muscovita preenchendo as fraturas e inclusões de quartzo.

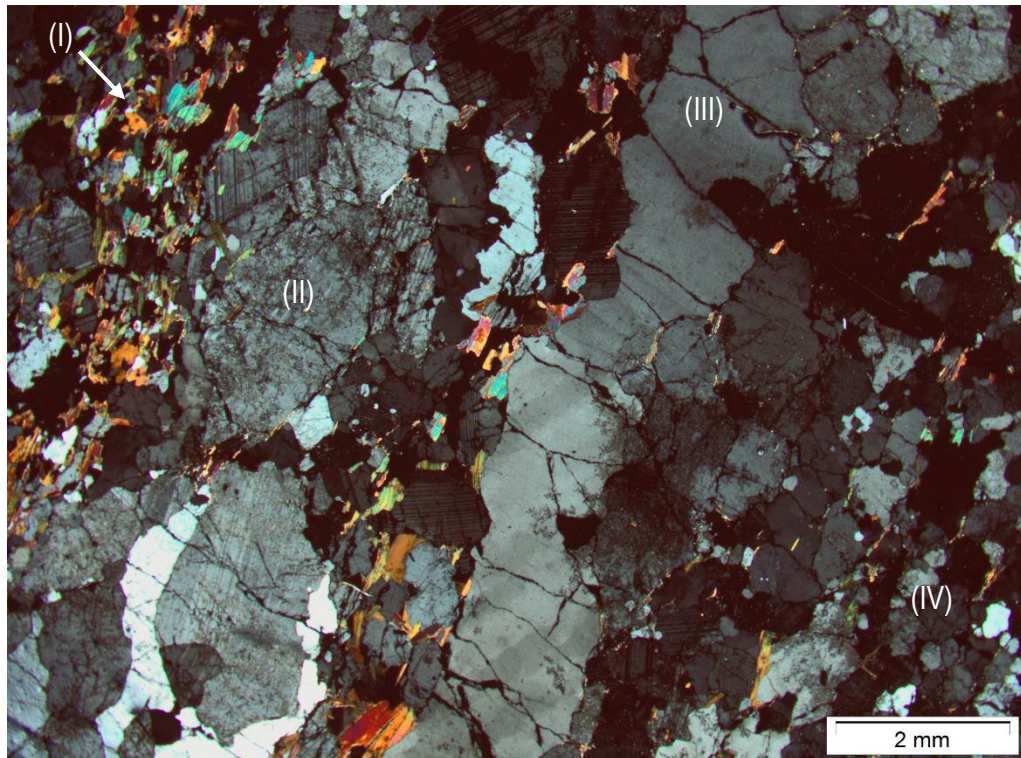


Fonte: própria autora.

EE-10E-1

Monzogranito com bandamento dado pela variação no tamanho de grão. Por vezes, há agregados de biotita segundo o bandamento marcando essa variação textural. A textura é alotriomórfica e raramente ocorre textura granoblástica. Os grãos de quartzo e plagioclásio das bandas mais grossas podem chegar a 6mm e 4 mm, respectivamente. Ocorrem bandas intermediárias, inequigranulares, com tamanho de grão entre 1 a 4 mm. As bandas mais finas são aproximadamente equigranulares, com tamanhos entre 0,4 e 0,8 mm (Figura 17). O contato entre os minerais é irregular a interlobado.

Figura 17 - Bandamento dado pela variação do tamanho de grão mostrano (I) bandas finas ricas em biotita; (II) bandas ricas em Pl e Qz com tamanho de grão entre 1 e 4mm; (III) quartzo estirado na banda mais grossa; (IV) banda mais fina com grãos aproximadamente equigranulares.



Fonte: própria autora.

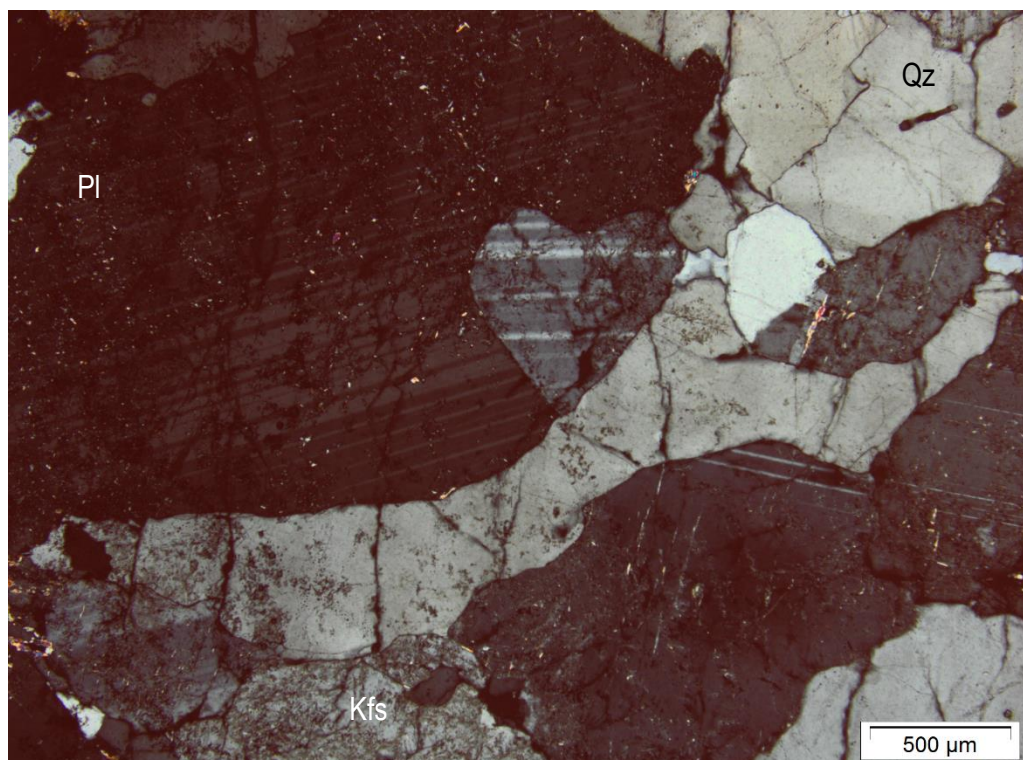
O *quartzo* é anédrico, com contatos irregulares a interlobados com outros minerais. Está comumente estirado, com extinção ondulante e os grãos maiores formando subgrãos do tipo tabuleiro de xadrez. Inclusões de quartzo arredondado (0,2 mm) são comuns, principalmente nas bandas mais finas, em feldspatos. Também aparece preenchendo espaços (Figura 18).

O *plagioclásio* é anédrico e apresenta maclas polissintéticas bem formadas e finas, raramente possui maclas de deformação. Pode ocorrer com sericitização (Figura 18).

O *K-feldspato* é igualmente anédrico, porém relativamente menor que os outros minerais, atingindo no máximo 2mm nas bandas maiores, onde é raro sua ocorrência. Apresenta bastante sericitização. Pertitas são raras.

A *biotita* é subédrica a anédrica e ocorre, segundo o bandamento, na interface das bandas mais finas e mais grossas, com tamanhos entre 0,05 mm até, no máximo, 1 mm, sendo rara no interior das bandas. Apresenta máxima cor de absorção castanho avermelhada. Textura sagenítica é comum, e a cloritização é rara. *Opacos* ocorrem entre as lamelas de biotita. A *muscovita* é anédrica, ocorre em grãos submilimétricos e não segue o bandamento.

Figura 18 - Plagioclásio com contatos irregulares mostrando, normalmente, maclas bem formadas, com presença de sericitização; quartzo estirado no interstício dos cristais de plagioclásio.

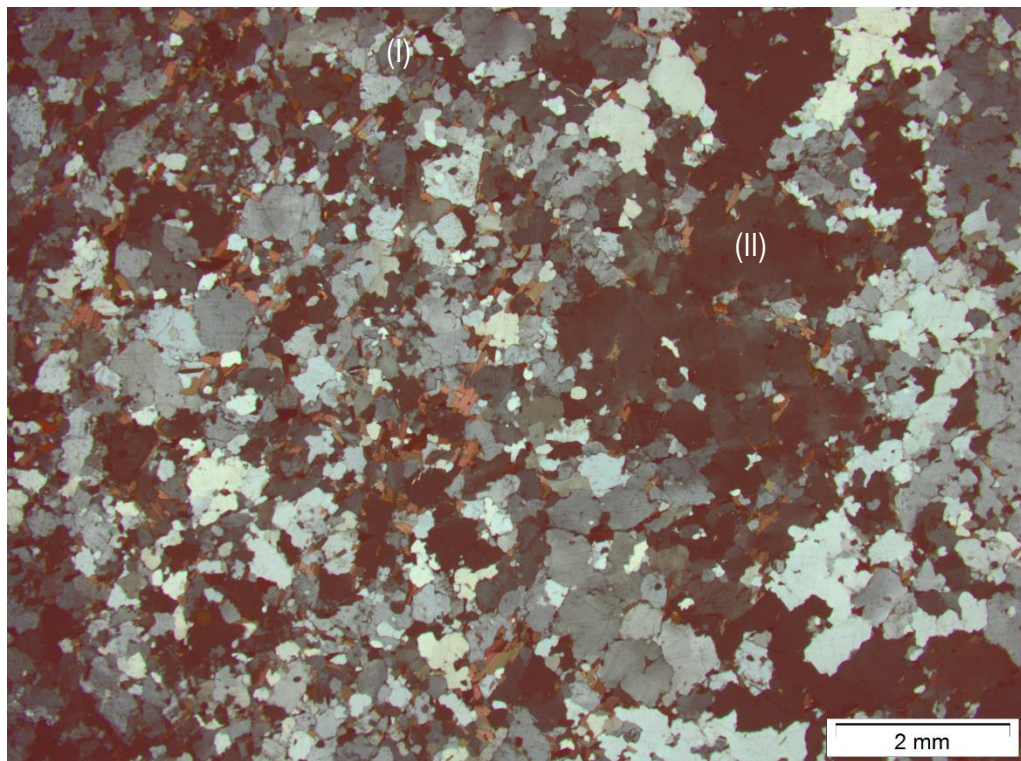


Fonte: própria autora.

EE-11A

A lâmina EE-11C (Figura 10) trata-se de um monzogranito alotriomórfico com bandamento grosseiro e irregular dado por variação do tamanho de grão (Figura 19), especialmente do quartzo, com bandas onde predomina uma textura fina (0,5 a 1 mm) e bandas com predominância de textura média (3 a 4 mm). Nas bandas mais finas pode ocorrer textura granoblástica poligonal.

Figura 19 - bandamento irregular dado pela variação no tamanho de grão. (I) bandas mais finas e (II) bandas com textura média e predominância de quartzo.



Fonte: própria autora.

O *quartzo* é anédrico, com contatos interlobados com outros minerais e, às vezes, parecendo ter grãos com reentrâncias nos cristais de quartzo. Aparece também preenchendo espaços. Na porção mais grossa possui até 5 mm, mostrando comumente subgrãos do tipo tabuleiro de xadrez bem desenvolvidos (Figura 20a). Na porção mais fina tem em média 0,5 mm e pode mostrar textura granoblástica interlobada. Também ocorre como inclusões arredondadas nos feldspatos, com aproximadamente 0,1 mm.

O *plagioclásio* é anédrico (0,4 – 0,8 mm). As maclas polissintéticas são normalmente bem formadas, com algumas ocorrências de maclas em cunha. Ocorrem inclusões de biotita e

quartzo arredondado. É comum a alteração para mica branca, principalmente na orientação das maclas.

O *k-feldspato* anédrico ocorre com tamanho variando entre 0,8 a 1,5mm, com raras maclas simples e comumente com mica branca. Na porção fina, ocorre microclínio (com até 1 mm), que geram uma aglomeração (Figura 20b). Pode apresentar pertitas muito finas (submilimétricas). Textura mirmequítica ocorre localizadamente. Ocorrem inclusões de biotita e quartzo arredondado. O contato com outros grãos é irregular, por vezes interlobado e mais raramente parece haver um contato difuso.

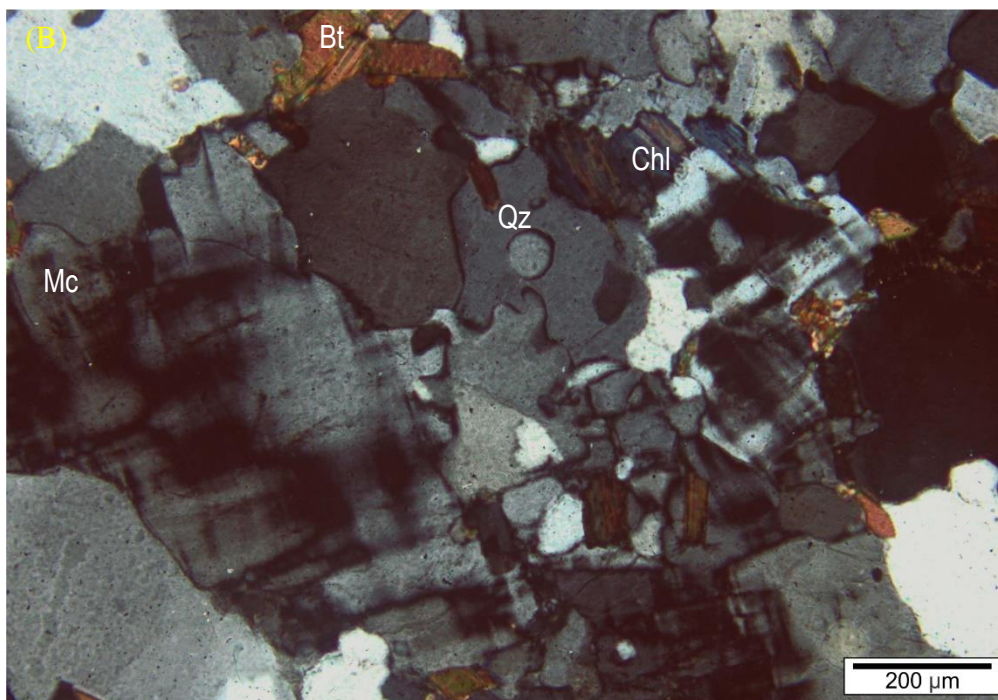
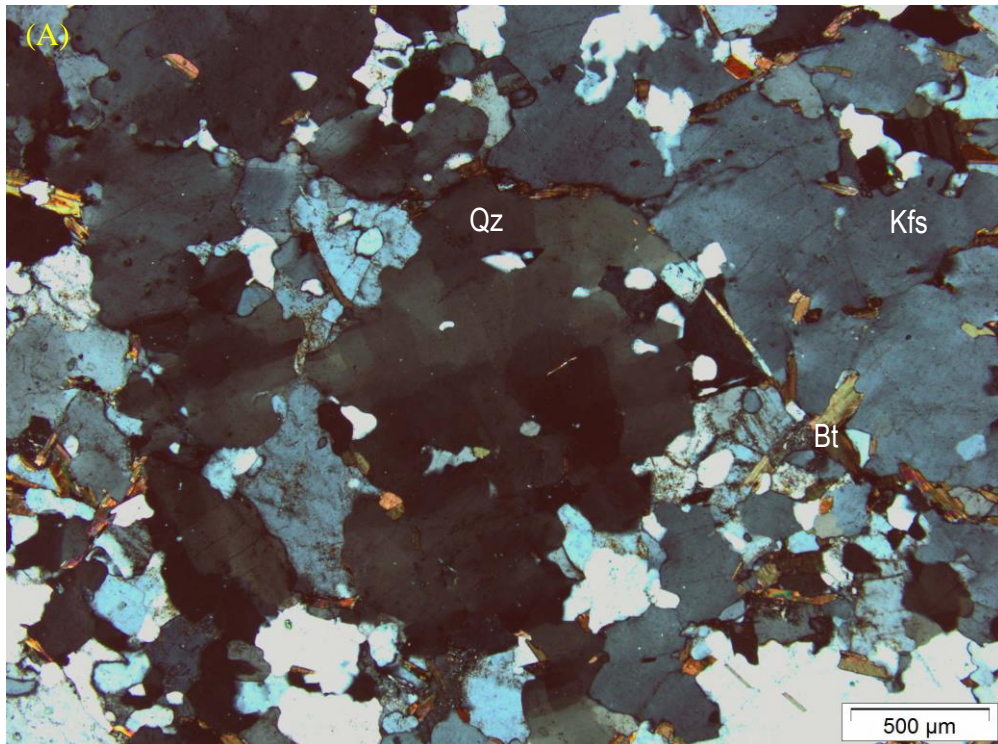
A *biotita* ocorre anédrica a subédrica, com tamanhos entre 0,2 e 1,2 mm. Raramente ocorrem pequenos cristais (0,1 mm) euédricos. Não há variação no tamanho de grão entre as diferentes bandas, porém a biotita concentra-se mais nas bandas finas. É comum a ocorrência em agregados com cor de máxima absorção castanho-avermelhado (Figura 21a), nos quais pode haver concentração de opacos entre as lamelas (Figura 21b). Apresenta contatos retos a irregulares com outros minerais. Raramente ocorre cloritização (Figura 20b).

Ocorrem grãos de *granada* em pedaços, com no máximo 0,45 mm, em especial nas bandas finas. Cristais de quartzo parecem estar englobando os grãos e biotitas verdes e muscovitas encontram-se preenchendo suas fraturas.

Mica branca ocorre anédrica, como alteração nos feldspatos. *Muscovita* ocorre em algumas porções da lâmina entre grãos de quartzo e feldspatos, além de ocorrer próximo às granadas.

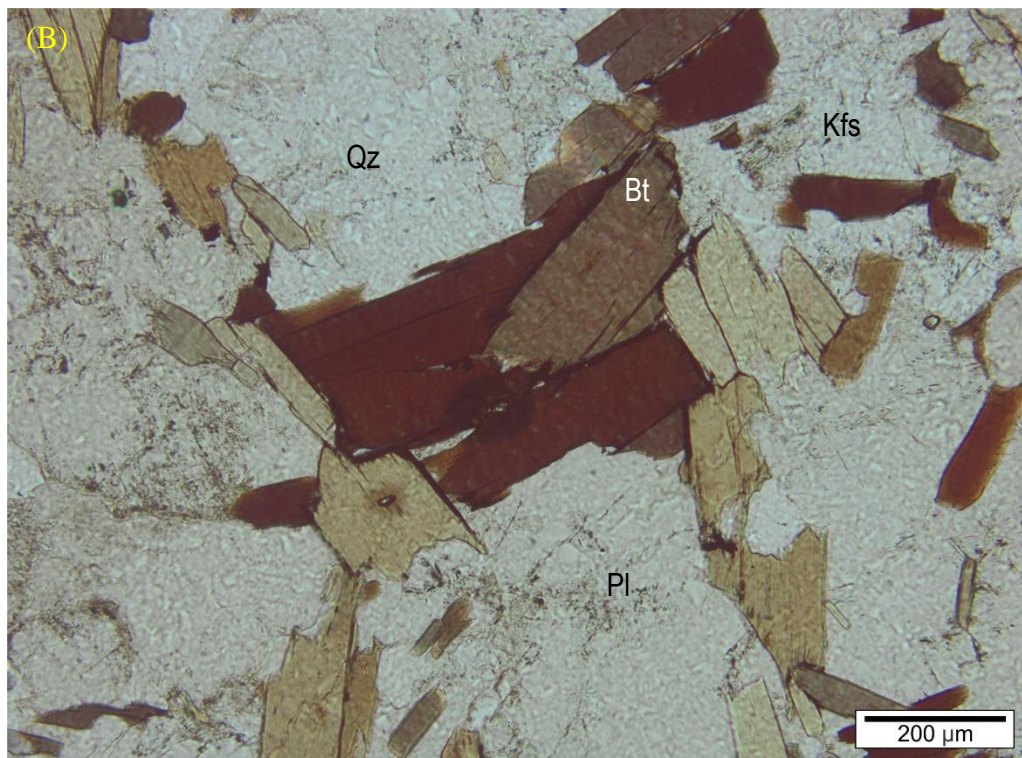
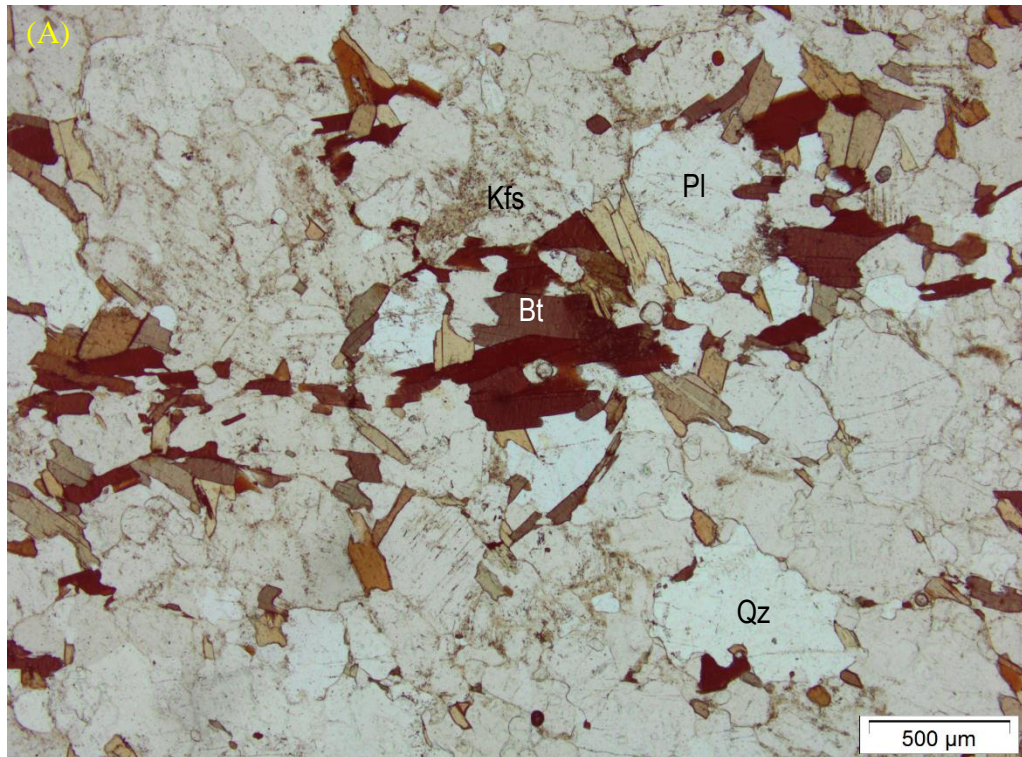
Zircão com até 0,12 mm inclusos em k-feldspatos (poderia ser monazita). Opacos ocorrem entre as lamelas de biotita e raramente sozinhos. Apatita é rara.

Figura 20 - (A) Quartzo anédrico com subgrãos do tipo tabuleiro de xadrez, inclusões arredondadas de quartzo em Pl, Qz e Kfs; (B) Agregado de microclínio com contatos interlobados.



Fonte: própria autora.

Figura 21 – (A) Biotita castanho avermelhada em agregados. Em (B) pode-se ver a presença de opacos entre as lamelas, caracterizando uma textura sazenítica.

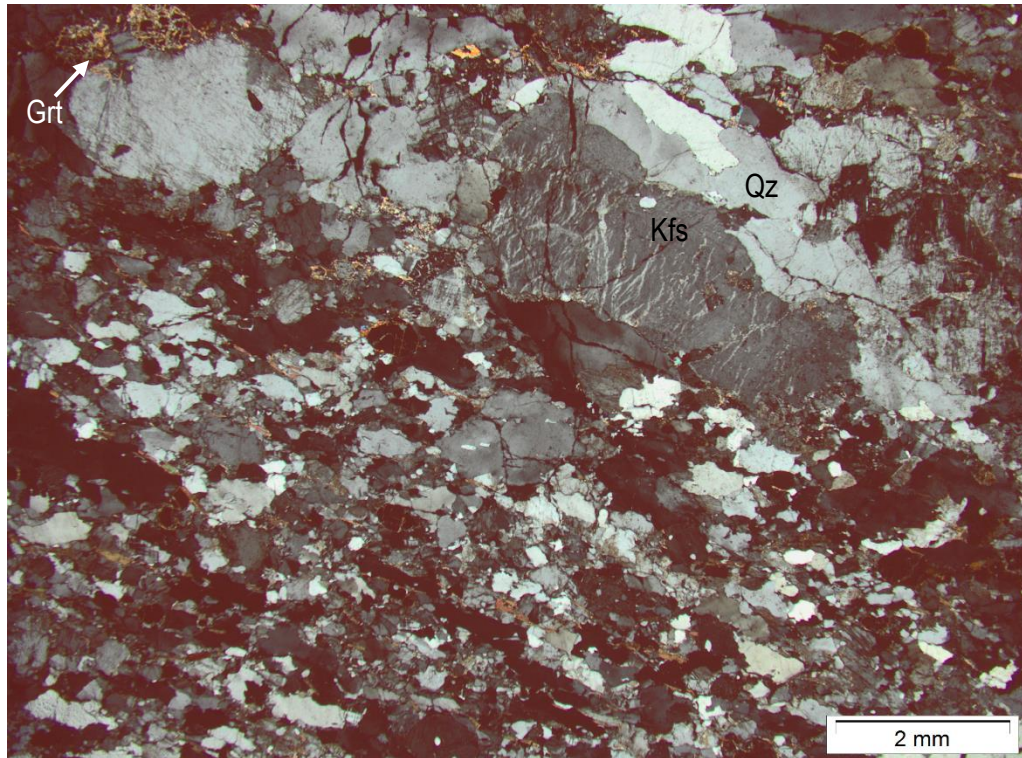


Fonte: própria autora.

EE-12C

Monzogranito alotriomórfico com textura inequigranular média, apresentando uma banda milimétrica com textura grossa (Figura 22).

Figura 22 - Banda com textura grossa mostrando quartzo e Kfs perítico estirados em contato irregular com banda mais fina, inequigranular. Máficos são raros.

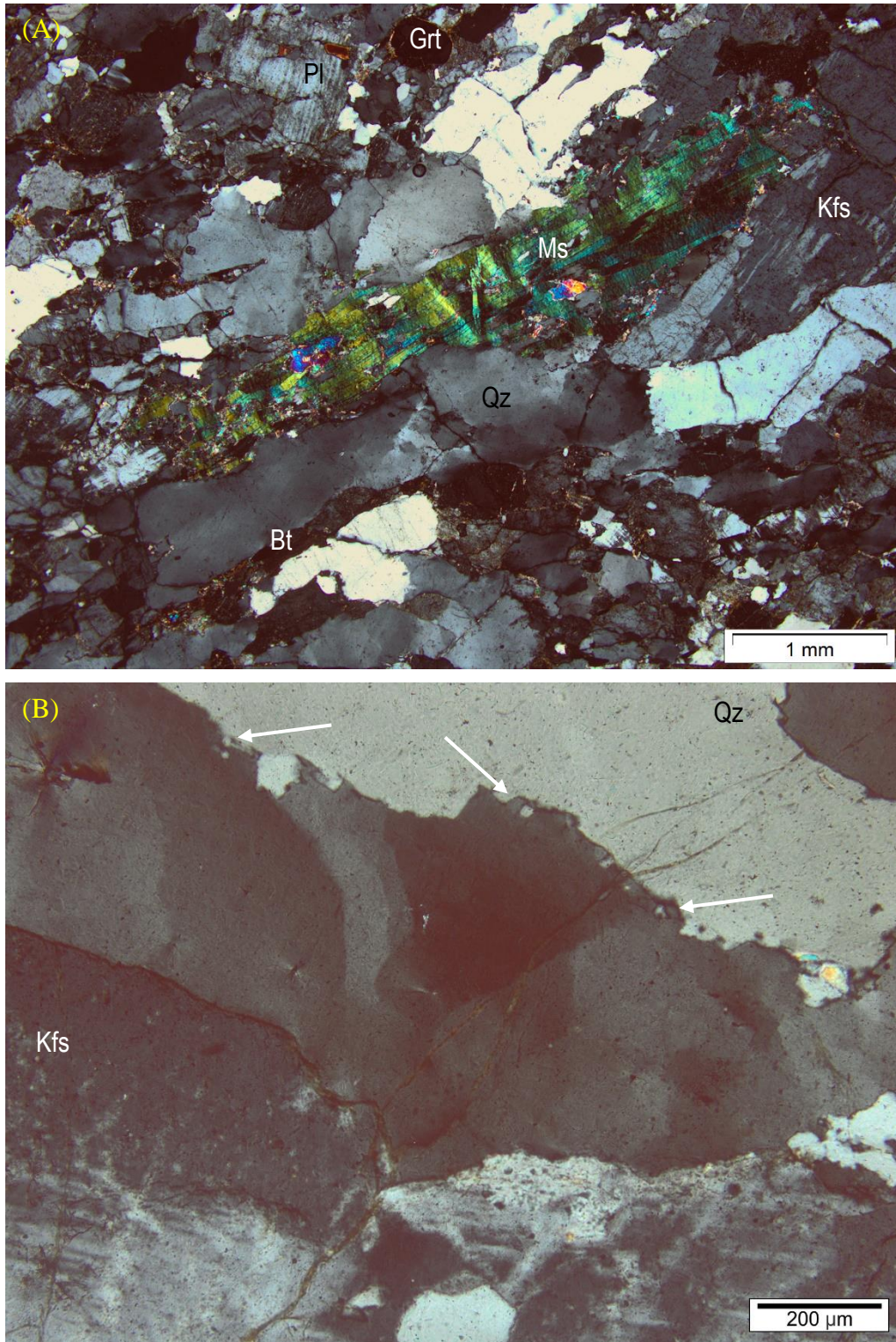


Fonte: própria autora.

O *quartzo* ocorre anédrico, sendo comumente estirado em uma direção preferencial (Figura 23a), esses com 1,4 mm em média. Na porção grossa pode chegar a 5,5 mm. Existem grãos menores (0,06 a 1 mm) intersticiais, arredondados ou formados pela recristalização. Apresenta extinção ondulante e subgrãos do tipo tabuleiro de xadrez. Possui contatos interlobados a irregulares. Raramente ocorre textura granoblástica interlobada, especialmente na porção mais fina. É comum a recristalização (Figura 23b) por migração de limite de subgrão e *bulging*.

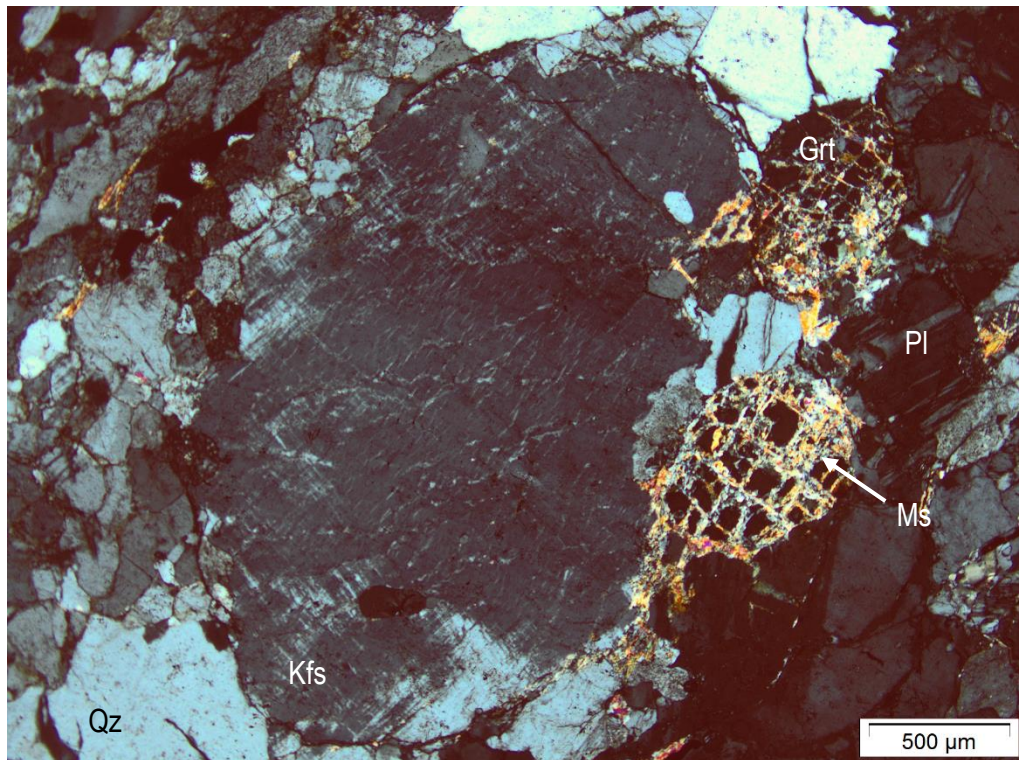
O *K-feldspato* é anédrico, comumente perítico (perthitas submilimétricas, podendo ocorrer perthitas em chama) e microclínio é comum. A banda mais grossa é rica em Kfs perítico (Figura 24), podendo esse chegar a 5mm, as porções finas da lâmina mostram tamanhos variando entre 0,8 e 1,2 mm. Podem ocorrer inclusões de quartzo.

Figura 23 - (A) Quartzo estirado na banda de textura grossa, com presença de uma muscovita (4mm) mostrando deformação. (B) Recristalização do quartzo por bulging e subgrãos.



Fonte: própria autora.

Figura 24 - K-feldspato perfitico na banda de granulometria mais grossa. Ao lado desse, granadas com fraturas preenchidas por muscovita



Fonte: própria autora.

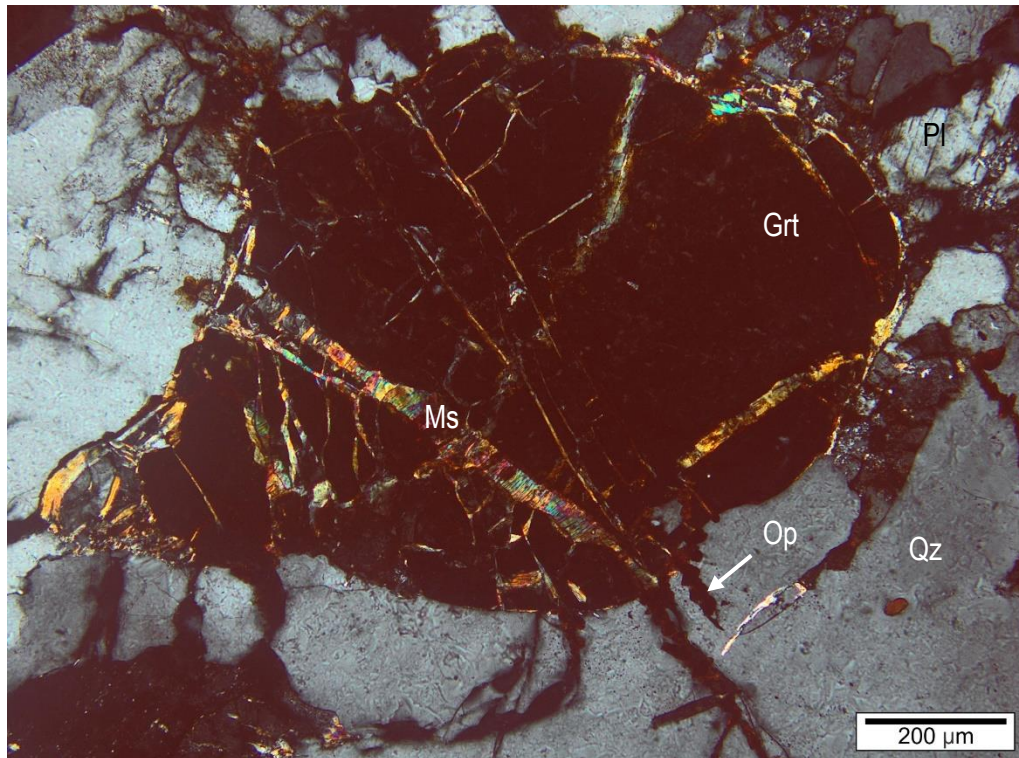
O *plagioclásio* é anédrico (1,2 a 2,4 mm) e apresenta contatos irregulares e/ou interlobados com outros minerais. Normalmente ocorre com maclas polissintéticas mal formadas. Quando essas estão presentes, normalmente ocorrerem como maclas de deformação. É comum a sericitização, em especial junto às maclas.

A *biotita* ocorre subédrica (0,1 a 1,2 mm), com tamanhos médios de 0,5mm, cor de máxima absorção castanha e seguindo a mesma orientação do quartzo. *Muscovita* ocorre anédrica, parece instável e possui ocorrência esparsa, porém sempre no entorno da granada. Também forma poucas auréolas nos feldspatos. Na banda de granulometria mais grossa ocorre uma muscovita com 4 mm, mostrando deformação com *kink-bands*, que engloba grãos de quartzo e muscovitas menores (Figura 23a).

A *granada* está relativamente mais preservada quando em comparação com as outras lâminas, mas ainda ocorre bastante fraturada, com tamanhos que variam de 0,5 a 1,1 mm. Está sempre com auréolas de muscovita e as fraturas são preenchidas por muscovita (Figura 25).

Zircão ocorre como traço, com até 3 mm, próximo à granada ou como inclusão no quartzo. *Epidoto* é raro e ocorre perto da granada. *Opacos* também ocorrem como traços, normalmente sozinhos, as vezes em forma de agulha, porém há ocorrência de um opaco avermelhado e hexagonal formando aglomerados em fraturas e próximo às granadas.

Figura 25 - Granada com fraturas preenchidas por muscovita e entorno rodeado por muscovita. Também ocorre um opaco avermelhado nas fraturas e no entorno.



Fonte: própria autora.

4.2 Análises geoquímicas

As análises geoquímicas foram obtidas para gnaisses e leucogranitos, totalizando 8 amostras analisadas (tabela 2). Entre elas, correlacionam-se paragnaisses com feições de migmatização, com um percentual médio de leucossoma de 20% (EE-10B – Bt-Crd gnaiss, EE-12A – Bt-Grt-Sil gnaiss, EE-15C – Bt-Grt gnaiss), e leucogranitos (EE-10D, EE-10E, EE-11C e EE-12C) presentes nos mesmos pontos e/ou pontos próximos uns aos outros, além de mais uma análise de uma porção com menor migmatização (EE-08B, ao lado do ponto EE-05 - figura 6). Além disso, os leucogranitos foram correlacionados com os dados estimados para o líquido gerado pela fusão parcial através do software *Perple_X* por Costa (2018), que considerou um sistema fechado, sem entrada de água, temperaturas entre 780-810°C e

pressões de 3,2 e 4,8 kbar. Esses valores foram recalculados para porcentagem em peso e desconsiderou-se o teor de H₂O. Os dados recalculados estão na Tabela 3.

Tabela 2 - Dados geoquímicos obtidos por FRX para as amostras selecionadas. Óxidos em peso% e elementos traços em ppm. LOI = perda ao fogo.

	GNAISSES				INJEÇÕES LEUCOGRANÍTICAS			
	EE-08B	EE-10B	EE-12A	EE-15C	EE-10D	EE-10E	EE-11C	EE-12C
SiO₂	68,17	63,14	70,09	62,91	69,52	75,97	70,80	76,87
TiO₂	0,80	1,05	0,85	1,05	0,37	0,14	0,79	0,22
Al₂O₃	14,74	15,35	13,73	16,10	15,06	13,90	13,77	12,22
FeO	5,24	6,82	5,60	6,45	2,67	0,90	3,92	2,06
MnO	0,09	0,05	0,12	0,25	0,05	0,01	0,07	0,06
MgO	1,55	4,14	1,82	2,40	1,08	0,33	1,34	0,06
CaO	1,19	1,84	1,04	0,87	4,29	3,04	1,70	1,18
Na₂O	1,94	1,06	1,83	1,96	3,12	2,99	2,80	2,40
K₂O	3,39	3,20	2,78	6,15	2,76	1,71	3,55	4,23
P₂O₅	0,08	0,42	0,12	0,05	0,12	0,04	0,06	0,07
LOI	2,15	1,99	1,32	0,96	0,58	0,88	0,76	0,52
Total	99,99	99,90	99,99	99,95	99,95	100,02	100,04	100,14
Ba	667,6	638,2	570,3	644,0	1733,5	1526,2	612,0	583,9
Sr	168,8	231,8	113,3	156,3	905,8	648,8	225,4	83,2
Y	61,4	47,3	46,9	43,7	12,6	5,2	48,6	32,9
Zr	211,8	231,8	251,5	224,9	250,4	208,8	223,3	169,1
Pb	20,9	16,3	21,3	35,1	27,1	29,4	32,9	28,5
Ni	26,0	68,0	22,4	36,3	9,8	16,7	18,6	ND
Cu	21,4	9,9	9,7	24,6	0,7	1,3	9,0	4,6
Zn	101,2	104,3	73,1	78,1	40,1	12,2	54,7	22,2
Rb	201,8	245,7	192,2	278,9	134,4	55,8	250,1	122,2
Nb	10,8	25,7	9,0	9,9	2,0	0,4	13,5	8,1
Cr	56,0	145,5	63,4	71,9	18,2	15,6	45,7	10,7

Fonte: própria autora.

Tabela 3 - Dados estimados para a fusão parcial obtidos por Costa (2018), recalculados para % em peso e sem H₂O para comparação com as análises químicas obtidas nesse trabalho.

peso%	EE-12A	EE-15C	PEP-4128C
SiO ₂	75,46	76,09	75,14
TiO ₂	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	14,54	13,26	14,35
FeO	0,68	1,30	1,08
MnO	0,00	0,00	0,00
MgO	0,07	0,18	0,14
CaO	0,23	0,25	0,43
Na ₂ O	3,31	2,99	2,53
K ₂ O	5,69	5,93	6,33
P ₂ O ₅	-	-	-
Total	100	100	100

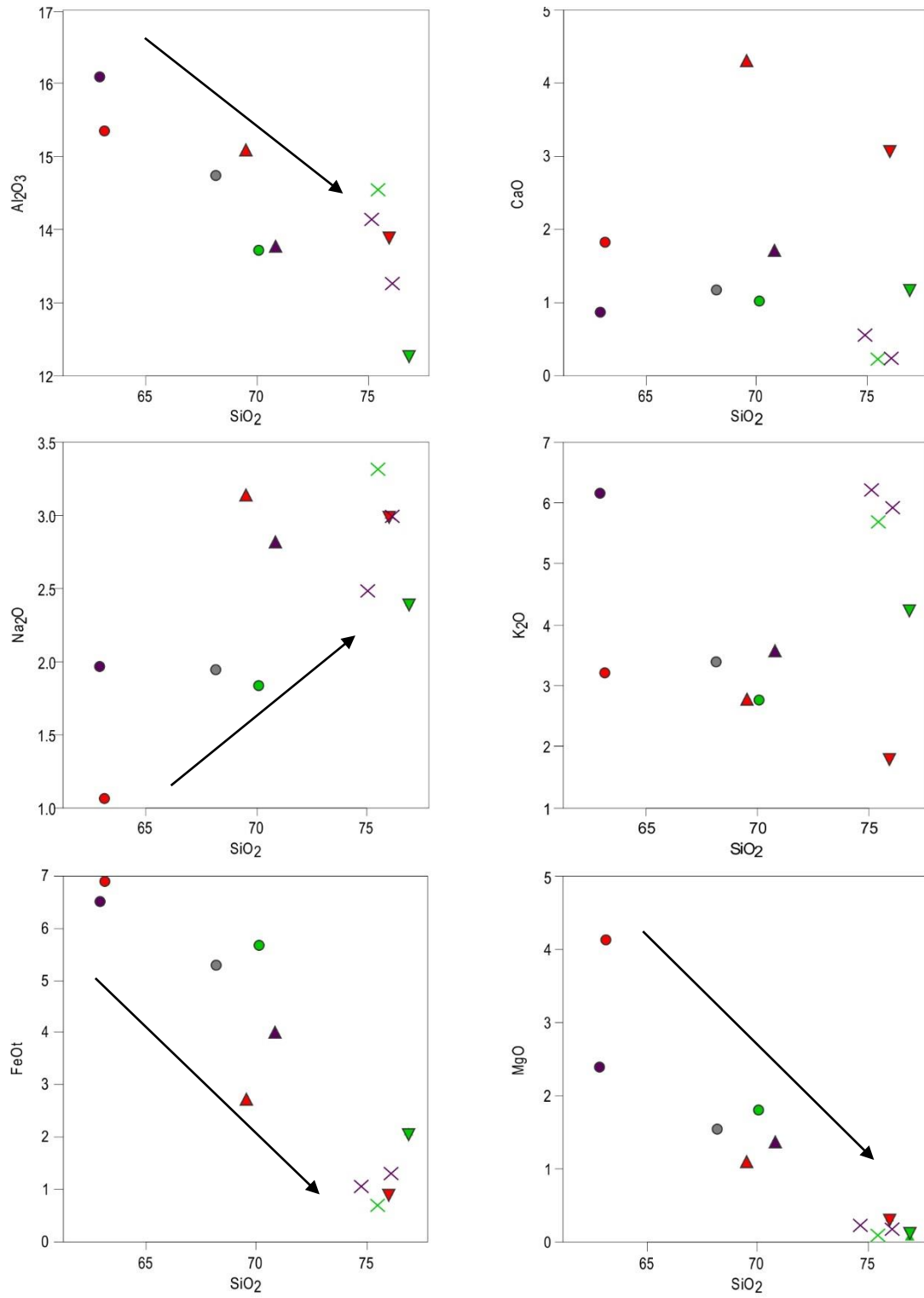
Fonte: própria autora.

As injeções leucograníticas mostram teores de SiO₂ entre 69,5 a 76,9% e Al₂O₃ com pouca variação (12,2 a 15%). O CaO tem valores baixos nas amostras EE-11C e EE-12C (1,2 a 1,7%) e relativamente mais alto nas amostras do ponto EE-10 (3 a 4,3%), o que se reflete em valores inversamente proporcionais de K₂O, mais alto para os primeiros (3,5 a 4,2%) e mais baixos para os últimos (1,7 a 2,7%). O Na₂O mostra menor variação (2,4 a 3,1%), mas pode-se dizer que é proporcional aos valores de CaO. MgO varia entre valores mínimos de 0,06% (EE-12C) até 1,34% (EE-11C). O FeO tem uma variação mais ampla da amostra EE-10E (0,09%) até a EE-11C (3,9%). TiO₂ varia de 0,14 a 0,79%. O P₂O₅ e o MnO são, em geral, baixos, com valores máximos de 0,12% e 0,07%, respectivamente.

Os gnaisses apresentam teores de SiO₂ entre 62,9 e 70,1%, enquanto o Al₂O₃ varia entre 13,7 e 16,1%. O CaO é baixo, não apresentando valores maiores que 1,84% (EE-10B), enquanto o K₂O pode chegar a 6,15% (EE-15C). Os valores de Na₂O se mantêm entre 1,06 e 1,96%, sendo relativamente proporcionais aos valores de K₂O. O MgO é mais baixo nas amostras EE-08B e EE-12A (1,55 e 1,82%), mas é elevado nas amostras EE-15C e EE-10B (2,40 e 4,14%, respectivamente). O FeO apresenta valores próximos para as amostras, entre 5,2 e 6,8%. TiO₂ tem pouca variação (0,8 a 1,05). O P₂O₅ é baixo, com exceção da amostra EE-10B, onde chega a 0,42%. O MnO é baixo (entre 0,05 e 0,25%).

As análises geoquímicas mostram a diferenciação dos leucogranitos em relação aos gnaisses, principalmente nas amostras EE-10E e EE-12C (Figuras 26 e 27).

Figura 26 - Gráficos de SiO₂ x elementos maiores, mostrando a variação composicional conforme ocorre a diferenciação. As setas indicam os *trends* composicionais. Valores em peso%.

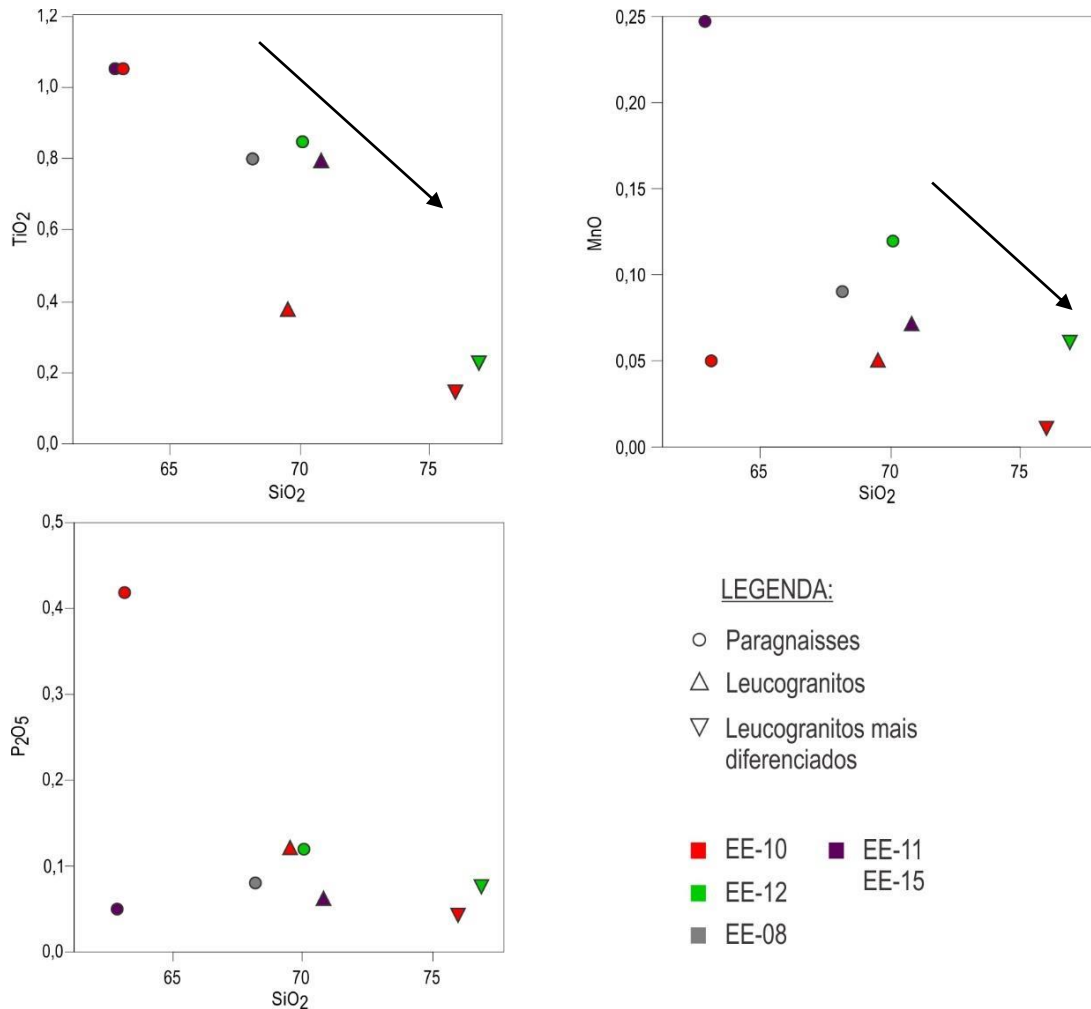


LEGENDA:

- | | | | |
|---------------------|------------------------------------|---------|-------------|
| ○ Paragneisses | △ Leucogranitos | ■ EE-10 | ■ EE-11 |
| × Estimativas fusão | ▽ Leucogranitos mais diferenciados | ■ EE-12 | ■ EE-15 |
| | | ■ EE-08 | ■ PEP-4128C |

Fonte: elaborado pela autora através do software GCDkit e editado no CorelDrawX6®.

Figura 27 - Gráficos de SiO₂ x elementos maiores, mostrando a variação composicional conforme ocorre a diferenciação. As setas indicam os *trends* composicionais. Valores em peso%.



Fonte: elaborado pela autora através do software GCDkit e editado no CorelDrawX6®.

O enriquecimento em SiO₂ é acompanhado do empobrecimento em TiO₂, Al₂O₃, MgO e FeO. Por outro lado, na medida que os teores de sílica aumentam, também cresce relativamente os teores de Na₂O e CaO. Os valores de K₂O não mostram uma tendência geral, sendo mais enriquecidos ou empobrecidos nesse elemento conforme ocorre a diferenciação (Figuras 26 e 27).

As amostras EE-10E e EE-12C são as que mostram maior diferenciação, com teores de SiO₂ maiores que 75%. Essas amostras são as mais próximas das estimativas do líquido gerado pela fusão quando se compara SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, MgO e FeO, porém mostram valores maiores de CaO e menores K₂O. A estimativa apresentou valores nulos para TiO₂ e MnO. Não há valores de P₂O₅ pois o software usado para a estimativa não utiliza esse óxido.

A análise dos elementos traços (Tabela 2 e Figura 28) mostrou alto Ba nos leucogranitos do ponto EE-10 (1526 a 1733 ppm), diferentemente daqueles dos pontos EE-11

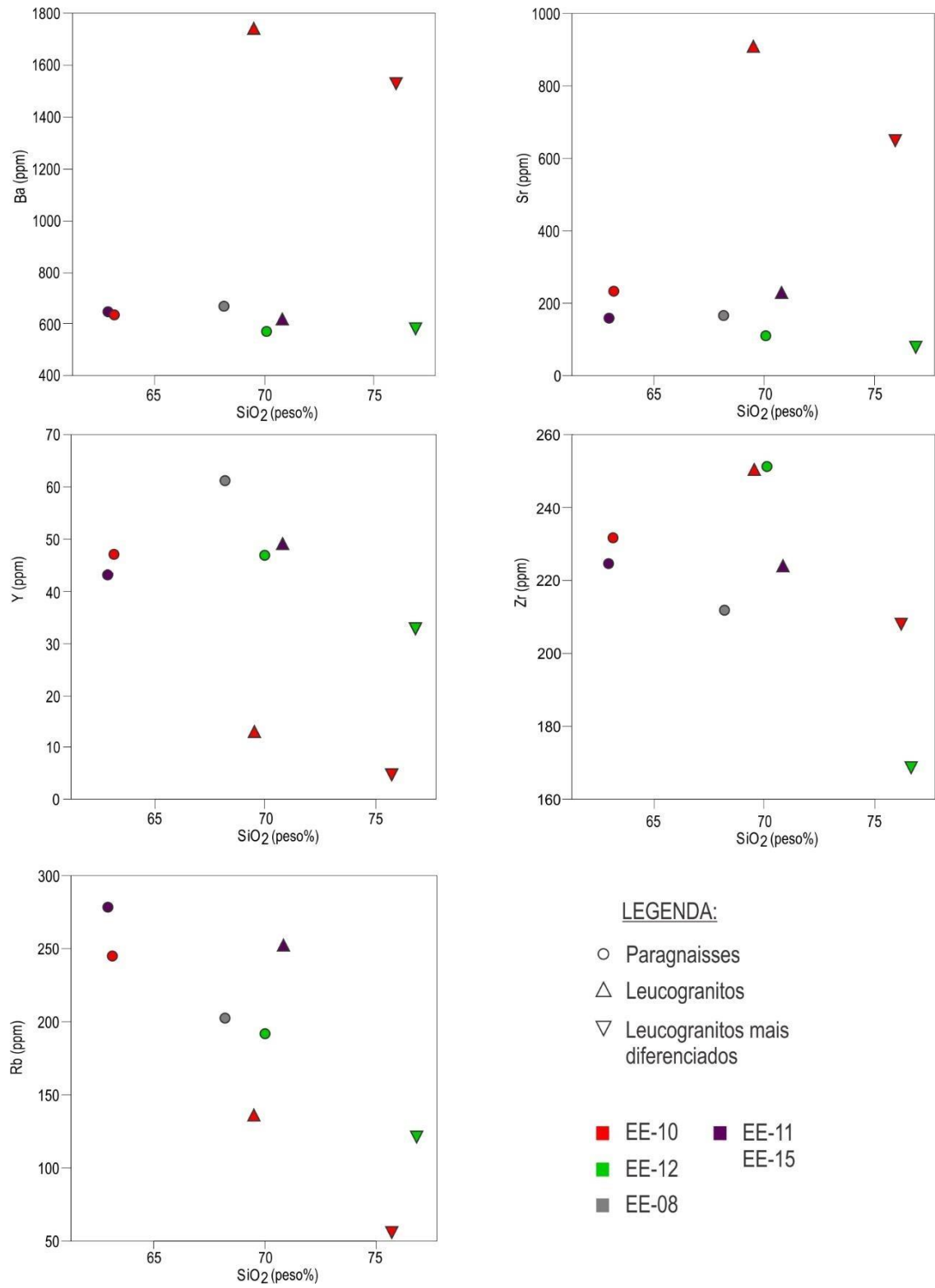
(612 ppm) e EE-12 (583 ppm), que mostram uma similaridade com os valores encontrados nos gnaisses (570 a 667 ppm). O Sr segue a mesma tendência, com valores elevados nas amostras leucograníticas EE-10D e EE-10E (905 e 648 ppm) e mais baixos nas outras duas (225 e 83 ppm), análogas aos gnaisses (113 a 231 ppm). Contrariamente, o Y apresentou valores baixos nas amostras EE-10 (12,6 e 5,2 ppm), valores intermediários para EE-12C (32,9 ppm) e valores elevados para os gnaisses (43 a 61 ppm) e para a amostra EE-11C (48 ppm).

O Zr não mostra um padrão com relação a gnaisses e leucogranitos, porém àqueles mais diferenciados são os que mostram valores levemente mais baixos. Os gráficos da Figura 28) mostram tendência de empobrecimento em Rb conforme a diferenciação ocorre, indo de 278 ppm nos gnaisses até 55 ppm nos leucogranitos, à exceção da amostra EE-11C, com valores mais elevados (250 ppm). Os valores de Ni variam de 9,8 a 68ppm, sendo mais alto nos gnaisses. O Cu apresenta teores baixos nos leucogranitos (de 0,7 a 9 ppm) e relativamente mais altos nos gnaisses (9,7 a 24,6 ppm). O Cr tem valores bem mais baixos para os leucogranitos (entre 10,7 e 45,7 ppm) quando comparados com os gnaisses (56,0 a 145,5 ppm).

O gráfico $A/CNK \times A/NK$ ($Al_2O_3/CaO+Na_2O+K_2O \times Al_2O_3/Na_2O+K_2O$) de Shand (1943) mostra que os leucogranitos são peraluminosos, com valores A/CNK entre 1,13 e 1,19, à exceção da amostra EE-10D, que é levemente metaluminosa (A/CNK igual a 0,95). As estimativas de fusão também se mostram peraluminosas, com A/CNK entre 1,12 e 1,22 (Figura 29).

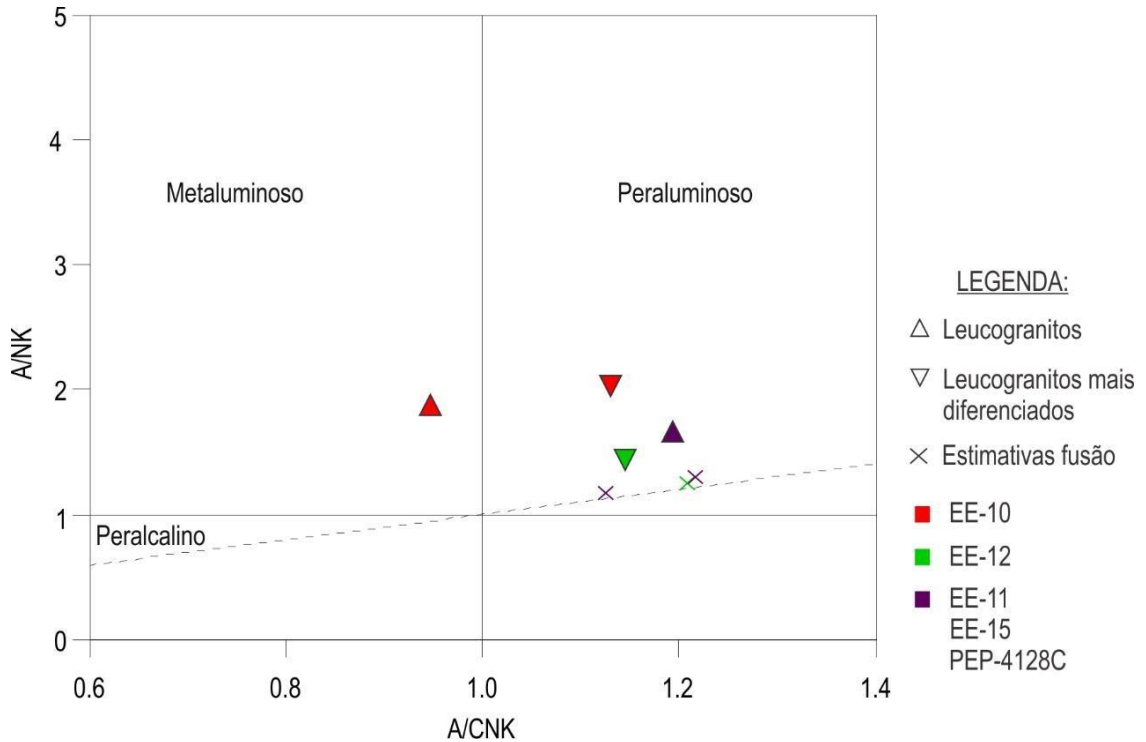
A mesonorma para granitos foi calculada para os leucogranitos e para as estimativas de fusão (tabela 4). O percentual de quartzo normativo varia de 30,9 a 45% nas amostras, ficando em torno de 35% nas estimativas de fusão. A albita mostrou valores semelhantes para ambas, variando entre 20 e 28%. O ortoclásio tem uma ampla diferença indo de 9% (EE-10E) até 24% (EE-12C), valores baixos em comparação com as estimativas de fusão (33 a 37%), diferentemente da quantidade de anortita normativa, que é baixa nas estimativas de fusão (1,1 a 2,1%) e alta nos leucogranitos (5,4 a 17%). A Bt não apresenta grande variação (0,3 a 1,3%), à exceção da amostra EE-11C que apresentou altos valores (5,35%). Ainda, há ocorrência de apatita e ilmenita normativa em todas as amostras. Coríndon normativo ocorre com teores maiores que 1% em todas as amostras e estimativas de fusão, exceto na EE-10D, única amostra com anfibólio normativo (4,6%).

Figura 28 - Gráficos de SiO₂ x elementos traços.



Fonte: elaborado pela autora através do software GCDkit e editado no CorelDrawX6®.

Figura 29 - Gráfico A/CNK x A/NK (SHAND, 1943), mostrando o caráter peraluminoso da maioria dos leucogranitos e das estimativas do líquido gerado pela fusão parcial dos gnaisses.



Fonte: elaborado pela autora através do software GCDkit e editado no CorelDrawX6®.

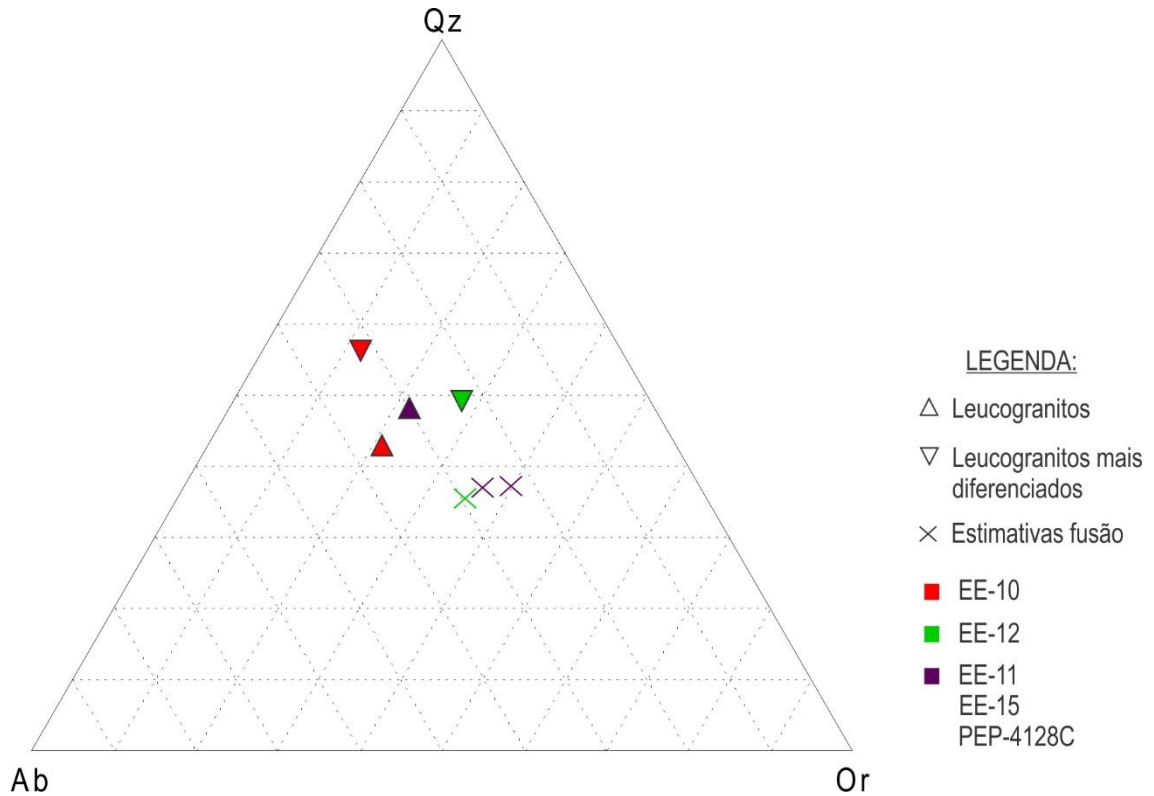
Tabela 4 - Mesonorma para granitos calculada no GCDkit para leucogranitos e estimativas do líquido gerado por fusão parcial. Cabe ressaltar que para os valores estimados não há P₂O₅, MnO, TiO₂ e traços.

	Leucogranitos				Estimativas de fusão		
	EE-10D	EE-10E	EE-11C	EE-12C	EE-12A	EE-15C	PEP-4128C
Qz	30,90	45,63	37,44	44,38	33,88	35,45	35,25
Ab	26,43	25,33	23,72	20,33	28,05	25,31	21,44
Or	15,66	9,25	17,35	24,67	33,48	34,62	37,09
An	17,34	14,82	8,04	5,38	1,16	1,26	2,12
Ap	0,28	0,09	0,14	0,17	0,00	0,00	0,00
Ilm	0,35	0,13	0,75	0,21	0,00	0,00	0,00
Bt	1,00	1,26	5,32	0,48	0,26	0,63	0,48
Amp	4,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Crn	0,00	1,68	2,37	1,72	2,51	1,47	2,56

Fonte: elaborado pela autora a partir dos dados geoquímicos.

/Com os valores obtidos na mesonorma, foi possível a geração do gráfico ternário Ab-Qz-Or (Figura 30). Nesse, pode-se ver que os valores estimados da fusão parcial são relativamente próximos àqueles dos leucogranitos.

Figura 30 - Gráfico ternário Ab-Qz-Or, confeccionado a partir dos dados obtidos da mesonorma para granitos, mostrando proximidade entre os leucogranitos e as estimativas do líquido gerado pela fusão parcial



Fonte: elaborado pela autora através do software GCDkit e editado no CorelDrawX6®.

5 DISCUSSÃO

A geração de granitoides peraluminosos, denominados granitos tipo-S, é comumente atribuída à fusão parcial de paragneisses. As altas taxas de fusão parcial são comumente encontradas associadas a cinturões orogênicos (BARBARIN, 1999; PATIÑO DOUCE, 1999; CHAPPELL; WHITE, 2001). Nesse contexto, o estudo dos migmatitos é importante para remontar a história de antigos cinturões. A presença de texturas relacionadas a fusão parcial e estruturas sindeformacionais, em escalas macro- ou microscópica, auxiliam na correlação, em um primeiro momento, para a origem de leucossomas. Feições de desidratação e bolsões quartzo-feldspáticos em meio às rochas gnáissicas podem ser evidências da ocorrência de fusão parcial (BROWN, 2001). O líquido gerado pode apenas segregar, formando leucossoma *in situ*, ou migrar dentro da própria camada de rochas (leucossoma *in source*). Quando ocorre a migração para fora da camada original gera-se um veio leucocrático, e, assim, podemos formar corpos leucograníticos discordantes e de maior escala (SAWYER, 2008). Para que ocorra a formação de corpos graníticos é importante a separação física de volumes consideráveis de uma fração fundida. Essa segregação pode ocorrer, por exemplo, com a movimentação apenas da fração líquida, com leucossomas contendo poucos cristais residuais, ou pode ocorrer a movimentação do líquido gerado juntamente com o melanossoma (SAWYER, 1996).

Nesse contexto, os paragneisses do CVC apresentam feições relacionadas à fusão em escala macroscópica, entre elas, as injeções quartzo-feldspáticas milimétricas, gerando um bandamento composto nos gnaisses, com contatos interdigitados entre eles, muitas vezes sem continuidade das injeções (Figura 7), sugerindo a presença de bolsões de fusão (*melt pockets e melt pools*). Além disso, injeções de escala centimétrica a decimétrica, mostram a mesma deformação, indicando sintectonismo (Figuras 8, 9 e 10). Assim sendo, entende-se que os gnaisses estão migmatizados, gerando um leucossoma *in situ* e, possivelmente, ao segregar mais fusão, geram-se veios leucocráticos, aqui analisados como os leucogranitos.

As feições de fusão vistas em campo podem ser confirmadas através de lâminas petrográficas dos gnaisses (Figura 13). O leucossoma *in situ* desses gnaisses migmatíticos, contendo quartzo com teores variáveis de plagioclásio e/ou K-feldspato, apresenta conteúdo mineral e texturas semelhantes àquelas das injeções leucograníticas, o que aumenta a

possibilidade de que a origem dessas injeções seja a fusão dos gnaisses. Assemelham-se tamanho de grão, Kfs pertíticos, quartzo estirado e com subgrãos do tipo tabuleiro de xadrez.

As variações no conteúdo mineralógico dos leucossomas pode refletir a variedade dos paragnaisses presentes na região, conforme mostra Johannes (1988). Apesar de todas as injeções leucograníticas serem classificadas como monzogranitos, também há alguma variação no seu conteúdo mineralógico (Tabelas 1 e 4).

Em lâminas nas quais se vê a interface melanossoma/leucossoma, há ocorrência de granadas instáveis (Figura 12). Granadas semelhantes também podem ser encontradas nas injeções (Figura 16b). Essas podem ser interpretadas como granadas peritéticas ou xenocristais nos leucogranitos. O desequilíbrio desse mineral, com substituição por biotita verde e muscovita, empobrecendo em Fe, dá maiores indícios de que essa granada se trata de um xenocristal, carregado pelo magma e em desequilíbrio com ele. Essas granadas já haviam sido relatadas por Gross et al., (2006), que indicou que elas seriam originárias de uma reação de desidratação ($Bt + Sil + Qz = Grt + Crd + Kfs + Liq$). As inclusões de quartzo podem indicar a reação da $Grt + Liq$, formando Bt, Ms, sobrando sílica para formar Qz.

Além da presença da granada como xenocristal, a textura poligonal e interlobada localizada também pode contribuir com a correlação dos leucogranitos com os gnaisses, sendo interpretada como uma feição metamórfica reliquiar nos leucogranitos, ou seja, resquícios gnáissicos dentro das injeções. Amostras com uma maior quantidade dessa textura (EE-11C) podem ser interpretadas como sendo, em parte, um neossoma não segregado. Chappell e White (2001) relatam que xenólitos de rochas metassedimentares e xenocristais de granadas, aluminossilicatos e cordierita em granitos do tipo-S são comuns.

Inclusões de biotita no plagioclásio (EE-10D) sugerem um magma rico em água, com temperaturas altas. Kfs pertíticos com subgrãos, ocorrendo lado a lado com quartzo estirado, plagioclásio com maclas em cunha, recristalização e *kink-bands*, indicam que essas amostras sofreram deformação. Pertitas com coroas trocadas ocorrendo nos limites de subgrãos mostram uma feição ígnea truncando uma feição deformacional, sendo indício de sintectonismo. Reações secundárias ocorrem no plagioclásio e na biotita gerando epidoto e clorita, respectivamente.

A petrografia sugere a ocorrência da desidratação da biotita, conforme anteriormente sugerido por Gross et al. (2006) e Bom et al. (2014). Esses autores sugerem que a fusão parcial teria origem nas altas temperaturas. Os novos dados mostram a exumação do CVC

durante o metamorfismo (COSTA, 2018) e, assim, sugere-se que a fusão parcial pode ter um papel importante nesse contexto (BROWN, 2001). A avaliação do conteúdo mineralógico e das reações de fusão nas lâminas é compatível com a reação resumida proposta por Breton e Thompson (1988): $Grt + Als + Kfs + Pl + Qz + H_2O = Bt + Liq$.

Os dados de elementos maiores mostram a diferenciação (aumento de SiO_2) das injeções em relação aos gnaisses. Duas amostras (EE-10E e EE-12C) estão próximas aos valores estimados por Costa (2018) para o líquido gerado pela fusão parcial dos paragneisses. Apesar disso, valores anômalos de CaO e K_2O ocorrem em todas as análises, sendo esses os mais discrepantes em relação a fusão estimada. Os valores de K_2O poderiam ser explicados pela variação na paragénese dos paragneisses analisados, que podem conter teores variados de biotita. Os valores mais altos de CaO em relação aos gnaisses e a estimativa de fusão não poderia ser explicada por nada além de contaminação por outros "materiais", visto que as amostras de gnaiss não apresentam conteúdo suficiente para suprir esse CaO. A presença de rochas calcissilicáticas na região (GROSS et al., 2006) poderiam ser a origem dessa contaminação.

Os resquícios gnáissicos nas injeções (texturas granoblásticas reliquiares) são coerentes com os teores de SiO_2 e MgO na amostra EE-11C, que possui maior conteúdo dessa textura. Nessas, o teor de SiO_2 é relativamente menor enquanto MgO é maior em comparação às outras amostras. TiO_2 e MgO são elementos compatíveis que, ao mostrar um *trend* retilíneo nos diagramas Harker, indicam mistura com fragmentos deslocando-se na direção do protólito com o aumento de seus teores.

A análise dos elementos traços reflete o efeito da contaminação de CaO, sendo proporcional ao aumento de Sr e Ba. O Rb é relativamente elevado, sendo compatível com os valores de K_2O . O Nb apresenta valores menores que 10ppm, sendo condizentes àqueles valores encontrados para granitos de fusão crustal. O Zr é relativamente alto e é atribuído à herança dos zircões presentes nos leucogranitos. O Y é alto para granitos de fusão crustal, porém pode ser explicado pela presença de xenocristais de granada, que concentram esse elemento, sendo maior nas amostras EE-11C (considerada em parte como neossoma não segregado) e EE-12C (onde ocorre a maior quantidade de cristais de granada).

O caráter peraluminoso da maioria das amostras, com $A/CNK > 1.1$, teores relativamente baixos de Na_2O , altos teores de SiO_2 e coríndon normativo indica que os leucogranitos são do tipo-S, ou seja, gerados pela fusão crustal de rochas metassedimentares

(CHAPPELL; WHITE, 2001). O caráter fracamente metaluminoso da amostra EE-10D pode indicar contaminação com fusão de outros tipos de rochas.

A migração da fusão, conforme descrita por Vanderhaeghe (1999) é facilitada por locais de fraqueza das rochas, como planos de foliação e diques, assim a distribuição de leucogranitos oriundos da fusão parcial, através de sua migração e acumulação, é um fator direto da deformação. O autor mostra que a ativação de zonas de cisalhamento é um mecanismo eficiente para a migração da fusão. Dessa forma, tendo em vista a presença apenas da deformação D_1 na área de estudo, com D_2 , relacionada à transcorrência, extremamente incipiente, sugere-se que a migração da fusão na região não foi tão eficiente quando em outras áreas do CVC descritas anteriormente como geradoras de corpos leucograníticos de maior escala (PHILIPP et al., 2013; BOM et al., 2014). A presença de grande volume de fusão acumulado em áreas próximas também é um indicativo de que a fusão tenha migrado menos nessa região.

6 CONCLUSÕES

Através do trabalho de campo e da caracterização petrográfica, geoquímica e estrutural dos leucogranitos e suas encaixantes, pode-se concluir que:

I. Dentre os afloramentos visitados na região de Encruzilhada do Sul não ocorrem ortognaisses, conforme descrito anteriormente.

II. Os leucogranitos, de composição majoritariamente monzogranítica, apresentam mineralogia compatível com a fusão dos paragnaisses pelíticos, mostrando boa correlação com os leucossomas gerados pela migmatização dos mesmos;

III. O caráter peraluminoso e a composição química dada pelos elementos maiores e elementos traços é compatível com a fusão crustal e permite classificá-los como granitos do tipo-S.

IV. A variabilidade geoquímica dos leucogranitos pode ser atribuída à variação composicional dos protólitos.

V. A presença de altos valores de CaO nessas rochas pode ser atribuído a contaminação por rochas calcissilicáticas presentes no CVC.

VI. O grande volume de fusão e injeções leucograníticas encontradas na área de Encruzilhada do Sul e a ocorrência incipiente da deformação relacionada a transcorrência (D_2) pode indicar que a migração da fusão não foi tão eficiente quanto em comparação com áreas adjacentes do CVC nas quais a deformação D_2 é comum.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y; BRITO NEVES, B. D.; FUCK, R. A. Províncias estruturais brasileiras. **Simpósio de Geologia do Nordeste**, v. 8, n., p. 363-391, 1977.

ALMEIDA, F. F. M.; DE BRITO NEVES, B. B.; CARNEIRO, C. D. R. The origin and evolution of the South American Platform. **Earth-Science Reviews**, v. 50, n.1, p. 77-111, 2000.

BARBARIN, Bernard. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. **Lithos**, v. 46, n. 3, p. 605-626, 1999.

BITENCOURT, M. F.; NARDI, L. V. S. Tectonic setting and sources of magmatism related to the Southern Brazilian Shear Belt. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 186-189, 2000.

BOM, F. M. **Significado tectônico do Complexo Várzea do Capivarita, Cinturão Dom Feliciano, Encruzilhada do Sul–RS**. 2014. 95 f. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

BOM, F. M.; PHILIPP, R. P.; ZVIRTES, G. Evolução metamórfica e estrutural do Complexo Várzea do Capivarita, Cinturão Dom Feliciano, Encruzilhada do Sul, RS. **Pesquisas em Geociências**, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, v. 41, n. 2, p. 131-153. 2014.

BRETON, N.; THOMPSON, A. B. Fluid-absent (dehydration) melting of biotite in metapelites in the early stages of crustal anatexis. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 99, n. 2, p. 226-237, 1988.

BROWN, M. Orogeny, migmatites and leucogranites: a review. **Journal of Earth System Science**, v. 110, n. 4, p. 313-336, 2001.

CHAPPELL, B. W.; WHITE, A. J. R. Two contrasting granite types: 25 years later. **Australian Journal of Earth Sciences**, v. 48, n. 4, p. 489-499, 2001.

COSTA, E. O. **Geotermobarometria e estruturas dos paragneisses pelíticos do Complexo Várzea do Capivarita na região de Encruzilhada do Sul, RS.** 2018. 85 f. Monografia de Conclusão de Curso. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

DE TONI, G. B. **Análise da deformação dos sienitos sintectônicos do Complexo Várzea do Capivarita.** 2012. 79 f. Monografia de Conclusão de Curso. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

DE TONI, G. B. **Mirmequitização penetrativa e a partição da deformação em sienitos sintectônicos: cristalização-deformação do Sienito Arroio das Palmas sob condições de fácies granulito em regime transpressivo.** 2015. 60 f. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

DE TONI, G. B. **Relações espaço-tempo e o registro geológico em ambientes transpressivos.** 2016. 97 f. Qualificação de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

FERNANDES, L. A. D.; TOMMASI, A.; PORCHER, C. C.; MARQUES-TOIGO, M.; GUERRA-SOMMER, M.; PICCOLI, A. E. M. Mapa Geológico de parte das Folhas Quitéria (SH-22-Y-B-I-4) e Várzea do Capivarita (SH-22-Y-B-I-3), RS. **Série Mapas**, Instituto de Geociências, UFRGS. Porto Alegre, 1 vol., 1 mapa preto e branco, escala 1:50.000. 14, 1988.

FERNANDES, L. A. D.; TOMMASI, A.; PORCHER, C. C. Deformation patterns in the southern Brazilian branch of the Dom Feliciano Belt: a reappraisal. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 5, n. 1, p. 77-96, 1992.

FERNANDES, L. A. D.; TOMMASI, A.; VAUCHEZ, A.; PORCHER, C. C.; MENEGAT, R.; KOESTER, E. Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu: caracterização e importância na compartimentação tectônica do Cinturão Dom Feliciano. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 23, n. 3, p. 224-233, 1993.

FERNANDES, L. A. D.; MENEGAT, R.; COSTA, A. F. U.; KOESTER, E.; PORCHER, C. C.; TOMMASI, A.; KRAEMER, G.; RAMGRAB, G. B.; CAMOZZATO, E. Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: parte 1 - uma contribuição a partir do registro geológico. **Revista Brasileira de Geociências**, 25(4), 351-374, 1995.

FRAGOSO CESAR, A. R. S.; FIGUEIREDO, M. C. H.; SOLIANO JR., E.; FACCINI, U. F. O Batólito Pelotas (Proterozóico Superior/Eo-Paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Geologia. 1986. Goiânia. **Anais...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Geologia, p. 1322-1342, 1986.

FRAGOSO CESAR, A. R. S. **Tectônica de placas no ciclo brasileiro: as orogenias dos cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul.** 1991. 367 f. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

FRANTZ, J. C., LIMA, E. F., MACHADO, R. P., & NAUMANN, M. Contribuição à geologia de Encruzilhada do Sul-RS. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, v.33, p. 2407-2416, 1984.

GREGORY, T.R.; BITENCOURT, M.F.; NARDI, L.V.S.; FLORISBAL, L.M.; CHEMALEJR., F. Geochronological data from TTG-type rock associations of the Arroio dos Ratos Complex and implications for crustal evolution of southernmost Brazil in Paleoproterozoic times. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 57, p. 49-60, 2015.

GROSS, A. O. M. S.; PORCHER, C. C.; FERNANDES, L. A. D.; KOESTER, E. Neoproterozoic low-pressure/high-temperature collisional metamorphic evolution in the Varzea do Capivarita Metamorphic Suite, SE Brazil: thermobarometric and Sm/Nd evidence. **Precambrian Research**, v. 147, n. 1, p. 41-64, 2006.

GRUBER, L. **Geologia isotópica e geocronologia do complexo metamórfico porongos e suíte metamórfica várzea do capivarita, Cinturão Dom Feliciano, Sul do Brasil: implicações para a evolução do Gondwana em sua margem ocidental.** 2016. 167f. Tese de doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2016.

HARTMANN, L. A.; LOPES, W. R.; SAVIAN, J. F. Integrated evaluation of the geology, aerogammaspectrometry and aeromagnetometry of the Sul-Riograndense Shield, southernmost Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 88, n. 1, p. 75-92, 2016.

HARTMANN, L. A.; PORCHER, C. C.; REMUS, M. V. D. Evolução das rochas metamórficas do Rio Grande do Sul. In: HOLZ, M.; DE ROS, L.F. (Orgs). **Geologia do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, CIGO/UFRGS, p. 13-52, 2000.

HASENACK, H.; WEBER, E. **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD). Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A. C., CAMPOS NETO, M. D. C., SILVA, L. D., TROUW, R. A. J., JANASI, V. D. A. **Província Mantiqueira. Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, São Paulo: Beca, p. 203-235, 2004.

JENKINS, R. X-ray fluorescence spectrometry. **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**, Wiley Online Library, 1999.

JOHANNES, W. What controls partial melting in migmatites? **Journal of Metamorphic Geology**, v. 6, n. 4, p. 451-465, 1988.

JOST, H.; HARTMANN, L. A. Província Mantiqueira-Setor Meridional. **O Pre-Cambriano do Brasil**, p. 345-68, 1984.

KLEIN, C. & DUTROW, B. **Manual de ciência dos minerais**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

KOESTER, E.; CHEMALE JR, F; PORCHER, C. C.; BERTOTTI, A. L.; FERNANDES L.A. D. U-Pb Ages of granitoids from Eastern Sul-riograndense Shield. In: VI South American Symposium on Isotope Geology. 2008. San Carlos de Bariloche, Argentina. **Anais...** San Carlos de Bariloche: p. 95. 2008.

LEITE, J. A. D.; HARTMANN, L. A.; FERNANDES, L. A. D.; MCNAUGHTON, N. J.; SOLIANI JR, E.; KOESTER, E.; SANTOS, J. O. S.; VASCONCELLOS, M. A. Z. Zircon U-Pb SHRIMP dating of gneissic basement of the Dom Feliciano Belt, southernmost Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 13, n. 8, p. 739-750, 2000.

MARTIL, M. M. D. **Relações de intrusão do Maciço Sienítico Piquiri, RS com suas Encaixantes**. 2007. 71 p. Monografia de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

MARTIL, M. M. D. **Caracterização Estrutural e Petrológica do Magmatismo Pré-Colisional do Escudo Sul-Rio-Grandense: Os Ortognaisses do Complexo Metamórfico Várzea do Capivarita**. 2010. 50 f. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MARTIL, M. M. D. **O magmatismo de Arco Continental Pré-Colisional (790 Ma) e a reconstituição espaço-temporal do regime transpressivo (650 Ma) no Complexo Várzea do Capivarita, Sul da Província Mantiqueira.** 2016. 167 f. Tese de doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2016.

MARTIL, M. M. D.; BITENCOURT, M. F.; NARDI, L. V. S. Caracterização estrutural e petrológica do magmatismo pré-colisional do Escudo Sul-rio-grandense: os ortognaisses do Complexo Metamórfico Várzea do Capivarita. **Pesquisas em Geociências**, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, v. 38, n. 2, p. 181-201, 2011.

MARTIL, M. M. D.; BITENCOURT, M. F.; NARDI, L. V. S.; KOESTER, E.; PIMENTEL, M. M. Pre-collisional, Tonian (ca. 790 Ma) continental arc magmatism in southern Mantiqueira Province, Brazil: Geochemical and isotopic constraints from the Várzea do Capivarita Complex. **Lithos**, v. 274, p. 39-52, 2017.

OYHANTÇABAL, P., SIEGISMUND, S., WEMMER, K. The Río de la Plata Craton: a review of units, boundaries, ages and isotopic signature. **International Journal of Earth Sciences**, v. 100, n. 2-3, p. 201-220, 2011.

PASSCHIER, C. W.; TROUW, R. A. J. **Microtectonics**. Springer Science & Business Media, 2005.

PATIÑO DOUCE, A. E. What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas? Geological Society, London, **Special Publications**, v. 168, n. 1, p. 55-75, 1999.

PHILIPP, R. P.; MASSONNE, H. J.; CAMPOS, R. S. Peraluminous leucogranites of the Cordilheira Suite: A record of Neoproterozoic collision and the generation of the Pelotas Batholith, Dom Feliciano Belt, Southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 43, p. 8-24, 2013.

PHILIPP, R. P.; PIMENTEL, M. M.; CHEMALE JR, F. Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology. **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, p. 83-104, 2016.

PICADA, R. S. Ensaio sobre a tectônica do Escudo Sul-Rio-Grandense. Caracterização dos sistemas de falhas. In: XXV Congresso Brasileiro de Geologia, 1971. **Anais...** v. 25, p. 167-191, 1971.

POTTS, P.J.; WEBB, P. C. X-ray fluorescence spectrometry. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 44, n. 1-3, p. 251-296, 1992.

SAWYER, E. W. The role of partial melting and fractional crystallization in determining discordant migmatite leucosome compositions. **Journal of Petrology**, v. 28, n. 3, p. 445-473, 1987.

SAWYER, E. W. Melt segregation and magma flow in migmatites: implications for the generation of granite magmas. **Earth and Environmental Science Transactions of The Royal Society of Edinburgh**, v. 87, n. 1-2, p. 85-94, 1996.

SAWYER, E. W. Criteria for the recognition of partial melting. Physics and Chemistry of the Earth, Part A: **Solid Earth and Geodesy**, v. 24, n. 3, p. 269-279, 1999.

SAWYER, E.W. **Atlas of migmatites**. Ottawa: NRC Research Press, 2008.

SHAND, S. J. Eruptive rocks. Their genesis, composition, classification, and their relations to ore-deposits. **Wiley**, New York, 444 p. 1943.

SILVA, A. O. M.; PORCHER, C. C.; FERNANDES, L. A. D.; DROOP, G. Termobarometriada suíte metamórfica várzea do Capivarita (RS): embasamento do Cinturão Dom Feliciano. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, n. 4, p. 419-432, 2002.

SILVA, L. C.; MCNAUGHTON, N. J.; HARTMANN, L. A.; FLETCHER, I. R.; GRESSE, P. G.; SCHEEPERS, R. U-Pb (SHRIMP) isotopic constraints for the evolution of southern Brazilian granitic province, and some correlated South African, Pan-African plutons. In: 2nd International Symposium on Granites and Associated Mineralization, Salvador. **Anais...** vol. 24, n. 29, p. 276-277. 1997.

UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Mapeamento Geológico 1:25000 de parte das folhas Encruzilhada SH-22-Y-A-VI-2 (MI2997/2) e Passo das Canas SH22-Y-A-III-4 (MI2984/4), RS**. Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Porto Alegre, 1 vol., 2 mapas, 2010.

VANDERHAEGHE, O. Migmatites, granites and orogeny: Flow modes of partially-molten rocks and magmas associated with melt/solid segregation in orogenic belts. **Tectonophysics**, v. 477, n. 3-4, p. 119-134, 2009.

VERNON, R. H. **A practical guide to rock microstructure**. Cambridge University Press, 2004. WHITNEY, D. L.; EVANS, B. W. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American mineralogist*, v. 95, n. 1, p. 185-187, 2010.

ANEXO A**Abreviações minerais utilizadas de acordo com Whitney & Evans (2010)**

Ab – Albita

Als – Aluminossilicatos – Al_2O_3

Amp – Anfibólio

An – Anortita

Ap – Apatita

Bt – Biotita

Chl – Clorita

Crd – Cordierita

Ep – Epidoto

Grt – Granada

Ilm – Ilmenita

Kfs – K-feldspato

Liq – Líquido

Mc – Microclínio

Mnz – Monazita

Ms – Muscovita

Opq – Opacos

Pl – Plagioclásio

Qz – Quartzo

Sil - Sillimanita