



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**



**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PETROGÊNESE DOS METAGRANITÓIDES ARQUEANOS DO  
QUADRILÁTERO FERRÍFERO NA REGIÃO DE ITABIRITO, MINAS  
GERAIS**

**Luis Carlos Vieira Junior**

**MONOGRAFIA nº 471**

Ouro Preto, março de 2023



**PETROGÊNESE DOS METAGRANITÓIDES ARQUEANOS  
DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO NA REGIÃO DE  
ITABIRITO, MINAS GERAIS.**

---





## **FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**

### **Reitora**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Aparecida Marlière de Lima

### **Vice-Reitor**

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

### **Pró-Reitora de Graduação**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Tânia Rossi Garbin

### **ESCOLA DE MINAS**

#### *Diretor*

Prof. Dr. José Alberto Naves Cocota Junior

#### *Vice-Diretor*

Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana

### **DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

#### *Chefe*

Dr. Geraldo Magela Sampaio



# **MONOGRAFIA**

**Nº 471**

## **PETROGÊNESE DOS METAGRANITOIDES ARQUEANOS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO NA REGIÃO DE ITABIRITO, MINAS GERAIS.**

**Luis Carlos Vieira Junior**

*Orientadora*

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Gláucia Nascimento Queiroga**

*Co-Orientadora*

**Caroline Cibele Vieira Soares**

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II – TCC 402, ano 2022/2.

**OURO PRETO**

**2023**

---

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

V657p Vieira Junior, Luis Carlos.

Petrogênese dos metagranitóides arqueanos do Quadrilátero Ferrífero na região de Itabirito, Minas Gerais. [manuscrito] / Luis Carlos Vieira Junior. - 2023.

54 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Gláucia Nascimento Queiroga.

Coorientadora: Profa. Dra. Caroline Cibele Vieira Soares.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Petrologia. 2. Petrografia. 3. Química mineral. 4. Química de rocha total. I. Queiroga, Gláucia Nascimento. II. Soares, Caroline Cibele Vieira. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 552.32

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526





## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Luis Carlos Vieira Júnior**

**Petrogênese dos metagranitoides arqueanos do Quadrilátero Ferrífero na região de Itabirito, Minas Gerais**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Geólogo

Aprovada em 30 de Março de 2023

### Membros da banca

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Gláucia Nascimento Queiroga - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Prof. Dr. Ricardo Scholz Cipriano (Universidade Federal de Ouro Preto)  
MSc. Frederico Moreira Freitas (Serviço Geológico do Brasil - Belo Horizonte)

Gláucia Nascimento Queiroga, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 17/04/2023



Documento assinado eletronicamente por **Gláucia Nascimento Queiroga, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/04/2023, às 17:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0510751** e o código CRC **77E87EF3**.

## Agradecimentos

---

Agradeço aos meus pais, Maria Dulcineia Medeiros dos Santos e Luis Carlos Vieira, por tornarem possível realizar o sonho de me graduar. Ao DEGEO, à UFOP pelo ensino de qualidade e à todos os professores que me guiaram por esse longo caminho.

Agradeço ao Laboratório de Petrografia, o de Microscopia e Microanálises (LMic) e o de Geoquímica (LGqA) do DEGEO/UFOP pelas análises realizadas.

À FAPEMIG no âmbito da Chamada Universal 2021, Edital 001/2021, processo APQ-02811-21.

Às pessoas mais próximas de mim, que me deram apoio em momentos de ansiedade e por toda ajuda com as dificuldades que surgiram, em especial Maria Luiza, Mariana e Rafaella.

À professora Gláucia Queiroga por me dar a oportunidade de realizar esse trabalho fruto da continuação de iniciações científicas, pelos ensinamentos ao longo desse período, pela paciência e atenção necessárias para a confecção deste TCC.



# SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABELAS.....	xv
RESUMO.....	xvii
INTRODUÇÃO .....	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	2
1.4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	2
1.4.1 Revisão bibliográfica.....	3
1.4.2 Trabalho de campo .....	3
1.4.3 Trabalho de laboratório .....	4
1.5 ORGANIZAÇÃO DESTE TCC.....	7
2 GEOLOGIA REGIONAL.....	9
2.1 O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO.....	9
2.2 QUADRILÁTERO FERRÍFERO .....	9
2.3 EMBASAMENTO CRISTALINO .....	12
3 ESTADO DA ARTE: REVISÃO SOBRE GRANITÓIDES.....	15
3.1 GRANITÓIDES: DEFINIÇÃO GERAL .....	15
3.2 CLASSIFICAÇÃO MINERALÓGICA (DIAGRAMA Q-A-P-F).....	15
3.3 CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM A FONTE (SIAM).....	16
3.4 CLASSIFICAÇÃO POR AMBIENTE TECTÔNICO.....	17
3.4 CLASSIFICAÇÃO POR CONTEÚDO DE SÍLICA.....	18
3.5 CLASSIFICAÇÃO POR COR.....	18
RESULTADOS .....	19
4.1 INTRODUÇÃO.....	19
4.2 DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA .....	20
4.2.1 Amostra LC01 .....	20
4.2.2 Amostra LC02 .....	23
4.2.3 Amostra LC03 .....	27
4.3 QUÍMICA MINERAL E TERMOMETRIA COM BASE NA COMPOSIÇÃO DOS FELDSPATOS.....	30
4.4 QUÍMICA DE ROCHA TOTAL .....	40
4.5 TERMOMETRIA DE SATURAÇÃO DE ZIRCÃO .....	43
DISCUSSÕES E CONCLUSÕES .....	46
REFERÊNCIAS .....	52



# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> - Localização da área de estudo. A) Região de Itabirito com as principais vias de acesso e área de estudo delimitada pelo polígono azul, B) Imagem de satélite da cidade de Itabirito com os pontos de coleta de amostra em evidência. Imagens retiradas do Google Earth, último acesso em 20/02/2023. ....	2
<b>Figura 1.2</b> - Organograma exemplificando as etapas de estudo deste trabalho. ....	3
<b>Figura 1.3</b> - Exemplo de Diagrama QAPF (Streckeisen 1976). ....	5
<b>Figura 2.1</b> - Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero com algumas idades de cristalização magmática de corpos granitoides ou TTG em evidência (Romano <i>et al.</i> 2013). O retângulo vermelho mostra a área de estudo. ....	11
<b>Figura 2.2</b> - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero. No embasamento arqueano encontram-se os granitoides estudados neste trabalho (Alkmim & Marshak 1998). ....	12
<b>Figura 3.1</b> - Parte superior do diagrama QAPF para rochas plutônicas. Dentro da área destacada encontra-se o grupo dos granitoides composto por álcali-feldspato granito, sienogranito, monzogranito, granodiorito e tonalito, no sentido do aumento do teor de plagioclásio na moda da rocha. Adaptado de Streckeisen (1967). ....	16
<b>Figura 3.2</b> - Ambientes tectônicos e seus produtos ígneos (Sgarbi 2007). ....	17
<b>Figura 3.3</b> - Diagrama de classificação utilizando Nb versus Y e Ta versus Yb para a distinção entre granitos colisionais (COLG), de dorsal oceânica (ORG), intraplaca (WPG) e de arcos vulcânicos (VAG) (Pearce 1984). ....	17
<b>Figura 4.1</b> - Mapa geológico da região de Itabirito enfatizando o Complexo Bação em tons de rosa. Detalhe para as amostras estudadas neste TCC (LC-01 A e B, LC-02 e LC-03) e para os dados geocronológicos de Lana <i>et al.</i> (2013), Romano <i>et al.</i> (2013), Farina <i>et al.</i> (2015) e Aguilar (2017). Mapa geológico adaptado de Endo <i>et al.</i> (2020). ....	19
<b>Figura 4.2</b> - A) Gnaiss com feições de deformação <i>in situ</i> . B) Amostra LC01-A ressaltando as bandas leucocrática e melanocrática em seção de corte para a confecção da lâmina. C) Amostra LC01-B evidenciando a banda melanocrática. ....	20
<b>Figura 4.3</b> - A) Detalhe de microclina perítica a nicóis cruzados (aumento de 2.5x). B) Detalhe de quartzo com extinção ondulante e presença de subgrãos, a nicóis cruzados (aumento de 10x). C) Visão geral de quartzo com subgrãos e biotita orientada, a nicóis cruzados (aumento de 2.5x). Mc = microclina; Qz = quartzo; Bt = biotita. ....	22
<b>Figura 4.4</b> - A) Visão geral da associação plagioclásio + microclina + quartzo + biotita orientada, a nicóis cruzados (aumento de 2.5x). B) Quartzo com extinção ondulante a nicóis cruzados (aumento de 10x). Mc = microclina; Bt = Biotita; Pl = plagioclásio; Qz = quartzo. ....	23
<b>Figura 4.5</b> - Detalhe da amostra coletada. Ressalta-se a granulação grossa e a presença de fenocristais euédricos de feldspato esbranquiçado (círculo vermelho). ....	24

<b>Figura 4.6</b> – A) Visão geral da amostra enfatizando plagioclásio fraturado em uma matriz poligonizada, a nicóis cruzados (aumento de 2.5x). B) Detalhe de um grande cristal de microclina com feições de deformação rúptil e contornado pela foliação Sn, indicando seu caráter pré-tectônico (nicóis cruzados, aumento de 2.5x). C) Epidoto em detalhe a nicóis cruzados (aumento de 10x). Pl = plagioclásio; Mc = microclina; Ep = epidoto; Qz = quartzo. ....	26
<b>Figura 4.7</b> - Diagrama QAPF com as porcentagens de quartzo, microclina e plagioclásio normalizadas, indicando composição sienogranítica. Baseado em Streckeisen (1967). ....	27
<b>Figura 4.8</b> - Amostra LC03 em seção de corte para confecção da lâmina. ....	27
<b>Figura 4.9</b> – A) Detalhe de um grande grão de microclina com macla Carlsbad a nicóis cruzados (aumento de 2.5x) B) Microclina pertítica a nicóis cruzados (aumento de 2.5x) C) Visão geral da rocha com microclina + plagioclásio em meio a uma matriz de quartzo recristalizada, a nicóis cruzados (aumento de 2.5x). ....	29
<b>Figura 4.10</b> - Diagrama QAPF para lâmina LC03, indicando composição sienogranítica. Baseado em Streckeisen (1967). ....	30
<b>Figura 4.11</b> - Imagens de elétrons retro-espalhados com os 20 pontos analisados para ambos os grãos do primeiro campo. ....	31
<b>Figura 4.12</b> - Gráficos ternários do tipo Or-Ab-An; à esquerda, tem-se a representação da composição dos grãos estudados (notar que alguns pontos caem no campo da albíta por tratar-se de pertita). À direita, ternário de temperatura de cristalização para esses grãos. Baseado nos princípios de Deer <i>et al.</i> (1992). ....	33
<b>Figura 4.13</b> -- Imagem BSE, campo 1, da análise de plagioclásio. ....	35
<b>Figura 4.14</b> - Diagramas ternários de composição (à esquerda) e de temperatura de cristalização (à direita) para os grãos de plagioclásio da lâmina LC02. Baseado em Deer <i>et al.</i> (1992). ....	35
<b>Figura 4.15</b> - Imagens BSE com os 13 pontos analisados em ambos os grãos de microclina. A imagem à esquerda evidencia as análises no campo 1 e a imagem à direita representa os pontos analíticos no campo 3. ....	36
<b>Figura 4.16</b> - Diagramas ternários de composição (à direita) e de temperatura de cristalização (à esquerda) para os grãos de microclina da lâmina LC03. Baseado em Deer <i>et al.</i> (1992). ....	36
<b>Figura 4.17</b> - Imagem BSE dos plagioclásios com os 14 pontos analisados. ....	38
<b>Figura 4.18</b> - Diagramas ternários de composição (à direita) e de temperatura de cristalização (à esquerda) para os plagioclásios da lâmina LC03. Baseado em Deer <i>et al.</i> (1992). ....	40
<b>Figura 4.19</b> - Diagramas binários para elementos maiores da amostra LC03 e daquelas descritas por Farina <i>et al.</i> (2015) (siglas iniciadas por FQ). A) SiO <sub>2</sub> versus Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . B) SiO <sub>2</sub> versus (MgO + FeO). C) SiO <sub>2</sub> versus CaO. D) SiO <sub>2</sub> versus Na <sub>2</sub> O. ....	41
<b>Figura 4.20</b> - A) Diagrama de classificação Shand <i>et al.</i> (1943). B) Diagrama de classificação de Peccerillo & Taylor (1976) (SiO <sub>2</sub> versus K <sub>2</sub> O). C) Diagrama AFM (Irvine & Baragar 1971). ....	42

**Figura 4.21** - Gráficos comparativos para as análises de termometria de zircão. Em A) Gráfico de temperatura x concentração de zircônio em ppm. B) Concentração de óxido de sílica x concentração de zircônio em ppm. C) Relação estatística de temperatura *versus* litologia. .... 44



## ÍNDICE DE TABELAS

---

<b>Tabela 1.1</b> - Métodos analíticos aplicados a cada amostra coletada e respectivas coordenadas em UTM. ....	4
<b>Tabela 2.1</b> - Compilação de dados litológicos e geocronológicos de granitóides do Complexo Bação. 13	
<b>Tabela 4.1</b> - Campos analisados em cada lâmina.....	30
<b>Tabela 4.2</b> - Análise de química mineral para microclina do campo 1, amostra LC02. São apresentados os dados em óxido provenientes do MEV, os cátions para a fórmula química e os <i>end-members</i> (An = anortita, Ab = Albita e Or = Ortoclásio). Em vermelho estão ressaltados os pontos de análise em pertita exsolvida em microclina. ....	32
<b>Tabela 4.3</b> - Análise de química mineral para plagioclásio dos campos 2 e 3, amostra LC02. São apresentados os dados em óxido provenientes do MEV, os cátions para a fórmula química e os <i>end-members</i> (An = anortita, Ab = Albita e Or = Ortoclásio). Os pontos 98 à 111 não possuem imagem BSE. ....	34
<b>Tabela 4.4</b> - Tabela com dados de química mineral de plagioclásios da amostra LC03. São apresentados os dados em óxido provenientes do MEV, os cátions para a fórmula química e os <i>end-members</i> (An = anortita, Ab = Albita e Or = Ortoclásio). ....	39
<b>Tabela 4.5</b> - Tabela com dados de química de rocha total para a amostra LC03 e para aquelas de Farina <i>et al.</i> (2015). São apresentados os dados de elementos maiores e perda ao fogo, todos em porcentagem. ....	43
<b>Quadro 5.1</b> - Resumo integrativo de todas as análises realizadas. ....	46



## Resumo

---

O Complexo Bação é um dos cinco domos gnaisse-graníticos que compõem o embasamento cristalino do Quadrilátero Ferrífero, mais precisamente localizado em sua borda sudeste. Na cidade de Itabirito, afloram corpos de granitóides, com ou sem feições de deformação e metamorfismo, que estão associados ao embasamento arqueano. Este Trabalho de Conclusão de Curso propõe estudos petrográficos de detalhe, de química mineral, química de rocha total e análises de termometria de saturação de zircão desses corpos de granitoides, visando um melhor entendimento petrogenético desses corpos. As análises petrográficas classificaram as amostras coletadas como biotita ortognaisse encaixante, com microestrutura lepidogranoblástica, e sienogranito com fenocristais euédricos de plagioclásios. As análises de química mineral mostram que o plagioclásio é predominantemente albita e os feldspatos potássicos são microclina, algumas com exsolução peritítica. As temperaturas de cristalização com base na composição química dos feldspatos mostram que albita formou-se no intervalo de 750°C a 850°C, enquanto microclina foi formada a uma temperatura de 876°C. As análises de química total evidenciaram que os sienogranitos fazem parte da série alto potássio, com composição cálcio-alcálica, metaluminosos à fracamente peraluminosos, com temperatura definida para a saturação de zircão entre 631° e 720°C. As temperaturas de cristalização relativamente “baixas” podem estar relacionadas a baixas profundidades de cristalização. Ressalta-se que este projeto de TCC traz uma continuação dos estudos iniciados em projetos de Iniciação Científica, editais 26/2019-PIVIC-1S/UFOP-2020-21 & 09/2021-PIVIC-2S/UFOP-2021-22, envolvendo uma cooperação entre universidades (UFOP e UFES).

**Palavras-chave:** Complexo Bação, metagranitoides, ortognaisse encaixante, petrografia, química mineral, termometria de saturação de zircão, química de rocha total.





# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

---

### 1.1 APRESENTAÇÃO

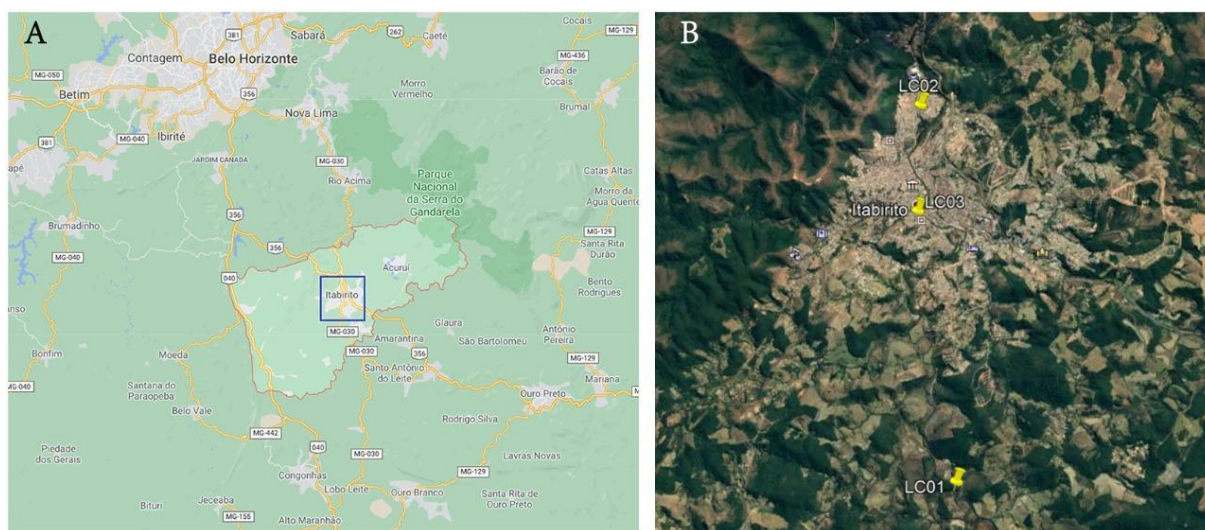
Granitóides são rochas ígneas intrusivas, de granulação fina a grossa, compostos essencialmente por quartzo e feldspatos, tendo biotita e hornblenda como os principais minerais varietais (Sgarbi 2007). No Quadrilátero Ferrífero (QF), uma série de granitóides potássicos de composição sienogranítica a granodiorítica e idades de cristalização entre 2750 e 2600 milhões de anos (Ma) aflora ao longo de uma área de aproximadamente 25.000 quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>) (Romano *et al.* 2013). Trata-se de um conjunto de plutons e batólitos, localmente denominados Pequi, Florestal, Souza Noschese, Piracema, Mamona, General Carneiro etc., associados aos domos Belo Horizonte, Bonfim e Bação (Romano *et al.* 2013). No município de Itabirito e áreas adjacentes, sudeste do QF, estão cartografados pelo menos dois grandes corpos de granitóides potássicos, de natureza sin a tardi-tectônica (Freitas *et al.* 2018). Os estudos relacionados aos grandes plutons e batólitos do QF retratam especialmente composições modais dos corpos e suas idades de cristalização, visando à correlação dos mesmos com os modelos tectônicos vigentes (*e.g.* Romano *et al.* 2013).

É nesse contexto que se encaixa o trabalho proposto: estudo dos corpos granitóides aflorantes na região de Itabirito visando à caracterização petrográfica de detalhe, enfatizando suas características ígneas (feldspatos ainda com formas tabulares, maclas de Carlsbad em plagioclásios tabulares, antipertita ígnea; presença de minerais primários, falta de orientação metamórfica em determinadas amostras) e suas feições metamórficas (*e.g.* recristalização dinâmica de quartzo e plagioclásio, estrutura núcleo-manto nos feldspatos, reorientação de principais minerais máficos). Aliado a essa caracterização, foram realizados estudos de química mineral para detalhar a composição dos feldspatos e verificar os principais tipos de zonamento químico presente. Não menos importante e finalizando o estudo, foi realizada a termometria de saturação de zircão (zircon-saturation; princípios de Boehnke *et al.* 2013) em amostras selecionadas visando à obtenção de temperaturas de cristalização dos corpos. Ressalta-se que o estudo aqui proposto é inédito para esses corpos plutônicos, podendo auxiliar na reconstituição tectônica de parte do embasamento cristalino e intrusões associadas do QF.

Ressalta-se que a pesquisa que resultou neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) se iniciou em um projeto de iniciação científica (PIVIC/UFOP), executado pelo aluno entre os anos de 2020 e 2022. O trabalho está inserido na linha de pesquisa “Petrologia de rochas ígneas e metamórficas” do Departamento de Geologia (DEGEO) da UFOP e contou com apoio dos laboratórios de Laminação e de Microscopia e Microanálises (LMÍc) do departamento.

## 1.2 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo localiza-se na região central do estado de Minas Gerais, no município de Itabirito, fazendo parte da folha topográfica *Itabirito* (SF.23-X-A-III-1-SE, escala 1:25.000). Localizada entre os municípios de Belo Horizonte e Ouro Preto, uma das principais vias de acesso é a rodovia BR-356, que liga o estado de Minas Gerais com o Espírito Santo e o Rio de Janeiro. Além disso, a rodovia MG-030, que liga as cidades de Belo Horizonte e Congonhas, também cruza o município (Figura 1.1).



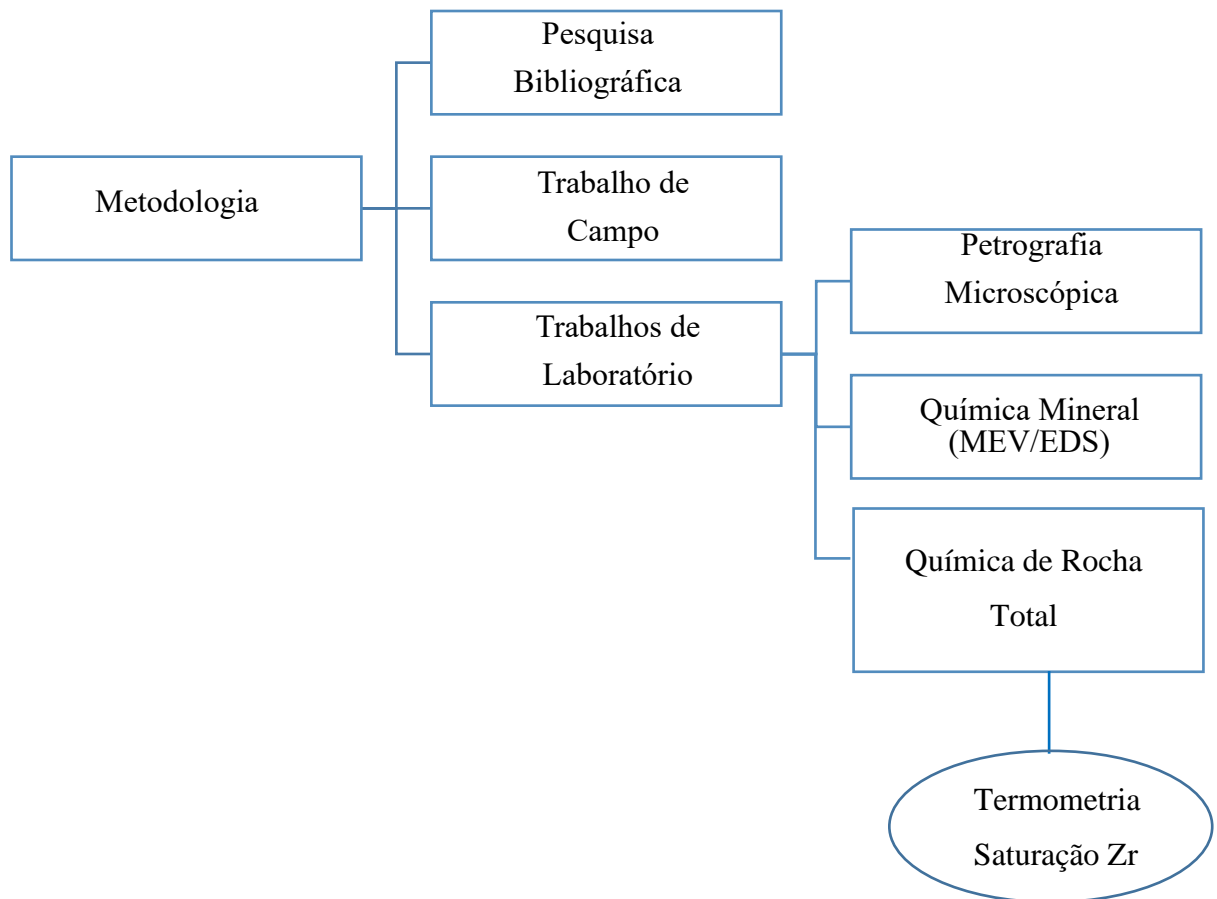
**Figura 1.1** - Localização da área de estudo. A) Região de Itabirito com as principais vias de acesso e área de estudo delimitada pelo polígono azul, B) Imagem de satélite da cidade de Itabirito com os pontos de coleta de amostra em evidência. Imagens retiradas do Google Earth, último acesso em 20/02/2023.

## 1.3 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é a realização de estudos petrográficos de detalhe, de química mineral, de química de rocha total e de termometria via saturação de zircão em amostras de metagranitóides da região de Itabirito, sudeste do Quadrilátero Ferrífero, com intuito de definir suas paragêneses e temperaturas de colocação na crosta.

## 1.4 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse trabalho foi desenvolvido em etapas separadas, com objetivo de uma melhor organização e utilização dos dados obtidos ao longo dos processos realizados, seguindo a seguinte hierarquia (Figura 1.2).



**Figura 1.2** - Organograma exemplificando as etapas de estudo deste trabalho.

#### 1.4.1 Revisão bibliográfica

A primeira etapa do projeto se constitui através de uma revisão bibliográfica sobre a geologia local e regional, utilizando como base os trabalhos de Romano *et al.* (2013) e Farina *et al.* (2015), além de TCC's, dissertações, teses e mapas geológicos. Também foram consultados trabalhos sobre métodos analíticos, tal como o de Boehnke *et al.* (2013).

#### 1.4.2 Trabalho de campo

O trabalho de campo ocorreu com intuito de coletar quatro amostras em três locais diferentes no município de Itabirito (Figura 1.1 B e Tabela 1.1). Duas amostras foram coletadas em uma estrada de terra que liga Itabirito ao distrito de Engenheiro Correia (município de Ouro Preto), às margens do Rio Itabirito (LC01-A e LC01-B), uma foi coletada na Avenida Queirós Junior, nas proximidades da entrada do Parque Ecológico Municipal (LC-02) e uma na Rua José Luís dos Reis, próximo ao Banco do Brasil da cidade (LC-03).



Os afloramentos foram plotados no mapa geológico compilado por Endo *et al.* (2020) e por motivos de escala, com o trabalho sendo a nível local e o mapa regional, alguns dos pontos não plotam exatamente dentro das unidades pertencentes ao embasamento cristalino (gnaisse ou granitóides).

A caracterização macroscópica dessas amostras foi feita com o auxílio de uma lupa monocular com 10x de aumento e as medidas estruturais foram realizadas utilizando uma bússola geológica, modelo Brunton.

### 1.4.3 Trabalho de laboratório

Dividido em duas etapas, as atividades de laboratório aconteceram nas instalações do DEGEO-UFOP seguindo os protocolos de segurança e saúde para prevenção à COVID-19.

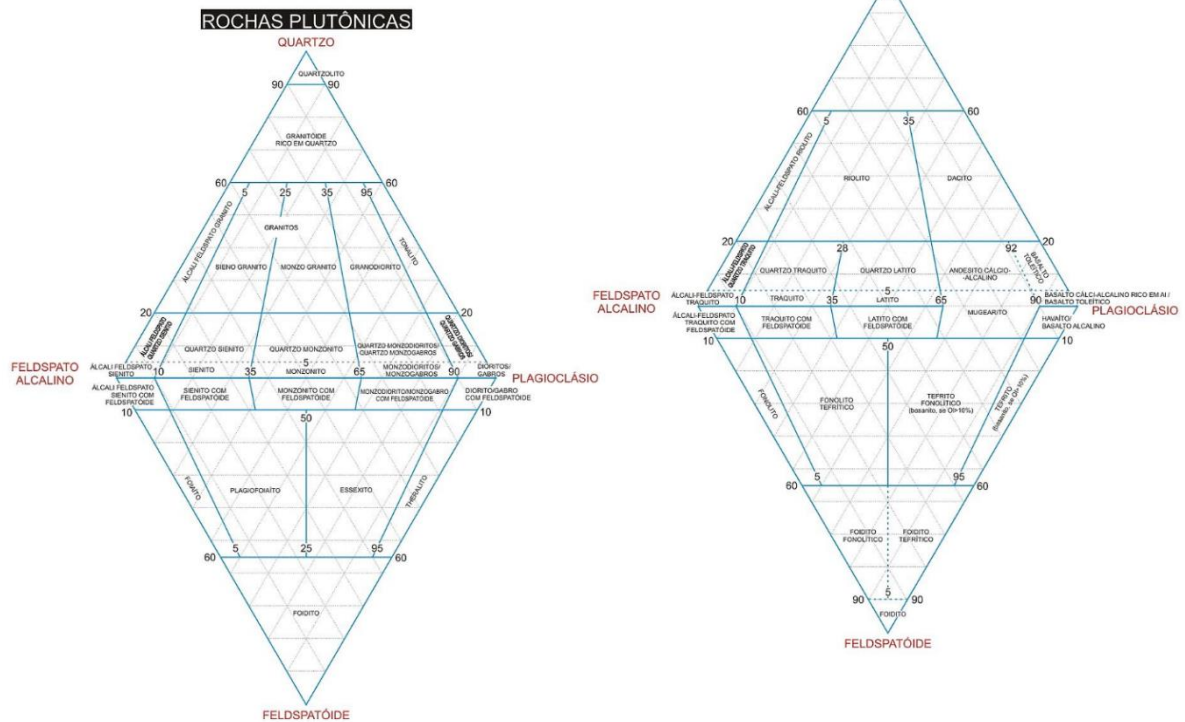
**Tabela 1.1** - Métodos analíticos aplicados a cada amostra coletada e respectivas coordenadas em UTM.

Amostra	UTM	Litotipo	Análises		
			Petrográfica	Química (MEV)	Química de Rocha Total
LC01-A	625660E 7754793N	Gnaisse	Sim	Não	Não
LC01-B	625660E 7754793N	Gnaisse	Sim	Não	Não
LC02	625044E 7761740N	Metagranitóide	Sim	Sim	Não
LC03	624985E 7759764N	Metagranitóide	Sim	Sim	Sim

#### 1.4.3.1 Petrografia microscópica

Consiste na descrição microscópica das quatro lâminas petrográficas confeccionadas a partir das amostras coletadas em campo. O objetivo dessa descrição é determinar a composição mineral dessas rochas, juntamente com suas propriedades microestruturais. Tendo em mãos essa descrição e utilizando de suporte um diagrama do tipo QAPF de Streckeisen (1976) (Figura 1.3), é possível classificá-las com base na composição de quartzo – álcali feldspato – plagioclásio. No caso dessas amostras, feldspatóide está ausente.

**Classificação de rochas ígneas**  
Diagrama QAPF para rochas com índice de coloração M' < 90



**Figura 1.3** - Exemplos de diagrama QAPF (Streckeisen 1976).

Para realizar a descrição dessas amostras foi utilizado um microscópio binocular da marca Leica, por meio do método de luz transmitida. Como bibliografia de apoio, foram utilizados os trabalhos de Jordt-Evangelista (1988; minerais petrográficos de rochas ígneas e metamórficas – resumo das propriedades ópticas e ocorrências) e de Gonçalves (Notas de aula, Texturas de Rochas Ígneas).

Os metagranitóides estudados apresentam feições ígneas e metamórficas, mas ao longo do texto deste trabalho pode ocorrer a utilização de termos exclusivamente ígneos, sem o prefixo meta. Fica essa ressalva de que são rochas metaígneas com feições de deformação.

As fotomicrografias foram tomadas com uma câmera ZEISS AxioCam 5r acoplada a um microscópio binocular da marca Olympus, no Laboratório de Microscopia da Pós-Graduação. As abreviações minerais utilizadas neste TCC seguem as normas internacionais propostas por Whitney & Evans (2010).

### 1.4.3.2 Química mineral

O estudo de química mineral foi realizado utilizando um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), acoplado com um detector de energia dispersiva (EDS), da marca JEOL, modelo JSM-6510, no Laboratório de Microscopia e Microanálises (LMic) do DEGEO-UFOP. Foram identificados os principais elementos químicos presentes nos minerais estudados, além da observação de possíveis

zonamentos através das imagens de elétrons retro-espalhados (BSE) adquiridas. Para esse trabalho, foram analisados grãos de **microclina** e **plagioclásio** em perfis transversais com no mínimo 4 pontos por grão. A rotina analítica utilizou voltagem de 20kV, distância da área de trabalho (*work distance*) de 15mm e *spot size* de 70.

Os dados semi-quantitativos obtidos foram posteriormente tratados utilizando uma tabela Excel desenvolvida pela orientadora deste TCC com base nos princípios de Deer *et al.* (1992), sendo possível determinar a fórmula mineral dos feldspatos com base na exigência de 8 oxigênios. Com os dados tratados também foram gerados gráficos ternários de composição e de temperatura de cristalização para os feldspatos estudados (Deer *et al.* 1992).

### 1.4.3.3 Química de rocha total

Para a análise química de rocha total (elementos maiores e alguns traços), apenas a amostra LC03 foi selecionada por apresentar um menor grau de alteração em relação as outras amostras de granitoides coletadas durante as atividades de campo. A análise foi realizada por Espectrofotômetro de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), de marca Agilent e modelo 725, no Laboratório de Geoquímica – LGqA do DEGEO-UFOP. Os resultados foram obtidos em ppm (parte por milhão), sendo necessária, para os elementos maiores, a conversão para óxido utilizando uma tabela Excel. O equipamento ICP-OES não faz uma leitura acurada do teor de SiO<sub>2</sub>, sendo este elemento obtido pela subtração do total ideal de uma análise (100%) pelo somatório dos demais óxidos. Como a mufla do laboratório estava quebrada, admitiu-se um valor hipotético de 0,5% para a perda ao fogo, com base em teores encontrados na literatura, já que rochas granitóides não tendem a ter alto valores nesse parâmetro.

A confecção de todos os gráficos geoquímicos foi realizada pelo software GDCKit e para efeito de comparação, foram utilizados os dados de oito amostras do trabalho de Farina *et al.* (2015).

### 1.4.3.4 Termometria de saturação de zircão

De posse dos resultados de química de rocha total, foram calculadas as temperaturas de saturação de zircão para a amostra LC03 e para as oito amostras de Farina *et al.* (2015). As temperaturas foram calculadas de acordo com a revisão de calibração de Boehnke *et al.* (2013), que explica que a solubilidade do zircão depende de variáveis como temperatura e composição. Os autores determinam que a temperatura pode ser calculada utilizando a seguinte função:  $\ln D_{Zr} = (10108 \pm 32) / T(K) - (1,16 \pm 0,15) (M-1) - (1,48 \pm 0,09)$ , com  $M = (Na + K + 2Ca) / (Al \cdot Si)$ , com  $D_{Zr}$  correspondendo ao

*coeficiente de distribuição de zircônio entre o material fundido e o zircão.* Os cálculos foram realizados com o auxílio de uma tabela de Excel, assim como os gráficos apresentados.

## **1.5 ORGANIZAÇÃO DESTE TCC**

Este trabalho está dividido em 6 capítulos, dispostos da seguinte forma:

- Capítulo 1: apresenta o trabalho ao leitor, trazendo uma introdução ao tema, a localização da área de estudo, os objetivos e o roteiro metodológico utilizado.
- Capítulo 2: traz o contexto geológico regional com ênfase no embasamento cristalino arqueano do Complexo Bação.
- Capítulo 3: é um capítulo conceitual, buscando apresentar ao leitor os principais aspectos de rochas granitoides.
- Capítulo 4: apresenta os resultados do trabalho, com a localização dos pontos amostrados num mapa geológico da região, a descrição macro e microscópica dos afloramentos e amostras estudadas, os dados de química mineral e de rocha total bem como dados termométricos.
- Capítulo 5: discute os dados obtidos e tenta fazer comparações regionais.
- Capítulo 6: traz a lista de referências bibliográficas consultadas.

Vieira Júnior, L. C. 2023. Petrogênese dos metagranitóides arqueanos do Quadrilátero Ferrífero na região de Itabirito, Minas Gerais.

## CAPÍTULO 2

### GEOLOGIA REGIONAL

---

#### 2.1 O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO

O Cráton do São Francisco (CSF), localizado no leste do Brasil, é um dos quatro crátons na América do Sul definidos como blocos crustais que não foram afetados de maneira significativa pelo ciclo Brasileiro (Alkmin & Marshak 1998). O CSF é dividido em vários blocos com idades que variam do Arqueano ao Proterozóico, limitados por zonas de sutura que datam 2.0 Ga (Teixeira *et al.* 2000).

Na sua porção sul, houve variados estágios de plutonismo potássico e do tipo tonalito-trondhjemitogranodiorito (TTG) concomitante à geração da sequência *greenstone belt* arqueana, ocorrendo a formação de domos com dimensões de dezenas de quilômetros (como o Domo Bação) (Farina *et al.* 2015). Subsequente a esse evento, houve o acúmulo de uma sucessão de sedimentos clásticos e químicos do Paleoproterozoico (Romano *et al.* 2013).

#### 2.2 QUADRILÁTERO FERRÍFERO

A província mineral do Quadrilátero Ferrífero (Figura 2.1) é uma região no sul do Cráton do São Francisco composta por diversos complexos de granitóide-gnaisses do Arqueano em formas de domos e sequências supracrustais do Arqueano ao Proterozoico (Lobato *et al.* 2001).

A unidade cristalina basal, também denominada embasamento cristalino, possui idade arqueana e comporta as rochas estudadas nesse trabalho, sendo formada por complexos gnaiss-graníticos e núcleos de TTG migmatizados (Alkmin & Marshak 1998). Por ser o foco da pesquisa, será mais bem detalhada no item 2.3, inclusive com uma compilação de dados geocronológicos.

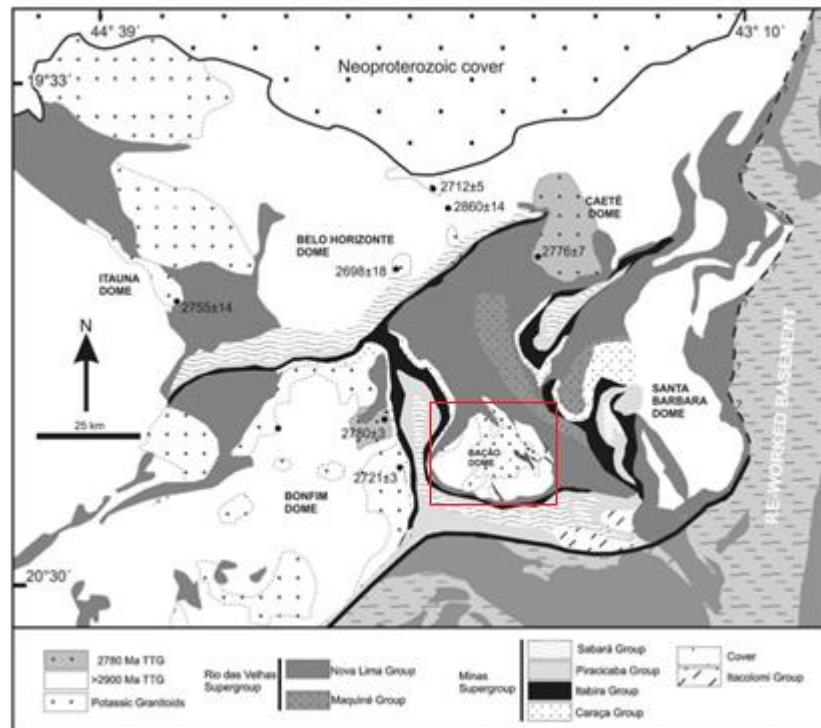
O Supergrupo Rio das Velhas, base do QF, também apresenta idade arqueana, sendo representado por uma sequência do tipo *greenstone belt* e por formações ferríferas do tipo algoma. É subdividido, da base para o topo, nos grupos Quebra Ossos, Nova Lima e Maquiné, englobando rochas metaultramáficas, metamáficas e metassedimentares químico-exalativas, vulcanoclásticas e siliciclásticas (Baltazar & Silva 1996). Datações U-Pb indicam idades de deposição entre 2857 e 2770 Ma para as rochas do Supergrupo Rio das Velhas (Alkmin & Marshak 1998).

Repousando discordantemente sobre as rochas do Supergrupo Rio das Velhas encontra-se o Supergrupo Minas, o qual, segundo Alkmim & Marshak (1998), registra uma evolução de uma margem passiva com envolvimento de um sistema colisional atuante no Paleoproterozóico. Ainda, de acordo com os autores, o Sg. Minas pode ser dividido em quatro grupo, da base para o topo: (i) Caraça, representado por metaconglomerados, metarenitos e filitos das formações Moeda e Batatal; (ii) Itabira, que inclui rochas químicas dos tipos formação ferrífera bandada e carbonática das formações Cauê e Gandarela; (iii) Piracicaba, que traz uma alternância entre metapelitos e metarenitos das formações Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro e, (iv) Sabará, composto por rochas metapelíticas e metareníticas. Do ponto de vista geocronológico, o Supergrupo Minas apresenta idades máxima de deposição entre 2600 e 2100 Ma (Alkmim & Marshak 1998; Nunes 2016; Dopico *et al.* 2017).

Uma ressalta a ser feita aqui é que o Grupo Tamanduá, que era colocado na base do Supergrupo Minas por diversos autores (*e.g.* Alkmim & Marshak 1998), foi recentemente correlacionado ao Supergrupo Espinhaço, de idade paleo-mesoproterozóica, por Dutra *et al.* (2020), sendo formalmente retirado das unidades do QF.

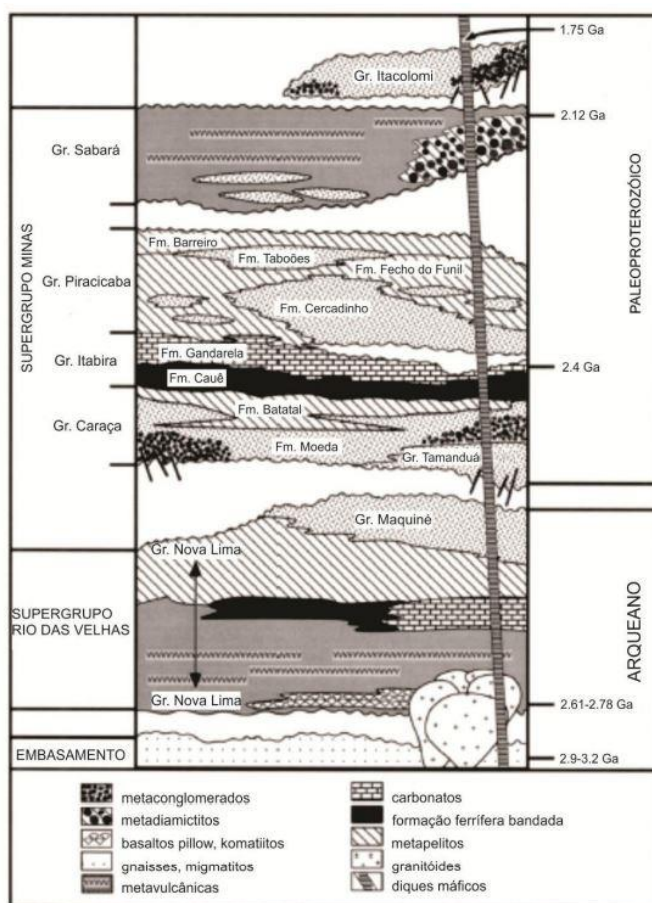
O Grupo Itacolomi é composto por metapelitos, metarenitos e metaconglomerados (Alkmim & Marshak 1998). Endo *et al.* (2020) redefinem a posição estratigráfica do Grupo Sabará e o insere, juntamente com o Grupo Itacolomi, na unidade de topo do QF, denominada Supergrupo Estrada Real. Independentemente das denominações e posições estratigráficas, os grupos Sabará e Itacolomi representam uma sucessão do tipo flysch e molassa sin-orogênicos.

No topo da sequência, são descritos as suítes intrusivas e as coberturas fanerozoicas, representadas pelas cangas ferruginosas (Endo *et al.* 2020).



**Figura 2.1** - Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero com algumas idades de cristalização magmática de corpos granitoides ou TTG em evidência (Romano *et al.* 2013). O retângulo vermelho mostra a área de estudo.





**Figura 2.2** - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero. No embasamento arqueano encontram-se os granitóides estudados neste trabalho (Alkmim & Marshak 1998).

### 2.3 EMBASAMENTO CRISTALINO

Os terrenos gnaisse-graníticos compõem o embasamento cristalino do Quadrilátero Ferrífero e são descritos como rochas cristalinas de idade arqueana com ocorrência em forma de domos (Herz 1970). São divididos em Complexo Belo Horizonte (noroeste), Complexo Caeté (norte), Complexo Santa Bárbara (leste), Complexo Bonfim (oeste) e Complexo Bação (centro) (Figura 2.1). No geral, são constituídos de rochas graníticas-gnáissicas, variando entre granito, granodiorito e tonalito (Herz 1970).

O Complexo Bação é o representante do embasamento cristalino na área de estudo. Trata-se de um domo gnaisse-granítico de idade arqueana nas imediações de Itabirito, QF. Seus gnaisses são caracterizados pela alternância entre bandas leucocráticas (ricas em plagioclásio, feldspato alcalino e quartzo com textura granoblástica) e mesocráticas (ricas em plagioclásio e biotita com textura lepidoblástica), com ocorrências raras de bandas melanocráticas (Farina *et al.* 2015). Os granitoides, com composições que variam de tonalitos ricos em hornblenda a sienogranito ricos em feldspato potássico, ocorrem em forma de batólitos e em forma de intrusões pré a sin-tectônicas, evidenciado pela

fraca foliação de *trend* constante nos gnaisses (Romano *et al.* 2013; Farina *et al.* 2015). Uma compilação de dados petrográficos e geocronológicos sobre os granitos já estudados é apresentada na Tabela 2.1.

**Tabela 2.1** - Compilação de dados litológicos e geocronológicos de granitóides do Complexo Bação.

Amostra	UTM	Descrição	Geocronologia			Referência
			Método	Mineral	Idade (Ma)	
MR11	7762152/625597	Granodiorito de cor cinza e granulação média, composto por biótica, plagioclásio, quartzo e microclina.	SHRIMP	Zircão	2744 ± 8	Romano <i>et al.</i> (2013)
MR01	7746959/643228	Granito com granulação variando de média a grossa, pobre em biotita	SHRIMP	Zircão	2716 ± 5	Romano <i>et al.</i> (2013)
FQ1	--	--	LA-Q-ICP-MS	Zircão	2711 ± 3	Farina <i>et al.</i> (2015)
FQ11	--	--	LA-Q-ICP-MS	Zircão	2790 ± 3	Farina <i>et al.</i> (2015)
D12	7762166/625664	Granodiorito com foliação fraca	SHRIMP	Zircão	2764 ± 10	Lana <i>et al.</i> (2013)
SG-2	7755071/625589	Granitóide potássico	LA-Q-ICP-MS	Zircão	2730 ± 7	Lana <i>et al.</i> (2013)
FQ5	--	Granitóide	U-Pb LA-ICPMS	Monazita	2772 ± 14	Aguilar <i>et al.</i> (2017)
FQ21	--	Leucogranito	U-Pb LA-ICPMS	Titanita	2080 ± 13	Aguilar <i>et al.</i> (2017)

Vieira Júnior, L. C. 2023. Petrogênese dos metagranitóides arqueanos do Quadrilátero Ferrífero na região de Itabirito, Minas Gerais.

## CAPÍTULO 3

### ESTADO DA ARTE: REVISÃO SOBRE GRANITÓIDES

---

Este capítulo busca revisar conceitos sobre granitóides, assim como suas diferentes classificações, incluindo os contextos geotectônicos e geoquímicos, visando facilitar correlações nos capítulos posteriores.

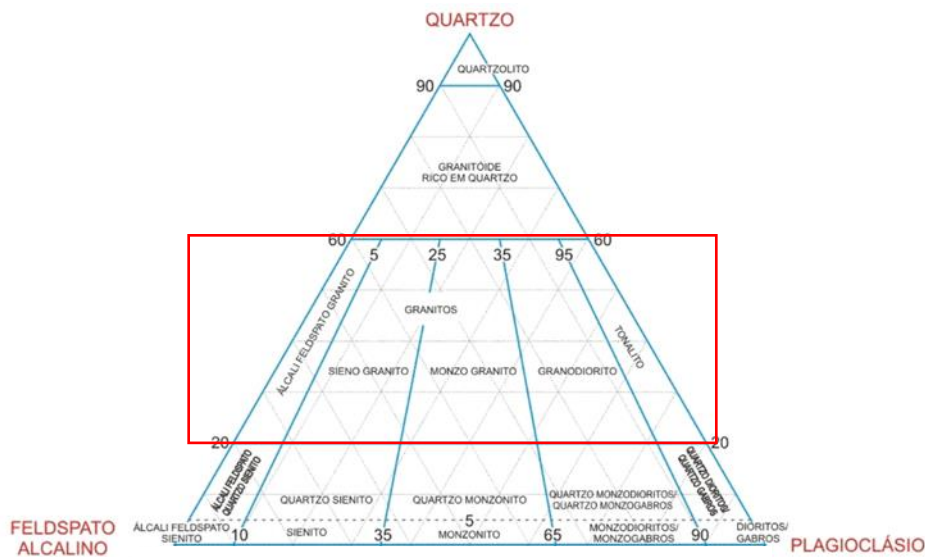
#### 3.1 GRANITÓIDES: DEFINIÇÃO GERAL

**Granitóide** é o termo genérico aplicado para as rochas intrusivas geradas pela consolidação do magma em profundidade na crosta terrestre, ricas em sílica, constituídas principalmente por quartzo (entre 20 e 60% da moda), feldspato alcalino e plagioclásio em diferentes proporções, além de porções de biotita ou hornblenda (minerais varietais mais comuns, o que não exclui a presença de granada, turmalina, muscovita etc.). Os principais litotipos englobados nesta classificação são o álcali-feldspato granito, o granito, o granodiorito e o tonalitos, considerando-se um aumento do teor de plagioclásio na moda da rocha (Streckeisen 1976).

São no geral rochas de textura holocristalina (rochas formadas apenas por cristais), faneríticas (rochas cujos cristais podem ser visualizados a olho nu), com granulação podendo variar de fina à muito grossa dependendo das condições de formação (Sgarbi 2007). Ainda em relação às condições de formação, podem ser separadas texturalmente em rochas inequigranulares (grãos de tamanhos variados) ou equigranulares (grãos de tamanhos próximos), de característica idiomórfica (grãos com faces completamente desenvolvidas), hipidiomórficas (grãos com faces desenvolvidas parcialmente) ou xenomórficas (grãos sem face desenvolvidas) (Sgarbi 2007).

#### 3.2 CLASSIFICAÇÃO MINERALÓGICA (DIAGRAMA Q-A-P-F)

O primeiro diagrama de classificação que pode ser aplicado aos granitóides é o diagrama Q-A-P-F, elaborado por Streckeisen (1967). Trata-se de um sistema de classificação simples e muito utilizado em campo para denominar rochas, utilizando as proporções modais de quartzo (Q), feldspatos alcalinos (A) (ortoclásio, microclina e demais variedades), plagioclásio (P) e feldspatóides (F) (nefelina, sodalita e demais variedades), ignorando qualquer variação composicional além das 4 mencionadas (Streckeisen 1967). Na Figura 3.1 o grupo dos granitóides está representado pela área demarcada, apresentando uma composição modal que pode variar de 20 a 60% para o quartzo.



**Figura 3.1** - Parte superior do diagrama QAPF para rochas plutônicas. Dentro da área destacada encontra-se o grupo dos granitóides composto por álcali-feldspato granito, sienogranito, monzogranito, granodiorito e tonalito, no sentido do aumento do teor de plagioclásio na moda da rocha. Adaptado de Streckeisen (1967).

### 3.3 CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM A FONTE (SIAM)

Criada por Chappell & White (1974), a classificação SIAM apresenta atualmente quatro variedades para granitóides em relação a mineralogia e a química dessas rochas e os separam de acordo com a sua origem/fonte.

Frost *et al.* (2014) descrevem esses 4 tipos da seguinte maneira: granitóides do tipo S, com origem sedimentar devido à fusão de rochas pelíticas e de composição peraluminosa (leucogranitos); granitóides do tipo I, originados pelo processo de diferenciação de magmas intermediários (tonalitos e granodioritos); granitóides do tipo A, produtos de fusão parcial de rochas máficas e formados em ambientes anorogênicos e por último os granitóides do tipo M, com origem mantélica devido a fusão parcial da crosta oceânica (Winter 2014). Na Figura 3.2 é possível associar a classificação SIAM com os ambientes de formação de rochas ígneas.

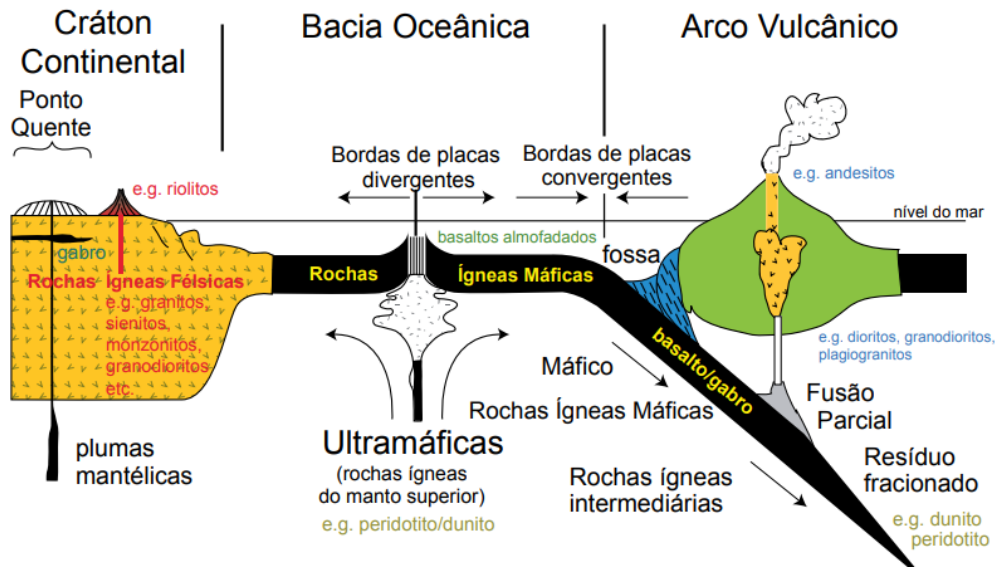


Figura 3.2 - Ambientes tectônicos e seus produtos ígneos (Sgarbi 2007).

### 3.4 CLASSIFICAÇÃO POR AMBIENTE TECTÔNICO

A classificação por ambientes tectônicos criada por Pearce (1984) divide os granitos em quatro categorias: granitos colisionais (COLG), granitos de dorsal oceânica (ORG), granitos intraplaca (WPG) e granitos de arcos vulcânicos (VAG). Esse sistema de classificação utiliza dados de elementos traços para a diferenciação tectônica, sendo os elementos Y, Nb e Rb aqueles que apresentam os melhores resultados na diferenciação dessas rochas (Figura 3.3) (Pearce 1984).

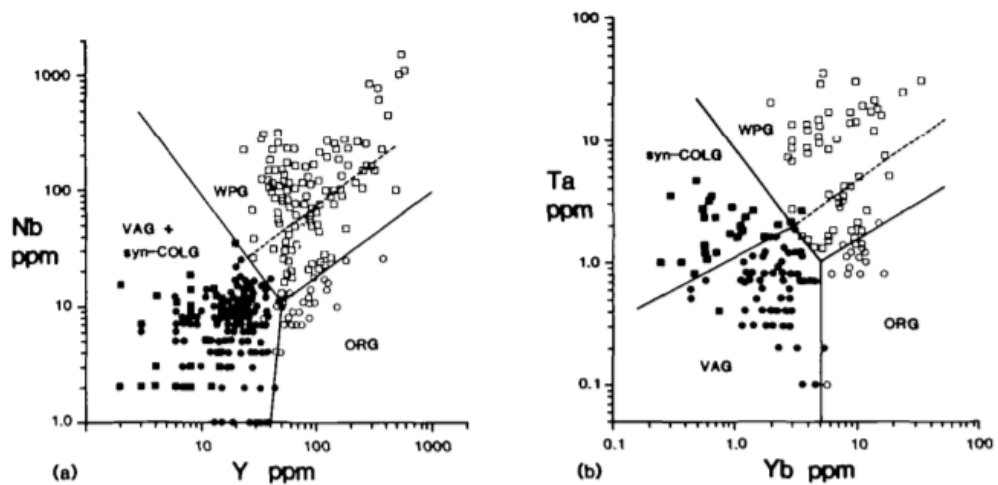


Figura 3.3 - Diagrama de classificação utilizando Nb versus Y e Ta versus Yb para a distinção entre granitos colisionais (COLG), de dorsal oceânica (ORG), intraplaca (WPG) e de arcos vulcânicos (VAG) (Pearce 1984).

### 3.4 CLASSIFICAÇÃO POR CONTEÚDO DE SÍLICA

O principal componente químico na formação das rochas ígneas é a sílica, sendo possível utilizar a proporção presente desse elemento nas rochas para sua classificação (Sgarbi 2007).

As rochas com quantidades de sílica acima de 66%, geralmente compostas de quartzo e feldspatos, são classificadas como rochas ácidas ou félsicas, entrando nessa classificação rochas como o granito. Rochas com proporção de sílica entre 66% e 52%, compostas por feldspatos e podendo ou não conter quartzo são denominadas rochas intermediárias, entrando nessa classificação rochas como os sienitos. Rochas com volume de sílica entre 52 e 45%, compostas geralmente de plagioclásio, feldspatóides e minerais escuros são classificadas como rochas básicas ou máficas, entrando nessa classificação os basaltos, por exemplo. As rochas ultrabásicas ou ultramáficas, últimas da classificação, são rochas com conteúdo de sílica menor que 45%, compostas geralmente de minerais escuros como piroxênio e olivinas, como é o caso dos peridotitos (Sgarbi 2007).

Os **granitóides** são rochas compostas por quartzo e feldspatos, atingindo conteúdos de sílica acima de 66%, podendo-se então classificar todas as rochas dessa classe como rochas ácidas ou félsicas.

### 3.5 CLASSIFICAÇÃO POR COR

A classificação de rochas ígneas pelo índice de cor serve principalmente para descrições macroscópicas (Sgarbi 2007). É uma classificação que leva em conta a porcentagem total do volume de minerais máficos presentes na rocha, como apresentado abaixo:

- Rochas Leucocráticas: São as rochas mais claras, apresentando um índice de máficos entre 0 e 33%;
- Rochas Mesocráticas: Geralmente rochas intermediárias, com um índice de máficos entre 34 e 66%;
- Rochas Melanocráticas: Rochas máficas escuras, com um índice de minerais máficos entre 67 e 90%;
- Rochas Ultramelanocráticas: São as rochas que apresentam um índice de máficos entre 91 e 100%.

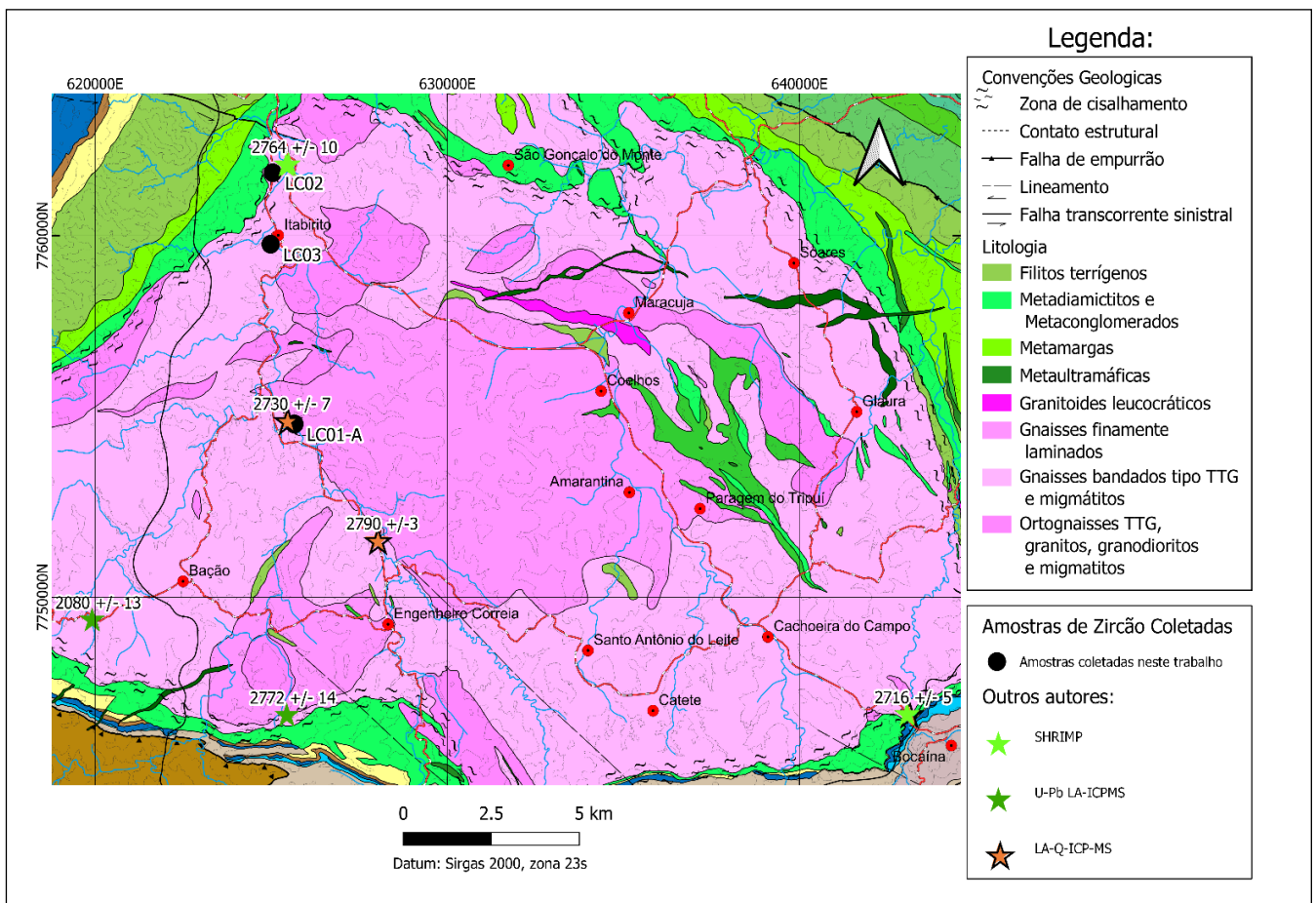
Todos os granitóides se encaixam na classificação de rochas leucocráticas, no entanto, essa classificação pode ainda ser usada dentro de uma mesma classe de cor. Um granito de índice mais alto, como 20%, em comparação ao normativo dos granitoides (geralmente entre 5 e 15% de minerais máficos), apesar de ainda ser uma rocha leucocrática, pode ser classificado como um granito melanocrático para efeito de comparação (Sgarbi 2007).

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS

#### 4.1 INTRODUÇÃO

As amostras estudadas neste trabalho são de biotita ortognaisse (LC01) e (meta) granitoides (LC02 E LC03) que afloram em Itabirito e arredores. O mapa geológico da Figura 4.1. traz a localização dos pontos descritos e amostrados, além de dados geocronológicos obtidos por Romano *et al.* (2013), Lana *et al.* (2013), Farina *et al.* (2015) e Aguiar *et al.* (2017).



**Figura 4.1** - Mapa geológico da região de Itabirito enfatizando o Complexo Bação em tons de rosa. Detalhe para as amostras estudadas neste TCC (LC-01 A e B, LC-02 e LC-03) e para os dados geocronológicos de Lana *et al.* (2013), Romano *et al.* (2013), Farina *et al.* (2015) e Aguiar (2017). Mapa geológico adaptado de Endo *et al.* (2020).

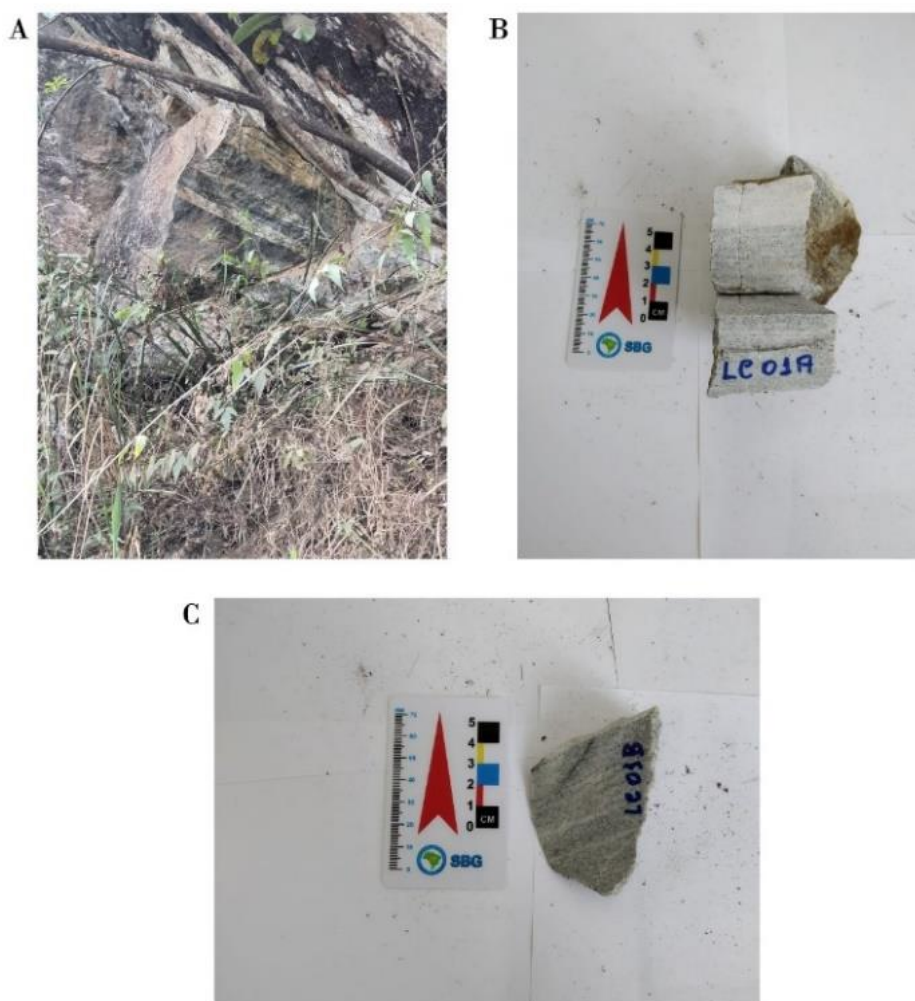


Para fins comparativos, especialmente nos diagramas geoquímicos e no tratamento termométrico, dados de química de rocha total de 08 amostras de (meta) granitóides do Complexo Bação de Farina *et al.* (2015) foram incorporados ao trabalho

## 4.2 DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

### 4.2.1 Amostra LC01

O afloramento LC01 está localizado na estrada de terra que liga o município de Itabirito ao distrito de Engenheiro Correia (Figura 4.1). Trata-se de uma rocha acinzentada, com granulação variável entre fina e média, apresentando feições de deformação e bandamento composicional centimétrico bem marcado (Figuras 4.2 A, B, C). As bandas leucocráticas são compostas por quartzo e feldspatos enquanto as melanocráticas são formadas por palhetas de biotita orientadas marcando a foliação Sn.



**Figura 4.2** - A) Gnaisse com feições de deformação *in situ*. B) Amostra LC01-A ressaltando as bandas leucocrática e melanocrática em seção de corte para a confecção da lâmina. C) Amostra LC01-B evidenciando a banda melanocrática.

Duas lâminas petrográficas foram confeccionadas a partir das amostras coletadas nesse ponto; uma com ambas as bandas leucocrática-melanocrática (amostra LC01-A) e outra enfatizando a banda melanocrática (lâmina LC01-B), possibilitando a realização de uma descrição microscópica dessa amostra como um todo.

**a) Lâmina LC01-A**

A rocha apresenta microestrutura inequigranular, lepidogranoblástica, com biotita definindo a foliação Sn. Seus grãos variam de fino a médio. Abaixo são encontradas as principais características dos minerais identificados na amostra.

**Microclina** perfaz cerca 30% da porcentagem modal da lâmina. É incolor, de hábito granular anédrico, com cor de interferência até branco de 1ª ordem. Apresenta também a característica macla Tartan, além da presença de pertita em alguns grãos (Figura 4.3A).

**Plagioclásio** perfaz cerca de 15% da porcentagem modal da lâmina. É incolor, com hábito granular anédrico e cor de interferência cinza a branco de 1ª ordem. Seus grãos estão com médio a alto grau de alteração e há ocorrência de zonamento composicional identificado por extinção concêntrica.

**Quartzo** perfaz cerca de 25% da porcentagem modal da lâmina. É incolor, de hábito granular anédrico, com cor de interferência até branco de 1ª ordem. Apresenta extinção ondulante (Figura 4.3B) proveniente de deformação e a característica figura de interferência uniaxial positivo.

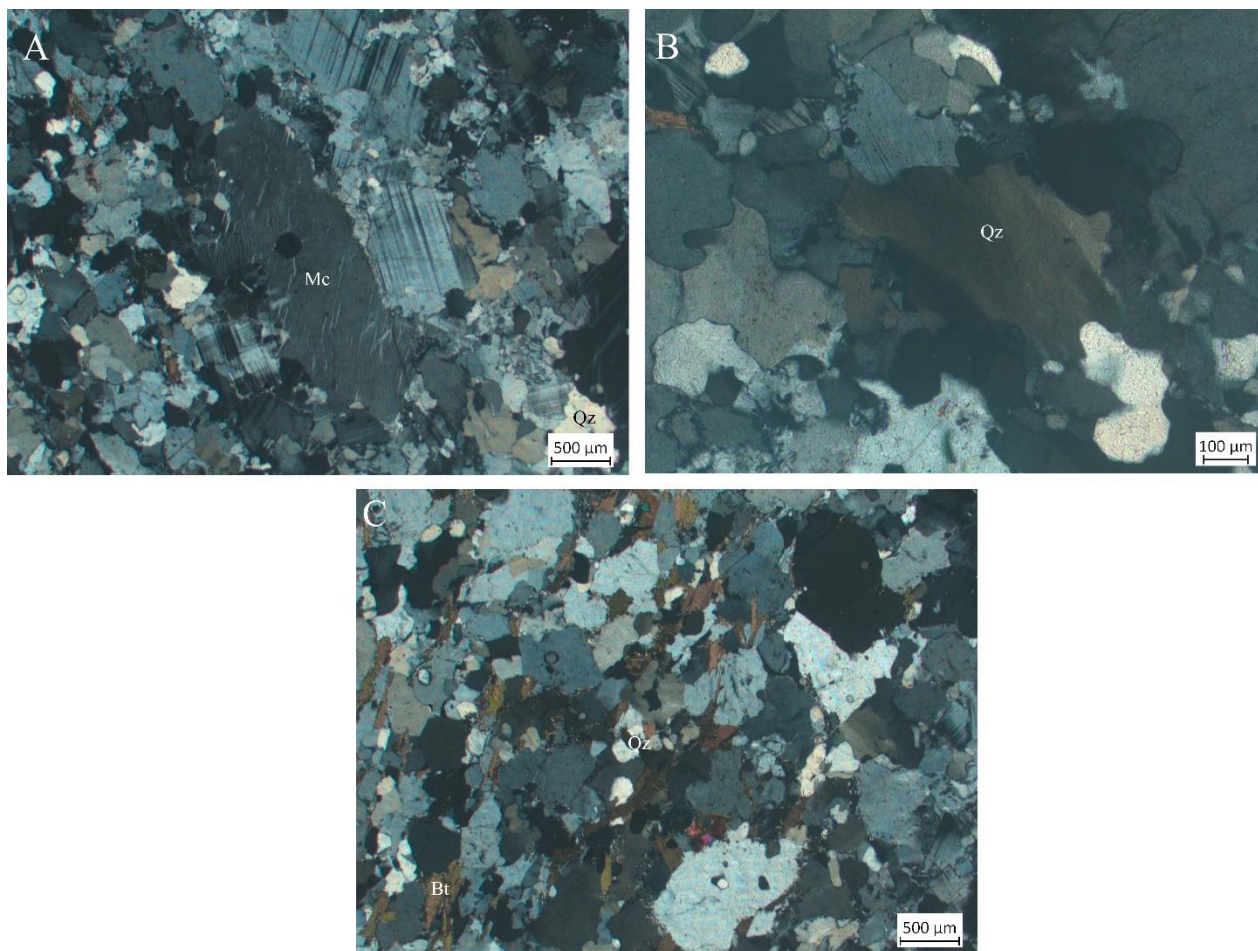
**Biotita** perfaz cerca de 15% da porcentagem modal da lâmina. Apresenta forte pleocroísmo, com suas cores variando de um castanho bem claro ao castanho escuro. Seu hábito é tabular com grãos subédricos, uma direção perfeita de clivagem, característica extinção olho-de-pássaro e cor de interferência verde de 3ª ordem (Figura 4.3C). Há ocorrência de halos pleocróicos em volta das inclusões de zircão.

**Epidoto** perfaz cerca de 5% da porcentagem modal da lâmina. Aparece na forma inclusões sobre os grãos de feldspato alterado (saussuritização?) (Figura 4.3B), com grãos anédricos, incolores, relevo alto e cor de interferência amarelo de 2ª ordem.

**Apatita** aparece como mineral acessório (<5%) na forma de pequenos grãos prismáticos incolores, apresentando cor de interferência cinza de 1ª ordem.

**Zircão** ocorre como mineral acessório (<5%) incolor de relevo muito alto, podendo ser identificado devido aos halos pleocróicos presentes nas palhetas de biotita.

Há também a ocorrência de minerais opacos, com aproximadamente 5% da porcentagem modal.



**Figura 4.3** – A) Detalhe de microclina perítica a nicóis cruzados (aumento de 2.5x). B) Detalhe de quartzo com extinção ondulante e presença de subgrãos, a nicóis cruzados (aumento de 10x). C) Visão geral de quartzo com subgrãos e biotita orientada, a nicóis cruzados (aumento de 2.5x). Mc = microclina; Qz = quartzo; Bt = biotita.

#### b) Lâmina LC01-B

A rocha apresenta microestrutura inequigranular, lepidogranoblástica, com grãos variando de fino a médio. Os principais minerais encontrados na amostra, com sua porcentagem modal e características ópticas, são elencados a seguir.

**Microclina** perfaz cerca de 25% da porcentagem modal da lâmina. Apresenta-se de forma incolor, com hábito granular anédrico, cor de interferência cinza a branco de 1ª ordem. Apresenta também sua característica macla Tartan e baixo grau de alteração.

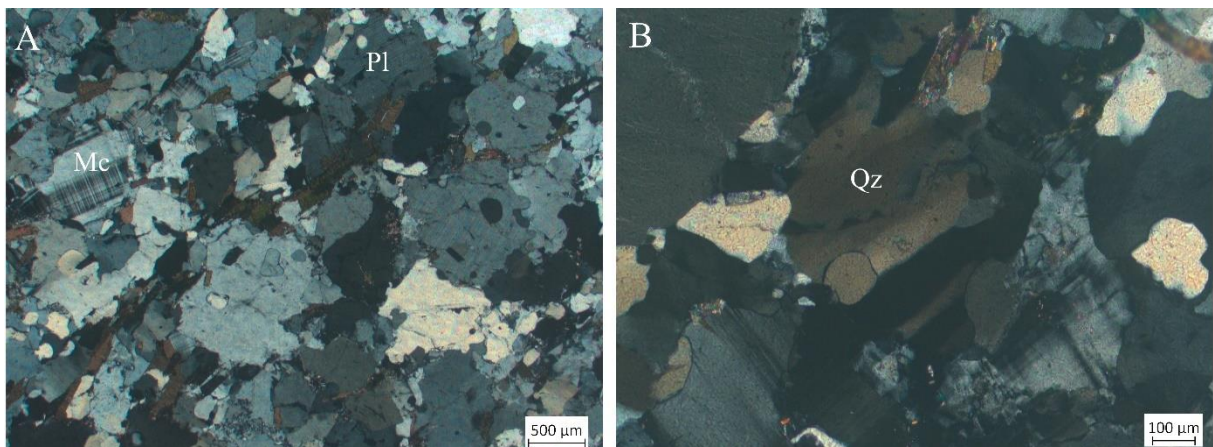
**Plagioclásio** perfaz cerca de 15% da porcentagem modal da lâmina. Ocorre de maneira incolor, hábito granular anédrico, cor de interferência até branco de 1ª ordem. Há presença de grãos zonados e outros bastante alterados. Zonamento químico é comum e maclas polissintéticas são raras.

**Quartzo** perfaz cerca de 20% da porcentagem modal da lâmina. Incolor, com hábito granular anédrico, cor de interferência cinza a branco de 1ª ordem e a característica figura de interferência uniaxial positivo. As principais feições de deformação intracristalina são extinção ondulante (Figura 4.4B) e subgrãos.

**Biotita** perfaz cerca de 25% da porcentagem modal da lâmina. Mineral que define a foliação (Figura 4.4A), ocorre com forte pleocroísmo em tons acastanhados. Apresenta hábito tabular com grãos subédricos, uma direção perfeita de clivagem, característica extinção olho-de-pássaro e cor de interferência verde de 3ª ordem.

**Epidoto** perfaz cerca de 5% da porcentagem modal da lâmina. Seus grãos são anédricos, incolores, relevo alto e cor de interferência amarelo de 2ª ordem.

Os minerais opacos perfazem cerca de 10% da lâmina. Minerais subordinados são **apatita** e **zircão**.



**Figura 4.4** – A) Visão geral da associação plagioclásio + microclina + quartzo + biotita orientada, a nicóis cruzados (aumento de 2.5x). B) Quartzo com extinção ondulante a nicóis cruzados (aumento de 10x). Mc = microclina; Bt = Biotita; Pl = plagioclásio; Qz = quartzo.

A associação mineral nas lâminas LC01-A e LC01-B é característica da fácies anfibólito. O nome mais apropriado para a amostra é **biotita ortognaisse**.

#### 4.2.2 Amostra LC02

O afloramento LC02 localiza-se no perímetro urbano de Itabirito, próximo à entrada do Parque Municipal Ecológico (Figuras 1.1B e 4.1). Consiste em blocos de granitóide acinzentado, com grãos variando de médio a grosso, fenocristais euédricos de feldspato e porções foliadas com  $S_n = 310/75$ .



Também ocorre nesse afloramento o contato discordante com uma rocha intemperizada, de aparente composição máfica, com  $S_n = 155/10$ .

Uma lâmina petrográfica de granitóide (Figura 4.5) foi confeccionada para o estudo de detalhe.



**Figura 4.5** - Detalhe da amostra coletada. Ressalta-se a granulação grossa e a presença de fenocristais euédricos de feldspato esbranquiçado (círculo vermelho).

A lâmina LC02 mostra que o granitóide apresenta feições ígneas preservadas e recristalização metamórfica parcial. Chamam atenção os grandes cristais euédricos de feldspato potássico ( $\pm$  plagioclásio) imersos numa matriz fina a média, poligonizada. A seguir, realiza-se um detalhamento dos principais minerais encontrados na amostra.

**Microclina** perfaz cerca 30% da porcentagem modal da lâmina. Trata-se de um mineral incolor, com hábito tabular anédrico a subédrico e cor de interferência cinza a branco de 1ª ordem. Há presença da característica macla Tartan, além de baixo a médio grau de alteração e feições de deformação rúptil (Figura 4.6B). Poucos cristais mostram exsolução de pertita, como vistos na química mineral (item 4.3.1).

**Plagioclásio** perfaz cerca de 15% da porcentagem modal da lâmina. Aparece de maneira incolor, hábito anédrico, cor de interferência até branco de 1ª ordem e alto grau de alteração. A presença de muscovita (sericita) na lâmina indica um processo de sericitização do plagioclásio. Foi possível caracterizar um “fenocristal” (ou porfiroclasto euédrico) de plagioclásio com feições der deformação rúptil (Figura 4.6A).

**Quartzo** perfaz cerca de 23% da porcentagem modal da lâmina. Incolor, com hábito anédrico, cor de interferência cinza a branco de 1ª ordem, com a sua característica figura de interferência uniaxial positivo. Há ocorrência de subgrãos e extinção ondulante (feições de deformação).

**Muscovita (sericita)** perfaz cerca de 15% da porcentagem modal da lâmina. São palhetas euédricas, de granulação fina, incolores, com cor de interferência amarelo de 2ª ordem. Apresenta também uma direção de clivagem perfeita e extinção incompleta do tipo olho-de-pássaro.

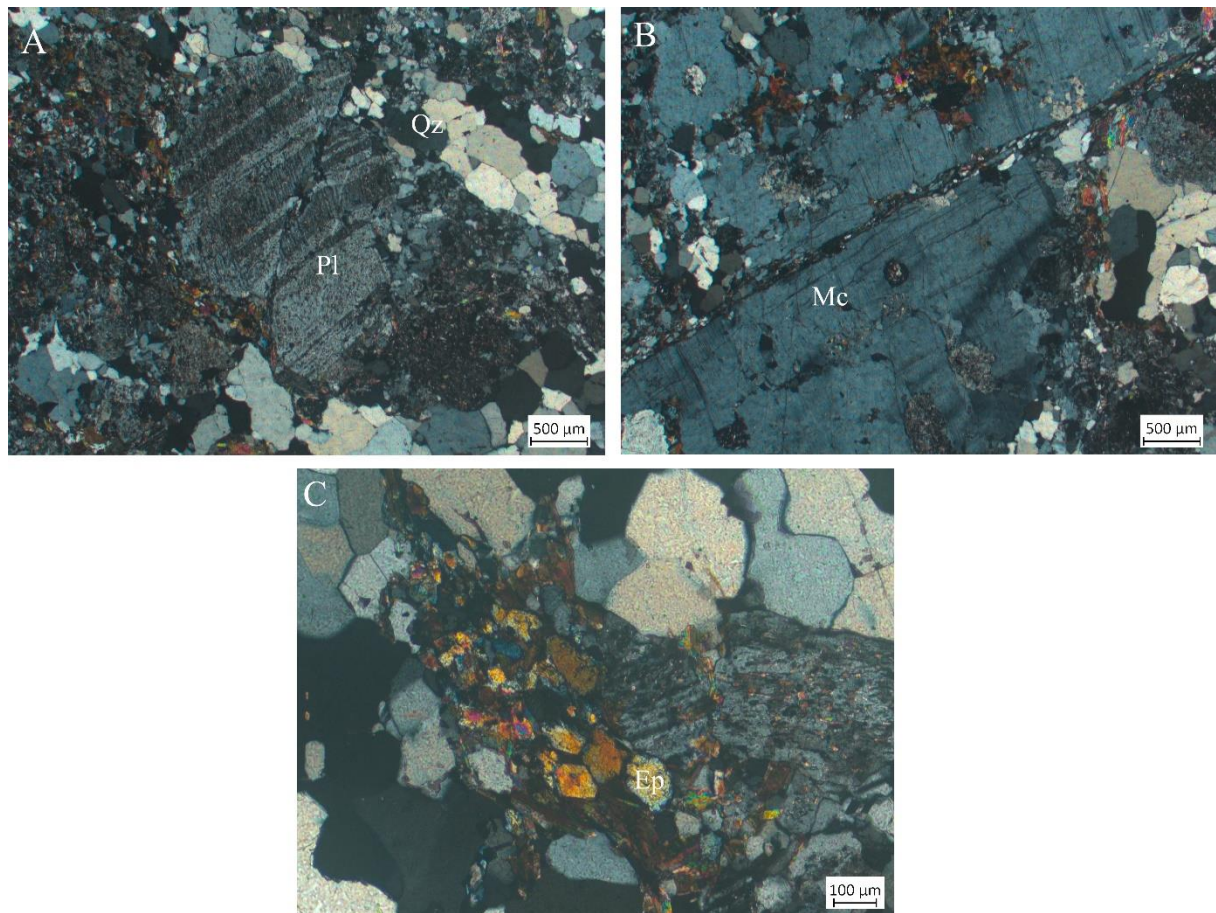
**Biotita** perfaz cerca de 7% da porcentagem modal da lâmina. Seus grãos têm forte pleocroísmo, com cores que variam de castanho claro ao castanho escuro. Apresenta hábito tabular com grãos subédricos, uma direção perfeita de clivagem, característica extinção incompleta do tipo olho-de-pássaro e cor de interferência verde de 3ª ordem.

**Epidoto** perfaz cerca de 5% da porcentagem modal da lâmina. Seus grãos são anédricos, incolores, relevo alto e cor de interferência amarelo de 2ª ordem (Figura 4.6C).

**Apatita** aparece como mineral acessório (<5%) na forma de pequenos grãos prismáticos incolores, apresentando cor de interferência cinza de 1ª ordem.

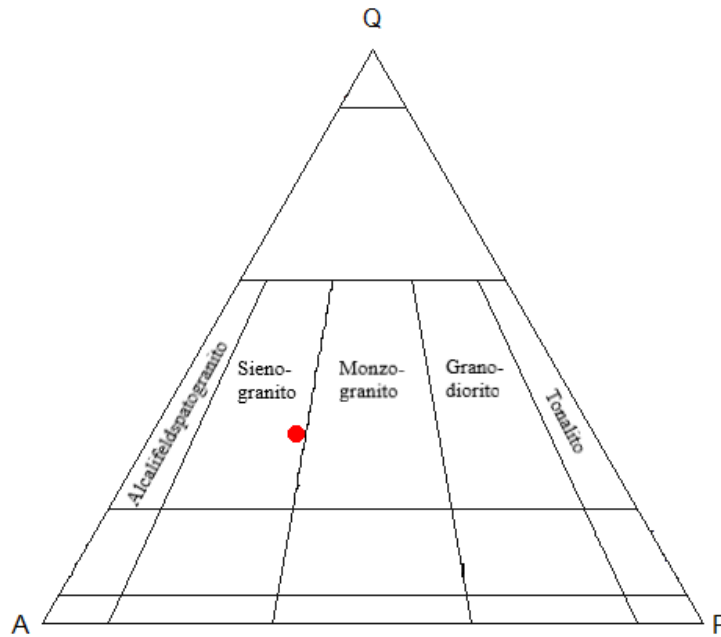
**Zircão** ocorre como mineral acessório (<5%) incolor de relevo muito alto e alta cor de interferência.

Os minerais opacos perfazem cerca de 5% da lâmina.



**Figura 4.6** – A) Visão geral da amostra enfatizando plagioclásio fraturado em uma matriz poligonizada, a nicóis cruzados (aumento de 2.5x). B) Detalhe de um grande cristal de microclina com feições de deformação rúptil e contornado pela foliação Sn, indicando seu caráter pré-tectônico (nicóis cruzados, aumento de 2.5x). C) Epidoto em detalhe a nicóis cruzados (aumento de 10x). Pl = plagioclásio; Mc = microclina; Ep = epidoto; Qz = quartzo.

Com a porcentagem modal estimada e com o auxílio de um diagrama QAPF, após a normalização das porcentagens de **quartzo (Q)**, **microclina (M)** e **plagioclásio (P)** para 100%, essa rocha é classificada como um **sienogranito**, como representado no diagrama QAPF (Figura 4.7).



**Figura 4.7** - Diagrama QAPF com as porcentagens de quartzo, microclina e plagioclásio normalizadas, indicando composição sienogranítica. Baseado em Streckeisen (1967).

### 4.2.3 Amostra LC03

Este afloramento está localizado no centro de Itabirito, próximo ao Banco do Brasil. Rocha acinzentada, com granulação variando de média a grossa (Figura 4.8), apresentando porções milonitizadas (Sn = N10W) e foliação aparente (175/75). Com a amostra coletada nesse ponto, uma lâmina foi confeccionada.



**Figura 4.8** - Amostra LC03 em seção de corte para confecção da lâmina.



Trata-se de uma rocha de granulação variável entre média e grossa, com grandes cristais euédricos de feldspatos. A seguir, uma breve descrição dos minerais é realizada.

**Microclina** perfaz cerca 35% da porcentagem modal da lâmina. Mineral incolor, de hábito tabular anédrico a subédrico. Sua cor de interferência máxima chega ao branco de 1ª ordem e apresenta a característica macla Tartan. Há também grãos com ocorrência de pertita e de macla Carlsbad (Figura 4.9A e 4.9B)

**Plagioclásio** perfaz cerca de 10% da porcentagem modal da lâmina. Mineral incolor, apresentando tons turvos em grãos mais alterados, hábito anédrico, cor de interferência variável entre cinza e branco de 1ª ordem. A maioria dos grãos apresenta grau elevado de alteração e são raras a presença de macla polissintética.

**Quartzo** perfaz cerca de 25% da porcentagem modal da lâmina. Incolor, com hábito anédrico, cor de interferência máxima branco de 1ª ordem, com característica figura de interferência uniaxial positivo. As principais feições de deformação são subgrãos (Figura 4.9C) e extinção ondulante.

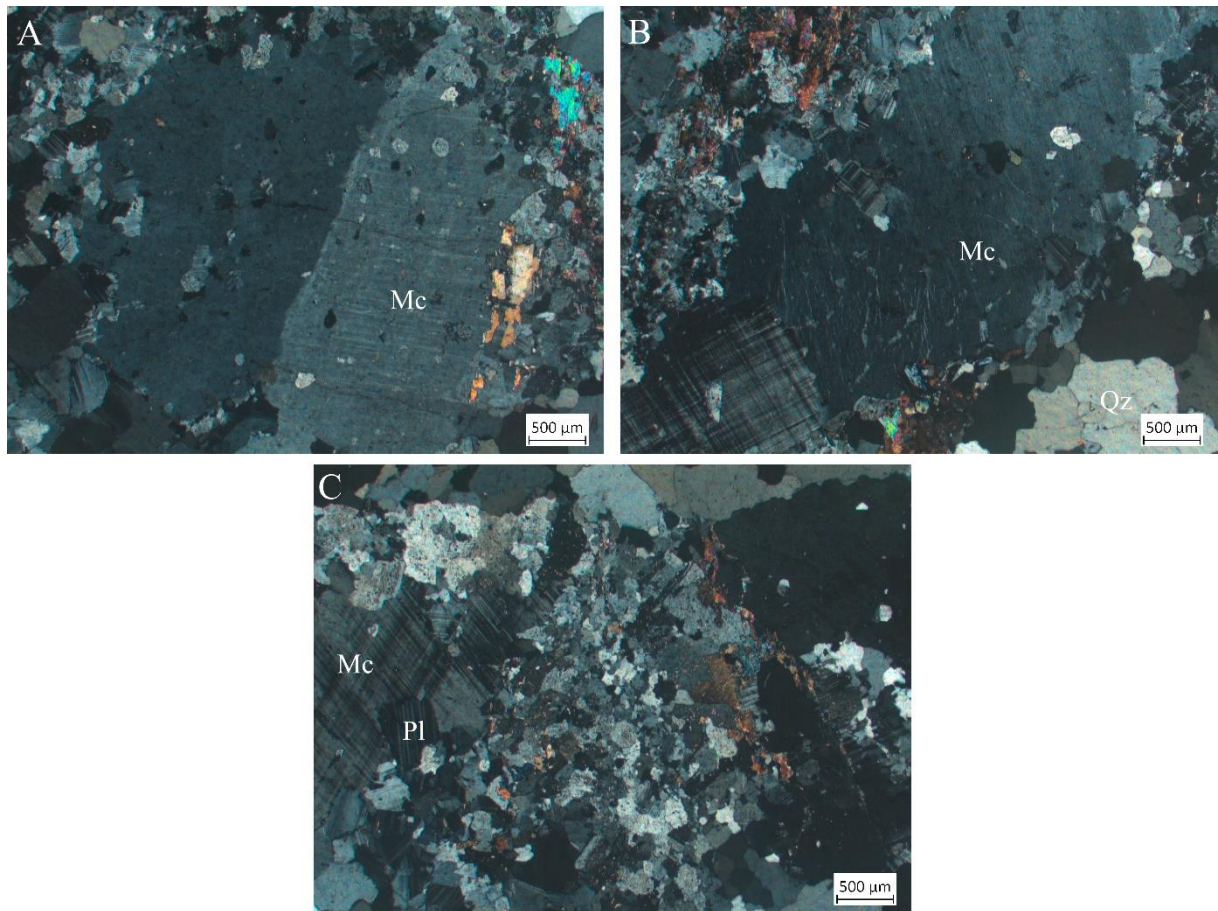
**Muscovita (sericita)** perfaz cerca de 10% da porcentagem modal da lâmina. Apresenta hábito tabular euédrico, com grãos incolores, cor de interferência amarelo de 2ª ordem, uma direção de clivagem perfeita e extinção incompleta do tipo olho-de-pássaro.

**Biotita** perfaz cerca de 5% da porcentagem modal da lâmina. Apresenta grãos com forte pleocroísmo, hábito tabular com grãos subédricos, uma direção perfeita de clivagem, característica extinção incompleta do tipo olho-de-pássaro e cor de interferência verde de 3ª ordem.

**Epidoto** perfaz cerca de 5% da porcentagem modal da lâmina. Seus grãos são anédricos, incolores, relevo alto e cor de interferência amarelo de 2ª ordem.

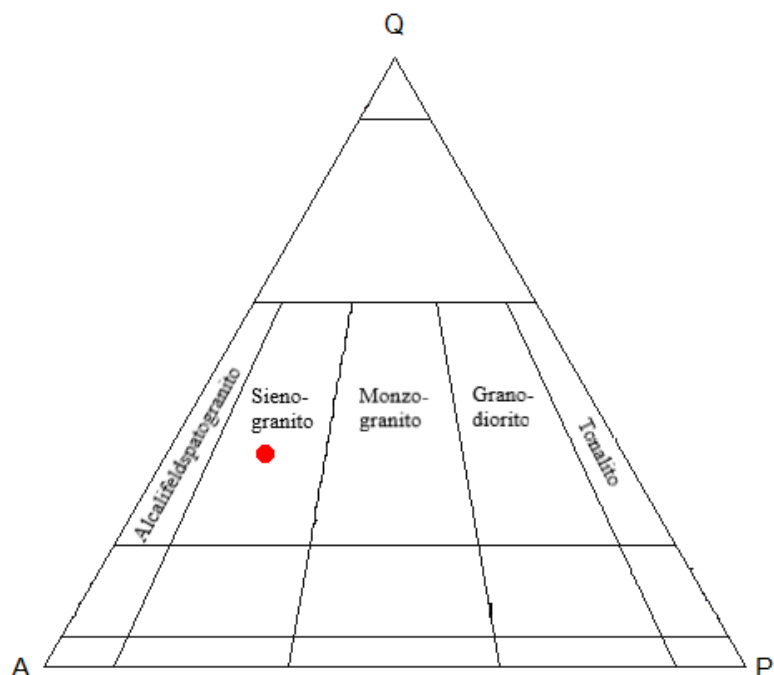
**Apatita** aparece como mineral acessório (<5%) na forma de pequenos grãos prismáticos incolores, apresentando cor de interferência cinza de 1ª ordem.

Os minerais opacos perfazem cerca de 5% da lâmina.



**Figura 4.9** – A) Detalhe de um grande grão de microclina com macla Carlsbad e nicóis cruzados (aumento de 2.5x) B) Microclina perítica e nicóis cruzados (aumento de 2.5x) C) Visão geral da rocha com microclina + plagioclásio em meio a uma matriz de quartzo recristalizada, a nicóis cruzados (aumento de 2.5x). Mc = microclina; Pl = plagioclásio; Qz = quartzo.

Utilizando a porcentagem modal estimada e um diagrama QAPF, com a normalização das porcentagens de **quartzo (Q)**, **microclina (M)** e **plagioclásio (P)** para 100%, essa rocha classifica-se como um ***sienogranito***, como representado na Figura 4.10.



**Figura 4.10** - Diagrama QAPF para lâmina LC03, indicando composição sienogranítica. Baseado em Streckeisen (1967).

### 4.3 QUÍMICA MINERAL E TERMOMETRIA COM BASE NA COMPOSIÇÃO DOS FELDSPATOS

As análises químicas foram feitas com o intuito de determinar a composição mineral quantitativa a semi-quantitativa de feldspatos e, conseqüentemente, definir dados de temperatura de cristalização destes minerais. Foram analisadas as lâminas LC02 e LC03 e para ambas, foram considerados **plagioclásio** e **microclina**. Para a realização dessas análises, três campos em cada lâmina foram demarcados (Tabela 4.1).

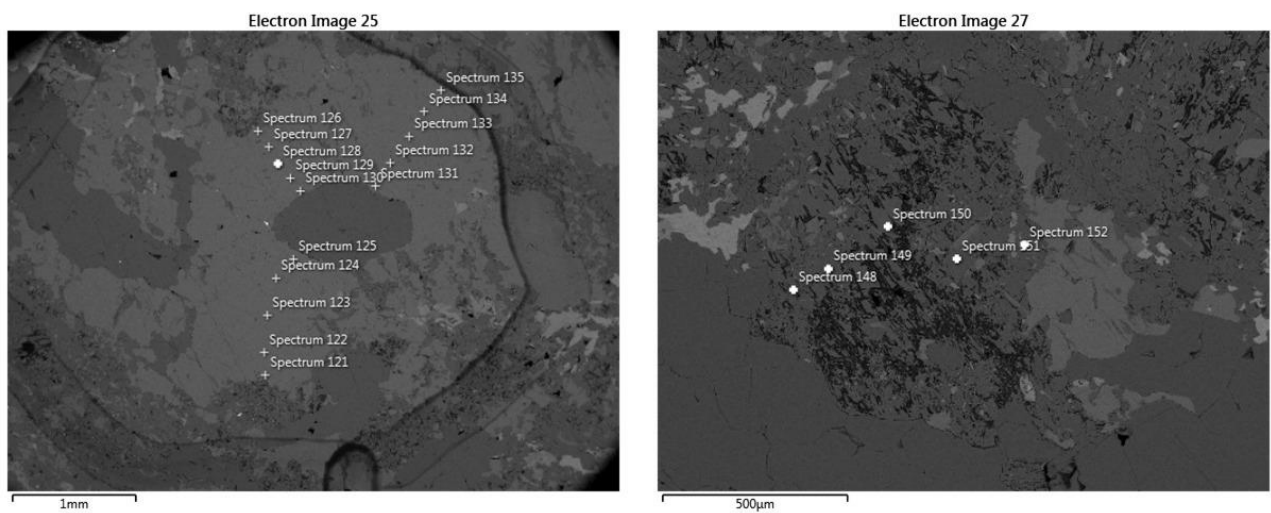
**Tabela 4.1** - Campos analisados em cada lâmina.

Lâmina	Campo	Mineral
LC02	1	Microclina
	2	Plagioclásio
	3	Plagioclásio
LC03	1	Microclina
	2	Plagioclásio
	3	Microclina

### 4.3.1 Lâmina LC02

Foram analisados dois grãos de microclina no primeiro campo em um total de 20 pontos, como mostrado nas imagens de BSE (Figura 4.11, Tabela 4.2). Os resultados apresentados na Tabela 4.2 mostram o primeiro grão de microclina com uma composição homogênea, enquanto o segundo grão analisado indica a presença de exsolução de plagioclásio sódico (pertita).

A fórmula média para a microclina pode ser escrita da seguinte maneira:

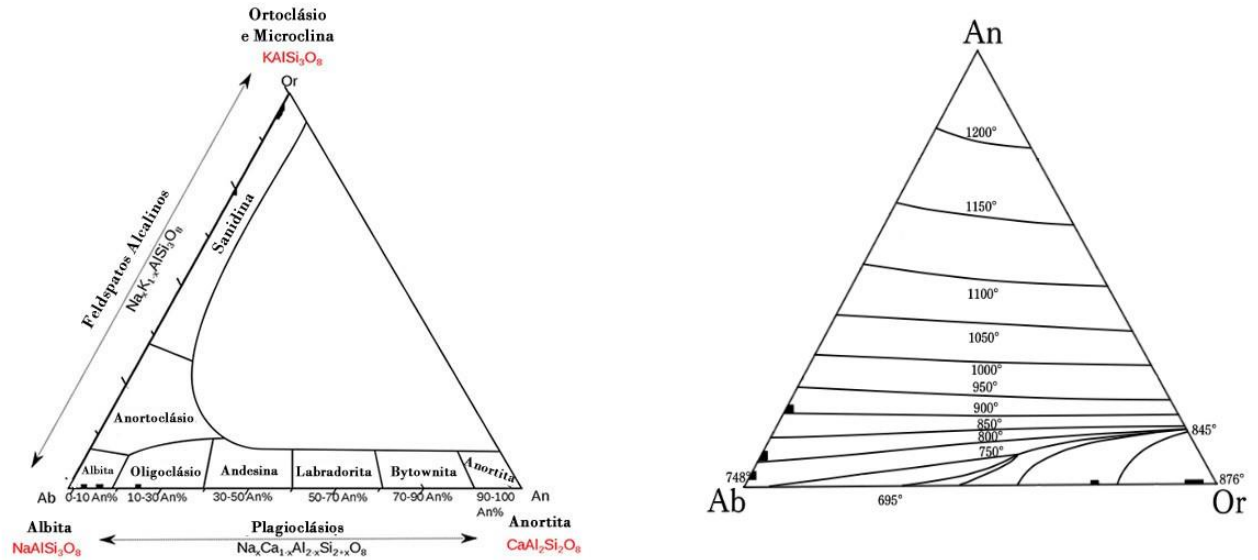


**Figura 4.11** - Imagens de elétrons retro-espalhados com os 20 pontos analisados para ambos os grãos do primeiro campo.

**Tabela 4.2** - Análise de química mineral para microclina do campo 1, amostra LC02. São apresentados os dados em óxido provenientes do MEV, os cátions para a fórmula química e os *end-members* (An = anortita, Ab = Albita e Or = Ortoclásio). Em vermelho estão ressaltados os pontos de análise em pertita exsolvida em microclina.

Amostra	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02
Campo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Grão	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Ponto	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	148	149	150	151	152
Posição	Inter.	Inter.	Inter.	Núcleo	Núcleo	Inter.	Inter.	Inter.	Núcleo	Núcleo	Núcleo	Inter.	Inter.	Borda	Borda	Inter.	Inter.	Núcleo	Inter.	Inter.
Óxidos																				
SiO <sub>2</sub>	64,45	64,26	64,35	64,51	64,53	64,60	64,46	64,42	64,49	64,59	64,15	64,43	63,46	64,50	65,11	65,99	67,33	63,29	66,16	65,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,36	19,47	19,34	19,37	19,38	19,33	19,26	19,37	19,42	19,24	19,61	19,36	20,97	19,34	20,35	21,55	20,71	23,44	21,5	20,35
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,55	0,56	3,75	1,48	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,56	0,61	0,61	0,62	0,54	0,38	0,48	0,48	0,52	0,48	0,51	0,52	0,42	0,50	2,65	10,82	11,31	9,38	10,78	2,65
K <sub>2</sub> O	15,22	15,11	15,24	15,08	15,18	15,42	15,33	15,12	15,12	15,30	15,33	15,26	15,15	15,20	11,59	0,09	0,08	0,14	0,08	11,59
BaO	0,41	0,55	0,47	0,43	0,37	0,27	0,47	0,61	0,45	0,39	0,40	0,42	0,00	0,46	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31
Total	100,00	100,00	100,01	100,01	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00	100,00	100,01	100,00	99,99	100,00	100,00	100,01
Fórmula																				
Si	2,97	2,96	2,97	2,97	2,97	2,98	2,97	2,97	2,97	2,98	2,96	2,97	2,92	2,97	2,95	2,90	2,95	2,79	2,90	2,88
Al	1,05	1,06	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,07	1,05	1,14	1,05	1,09	1,11	1,07	1,22	1,11	1,13
Fe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,03	0,18	0,07	0,08
Na	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,23	0,92	0,96	0,80	0,92	0,92
K	0,90	0,89	0,90	0,89	0,89	0,91	0,90	0,89	0,89	0,90	0,90	0,90	0,89	0,89	0,67	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
Ba	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>End-members</i>																				
An	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	2,7	18,0	7,0	7,7
Ab	5,3	5,8	5,7	5,9	5,1	3,6	4,5	4,6	5,0	4,6	4,8	4,9	4,0	4,8	25,8	92,2	96,9	81,3	92,5	91,7
Or	94,7	94,2	94,3	94,1	94,9	96,4	95,5	95,4	95,0	95,4	95,2	95,1	96,0	95,2	74,2	0,5	0,5	0,8	0,5	0,7

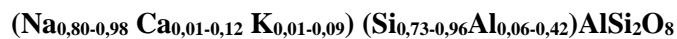
Com os dados químicos de microclina, foi possível representar em um gráfico ternário a variação da composição e a temperatura estimada de cristalização desses minerais (Figura 4.12).



**Figura 4.12** - Gráficos ternários do tipo Or-Ab-An; à esquerda, tem-se a representação da composição dos grãos estudados (notar que alguns pontos caem no campo da albíta por tratar-se de pertita). À direita, ternário de temperatura de cristalização para esses grãos. Baseado nos princípios de Deer *et al.* (1992).

O gráfico da esquerda mostra que os cristais de microclina analisados possuem uma composição rica em potássio (Or > 90%), enquanto as pertitas analisadas possuem composição sódica, como era esperado por se tratar de uma exsolução (Figura 4.12). O gráfico ternário de temperatura mostra que as pertitas possuem uma temperatura média de cristalização de 816°C e a temperatura de cristalização da microclina ocorre a valores na casa de 876°C (Figura 4.12).

Em relação aos plagioclásios, foram analisados 18 pontos distribuídos entre 2 campos como mostrado nas imagens de elétrons retro-espalhados (Figura 4.13). As análises desses grãos estão apresentadas na Tabela 4.3, e a fórmula média pode ser escrita da seguinte maneira:



**Tabela 4.3** - Análise de química mineral para plagioclásio dos campos 2 e 3, amostra LC02. São apresentados os dados em óxido provenientes do MEV, os cátions para a fórmula química e os *end-members* (An = anortita, Ab = Albita e Or = Ortoclásio). Os pontos 98 à 111 não possuem imagem BSE.

Amostra	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02	LC02
Campo	2	2	2	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grão	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ponto	138	142	143	144	147	98	99	100	101	103	104	105	106	107	108	110	111
Posição	Inter	Inter	Inter	Inter	Borda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Óxidos																	
SiO <sub>2</sub>	65,03	66	67,24	67,58	66,36	67,74	66,05	67,44	67,43	66,49	65,63	64,72	66,96	64,7	65,66	62,63	65,84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,52	21,55	20,72	20,55	22,15	20,4	22,62	20,61	20,51	21,3	21,82	22,38	21,01	22,6	21,79	27,73	21,45
FeO	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CaO	1,82	1,75	0,47	0,47	0,42	0,27	0,27	0,58	0,38	1,22	1,69	2,58	0,89	2,53	0,51	2,52	0,44
Na <sub>2</sub> O	10,63	10,84	11,49	11,4	10,95	11,49	9,45	11,38	11,55	10,99	10,57	10,24	11,14	10,08	10,86	6,91	11,97
K <sub>2</sub> O	0,00	0	0,09	0	0,12	0,09	1,61	0	0,11	0	0,29	0,08	0	0,09	1,18	0,2	0,3
BaO	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	100,00	100,00	100,01	100,00	100,00	99,99	100,00	100,01	99,98	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00
Fórmula																	
Si	2,86	2,89	2,94	2,95	2,90	2,96	2,89	2,95	2,95	2,91	2,88	2,85	2,93	2,85	2,89	2,73	2,90
Al	1,17	1,12	1,07	1,06	1,14	1,05	1,17	1,06	1,06	1,10	1,13	1,16	1,08	1,17	1,13	1,42	1,11
Fe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,09	0,08	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02	0,06	0,08	0,12	0,04	0,12	0,02	0,12	0,02
Na	0,91	0,92	0,97	0,97	0,93	0,97	0,80	0,96	0,98	0,93	0,90	0,87	0,95	0,86	0,93	0,58	1,02
K	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,09	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,07	0,01	0,02
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>End-members</i>																	
X <sub>ca</sub> =Ano	8,6	8,2	2,2	2,2	2,1	1,3	1,4	2,7	1,8	5,8	8,0	12,2	4,2	12,1	2,4	16,5	2,0
X <sub>na</sub> =Ab	91,4	91,8	97,3	97,8	97,2	98,2	88,7	97,3	97,6	94,2	90,4	87,4	95,8	87,4	91,1	81,9	96,5
X <sub>K</sub> =Or	0,0	0,0	0,5	0,0	0,7	0,5	9,9	0,0	0,6	0,0	1,6	0,4	0,0	0,5	6,5	1,6	1,6

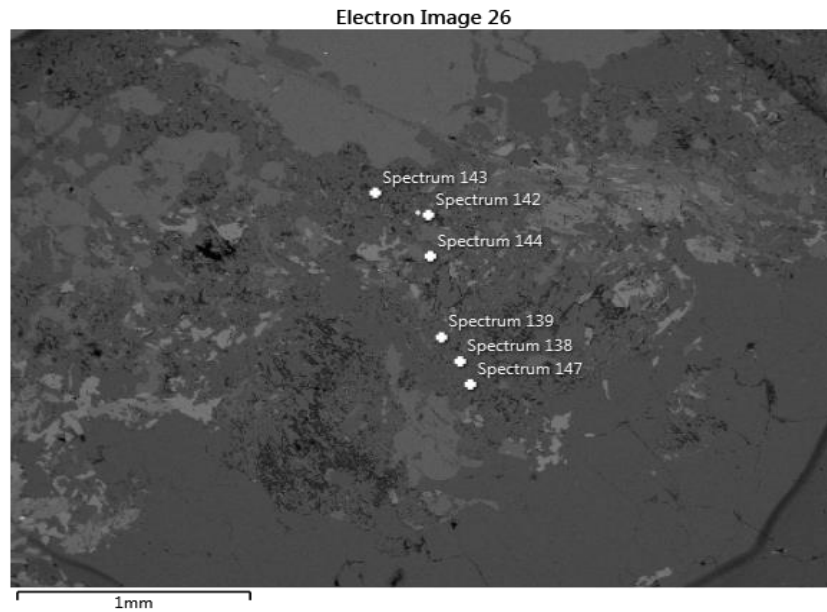


Figura 4.13 -- Imagem BSE, campo 1, da análise de plagioclásio.

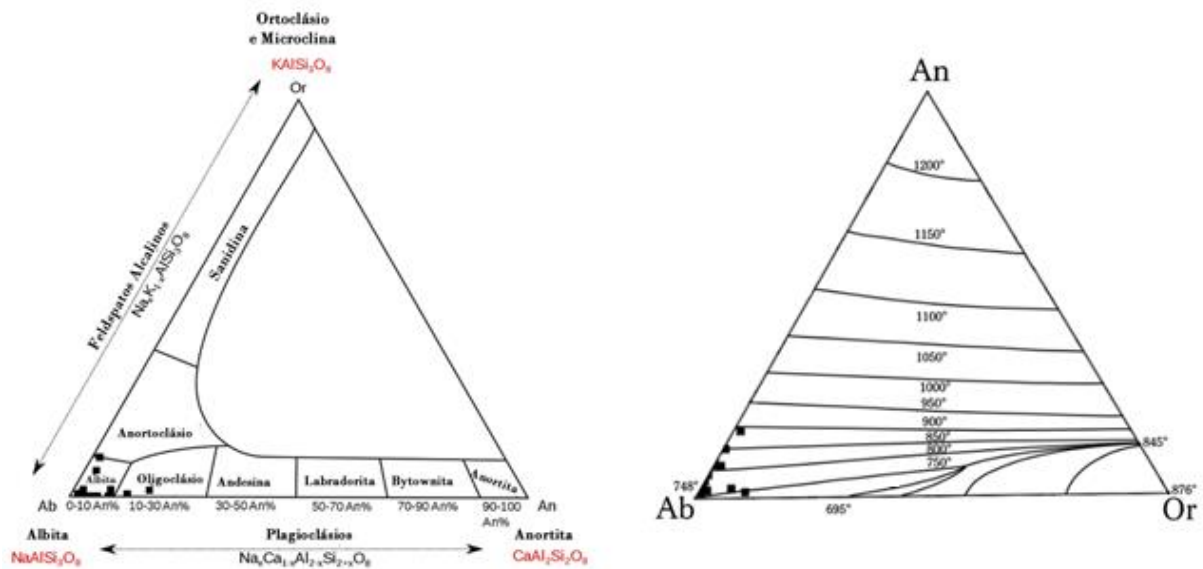


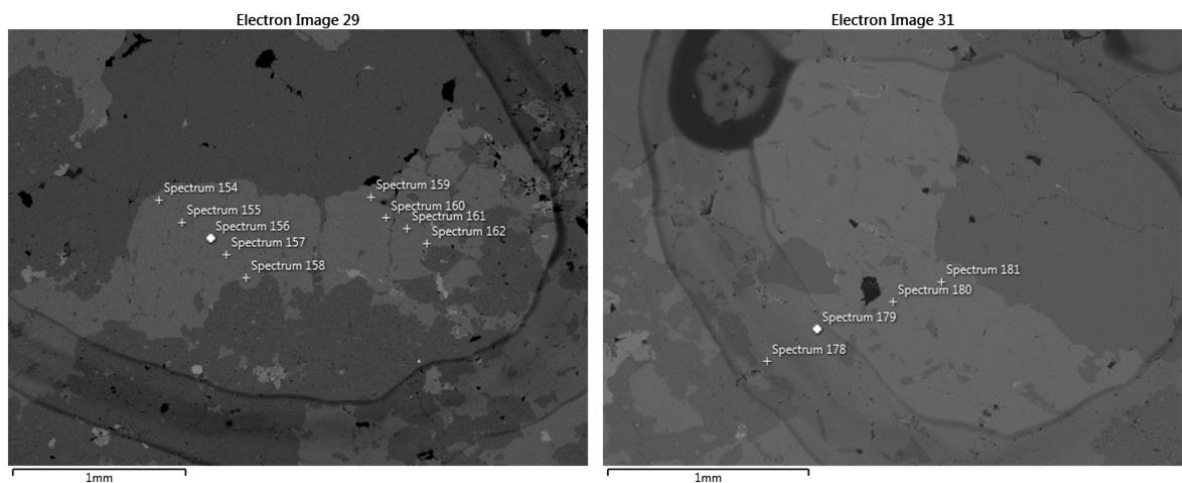
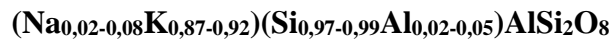
Figura 4.14 - Diagramas ternários de composição (à esquerda) e de temperatura de cristalização (à direita) para os grãos de plagioclásio da lâmina LC02. Baseado em Deer *et al.* (1992).

O gráfico de ternário para os plagioclásios indica uma composição entre albíta e oligoclásio ( $An_{1,3-16,5}$ ) sendo possível estimar a temperatura de cristalização para esses grãos em um intervalo entre 750 e 850°C (Figura 4.14).

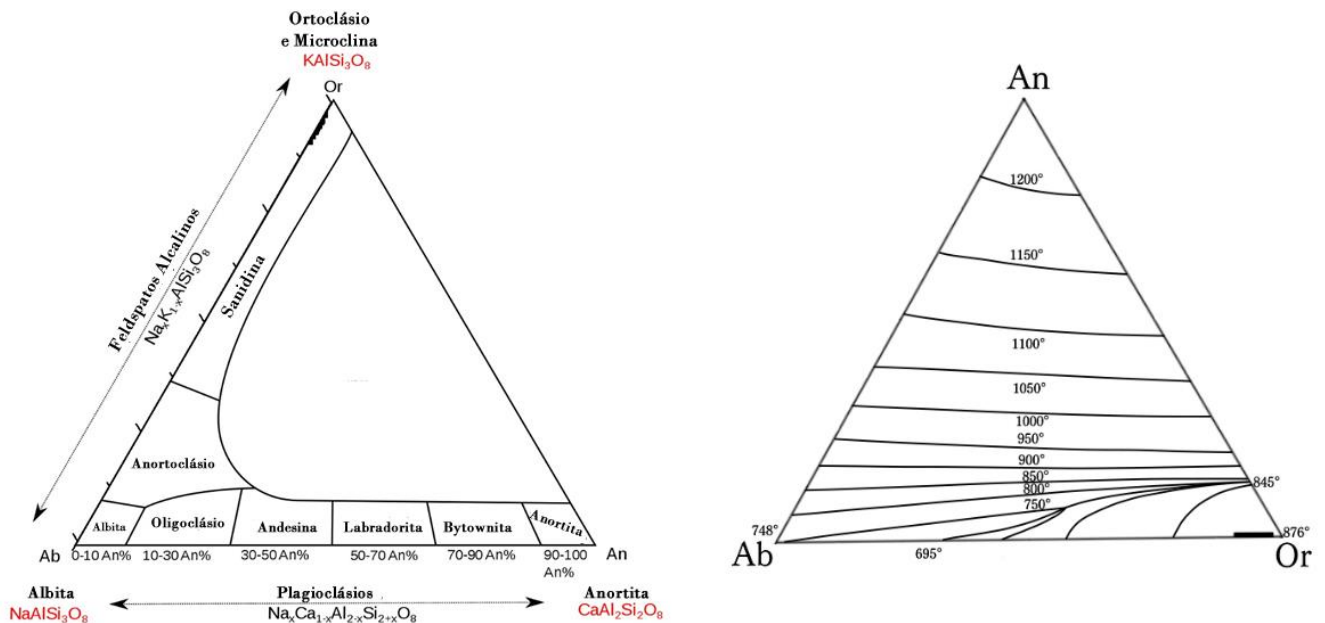


### 4.3.2 Lâmina LC03

Foi analisada microclina nos campos um e três com um total de 13 pontos, como demonstrado nas imagens BSE da Figura 4.15. Os resultados da análise química estão representados na Tabela 4.4 e a partir dos dados adquiridos, pode-se escrever a fórmula média para a microclina da lâmina da seguinte maneira:



**Figura 4.15** - Imagens BSE com os 13 pontos analisados em ambos os grãos de microclina. A imagem à esquerda evidencia as análises no campo 1 e a imagem à direita representa os pontos analíticos no campo 3.



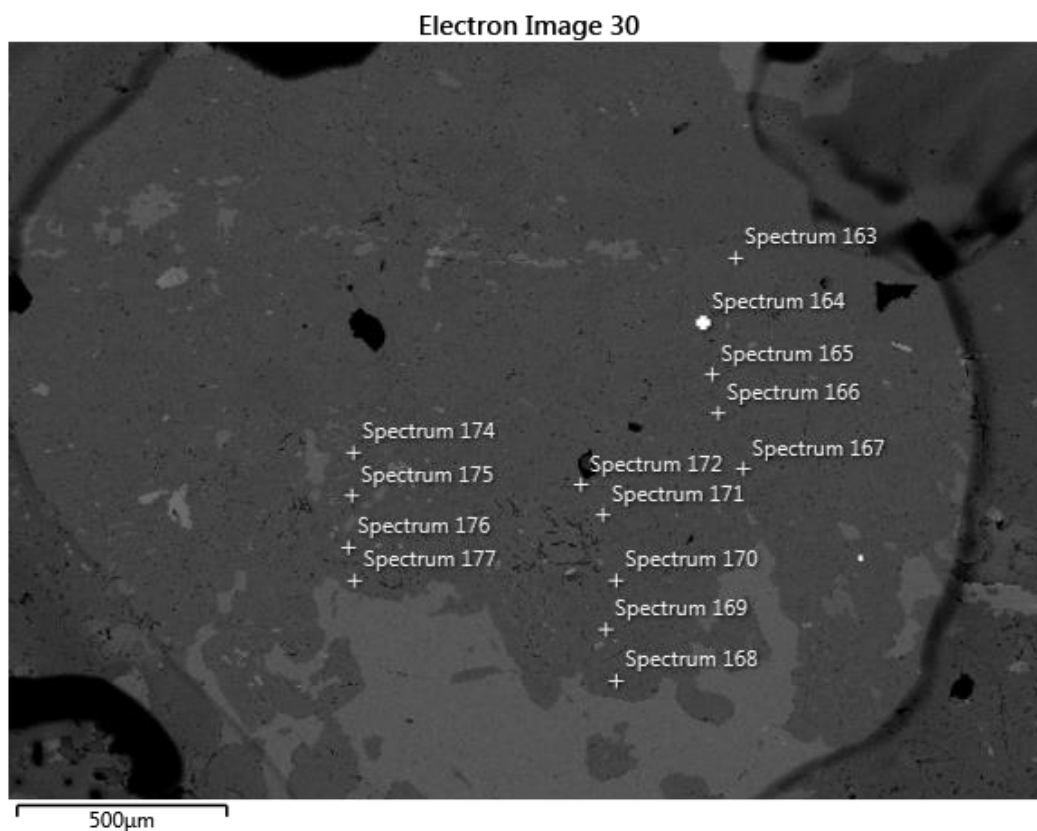
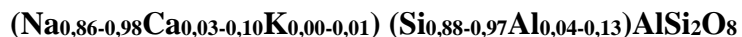
**Figura 4.16** - Diagramas ternários de composição (à direita) e de temperatura de cristalização (à esquerda) para os grãos de microclina da lâmina LC03. Baseado em Deer *et al.* (1992).

**Tabela 4.4** - Tabela com resultados de análise química para microclina, amostra LC03. São apresentados os dados em óxido provenientes do MEV, os cátions para a fórmula química e os *end-members* (An = anortita, Ab = Albita e Or = Ortoclásio).

Amostra	LC03	LC03	LC03	LC03	LC03	LC03	LC03	LC03	LC03	LC03	LC03	LC03	LC03
<b>Campo</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3
<b>Grão</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Ponto</b>	154	155	156	157	158	159	160	161	162	178	179	180	181
<b>Posição</b>	Borda	Inter	Núcleo	Inter	Borda	Inter	Núcleo	Inter	Inter	Borda	Borda	Inter	Núcleo
Óxidos													
SiO <sub>2</sub>	65,08	65,02	64,71	64,77	64,88	64,8	64,89	64,78	64,89	65,18	65	64,71	65,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,16	19,37	19,31	19,35	19,51	19,46	19,35	19,3	19,18	18,86	19,17	19,39	19,31
FeO	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CaO	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na <sub>2</sub> O	0,52	0,78	0,94	0,54	0,6	0,54	0,65	0,45	0,28	0,7	0,8	0,41	0,68
K <sub>2</sub> O	15,23	14,83	15,05	15,34	15,02	15,2	15,11	15,47	15,64	15,27	15,03	15,49	14,99
BaO	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b>99,99</b>	<b>100,00</b>	<b>100,01</b>	<b>100,00</b>	<b>100,01</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>99,99</b>	<b>100,01</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
Fórmula													
SiO <sub>2</sub>	2,99	2,98	2,97	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,99	2,98	2,98	2,98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,04	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02	1,04	1,05	1,04
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,05	0,07	0,08	0,05	0,05	0,05	0,06	0,04	0,02	0,06	0,07	0,04	0,06
K <sub>2</sub> O	0,89	0,87	0,88	0,90	0,88	0,89	0,88	0,91	0,92	0,90	0,88	0,91	0,88
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
End-members													
X <sub>ca</sub> =Ano	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
X <sub>na</sub> =Ab	4,9	7,4	8,7	5,1	5,7	5,1	6,1	4,2	2,6	6,5	7,5	3,9	6,4
X <sub>K</sub> =Or	95,1	92,6	91,3	94,9	94,3	94,9	93,9	95,8	97,4	93,5	92,5	96,1	93,6

Assim como na lâmina LC02, os dados adquiridos no feldspato potássico se mostraram homogêneos ( $Or > 91\%$ ), indicando uma composição rica em potássio. Conseqüentemente os cálculos de termometria também indicam uma temperatura estável de cristalização em  $876^{\circ}\text{C}$  (Figura 4.16).

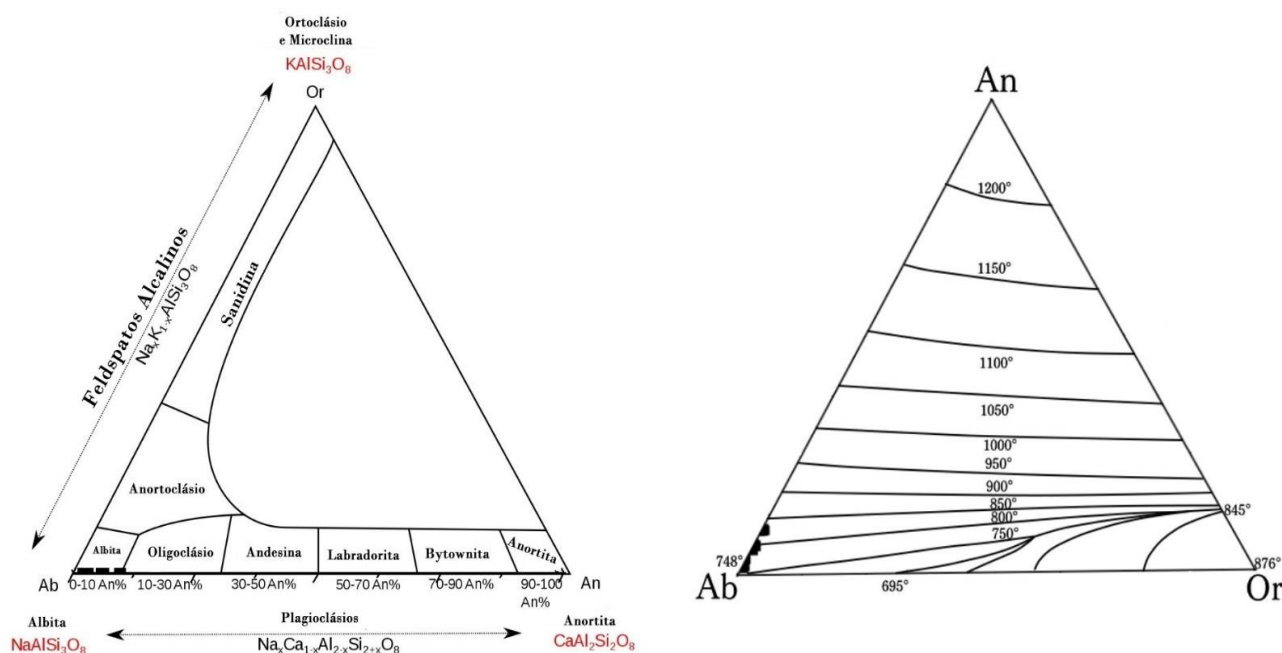
Os plagioclásios foram analisados em 14 pontos em dentro de um único campo (Figura 4.17). Os resultados estão apresentados na Tabela 4.5 e a fórmula média pode ser escrita da seguinte maneira:



**Figura 4.17** - Imagem BSE dos plagioclásios com os 14 pontos analisados.

**Tabela 4.4** - Tabela com dados de química mineral de plagioclásios da amostra LC03. São apresentados os dados em óxido provenientes do MEV, os cátions para a fórmula química e os *end-members* (An = anortita, Ab = Albita e Or = Ortoclásio).

Amostra	LC03	LC03	LC03	LC03	LC03	LC03	LC03	LC03	LC03	LC03	LC03	LC03	LC03	LC03
<b>Campo</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Grão</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Ponto</b>	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	174	175	176	177
<b>Posição</b>	Borda	Inter	Inter	Inter	Inter	Borda	Borda	Inter	Inter	Núcleo	Inter	Inter	Inter	Inter
Óxidos														
SiO <sub>2</sub>	65,42	65,9	67,28	65,44	67,44	65,62	66,87	66,26	68	66,49	66,34	67,65	66,65	65,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,87	21,89	20,81	21,84	20,45	22,23	20,92	21,43	20,15	21,27	21,25	20,53	21,34	21,69
FeO	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CaO	1,98	1,92	0,61	2,07	0,4	1,09	0,72	1,4	0,31	1,32	1,33	0,56	1,25	1,93
Na <sub>2</sub> O	10,64	10,17	11,31	10,58	11,61	10,98	11,49	10,91	11,45	10,84	11,01	11,26	10,66	10,53
K <sub>2</sub> O	0,08	0,12	0	0,07	0,1	0,08	0	0	0,09	0,09	0,08	0	0,11	0
BaO	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b>99,99</b>	<b>100,00</b>	<b>100,01</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,01</b>	<b>100,01</b>	<b>100,00</b>	<b>100,01</b>	<b>100,00</b>
Fórmula														
Si	2,88	2,89	2,94	2,88	2,95	2,88	2,93	2,90	2,97	2,91	2,91	2,96	2,92	2,89
Al	1,13	1,13	1,07	1,13	1,06	1,15	1,08	1,11	1,04	1,10	1,10	1,06	1,10	1,12
Fe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,09	0,09	0,03	0,10	0,02	0,05	0,03	0,07	0,01	0,06	0,06	0,03	0,06	0,09
Na	0,91	0,86	0,96	0,90	0,99	0,93	0,98	0,93	0,97	0,92	0,94	0,95	0,90	0,90
K	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
End-members														
Xca=Ano	9,3	9,4	2,9	9,7	1,9	5,2	3,3	6,6	1,5	6,3	6,2	2,7	6,0	9,2
Xna=Ab	90,3	89,9	97,1	89,9	97,6	94,4	96,7	93,4	98,0	93,2	93,3	97,3	93,3	90,8
XK=Or	0,4	0,7	0,0	0,4	0,6	0,5	0,0	0,0	0,5	0,5	0,4	0,0	0,6	0,0



**Figura 4.18** - Diagramas ternários de composição (à direita) e de temperatura de cristalização (à esquerda) para os plagioclásios da lâmina LC03. Baseado em Deer *et al.* (1992).

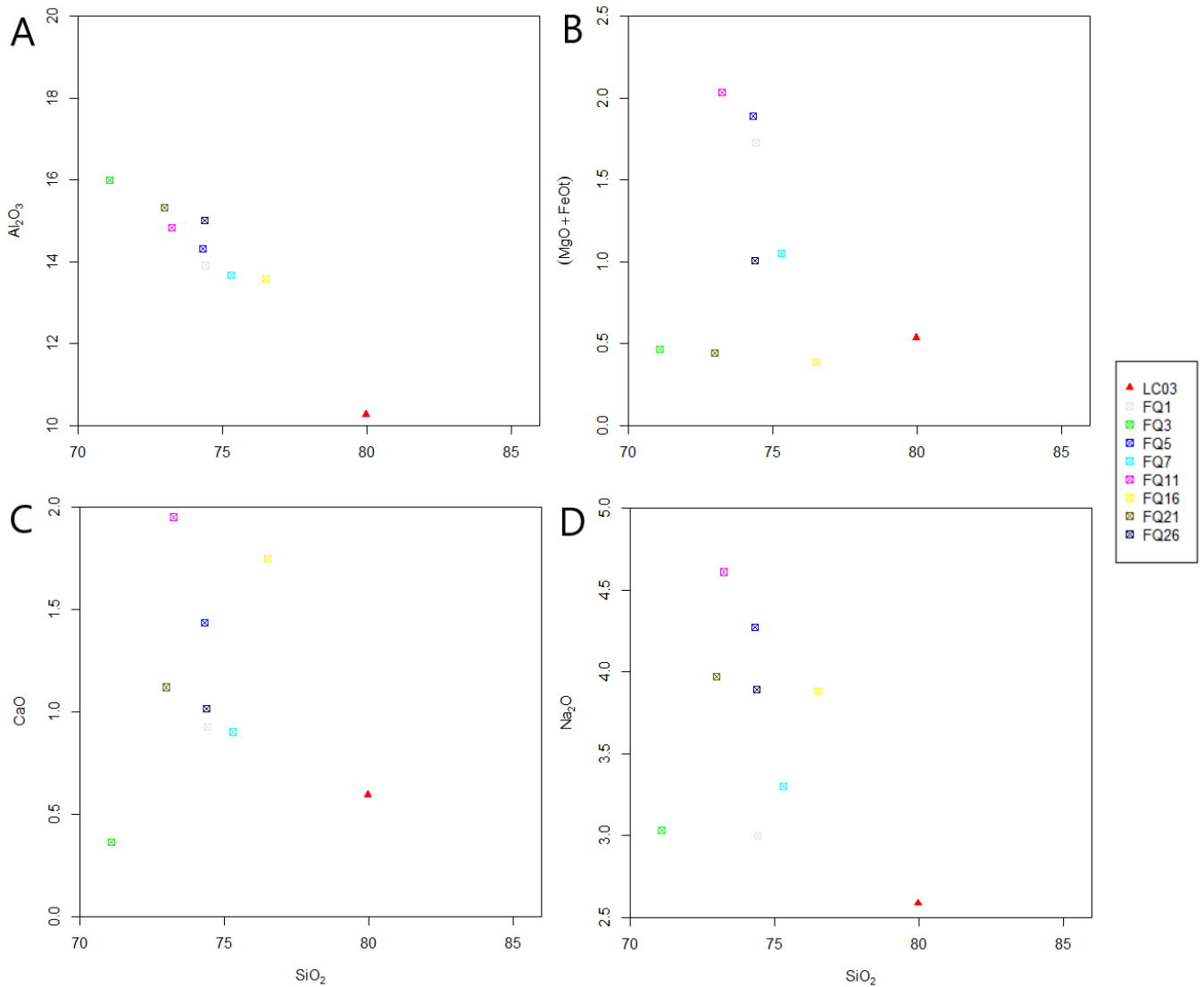
Os dados de química mineral indicam uma composição homogênea para os plagioclásios analisados, perto do limite entre albíta e oligoclásio ( $An_{1,9-9,7}$ ). Os cálculos de termometria indicam que a temperatura de cristalização desses plagioclásios varia entre 750°C a 800°C (Figura 4.18).

#### 4.4 QUÍMICA DE ROCHA TOTAL

A análise química de rocha total da amostra LC03 utilizou o método ICP-OES, conforme descrito na metodologia (item 1.4.3.3). Somente essa amostra foi analisada porque a amostra LC02 apresentava alto grau de alteração, especialmente nos grandes cristais de feldspato. Elementos como Cu e Zn apresentaram diferenças significantes entre a concentração da amostra e da duplicata e por serem elementos de baixa concentração e bastante susceptíveis à contaminação, a recomendação do laboratório foi que não se utilizasse esses dados no trabalho. Para fins de comparação, os dados de 8 amostras de Farina *et al.* (2015) foram aqui utilizados.

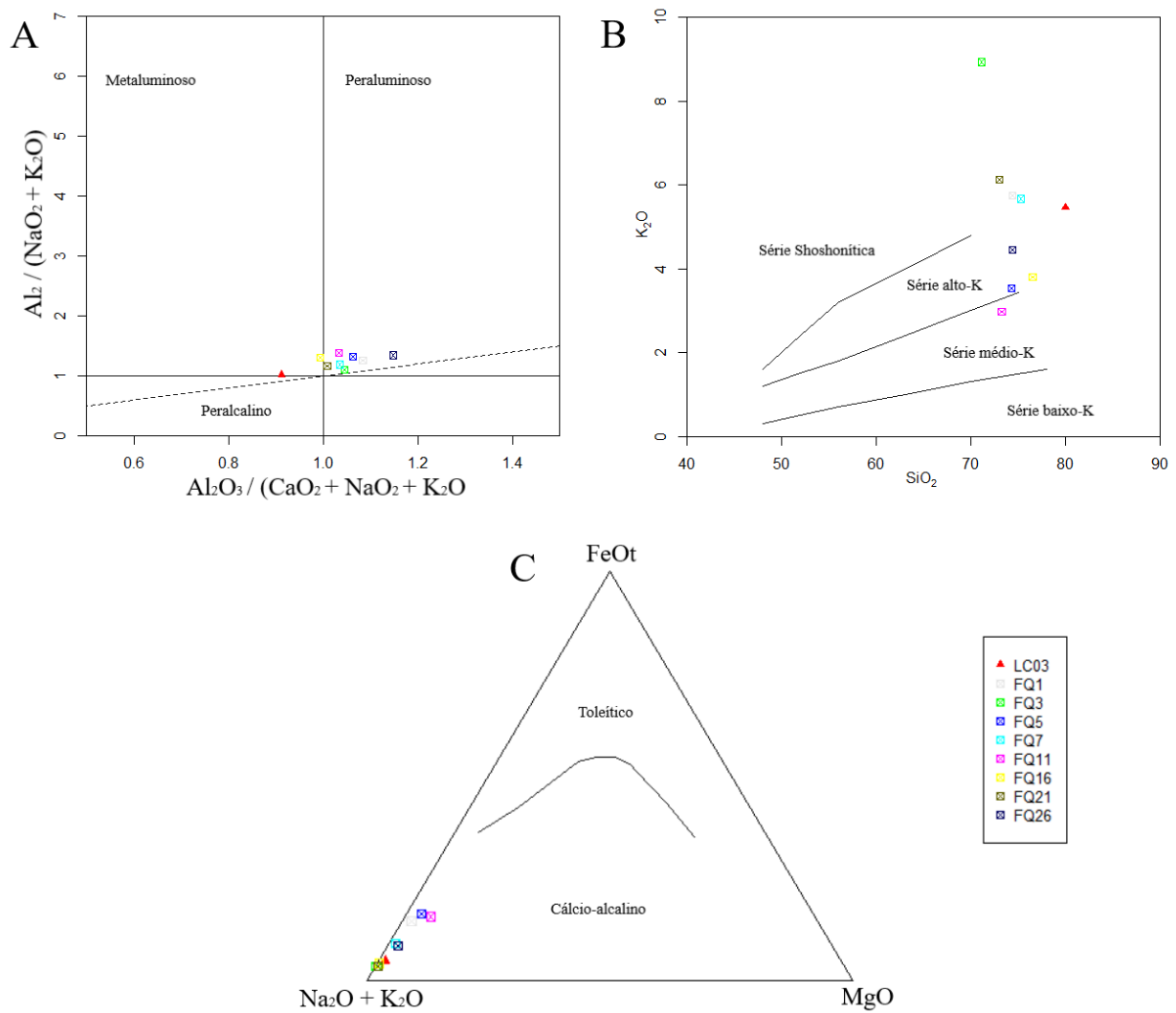
Como é possível observar na Tabela 4.6 e na Figura 4.19, a amostra LC03 é rica em sílica, de composição ácida, com cerca de 80% de  $SiO_2$ , além de 10% em  $Al_2O_3$  (Figura 4.19A). Os óxidos ferromagnesianos (FeOt + MgO) aparecem em baixas concentrações (Figura 4.19B), com teores em torno de 0,52%. Os óxidos de cálcio e sódio também não apresentam concentrações elevadas, com CaO (Figura 4.19C) em

torno 0,6% e  $\text{Na}_2\text{O}$  igual a 2,59% (Figura 4.19D) do peso. Para este trabalho, foi considerado um peso de 0,5% para o LOI, conforme descrito na metodologia.



**Figura 4.19** - Diagramas binários para elementos maiores da amostra LC03 e daquelas descritas por Farina *et al.* (2015) (siglas iniciadas por FQ). A)  $\text{SiO}_2$  versus  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . B)  $\text{SiO}_2$  versus (MgO + FeOt). C)  $\text{SiO}_2$  versus CaO. D)  $\text{SiO}_2$  versus  $\text{Na}_2\text{O}$ .

No diagrama de Maniar & Picolli (1989) (Figura 4.20A), a amostra LC03, contrariamente à tendência apresentada pelas amostras de Farina *et al.* (2015) que apresentam composição peraluminosa, é classificada como metaluminosa. Além disso, pelo teor de potássio, esta amostra pode ser classificada dentro dos limites da série de alto-K (Figura 4.20B). O diagrama AFM (Fig. 4.20C) demonstra que as amostras de ambos os estudos coincidem na classificação, pertencendo à série das rochas cálcio-alcálicas.



**Figura 4.20** - A) Diagrama de classificação Shand *et al* (1943). B) Diagrama de classificação de Peccerillo & Taylor (1976) ( $SiO_2$  versus  $K_2O$ ). C) Diagrama AFM (Irvine & Baragar 1971).

**Tabela 4.5** - Tabela com dados de química de rocha total para a amostra LC03 e para aquelas de Farina *et al.* (2015). São apresentados os dados de elementos maiores e perda ao fogo, todos em porcentagem.

Amostra	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeOt	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Total
LC03	79,98	0,04	10,26	0,40	0,01	0,12	0,59	2,58	5,46	0,02	0,5	99,99
FQ1	74,41	0,21	13,90	1,51	0,01	0,21	0,92	3,00	5,74	0,08	0,6	100,6
FQ3	71,09	0,04	16,00	0,42	0,03	0,04	0,36	3,03	8,93	0,04	0,32	100,32
FQ5	74,30	0,17	14,32	1,58	0,02	0,30	1,43	4,27	3,54	0,04	0,75	100,75
FQ7	75,29	0,08	13,66	0,90	0,01	0,15	0,90	3,30	5,67	0,03	0,42	100,42
FQ11	73,24	0,23	14,8	1,49	0,03	0,53	1,95	4,61	2,98	0,08	0,46	100,46
FQ16	76,51	0,05	13,58	0,33	0,01	0,05	1,74	3,88	3,80	0,03	0,52	100,52
FQ21	72,98	0,03	15,32	0,37	0,01	0,07	1,12	3,97	6,12	0,01	0,51	100,51
FQ26	74,38	0,07	15,00	0,78	0,02	0,22	1,01	3,89	4,45	0,14	1,24	101,24

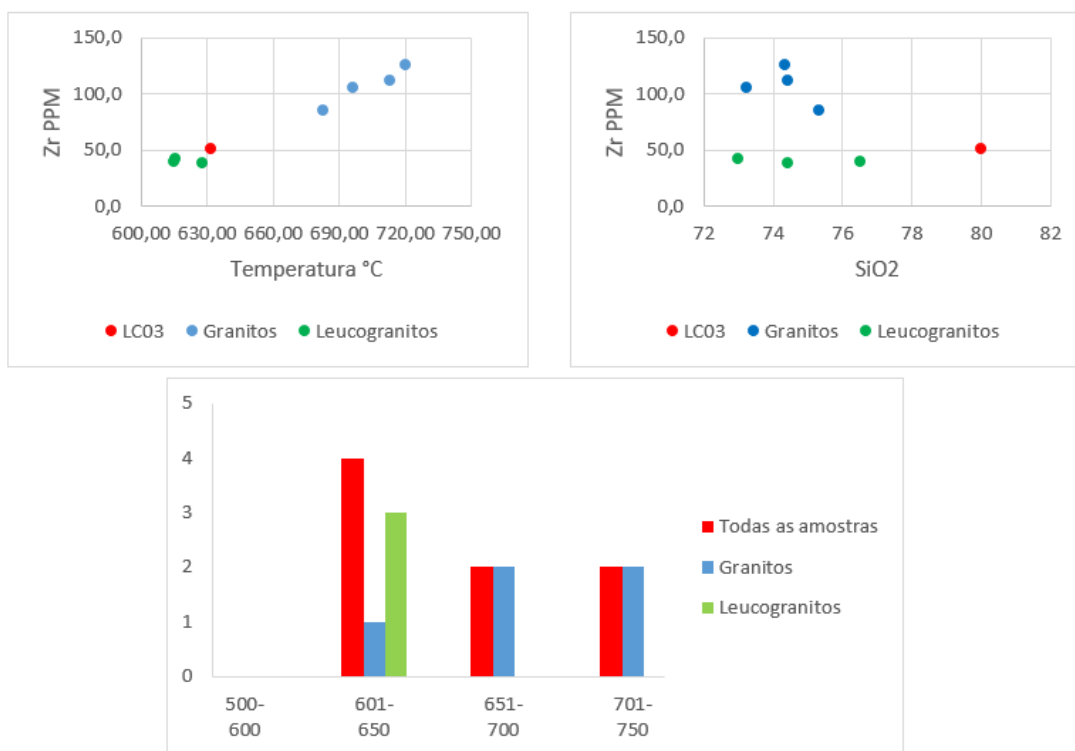
#### 4.5 TERMOMETRIA DE SATURAÇÃO DE ZIRCÃO

Os valores de temperatura aqui obtidos pelo método da termometria de saturação de zircão, foram obtidos a partir de uma fórmula proposta por Boehnke *et al.* (2013) e apresentada na metodologia (item 1.4.3.4). Esse método leva em consideração os resultados obtidos na química de rocha total. Para efeito de comparação, também foram calculadas as temperaturas de saturação de zircão as amostras de Farina *et al.* (2015), totalizando 8 amostras.

A rocha LC03 apresenta um conteúdo de Zr de 51,4 ppm, enquanto nas amostras de Farina *et al.* (2015), os teores de Zr variam de 39,5ppm a 126,58 ppm.

Como é possível observar na Figura 4.21A, as amostras apresentam uma linha de tendência positiva na relação entre teor de Zr e temperatura de saturação, com o intervalo das amostras estudadas indo de 614 a 720°C, com a maior concentração dessas amostras acontecendo no intervalo entre 601 a 650°C (Figura 4.21C).





**Figura 4.21** - Gráficos comparativos para as análises de termometria de zircão. Em A) Gráfico de temperatura x concentração de zircônio em ppm. B) Concentração de óxido de sílica x concentração de zircônio em ppm. C) Relação estatística de temperatura *versus* litologia.

Rochas classificadas como granitos apresentaram temperaturas maiores, com o intervalo variando de 680 a 720°C, enquanto as rochas classificadas como leucogranitos apresentaram temperaturas menores, com intervalos entre 614 e 630°C. A amostra LC03, classificada nesse trabalho como um sienogranito, e, portanto, entrando na classificação de granitos, apresentou uma temperatura de cristalização de 631°C. A correlação entre a concentração de Zr com a concentração de SiO<sub>2</sub> não apresentou uma linha de tendência para as amostras obtidas.



## CAPÍTULO 5

### DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Os granitóides e gnaisses encaixantes coletados no município de Itabirito foram caracterizados em detalhe por petrografia macro e microscópica, química mineral, química de rocha total e termometria de saturação de zircão. Os resultados integrados de todas as análises estão sumarizados no Quadro 5.1.

**Quadro 5.1** - Resumo integrativo de todas as análises realizadas.

Características		LC01	LC02	LC03
<b>Petrografia</b>	<b>Microestrutura</b>	Inequigranular, lepidogranoblástica	Inequigranular, com grandes cristais euédricos de feldspatos em meio a uma matriz recristalizada	Inequigranular, com grandes cristais euédricos de feldspatos em meio a uma matriz recristalizada
	<b>Mineralogia</b>	Microclina, plagioclásio, quartzo e biotita, com epidoto, apatita, zircão e opacos como acessórios	Microclina, plagioclásio, quartzo, muscovita/sericita (alteração?) e biotita com epidoto, apatita, zircão e opacos como acessórios.	Microclina, plagioclásio, quartzo, muscovita/sericita (alteração?), biotita, epidoto, apatita, zircão e opacos.
	<b>Classificação</b>	Biotita ortogneisse	Sienogranito	Sienogranito
<b>Química Mineral</b>	Feldspato Potássico	-----	Microclina com exsolução de pertita	Microclina
	Plagioclásio	-----	Albita	Albita
<b>Temperatura de cristalização com base na composição dos feldspatos (LC02 e LC03)</b>	Microclina	-----	876°C	876°C
	Plagioclásio	-----	750 a 850°C	750 a 800°C
<b>Química de rocha total (LC03 e Farina et al. 2015)</b>	Shand (1943)	-----	-----	Metaluminoso a fracamente peraluminoso
	Peccerilo & Taylor (1976)	-----	-----	Série de alto-K
	AFM (Irvine & Baragar 1971)	-----	-----	Cálcio-alcálico
<b>Termometria de saturação de Zircão (LC03 e Farina et al. 2015)</b>	Temperatura de saturação Zr	-----	-----	631,26°C até 720°C

Os granitóides estudados, petrograficamente classificados como *sienogranitos*, possuem volume modal de microclina maior do que o de plagioclásio, o que vai na mesma linha dos trabalhos regionais

realizados por diversos autores no Complexo Bação (*e.g.* Lana *et al.* 2013; Farina *et al.* 2015). Estes estudos mostram que a maioria dos corpos são de leucogranitos potássicos. Suas encaixantes são ortognaisses acinzentados, centimetricamente bandados, milonitizados e com evidências de fusão parcial.

A análise química pontual mostrou grãos de microclina e plagioclásio relativamente homogêneos, com teores de Or > 90% e An<sub>1,7-16,5</sub>. Os plagioclásios classificam-se majoritariamente no campo da albita, com alguns raros pontos no campo do oligoclásio. Se na análise petrográfica foram percebidos zonamento químico evidenciado por extinção concêntrica em alguns grãos de plagioclásio, nas análises de MEV isso não foi detectado, possivelmente por ter-se realizado um volume pequeno de análises em poucos grãos. Um estudo mais abrangente talvez pudesse mostrar um possível zonamento químico, que, se fosse normal (CaO concentrado no núcleo e Na<sub>2</sub>O nas bordas), refletiria uma cristalização com temperaturas decrescentes – típico de ambientes magmáticos (Jordt-Evangelista 1988).

Em termos de química de rocha total, percebeu-se que as amostras consideradas no estudo são cálcio-alcalinas, de alto-K, metaluminosas a fracamente peraluminosas. A química de rocha total foi essencial para dar apoio às análises de termometria de saturação de Zr, cujas temperaturas encontradas para o início da cristalização dos zircões nas amostras caracterizadas como leucogranitos (LC03 deste estudo e duas amostras de Farina *et al.* 2015), obtiveram as menores temperaturas, entre 615 e 636°C. As amostras classificadas como granitoides (seis amostras de Farina *et al.* 2015), com minerais varietais em maior proporção, obtiveram as maiores temperaturas, entre 690°C a 720°C (Figura 4.21C). Os dados de T<sub>Zr</sub> podem ser discutidos de duas maneiras: (i) representam a temperatura de cristalização dos corpos ígneos estudados, estando em completo acordo com temperaturas esperadas para corpos ricos em potássio, que cristalizam-se à T menores na crosta. A diferença de T<sub>Zr</sub> entre os grupos pode ser uma questão faciológica, necessitando de uma determinação mais detalhada e, (ii) como as amostras exibem feições de deformação e alguma orientação metamórfica, esses dados poderiam refletir algum ajuste de T provocado pelo metamorfismo. Discussões como essas foram levantadas por Vieira (2021) na sua tese de doutorado. Os dados termométricos com base nas composições de microclina e plagioclásio mostram que esses grãos se cristalizaram/recristalizaram em T de aproximadamente 870°C para microclina e nos intervalos entre 750-800°C e 800-850°C para os plagioclásios. Os dados mostram alguma semelhança com aqueles calculados por T<sub>Zr</sub>, especialmente nos intervalos mais baixos obtidos para albita, e levando-se em consideração os erros analíticos.

Como trabalhos futuros, sugerem-se: (i) a realização de um mapeamento geológico de detalhe para uma melhor diferenciação dos corpos granitoides da região, informação geralmente perdida em mapas de escala regional, mas muito importante para entender o contexto em que essas rochas se encaixam e, (ii) estudos termobarométricos de detalhe, com eventual confecção de pseudosseção, seriam úteis para a determinação de T mais confiáveis, sejam elas de cristalização ígnea e/ou de metamorfismo. Dessa forma, poderia ser possível

Vieira Júnior, L. C. 2023. Petrogênese dos metagranitóides arqueanos do Quadrilátero Ferrífero na região de Itabirito, Minas Gerais.

obter as temperaturas de *emplacement* dos corpos potássicos durante a sua colocação na crosta em ~2,7 Ga (Lana *et al.* 2013; Romano *et al.* 2013; Farina *et a.* 2015).

## CAPÍTULO 6

### REFERÊNCIAS

---

- Aguilar C., Alkmim F.F., Lana C., Farina F. 2017. Paleoproterozoic assembly of the São Francisco craton, SE Brazil: New insights from U-Pb titanite and monazite dating. *Precambrian Research*, **289**:95-115.
- Alkmim F. F.; Marshak S. 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research* **90**: 29-58.
- Baltazar, O.F. & Silva S.L.; 1996. Associações litofaciológicas. In: M. Zucchetti, & O.F. Baltazar (org.). Projeto Rio das Velhas: Texto explicativo do mapa geológico integrado, escala 1:1.000.000, 2 ed. Belo Horizonte, DNPM/CPRM, 43-48 p
- Boehnke P.; Watson E.B.; Trail D.; Harrison T.M., Schmitt A.K. 2013. Zircon-saturation re-visited. *Chemical Geology*, **351**: 324-334.
- Chappell B. W; White A. J. 1974. Two contrasting granite types. *Pacif. Geol.*, **8**: 173-174.
- Deer W.A.; Howie R.A.; Zussman, J. 1992. *The Rock Forming Mineral*. Longman, Londres, 696p.
- Dopico, C.I.M.; Lana, C.; Moreira H.S., Cassino, L.F.; Alkmim F.F. 2017. U-Pb ages and Hf-isotope data of detrital zircons from the late Neoproterozoic Minas Basin, SE Brazil. *Precambrian Research*, **291**: 143-161.
- Dutra L.F.; Dias S.P.; Martins M.; Lana C.; Batista A.C.; Tavares, T.D. 2020. Detrital zircon records of the Paleoproterozoic rift-sag Tamanduá Group in its type-section, Northern Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, **50**(1): 2-22.
- Freitas F.M.; Dias P.H.A.; Signorelli N.; Tuller M.P.; Ribeiro J.H. 2018. Projeto Evolução Crustal e Metalogenética do Quadrilátero Ferrífero, Folha Itabirito. Belo Horizonte MG: CPRM. Carta Geológica. Escala 1:25.000.
- Farina F.; Albert C.; & Lana C.; 2015. The Neoproterozoic transition between medium- and high-K granitoids: Clues from the Southern São Francisco Craton (Brazil). *Precambrian Research*, **266**, 375–394.
- Farina F., Albert C., Dopico C. M., Gil C. A., Moreira H., Hippert J. P., Lana C. 2016. The Archean–Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Brazil): Current models and open questions. *Journal of South American Earth Sciences*, **68**, 4-21.
- Frost B. R.; Frost C. D.; 2014. *Essentials of Igneous and Metamorphic Petrology*. New York, Cambridge University Press, 314p.
- Gonçalves (Notas de aula, Texturas de Rochas Ígneas).

- Vieira Júnior, L. C. 2023. Petrogênese dos metagranitóides arqueanos do Quadrilátero Ferrífero na região de Itabirito, Minas Gerais.
- Herz, N. 1970. Gneissic and igneous rocks of the quadrilátero ferrífero, Minas Gerais, Brazil. U.S. Geological Survey Professional Paper, **641**(8):1-58.
- Jordt-Evangelista (1988; minerais petrográficos de rochas ígneas e metamórficas – resumo das propriedades ópticas e ocorrências).
- Lana C.; Alkmim F.F.; Armstrong R.; Scholz R.; Romano R.; Nalini Jr. H.A. 2013. The ancestry and magmatic evolution of Archean TTG rocks of the Quadrilátero Ferrífero province, southeast Brazil. *Precambrian Research*, **231**:157-173.
- Lobato L.M.; Ribeiro-Rodrigues, L.C.; Vieira F.W.R. 2001. Brazil's premier gold province. Part II: Geology and genesis of gold deposits in the Archean Rio das Velhas Greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. *Mineral. Depos.* **36**, 249–277.
- Maniar, P.D; Piccoli, P.M. 1989. Tectonic Discrimination of Granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, **101**: 635-643.
- Nunes F.S. 2016. Contribuição à estratigrafia e geocronologia U-Pb de zircões detríticos da Formação Moeda (Grupo caraça, Supergrupo Minas) na Serra do Caraça, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 77 p.
- Pearce, J. A.; Harris 1984. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. *Journal of Petrology*, **25**(4): 956–983.
- Peccerillo, A.; Taylor, S.R. (1976) Geochemistry of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. **58**: 63-81.
- Romano, R.; Lana, C.; Alkmim, F.; Stevens, G; Armstrong, R. 2013. Stabilization of the southern portion of the São Francisco craton, SE Brazil, through a long-lived period of potassic magmatism. *Precambrian Research*, **224**: 143-159.
- Sgarbi N. G. C., 2007. Petrografia macroscópica das rochas ígneas, sedimentares e metamórficas. Belo Horizonte, Editora UFMG. 557p.
- Shand, S. J., 1943. *Eruptive Rocks. Their Genesis, Composition, Classification and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite.* John Wiley & Sons. 188p
- Streckeisen, A. L. 1967. Classification and nomenclature of igneous rocks. - *N. Jb. Miner.* **107**: 144–240.
- Streckeisen, A. 1974. Classification and Nomenclature of Plutonic Rocks. *Geologische Rundschau*, **63**, 773-786.
- Streckeisen, A. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth-Science Reviews*, **12**(1): 1-33.
- Teixeira, W.; Sabaté, P.; Barbosa.; J.S.F.; Noce, C.M.; Carneiro, M.A. 2000. Archean and Paleoproterozoic Tectonic evolution of the São Francisco Craton, Brazil. In: *Int. Geol. Congr. 31, Rio de Janeiro, Brazil*, pp. 101–137.

- Vieira, C. C. S. 2021. Arco Magmático Rio Doce: Estudos litoquímicos, petrológicos, isotópicos e cronológicos no limite dos Orogenos Araçuaí e Ribeira. Dissertação de Doutorado, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 146p
- Whitney, L. D.; Evans, B. W. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals Donna L. *American Mineralogist*, **95**: 185-187.
- Winter, J. D., 2014. *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology*. Edinburgh. Pearson. 667p