

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

FERNANDO NEGRI FERNANDES

**QUÍMICA MINERAL COM ÊNFASE EM ETR NA PORÇÃO NOROESTE DO
COMPLEXO INTRUSIVO LAVRAS DO SUL/RS**

**Caçapava do Sul
2023**

FERNANDO NEGRI FERNANDES

**QUÍMICA MINERAL COM ÊNFASE EM ETR NA PORÇÃO NOROESTE DO
COMPLEXO INTRUSIVO LAVRAS DO SUL/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Geologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Vinicius Matté

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Delia Del Pilar Montecinos de Almeida.

Caçapava do Sul

2023

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

F363q Fernandes, Fernando Negri
Química mineral com ênfase em ETR na porção noroeste do
complexo intrusivo Lavras do Sul/RS / Fernando Negri Fernandes.
72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2023.
"Orientação: Vinicius Matté".

1. Química mineral. 2. Elementos terras-raras. 3. Granitos.
I. Título.

FERNANDO NEGRI FERNANDES

**QUÍMICA MINERAL COM ÊNFASE EM ETR NA PORÇÃO NOROESTE DO
COMPLEXO INTRUSIVO LAVRAS DO SUL/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geologia da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 15 de Dezembro de
2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Vinicius Matté
Orientador
UNIPAMPA

Prof. Dr. Tiago Rafael Gregory
UNIPAMPA

Geól. Dr^a. Sissa Kumaira
UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **VINICIUS MATTE, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/12/2023, às 09:15, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **SISSA KUMAIRA, GEOLOGO**, em 20/12/2023, às 13:25, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **TIAGO RAFAEL GREGORY, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/12/2023, às 15:20, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1336180** e o código CRC **8742714C**.

RESUMO

A crescente demanda por estudos relacionados a Elementos Terras Raras (ETR) é evidente em quase todos os países, isso devido a grandes descobertas sobre novas aplicabilidades destes elementos nos mais variados setores, principalmente industriais. Esses elementos possuem propriedades específicas que otimizam diversos processos e produtos, obtendo assim uma grande importância econômica. Com isso a procura por novas informações a respeito desses elementos é constante, assim como a busca por locais onde seria possível a concentração dos mesmos. Os ETR estão presentes, em maiores quantidades, em minerais associados a rochas alcalinas, principalmente carbonatíticas. Porém, estudos vêm revelando concentrações significativas em diferentes rochas de afinidade alcalina como granitos, riolitos e aplitos. Na área de estudo, localizada no município de Lavras do Sul, as rochas aflorantes pertencentes ao Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS) apresentam essas características e estudos anteriores evidenciaram a existência de um sistema hidrotermal que atuou sobre essas rochas, gerando com isso a possibilidade de concentração desses elementos em algumas porções da área. O foco deste trabalho foi analisar o comportamento dos ETR a partir de dados petrográficos e petrológicos das rochas alcalinas coletadas na área, auxiliado por estudos de química mineral em MEV-EDS e Microsonda Eletrônica, identificando os principais minerais que contêm esses elementos, quantificando essas possíveis concentrações e relacionando-as com os prováveis processos concentradores. Os resultados revelaram minerais com concentrações de ETR, como allanita, torita, barita e apatita.

Palavras-Chave: Elementos Terras Raras, Granitos, Rochas Alcalinas.

ABSTRACT

The growing demand for studies related to Rare Earth Elements (REE) is evident in almost all countries, due to the great discoveries about new applications of these elements in various industrial sectors. These elements have specific properties that optimize various processes and products, thus obtaining great economic importance. Therefore, the search for new information about these elements is constant, as well as the investigation for places where their concentration would be possible. The REE are present, in larger quantities, in minerals associated with alkaline rocks, mainly carbonatites, but studies have revealed significant concentrations in different rocks with alkaline affinity such as granites, rhyolites and aplites. In the study area, located in the municipality of Lavras do Sul, the outcropping rocks belonging to the Lavras do Sul Intrusive Complex (LSIC) present these characteristics and previous studies have shown the existence of a hydrothermal system that acted on these rocks, thus generating the possibility of concentration of REE elements in some portions of the area. The focus of this work is to analyze the behavior of the REE from petrographic and petrological data of the alkaline rocks collected in the area, aided by mineral chemistry studies in SEM-EDS and electron microprobe, identifying the main minerals that contain these elements, quantifying these possible concentrations and relating them to the probable concentrating processes. The results revealed minerals with concentrations of REE, such as allanite, thorite, barite and apatite.

Key-words: Rare Earth Elements, Granites, Alkaline rocks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....	18
Figura 2 - Compartimentação do Escudo Sul-rio-grandense.....	20
Figura 3 - Mapa geológico do Complexo Intrusivo Lavras do Sul (Gastal & Lafon, 1998) com o posicionamento da área de estudo no retângulo vermelho.....	23
Figura 4 - Modelo de evolução geológica para a região de Lavras do Sul proposto por Mexias (2000). Descrição ao longo do texto.....	25
Figura 5 - Tabela periódica, com destaque para os ETR.....	30
Figura 6 - Trabalho de campo em afloramento de lageado do pertita granito (esquerda) e coleta de amostra no monzogranito (direita).....	33
Figura 7 - Mapa litológico da área de estudo com os pontos realizados.....	34
Figura 8 - Fotografia de amostras de diferentes litologias. (A) Monzogranito alterado. (B) Riolito com pequenos veios de quartzo. C) Pertita-granito com enclave máfico microgranular. (D) Pertita-granito com maior quantidade de máficos.....	35
Figura 9 - À esquerda, equipamento Jeol JSM-58 (MEV-EDS). À direita, equipamento Cameca SXFive (Microsonda).....	37
Figura 10 - Fotomicrografia com luz polarizada de minerais da lâmina PFF-009. Aln=allanita, Anf=anfibólio, Kfs=K-feldspato, Ttn=titanita.....	39
Figura 11 - Imagem de BSE na lâmina PFF-001, de torita (A) com as análises de EDS (B).....	41
Figura 12 - Imagem de BSE na lâmina PFF-001, de torita (A) com as análises de EDS (B).....	42
Figura 13 - Imagem BSE na lâmina PFF-001, de Barita e Óxido de ferro (A) e análise EDS (B).....	43
Figura 14 - Imagem BSE na lâmina PFF-001, de mineral de ETR (A) e análise EDS (B).....	44
Figura 15 - Imagem BSE na lâmina PFF-009, de anfibólio com fratura preenchida por mineral com concentração de ETR (A) e análise EDS (B). Anf=anfibólio, Ap=apatita.....	46
Figura 16 - Imagem BSE de Allanita (A) e análises de EDS (B). Aln=allanita, Zr=zircão.....	47
Figura 17 - Imagem de BSE de torita (A) e análises de EDS (B).....	48
Figura 18 - Classificação dos feldspatos potássicos analisados na microsonda..	49
Figura 19 - Classificação dos plagioclásios analisados na microsonda.....	50
Figura 20 - Classificação dos anfibólios analisados na microsonda.....	51

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Teores de ETR em alguns dos principais depósitos do Brasil e do mundo.	28
Tabela 2 - Média estimada de teores de ETR na Formação Acampamento Velho.	29
Tabela 3 - Teores de ETR no Granito Felgueiras em Portugal, comparado com teor médio da crosta continental superior indicados em Rudnick e Gao (2003).	30
Tabela 4 - Composição modal dos principais minerais identificados no microscópio petrográfico.	36

LISTA DE ABREVIATURAS

BSE - *backscattered electrons*

EDS – Detector de Energia Dispersiva

ETR – Elementos Terras Raras

ETRL – Elementos Terras Raras Leves

ETRP – Elementos Terras Raras Pesadas

ESrg – Escudo Sul-rio-grandense

MEV – Microscópio Eletrônico de Varredura

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivos Gerais.....	14
2.2 Objetivos Específicos.....	14
3. JUSTIFICATIVA.....	14
4. ÁREA DE ESTUDO.....	15
4.1 Localização.....	15
4.2 Contexto Geológico/Geotectônico.....	17
4.2.1 Província Mantiqueira.....	17
4.2.2 Escudo Sul-rio-grandense.....	17
4.2.3 Bacia do Camaquã.....	18
4.3 Geologia Local.....	19
4.3.1 Dados Geocronológicos.....	24
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
5.1 Teoria dos Métodos e Técnicas.....	25
5.1.1 Microscopia Ótica.....	25
5.1.2 Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).....	25
5.1.3 Microsonda Eletrônica.....	26
6. ESTADO DA ARTE.....	27
6.1 Elementos Terras Raras.....	27
6.1.2 Média de teores de ETR em diferentes contextos geológicos.....	29
7. MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
7.1 Pré-Campo.....	31
7.2 Trabalho de Campo.....	31
7.2.1 Mapeamento Geológico.....	31
7.2.2 Amostragem de Rocha.....	32
7.3 Pós-Campo.....	33
7.3.1 Seleção, preparação e descrição de lâminas.....	33

7.3.2	Análise em MEV-EDS.....	34
7.3.3	Análise em Microsonda Eletrônica.....	34
7.3.4	Elaboração de tabelas e diagramas.....	35
8.	RESULTADOS.....	35
8.1	Petrografia Microscópica.....	36
8.2	Resultados MEV-EDS.....	37
8.2.1	Monzogranito.....	38
8.2.1.1	Torita.....	38
8.2.1.2	Barita.....	42
8.2.2	Pertita granito.....	43
8.2.2.1	Allanita.....	43
8.2.2.2	Apatita.....	44
8.3	Resultados da Microsonda Eletrônica.....	47
9.	DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
	ANEXO A.....	56
	ANEXO B.....	65
	ANEXO C.....	70

1. INTRODUÇÃO

A região de Lavras do Sul, localizada na porção centro-sul do Rio Grande do Sul, é conhecida por abrigar um conjunto de rochas ígneas intrusivas de afinidades shoshoníticas e alcalinas. Nardi (1984) definiu essa associação de rochas como Complexo Granítico Lavras (CGL), que no geral apresenta um caráter shoshonítico com rochas granodioríticas e graníticas no núcleo e rochas como sienogranitos e pertita-granitos de afinidade alcalina nas bordas. Posteriormente, Gastal & Lafon (1998) sugeriram o termo Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS), inserindo e redefinindo algumas litologias, detalhando ainda mais as fácies antes descritas.

O presente trabalho tem como alvo de estudo a localidade denominada “Fazenda da Chácara” e arredores, onde as rochas apresentam características de afinidade alcalina como sienogranitos e pertita-granitos, assim como diques ácidos tardios localizados na porção norte/noroeste do CILS, possibilitando assim o desenvolvimento de concentrações significativas de ETR, considerando ainda que estas rochas sofreram processos hidrotermais responsáveis pela remobilização e concentração de metais (Mexias, 1990). Devido às características das rochas, é possível que estes processos concentradores tenham gerado minerais com conteúdo interessante de ETR.

Os estudos relacionados à ETR evidenciam que as maiores concentrações economicamente exploráveis são nas rochas carbonatíticas que, devido a sua afinidade marcadamente alcalina, podem conter maiores quantidades de minerais com esses elementos. Contudo, outras litologias de afinidade alcalina vêm sendo alvo de estudos relacionados a ETR, principalmente para melhor entendimento sobre o comportamento e a mobilidade desses elementos em processos concentradores como alterações, intemperismo e lixiviação, sobretudo em zonas com sistemas hidrotermais evidentes. O presente projeto visou realizar o mapeamento geológico da área e analisar a mineralogia e a química mineral das rochas através de microscopia óptica, MEV-EDS e Microsonda Eletrônica em lâminas petrográficas que apresentaram minerais fontes de ETR. Através desses métodos pôde-se quantificar os elementos químicos presentes nesses minerais e, elaborar diagramas, onde foi possível observar eventuais anomalias.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Levando em consideração a demanda por estudos relacionados à ETRs, para fins acadêmicos e econômicos, este trabalho tem como objetivo principal a identificação e caracterização petrológica e petrográfica das rochas localizadas a noroeste do CILS, buscando quantificar e contextualizar as concentrações desses elementos em minerais específicos.

2.2 Objetivos Específicos

Buscando a realização dos objetivos gerais, foram concluídos alguns objetivos específicos que proporcionaram o conhecimento necessário para o desenvolvimento do estudo. Os objetivos específicos foram:

- ♦ Identificar, descrever e classificar, a partir da mineralogia, as rochas presentes na área de estudo.
- ♦ Realizar estudos no MEV-EDS.
- ♦ Realizar análise de WDS em Microsonda Eletrônica.
- ♦ Plotar e analisar diagramas de correlação dos elementos químicos.
- ♦ Descrever e analisar o comportamento dos ETR e demais elementos a partir dos resultados obtidos.

3. JUSTIFICATIVA

Este trabalho está vinculado ao Projeto interinstitucional em parceria com a UFSM e UFRGS, "GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TERRAS RARAS E CORRELATOS NA REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL: UMA ABORDAGEM EXPLORATÓRIA" aprovado pelo CNPq dentro da Chamada CNPq/CT-Mineral/CT-Energ No 27/2022 - PD&I para o desenvolvimento integral das cadeias produtivas de minerais estratégicos. Portanto, havendo aporte financeiro para realização das etapas do trabalho, justifica-se a viabilidade de execução dos objetivos propostos. Com ênfase no comportamento dos ETR nas

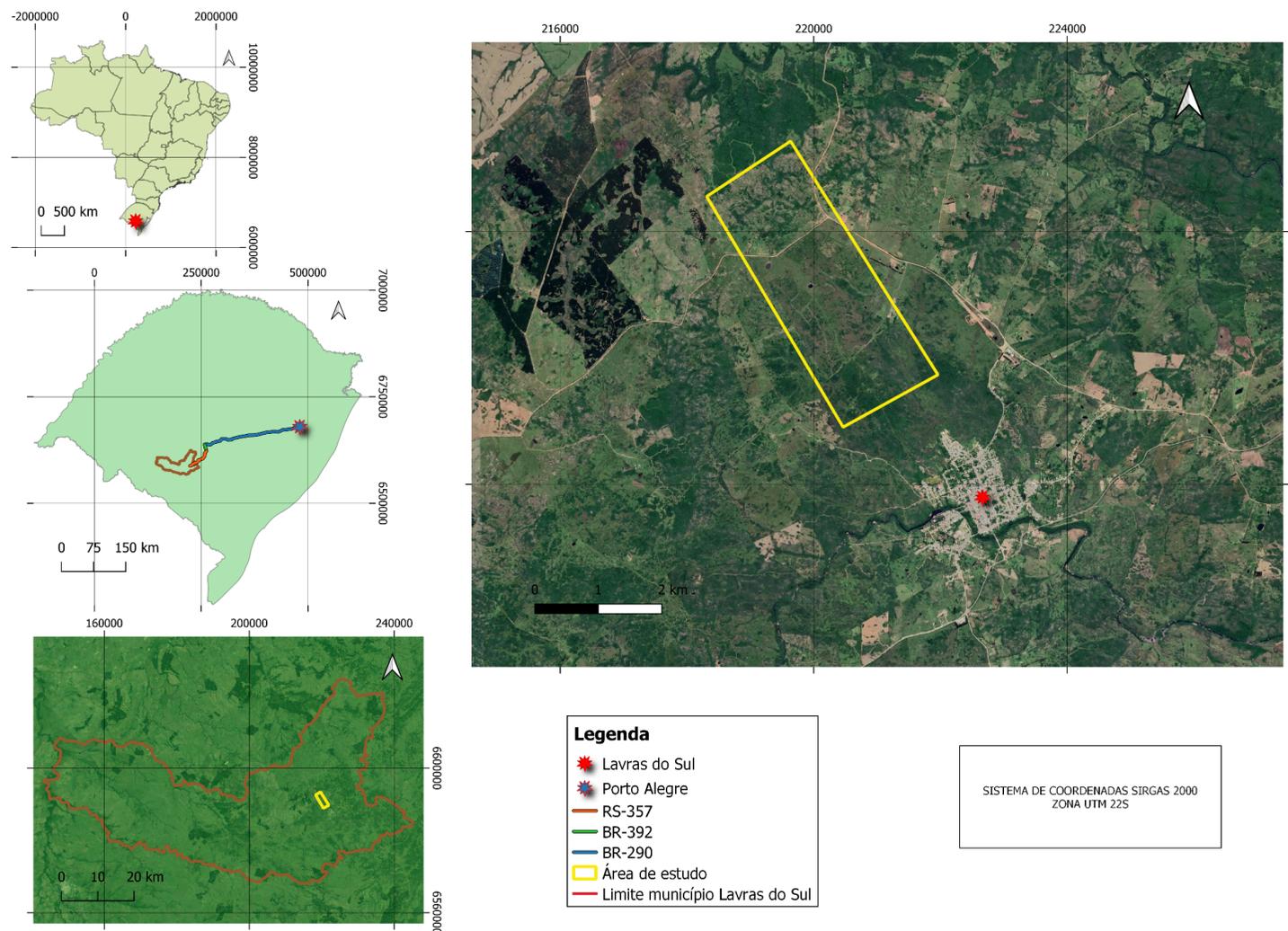
rochas presentes na área de estudo, localizada na porção noroeste do Complexo Intrusivo Lavras do Sul, o presente trabalho apresenta análise petrológica, petrográfica e mineralógica das rochas aflorantes na área de estudo, buscando detalhar o contexto petrogenético em que essas possíveis concentrações de ETR foram geradas, assim como, obter um comparativo com outras ocorrências já estudadas anteriormente. O município de Lavras do Sul já foi alvo de muitos estudos e trabalhos, isso devido principalmente às ocorrências metálicas como ouro e cobre presentes no município. Também existem estudos relacionados a ETR nas ocorrências carbonatíticas da região, como o carbonatito Três Estradas, assim como nas rochas aplíticas evidenciadas na Mina Dourada, também no CILS, porém, ainda não há um trabalho focado em analisar o comportamento desses elementos nas rochas alcalinas existentes na área de estudo. Outro fator condicionante foi a viabilidade logística para realização do trabalho, tratando-se de uma área próxima à Caçapava do Sul, o que facilitou a execução das atividades propostas.

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1 Localização

A área de estudos localiza-se no município de Lavras do Sul/RS, cidade localizada no sudoeste do Rio Grande do Sul. Lavras do Sul se distancia de Porto Alegre 300 km em direção sudoeste. O percurso entre Porto Alegre e Lavras do Sul pode ser realizado pela BR-290, sentido sudoeste até o entroncamento com a BR-392, seguindo-a em sentido sul até a cidade de Caçapava do Sul/RS. Segue-se então a RS-357, seguindo 57,5 Km em sentido sudoeste, chegando à cidade de Lavras do Sul, onde a área de estudo está situada a aproximadamente 4km sentido noroeste, às margens do centro urbano da cidade, como mostra a Figura 1. O polígono da área tem como coordenada central 220480E / 6591780N e corresponde a uma área de 7,25 km².

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: autor.

4.2 Contexto Geológico/Geotectônico

A região de Lavras do Sul está localizada na porção centro/oeste do Escudo Sul-rio-grandense (ESrg), inserido no setor meridional da Província Mantiqueira (ALMEIDA *et al.*, 1976).

4.2.1 Província Mantiqueira

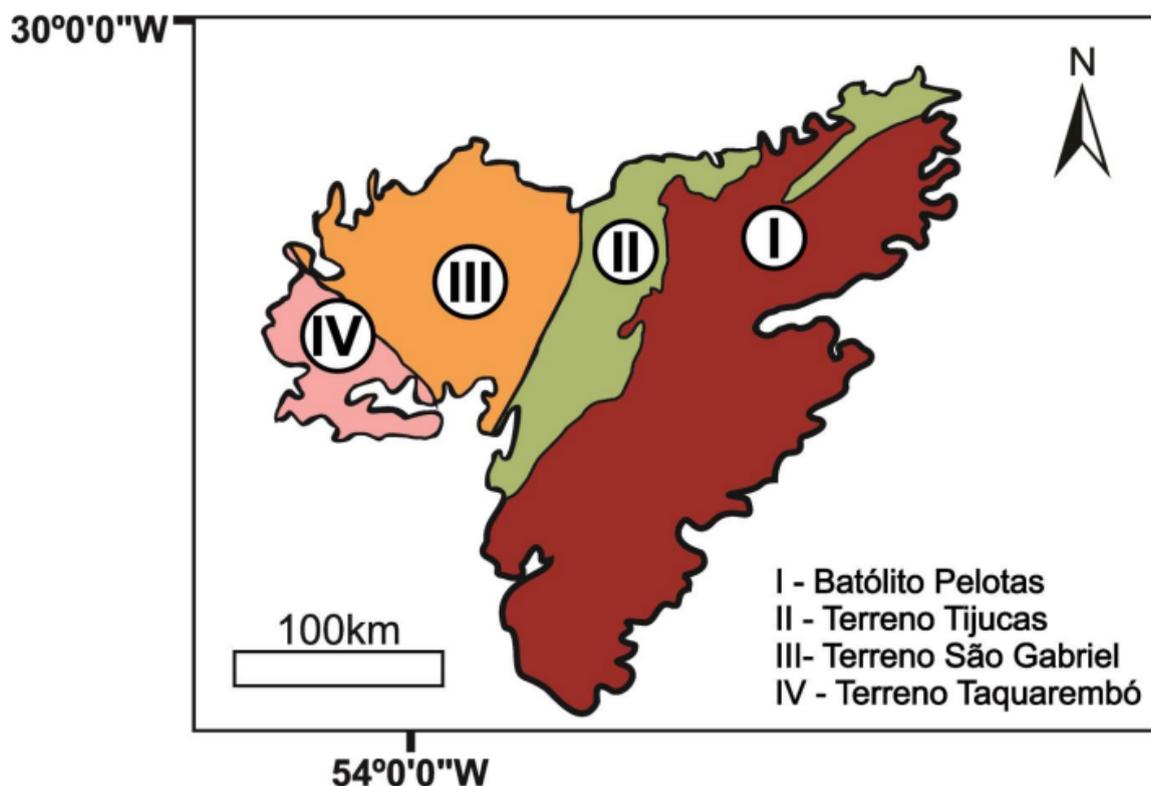
O Sistema Orogênico Mantiqueira, também conhecido como Província Mantiqueira, corresponde a uma faixa de cerca de 3000 km de comprimento que se inicia no sul da Bahia e estende-se até o Uruguai, possuindo na região do Rio Grande do Sul aproximadamente 200km de largura. Foi originada durante a orogênese Brasileira, a qual resultou na amalgamação do Paleocontinente Gondwana Ocidental. No sul do Brasil ela surge como uma resposta à colisão entre os crátons Kalahari e Rio De La Plata. O Sistema Mantiqueira representa o Escudo Atlântico, denominando-se Escudo-Sul-rio-grandense na porção aflorante do Rio Grande do Sul, (HASUI, 2012)

4.2.2 Escudo Sul-rio-grandense

O ESrg pode ser compartimentado de acordo com seus significados geotectônicos, em quatro porções principais: Terreno Taquarembó, Terreno São Gabriel, Terreno Tijucas e Batólito Pelotas (Figura 2). O Terreno Taquarembó engloba a unidade mais antiga do escudo, o Complexo Granulítico Santa Maria Chico (Neoarqueano).

A área de estudo está inserida no Terreno São Gabriel, que representa um prisma acrescionário gerado durante o Neoproterozoico. Este terreno é delimitado a sul pela Zona de Cisalhamento do Ibaré, em contato com o Terreno Taquarembó, a leste por um sistema de falhas NE-SW paralelos à anomalia magnetométrica de Caçapava do Sul, e a norte encontra-se recoberto pelas rochas sedimentares da Bacia do Paraná (HARTMANN *et. al.*, 2007; CHEMALE, JR., 2000).

Figura 2 - Compartimentação do Escudo Sul-rio-grandense



Fonte: extraído e modificado de Hasui (2012).

Foram definidas no Terreno São Gabriel duas unidades petrotectônicas, o Terreno Metamórfico de Acreção Palma (TMAP), com idades entre 1000 e 700 Ma, e a Associação Plutono-Vulcano-Sedimentar Seival (APVSS), com idades entre 640 e 610 Ma, estando o CILS inserido nesta última unidade. (Chemale Jr, 2000).

A APVSS é caracterizada por rochas vulcânicas básicas a intermediárias e sedimentares siliciclásticas pertencentes à Bacia do Camaquã (BC), com intrusões graníticas geradas nos estágios tardi a pós-orogênicos em relação ao Evento Brasileiro (650 – 500 Ma). (Chemale Jr, 2000).

4.2.3 Bacia do Camaquã

A Bacia do Camaquã é configurada por um pacote vulcanossedimentar de idade Ediacarana-Eocambriana (630-510 Ma), que corresponde a uma etapa de estabilização do Gondwana. A bacia possui cerca de 10.000 metros de espessura

e é controlada por falhas de direção NNE. Os altos de Caçapava do Sul e Serra das Encantadas permitem sua subdivisão em Camaquã Ocidental, Central e Oriental. O preenchimento da bacia compõe o Supergrupo Camaquã, que da base para o topo, englobam os grupos Maricá e Bom Jardim, a Formação Acampamento Velho e os grupos Santa Bárbara e Guaritas (ALMEIDA, 2005). O grupo Bom Jardim está contido na sequência vulcano-sedimentar da APVSS (Chemale Jr., 2000).

4.3 Geologia Local

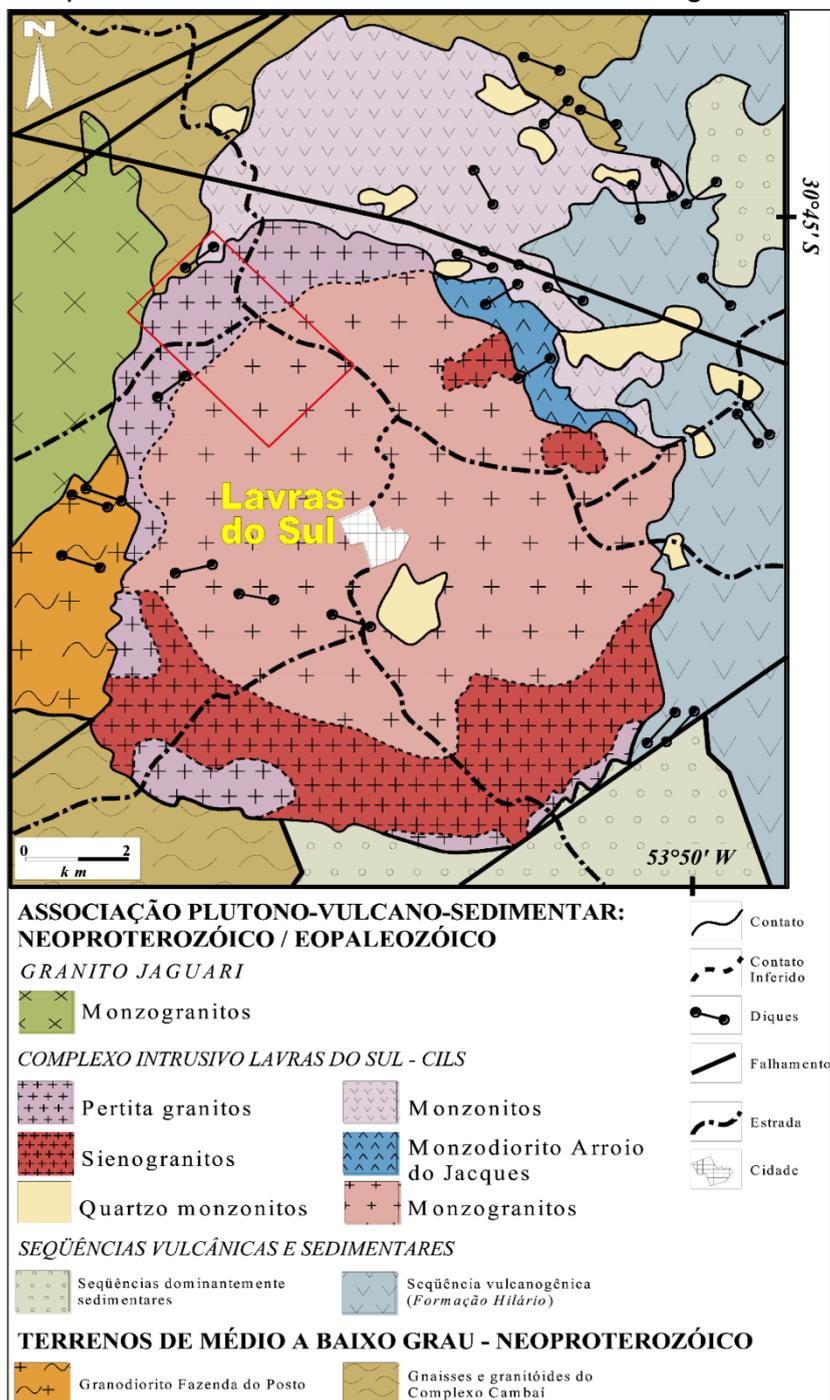
O Complexo Granítico Lavras (CGL) foi definido por Nardi (1984) como uma associação de rochas graníticas que se dispõem em um complexo de núcleo granodiorítico de afinidade shoshonítica, circundado por rochas de afinidades alcalinas como sieno e pertitas-granitos nas bordas.

Gastal & Lafon (1998) redefiniram o CGL propondo o termo Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS), inserindo neste complexo litologias como monzodioritos, monzonitos porfiríticos e quartzo monzonitos que ocorrem na porção norte, havendo também uma reinterpretação sobre as fácies graníticas descritas por Nardi (1984), redefinindo como fácies alcalinas, representada por pertitas-granitos, sienogranitos e quartzo-sienito e fácies shoshoníticas, constituídas por monzo e granodioritos, quartzo-monzonitos e monzogranitos porfiríticos (Figura 3). Referente às idades desses dois eventos, alcalino e shoshonítico, os autores admitem a contemporaneidade entre eles, sugerida pelos resultados geocronológicos U-Pb, que indicaram um intervalo de 12 Ma entre os dois tipos litológicos e, considerando os erros inerentes às datações, pode-se sugerir a superposição entre os dois tipos, apesar de admitirem que as fácies alcalinas são relativamente mais tardias.

Foi proposto por Gastal & Lafon (1998) que a transição entre os dois eventos magmáticos (shoshonítico e alcalino, núcleo e borda, respectivamente, do CILS) poderia estar relacionada a heterogeneidades nas fontes mantélicas ou na interação manto-crosta, cujas diferenças iniciais dos magmas parentais teriam sido posteriormente ampliadas durante a diferenciação magmática. Evidências de magmatismo básico e ácido são suportadas pela presença de enclaves máficos microgranulares no complexo granítico (Nardi & Lima, 2000).

O CILS apresenta uma forma elipsoidal, levemente alongado na direção N-S, com dimensões de aproximadamente 18 km em seu eixo maior (N-S) e 12 km em seu eixo menor (L-O), fazendo contato na porção sul com a sequência sedimentar da Formação Maricá cujas principais estruturas são representadas pela estratificação rítmica de arenitos arcoseanos, siltitos e grauvacas. A intrusão granítica gerou uma auréola de metamorfismo de contato nestas sequências, observada nos primeiros 50 metros (Ribeiro, 1983). A oeste do CILS está o contato com o Granito Jaguari, e com as rochas gnáissicas e metagranitoides do Grupo Cambaí. A leste está o contato com a sequência vulcânica da Formação Hilário (Ribeiro & Fantinel, 1978).

Figura 3 - Mapa geológico do Complexo Intrusivo Lavras do Sul (Gastal & Lafon, 1998) com o posicionamento da área de estudo no retângulo vermelho.



Fonte: extraído e modificado de Mexias (2000).

Foi proposto por Mexias (2000), um modelo esquemático de evolução da geologia de Lavras do Sul, como mostra a Figura 4, representando quatro etapas evolutivas:

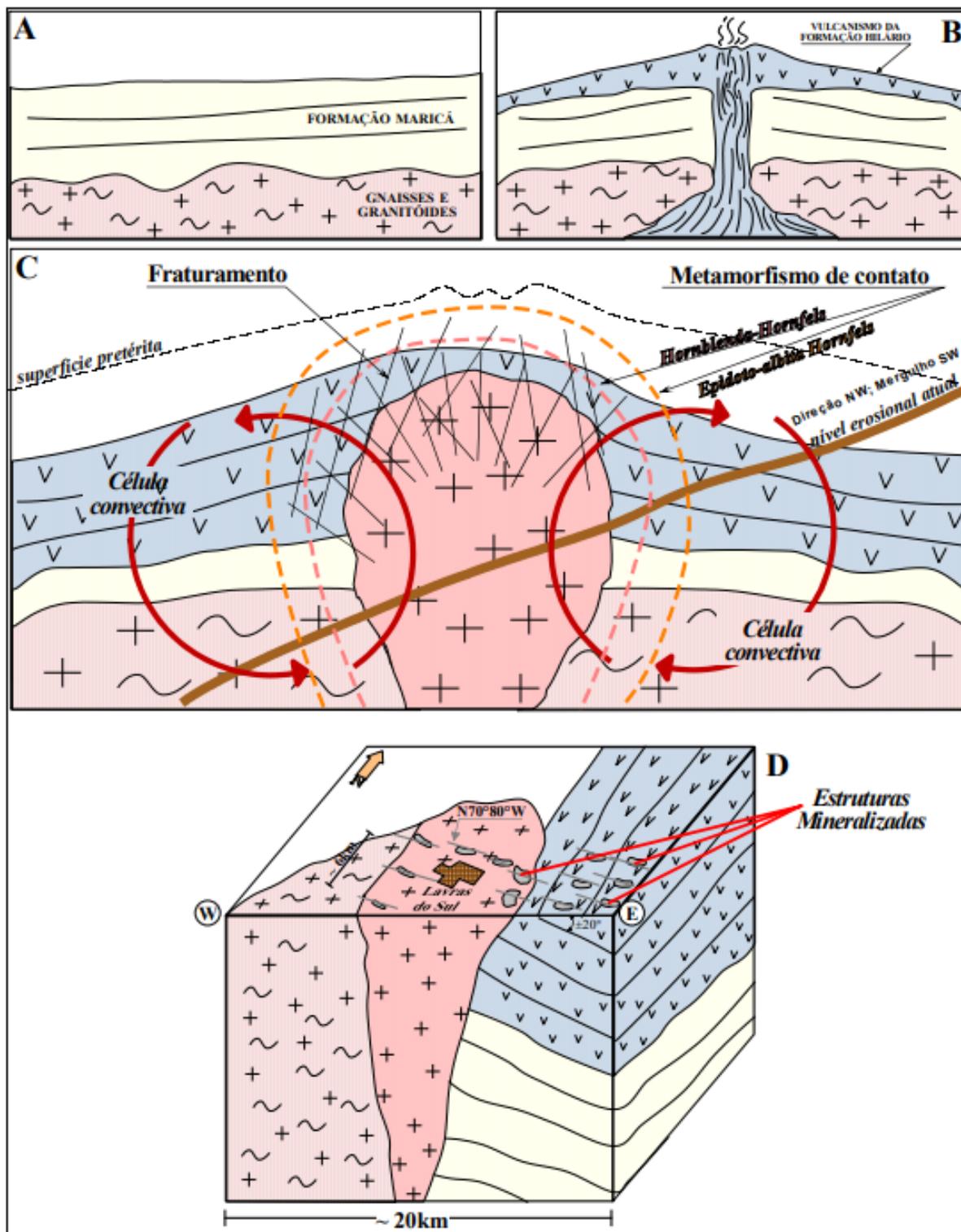
A. Sedimentação da Formação Maricá sobre embasamento gnáissico, gerando depósitos aluviais, deltaicos e marinho rasos entre 620 e 592 Ma em bacia de *back-arc* da Orogênese Brasileira (Chemale Jr, 2000);

B. Instabilidade tectônica no Neoproterozoico referente aos últimos estágios da Orogenia Brasileira, associada a um processo de magmatismo vulcânico, piroclástico e epiclástico de filiação geoquímica shoshonítica;

C. Intrusões gerando um complexo de corpos ígneos plutônicos de caráter shoshonítico que atuaram termicamente sobre as rochas vulcânicas, com metamorfismo de contato. É possível a existência de um evento alcalino posteriormente, porém os dados geocronológicos não são conclusivos em indicar que o magmatismo alcalino foi posterior ao shoshonítico, embora alguns autores admitam isso;

D. Mineralização e concentração de metais em estruturas preferencialmente NW-SE. Representado no modelo, está o nível erosivo da superfície atual. As porções oeste e sudoeste podem representar a exposição de rochas formadas em maiores profundidades que afloram na superfície atual.

Figura 4 - Modelo de evolução geológica para a região de Lavras do Sul proposto por Mexias (2000). Descrição ao longo do texto.



Fonte: extraído de Mexias (2000).

4.3.1 Dados Geocronológicos

Alguns autores realizaram datações no complexo intrusivo, obtendo idades que sugerem a existência de mais de um evento que atuou na região.

Soliani Jr. (1986) foi o primeiro a realizar datação direta da mineralização por K-Ar em sericitas hidrotermais. Para grãos provenientes do pertita granito foi obtida a idade de 608 ± 13 Ma e para minerais dos granitoides do núcleo, obteve-se a idade de 600 ± 8 Ma.

Leite (1995) realizou análises U-Pb SHRIMP em zircões do pertita granito e identificou duas populações, uma com idade de 608 ± 7 Ma, interpretada como herdada das fácies do núcleo do CILS, e outra com idade de $580 \pm 6,6$ Ma, sugerida como idade magmática do pertita granito. Estes mesmos dados foram reinterpretados por Leite *et al.* (1998) obtendo as idades de 610 ± 10 Ma e 583 ± 11 Ma para as mesmas populações de zircões.

Remus *et al.* (1997) obtiveram, por meio de U-Pb SHRIMP em zircões, idades de 592 ± 5 Ma para os granitoides shoshoníticos do núcleo. Para o pertita granito estes autores identificaram duas populações de zircões, uma de idade 597 ± 5 Ma, interpretada como herdada da fácies granodiorítica central e uma idade 580 ± 7 Ma, que foi atribuída à cristalização do pertita granito. Os dados foram reinterpretados por Remus *et al.* (2000) atribuindo as idades de 594 ± 5 e 594 ± 4 Ma para os granitoides shoshoníticos e alcalinos, respectivamente.

Mexias (2000) obteve a idade de 597 ± 4 Ma para o magmatismo alcalino e de 580 ± 5 Ma para o evento hidrotermal atuante na área por U-Pb SHRIMP em zircões hidrotermalizados do pertita granito da área da Mina Bloco Butiá.

Gastal *et al.* (2005) obtiveram a idade U- Pb de $601,0 \pm 2,0$ Ma para os granodioritos do núcleo e de $586 \pm 2,8$ Ma para os pertita granitos da borda.

Bongiolo (2002), ao datar o processo de alteração hidrotermal, utilizou o método Rb-Sr em grãos de mica branca situados nos granitoides do núcleo e da borda do CILS e obteve uma idade para o processo hidrotermal de 582 ± 6 Ma.

Portanto, os dados indicam a ocorrência de duas idades principais para o CILS, uma de 595 Ma, marcando o magmatismo shoshonítico e alcalino, e outra de 580 Ma, que marcaria um evento hidrotermal atuante na região. Existiria, então, um hiato temporal entre o magmatismo e o hidrotermalismo (Bongiolo *et al.*, 2003).

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O processo de revisão bibliográfica foi constante durante toda a elaboração deste estudo, baseando-se na busca contínua de literatura (artigos, livros, teses de mestrado e doutorado, etc.)

5.1 Teoria dos Métodos e Técnicas

5.1.1 Microscopia Ótica

A microscopia ótica para análise e descrição de lâminas delgadas de amostras de rocha é uma técnica muito utilizada e de grande importância para o estudo petrográfico. Isso porque nos permite uma melhor visualização e identificação de microtexturas e estruturas mineralógicas em uma resolução muito mais precisa da que o olho humano nú. O microscópio é composto por dois sistemas de lentes, sendo as objetivas responsáveis por produzir imagens ampliadas do objeto analisado e as oculares fazem um aumento adicional das imagens geradas pelas objetivas. (Raith *et al.*, 2011).

Uma das principais diferenças entre o microscópio óptico, também chamado de petrográfico, para o microscópio biológico, é o fato de estar equipado com uma platina giratória e dois filtros polarizadores.

5.1.2 Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

O MEV configura uma ferramenta de suma importância no meio científico e tecnológico, sendo amplamente utilizado na área das Geociências. O microscópio tem a capacidade de gerar imagens na ordem de Ângströms (Å) e nos permite uma análise detalhada dos objetos visualizados, além de proporcionar um imageamento de alta resolução.

A interação dos elétrons com a matéria gera uma ampla variedade de “sinais” que podem proporcionar informações sobre a matéria no nível microscópico e até nanoscópico (Stockes, 2008).

Na análise mineralógica, as imagens geradas pelo MEV podem revelar estruturas microscópicas tais como sobrecrescimentos e bandamentos

composicionais. Outro parâmetro muito importante de analisar proporcionado pelo MEV é a identificação de elementos pesados presentes nos minerais analisados, possibilitando assim a definição composicional desses minerais.

O princípio de funcionamento do MEV consiste na emissão de feixes de elétrons por um filamento de tungstênio (eletrodo negativo), mediante a aplicação de uma diferença de potencial que pode variar de 0,5 a 30 kV. A parte positiva em relação ao filamento do microscópio (eletrodo negativo) atrai fortemente e acelera os elétrons em sua direção. O percurso do feixe é corrigido por lentes condensadoras, que o alinham em direção à abertura da objetiva, que ajusta o foco dos feixes antes dos elétrons atingirem a amostra (Reed, 1996).

5.1.3 Microsonda Eletrônica

A análise de Microsonda Eletrônica baseia-se no princípio dos elementos químicos constituintes dos materiais emitirem raio-X característicos quando excitados por um feixe de elétrons. Cada elemento emitirá espectros de raios-X em determinados comprimentos de onda e energia. O equipamento combina os princípios do microscópio eletrônico, microscopia óptica e da fluorescência de raios-X, permitindo a determinação da composição química de um material numa selecionada região com aproximadamente 1 μm de diâmetro. A microsonda eletrônica é constituída por um sistema elétron-óptico (formação do feixe eletrônico), sistema óptico (visualização da amostra) e sistema óptico de raios-X (conjunto de detecção e análise dos elementos). Compõem ainda o equipamento, os sistemas de vácuo, leitura e registro. A análise do material requer seções polidas ou lâminas delgadas polidas, tornando-se indispensável à metalização com Al, C, Au, entre outros metais, sendo mais comum a utilização de C ou Au. Os raios-X característicos dos elementos gerados na amostra podem ser analisados pelo método de dispersão de energia (EDS) ou dispersão de comprimento de onda (WDS). Esse último método emprega espectrômetros de cristais curvos e contadores posicionados de modo a obedecerem a relação proposta pela lei de Bragg. Nas microsondas mais modernas é possível analisar comprimentos de onda compreendidos entre 1 e 100 Å, para elementos com número atômico acima do boro ($Z > 5$). (Gomes, 1984).

6. ESTADO DA ARTE

6.1 Elementos Terras Raras

A crescente utilização de Elementos Terras-Raras (ETR) pela indústria de tecnologias em geral vem intensificando os estudos e pesquisas sobre as ocorrências e concentrações desses elementos no Brasil, assim como em outros países. Essa demanda se dá principalmente devido a ampla aplicabilidade relacionada com suas propriedades magnéticas e espectroscópicas. Os ETRs compreendem um grupo de 17 elementos químicos metálicos com propriedades químicas e físicas semelhantes, sendo 15 pertencentes ao grupo dos lantanídeos com números atômicos que vão do 57 ao 71 (Lantânio - Lutécio), aos quais se juntam o Escândio ($Z = 21$) e o Ítrio ($Z = 39$), observados na Figura 5. Os ETR com número atômico inferior ao do Európio (63) são geralmente designados de Terras Raras leves (ETRL), enquanto os de número superior são Terras Raras Pesados (ETRP) (Hampel e Hawley, 1973; Elsner, 2010).

O Brasil apresenta grande potencial exploratório desses elementos com diferentes tipos de depósitos minerais identificados, considerando que os ETR constam em mais de duzentas e cinquenta espécies minerais catalogadas, sendo os principais, sobretudo, os minerais formadores de rocha como substitutos para cátions litófilos. Apesar do nome sugestivo, esses elementos não são particularmente raros, correspondendo, em peso, a aproximadamente 0,02% da crosta superior, sendo assim, mais abundantes do que outros elementos mais conhecidos como ouro (4 ppb), prata (70 ppb) e urânio (2 ppm) (Möller, 1989; Verplanck & Van Gosen, 2011). Os principais minerais com concentrações significativas de ETR são monazita, xenotima, bastnaesita e argilas enriquecidas em ETR por adsorção iônica (Lima, 2012). Aproximadamente 95% dos óxidos de Terras Raras (OTR) são extraídos desses três minerais citados, como mostra a tabela 1, sendo a monazita e bastnaesita os principais minerais portadores de Terras Raras Leves (ETRL) e a xenotima de Terras Raras Pesados (ETRP) (Chepcanoff, 2006). As rochas que podem apresentar concentrações significativas desses minerais são principalmente rochas alcalinas, carbonatíficas e ácidas.

6.1.2 Média de teores de ETR em diferentes contextos geológicos.

Foram obtidas, a partir de trabalhos anteriores, médias de concentrações de ETR que foram utilizadas para fins comparativos, como na Formação Acampamento Velho (Tabela 2) e no Granito Felgueiras em Portugal (Tabela 3), este segundo, apresentando afinidades shoshonítica e alcalina similar às rochas da área de estudo e revelou conteúdos interessantes, principalmente em ETRL.

Tabela 2 - Média estimada de teores de ETR na Formação Acampamento Velho.

ETR	Média Ácidas		Média Inter. e Básicas	
	Teor (ppm)	Teor (%)	Teor (ppm)	Teor (%)
Y	76,45	0,00764	32,90	0,00329
Sc	3,96	0,00040	19,45	0,00195
La	73,08	0,00731	62,90	0,00629
Ce	129,66	0,01297	128,93	0,01289
Pr	15,23	0,00152	13,99	0,00140
Nd	60,36	0,00604	55,27	0,00553
Sm	11,20	0,00112	9,95	0,00100
Eu	0,77	0,00008	2,99	0,00030
Gd	11,37	0,00114	8,99	0,00090
Tb	2,13	0,00021	1,35	0,00013
Dy	12,93	0,00129	7,47	0,00075
Ho	2,89	0,00029	1,46	0,00015
Er	8,05	0,00081	4,10	0,00041
Tm	1,18	0,00012	0,60	0,00006
Yb	7,74	0,00077	3,64	0,00036
Lu	1,12	0,00011	0,55	0,00005

Fonte: extraído de Maturana (2015).

Tabela 3 - Teores de ETR no Granito Felgueiras em Portugal, comparado com teor médio da crosta continental superior indicados em Rudnick e Gao (2003).

TR	Teor médio crustal (ppm)	Granito (ppm)
La	31	124
Ce	63	233
Pr	7,1	25,7
Nd	27	93,1
Sm	4,7	13,8
Eu	1,0	2,53
Gd	4,0	8,20
Tb	0,7	1,10
Dy	3,9	5,40
Ho	0,83	0,90
Er	2,3	2,70
Tm	0,30	0,380
Yb	1,96	2,50
Lu	0,31	0,390

Fonte: extraído e modificado de Oliveira *et al.* (2016).

Outros três granitos foram estudados em Portugal, apresentando valores médios de ETR compreendidos entre os 77-139 ppm, 37-69 ppm, 15-71 ppm e 12-27 ppm (Dias *et al.*, 2010).

Com esse conjunto de dados referentes a teores de ETR nos diferentes contextos geológicos, pode-se estabelecer parâmetros para definição de eventuais anomalias encontradas. Estes dados mostram que realmente as rochas de afinidade geoquímica alcalina apresentam maiores teores de ETR.

7. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em três etapas principais. Foram identificados os tipos litológicos na área de estudo, coletadas quinze amostras de rocha e realizados vinte e dois pontos dentro da área. As amostras foram descritas macroscopicamente e foram realizadas treze lâminas que foram descritas e analisadas.

7.1 Pré-Campo

Foram estudados os trabalhos anteriores realizados na área de estudo, assim como os mapas disponibilizados. Através do software Google Earth™, obtiveram-se imagens de satélite da área de estudo com a finalidade de identificar previamente a geomorfologia da área, assim como, os melhores acessos e prováveis afloramentos.

7.2 Trabalho de Campo

O trabalho de campo foi concluído com uma campanha de três dias realizada no mês de junho de 2023, onde foram observadas e identificadas as principais litologias presentes na área, assim como, feita a coleta de amostras para as análises e descrições (Figura 6).

Figura 6 - Trabalho de campo em afloramento de lageado do pertita granito (esquerda) e coleta de amostra no monzogranito (direita).



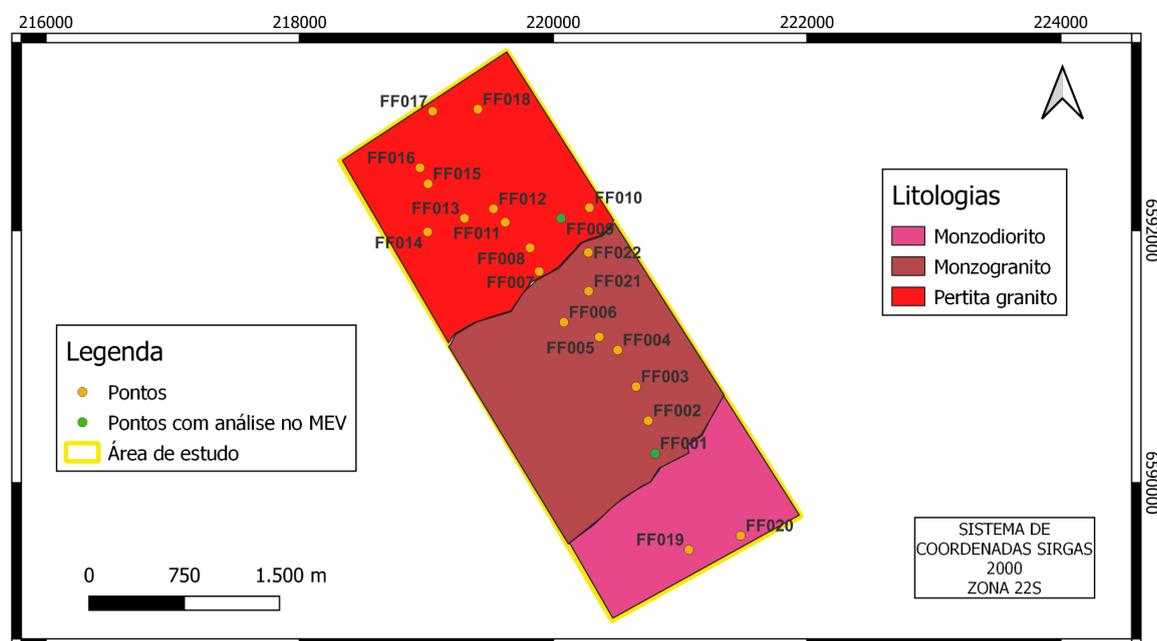
Fonte: autor

7.2.1 Mapeamento Geológico

Considerando a área de estudo de 7,25 km², foram realizados pontos e coletadas amostras a cada 250m aproximadamente, além de considerar as variações litológicas observadas. Com isso, foi realizado um perfil NW-SE, buscando evidenciar essas variações litológicas presentes na área (Figura 7). Foram utilizados em campo, para execução do mapeamento geológico, imagens

de satélite, carta topográfica, GPS, bússola, martelo, marreta, lupa de mão, câmera fotográfica e caderneta de campo.

Figura 7 - Mapa litológico da área de estudo com os pontos realizados.

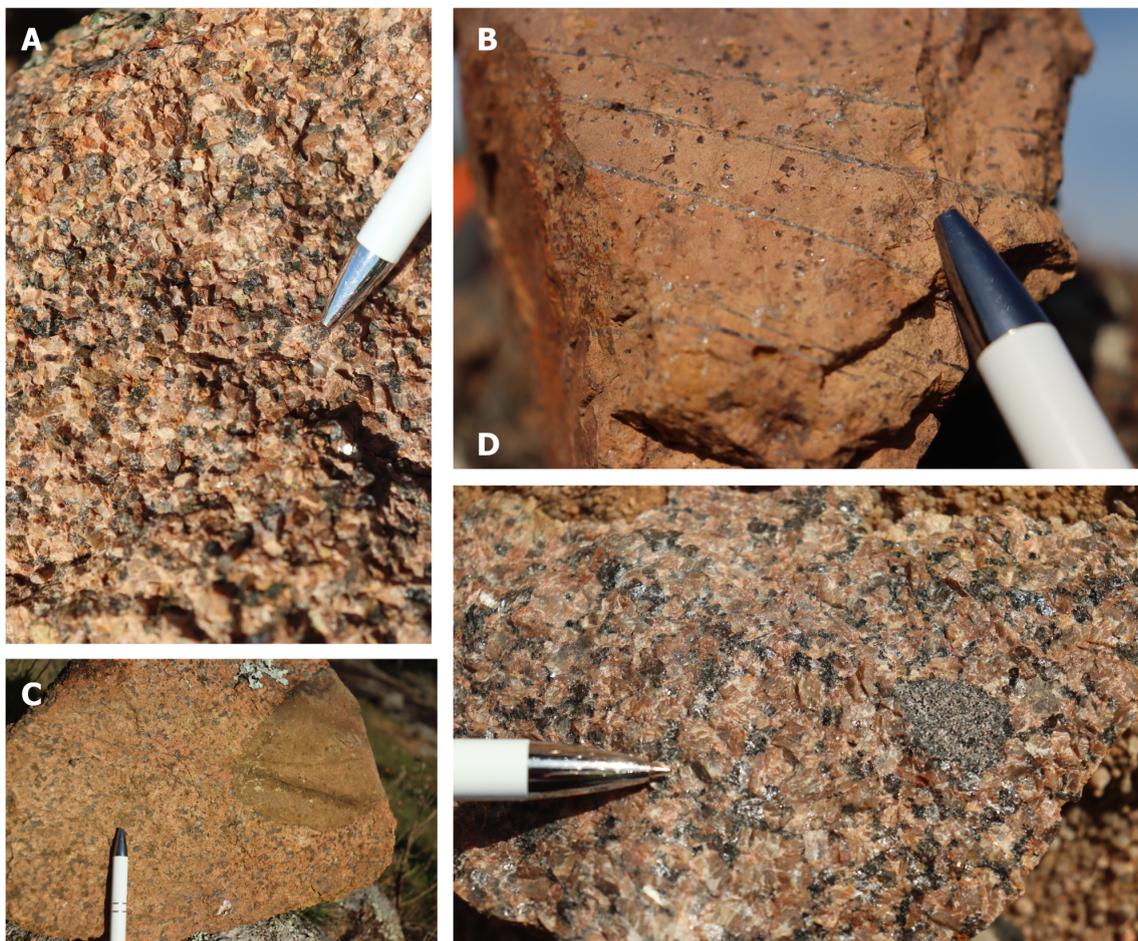


Fonte: autor.

7.2.2 Amostragem de Rocha

Com base nas dimensões da área de estudo, foram coletadas amostras de rochas buscando abranger espacialmente a área e evidenciar as variações litológicas presentes (Figura 8). Para essa etapa foram utilizados materiais como marreta, martelo e sacolas plásticas para armazenamento das amostras. Foi cedida pela empresa Amarillo Gold uma amostra coletada na área de estudo e que também foi analisada juntamente com as demais amostras.

Figura 8 - Fotografia de amostras de diferentes litologias. (A) Monzogranito alterado. (B) Riolito com pequenos veios de quartzo. (C) Pertita-granito com enclave máfico microgranular. (D) Pertita-granito com maior quantidade de máficos.



Fonte: autor

7.3 Pós-Campo

As atividades pós-campo podem ser divididas em 4 etapas:

7.3.1 Seleção, preparação e descrição de lâminas

As amostras de rocha coletadas nos trabalhos de campo foram selecionadas para laminação considerando aspectos de distribuição espacial, assim como variações litológicas. Foram selecionadas 13 amostras, as quais foram laminadas no Laboratório de Lavra, Planejamento e Tratamento de

Minérios (LATRAM) na UNIPAMPA. O estudo microscópico foi feito no Laboratório de Microscopia da UNIPAMPA, utilizando-se o microscópio binocular ECLIPSE 50i POL da marca Nikon.

7.3.2 Análise em MEV-EDS

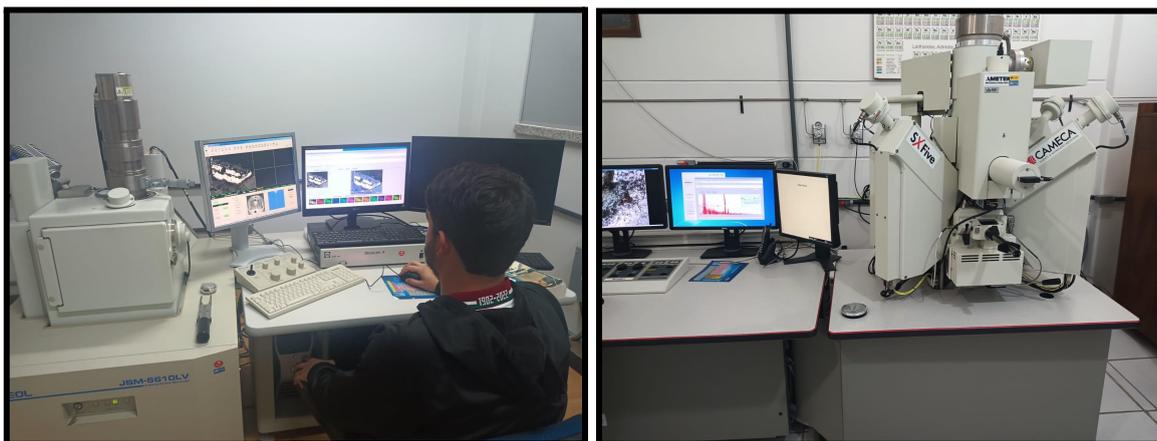
Para realização desta etapa, previamente foram selecionadas lâminas que apresentaram características e minerais interessantes para serem analisados no MEV. Assim foi possível determinar com maior exatidão os minerais analisados e, com análise de EDS, o conteúdo de ETR nestes minerais, além de observar microestruturas e texturas interessantes. Essas lâminas foram polidas e metalizadas no Laboratório de Preparação de Amostras, pertencente ao Laboratório de Geologia Isotópica do Departamento de Geociências da UFRGS, onde foram realizadas as análises do MEV-EDS no equipamento Jeol JSM-580 (Figura 9). O equipamento foi ajustado para que minerais com elementos pesados apresentassem maior brilho, destacando assim os minerais de interesse. Juntamente com as imagens do MEV, observam-se as principais análises de EDS feitas na imagem, apresentando a composição do ponto analisado. As análises completas podem ser visualizadas nos anexos A e B.

7.3.3 Análise em Microsonda Eletrônica

As lâminas selecionadas foram analisadas na Microsonda Eletrônica que, assim como o MEV-EDS, permite a identificação e caracterização química dos minerais, fornecendo uma estreita correlação entre a composição e a morfologia. Nesta etapa, as lâminas foram preparadas, pois é indispensável a metalização com Al, C ou Au, entre outros metais utilizando uma Metalizadora Jeol JEE 4B. Neste caso utilizou-se o carbono para metalizar a lâmina e posteriormente foram analisadas na Microsonda eletrônica Cameca SXFive (Figura 9). Essas etapas foram realizadas também no Laboratório de Geologia Isotópica do Departamento de Geociências da UFRGS. Os resultados obtidos na análise realizada na microsonda eletrônica foram utilizados para classificação dos minerais observados na lâmina. Apenas a lâmina PFF-009 foi analisada e não foi possível análise de elementos traços e como, no caso, o objetivo era quantificar os ETR,

foi feita a análise dos elementos maiores e posteriormente utilizado o programa *GCDKit Mineral* para classificar os minerais e plotar em seus respectivos diagramas.

Figura 9 - À esquerda, equipamento Jeol JSM-58 (MEV-EDS). À direita, equipamento Cameca SXFive (Microsonda).



Fonte: autor

7.3.4 Elaboração de tabelas e diagramas

Com base nos resultados obtidos nas análises de MEV-EDS e Microsonda eletrônica, que determinam as quantidades dos elementos presentes nos minerais analisados, foram realizados diagramas e tabelas buscando analisar o comportamento desses elementos, focando nos ETR.

8. RESULTADOS

A partir da realização das etapas de campo, foram identificados três tipos litológicos na área de estudo. Foram coletadas quinze amostras de rocha e realizadas treze lâminas. Foram realizadas as análises petrográficas e as análises no MEV e Microsonda. Os resultados obtidos, evidenciaram a existência de minerais com concentrações consideráveis de ETR.

8.1 Petrografia Microscópica

As análises petrográficas permitiram a identificação da maior parte dos minerais formadores das rochas, minerais estes que eram esperados neste tipo litológico (Figura 10). Foram observados como minerais principais da rocha: plagioclásio, ortoclásio, quartzo, anfibólio e biotita (Tabela 4). Os minerais acessórios identificados foram: titanita, zircão, apatita, allanita, barita e óxidos de ferro. Alguns desses minerais acessórios só foram identificados no MEV, como as apatitas, que apresentam tamanhos pequenos para serem observadas em microscópio petrográfico e os opacos como os óxidos de ferro.

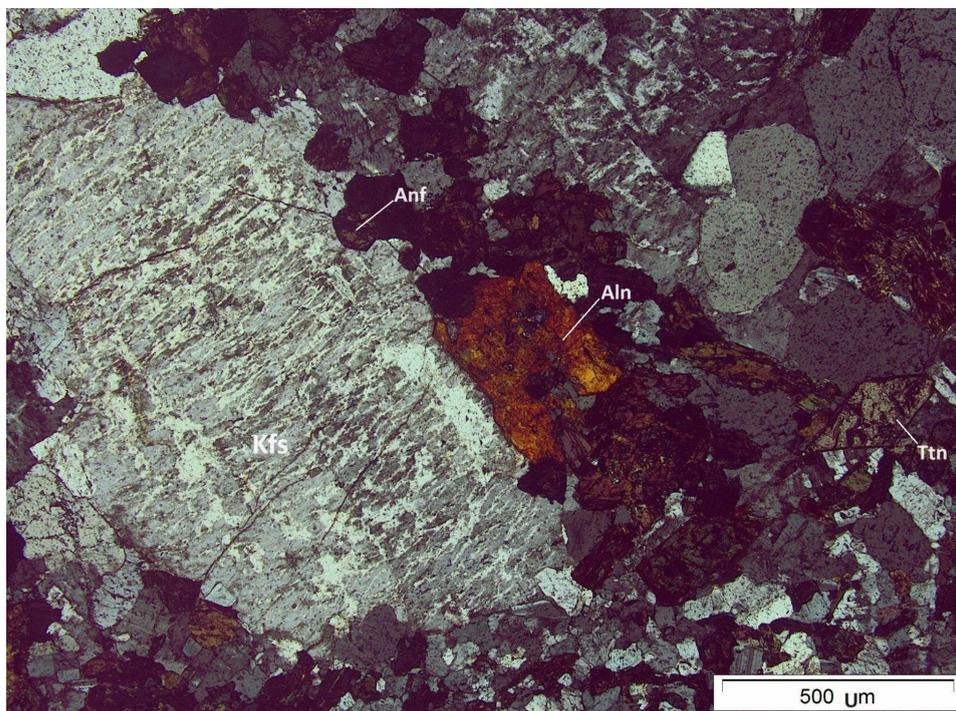
Tabela 4 - Composição modal dos principais minerais identificados no microscópio petrográfico.

Composição Modal (%)	Lâminas	
	PFF-001	PFF-009
Plagioclásio	30	25
K-feldspato	30	35
Anfibólio	5	7
Biotita	5	7
Quartzo	25	21
Acessórios e opacos	5	5

Fonte: autor

Figura 10 - Fotomicrografia com luz polarizada de minerais da lâmina PFF-009.

Aln=allanita, Anf=anfibólio, Kfs=K-feldspato, Ttn=titanita.



Fonte: autor

Observa-se na figura 10 um grão de K-feldspato apresentando textura pertítica, que consiste em uma estrutura intercalar de duas fases distintas: uma fase mais clara, que geralmente é ortoclásio (feldspato potássico), e uma fase mais escura, que é geralmente plagioclásio (feldspato sódico-cálcico). Pode-se observar o grão de allanita com coloração laranja escuro, contendo como inclusões grãos de zircão e torita. Observa-se também uma titanita euédrica com sua forma losangular característica.

8.2 Resultados MEV-EDS

Foram selecionadas quatro lâminas para serem analisadas no MEV-EDS, considerando principalmente as diferentes litologias encontradas na área de estudo. Portanto, foram analisadas duas amostras de granitos (PFF-001) e (PFF-009), sendo uma do monzogranito referente ao núcleo do CILS e uma do pertita-granito, localizado na borda. Foram também analisadas mais duas amostras, um riolito (PFF-17a) e um aplito (PFF-13a) que se apresentavam em forma de dique, cortando o pertita-granito.

Dentre as espécies minerais observadas nesta etapa, potenciais concentradores de ETR, destacam-se a torita, barita, allanita e apatita, descritas abaixo.

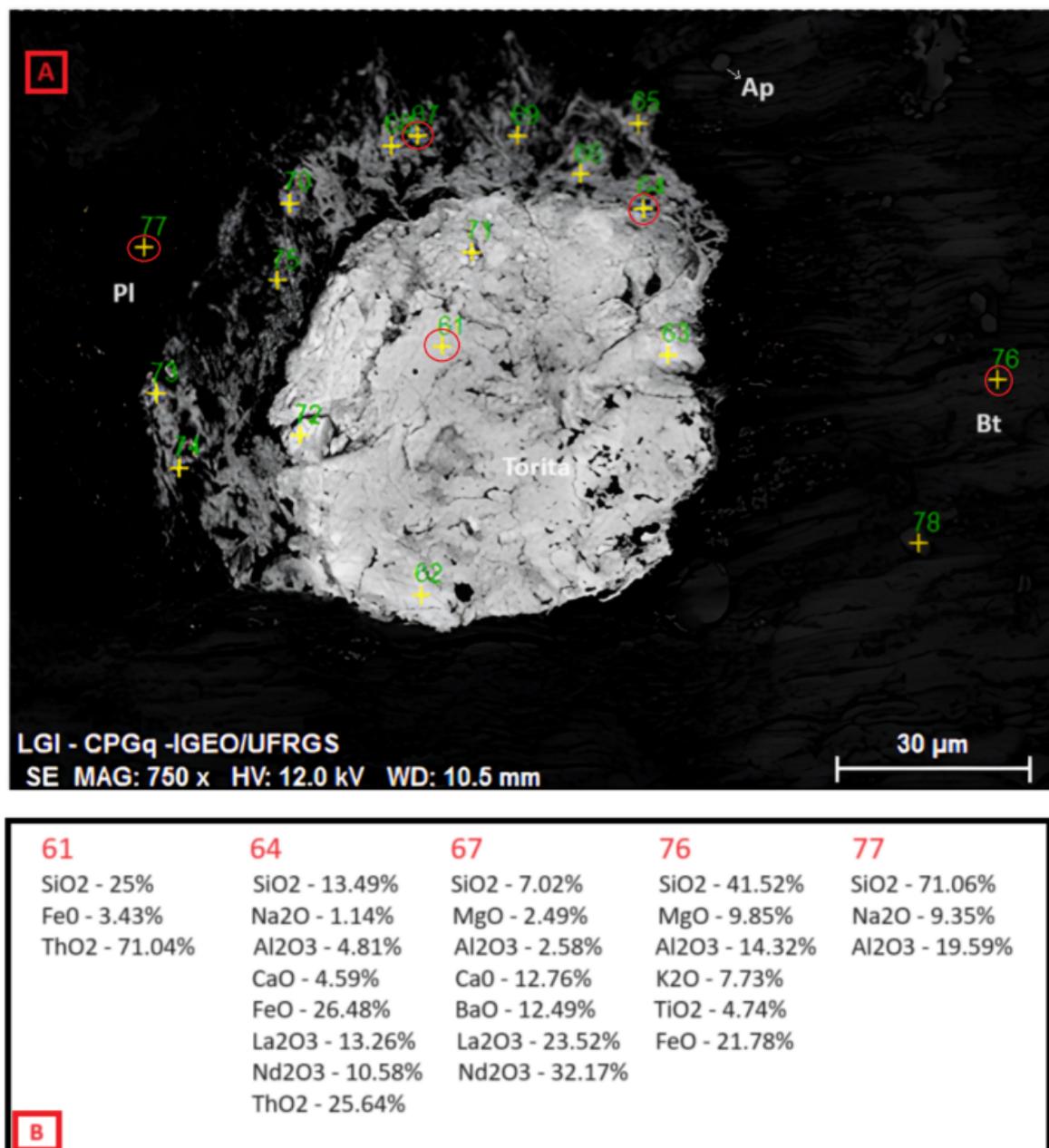
8.2.1 Monzogranito

Observa-se abaixo as análises do MEV-EDS da lâmina PFF-001, referente ao monzogranito localizado no núcleo do CILS, onde foram identificados minerais com altas concentrações de ETR, principalmente ETRL. Esses minerais apresentam feições características e estão aparentemente associados a outros minerais. No caso desta lâmina, chama a atenção a presença significativa de torita (Fig. 11), que não é um mineral comum de se encontrar e que pode ser produto do hidrotermalismo, já registrado na região em outros trabalhos.

8.2.1.1 Torita

A fórmula química geral da torita é ThSiO_4 , indicando que é um silicato de tório. Este é um dos principais minerais de tório, um elemento radioativo, que ocorre em ambientes geológicos específicos. A torita pode ser encontrada em rochas ígneas, metamórficas e em depósitos aluviais. O tório, apesar de não pertencer ao grupo dos lantanídeos, apresenta grande afinidade com os ETR, por isso é comum a torita apresentar teores de ETR em sua composição.

Figura 11 - Imagem de BSE na lâmina PFF-001, de torita (A) com as análises de EDS (B).

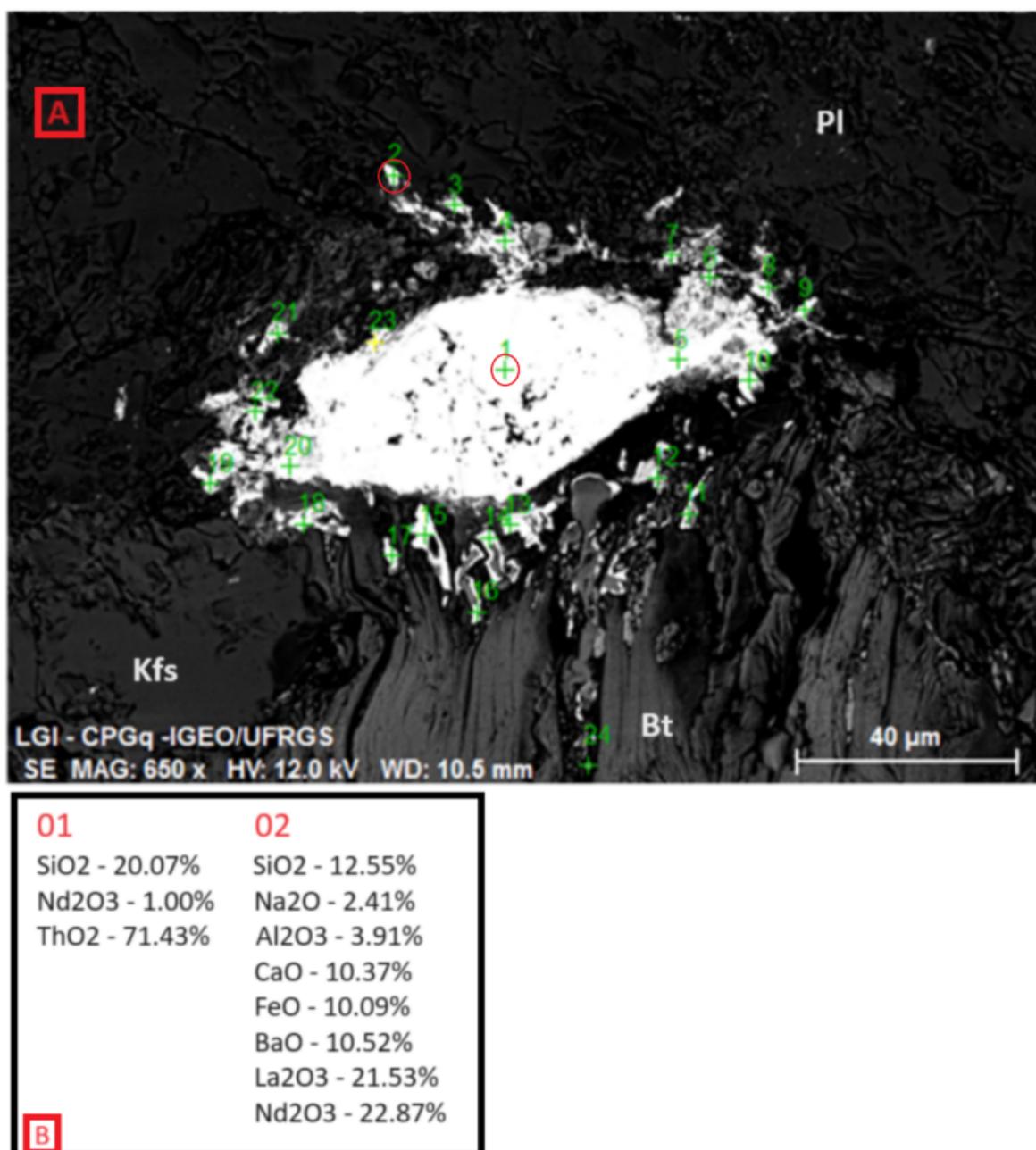


Fonte: autor

É possível observar na figura 11 o mineral torita, apresentando uma espécie de “coroa” no seu entorno. Nessa “coroa” de alteração estão concentrados os ETR, principalmente alguns ETRL como lantânio e neodímio, como mostram as análises de EDS. Chama a atenção essa textura no entorno da Torita, se assemelhando a uma textura de exsolução. Foram observadas na lâmina pelo menos cinco toritas e todas apresentaram essas características, o

que sugere que as concentrações de ETR podem estar associadas a este mineral. A figura 12 ilustra outra torita e suas concentrações de ETR no entorno.

Figura 12 - Imagem de BSE na lâmina PFF-001, de torita (A) com as análises de EDS (B).

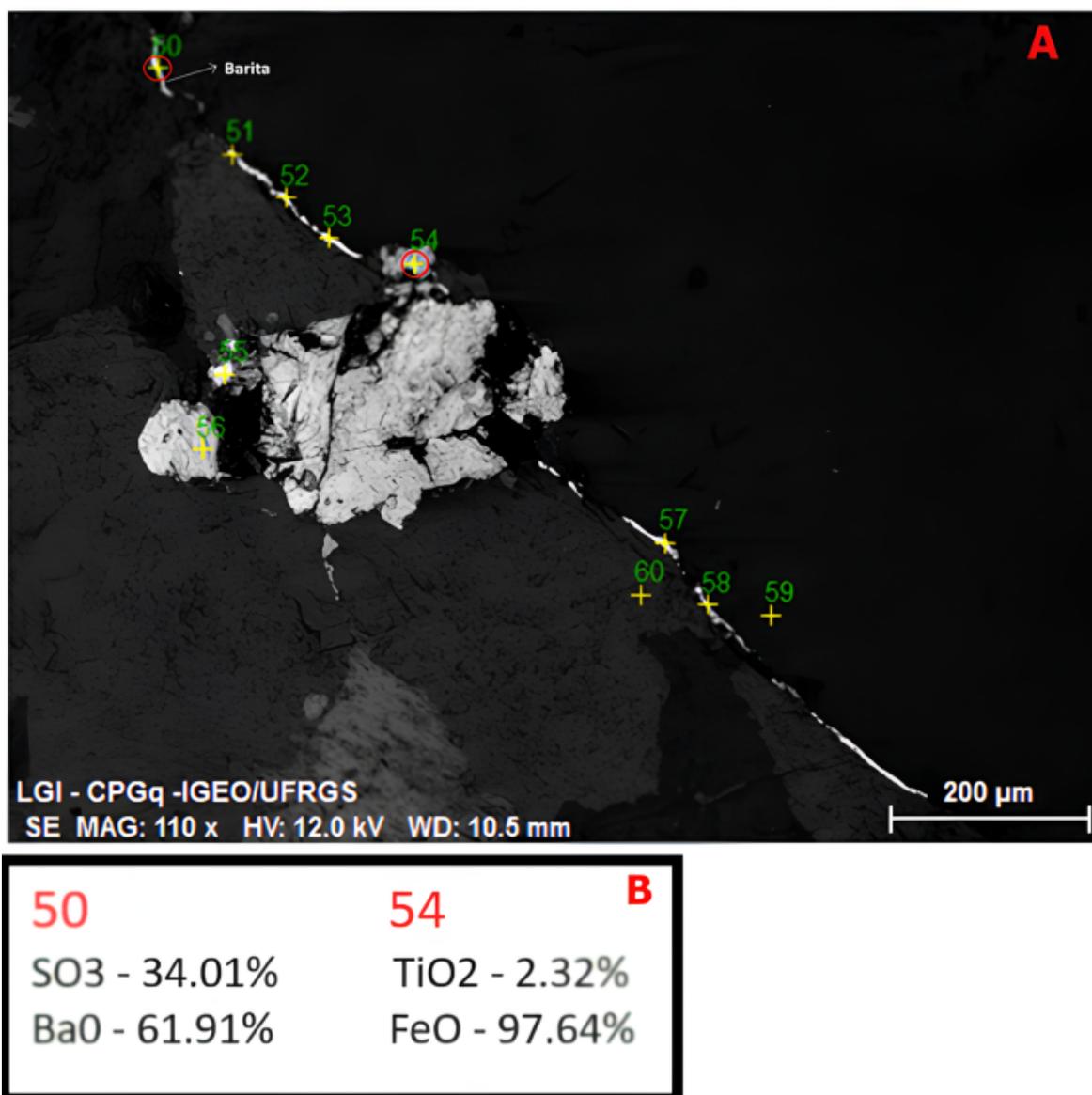


Fonte: autor

Observa-se nas figuras 11 e 12 que a torita se encontra posicionada entre o contato de minerais, nos casos acima, entre plagioclásio e biotita. Foi observado na lâmina que as fraturas e contatos entre os minerais estão muitas

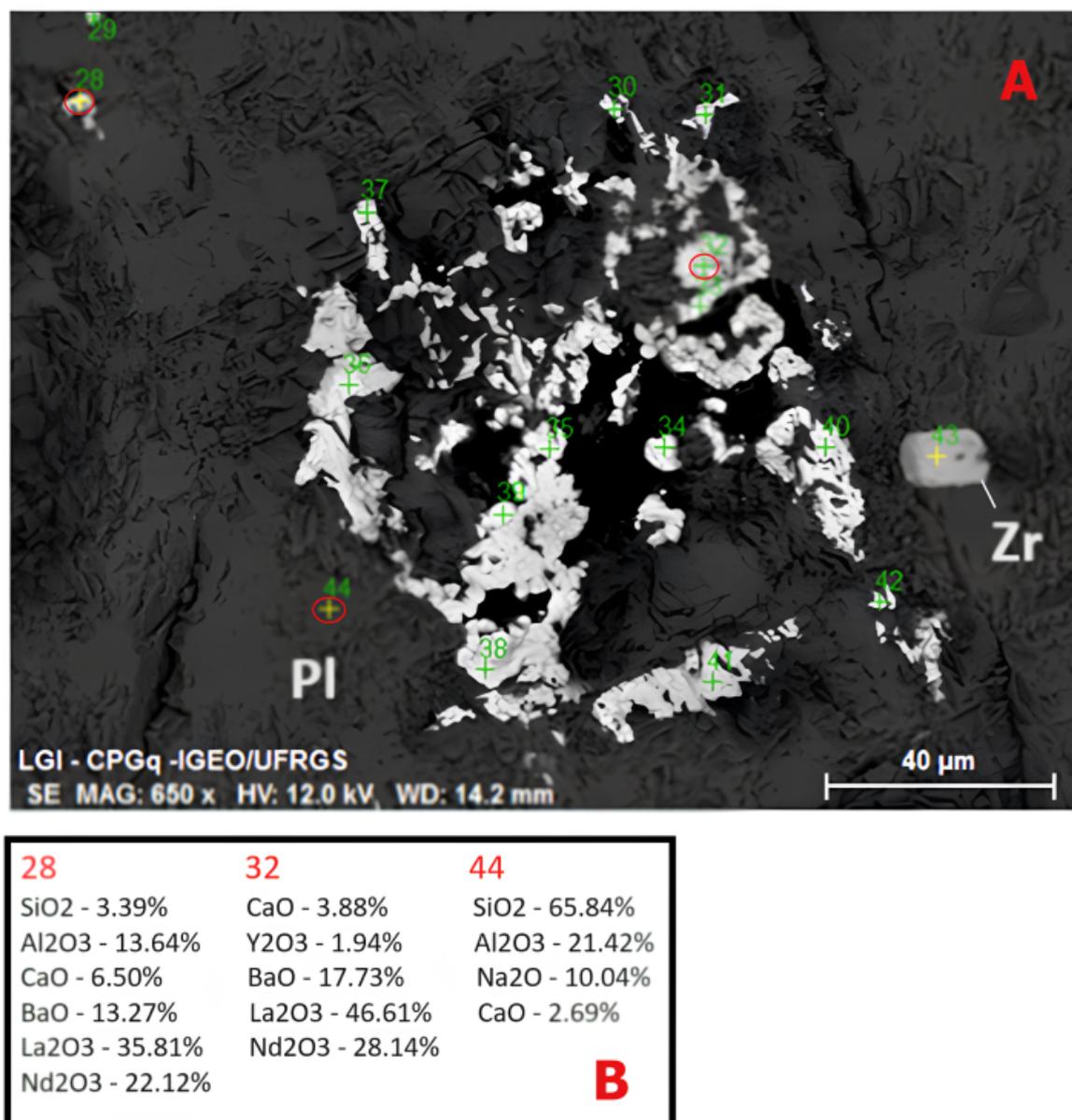
vezes preenchidos por barita (Fig. 13), que é um mineral frequentemente associado a ambientes hidrotermais, o que novamente sugere que houve um fluido hidrotermal que atuou nessa rocha, transportando e remobilizando elementos e conseqüentemente alterando e formando minerais. Na figura 14 pode-se observar um plagioclásio apresentando minerais com ETR que aparentemente preenchem espaços ou são produtos de alteração.

Figura 13 - Imagem BSE na lâmina PFF-001, de Barita e Óxido de ferro (A) e análise EDS (B).



Fonte: autor

Figura 14 - Imagem BSE na lâmina PFF-001, de mineral de ETR (A) e análise EDS (B).



Fonte: autor

8.2.1.2 Barita

A barita é um mineral composto principalmente por sulfato de bário (BaSO₄). É um mineral relativamente comum e pode ser encontrado em uma variedade de ambientes geológicos, incluindo veios hidrotermais, depósitos sedimentares e associações com rochas ígneas e metamórficas. (Deer, W., 2013).

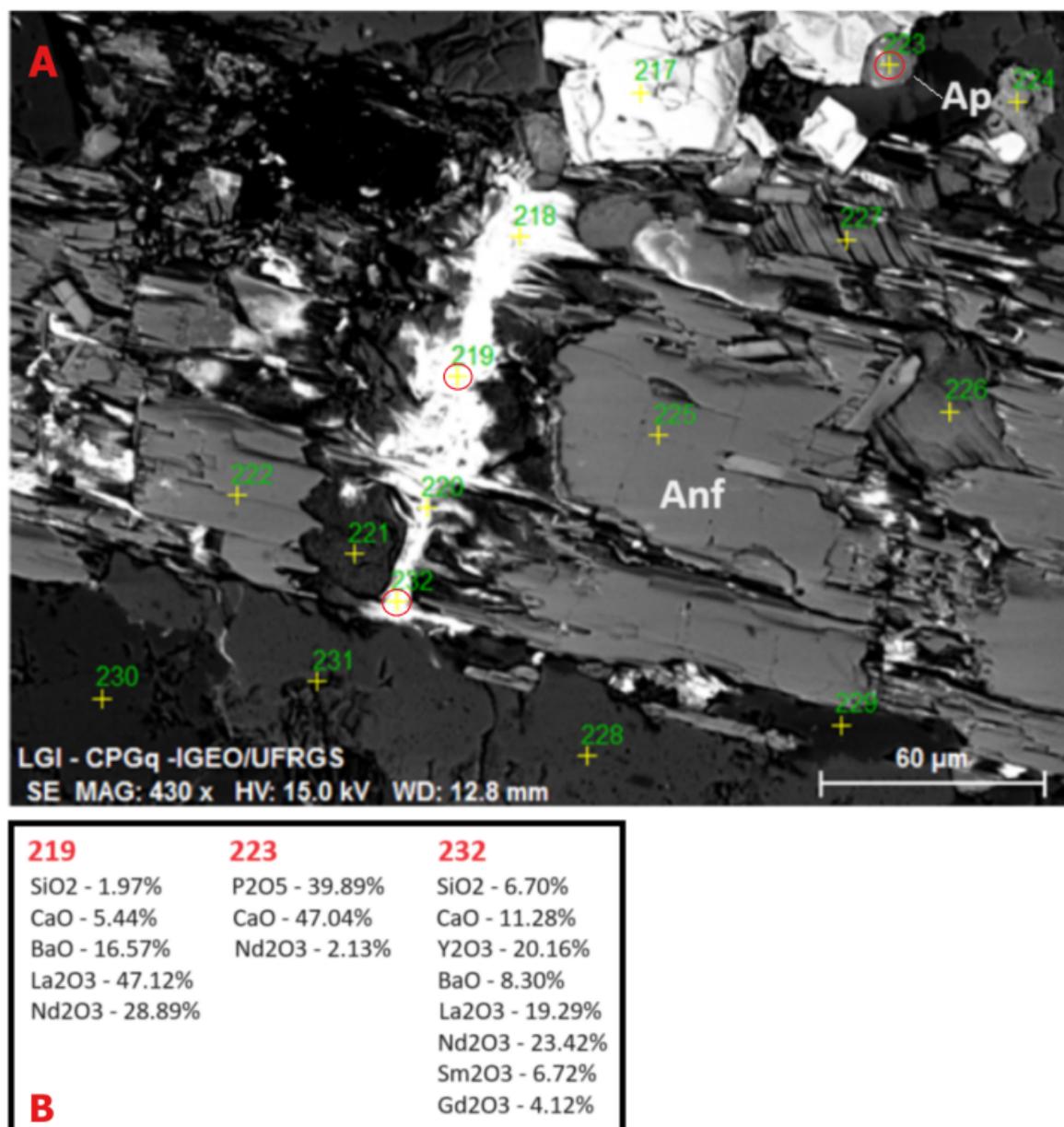
8.2.2 Pertita granito

Pode-se observar abaixo as análises realizadas na lâmina PFF-009, referente ao pertita-granito situado na borda do CILS. Assim como na lâmina PFF-001, foram identificados minerais com concentrações de ETR. Nesta análise foi possível observar novamente a presença de torita com concentrações de ETR associadas a este mineral, porém só foi identificado um exemplar de torita. Foram observadas algumas apatitas com pequenos teores de ETR (Figura 15). Chama a atenção nesta lâmina a presença de allanita, um mineral que comumente apresenta ETR em sua composição (Figura 16).

8.2.2.1 Allanita

A allanita é um mineral pertencente ao grupo dos silicatos e à classe dos nesossilicatos. Sua fórmula química geral é $(Ca, Ce, La, Y)_2(Al, Fe)_3(SiO_4)_3(OH)$, indicando a presença de cálcio (Ca), cério (Ce), lantânio (La), ítrio (Y), alumínio (Al), ferro (Fe), silício (Si) e oxigênio (O, OH). É frequentemente encontrada em rochas ígneas, especialmente em granitos e sienitos, e também em rochas metamórficas como gnaisses. (Deer, W., 2013).

Figura 15 - Imagem BSE na lâmina PFF-009, de anfibólio com fratura preenchida por mineral com concentração de ETR (A) e análise EDS (B). Anf=anfibólio, Ap=apatita.



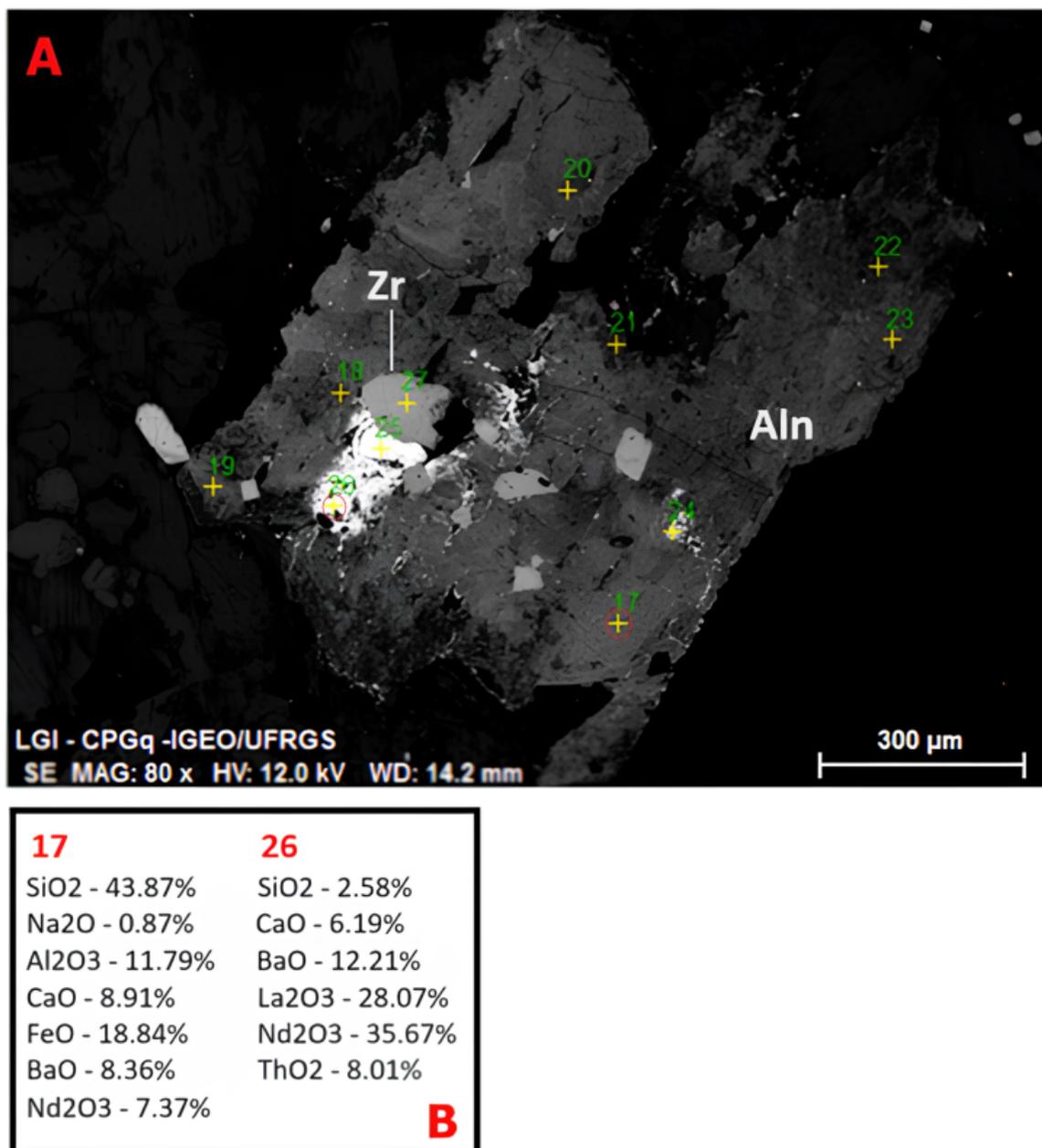
Fonte: autor

8.2.2.2 Apatita

A apatita é um fosfato de cálcio e sua fórmula química geral é $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl},\text{OH})$, podendo apresentar ETR em sua composição. É encontrada em uma variedade de ambientes geológicos, incluindo pegmatitos, carbonatitos, rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. É um componente comum em

rochas ígneas como granitos e sienitos, bem como em fosforitos sedimentares. (Deer, W., 2013).

Figura 16 - Imagem BSE de Allanita (A) e análises de EDS (B). Aln=allanita, Zr=zircão.

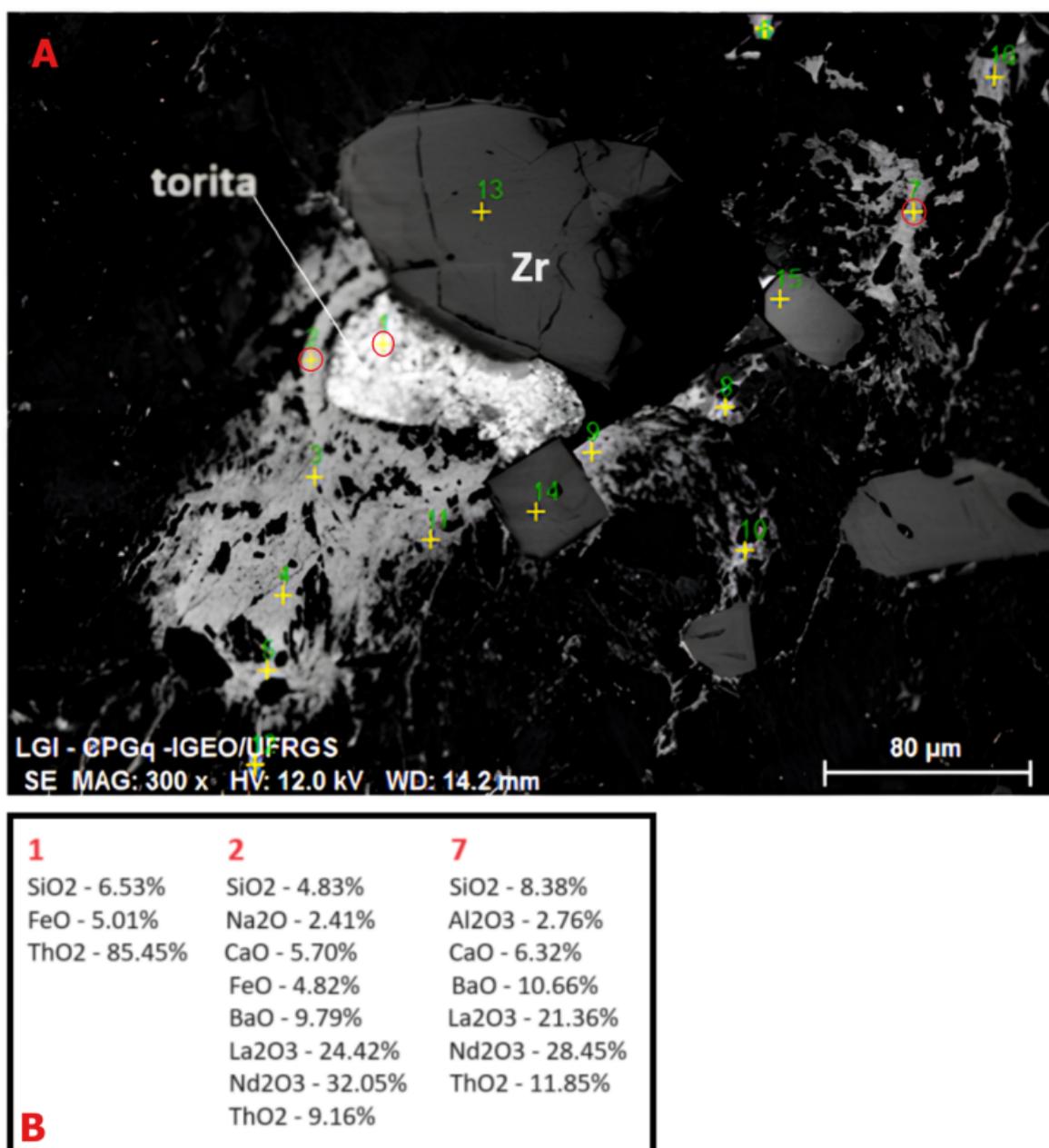


Fonte: autor

Na figura 16 é possível observar uma allanita com dimensões de aproximadamente 1mm de comprimento em seu eixo maior. Apresentam-se inclusos na allanita alguns grãos de zircão e uma torita. Novamente observa-se

no entorno da torita e em algumas porções da allanita um concentrado de ETRL, apresentando uma textura característica e uma forma dendrítica que sugere algum tipo de alteração hidrotermal, havendo preenchimento de espaços por fluidos que precipitaram esses minerais que concentram os ETRL.

Figura 17 - Imagem de BSE de torita (A) e análises de EDS (B).



Fonte: autor

8.3 Resultados da Microsonda Eletrônica

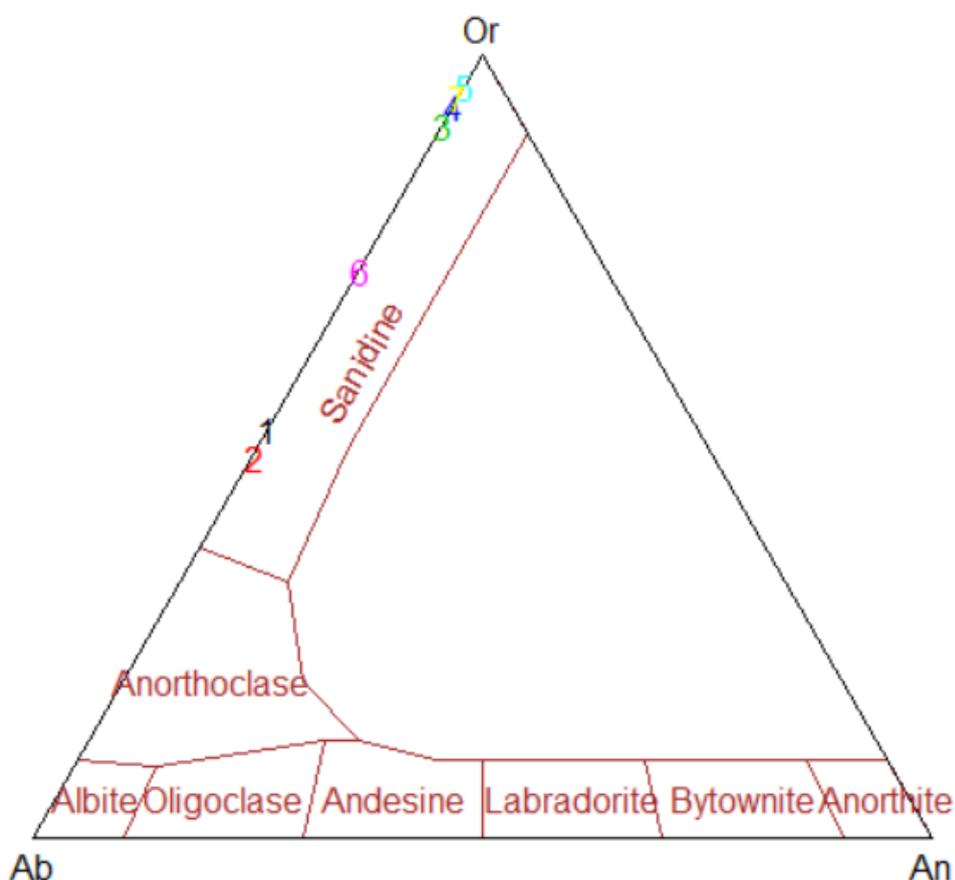
A partir dos resultados obtidos na microsonda, foi possível a classificação dos minerais analisados e plotados em seus respectivos diagramas. As análises, com as porcentagens composicionais, estão contidas no ANEXO C.

Os feldspatos potássicos, como mostra a figura 18, foram classificados como ortoclásio em sua maioria. Esses resultados correspondem com o tipo litológico do local onde foi coletada a amostra, que se trata do pertita-granito, uma rocha intrusiva félsica de caráter alcalino onde é comum a presença desses minerais.

Os plagioclásios foram classificados como albita em sua totalidade (Figura 19), o que também já era esperado nesse tipo de litologia.

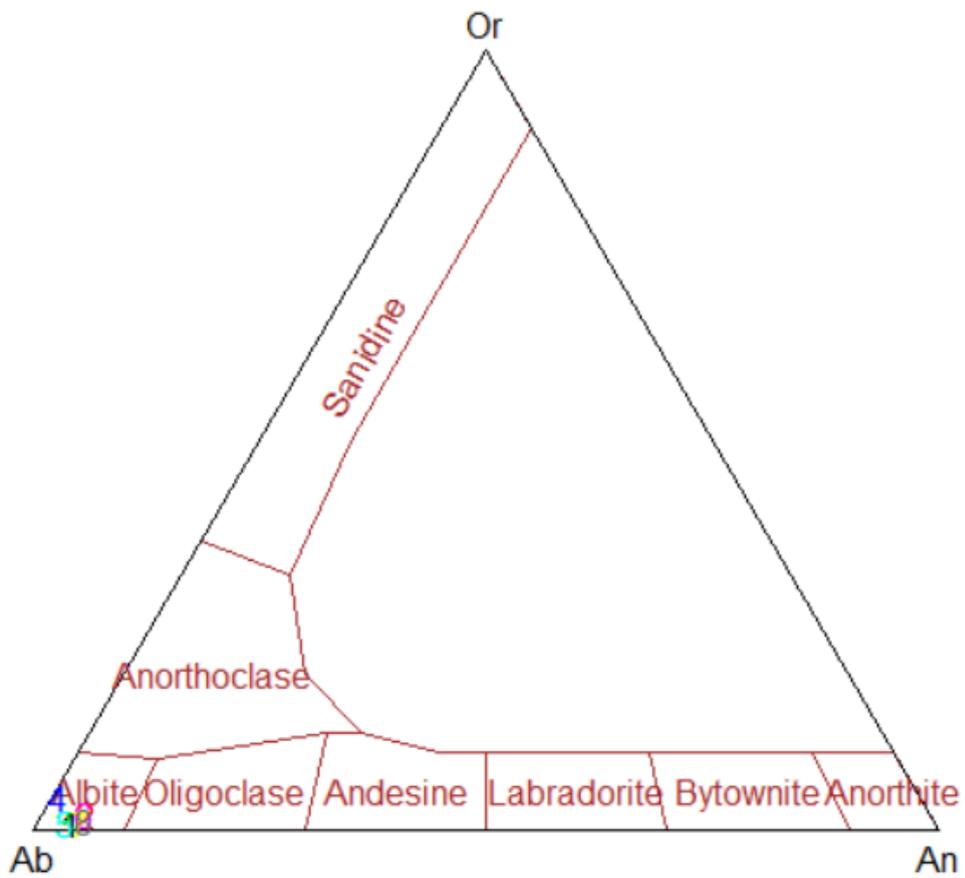
Os anfibólios foram classificados como ferro-hornblenda em sua grande maioria, apenas com um grupo se aproximando de ferro-actinolita (Figura 20).

Figura 18 - Classificação dos feldspatos potássicos analisados na microsonda.



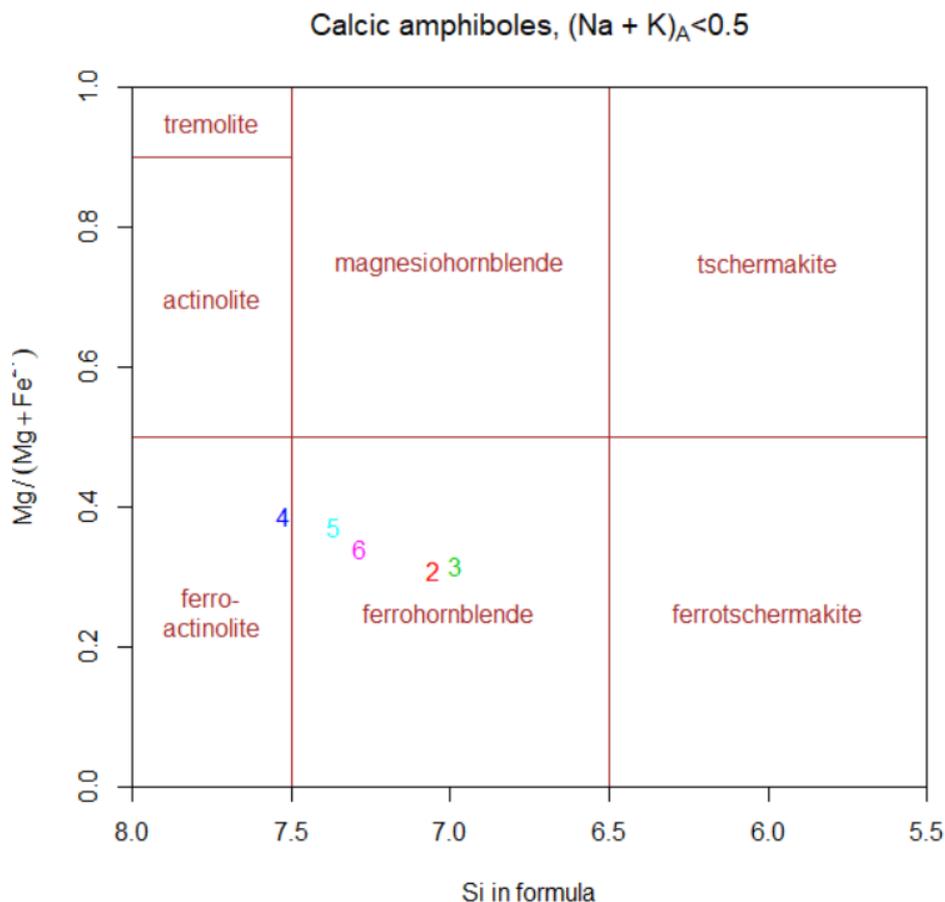
Fonte: autor

Figura 19 - Classificação dos plagioclásios analisados na microsonda.



Fonte: autor

Figura 20 - Classificação dos anfibólios analisados na microsonda.



Fonte: autor

9. DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Complexo Intrusivo Lavras do Sul foi e continua sendo alvo de vários estudos e pesquisas, muito devido às suas mineralizações de ouro, cobre e outros metais. Ficou evidenciado em alguns destes trabalhos que um dos principais processos que proporcionaram as concentrações de metais nesta região foi a atuação de um sistema hidrotermal sobre as rochas ali presentes. O hidrotermalismo teria atuado alterando e formando minerais, assim como transportando e remobilizando elementos químicos que acabaram concentrados na estrutura de minerais ou mesmo precipitando em veios.

Os resultados obtidos neste trabalho revelam que esse sistema hidrotermal também afetou consideravelmente as concentrações de ETR, principalmente ETRL em algumas porções do CILS. A área de estudo foi previamente

determinada sem que fosse considerado este ambiente hidrotermal, e sim, considerou-se o caráter alcalino das litologias ali presentes. Devido a configuração litológica do CILS, que apresenta um núcleo de composição shoshonítica e bordas de caráter alcalino, esperava-se que as rochas situadas nas bordas, classificadas como pertita-granitos apresentassem minerais mais interessantes no que se refere a ETR. Foram identificados também diques riolíticos e aplíticos que, por serem mais tardios, poderiam apresentar minerais com concentrações de ETR ainda mais expressivas. Porém os resultados evidenciam que as rochas localizadas mais próximas ao núcleo do CILS apresentam minerais com maiores teores de ETR. Já nos riolitos e aplitos, não foi identificado nenhum mineral sequer com ETR. Isso faz com que a hipótese de que as concentrações de ETR presentes no monzogranito e no pertita-granito estão estreitamente relacionadas com o hidrotermalismo que atuou no local. Os minerais encontrados como allanita, torita e barita são frequentemente relacionados a ambientes hidrotermais e, as concentrações de ETR estão evidentemente associadas a estes minerais. Não foi possível classificar com exatidão quais são os minerais que apresentam altos teores de ETR, isso porque há uma grande variação composicional, além de não apresentarem uma forma definida, apresentando-se de forma dendrítica, o que reforça a sugestão de que podem ser produtos de precipitação de fluidos que acabaram preenchendo as fraturas e espaços da rocha. Na seção 8.2 é possível observar que os minerais que apresentam as maiores concentrações de ETR podem ser silicatos em alguns casos e carbonatos em outros. No caso dos silicatos, a torita e a allanita foram possíveis de classificar, porém alguns outros apresentam maior semelhança composicional com minerais como eudialita e cerita. As análises mostram que alguns destes minerais de ETR não apresentam SiO_2 e P_2O_5 em sua composição, isto é, não são silicatos nem fosfatos, o que nos sugere que se tratam de carbonatos. Como o carbono foi utilizado para metalizar a lâmina, não foi possível quantificar este elemento nas análises, porém tratando-se de carbonatos com a composição analisada, são sugeridos minerais como a bastnasita, donnayita e ainda, a ancilita, que é um carbonato-silicato.

Com as evidências de que existem quantidades significativas de minerais com altas concentrações de ETR, principalmente ETRL no CILS, e considerando que o hidrotermalismo foi o principal agente concentrador destes ETR em

diferentes minerais, este trabalho sugere esta área de estudo como alvo para futuros trabalhos. Análises de geoquímica de rocha total podem revelar a real contribuição destes minerais com ETR nos teores totais da rocha. Outra sugestão é o melhor entendimento sobre os tipos de alterações hidrotermais presentes no CILS, buscando analisar a origem dos fluidos e suas composições. Isso permitiria sugerir a fonte destes elementos, se são oriundos do magma primário, ou seja, já estavam presentes na rocha e foram remobilizados e concentrados pela atuação dos fluidos hidrotermais ou se esses fluidos tardios foram a fonte desses elementos que reagiram com a rocha, alterando e formando minerais.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M. de, HASUI, Y., BRITO NEVES, B.B. **The upper precambrian of South America**, Boletim IG-USP, v. 7, p. 45-80. 1976.

ALMEIDA, R. P. **Tectônica e sedimentação do Ediacarano ao Ordoviciano: exemplos do Supergrupo Camaquã (RS) e do Grupo Caacupé (Paraguai oriental)**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2005.

BONGIOLO, E.M. **Mineralização de ouro da região de Lavras do Sul/RS e alteração associada**. Porto Alegre. 131p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

BONGIOLO, E. M., MEXIAS, A. S. SANTOS, J. O. S., HARTMANN, L. A., CONCEIÇÃO, R. V., GOMES, M. E. B., FORMOSO, M. L. L. **Geocronologia do hidrotermalismo versus magmatismo no Distrito Aurífero de Lavras do Sul**. In: SBG, Encontro Estratigrafia do Rio Grande do Sul: Escudo e Bacias, 1. Anais..., p. 83-88, 2003.

CHEMALE JR., F. **Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense**. In: HOLZ, M.; De ROS, L. F. (eds.). *Geologia e Estratigrafia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Editora Gráfica da UFRGS. P. 03-44, 2000.

CHEPCANOFF, V. **Desenvolvimento de uma metodologia para a separação de samário e európio a partir de mistura de óxidos de Terras Raras por redução eletroquímica/precipitação**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2006.

DEER, W. A., HOWIE, R. A., & ZUSSMAN, J. (2013). **An Introduction to the Rock-Forming Minerals**. Mineralogical Society of Great Britain and Ireland.

DIAS, G. *et al.* **Geocronologia e petrogênese do plutonismo tardi-Varisco (NW de Portugal): síntese e inferências sobre os processos de acreção e reciclagem crustal na Zona Centro-Ibérica**. In: Coteló Neiva, J. M., Ribeiro, A., Victor, M., Noronha, F., Ramalho, M. (Eds.) *Ciências Geológicas, Ensino, Investigação e sua história*, 1, Geologia Clássica, Associação Portuguesa de Geólogos, 679, 2010.

ELSNER, H.,. **Assessment Manual – Heavy Minerals of Economic Importance**, BGR, Hannover, 218, 2010.

GASTAL, M. C. P. & LAFON, J. M., **Gênese e evolução dos granitóides metaluminosos de afinidade alcalina da porção oeste do Escudo**

Sul-riograndense: geoquímica e isótopos de Rb-Sr e Pb-Pb. Rev. Bras. Geoc. 28(1), 11-28, 1998.

GASTAL, M. C. P., LAFON, J.M., HARTMANN, L., KOESTER, E. **Sm-Nd isotopic investigation of Neoproterozoic and Cretaceous igneous rocks from southern Brazil:** a study of magmatic processes. *Lithos*, 82:345-377. 2005.

GASTAL, M. C. P.; LAFON, J. M. FERREIRA, F. J. F.; MAGRO, J. F. U. REMUS, M. V. D.; SOMMER, C. A. **Reinterpretação do Complexo Intrusivo Lavras do Sul, RS, de acordo com os sistemas vulcano-plutônicos de subsidência.** Parte I: geologia, geofísica e geocronologia (207Pb/ 206Pb e 206Pb/238U). Revista Brasileira de Geociências, 36(1): 109-124, 2006.

GOONAN, T.G. **Rare earth elements—End use and recyclability.** U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2011–5094, 15 p. 2011.

HAMPEL, C. A.; HAWLEY, G. C., **The Encyclopedia of Chemistry**, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1182, 1973.

HARTMANN, L. A.; CHEMALE JR, F. & PHILIPP, R. P. **Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano.** In: Frantz, J. C. & Iannuzzi, R. 2007. 50 Anos de Geologia: Instituto de Geociências. Contribuições, Porto Alegre, Editora Comunicação e Identidade, p. 97-123. 2007.

HASUI, Y. **Sistema orogênico Mantiqueira.** Hasui, Y., Carneiro, CDR, Almeida, FFM, Bartorelli, A., Geologia do Brasil, primeira edição. São Paulo, Beca Editora, 331-374. 2012.

JOST, H. & HARTMANN, L.A. **Província Mantiqueira – Setor Meridional.** In: ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y. (coords.). O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo, Edgard Blücher. p. 345-368. 1984.

LEITE, J. A.D. **Datação SHRIMP U/Pb em Zircões e o Exemplo de Dois Corpos Graníticos Contrastantes no Escudo Sul-Riograndense.** In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 6/ ENCONTRO DO CONE SUL, 1. 1995. Anais... Porto Alegre. SBG. p. 5-12. 1995.

LEITE, J. A. D.; HARTMANN, L. A.; MCNAUGHTON, N. J. & CHEMALE JR., F. **SHRIMP U/Pb Zircon Geochronology of Neoproterozoic Juvenile and Crustal-reworked Terranes in Southernmost Brazil.** International Geological Review, 40:688-705. 1998.

LIMA, P. C. R. **Terras Raras: Elementos Estratégicos Para o Brasil.** Brasília-DF: Consultoria Legislativa. 2012.

MATURANA FILHO, S.R. **Diagnóstico e caracterização das concentrações de elementos terras raras na região central do escudo sul-riograndense, estado do Rio Grande do Sul.** Trabalho de conclusão (Graduação em Geologia), Universidade Federal do Pampa. Caçapava do Sul, 124p. 2015.

MEXIAS, A.S. **O sistema hidrotermal fóssil de Volta Grande - Lavras do Sul/RS.** Dissertação. (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 182 f. 1990.

MEXIAS, A. S. **Alteração Hidrotermal e Mineralização de Ouro Associada no Distrito Aurífero de Lavras do Sul/RS – A área do Bloco Butiá.** Porto Alegre. 360 f. Tese de doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2000.

MÖLLER, P. **Rare Earth Mineral Deposits and their Industrial Importance.** In: Lanthanides, Tantalum and Niobium, (ed) P. Möller, P. Cerny and F. Saupe. Society for Geology Applied to Mineral Deposits, Special Publication No 7, p. 171-188. 1989.

MORALES, B.A.A. **Petrologia do Carbonatito Passo Feio, ênfase no comportamento dos ETR, Caçapava do Sul, RS.** Trabalho de conclusão (Graduação em Geologia), Universidade Federal do Pampa. 115p. 2017.

NARDI, L. V. S. **Geochemistry and Petrology of the Lavras Granite Complex, RS, Brazil.** Londres. Tese de Doutorado em Geociências, Department of Geology, University of London, 268p. 1984.

NARDI, L. V. S & LIMA, E. F. **O magmatismo shoshonítico e Alcalino da Bacia do Camaquã – RS.** In: Holz, M. & De Ros, L. F. (Eds). Geologia e Estratigrafia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Editora Gráfica da UFRGS. P 119-131. 2000.

OLIVEIRA, M.; MARTINS, H.C.B.; NORONHA, F. **Avaliação dos teores em terras raras num saibro do Granito de Felgueiras.** Comunicações Geológicas, 2016.

RAITH, M. M., RAASE, P. R., & REINHARDT, J. R. **Guide to thin section microscopy.** University of Bonn. 2011.

REED, S. J. B. **Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology.** Cambridge University Press. 2005.

REMUS, M. V. D.; MCNAUGHTON, N. J.; HARTMANN, L. A. & FLETCHER, I. R. **Zircon SHRIMP U/Pb and Nd Isotope Data of Granitoids of the São Gabriel**

Block, Southern Brazil: Evidence for an Archean/Paleoproterozoic Basement. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS 2, Salvador, Extended abstracts and Program, p.271-272. 1997.

REMUS, M. V. D.; HARTMANN, L. A.; MCNAUGHTON, N. J.; GROVES, D. I. & FLETCHER, I. R. **A Distal Magmatic-Hydrothermal Origin for the Camaquã Cu (Au-Ag) and Santa Maria Pb, Zn (Cu-Ag) Deposits, Southern Brazil.** Gondwana Research 3(2), 155-174. 2000.

RIBEIRO, M. **Informes sobre a Formação Maricá.** Iheringia, 9:1-84. (Série Geologia). 1983.

RIBEIRO, M.; FANTINEL, L.M. **Associações petrotectônicas do Escudo Sul-riograndense:** I- tabulação e distribuição das associações petrotectônicas do Escudo do Rio Grande do Sul. Iheringia, 5:19-54. (Série Geológica). 1978.

RUDNICK, R. L., GAO, S., **Composition of the continental crust.** Treatise on Geochemistry, Elsevier, 3: 1-64. 2003.

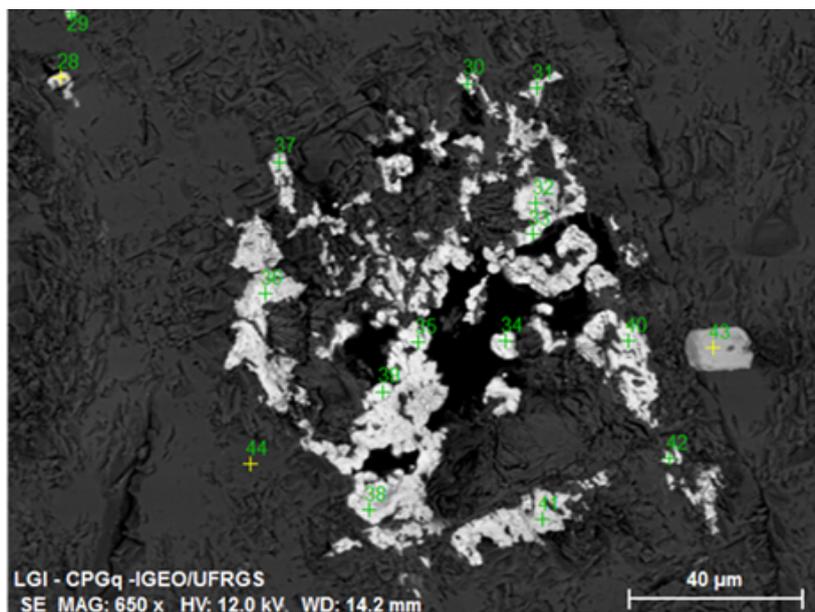
SOLIANI JR., E. **Os Dados Geocronológicos do Escudo Sul-riograndense e Suas Implicações de Ordem Geotectônica.** São Paulo.425 p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 1986.

STOCKES, D. **Principles and practice of variable pressure:** environmental scanning electron microscopy (VP-ESEM). John Wiley & Sons. 2008.

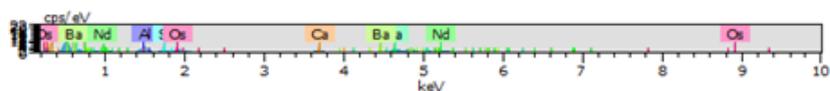
VERPLANCK, P. L., & VAN GOSEN, B. S. **Carbonatite and alkaline intrusion related rare earth element deposits—a deposit model.** US Geological Survey. 2011.

ANEXO A

Análises MEV-EDS lâmina PFF-001.



18146
 Date:1/30/2015 4:58:28 AM
 Image size:1500 x 1125
 Mag:650x
 HV:12.0kV



28 Date:1/30/2015 5:01:54 AM HV:12.0kV Puls th.:9.41kcps

El AN Series unkn. C norm. C Atom. C Compound Comp. C norm. Comp. C Error
 (1 Sigma)

	[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	[wt.%]
C 6 K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
O 8 K-series	13.97	19.90	57.87		0.00	0.00
Al 13 K-series	5.07	7.22	12.45	Al2O3	13.64	9.58
Si 14 K-series	1.11	1.58	2.63	SiO2	3.39	2.38
Ca 20 K-series	3.26	4.64	5.39	CaO	6.50	4.56
Ba 56 L-series	8.34	11.88	4.03	BaO	13.27	9.32
La 57 L-series	21.44	30.54	10.23	La2O3	35.81	25.15
Nd 60 L-series	13.32	18.97	6.12	Nd2O3	22.12	15.53
Os 76 M-series	3.70	5.27	1.29		5.27	3.70

Total:	70.22	100.00	100.00			

Spectrum: 29

El AN	Series	unn. C	norm. C	Atom. C	Compound	Comp. C	norm. Comp. C	Error (1 Sigma)
		[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	[wt.%]	[wt.%]
C 6	K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	
O 8	K-series	10.08	15.71	57.48		0.00	0.00	
Ca 20	K-series	3.13	4.88	7.13	CaO	6.83	4.38	
Y 39	L-series	6.06	9.44	6.22	Y2O3	11.99	7.69	
Ba 56	L-series	8.27	12.88	5.49	BaO	14.38	9.23	
La 57	L-series	21.46	33.46	14.10	La2O3	39.24	25.17	
Nd 60	L-series	15.16	23.63	9.59	Nd2O3	27.56	17.68	

Total:		64.15	100.00	100.00				

Spectrum: 30

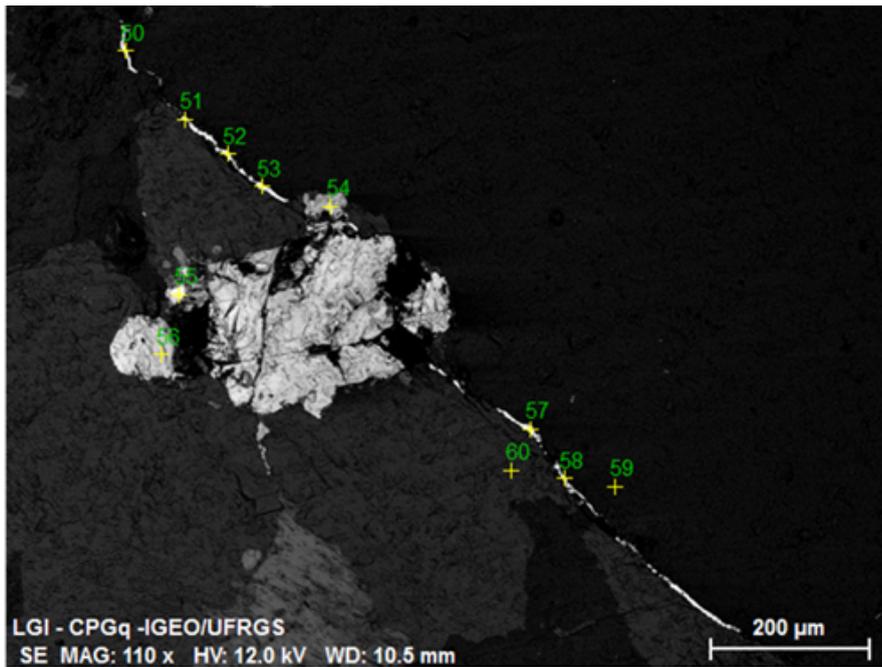
El AN	Series	unn. C	norm. C	Atom. C	Compound	Comp. C	norm. Comp. C	Error (1 Sigma)
		[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	[wt.%]	[wt.%]
C 6	K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	
O 8	K-series	12.44	18.81	58.03		0.00	0.00	
Al 13	K-series	4.90	7.41	13.56	Al2O3	14.01	9.27	
Ca 20	K-series	1.94	2.94	3.62	CaO	4.11	2.72	
Ba 56	L-series	8.39	12.68	4.56	BaO	14.16	9.36	
La 57	L-series	24.04	36.34	12.91	La2O3	42.61	28.19	
Nd 60	L-series	13.07	19.76	6.76	Nd2O3	23.05	15.25	
W 74	M-series	1.36	2.06	0.55		2.06	1.36	

Total:		66.15	100.00	100.00				

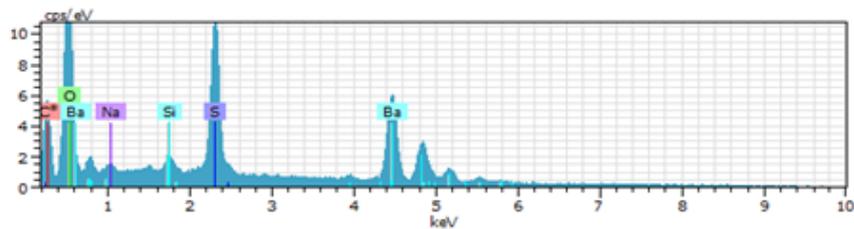
Spectrum: 32

El AN	Series	unn. C	norm. C	Atom. C	Compound	Comp. C	norm. Comp. C	Error (1 Sigma)
		[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	[wt.%]	[wt.%]
C 6	K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	
O 8	K-series	10.50	14.63	57.99		0.38	0.28	
Ca 20	K-series	1.99	2.77	4.38	CaO	3.88	2.78	
Y 39	L-series	1.10	1.53	1.09	Y2O3	1.94	1.40	
Ba 56	L-series	11.40	15.88	7.33	BaO	17.73	12.72	
La 57	L-series	28.52	39.74	18.14	La2O3	46.61	33.44	
Nd 60	L-series	17.31	24.13	10.61	Nd2O3	28.14	20.19	
W 74	M-series	0.94	1.31	0.45		1.31	0.94	

Total:		71.76	100.00	100.00				



18127
Date:1/30/2015 1:28:14 AM
Image size:1500 x 1125
Mag:110x
HV:12.0kV

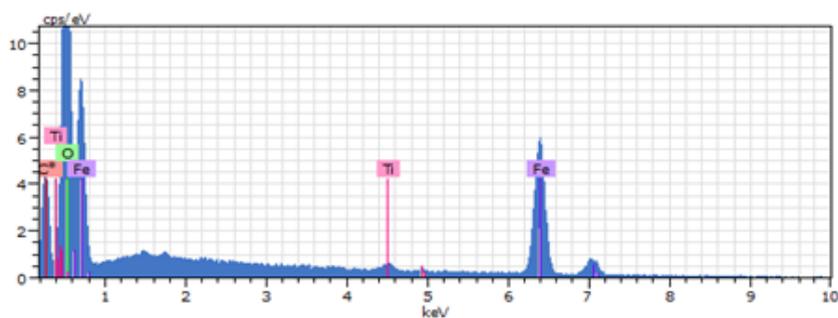


50 Date:1/30/2015 1:29:55 AM HV:12.0kV Puls th.:11.76kcps

El AN Series unkn. C norm. C Atom. C Compound Comp. C norm. Comp. C Error
(1 Sigma)

	[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	[wt.%]
C 6 K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
O 8 K-series	25.71	28.86	66.50		0.32	0.28
Na 11 K-series	0.74	0.83	1.34	Na2O	1.12	1.00
Si 14 K-series	1.10	1.23	1.62	SiO2	2.64	2.35
S 16 K-series	12.13	13.62	15.66	SO3	34.01	30.29
Ba 56 L-series	49.40	55.45	14.89	BaO	61.91	55.16

Total: 89.09 100.00 100.00



54 Date:1/30/2015 1:31:17 AM HV:12.0kV Puls th.:9.72kcps

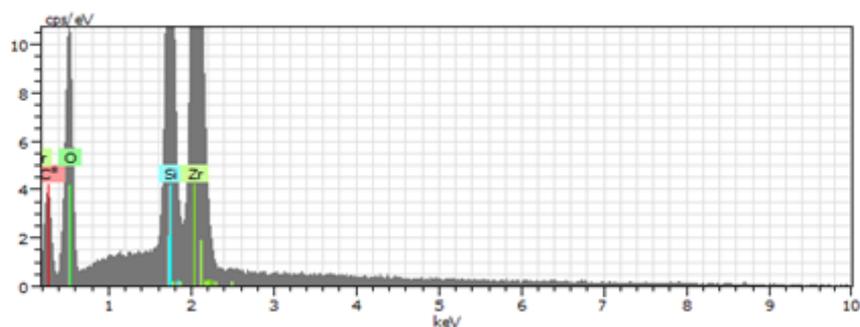
El AN Series un. C norm. C Atom. C Compound Comp. C norm. Comp. C Error
(1 Sigma)

[wt.%) [wt.%) [at.%) [wt.%) [wt.%)

[wt.%)

		[wt.%)	[wt.%)	[at.%)		[wt.%)	[wt.%)
C	6 K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
0.00							
O	8 K-series	21.23	22.71	50.56		0.04	0.04
2.62							
Ti	22 K-series	1.30	1.39	1.04	TiO2	2.32	2.17
0.09							
Fe	26 K-series	70.94	75.90	48.40	FeO	97.64	91.27
2.53							

Total: 93.48 100.00 100.00



55 Date:1/30/2015 1:31:38 AM HV:12.0kV Puls th.:12.66kcps

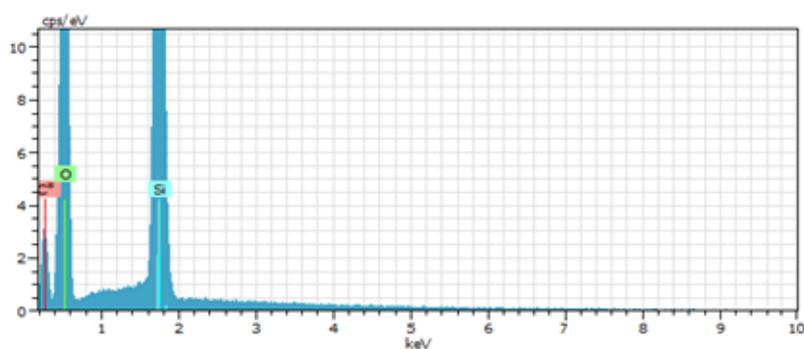
El AN Series un. C norm. C Atom. C Compound Comp. C norm. Comp. C Error
(1 Sigma)

[wt.%) [wt.%) [at.%) [wt.%) [wt.%)

[wt.%)

		[wt.%)	[wt.%)	[at.%)		[wt.%)	[wt.%)
C	6 K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
0.00							
O	8 K-series	32.31	35.72	66.67		0.00	0.00
4.19							
Si	14 K-series	15.11	16.70	17.76	SiO2	35.73	32.32
0.65							
Zr	40 L-series	43.04	47.58	15.58	ZrO2	64.27	58.14
1.63							

Total: 90.46 100.00 100.00

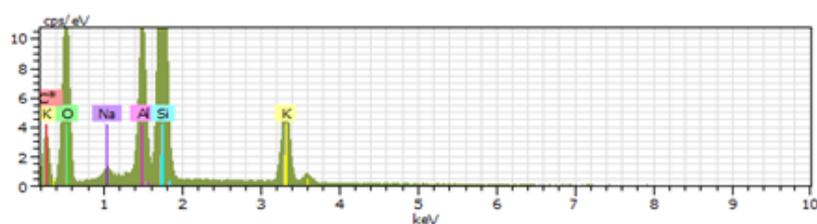


59 Date:1/30/2015 1:32:59 AM HV:12.0kV Puls th.:12.31kcps

E1 AN Series un. C norm. C Atom. C Compound Comp. C norm. Comp. C Error
(1 Sigma)

		[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	[wt.%]
C 6	K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
O 8	K-series	55.04	53.26	66.67	SiO2	0.01	0.02
Si 14	K-series	48.30	46.74	33.33		99.99	103.33

Total: 103.34 100.00 100.00

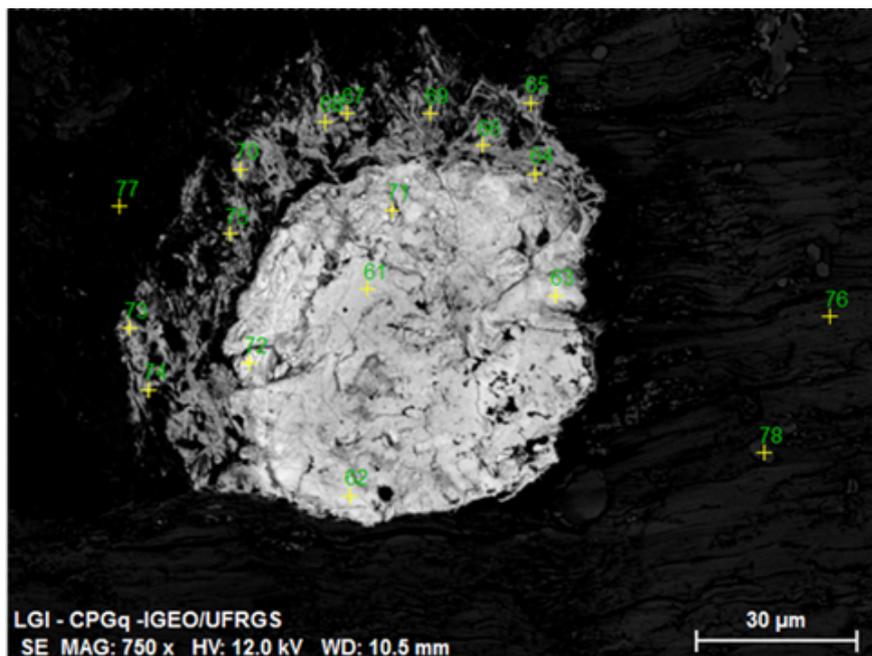


60 Date:1/30/2015 1:33:19 AM HV:12.0kV Puls th.:10.74kcps

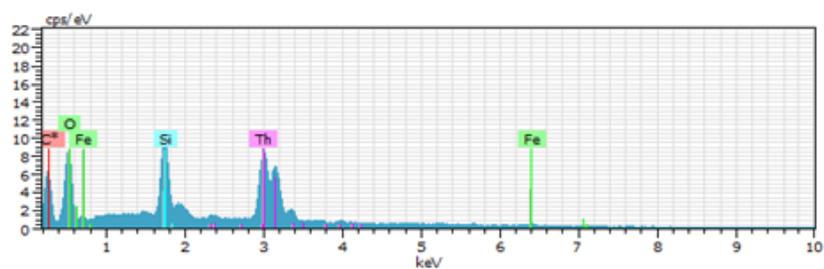
E1 AN Series un. C norm. C Atom. C Compound Comp. C norm. Comp. C Error
(1 Sigma)

		[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	[wt.%]
C 6	K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
O 8	K-series	50.04	47.13	62.12		0.00	0.00
Na 11	K-series	0.90	0.85	0.78	Na2O	1.14	1.21
Al 13	K-series	10.45	9.85	7.70	Al2O3	18.61	19.75
Si 14	K-series	33.45	31.51	23.66	SiO2	67.40	71.56
K 19	K-series	11.32	10.67	5.75	K2O	12.85	13.64

Total: 106.16 100.00 100.00



18138
 Date:1/30/2015 3:31:11 AM
 Image size:1500 x 1125
 Mag:750x
 HV:12.0kV



61 Date:1/30/2015 3:36:20 AM HV:12.0kV Puls th.:12.76kcps

El AN Series un. C norm. C Atom. C Compound Comp. C norm. Comp. C Error
 (1 Sigma)

		[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	[wt.%]

C 6	K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
0.00							
O 8	K-series	16.14	23.22	66.45		0.53	0.37
2.16							
Si 14	K-series	8.12	11.69	19.05	SiO2	25.00	17.38
0.37							
Fe 26	K-series	1.85	2.67	2.19	FeO	3.43	2.39
0.14							
Th 90	M-series	43.40	62.43	12.32	ThO2	71.04	49.38
1.44							

Total:		69.51	100.00	100.00			

Spectrum: 64

El AN	Series	unn. C	norm. C	Atom. C	Compound Comp. C	norm. Comp. C	Error (1 Sigma)
		[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	[wt.%]
C 6	K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
O 8	K-series	10.86	23.52	58.39		0.00	0.00
Na 11	K-series	0.39	0.85	1.46	Na2O	1.14	0.53
Al 13	K-series	1.18	2.55	3.75	Al2O3	4.81	2.22
Si 14	K-series	2.91	6.31	8.92	SiO2	13.49	6.23
Ca 20	K-series	1.51	3.28	3.25	CaO	4.59	2.12
Fe 26	K-series	9.50	20.58	14.64	FeO	26.48	12.22
La 57	L-series	5.22	11.31	3.23	La2O3	13.26	6.12
Nd 60	L-series	4.19	9.07	2.50	Nd2O3	10.58	4.88
Th 90	M-series	10.40	22.54	3.86	ThO2	25.64	11.84

67 Date:1/30/2015 3:38:24 AM HV:12.0kV Puls th.:10.01kcps

El AN	Series	unn. C	norm. C	Atom. C	Compound Comp. C	norm. Comp. C	Error (1 Sigma)
		[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	[wt.%]
C 6	K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
O 8	K-series	11.82	18.94	53.94		0.00	0.00
Mg 12	K-series	0.94	1.50	2.81	MgO	2.49	1.55
Al 13	K-series	0.85	1.37	2.31	Al2O3	2.58	1.61
Si 14	K-series	2.05	3.28	5.32	SiO2	7.02	4.38
Ca 20	K-series	5.69	9.12	10.37	CaO	12.76	7.97
V 23	K-series	4.35	6.97	6.24		6.97	4.35
Ba 56	L-series	6.98	11.18	3.71	BaO	12.49	7.79
La 57	L-series	12.52	20.06	6.58	La2O3	23.52	14.68
Nd 60	L-series	17.22	27.58	8.71	Nd2O3	32.17	20.08
Total: 62.42 100.00 100.00							

Spectrum: 75

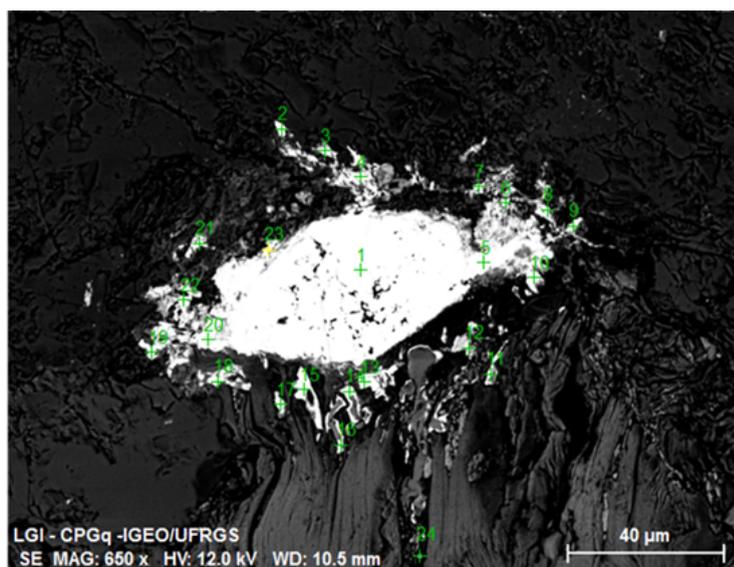
El AN	Series	unn. C	norm. C	Atom. C	Compound Comp. C	norm. Comp. C	Error (1 Sigma)
		[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	[wt.%]
C 6	K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
O 8	K-series	14.16	22.39	54.49		0.00	0.00
Na 11	K-series	1.21	1.91	3.23	Na2O	2.57	1.62
Mg 12	K-series	1.39	2.20	3.52	MgO	3.65	2.31
Al 13	K-series	1.97	3.11	4.49	Al2O3	5.88	3.72
Si 14	K-series	3.11	4.91	6.81	SiO2	10.51	6.65
Ca 20	K-series	4.97	7.85	7.63	CaO	10.99	6.95
V 23	K-series	3.38	5.34	4.08		5.34	3.38
Fe 26	K-series	1.95	3.09	2.15	FeO	3.98	2.51
Ba 56	L-series	5.28	8.34	2.37	BaO	9.32	5.89
La 57	L-series	12.43	19.65	5.51	La2O3	23.05	14.58
Nd 60	L-series	13.41	21.20	5.72	Nd2O3	24.72	15.64
Total: 63.24 100.00 100.00							

Spectrum: 77

El	AN	Series	unn.	C norm.	C Atom.	C Compound	Comp.	C norm.	Comp.	C Error (1 Sigma)
[wt.%]			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]		[wt.%]	
C 6		K-series	0.00	0.00	0.00		0.00		0.00	
0.00										
O 8		K-series	48.79	49.48	62.34		0.00		0.00	
6.14										
Na 11		K-series	6.84	6.93	6.08	Na2O	9.35		9.22	
0.45										
Al 13		K-series	10.22	10.37	7.75	Al2O3	19.59		19.32	
0.50										
Si 14		K-series	32.75	33.22	23.84	SiO2	71.06		70.07	
1.38										
Total:			98.60	100.00	100.00					

Spectrum: 78

El	AN	Series	unn.	C norm.	C Atom.	C Compound	Comp.	C norm.	Comp.	C Error (1 Sigma)
[wt.%]			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]		[wt.%]	
C 6		K-series	0.00	0.00	0.00		0.00		0.00	
0.00										
O 8		K-series	32.90	39.38	60.05		0.01		0.01	
0.01			4.28							
P 15		K-series	14.21	17.01	13.40	P2O5	38.98		38.98	
32.56			0.57							
Ca 20		K-series	36.43	43.61	26.55	CaO	61.02		61.02	
50.97			1.17							
Total:			83.54	100.00	100.00					



18128
 Date:1/30/2015 1:39:09 AM
 Image size:1500 x 1125
 Mag:650x
 HV:12.0kV

Spectrum: 2

El AN	Series	unn. C	norm. C	Atom. C	Compound	Comp. C	norm. Comp. C	Error (1 Sigma)
		[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	[wt.%]	
C 6	K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	
O 8	K-series	15.10	21.88	54.57		0.00	0.00	
Na 11	K-series	1.23	1.79	3.10	Na2O	2.41	1.66	
Al 13	K-series	1.43	2.07	3.06	Al2O3	3.91	2.70	
Si 14	K-series	4.05	5.86	8.33	SiO2	12.55	8.66	
Ca 20	K-series	5.11	7.41	7.38	CaO	10.37	7.16	
V 23	K-series	3.98	5.77	4.52		5.77	3.98	
Fe 26	K-series	5.41	7.84	5.60	FeO	10.09	6.96	
Ba 56	L-series	6.50	9.42	2.74	BaO	10.52	7.26	
La 57	L-series	12.67	18.36	5.27	La2O3	21.53	14.86	
Nd 60	L-series	13.53	19.61	5.42	Nd2O3	22.87	15.79	

Total:		69.03	100.00	100.00				

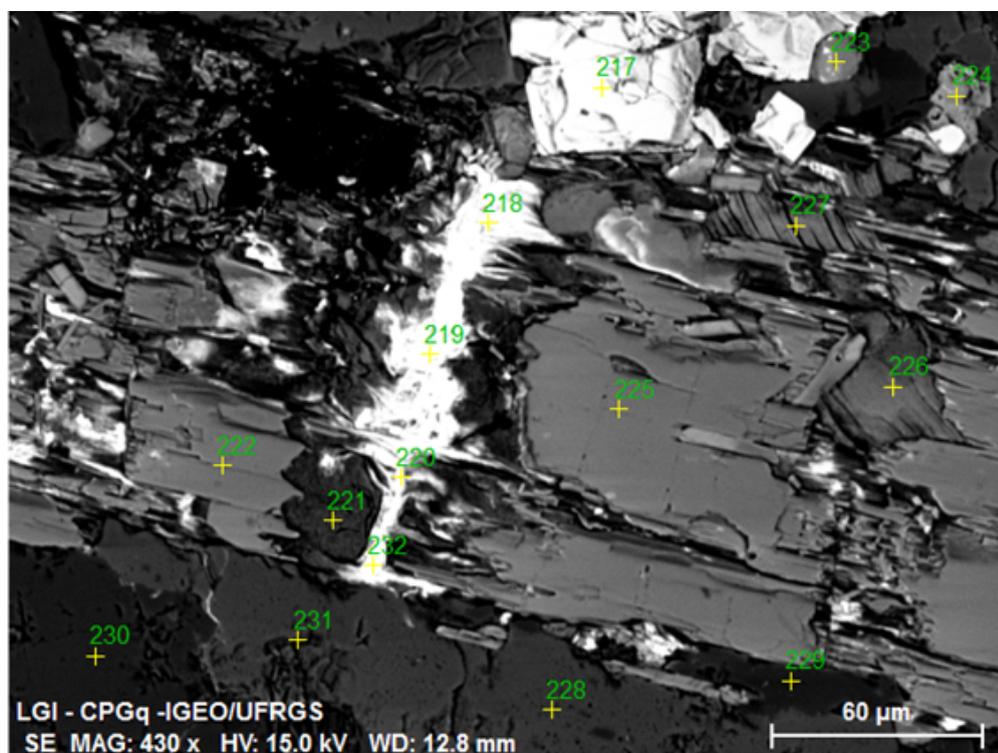
11 Date:1/30/2015 1:50:39 AM HV:12.0kV Puls th.:7.95kcps

El AN	Series	unn. C	norm. C	Atom. C	Compound	Comp. C	norm. Comp. C	Error (1 Sigma)
		[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	[wt.%]	
C 6	K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	
O 8	K-series	25.06	32.90	58.65		0.00	0.00	
Mg 12	K-series	1.55	2.04	2.39	MgO	3.38	2.58	
Al 13	K-series	9.13	11.98	12.67	Al2O3	22.64	17.25	
Si 14	K-series	7.90	10.37	10.53	SiO2	22.19	16.91	
Ca 20	K-series	7.79	10.23	7.28	CaO	14.31	10.90	
V 23	K-series	2.41	3.17	1.77		3.17	2.41	
Fe 26	K-series	1.91	2.51	1.28	FeO	3.23	2.46	
Ba 56	L-series	3.70	4.85	1.01	BaO	5.42	4.13	
La 57	L-series	7.25	9.52	1.95	La2O3	11.16	8.51	
Nd 60	L-series	9.47	12.44	2.46	Nd2O3	14.51	11.05	

Total:		76.19	100.00	100.00				

ANEXO B

Análises MEV-EDS lâmina PFF-009.



Spectrum: 219

El AN	Series	unn. C norm.	C Atom.	C Compound	Comp. C norm.	Comp. C Error (1 Sigma)
[wt.%]		[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	[wt.%]
C 6	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00						
O 8	K-series	10.48	15.40	57.93	0.00	0.00
1.33						
Si 14	K-series	0.63	0.92	1.98	SiO2	1.97
0.06						
Ca 20	K-series	2.65	3.89	5.84	CaO	5.44
0.12						
Ba 56	L-series	10.11	14.84	6.51	BaO	16.57
0.34						
La 57	L-series	27.36	40.18	17.41	La2O3	47.12
0.84						
Nd 60	L-series	16.87	24.77	10.34	Nd2O3	28.89
0.55						

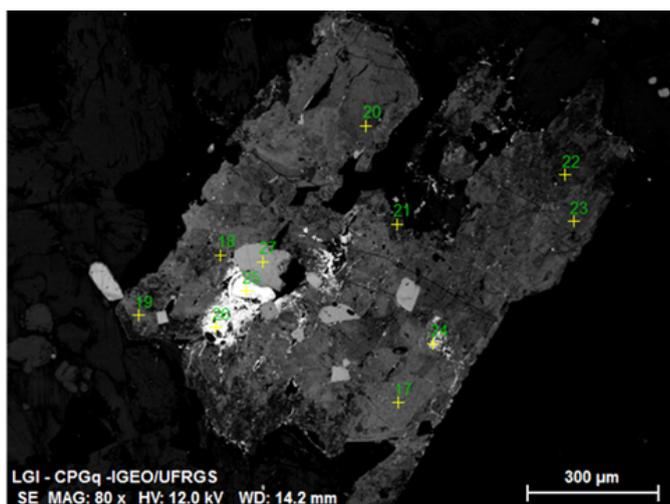
Total:		68.10	100.00	100.00		

Spectrum: 223

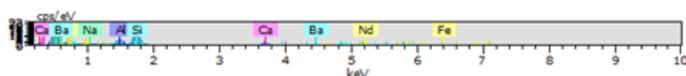
El	AN	Series	unn. C	norm. C	Atom. C	Compound	Comp. C	norm. Comp. C	Error (1 Sigma)
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	[wt.%]	
C	6	K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	
O	8	K-series	33.62	41.24	61.60		0.00	0.00	
Na	11	K-series	0.46	0.57	0.59	Na2O	0.76	0.62	
Al	13	K-series	0.56	0.69	0.61	Al2O3	1.31	1.07	
Si	14	K-series	2.76	3.38	2.88	SiO2	7.24	5.90	
P	15	K-series	14.20	17.41	13.43	P2O5	39.89	32.53	
Ca	20	K-series	27.41	33.62	20.04	CaO	47.04	38.35	
Fe	26	K-series	1.04	1.27	0.54	FeO	1.64	1.33	
Nd	60	L-series	1.49	1.82	0.30	Nd2O3	2.13	1.73	

Spectrum: 232

El	AN	Series	unn. C	norm. C	Atom. C	Compound	Comp. C	norm. Comp. C	Error (1 Sigma)
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	[wt.%]	
C	6	K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	
O	8	K-series	11.76	19.59	58.63		0.00	0.00	
Si	14	K-series	1.88	3.13	5.34	SiO2	6.70	4.02	
Ca	20	K-series	4.84	8.06	9.63	CaO	11.28	6.77	
Y	39	L-series	9.53	15.88	8.55	Y2O3	20.16	12.10	
Ba	56	L-series	4.46	7.43	2.59	BaO	8.30	4.98	
La	57	L-series	9.87	16.45	5.67	La2O3	19.29	11.58	
Nd	60	L-series	12.05	20.08	6.66	Nd2O3	23.42	14.06	
Sm	62	L-series	3.48	5.80	1.85	Sm2O3	6.72	4.04	
Gd	64	L-series	2.15	3.58	1.09	Gd2O3	4.12	2.47	



18149
Date:1/30/2015 6:07:05 AM
Image size:1500 x 1125
Mag:80x
HV:12.0kV

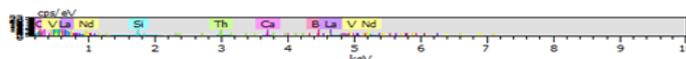


17 Date:1/30/2015 6:11:18 AM HV:12.0kV Puls th.:10.85kcps

El AN Series un. C norm. C Atom. C Compound Comp. C norm. Comp. C Error
(1 Sigma)

	[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	[wt.%]
C 6 K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
O 8 K-series	27.16	37.80	61.03		0.00	0.00
Na 11 K-series	0.46	0.64	0.72	Na2O	0.87	0.62
Al 13 K-series	4.48	6.24	5.98	Al2O3	11.79	8.47
Si 14 K-series	14.73	20.51	18.86	SiO2	43.87	31.52
Ca 20 K-series	4.57	6.37	4.10	CaO	8.91	6.40
Fe 26 K-series	10.52	14.64	6.77	FeO	18.84	13.53
Ba 56 L-series	5.38	7.49	1.41	BaO	8.36	6.01
Nd 60 L-series	4.54	6.32	1.13	Nd2O3	7.37	5.29

Total:	71.85	100.00	100.00			



26 Date:1/30/2015 6:14:24 AM HV:12.0kV Puls th.:11.44kcps

El AN Series un. C norm. C Atom. C Compound Comp. C norm. Comp. C Error
(1 Sigma)

	[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	[wt.%]
C 6 K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
O 8 K-series	7.77	14.61	53.60		0.00	0.00
Si 14 K-series	0.64	1.21	2.52	SiO2	2.58	1.37
Ca 20 K-series	2.35	4.42	6.48	CaO	6.19	3.29
V 23 K-series	3.87	7.27	8.38		7.27	3.87
Ba 56 L-series	5.82	10.94	4.68	BaO	12.21	6.50
La 57 L-series	12.74	23.94	10.12	La2O3	28.07	14.94
Nd 60 L-series	16.27	30.58	12.45	Nd2O3	35.67	18.98
Th 90 M-series	3.75	7.04	1.78	ThO2	8.01	4.26

Total:	53.22	100.00	100.00			

2 Date:1/30/2015 5:58:43 AM HV:12.0kV Puls th.:11.47kcps

El AN Series un. C norm. C Atom. C Compound Comp. C norm. Comp. C Error
(1 Sigma)

[wt.%]	[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	[wt.%]

C 6 K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
0.00						
O 8 K-series	8.05	16.20	52.94		0.00	0.00
1.04						
Na 11 K-series	0.89	1.79	4.07	Na2O	2.41	1.20
0.09						
Si 14 K-series	1.12	2.26	4.21	SiO2	4.83	2.40
0.08						
Ca 20 K-series	2.02	4.07	5.31	CaO	5.70	2.83
0.10						
V 23 K-series	3.39	6.81	7.00		6.81	3.39
0.16						
Fe 26 K-series	1.86	3.75	3.51	FeO	4.82	2.40
0.14						
Ba 56 L-series	4.36	8.77	3.34	BaO	9.79	4.86
0.20						
La 57 L-series	10.35	20.82	7.84	La2O3	24.42	12.14
0.39						
Nd 60 L-series	13.65	27.47	9.96	Nd2O3	32.05	15.92
0.52						
Th 90 M-series	4.00	8.05	1.81	ThO2	9.16	4.55
0.18						

Total: 49.69 100.00 100.00						

3 Date:1/30/2015 5:59:05 AM HV:12.0kV Puls th.:11.23kcps

El AN Series un. C norm. C Atom. C Compound Comp. C norm. Comp. C Error
(1 Sigma)

[wt.%]	[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	[wt.%]

C 6 K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
0.00						
O 8 K-series	9.50	13.83	50.51		0.00	0.00
1.22						
Na 11 K-series	1.40	2.04	5.19	Na2O	2.75	1.89
0.13						
Ca 20 K-series	2.68	3.89	5.68	CaO	5.45	3.74
0.13						
V 23 K-series	4.70	6.84	7.85		6.84	4.70
0.21						
Fe 26 K-series	1.61	2.34	2.45	FeO	3.02	2.07
0.13						
Ba 56 L-series	7.50	10.92	4.65	BaO	12.19	8.38
0.30						
La 57 L-series	17.39	25.30	10.64	La2O3	29.67	20.39
0.62						
Nd 60 L-series	18.38	26.74	10.84	Nd2O3	31.19	21.44
0.68						
W 74 M-series	1.59	2.31	0.73		2.31	1.59
0.11						
Th 90 M-series	3.98	5.79	1.46	ThO2	6.59	4.53
0.19						

Total: 68.74 100.00 100.00						

7 Date:1/30/2015 6:00:27 AM HV:12.0kV Puls th.:11.01kcps

El AN Series un. C norm. C Atom. C Compound Comp. C norm. Comp. C Error
(1 Sigma)

[wt.%]	[wt.%]	[wt.%]	[at.%]		[wt.%]	[wt.%]

C 6 K-series	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
0.00						
O 8 K-series	11.87	17.32	55.86		0.00	0.00
1.53						
Al 13 K-series	1.00	1.46	2.80	Al2O3	2.76	1.89
0.08						
Si 14 K-series	2.68	3.92	7.19	SiO2	8.38	5.74
0.15						
Ca 20 K-series	3.10	4.52	5.82	CaO	6.32	4.33
0.14						
V 23 K-series	3.87	5.64	5.72		5.64	3.87
0.18						
Ba 56 L-series	6.54	9.55	3.59	BaO	10.66	7.31
0.27						
La 57 L-series	12.48	18.21	6.77	La2O3	21.36	14.64
0.47						
Nd 60 L-series	16.72	24.39	8.73	Nd2O3	28.45	19.50
0.63						
Ir 77 M-series	3.13	4.57	1.23		4.57	3.13
0.17						
Th 90 M-series	7.14	10.42	2.32	ThO2	11.85	8.12
0.29						

Total: 68.55 100.00 100.00						

ANEXO C

Tabelas Microsonda utilizadas no GCDKit Mineral.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
1	DataSet/P	Comment	Referencia	Symbol	Colours	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	Cr2O3	Total
2	3 / 1.			1	1	67,59	0,00	20,12	0,10	0,00	0,00	0,77	11,08	0,18	0,00	99,84
3	4 / 1.			1	1	67,52	0,02	20,34	0,09	0,00	0,00	1,09	11,13	0,37	0,00	100,57
4	11 / 1.			1	1	68,04	0,02	19,92	0,14	0,01	0,00	0,64	11,30	0,16	0,00	100,23
5	12 / 1.			1	1	68,69	0,00	19,60	0,18	0,02	0,01	0,15	11,09	0,73	0,00	100,46
6	8 / 1.			1	1	68,32	0,00	20,05	0,15	0,01	0,00	0,67	11,33	0,15	0,00	100,68
7	14 / 1.			1	1	67,01	0,01	20,13	0,15	0,05	0,00	1,00	10,93	0,34	0,01	99,64
8	17 / 1.	plagio borda		1	1	67,69	0,01	20,69	0,23	0,02	0,01	1,04	11,50	0,18	0,00	101,36
9	18 / 1.	plagio nucleo		1	1	67,46	0,01	20,47	0,14	0,04	0,01	1,08	10,96	0,22	0,02	100,39
10	30 / 1.			1	1	67,61	0,02	20,50	0,24	0,01	0,00	1,11	10,88	0,33	0,01	100,71
11	36 / 1.	KF nucleo		1	1	69,03	0,01	19,95	0,13	0,00	0,00	0,08	11,54	0,11	0,00	100,86
12	44 / 1.			1	1	68,25	0,01	20,35	0,13	0,02	0,00	0,69	11,34	0,15	0,01	100,94
13	65 / 1.					67,75	0,01	20,79	0,18	0,00	0,00	1,06	11,42	0,17	0,00	101,37
14	66 / 1.					67,84	0,01	20,57	0,18	0,00	0,00	1,09	11,00	0,26	0,00	100,95
15	68 / 1.					67,24	0,00	20,76	0,28	0,00	0,00	1,14	11,05	0,21	0,00	100,68
16	69 / 1.	anf incluso				67,93	0,03	20,46	0,39	0,00	0,00	1,15	11,04	0,25	0,01	101,25
17	70 / 1.	plagio 69				67,84	0,02	20,51	0,23	0,01	0,00	1,10	10,92	0,25	0,00	100,88
18	72 / 1.					66,8094	0,0242	20,7823	0,1908	0,4261	0,0105	0,7723	11,2652	0,1657	0,0006	100,447
19	74 / 1.					67,9912	0,0128	20,5631	0,1637	0	0	0,9416	11,2395	0,2278	0	101,1397
20	75 / 1.					68,2648	0,0278	20,2014	0,2206	0	0	0,6385	11,3276	0,1606	0,0067	100,8479
21	77 / 1.					68,5801	0	20,315	0,2259	0,0211	0,0074	0,4696	11,6981	0,137	0,0206	101,4747
22	78 / 1.					67,4343	0,0264	20,6454	0,2841	0,03	0,0258	0,8247	11,2577	0,2541	0	100,7825
23	88 / 1.					68,4255	0	19,8089	0,2829	0	0	0,2459	11,5115	0,1497	0,01	100,4343
24	89 / 1.					68,6712	0,0116	19,914	0,158	0	0	0,3807	11,3426	0,1702	0,0306	100,6789
25	98 / 1.					68,0038	0,0308	20,1674	0,0855	0	0,0092	0,6966	11,3393	0,147	0,0112	100,4907
26	105 / 1.					68,6376	0	19,7353	0,1654	0	0	0,1661	11,3584	0,4462	0	100,509
27	106 / 1.					68,6292	0,0166	19,9651	0,0586	0	0	0,2052	11,3245	0,9057	0	101,1049
28	107 / 1.					67,763	0,0256	20,45	0,2048	0,0022	0,011	0,8918	11,2536	0,1842	0	100,7862
29	108 / 1.					68,0893	0,0087	20,4184	0,1685	0	0	0,8383	11,1254	0,1234	0	100,772
30	109 / 1.					68,6146	0,0007	19,834	0,12	0	0,0135	0,1811	11,8165	0,1217	0	100,702
31	116 / 1.					68,1191	0,0216	20,2471	0,1193	0,0229	0	0,5152	11,5588	0,2745	0,0215	100,9
32	117 / 1.					67,9775	0,0084	20,5878	0,1485	0,0529	0,0055	0,7444	11,3996	0,2974	0,0073	101,2294
33	118 / 1.					68,9981	0,0046	19,9144	0,1088	0	0	0,304	11,5697	0,1814	0,0145	101,0954
34	134 / 1.	ep				68,3919	0,0236	20,0689	0,1318	0,0294	0	0,4707	11,4885	0,2404	0,0157	100,8611

< > ≡ **Plagioclasio** Anfibolio Epidoto Biotita k-feldspato Zircão Titanita Outros Allanita +

Estadísticas de Pasta de Trabalho

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
1	DataSet/P	Comment	Referencia	Symbol	Colours	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	Cr2O3	Total
2	15 / 1.	anf nucleo		1	1	43,70	1,37	6,18	26,28	0,67	5,46	10,59	1,93	1,08	0,01	97,27
3	16 / 1.	anf borda		1	1	45,00	0,70	5,46	26,05	0,70	5,77	10,94	1,46	0,97	0,00	97,05
4	21 / 1.			1	1	45,41	1,06	5,39	27,08	0,72	5,86	10,65	1,77	0,98	0,00	98,92
5	23 / 1.			1	1	49,47	0,39	2,30	25,53	0,66	7,41	10,28	1,39	0,46	0,01	97,90
6	24 / 1.			1	1	47,86	0,48	3,10	25,78	0,73	6,97	10,43	1,38	0,69	0,01	97,43
7	27 / 1.			1	1	47,26	0,59	3,92	26,18	0,66	6,45	10,65	1,43	0,77	0,00	97,90
8	33 / 1.			1	1	43,95	1,38	5,98	26,67	0,62	5,47	10,48	2,10	0,97	0,04	97,65
9	39 / 1.			1	1	43,36	1,41	6,32	27,90	0,71	4,76	10,39	2,13	1,07	0,01	98,07
10	40 / 1.			1	1	43,19	1,23	6,44	27,80	0,79	4,62	10,33	2,18	1,07	0,00	97,64
11	45 / 1.	n		1	1	44,44	1,41	6,09	26,47	0,62	5,84	10,40	2,42	0,93	0,00	98,62
12	46 / 1.	b		1	1	43,20	1,15	6,74	27,94	0,74	4,83	10,36	2,11	1,14	0,02	98,23
13	50 / 1.			1	1	44,43	1,37	5,74	27,35	0,68	5,22	10,38	2,36	0,99	0,00	98,51
14	51 / 1.			1	1	44,83	1,35	5,29	27,75	0,69	5,23	10,10	2,11	0,93	0,01	98,28
15	52 / 1.					44,97	1,19	5,36	27,35	0,70	5,48	10,42	2,06	0,85	0,00	98,39
16	56 / 1.					42,89	1,11	6,52	29,20	0,77	4,11	10,26	1,89	1,11	0,00	97,86
17	62 / 1.					43,10	1,28	6,63	27,79	0,70	4,70	10,53	1,77	1,08	0,01	97,58
18	64 / 1.					45,58	1,22	5,38	24,38	0,71	6,98	10,72	2,03	0,87	0,01	97,87
19	79 / 1.					43,6794	1,2977	5,9842	27,7227	0,768	4,8849	10,3479	1,8381	0,9415	0	97,4643
20	80 / 1.					43,2508	1,3333	6,3441	28,2667	0,728	4,6041	10,2543	2,1065	1,0586	0,0072	97,9535
21	86 / 1.					42,283	1,2349	6,6771	28,7289	0,7705	4,1585	10,444	2,0438	1,1177	0,0038	97,4623
22	87 / 1.					43,6351	1,3616	5,9499	28,3173	0,8007	4,5603	10,247	2,0611	0,9516	0,0008	97,8854
23	91 / 1.					43,7429	1,3062	6,1644	27,4869	0,7658	5,0297	10,3301	2,1508	1,0622	0,0157	98,0547
24	93 / 1.					44,0511	1,402	5,8507	27,0686	0,7029	5,3926	10,2603	2,3088	0,9207	0	97,9577
25	94 / 1.					42,9675	1,3625	6,7013	27,3981	0,6067	4,7644	10,3938	2,2702	1,1216	0	97,586
26	112 / 1.					43,5678	1,3363	6,1113	27,5623	0,7564	4,6608	10,2991	1,9564	1,0442	0	97,2946
27	128 / 1.					46,4396	0,9002	4,2748	25,579	0,6818	6,5918	10,9579	1,2737	0,6672	0	97,366
28	144 / 1.	ep				49,4984	0,413	2,2805	25,6447	0,6691	7,428	10,5462	1,4379	0,5387	0	98,4567
29	145 / 1.	ep				47,4077	0,5203	3,3561	26,3728	0,705	6,4491	10,615	1,2678	0,6973	0,0275	97,4185
30	160 / 1.	allanita				43,6989	1,3491	6,4335	26,8628	0,6922	5,1874	10,5327	2,0119	1,1379	0,0202	97,9267
31	168 / 1.	allanita				43,5904	1,4936	6,3416	26,9783	0,656	5,2556	10,6052	1,9013	1,0647	0,0174	97,9042
32	169 / 1.					43,3128	1,5683	6,5182	26,9271	0,6701	5,146	10,4869	2,0517	1,0654	0	97,7464
33	171 / 1.					44,1161	1,3474	5,6756	26,3503	0,7185	5,6832	10,4433	2,0958	0,9788	0	97,4091
34	172 / 1.					44,8394	0,834	5,3697	27,7441	0,7975	5,2835	10,5308	1,848	1,0135	0,0229	98,2835

< > ≡ **Plagioclasio** **Anfibolio** Epidoto Biotita k-feldspato Zircão Titanita Outros Allanita +

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
1	DataSet/P	Comment	Referencia	Symbol	Colours	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	Cr2O3	Total	
2	19 / 1 .				1	1	36,90	2,45	11,27	28,82	0,43	6,55	0,00	0,05	9,36	0,00	95,83
3	28 / 1 .				1	1	36,82	2,71	11,33	27,40	0,37	6,91	0,01	0,04	9,27	0,01	94,87
4	57 / 1 .						35,70	2,26	12,06	29,88	0,45	6,18	0,09	0,02	7,48	0,00	94,11
5	67 / 1 .						38,04	2,70	11,40	24,65	0,37	9,00	0,00	0,08	9,51	0,02	95,78
6	85 / 1 .						35,0859	3,3279	10,9974	27,3571	0,384	5,5321	0,0267	0,0534	8,7345	0	91,4991
7	96 / 1 .						36,1512	2,4433	11,7203	30,0864	0,4569	5,2883	0	0	9,0585	0,0065	95,2115
8	102 / 1 .						36,6001	3,0407	11,2936	29,3779	0,4689	5,8092	0,0193	0,0212	8,8792	0	95,5101
9	173 / 1 .						35,3503	1,9621	11,4963	26,988	0,3036	6,4041	0,0051	0,0531	6,8935	0	89,4562
10	174 / 1 .						36,9703	1,9321	10,5412	29,7991	0,3274	6,4304	0,068	0,0594	8,2078	0,0008	94,3366
11	177 / 1 .						37,2296	2,2256	11,1406	28,5033	0,3545	7,0852	0,0246	0,0461	9,1685	0,0205	95,7986
12	191 / 1 .						37,3283	1,9321	11,8951	27,6417	0,3536	6,61	0,1045	0,0863	7,9391	0,0063	93,897
13	202 / 1 .						37,7284	2,124	11,2201	28,1066	0,378	7,3233	0,0241	0,0543	9,0085	0,037	96,0042
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	
34																	

Plagioclasio Anfibolio Epidoto **Biotita** k-feldspato Zircão Titanita Outros Allanita +

Estadísticas da Base de Trabalho

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
1	DataSet/P	Comment	Referencia	Symbol	Colours	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	Cr2O3	Total	
2	1 / 1 .	partita nucleo			1	1	67,07	0,01	18,81	0,16	0,03	0,00	0,01	5,40	9,01	0,00	100,50
3	2 / 1 .	partita borda			1	1	66,31	0,01	18,80	0,14	0,01	0,01	0,05	6,04	8,76	0,01	100,15
4	7 / 1 .	alteracao			1	1	65,08	0,03	18,58	0,15	0,00	0,00	0,00	1,00	15,39	0,00	100,22
5	10 / 1 .				1	1	64,23	0,02	18,47	0,19	0,01	0,00	0,00	0,71	15,87	0,00	99,50
6	37 / 1 .	KF borda			1	1	64,01	0,02	18,31	0,40	0,02	0,00	0,00	0,44	16,18	0,00	99,38
7	5 / 1 .				1	1	65,43	0,02	18,73	0,12	0,03	0,02	0,07	3,10	12,50	0,00	100,01
8	55 / 1 .						64,76	0,01	18,28	0,23	0,01	0,00	0,00	0,59	16,13	0,00	100,00
9	58 / 1 .						64,48	0,00	18,29	0,44	0,00	0,00	0,00	0,27	16,44	0,00	99,92
10	63 / 1 .						63,86	0,02	18,42	0,04	0,00	0,00	0,00	0,53	16,02	0,00	98,90
11	73 / 1 .						64,6531	0,0137	18,3484	0,0645	0	0	0	0,5441	16,0272	0	99,651
12	76 / 1 .						64,9144	0	18,5863	0,2164	0,005	0	0	0,254	16,5261	0	100,5023
13	81 / 1 .						65,1741	0,0187	18,6103	0,0762	0,0173	0,0126	0	0,8776	15,7245	0,0067	100,5181
14	83 / 1 .						66,8016	0,0119	19,0078	0,3518	0,0189	0	0,0407	5,6926	9,6511	0,0054	101,5818
15	84 / 1 .						64,3485	0,003	18,2245	0,1178	0	0	0	0,5741	16,0892	0,0066	99,3638
16	90 / 1 .						64,4952	0,0245	18,4311	0,0686	0,0154	0	0	0,7085	15,9289	0,0233	99,6956
17	97 / 1 .						64,0489	0,0381	18,4498	0,167	0,0378	0	0	0,6149	15,9835	0,0142	99,3544
18	104 / 1 .						64,7611	0,0044	18,5902	0,0222	0	0	0	0,7755	15,7686	0,0269	99,9489
19	110 / 1 .						64,2979	0,0264	18,6782	0,0866	0	0	0	0,7071	15,8706	0	99,6668
20	111 / 1 .						64,6935	0,0248	18,5154	0,1232	0,0102	0,0247	0	0,9018	15,5488	0	99,8426
21	113 / 1 .						64,0573	0,0058	18,6466	0,1119	0,0161	0	0	0,5443	16,1649	0	99,5469
22	114 / 1 .						64,3441	0,0122	18,577	1,0221	0,0319	0,014	0,0048	2,4511	12,692	0	99,1492
23	124 / 1 .						65,2465	0,0189	18,8579	0,1637	0,1046	0	0	2,6007	13,6171	0,0118	100,6211
24	133 / 1 .	ep					66,4322	0,0257	19,181	0,1204	0	0	0,0212	4,8266	8,9927	0,0127	99,6125
25	137 / 1 .	ep					64,9364	0,008	18,5636	0,0949	0	0,0241	0	0,918	15,619	0,0082	100,1721
26	138 / 1 .	ep					64,7178	0,0118	18,3191	0,1562	0,0232	0,0034	0	0,7998	15,7613	0	99,7926
27	139 / 1 .	ep					64,519	0,0086	19,1779	0,3639	0	0,0029	0	1,9847	13,2179	0,0163	99,2913
28	142 / 1 .	ep					66,3661	0,0237	19,2041	0,0242	0,0481	0	0,0045	5,9111	8,2863	0,0094	99,8775
29	149 / 1 .	allanita					64,5438	0,0321	18,2644	0,8566	0,026	0,0505	0	1,741	14,4851	0	99,9996
30	164 / 1 .	allanita					65,1062	0,0274	20,0919	0,1855	0	0	0,0592	5,6407	8,0024	0	99,1132
31																	
32																	
33																	
34																	

Plagioclasio Anfibolio Epidoto Biotita **k-feldspato** Zircão Titanita Outros Allanita +

Estadísticas da Base de Trabalho

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	DataSet/P	Comment	Referencia	Symbol	Colours	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	Cr2O3	Total
2	25 / 1.			1	1	0,05	49,52	0,02	43,88	4,45	0,02	0,21	0,01	0,00	0,00	98,16
3	22 / 1.			1	1	0,00	50,55	0,00	43,73	3,90	0,01	0,07	0,05	0,00	0,03	98,35
4	31 / 1.			1	1	29,20	31,14	2,70	3,86	0,10	0,13	26,57	0,09	0,01	0,00	93,80
5	41 / 1.	titanita nucleo		1	1	29,19	32,04	2,28	3,00	0,01	0,07	26,42	0,10	0,00	0,00	93,11
6	42 / 1.	titanita borda		1	1	29,57	31,07	2,24	3,54	0,09	0,10	26,51	0,12	0,00	0,00	93,23
7	49 / 1.			1	1	29,42	32,77	2,15	2,95	0,10	0,11	26,20	0,11	0,00	0,00	93,82
8	53 / 1.	titanita n				29,24	32,03	2,16	3,45	0,05	0,12	26,19	0,09	0,00	0,00	93,34
9	54 / 1.	titanita b				29,76	31,22	2,58	3,50	0,08	0,11	26,83	0,08	0,02	0,00	94,18
10	59 / 1.	titanita n				29,48	32,04	2,30	2,95	0,08	0,12	26,20	0,11	0,01	0,00	93,30
11	60 / 1.	titanita b				29,71	30,94	2,38	3,54	0,05	0,13	26,42	0,11	0,00	0,02	93,31
12	99 / 1.	titanita n				29,0009	32,1467	1,8657	3,1289	0,0238	0,1401	25,4233	0,1146	0	0	91,8442
13	100 / 1.	titanita b				29,3607	32,0627	2,2038	3,345	0,1099	0,0903	26,6333	0,0958	0	0	93,9014
14	103 / 1.					29,5965	31,8577	2,3321	3,3364	0,0768	0,1254	26,5199	0,0728	0	0	93,9176
15	123 / 1.					1,3338	84,0403	0,1605	5,5499	0,0029	0	0,2788	0,0123	0,0515	0,002	91,4322
16	126 / 1.	titanita n				29,309	32,5981	1,9057	3,0374	0,0095	0,1255	26,3281	0,1173	0,0062	0	93,4367
17	127 / 1.	titanita b				29,6128	32,4318	1,9865	3,1935	0,0853	0,0976	26,4958	0,0823	0	0	93,9855
18	131 / 1.	titanita n				29,3061	32,4194	2,0749	3,2022	0,0946	0,1029	26,2622	0,0971	0	0	93,5594
19	132 / 1.	titanita b				29,6084	31,5492	2,4251	3,3643	0,0455	0,0829	26,6007	0,0983	0,0665	0,0081	93,8489
20	184 / 1.	titanita n				29,0734	32,101	2,0156	3,224	0,0757	0,1335	25,7604	0,147	0	0	92,5307
21	185 / 1.	titanita b				29,7544	32,3391	2,1514	3,2766	0,1154	0,1294	26,7818	0,0795	0	0	94,6278
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																
31																
32																
33																
34																

< > ≡ Plagioclasio Anfibolio Epidoto Biotita k-feldspato Zircão **Titanita** Outros Allanita +

Estadísticas de Pasta de Trabalho

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	DataSet/P	Comment	Referencia	Symbol	Colours	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	Cr2O3	Total
2	146 / 1.	allanita				35,2849	3,8501	7,0014	20,2575	0,3256	0,2451	5,8795	0,3372	0,1066	0	73,2878
3	147 / 1.	allanita				32,5212	3,8668	7,8077	17,423	0,3398	0,2415	6,8793	0,2792	0,0935	0	69,452
4	148 / 1.	allanita				39,5518	3,4146	6,398	15,5602	0,2736	0,1429	4,9531	0,2332	0,1597	0	70,6872
5	150 / 1.	allanita				37,4806	3,7129	6,3713	13,2408	0,134	0,168	5,1948	0,2714	0,1521	0	66,7259
6	151 / 1.	allanita				37,233	3,6891	6,2699	15,1464	0,2241	0,1111	5,3639	0,3211	0,1357	0	68,4942
7	154 / 1.	allanita				34,4482	3,2211	6,5691	22,6894	0,2922	0,1966	5,6063	0,2949	0,1078	0	73,4256
8	156 / 1.	allanita				34,5292	4,2624	5,4004	25,4566	0,2112	0,185	4,1637	0,281	0,135	0	74,6245
9	159 / 1.	allanita				35,0824	3,9424	7,0907	19,2498	0,226	0,1354	6,0766	0,3448	0,1451	0	72,2932
10	162 / 1.	allanita				38,0839	3,7236	6,4835	14,9054	0,1986	0,1582	5,3201	0,3356	0,1428	0	69,3517
11	163 / 1.	allanita				34,1632	2,6444	7,8265	21,2634	0,2889	0,152	6,25	0,3435	0,0999	0	73,0318
12	195 / 1.					34,6924	3,8384	5,8624	20,3986	0,2208	0,1823	4,542	0,3256	0,1482	0	70,2108
13	196 / 1.					33,378	2,6895	7,7363	21,823	0,2977	0,1247	6,6116	0,36	0,0914	0	73,1122
14	207 / 1.					32,0046	3,2516	8,2989	17,824	0,3159	0,1738	8,056	0,3327	0,064	0	70,3214
15	208 / 1.					33,0099	2,541	8,535	19,5353	0,2922	0,1354	7,1431	0,3128	0,094	0	71,5986
16	209 / 1.					31,2816	3,5375	8,3268	17,7267	0,3181	0,2573	7,7047	0,3667	0,1053	0	69,6247
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																
31																
32																
33																
34																

< > ≡ Plagioclasio Anfibolio Epidoto Biotita k-feldspato Zircão Titanita Outros **Allanita** +

Estadísticas de Pasta de Trabalho