

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
CAMPUS MONTE CARMELO
INSTITUTO DE GEOGRAFIA - CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

VICTÓRIA CARDOSO MARCENE

**ANÁLISE DE DADOS E POSSÍVEIS IMPLICAÇÕES PETROGRÁFICAS SOBRE AS
ROCHAS DO COMPLEXO ALCALINO-CARBONATÍTICO DE SERRA NEGRA,
MINAS GERAIS**

Monte Carmelo – MG

2023

VICTÓRIA CARDOSO MARCENE

ANÁLISE DE DADOS E POSSÍVEIS IMPLICAÇÕES PETROGRÁFICAS SOBRE AS
ROCHAS DO COMPLEXO ALCALINO-CARBONATÍTICO DE SERRA NEGRA,
MINAS GERAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Federal de Uberlândia –
Campus Monte Carmelo, como requisito
para obtenção do grau de Bacharel em
Geologia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Larissa Marques
Barbosa de Araújo.

Coorientadora: Dr.^a Carla Bertucelli
Grasso.

Monte Carmelo – MG

2023

VICTÓRIA CARDOSO MARCENE

ANÁLISE DE DADOS E POSSÍVEIS IMPLICAÇÕES PETROGRÁFICAS SOBRE AS
ROCHAS DO COMPLEXO ALCALINO-CARBONATÍTICO DE SERRA NEGRA,
MINAS GERAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Geologia, da Universidade
Federal de Uberlândia – *Campus* Monte
Carmelo, como requisito para a obtenção do
grau de Bacharel em Geologia.

Monte Carmelo, 30 de janeiro de 2023.

Prof.^a Dr.^a Larissa Marques de Araújo Barbosa – Orientadora

Universidade Federal de Uberlândia – UFU Monte Carmelo

Dr.^a Carla Bertucelli Grasso – Coorientadora

Mosaic Fertilizantes

Prof. Dr. Antônio Misson Godoy – Avaliador

Universidade Estadual Paulista – UNESP Rio Claro

Prof.^a Juliana Abreu Crosara Petronzio – Avaliadora

Universidade Federal de Uberlândia – UFU Monte Carmelo

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

M314 Marcene, Victória Cardoso, 1996-
2023 Análise de dados e possíveis implicações petrográficas
sobre as rochas do Complexo Alcalino-Carbonatítico de
Serra Negra, Minas Gerais. [recurso eletrônico] /
Victória Cardoso Marcene. - 2023.

Orientadora: Larissa Marques Barbosa de Araújo.
Coorientadora: Carla Bertucelli Grasso.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em
Geologia.

Modo de acesso: Internet.
Inclui bibliografia.

1. Geologia. I. Araújo, Larissa Marques Barbosa de,
1977-, (Orient.). II. Grasso, Carla Bertucelli, 1980-,
(Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia.
Graduação em Geologia. IV. Título.

CDU: 551

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

*Dedico este trabalho à minha mãe Edméa
e meu pai Braz, fontes de amor, incentivo
e inspiração.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, minha fonte de respostas e paz, que me orienta nos melhores caminhos e me guia durante todas as jornadas que me proponho a prosseguir.

Aos meus pais, Edméa e Braz, que sempre me apoiam e me incentivam a ser alguém melhor. Aos meus irmãos Henrique e Marcelo, por todos os conselhos durante esta caminhada, a ajuda com as compras de materiais geológicos e estímulo para encerrar essa etapa.

Aos amigos e familiares pelo apoio incondicional.

Agradeço aos colegas e professores da Universidade Federal de Uberlândia, pelos 5 anos de convívio.

Agradeço à minha orientadora Larissa por todo ensinamento transmitido, por me acolher e me aconselhar, tanto profissional, quanto pessoalmente. Foram horas e horas conversando nas madrugadas, sobre o trabalho e questões da vida. Serei eternamente grata pela compreensão, dedicação e principalmente pela amizade que construímos.

Agradeço também à Empresa Mosaic Fertilizantes, em especial ao geólogo Rodolfo Gonçalves, pela colaboração e disposição no processo com os materiais fornecidos, além dos dados e informações que foram de suma importância para a realização deste trabalho.

Agradeço juntamente à Empresa Mosaic Fertilizantes, a geóloga Dra. Carla Bertucelli Grasso, fonte de inspiração para que esse projeto saísse do papel. Uma profissional fantástica, que se tornou minha coorientadora, e forneceu todo o auxílio necessário para a elaboração, execução e conclusão do presente Trabalho de Conclusão de Curso.

RESUMO

O Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra localiza-se no município de Patrocínio – MG e é composto por carbonatitos que, em geral, estão associados majoritariamente à dunitos e rochas silicáticas. Quanto ao contexto geotectônico, encontra-se inserido nas rochas metassedimentares da Faixa Brasília. Estas causaram a deformação de suas encaixantes durante seu alojamento, formando a estrutura dômica circular. No presente trabalho, são caracterizadas predominantemente por rochas que apresentam conexão genética, relacionadas entre si por processos como cristalização fracionada e imiscibilidade de líquidos. Tais processos de diferenciação magmática são frequentemente evidenciados na geração de diversos complexos alcalino-carbonatíticos no Brasil e no mundo, e contribuem de forma decisiva na geração dessas rochas e mineralizações associadas. Portanto, a partir deste trabalho, com base nas análises petrográficas das amostras de testemunhos das rochas do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra, foi detalhada as seguintes litologias: Apatita-Olivina Flogopitito com Calcita; Dunito Serpentinizado; Flogopitito com grandes veios de Calcita; Flogopitito com finos veios de Dolomita; Olivina-Serpentina Flogopitito com Dolomita; Flogopitito e Dunito com Flogopita; nos quais houve predomínio de flogopita, magnetita, carbonato (calcita ou dolomita), olivina e serpentina, além de variações com apatita e perovskita. Desse modo, essa caracterização petrográfica macroscópica e microscópica, permitiu realizar uma análise comparativa, com os dados já existentes na literatura, para contribuir com o entendimento dos aspectos mineralógicos e faciológicos aliados aos processos de evolução magmáticos, permitiram sugerir quanto aos aspectos evolutivos do magmatismo das rochas do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra.

Palavras-Chave: Petrografia, Carbonatito, Flogopitito, Complexos-Alcalinos, Serra Negra.

ABSTRACT

The Alkaline-Carbonatitic Complex of Serra Negra is located in the municipality of Patrocínio - MG and is composed of carbonatites that, in general, are mostly associated with dunites and silicate rocks. As for the geotectonic context, it is inserted in the metasedimentary rocks of the Brasília Belt. These caused the deformation of their enclosing during their accommodation, forming the circular dome structure. In the present work, they are predominantly characterized by rocks that present genetic connection, related to each other by processes such as fractional crystallization and immiscibility of liquids. Such processes of magmatic differentiation are frequently evidenced in the generation of several alkaline-carbonatite complexes in Brazil and in the world, and contribute decisively in the generation of these rocks and associated mineralizations. Therefore, from this work, based on petrographic analyzes of core samples of rocks from the Alkaline-Carbonatitic Complex of Serra Negra, the following lithologies were detailed: Apatite-Olivine Phlogopitite with Calcite; Serpentinized Dunite; Phlogopitite with large Calcite veins; Phlogopitite with fine Dolomite veins; Olivine-Serpentine Phlogopitite with Dolomite; Phlogopite and Dunite with Phlogopite; in which there was a predominance of phlogopite, magnetite, carbonate (calcite or dolomite), olivine and serpentine, in addition to variations with apatite and perovskite. This way, this macroscopic and microscopic petrographic characterization, allowed to carry out a comparative analysis, with the data already existing in the literature, to contribute with the understanding of the mineralogical and faciological aspects allied to the processes of magmatic evolution, allowed to suggest as to the evolutionary aspects of the magmatism of the rocks of the Alkaline-Carbonatitic Complex of Serra Negra.

Keywords: Petrography, Carbonatite, Phlogopitite, Alkaline-Complexes, Serra Negra.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da área de pesquisa.....	22
Figura 2 – Diagrama de classificação química para carbonatitos, com SiO ₂ inferior a 20%, em função dos teores de óxidos CaO-MgO-(FeO+Fe ₂ O ₃ +MnO).....	28
Figura 3 – Mapa de localização dos distritos alcalinos brasileiros com rochas carbonatíticas.	33
Figura 4 – Classificação das rochas da série bebedourítica, segundo Brod <i>et al.</i> (2004).....	35
Figura 5 – Localização dos diversos complexos alcalinos-carbonatíticos descritos na literatura, pertencentes à APIP.	36
Figura 6 – Geometria comparativa dos complexos alcalinos da APIP. Esboços baseados em Grasso (2010) – Serra Negra; Barbosa (2009) – Salitre; Grasso (2015) – Araxá; Brod <i>et al.</i> (2013) – Tapira; Cordeiro <i>et al.</i> (2010) – Catalão I; Palmieri (2011) – Catalão II.....	37
Figura 7 – Mapa estrutural do oeste de Minas Gerais, mostrando o soerguimento/arco do Alto Paranaíba e as principais intrusões alcalinas (em vermelho) reconhecidas na região.	38
Figura 8 – Mapa magnetométrico de Patrocínio e região. (A) Mapa magnetométrico indicando em azul os menores valores, e em rosa os maiores valores de magnetismo. (B) Mapa geofísico indicando os complexos Salitre I, II, III e Serra Negra.....	40
Figura 9 – Mapa geológico esquemático do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra (GRASSO, 2010).	41
Figura 10 – Imagens apresentando os aspectos petrográficos do testemunho Apatita-Olivina Flogopitito com Calcita pertencente ao Serra Negra. (A) Na imagem, é possível observar o flogopitito com duas estruturas maciças de fluxo diferentes. (B) Detalhes do testemunho mostrando o cumulado de flogopita de granulação grossa.	43
Figura 11 – Aspectos petrográficos da rocha dunítica serpentizada de Serra Negra. (A) Aspecto macroscópico do dunito cinza escuro identificando dique de flogopita e carbonato associados. (B) Observação em detalhe do veio de flogopita, dolomita e em amarelo, o cumulado de magnetita.	49
Figura 12 - Aspectos petrográficos da rocha brechada. (A) Aspecto macroscópico da textura brechada identificando os veios de calcita. (B) Imagem da lâmina gerada a partir da amostra.	54
Figura 13 – Aspectos petrográficos do Flogopitito. (A) Aspecto macroscópico da 4.1. (B) Aspecto macroscópico da 4.2.	60

Figura 14 – Aspectos petrográficos da Olivina-Serpentina Flogopitito com Dolomita. (A) Aspecto macroscópico da flogopita identificando os contatos entre apatita, magnetita e veio de silicato. (B) Imagem da lâmina gerada a partir da amostra.....	65
Figura 15 - Aspectos petrográficos da Flogopitito. (A) Aspecto macroscópico do flogopitito identificando os contatos entre magnetita, flogopita e o cumulado de calcita intersticial. (B) Imagem da lâmina gerada a partir da amostra.....	70
Figura 16 - Aspectos petrográficos da Dunito com Flogopita. (A) Aspecto macroscópico da olivina identificando os contatos entre apatita, magnetita e o veio de silicato. (B) Imagem da lâmina gerada a partir da amostra.....	76

ÍNDICE DE FOTOMICROGRAFIAS

Fotomicrografia 1 - (A) Identificação da flogopita (Phl) com inclusões de calcita (Cal) e olivina serpentizada (Ol+Sp), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante sob os nicóis cruzados, mostrando alta birrefringência, alta cor de interferência da flogopita em contraste com a baixa birrefringência olivina serpentizada, calcita extinta e minerais opacos.	45
Fotomicrografia 2 - (A) Porção de calcita (Cal) minerais opacos (Op), clinohumita (Chu) flogopita (Phl), apatita (Ap), perovskita (Pv), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante sob os nicóis cruzados, com características diagnósticas de cores de interferência e birrefringência.....	46
Fotomicrografia 3 - (E) Mineral de olivina bem desenvolvido, preservado e serpentizado (Ol+Sp), com associação de magnetita (Mt) intercrescida com perovskita (Pv) delimitada de cor amarela, com coroa de flogopita (Phl). (F) Fotomicrografia semelhante sob nicóis cruzados, com cores de interferência e birrefringência da olivina.	46
Fotomicrografia 4 - (A) Flogopita (Phl) compoendo massa, com minerais opacos (Op), calcita (Cal) e olivina serpentizada (Ol+Sp) no canto direito da imagem, à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante sob os nicóis cruzados, com cores de interferência alta e alta birrefringência.....	47
Fotomicrografia 5 – (A) Fotomicrografia mostrando de calcita (Cal) em contato com pseudomorfo de olivina intensamente serpentizada (Ol+Sp), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante sob nicóis cruzados, destacando cores e birrefringência baixa, pseudomorfo de olivina serpentizada cinza escura.	47
Fotomicrografia 6 - (A) Variados cristais contendo flogopita (Phl), apatita (Ap), clinohumita (Chu) e calcita (Cal) à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante sob nicóis cruzados mostrando cores de alta interferência e birrefringência.	48
Fotomicrografia 7 – Veio microgranular com flogopita flogopita (Phl), magnetita (Mt), dolomita (Dol), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante sob nicóis cruzados, mostrando cores de interferência alta e alta birrefringência.	51
Fotomicrografia 8 – Grande cristal de perovskita (Pv) com olivina (Ol) e flogopita (Phl) bordejando, à nicóis descruzados. (D) Fotomicrografia semelhante sob nicóis cruzados, indicando interferência e birrefringência.	51

Fotomicrografia 9 – Contato entre dolomita (Dol) e flogopita (Phl) e magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (F) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando cores de birrefringência e interferência da flogopita.....	52
Fotomicrografia 10 – (A) Contato entre flogopita (Phl), magnetita (Mt) e dolomita (Dol), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante sob nicóis cruzados, mostrando leve alteração da dolomita e flogopita.....	53
Fotomicrografia 11 – (A) Olivina (Ol) em contato com a flogopita (Phl) e magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante sob nicóis cruzados mostrando interferência e birrefringência dos minerais.....	53
Fotomicrografia 12 – (A) Grande cristal de perovskita (Pv), circundado por flogopita (Phl), dolomita (Dol) e olivina (Ol). (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando interferência e birrefringência da olivina.	54
Fotomicrografia 13 – (A) Contato entre flogopita (Phl) e calcita (Cal) sob nicóis descruzados. (B) fotomicrografia semelhante sob nicóis cruzados, mostrando cores de interferência e birrefringência levemente alterados.....	56
Fotomicrografia 14 – (A) Calcita (Cal) com fino veio de flogopita (Phl) no canto superior esquerdo, à nicóis descruzados. (B) fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando leve alteração de interferência e birrefringência.....	56
Fotomicrografia 15 – (A) Veios de calcita (Cal) em meio a massa flogopítica (Phl) à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados mostrando quase que nenhuma alteração de interferência e birrefringência.....	57
Fotomicrografia 16 – (A) Magnetita (Mt) no centro da imagem, com calcita (Cal) e flogopita (Phl), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados mostrando baixa interferência e birrefringência.	58
Fotomicrografia 17 – (A) Massa calcítica (Cal) com finos veios de flogopita/tetra-ferriflogopita (Phl/TFP), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados mostrando alterações sobre interferência de cores e birrefringência quase que nulas.	58
Fotomicrografia 18 – (A) Veio calcítico (Cal) com borda de flogopita/treta-ferriflogopita (Phl/TFP) e óxidos (Ox), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando quase que alteração nula.....	59
Fotomicrografia 19 – (A) Flogopita (Phl) com tetra-ferriflogopita (TFP) coroando opacos (Op), com veios de dolomita (Dol), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante sob nicóis cruzados, mostrando cores de interferência da flogopita.....	61

Fotomicrografia 20 – (A) Veio de dolomita (Dol) em meio a flogopita (Phl), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados mostrando leve alteração nas cores de interferência.	62
Fotomicrografia 21 – (A) Veio dolomítico (Dol) com flogopita (Phl) à esquerda e magnetita (Mt) à direita da imagem, à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante sob nicóis cruzados, mostrando cores de interferência.	62
Fotomicrografia 22 – (A) Cristal de flogopita (Phl)/tetra-ferriflogopita (TFP) com presença de clinohumita (Chu) e dolomita (Dol), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante mostrando alteração de interferência sob nicóis cruzados.	63
Fotomicrografia 23 – (A) Massa dolomítica (Dol) com magnetita (Mt), flogopita (Phl)/tetra-ferriflogopita (TFP) e clinohumita (Chu), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante mostrando alta interferência nas cores, sob nicóis cruzados.	64
Fotomicrografia 24 – (A) Cristal de flogopita (Phl) com alteração de tetra-ferriflogopita (TFP) e clinohumita (Chu) em meio a dolomita (Dol), à nicóis descruzados. (B) fotomicrografia semelhante mostrando alta interferência de cor, à nicóis cruzados.	64
Fotomicrografia 25 – (A) Cristais de flogopita (Phl) com tetra-ferriflogopita (TFP) e magnetita (Mt) sob dolomita (Dol), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante, à nicóis cruzados, mostrando alta cor de interferência.	67
Fotomicrografia 26 – (A) Olivina serpentinizada (Ol+Sp) com presença de flogopita (Phl), perovskita (Pv) e magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante mostrando alta interferência da flogopita e baixa dos demais minerais, à nicóis cruzados.	67
Fotomicrografia 27 – (A) Flogopita (Phl) em meio a magnetita (Mt), Perovskita (Pv), dolomita (Dol) e olivina (Ol), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados mostrando alta interferência de cores dos minerais.	68
Fotomicrografia 28 – (A) Flogopita (Phl) em meio a dolomita (Dol) com presença de magnetita (Mt), tetra-ferriflogopita (TFP), olivina (Ol) e clinohumita (Chu), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando cores de alta interferência da flogopita.	68
Fotomicrografia 29 – (A) Flogopita (Phl) com bordas de clinohumita (Chu) sob a massa dolomítica (Dol), com presença de tetra-ferriflogopita (TFP) e magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando cores de alta interferência da flogopita.	69

Fotomicrografia 30 – (A) Flogopita (Phl) sob massa dolomítica (Dol) e presença de olivina (Ol) no canto superior direito, à nicóis descruzados. ((B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando cores de alta interferência da flogopita.....	70
Fotomicrografia 31 – (A) Flogopita (Phl) sob massa calcítica (Cal) com presença de magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando cores de alta interferência da flogopita.	72
Fotomicrografia 32 – (A) Flogopita deformada (Phl) com presença de magnetita (Mt) sob calcita (Cal), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando cores de alta interferência da flogopita.	72
Fotomicrografia 33 - (A) Flogopita deformada (Phl) com veios de calcita (Cal), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando cores de alta interferência da flogopita.	73
Fotomicrografia 34 - (A) Flogopita deformada (Phl) com massa de calcita (Cal) e magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando cores de alta interferência.....	73
Fotomicrografia 35 - (A) Flogopita deformada (Phl) com massa de calcita (Cal) e magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando cores de alta interferência.....	74
Fotomicrografia 36 - (A) Flogopita deformada (Phl) com massa de calcita (Cal) e magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando cores de alta interferência. 74	
Fotomicrografia 37 – Veio de flogopita (Phl) preenchido por dolomita (Dol) sob olivina, à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante mostrando alteração de cor, à nicóis cruzados.....	76
Fotomicrografia 38 - Veio de flogopita (Phl) preenchido por dolomita (Dol) sob olivina, com magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante mostrando alteração de cor, à nicóis cruzados.	77
Fotomicrografia 39 - Veio de flogopita (Phl) preenchido por dolomita (Dol) sob olivina, com magnetita (Mt) e coroa de flogopita (Phl), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante mostrando alteração de cor, à nicóis cruzados.	78
Fotomicrografia 40 – Olivina (Ol) com magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante mostrando alteração de cor da olivina, à nicóis cruzados.	78
Fotomicrografia 41 – (A) Olivina (Ol) com flogopita (Phl) coroando a magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante mostrando alteração de cor da olivina, à nicóis cruzados.....	79

Fotomicrografia 42 - (A) Olivina (Ol) com flogopita (Phl) bordejando a magnetita (Mt) à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante mostrando alteração de cor da olivina, à nicóis cruzados..... 79

ÍNDICE DE TABELA

Tabela 1 – Distribuição percentual de minerais nas amostras.....	80
---	----

ÍNDICE DE SIGLAS E ABREVIACÕES

Ap - Apatita

APIP - Alto Paranaíba Igneous Province

Ca - Cálcio

Cal - Calcita

Chu - Clinohumita

cm - Centímetro

CODEMIG - Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais

CO² - Dióxido de Carbono

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

Dol - Dolomita

ETR - Elementos Terras Raras

Fe - Ferro

HCl - Ácido Clorídrico

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IUGS - União Internacional de Ciências Geológicas

K/Ar - Datação de Potássio-Argônio

km - Quilômetro

km² - Quilômetro quadrado

Ma - Milhões de anos

m - Metro

mm - Milímetro

MG - Minas Gerais

Mg - Magnésio

Mt - Magnetita

Na - Sódio

Nb - Nióbio

NW-SE - Noroeste-Sudeste

Ol - Olivina

Ol+Sp - Olivina Serpentinizada

Op - Minerais opacos

PAN - Paraná-Angola-Etendeka

p. ex - Por exemplo

Phl - Flogopita

Pv - Perovskita

SiO₂ - Óxido de Silício

TCC - Trabalho de Conclusão de Curso

Ti - Titânio

UFU - Universidade Federal de Uberlândia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	20
1.1. LOCALIZAÇÃO.....	21
1.2. JUSTIFICATIVA.....	22
1.3. MOSAIC FERTILIZANTES.....	23
2. OBJETIVOS	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS	24
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
4.1. CARBONATITOS.....	25
4.1.1. Classificação dos Carbonatitos	26
4.1.2. Processos de evolução dos magmas carbonáticos	28
4.1.2.1. Origem por fusão parcial do manto (Magmas Primários).....	28
4.1.2.2. Produto final de diferenciação de um líquido silicático com carbonato dissolvido (Cristalização Fracionada).....	29
4.1.2.3. Processo de imiscibilidade de líquidos em um sistema carbonático.....	30
4.1.3. Carbonatitos no Brasil	31
4.1.4. Série Bebedourítica dos Carbonatitos	34
4.2. GEOLOGIA REGIONAL.....	36
4.3. GEOLOGIA LOCAL.....	38
5. RESULTADOS	41
5.1. APATITA-OLIVINA FLOGOPITITO COM CALCITA.....	42
5.2. DUNITO SERPENTINIZADO.....	48
5.3. FLOGOPITITO COM GRANDES VEIOS DE CALCITA.....	54
5.4. FLOGOPITITO COM FINOS VEIOS DE DOLOMITA.....	59
5.5. OLIVINA-SERPENTINA FLOGOPITITO COM DOLOMITA.....	65
5.6. FLOGOPITITO.....	70
5.7. DUNITO COM FLOGOPITA.....	75
5.8. RESULTADOS GERAIS.....	80
6. DISCUSSÃO	81
7. CONCLUSÃO	84
8. REFERÊNCIAS	86

1. INTRODUÇÃO

No Brasil existem várias ocorrências de Províncias Alcalinas, no qual a maioria se concentra na borda da Bacia Sedimentar do Paraná. Os complexos alcalino-carbonatíticos presentes nas províncias vêm sendo amplamente estudados, por motivos relacionados tanto ao interesse petrológico, quanto ao viés econômico. Isto fica bem evidente devido ao fato destas ocorrências, apesar de volumetricamente insignificantes na crosta terrestre, constituírem magmas raros, além de possuírem importantes jazidas de diversos minerais, minérios e elementos químicos importantes, tais como fosfato, nióbio, elementos terras raras (ETR), barita, anatásio, magnetita, vermiculita, cobre, urânio, bauxita, fluorita e diamante, relacionados aos kimberlitos.

Segundo Grasso (2010), o Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra faz parte da Província Ígnea do Alto Paranaíba (*Alto Paranaíba Igneous Province* – APIP) e representa um dos complexos alcalino-carbonatíticos do Cretáceo Superior, cujas unidades concentram-se ao longo do Lineamento Iporá – Alto Paranaíba (Província Ígnea do Alto Paranaíba: Catalão I e II, Serra Negra, Salitre, Araxá e Tapira), ou seja, o complexo alcalino está alinhado segundo a direção NW-SE, ao longo de uma zona de fratura, dentre os quais se destacam os maciços de Tapira, Barreiro, Salitre, Serra Negra, Catalão, Poços de Caldas, entre outros (EBERHARDT, 2014).

Além disso, situada na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, a intrusão de Serra Negra controla o padrão radial de drenagem ao seu redor, e na depressão ao centro, há a denominada Lagoa Campestre, onde nasce o córrego homônimo (MELO, 1997).

Deste modo, as características geológicas da área despertam o interesse de empresas de extração mineral. Quanto aos recursos minerais presentes, Eberhardt (2014) relata que Serra Negra foi, por diversas vezes, objeto de estudos geológicos, dentre eles, o levantamento de detalhe realizado pela empresa Geologia e Sondagens Ltda (Geosol) em 1970, compondo um estudo global processado pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) em seu projeto “Nióbio-Fosfato-Titânio”.

A Província Ígnea do Alto Paranaíba – APIP – destaca-se entre as áreas de ocorrência de complexos Alcalino-Carbonatíticos no Brasil, por sua complexidade petrológica decorrente da associação entre carbonatitos e rochas alcalinas ultrapotássicas, além do grande número e variedade de depósitos minerais desenvolvidos nesses complexos (GOMES *et al.* 1990).

Nesse contexto, de acordo com Barbosa *et al.* (2010) encontra-se o Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra, com importantes mineralizações de fosfato, resultantes dos processos magmáticos e enriquecidos de forma supergênica, gerando depósitos economicamente viáveis. Estes depósitos atualmente estão sendo explorados pelas empresas Mosaic Fertilizantes e Iara Fertilizantes, instalados na região.

Portanto, por meio da integração e análise sistemática do conjunto de informações geológicas obtidas, foi possível contribuir com o entendimento sobre o complexo formado pelos carbonatitos e rochas alcalinas silicáticas associadas, pertencentes ao Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra, na região de Patrocínio – MG, além de uma descrição petrográfica detalhada de amostras da área.

1.1. LOCALIZAÇÃO

O Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra, localmente conhecido como “Domo de Serra Negra”, localiza-se no município de Patrocínio, estado de Minas Gerais, na região do Alto Paranaíba, aproximadamente 82,5 km de distância do município de Monte Carmelo, onde se localiza o curso de graduação em Geologia do *Campus* de extensão vinculado ao Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia – UFU (conforme apresentado pelo polígono na Figura 1).

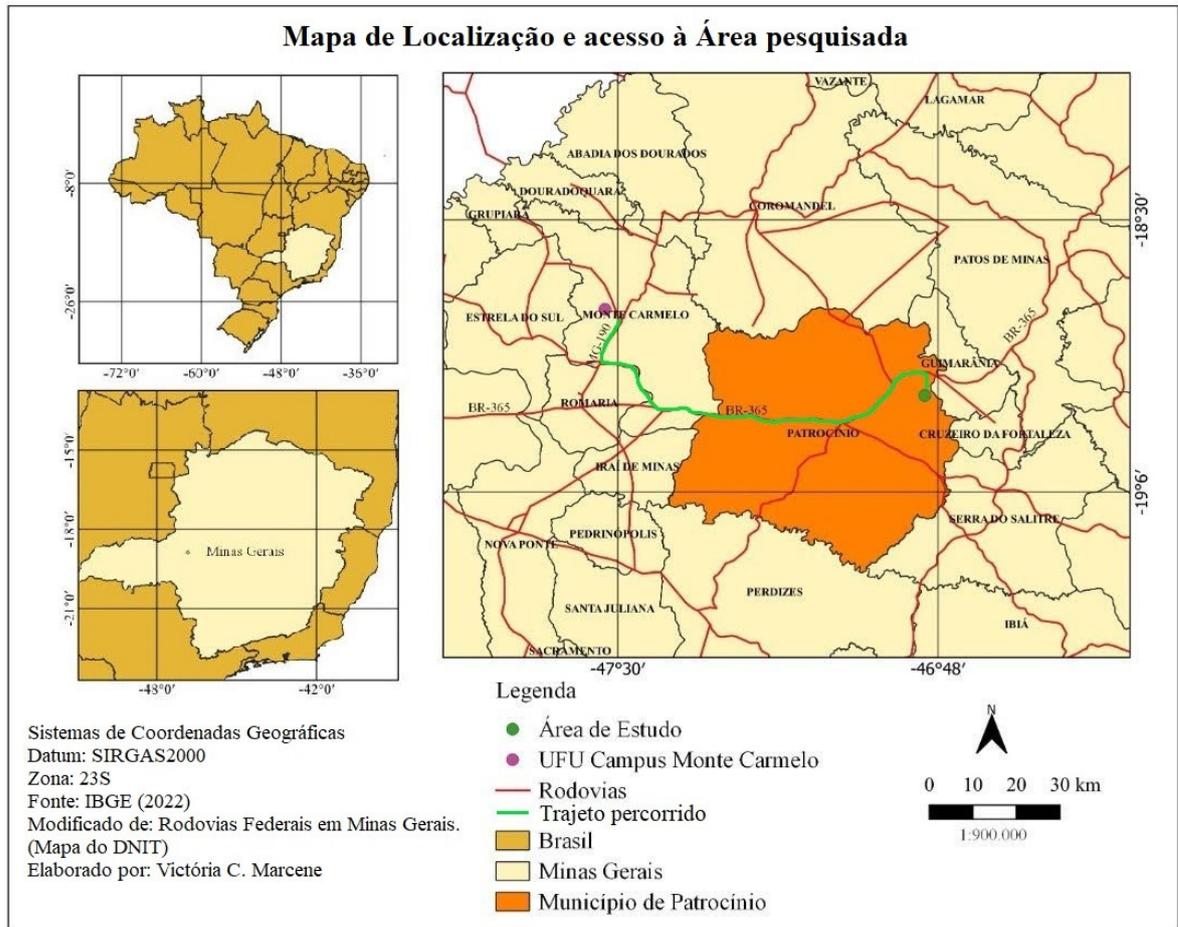
O trajeto é realizado partindo da sede da UFU de Monte Carmelo, no qual fica a 527 km da capital do estado, Belo Horizonte. A partir da rodovia MG-190, segue-se até o trevo onde toma-se a BR-365, e percorre por esta, até chegar na cidade de Patrocínio – MG.

A partir da cidade até o complexo, percorre-se cerca de 30 km da sede de Patrocínio, dos quais 22 km são ainda pela rodovia BR-365, virando à direita, em direção à Estância Hidromineral Serra Negra, a partir da qual o restante do trajeto é realizado por estrada secundária não pavimentada.

O acesso através da Estância ainda existe, apesar de atualmente estar abandonado. Localmente, a área é conhecida como Hotel Serra Negra, no qual em meados dos anos 60, era um dos lugares mais frequentados por políticos e pela alta sociedade.

Na localidade, encontra-se fontes de águas minerais dos tipos sulfurosas e magnesianas, portanto atraía grande visitação no lendário hotel. Atualmente, empresários comercializam as águas minerais devido a rara fonte sulfurosa que fornecem uma qualidade incomparável.

Figura 1 - Mapa de localização da área de pesquisa.



Fonte: A autora (2023).

1.2. JUSTIFICATIVA

O estudo de Serra Negra é de suma importância, uma vez que exhibe propriedades únicas que, uma vez caracterizadas, irão ajudar ainda mais no entendimento sobre a composição geológica do local e os aspectos que envolvem sua origem, evolução e relações mútuas dos magmas que constituem o complexo.

A escolha de estudar essa área de pesquisa se deu justamente por se tratar de um ambiente rico em diversos aspectos, como geológicos, agrônômicos, mineralógicos, hidrológicos e econômicos. Esse conjunto de fatores, associado ao alto potencial da região que ainda é pouco conhecido, despertaram o interesse em expandir e qualificar os conhecimentos sobre o contexto geológico local. Portanto, pretendeu-se no presente trabalho, focar na descrição petrográfica detalhada, fazendo uma comparação de dados existentes na literatura. Para isto, considerou-se as interpretações já existentes, e fez-se uma revisão na interpretação realizada por Grasso (2010)

para as abordagens petrográficas encontradas. Para evidenciar essa justificativa, alguns critérios foram analisados:

- Possibilidade do detalhamento da área de abrangência, bem como levantamento de suas variedades litológicas dentro do complexo intrusivo.
- Observação dos aspectos geológicos e integração dos dados obtidos em laboratório para compreensão do contexto evolutivo.
- Identificação petrográfica por meio dos dados integrados geológicos e das ocorrências mineralizantes.

Portanto, o presente estudo além de agregar novos conhecimentos à literatura científica, pode responder algumas questões a respeito do entendimento geológico e evolução petrogenética deste raro magmatismo da região. Para alcançar a proposta desta pesquisa, foi realizada uma caracterização petrográfica detalhada, de forma a contribuir para o entendimento das litologias pertencentes ao Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra.

1.3. MOSAIC FERTILIZANTES

“A Mosaic Fertilizantes atua na produção, comercialização, importação e distribuição de fertilizantes. Aliás, é uma das maiores empresas do mundo em produção e comercialização de fosfato e potássio combinados. Sua aplicação se dá em culturas agrícolas diversas. Isso sem contar com o desenvolvimento dos produtos destinados à nutrição animal e o comércio de produtos de cunho industrial. Seu intuito é a transformação de maneira respeitável e harmoniosa das riquezas encontradas no solo dentro do desenvolvimento sustentável. A IMC Global, uma das gigantes que deram origem à Mosaic, teve suas atividades iniciadas no ano de 1909. Foi no momento em que Thomas Meadows, um grande empresário, deu início ao seu empreendimento de mineração do fosfato. O Complexo de Mineração de Patrocínio (CMP) entrou em operação em 2018. Atualmente, o CMP abrange apenas operações e instalações para a lavra do minério, sendo o material posteriormente transferido via ferrovia para o Complexo Mineroquímico de Araxá (CMA), também pertencente à Mosaic Fertilizantes. O empreendimento do CMP possui as seguintes estruturas instaladas: Ramal e pera ferroviária; Terminal de embarque de minério; Área de britagem; Vias de acesso internas; Escritórios de apoio

operacional; Oficina de manutenção; Área de lavra; Depósito de estéril Paiol de explosivos; Posto de combustível; Central de materiais descartáveis, aterro sanitário, utilidades e demais.” (Relatório de Impacto Ambiental, MOSAIC 2022).

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem o objetivo de contribuir para o conhecimento geológico sobre a origem e evolução dos carbonatitos e rochas alcalinas silicáticas associadas do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra. Para isso, com as sete amostras de testemunhos de sondagens cedidas, permitiram a realização de pesquisas para a obtenção de dados geológicos e mineralógicos, de forma a realizar a caracterização petrográfica geral da área de estudo. A caracterização petrográfica permite reconhecer a composição mineralógica e os possíveis processos de alteração deste, que ajudaram no entendimento da evolução geológica da área de estudo.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Realizar a análise e caracterização petrográfica macroscópica e microscópica das litologias amostradas do complexo.
- Realizar a análise comparativa e integração dos dados para entendimento da petrografia, evolução dos possíveis processos de origem, desenvolvimento e evolução deste tipo de magma raro que resultou na geração do complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra.
- Realizar uma abordagem de cunho de interpretação petrológica, considerando os dados existentes na literatura, baseando nos dados petrográficos encontrados.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de facilitar a realização e conclusão do presente trabalho, as fases foram divididas em etapas, que envolveram desde a aquisição do processamento de dados geológicos obtidos em campo, até a confecção e publicação do trabalho atual. Sendo assim, cada etapa está descrita a seguir:

ETAPA 1 – Levantamento de dados bibliográficos. Esta etapa constituiu os levantamentos das pesquisas, relatórios, artigos, teses, imagens de satélites, mapas temáticos (regionais, locais, geológicos, geomorfológicos, metalogenéticos e geofísicos), relatórios e demais informações relacionadas à área.

ETAPA 2 – Aquisição de dados geológicos. A segunda etapa foi relacionada à aquisição de dados e coleta de amostras das litologias que compõem o Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra. Como se sabe, na área é difícil o acesso às rochas frescas e/ou afloramentos, portanto a empresa Mosaic Fertilizantes disponibilizou sete amostras de testemunhos para a realização do estudo.

ETAPA 3 – Análise e sistematização dos dados geológicos. A terceira etapa realizada após a coleta dos testemunhos, consistiu no encaminhamento dos materiais para o laboratório de Mineralogia e Petrografia do curso de Geologia da UFU, *Campus* Monte Carmelo – UFU, para análise e descrição petrográfica (macroscópica e microscópica). Esta etapa equivaleu à análise, tratamento das informações e integração geral dos dados obtidos.

ETAPA 4 – Integração dos dados geológicos e publicação. A quarta etapa referiu-se à integração total de todos os dados obtidos (geológicos, petrográficos e mineralógicos) para a confecção final do presente Trabalho de Conclusão de Curso.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para compreender as rochas que compõem o complexo estudado, se faz necessária uma abordagem explicativa desde a formação dos carbonatitos, sua classificação, processos de origem até chegar na definição da série petrogenética presente no Serra Negra.

4.1. CARBONATITOS

A classificação dos tipos de carbonatitos é essencial para entender sobre sua evolução histórica até a aceitação de seus conceitos e definições reconhecidas atualmente.

4.1.1. Classificação dos Carbonatitos

Inicialmente, Brøgger (1921) cunhou o termo carbonatitos especificamente definido para descrição de rochas carbonatíticas e/ou carbonatitos na Noruega e, foi definida como uma “rocha ígnea constituída predominantemente por carbonato e que ocorre associado a um maciço sílico-carbonatítico”. A definição mais aceita, descreve o carbonatito como um tipo especial de rocha rica em carbonatos, geneticamente relacionada ao processo de formação de magmas alcalinos, conforme indica Pecora (1956). Em meados da década de 60, Heinrich (1966) simplificou a definição: “carbonatito é uma rocha rica em carbonato, de derivação magmática, aparente ou similar”.

Conceitualmente, quando se refere aos carbonatitos, estes podem ser definidos no sistema de classificação das rochas ígneas da União Internacional de Ciências Geológicas (*International Union of Geological Sciences – IUGS*) como uma rocha composta por mais de 50% de carbonato modal primário (isto é, magmático) e que possui menos de 20% de sílica (LE MAITRE, 2002).

Gomes *et al.* (2020) apresenta uma atualização do histórico conceitual, classificação, origem e diversidades dos tipos de carbonatitos ao longo do tempo. Assim, Mitchell (1986) definiu carbonatitos como correspondendo a qualquer tipo de rocha que contenha quantidade de carbonato magmático primário arbitrariamente superior a 30%, independentemente do seu teor em sílica. Segundo o autor, com essa nova definição, procurou-se reconhecer que um magma que forma carbonatitos pode gerar, por meio de diferenciação, uma suíte de rochas relacionadas geneticamente, nos quais o conteúdo de carbonato variaria significativamente.

Portanto, mais importante que a proporção do mineral, é o fato de que a suíte de rochas dele portadora, tenha sido derivada do mesmo magma. Outras considerações sobre definições dos carbonatitos foram feitas por Mitchell (2005), apontando impropriedades e inconveniências no emprego de certos termos indesejáveis, como “sílico-carbonatitos” (BROGGER, 1921; PECORA, 1956; GITTINS *et al.* 2005), em que não há especificação da natureza do mineral silicático presente e que poderia implicar que essas rochas não estão geneticamente ligadas à carbonatitos, quando na realidade, ocorrem em íntima associação.

A situação análoga é mostrada pelos carbonatitos contendo quantidades variáveis de fosfatos e óxidos. Assim, para Mitchell (2005), um dado complexo carbonatítico deve ser entendido como um conjunto de rochas que, embora modalmente diferentes, tenham sido submetidos a uma origem magmática comum. Como consequência, o termo carbonatito pode

ser usado como um nome para designar um tipo de rocha específica, como também para caracterizar uma suíte de rochas geneticamente relacionadas e que incluem carbonatitos variados.

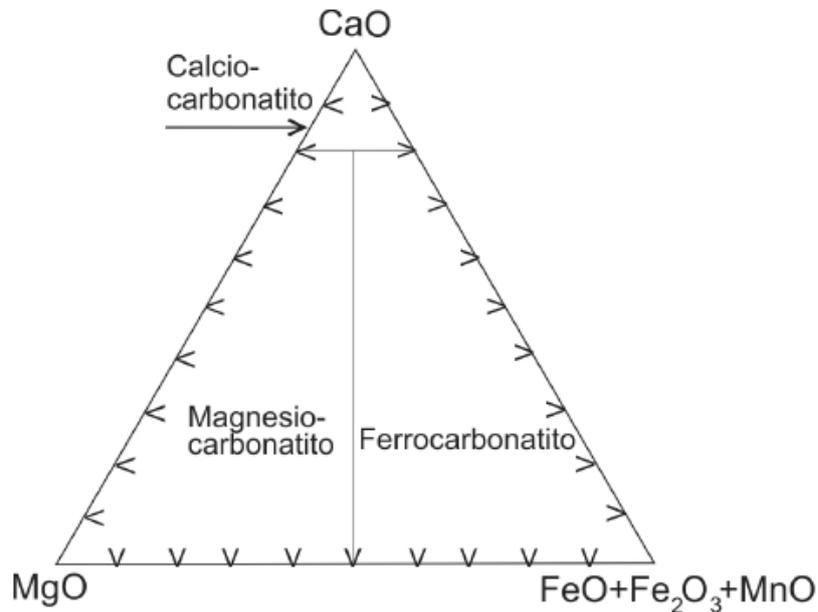
Como é de conhecimento generalizado, a variação expressiva presente na mineralogia e na química dos carbonatitos, é fator responsável pelo emprego na literatura de grande diversidade de nomes para designar essas rochas e levantam sérias dúvidas sobre o real significado da apresentação de uma composição média de análises. A proposta sugerida por Streckeisen (1979) baseia-se em concentrações modais dos minerais, com os carbonatitos sendo divididos nos seguintes grupos: 1. Calcita carbonatito (søvito com granulação grossa; alvikito com granulação média a fina); 2. Dolomita carbonatito (beforsito); 3. Ferro carbonatito (essencialmente composto por minerais ricos em ferro).

Posteriormente, Le Maitre (2002) reunindo atualizações sugeridas pelo Comitê de Nomenclatura e Associação Internacional, propôs que deveriam distinguir as seguintes classes de carbonatitos para rochas com mais de 50% de carbonato modal, sendo: 1. Calcita carbonatito, em que o mineral carbonático identificado é a calcita (se a rocha for de granulação grossa, pode ser chamada de søvito; se de granulação fina a média, pode ser chamada de alvikito); 2. Dolomita carbonatito, em que o mineral carbonático identificado é a dolomita (pode ser também referido como beforsito); 3. Ferro carbonatito, em que o mineral carbonático é rico em ferro; 4. Natro carbonatito, em que a rocha é composta essencialmente por carbonatos de sódio, potássio e cálcio (esse tipo de rocha é encontrada unicamente na ocorrência vulcânica de Oldoinyo Lengai, Tanzânia).

Sob recomendação de Le Maitre (2002) para identificar as rochas com teores de SiO_2 (sílica) superiores a 20%, no sentido de utilizar o termo sílico carbonatito para definir a mistura de rochas carbonatíticas e silicáticas, originalmente empregado por Brøgger (1921) e mais tarde também adotado por Pecora (1956), foi aderido o método prático e de fácil aplicação para fins classificatórios, que é o diagrama ternário para carbonatitos.

Portanto, para realizar a classificação química, foi proposto por Woolley e Kempe (1989) *apud* Grasso (2010) o diagrama ternário que reúne os óxidos $\text{CaO-MgO-}(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MnO})$, como ilustrado na Figura 2, a seguir.

Figura 2 – Diagrama de classificação química para carbonatitos, com SiO_2 inferior a 20%, em função dos teores de óxidos CaO - MgO - $(\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MnO})$.



Fonte: Woolley e Kempe (1989) *apud* Grasso (2010).

4.1.2. Processos de evolução dos magmas carbonáticos

Este tópico tem por objetivo mostrar as possibilidades de origem, geração e evolução de carbonatitos/magmas carbonáticos. Segundo Grasso (2010), os possíveis processos que estariam associados à origem e evolução dos magmas carbonáticos, estariam relacionados a três possibilidades: 1. Resultante do produto inicial de fusão parcial de um manto portador de uma pequena proporção de carbonatos; 2. Produto final de diferenciação de um líquido silicático com carbonato dissolvido; 3. Processo de imiscibilidade de líquidos em um sistema carbonático.

4.1.2.1. Origem por fusão parcial do manto (Magmas Primários)

Os carbonatitos podem ser magmas primários, produzidos por fusão parcial de um manto carbonatado sob condições apropriadas, que seriam um baixo grau de fusão parcial (<1%) de um manto peridotítico carbonatado, a profundidades superiores à 70 km, com a geração de

dolomita carbonatitos (HALL, 1996; DALTON e PRESNALL, 1998; LEE e WYLLIE, 1998; LEE e Wyllie, 2000).

Porém, para atender a essa situação hipotética, seria necessário que o carbonatito tivesse um magma primário com expectativa de altos conteúdos de magnésio – Mg – num líquido carbonático em equilíbrio com um peridotito do manto, o que dificulta explicar a existência dos carbonatitos calcíticos (HALL, 1996).

Grasso (2010) atentou que, para atender tal situação, os carbonatitos primários deveria ocorrer, em campo, como corpos isolados e sem uma necessária associação com rochas alcalinas silicáticas. Wooley e Kjarsgaard (2008) apontaram que poucos carbonatitos no mundo correspondem a esta situação, e que carbonatitos primários são, provavelmente, muito raros.

4.1.2.2. Produto final de diferenciação de um líquido silicático com carbonato dissolvido (Cristalização Fracionada)

Segundo Wernick (2004), toda cristalização fracionada é um processo resultante da diferenciação magmática. Ou seja, considerando a mobilidade e assentamento do magma, as relações do aumento de temperatura, a diminuição da pressão e influxo de fluidos, principalmente a água que baixaria drasticamente o ponto de fusão, são fatores que geram uma cristalização progressiva e remoção de minerais, a partir de um magma parental.

As fases dos minerais fracionados podem se concentrar e formar rochas (cumulados) de diversas composições, por processos variados, como assentamento gravitacional de minerais mais densos, ou flotação de minerais menos densos do que o magma residual; acumulação de cristais nas paredes da câmara magmática; filtragem do magma residual bombeado por pressão; ou concentração de minerais em bandas, devido ao fluxo hidráulico de uma magma contendo cristais em suspensão (GRASSO, 2010).

Em condições plutônicas, a cristalização de um magma não é instantânea, mas ocorre em um intervalo de temperatura e período de tempo. Num magma parcialmente cristalizado, os cristais coexistentes e o líquido, raramente apresentam a mesma composição. Então, se os cristais são separados do magma, o líquido remanescente será diferente do magma original, resultando na mudança progressiva da composição do magma (HALL, 1996).

A ideia de que os carbonatitos podem ser gerados por cristalização fracionada a partir de um magma de composição sílico-carbonatado, é fortalecida pela grande quantidade de carbonatitos espacialmente associados com rochas silicáticas alcalinas. Além disso, diversas evidências texturais encontradas em carbonatitos (como estruturas bandadas e segregações de

apatita; silicatos e óxidos) mostram que eles podem ser cumulados. Carbonatitos associados a rochas silicáticas com forte gradação composicional, sugerem que essas rochas são produtos de cristalização fracionada (*e.g.* complexo de Kandaguba, Província de Kola, Rússia) (BELL e RUKHLOV, 2004).

4.1.2.3. Processo de imiscibilidade de líquidos em um sistema carbonático

Segundo Wernick (2004), a imiscibilidade magmática era uma das hipóteses preferidas pelos diversos pesquisadores, para explicar o fracionamento magmático. Porém, posteriormente, os casos ficaram restritos a casos de sistemas conflitantes, como a imiscibilidade entre líquidos silicáticos e líquidos ricos em sulfetos, óxidos, fosfatos e carbonatos. A imiscibilidade de líquidos envolve a separação de um magma originalmente homogêneo em duas frações coexistentes. Em líquidos silicáticos, estudos experimentais identificaram uma extensão bastante limitada deste processo, além de serem raras as evidências petrográficas. Em contrapartida, em líquidos de composição silicato-carbonatado ou silicato-sulfetado, esse processo é mais generalizado e pode ocorrer em uma escala maior (HALL, 1996).

Diversos autores como Beccaluva *et al.* (1992), Lee e Wyllie (1998), Brod (1999), Ruberti *et al.* (2002), Ribeiro *et al.* (2005), Comin-Chiaramonti *et al.* (2007), Barbosa *et al.* (2010) *apud* Grasso (2010), sugerem a ideia de que a imiscibilidade de líquidos desempenha importante papel na gênese dos carbonatitos. Kjarsgaard e Hamilton (1989) propõem que a imiscibilidade é o principal processo no desenvolvimento, tanto dos carbonatitos, quanto das rochas silicáticas associadas, e que pode explicar a origem de muitos tipos de carbonatitos mais facilmente que qualquer outro processo.

Grasso (2010) afirma que, um magma silicático com alguma quantidade de carbonato dissolvido vai se tornando mais enriquecido neste componente, pela progressiva cristalização de silicatos, óxidos e fosfatos, levando à saturação e separação de um líquido carbonático imiscível. Nas rochas alcalinas, esse processo é, às vezes, evidenciado pela ocorrência de glóbulos (ocelos) ricos em carbonatos numa matriz de composição silicática, ou ainda por inclusões microscópicas de líquidos silicáticos e carbonáticos, coexistindo dentro dos cristais (HALL, 1996).

4.1.3. Carbonatitos no Brasil

Os estudos e levantamentos iniciais sobre os carbonatitos no Brasil começaram a surgir a partir de trabalhos como os de Melcher (1954, 1965, 1966), além de relatórios públicos de mapeamentos por campanhas de órgãos públicos da época.

Até então, eram poucos os conhecimentos sobre o assunto, porém, a partir da década de 60, os trabalhos do autor ganharam destaque, principalmente sobre o complexo de Jacupiranga, no Vale do Ribeira, com relevância nacional. Simultaneamente e também trazendo luz ao conhecimento científico nacional com abrangência internacional, ocorreu a publicação de um capítulo do livro *Carbonatites*, de Tuttle e Gittins (1966), despertando amplo interesse de pesquisadores sobre o tema.

Assim, campanhas de pesquisas sobre os bens minerais elevaram as buscas e vários distritos carbonatíticos (como por exemplo Catalão - GO, Ipanema - MG, Araxá - MG, Barra do Itapirapuã - SP, Lages - SC, Anitápolis - SC, Mato Preto - PR, etc) vieram a ser investigados com maior ou menor profundidade e, no início dos anos de 1980, dois importantes artigos de revisão foram publicados sobre o tema geral: o de Berbert (1987) e o de Rodrigues e Lima (1984).

O final da década trouxe um novo trabalho de revisão sobre as ocorrências carbonatíticas brasileiras, como o de Gomes *et al.* (1990). Mais tarde, Comin-Chiaramonti *et al.* (2005, 2007) reexaminaram diferentes aspectos das rochas carbonatíticas do Sistema Paraná-Angola-Etendeka - PAN. Mais recentemente, três novos artigos de revisão foram produzidos (GOMES *et al.* 2018; SPEZIALE *et al.* 2020; GOMES *et al.* 2020) baseados no conjunto de ocorrências da porção meridional da Plataforma Brasileira.

Gomes *et al.* (2020) relacionam os carbonatitos brasileiros com núcleos maciços de dimensões variáveis e, quando bem definidos, exibem contorno em planta tendendo a circular ou alongado. Ocorrem principalmente como pequenos stocks ou plugs isolados, ocupando em geral, as porções centrais de complexos alcalinos-plutônicos, os quais cobrem áreas de até algumas dezenas de quilômetros quadrados (por exemplo, Serra Negra possui 65 km², já Tapira possui 34,5 km²). Porém, podem ser mais frequentes na forma de diques individuais, múltiplos ou em sistemas complexos, representando por vezes mais de uma geração, além de serem encontrados penetrando as rochas alcalinas associadas ou as encaixantes regionais.

Wooley e Kjarsgaard (2008), em levantamento estatístico, verificaram um total de 477 (inicialmente 377) carbonatitos catalogados por pesquisadores, no qual a partir de informações da literatura mundial, apenas 46 (inicialmente 40) correspondiam efetivamente a manifestações extrusivas. Já conforme observado por Comin-Chiaramonti *et al.* (2007), os carbonatitos da América do Sul eram raramente efusivos e as rochas extrusivas associadas são pouco preservadas (este fato se deve ao intenso intemperismo, no qual as rochas são submetidas e atuam para sua escassez).

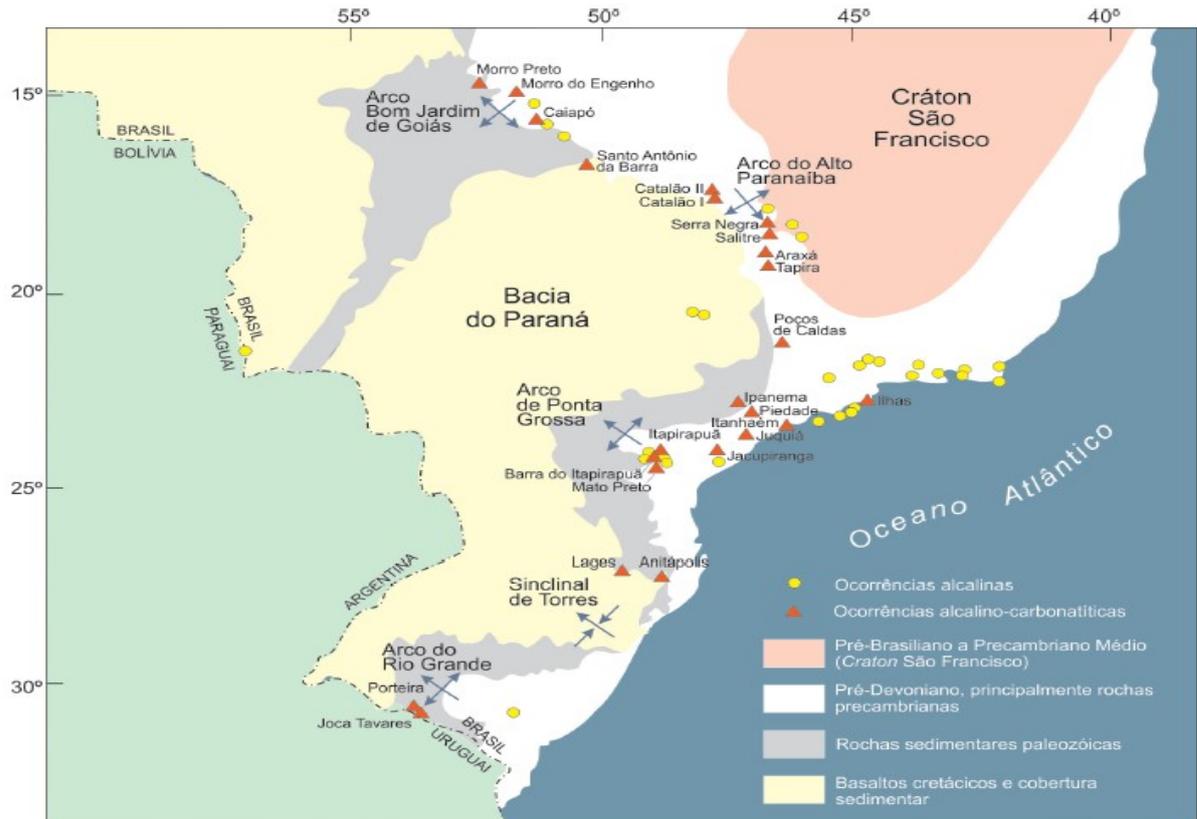
Como exemplo de ocorrência de carbonatitos, a região do Alto Paranaíba, onde encontra-se o foco deste trabalho, em geral, caracteriza-se pelo pediplano composto por extensas camadas de latossolo e laterita, com a drenagem levando comumente à formação de um manto intempérico de espessura superior a 200 metros, originado pela alteração de rochas ultramáficas cumuláticas e da dissolução de carbonatos dos carbonatitos.

Como resultado, grandes depósitos supergênicos e residuais de apatita, pirocloro e vermiculita foram ali formados. A única ocorrência em que rochas frescas de carbonatito são comuns, além de expostas na superfície, é a de Jacupiranga, em especial no Morro da Mina, onde vêm sendo lavradas à céu aberto há muitos anos.

As intrusões alcalinas e alcalino-carbonatíticas estão frequentemente alojadas em formações pré-cambrianas, nas quais se distinguem como encaixantes mica xistos e quartzitos pertencentes à grupos diversos (por exemplo Araxá, Catalão I e II, Salitre I, II e III, Serra Negra, Tapira), ao lado de variedades de natureza granítica-gnáissica (por exemplo Anitápolis, Jacupiranga, Juquiá) *in* Gomes *et al.* (2020).

No âmbito do território brasileiro, as rochas carbonatíticas estão concentradas em duas regiões distintas do território brasileiro: Sul-Sudeste e Centro-Oeste, conforme apresentado no mapa da Figura 3 (GOMES *et al.* 2020).

Figura 3 – Mapa de localização dos distritos alcalinos brasileiros com rochas carbonatíticas.



Fonte: Ulbrich e Gomes (1981), modificado por Gomes *et al.* (2020).

As ocorrências descritas no Rio Grande do Sul são cinco: Joca Tavares, Passo Feio, Picada dos Tocos, Porteira e Três Estradas, conforme Toniolo *et al.* (2013) e Monteiro *et al.* (2016). Segundo Costa *et al.* (1995), esse magmatismo carbonatítico teve como principal elemento estrutural controlador o lineamento Ibaré. O complexo de Lages estaria localizado no prolongamento de um sistema de falhas tardibrasilianas (IPT, 1980), o que levaria a pensar, como sugerido por Almeida (1983), em seu controle estrutural por meio da reativação dessas falhas.

Na porção sudeste, os distritos carbonatíticos estão em sua quase totalidade, distribuídos pelo Vale do Ribeira, e condicionados tectonicamente ao Arco de Ponta Grossa, importante feição estrutural de orientação geral NW-SE, ativa desde o Paleozoico, que se estende por centenas de quilômetros. Almeida (1983) descreve o Arco de Ponta Grossa como sendo formado, do norte para o sul, de quatro lineamentos magnéticos bem definidos: Guapiara, São Jerônimo-Curiúva, Rio Alonzo e Rio Piqueri. Os complexos mais conhecidos de Jacupiranga e Juquiá estão relacionados com o lineamento Guapiara, já as demais intrusões (Barra do

Itapirapuã, Itapirapuã, Mato Preto) com o de São Jerônimo-Curiúva (RUBERTI *et al.* 2005; GOMES *et al.* 2013).

A ocorrência de Ipanema, pesquisada em detalhe por Guarino *et al.* (2012), mostra condicionamento com o lineamento de Piedade, paralelo e situado mais a norte do anterior. O mesmo acontece com a intrusão de Piedade, ainda pouco estudada. Na extremidade sul desse lineamento, junto à região litorânea, Coutinho e Ens (1992) mapearam um pequeno dique de beforsito na ilha das Cabras, em Itanhaém. Por outro lado, Coutinho (2008) fez também menção à existência de um pequeno dique com composição variável de sílico-carbonatito a beforsito, que aflora no litoral norte de São Paulo, entre as cidades de Bertioga e São Sebastião, nas proximidades da praia do Sahy.

Diques de lamprófiros contendo material carbonatítico foram igualmente descritos por Vlach *et al.* (1996) e Ulbrich *et al.* (2002) na localidade de Minas Pedras, no interior do maciço alcalino de Poços de Caldas - MG. Na parte centro-oeste, a associação tectônica se dá com a estrutura soerguida do Alto Paranaíba, outra feição de extensão quilométrica e orientação geral NW-SE, abrangendo principalmente o estado de Minas Gerais e que avança sentido Goiás. Bem evidenciada em carta *Bouguer* Gravimétrica (HARALYI, 1978), essa estrutura desenvolvida no Neojurássico ao Cretáceo, tem a região como palco de diversas manifestações carbonatíticas, como Salitre (I, II e III) e Serra Negra, além dos complexos de grande importância econômica, como Araxá, Catalão (I e II) e Tapira.

Na porção mais ocidental do estado de Goiás, distinguem-se os corpos carbonatíticos de Caiapó, Morro do Engenho e Santo Antônio da Barra, que integrariam a antiga Província Rio Verde-Iporá de Almeida (1983), os quais, segundo Penas (1974), guardam associações com o Arco do Bom Jardim de Goiás. Para os autores Sgarbi e Gaspar (2002) e Riccomini *et al.* (2005), esses distritos carbonatíticos estariam agrupados dentro da Província Alcalina Minas-Goiás, tendo sido controlados por uma estrutura tectônica referida como lineamento Alto Paranaíba, de direção geral NW-SE e com centenas de quilômetros de extensão.

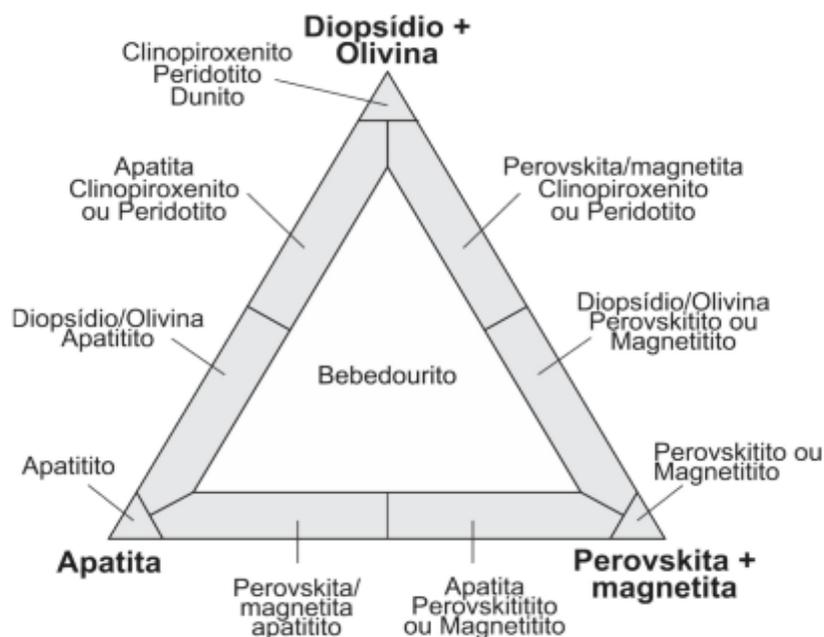
4.1.4. Série Bebedourítica dos Carbonatitos

De acordo com Grasso (2010), o Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra possui mineralogia peculiar, contendo em sua maioria flogopita, olivina serpentizada, apatita, diopsídio, perovskita, magnetita e minerais opacos. Dentre os diversos minerais citados, os

carbonatitos podem ser associados a diversos tipos de rochas alcalinas de complexos plutônicos, e o sistema de classificação das séries petrogenéticas que representam os complexos brasileiros, podem ser divididos em quatro, sendo eles: série ijolítica, bebedourítica, foscorítica e carbonatítica (GRASSO, 2010). No Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra, a série que melhor descreve a área de estudo é a série bebedourítica.

O bebedourito definido por Tröger (1928) *apud* Grasso (2010) abrange clinopiroxenito rico em perovskita, e tem em sua composição modal mais de 50% de diopsídio, 21% de flogopita, 14% de perovskita e 10% de minerais opacos e minerais acessórios. Porém, de acordo com Grasso (2010), o bebedourito presente no Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra envolve uma mineralogia variada, que compreende principalmente dunitos, ricos em perovskita, além de traquitos/sienitos. Ainda segundo Grasso (*op. cit.*), a classificação para a série bebedourítica proposta por Brod et al. (2004), representado na Figura 4, considera bebedourito como diopsídio + olivina, apatita e magnetita + perovskita. A seguir, está disposto o diagrama para classificação de bebedouritos da APIP (BROD, 1999; RIBEIRO, 2008; BARBOSA, 2010a; GRASSO, 2010), sugerido por Brod *et al.* (2004). Porém, como a magnetita é fase *intercumulus*, utilizou-se para a discussão do presente trabalho, a versão modificada do diagrama conforme proposto por Grasso (2010), desconsiderando a magnetita.

Figura 4 – Classificação das rochas da série bebedourítica, segundo Brod *et al.* (2004).



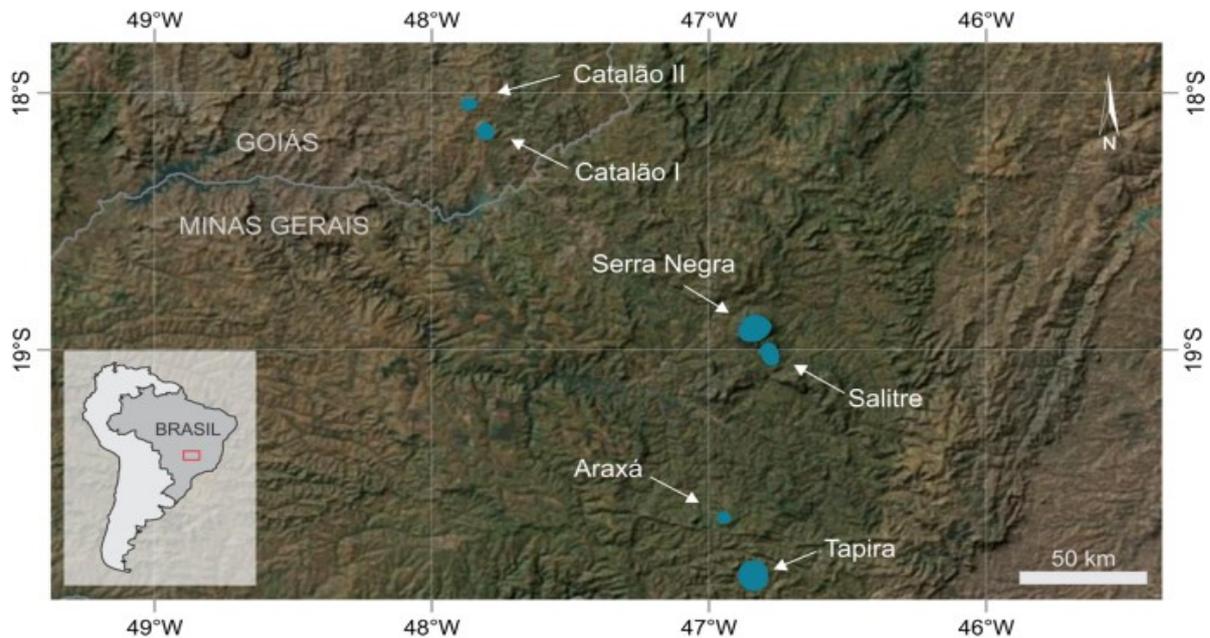
Fonte: Adaptado de Brod *et al.* (2004) *apud* Grasso (2010).

4.2. GEOLOGIA REGIONAL

Conforme descrito por Bezerra e Brod (2011), os magmas silicáticos alcalinos que compõem a APIP são potássicos, ou seja, os magmas alcalinos ricos em CO₂ são gerados no manto, e com a ascensão devido a diferenciação na câmara magmática, resultam na geração de complexos alcalinos-carbonatíticos com possível presença de dunitos, piroxenitos, bebedouritos, ijolitos, sienitos, foscoritos e carbonatitos. Segundo Gibson *et al.* (2000), a APIP é resultado do intenso magmatismo alcalino que ocorreu às margens nordeste e sudeste da Bacia Sedimentar do Paraná, tratando-se de um conjunto de tipos de magmas alcalinos, incluindo kimberlitos, olivina lamproítos madupticos e kamafugitos, associados à intrusões de complexos alcalinos carbonatíticos, situados ao longo do arco homônimo.

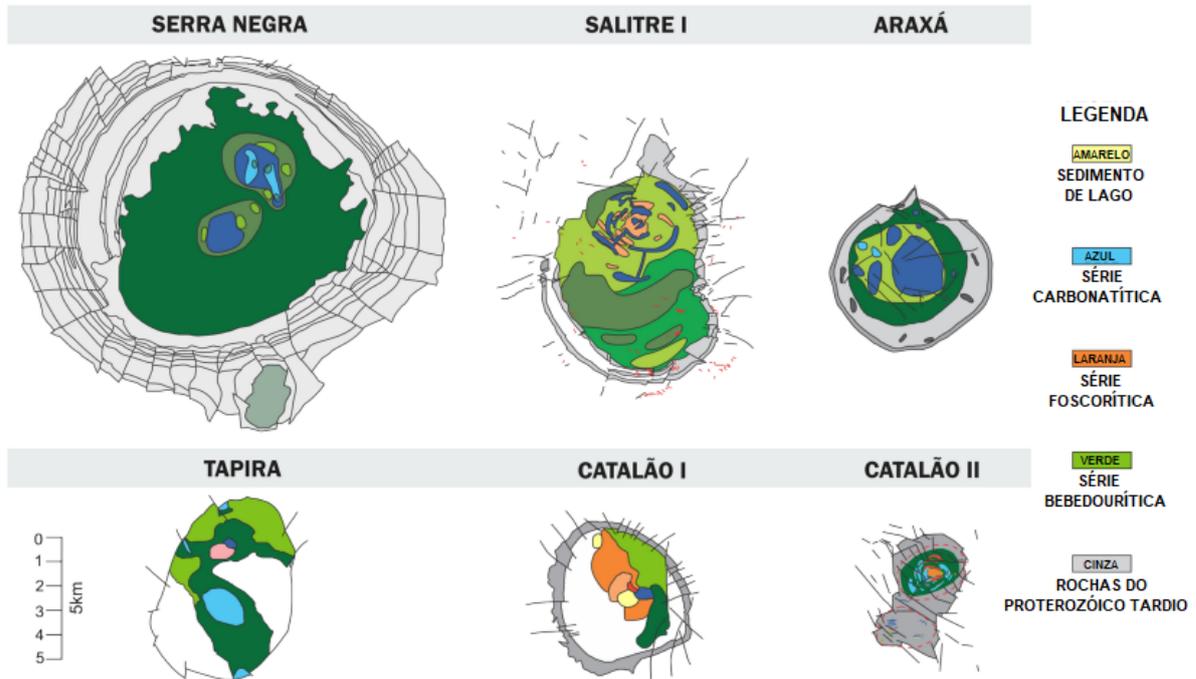
A Província do Arco Alto Paranaíba está associada tectonicamente aos lineamentos do cinturão de dobramentos correlatos à borda do Cráton São Francisco e Bacia Sedimentar do Paraná (MORBIDELLI *et al.* 1997), compreende uma faixa de ocorrência do sudeste do estado de Goiás com as intrusões alcalinas de Catalão I e II e no oeste de Minas Gerais, com Serra Negra, seguido pelas intrusões Salitre I, II e III, Araxá e Tapira, no qual representa uma das províncias ultrapotássicas mais volumosas do mundo, com o alojamento de grande número de rochas alcalinas máficas e ultramáficas. As figuras 5 e 6, a seguir, indicam a localização e a geometria das intrusões alcalinas dos Complexos Alcalinos da APIP.

Figura 5 – Localização dos diversos complexos alcalinos-carbonatíticos descritos na literatura, pertencentes à APIP.



Fonte: USGS, Nasa e ESRI Inc (NOVAES, 2018).

Figura 6 – Geometria comparativa dos complexos alcalinos da APIP. Esboços baseados em Grasso (2010) – Serra Negra; Barbosa (2009) – Salitre; Grasso (2015) – Araxá; Brod *et al.* (2013) – Tapira; Cordeiro *et al.* (2010) – Catalão I; Palmieri (2011) – Catalão II.



Fonte: Novaes (2018).

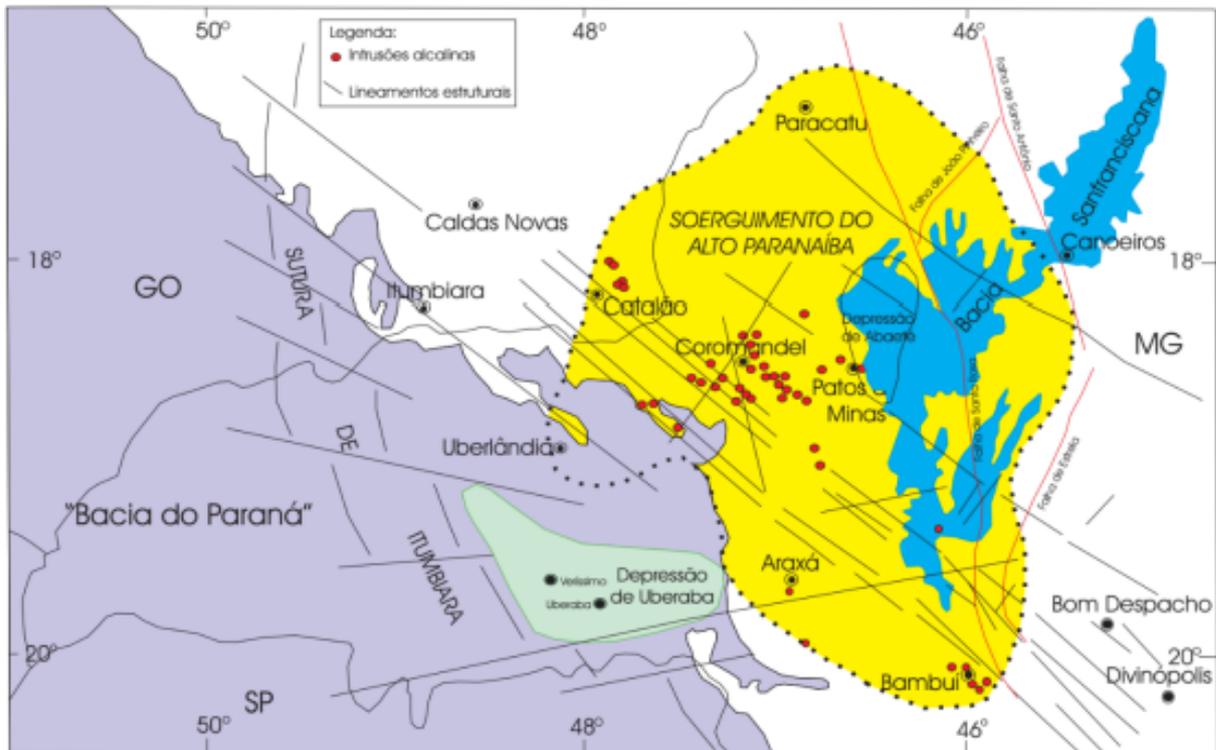
Regionalmente, de acordo com Barbosa *et al.* (2010), as rochas mais antigas da região do Alto Paranaíba são constituídas por granodioritos, granitos e gnaisses, as quais datam o período Pré-cambriano.

Sobre essas rochas, foram depositados sedimentos que posteriormente transformaram-se em rochas, os quais atualmente pertencem ao Grupo Araxá, Grupo Canastra, Formação Ibiá e Grupo Bambuí.

No final do Cretáceo, ocorreu um intenso magmatismo básico-alcálico, representado pelos complexos de Tapira, Salitre, Araxá e Serra Negra em Minas Gerais, bem como Catalão I e II em Goiás (Figura 7).

Sobre as rochas do Cretáceo, ocorreram as formações de solos lateríticos, os quais apresentam uma canga composta por quartzo e magnetita, cimentados por limonita. Sobre essa canga foi formado um solo marrom, cobertura característica de Serra Negra.

Figura 7 – Mapa estrutural do oeste de Minas Gerais, mostrando o soerguimento/arco do Alto Paranaíba e as principais intrusões alcalinas (em vermelho) reconhecidas na região.



Fonte: Pereira (2020).

De acordo com Barbosa et al. (2010), as rochas do Grupo Araxá englobam rochas de fácies epidoto-anfibolito, com litologias do tipo micaxistos e quartzitos, intercalados com anfibolitos. Melo (1997) descreveu o conjunto de intercalação como sendo de leitos e/ou lentes de muscovita quartzitos, quartzitos hematíticos, bem como hematita-sericita xistos e, raramente, anfibolitos. Os principais minerais são muscovita e quartzo e, como minerais acessórios, granada, biotita, estaurolita, rutilo, zircão e turmalina. Por sua vez, no Grupo Canastra também são encontrados quartzitos e filitos, com intercalações na forma de lâminas. O filito apresenta uma granulação muito fina e síltica, já os quartzitos, em alguns casos, apresentam-se ferruginosos, tornando-os fibrosos ou silicificados (BARBOSA *et al.* 2010; MELO, 1997).

4.3. GEOLOGIA LOCAL

O Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra, trata-se de um domo circular, localizado imediatamente a norte das intrusões de Salitre I, II e III, na região de Patrocínio – MG, com aproximadamente 10 km² de diâmetro, alojado em quartzitos do Grupo Canastra (GRASSO, 2010).

Serra Negra é também denominado Chapadão de Ferro, de acordo com moradores locais, por causa da espessa crosta de canga laterítica ferruginosa que reveste a maior parte do seu topo nivelado e utilizado para plantação de café.

De acordo com Mariano e Marchetto (1991) *apud* Grasso (2010), descreveram-no como sendo composto por um núcleo central de calciocarbonatito, com diâmetro estimado de 4,5 km, frequentemente contendo mais de 20% de apatita e até 5% de dolomita, com quantidades de minerais acessórios de flogopita, magnetita, humita, rutilo, pirocloro, pirrotita e pirita.

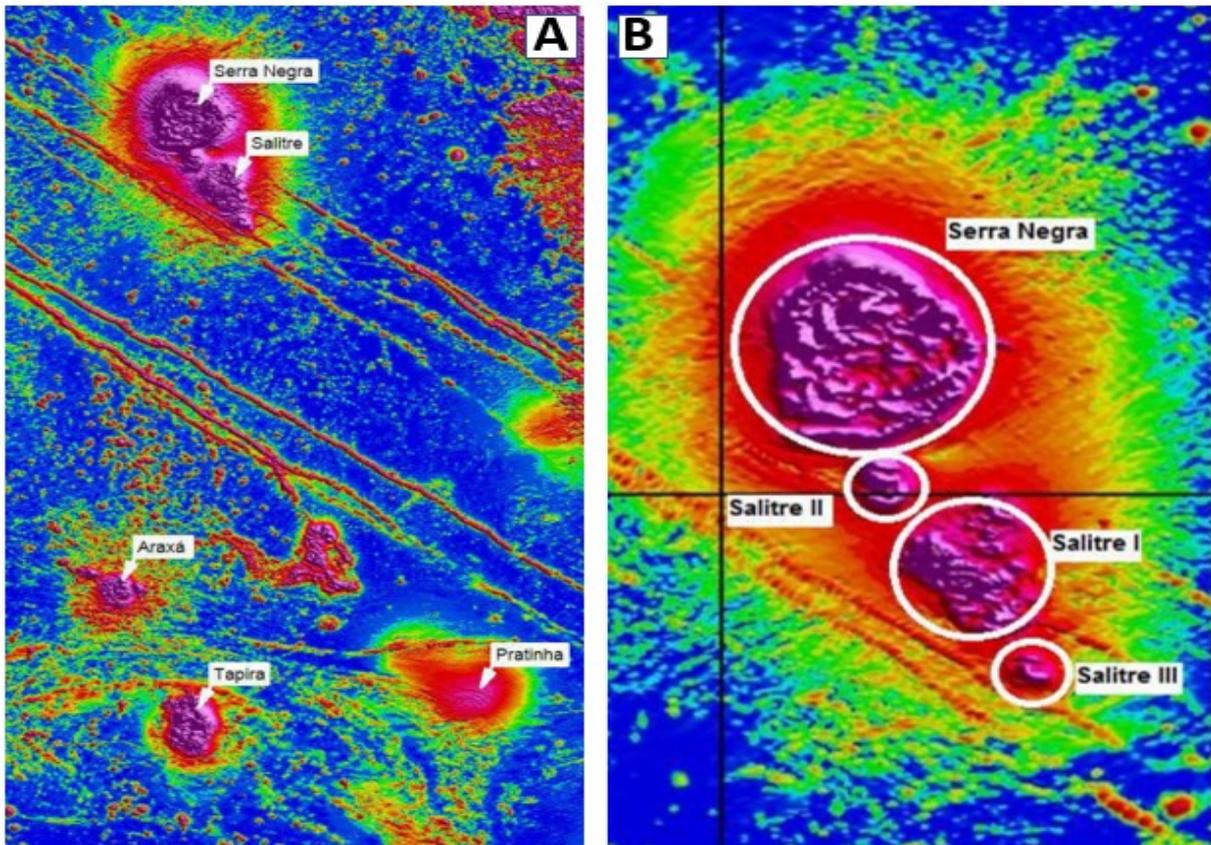
Amaral *et al.* (1967) realizou as primeiras análises geocronológicas e obtiveram idade de 83,7 e 83,4 Ma em biotita de peridotito. Gomes *et al.* (1990) compilaram idades K/Ar em torno de 83 Ma. Recentes atividades de exploração mineral revelaram a presença de foscoritos associados aos carbonatitos. Segundo Brod *et al.* (2004), há um corpo carbonatítico/foscorítico central, circundado por uma zona de bebedourito composto por diopsídio, flogopita, magnetita, perovskita, apatita, calcita e, subordinadamente, ilmenita.

A série bebedourítica é acamadada e variações modais são comuns, com zonas de concentração de apatita ou de magnetita + perovskita. Essas zonas foram descritas por Mariano e Marchetto (1991) como sendo desde concordantes (estratos) até discordantes (diques). Gibson *et al.* (1995a,b) descreveram diques de flogopita picritos cortando dunitos na porção norte do complexo. Os únicos efeitos de contato observados no complexo são as de silicificação da rocha encaixante. Mariano e Marchetto (*op. cit.*) enfatizam que não foram encontrados fenitos nem indicações de metassomatismo alcalino na encaixante regional do complexo, apesar de cuidadoso exame em busca dos mesmos.

Geomorfologicamente, Serra Negra e Salitre I constituem duas intrusões separadas por desnível topográfico, no qual ambas possuem formato circular e elíptico, com máximas cotas altimétricas de 1.250 metros e 1.100 metros (GRASSO, 2010).

Grasso (2010) descreve as partes mais elevadas da estrutura dômica como sendo formada por múltiplos anéis concêntricos de quartzitos, e as depressões entre os anéis são ocupados por folhelhos, que são mais facilmente erodidos. A superfície do domo apresenta-se peneplanizada em aproximadamente 1.250 metros, apenas com uma suave depressão central. Os terrenos ao redor apresentam uma altitude de 950 a 1.050 metros, contrastando fortemente com a altitude do topo do domo (FOSFERTIL – Relatório Interno).

Figura 8 – Mapa magnetométrico de Patrocínio e região. (A) Mapa magnetométrico indicando em azul os menores valores, e em rosa os maiores valores de magnetismo. (B) Mapa geofísico indicando os complexos Salitre I, II, III e Serra Negra.



Fonte: CODEMIG. Adaptado de Borges (2018).

De acordo com Seer *et al.* (2015), a rocha foscorítica corresponde a uma variedade de piroxenito, no qual a apatita representa mais de 25% do volume da rocha, apresentando tonalidades esverdeadas a levemente castanhas, com cristais xenomórficos. Seer (*op. cit.*) durante a campanha de sondagem, também observaram uma variedade rara desta rocha, com uma textura orbicular e esferulítica, com uma estrutura circular a elíptica.

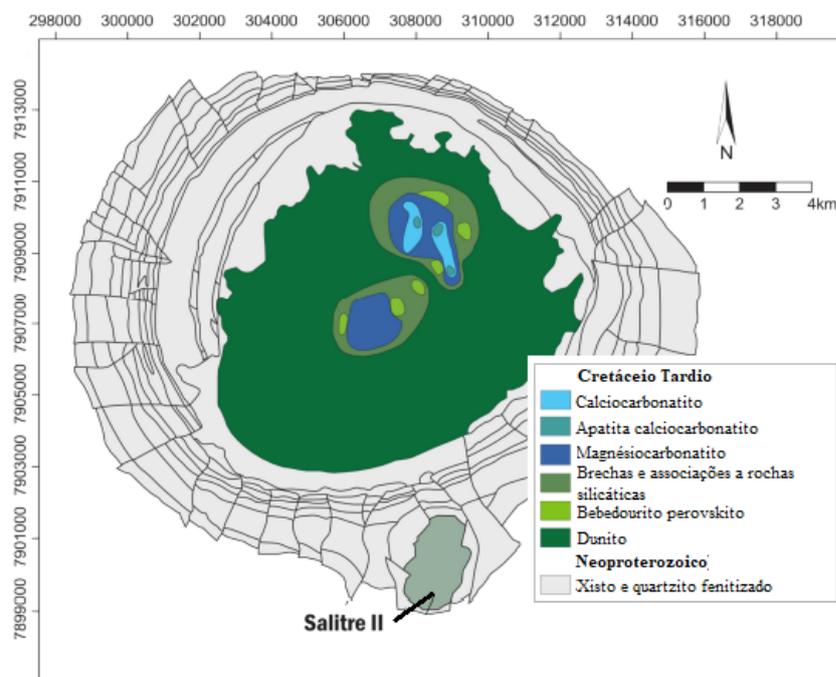
Segundo Vignerresse (1995), trata-se de intervalos forsterítico-magnetítico-flogopíticos e calcítico-apatíticos. E, tal estrutura foi formada pelo processo de cristalização fracionada de um magma de composição sovito foscorítica, devido a imiscibilidade dos líquidos nas frações resultantes. Segundo Slavec (2000), o termo foscorito engloba rochas magmáticas, ricas em apatitas, magnetita e olivina, tendo como minerais subordinados a mica, piroxênio e carbonatos.

Outros termos, como apatitito, magnetitito e olivinito são empregados, onde se têm como minerais predominantes a apatita, magnetita e olivina, respectivamente.

A seguir, é possível identificar no mapa geológico esquemático, o Complexo Alcalino Carbonatítico de Serra Negra, que, de acordo com Grasso (2010), foi elaborado por análises de testemunhos de sondagens realizadas.

A localização das amostras fornecidas pela empresa Mosaic Fertilizantes para o presente trabalho não foi cedida, portanto, não é possível ser representadas na Figura 9, uma vez que os testemunhos se tratam de pesquisas particulares. Ficando acordado assim, entre a empresa Mosaic Fertilizantes e a responsável por este estudo, preservar a identificação da área onde foram obtidas as amostragens.

Figura 9 – Mapa geológico esquemático do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra (GRASSO, 2010).



Fonte: Adaptado de Novaes (2018).

5. RESULTADOS

Foram descritas amostras que representam o Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra. A partir dos resultados das lâminas petrográficas geradas, foi possível identificar as rochas silicáticas que compõem a série bebedourítica, sendo representadas por cumulos silicáticos e pelas rochas duníticas.

É necessário salientar que há intensa presença de carbonato em todas as amostras dos testemunhos descritos, portanto, fez-se a descrição das diferentes rochas, separando-as com carbonato, sugerindo a presença de dolomita ou calcita, com base na intensidade de efervescência de reação com ácido clorídrico – HCl – diluído na porcentagem de 10% nas amostras macroscópicas.

Dessa forma, quando aplicado em pequena porcentagem na amostra de testemunho, se esta apresentou intensa reação ao ácido, foi considerada rocha portadora de calcita (CaCO_3), em contrapartida, quando a litologia apresentou pouca reação, adotou-se o uso da descrição como dolomita.

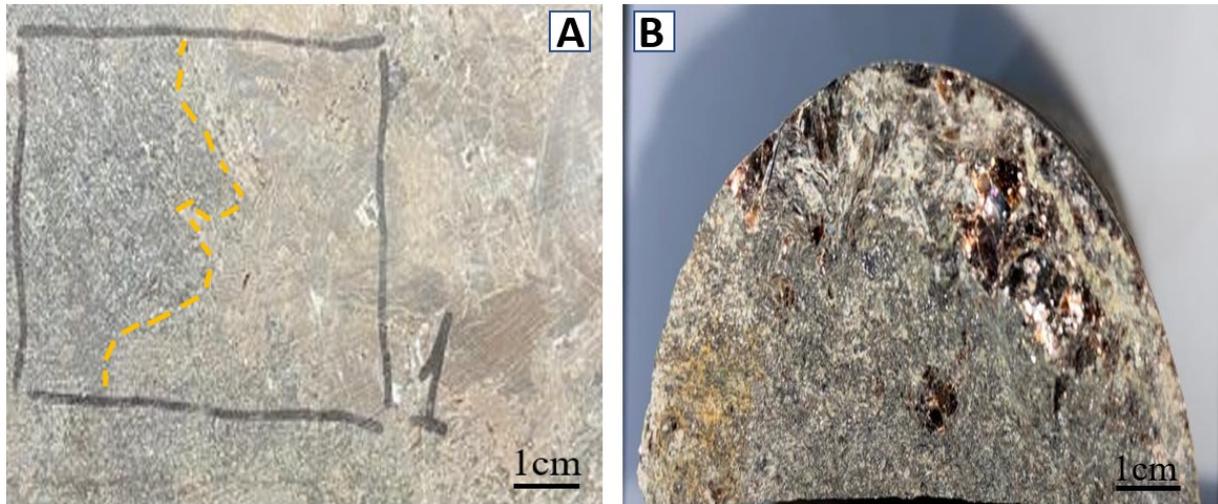
5.1. APATITA-OLIVINA FLOGOPITITO COM CALCITA

O Apatita-Olivina Flogopitito com Calcita, representado pela Amostra 1, possui estrutura maciça, no qual foi possível verificar o contato com dique, contendo fenocristais de flogopita concentrados no centro para a borda, indicando diferenciação de fluxo da rocha maciça mais grossa e porção mais fina, evidenciada pela presença de fenocristais a megacristais centimétricos de flogopita e milimétricos de olivina, em uma massa mais fina de olivina, calcita, apatita, perovskita, magnetita e alterações associadas a outros óxidos e hidróxidos de ferro, às vezes não distinguidos.

Na descrição macroscópica (Figura 10, A e B), foi possível identificar na estrutura maciça compondo uma porção da rocha, cristais grandes de flogopita em massa de composição de cristais milimétricos com granulação de até 0,8 cm constituído por olivina (de coloração verde escuro), perovskita e minerais opacos (com coloração variando de marrom a preto), que formam contatos irregulares com grandes cristais de flogopita (dourado a marrom), na forma de fenocristais bem desenvolvidos sob a forma lamelar e planar, de granulação grossa, que podem ultrapassar dimensões com cerca de 5,5 cm.

Foi possível observar a presença de apatita perfazendo porção de cor amarela esverdeada, conforme indicado pelas linhas desenhadas em amarelo, na Figura 10, A, delimitando a apatita com o carbonatito.

Figura 10 – Imagens apresentando os aspectos petrográficos do testemunho Apatita-Olivina Flogopitito com Calcita pertencente ao Serra Negra. (A) Na imagem, é possível observar o flogopitito com duas estruturas maciças de fluxo diferentes. (B) Detalhes do testemunho mostrando o cumulado de flogopita de granulação grossa.



Fonte: A autora (2023).

Microscopicamente, foi possível distribuir a porcentagem mineralógica do Apatita-Olivina Flogopitito com Calcita representado pelo testemunho intitulado de Amostra 1. É constituído basicamente por mega a fenocristais de flogopita bem concentrados espacialmente na porção centro até a borda norte da amostra, e na matriz, intercalada com minerais de olivina, calcita, apatita, portanto, com tamanhos variados; totalizando cristais bem preservados de flogopita (40%), seguido por olivina preservada e serpentinizada (de fenocristais a massa mais fina) bem distribuída (30%), bem como calcita (21%), apatita (5%), minerais opacos como magnetita (2%), perovskita (1%) e alterações clinohumita (1%).

A flogopita variou de euédrica a subédrica, incolor a levemente rosada à luz paralela, possuindo relevo baixo, clivagem perfeita a uma direção e hábito lamelar a planar. À luz cruzada, apresentou típica cor de alta interferência e alta birrefringência. Apresentou-se na forma de fenocristais planares super desenvolvidos, com dimensões que variaram de 0,7 mm à 10 mm. Foi comum observar inúmeras inclusões de cristais de magnetita e minerais opacos, bem como a presença de pseudomorfos de olivina serpentinizada, conforme é evidenciado na Fotomicrografia 1 (A e B). Além destes, foi possível identificar conforme mostra na Fotomicrografia 4 (A e B) textura poiquilítica marcada pela presença de diversos microcristais de magnetita e minerais opacos em cristais maiores dentro das flogopitas e calcitas.

A olivina apresentou-se como fenocristais, ou às vezes, em agregados equigranulares, com dimensões variando de 0,8 a 1,4 mm. Em geral, eram subédricos à anédricos, frequentemente

arredondados. Apareceram como típicos cristais incolores, relevo muito alto, fortemente microfraturados, e muitas vezes substituídos por pseudomorfos de serpentina sobre olivina. Alguns apresentavam leve coloração amarelo esverdeado, pálido com pleocroísmo amarelo pálido. Sob a luz cruzada, as cores se tornavam intensas, com alta birrefringência, variando de laranja, rosa a azul, de 2ª e 3ª ordem (Fotomicrografia 1, A e B).

Entre as porções de olivina e flogopita, foi possível verificar a presença de carbonato (calcita), apatita, magnetita e demais minerais opacos distribuídos como microinclusões dentro da flogopita, além da borda de olivina.

Além da calcita, foi possível observar a apatita contendo 0,5 mm e variando de subédrica à anédrica. Apresentou-se com formato prismático longo (“bastão”) de pontas arredondadas (Fotomicrografia 2, A e B). A apatita, por vezes, pode se destacar como cristais aciculares, arredondadas à irregulares. Podem, às vezes, desenvolver uma alteração que as deixa bem vermelhas, em função de uma película de (hidr)óxidos de ferro que se desenvolve, no qual é comum aparecerem intensamente microfraturadas.

Foi possível verificar minerais pseudo-hexagonais de perovskita de tamanhos variados de 0,1 a 1,2 mm. É caracterizado por suas cores anômalas, que variaram de marrom escuro à cinza, sob a luz paralela, o pleocroísmo foi bem discreto, variando de marrom escuro até um mais profundo. O relevo apresentou-se bastante diagnóstico e muito alto. Sob a luz cruzada, sua birrefringência foi fraca, com maclas polissintéticas irregulares, que podem ser frequentes, apesar de comumente mascaradas pelas suas cores de interferência escuras, dificultando a percepção da mesma. Também foi possível observar às vezes, intercrescimento com magnetita.

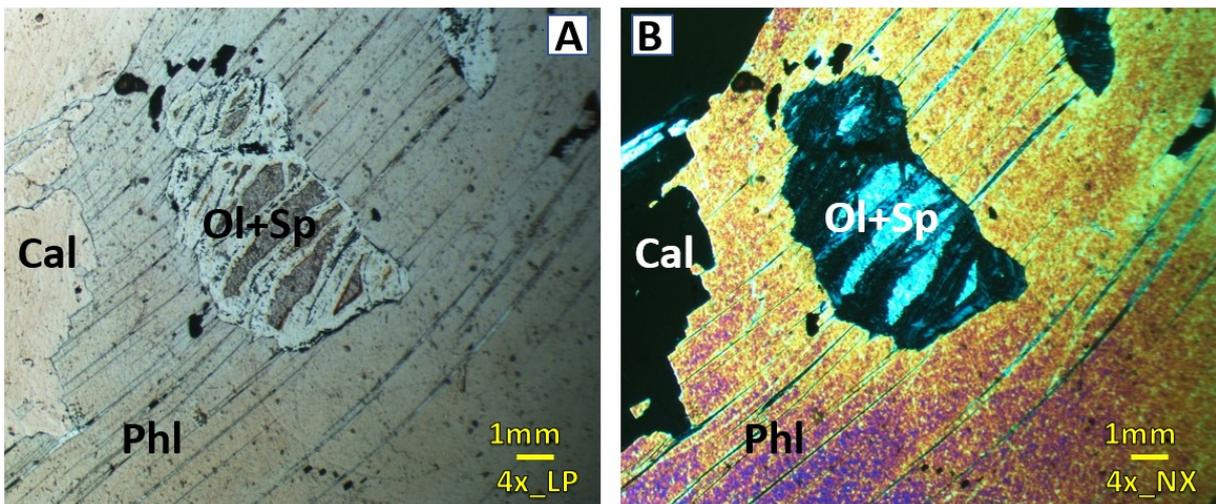
A calcita é frequente como carbonato intersticial, com dimensões que variaram de microgranulares até 0,5 mm. Apareceram muito finas sob a forma de micrita, quando microcristalina, em geral apresentaram-se incolores, relevo baixo à moderado. Sob a luz cruzada, apresentou birrefringência extrema de 0,172: cores muito elevadas, às vezes cor creme, castanha, com pontos e bandas coloridas, de 4ª ordem.

Distribuído entre todos os minerais, foi comum a presença de microfraturas com preenchimento de massa fina composta por serpentina, flogopita e alteração composta por minerais de serpentina e óxidos de alteração. A clinohumita, também presente nas microfraturas, é produto de alteração comum em bordas de cristais, e em casos raros, pode até substituir os cristais. Outro tipo de microfratura preenchida e constante, são as preenchidas com materiais de alteração secundária, tais como fibras de serpentinas decorrentes da alteração de

olivina, que possuem cor de reflexão mais escura, além de óxidos e hidróxidos de ferro, que podem desenvolver ao longo das fraturas e dos cristais.

Na Fotomicrografia 1 a seguir, é possível identificar a flogopita com clivagem perfeita a uma direção, dimensões maiores que 4 mm, chegando a sair do campo visual. São euédricas, placóides, apresentam certa orientação preferencial e leve deformação, com inclusões de calcita seguido por inclusão de olivina intensamente serpentinizada, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B). Sob luz polarizada, apresenta alta birrefringência, cores fortes de interferência da flogopita em contraste com baixa birrefringência de cor cinza da olivina.

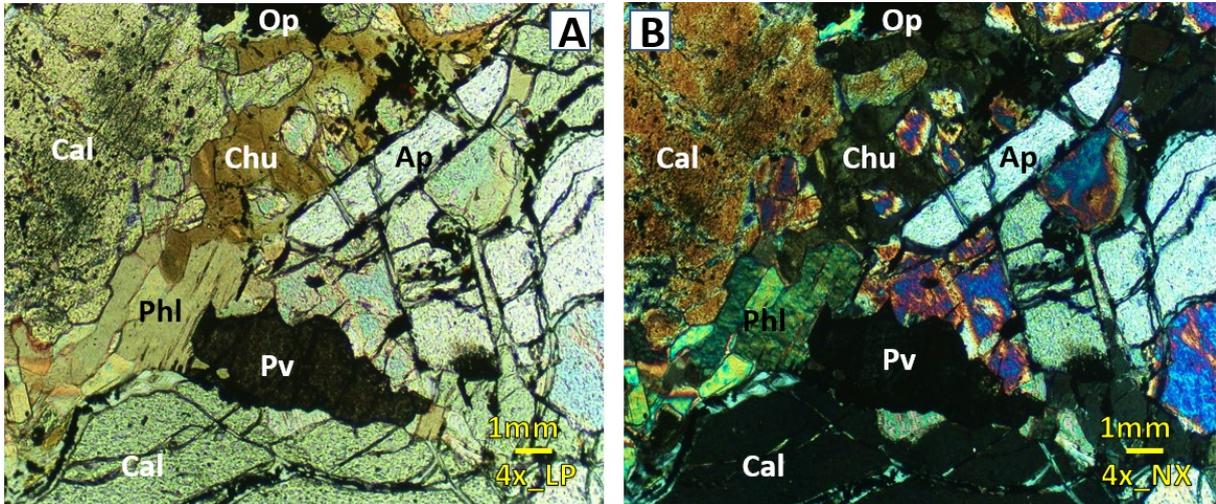
Fotomicrografia 1 - (A) Identificação da flogopita (Phl) com inclusões de calcita (Cal) e olivina serpentinizada (Ol+Sp), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante sob os nicóis cruzados, mostrando alta birrefringência, alta cor de interferência da flogopita em contraste com a baixa birrefringência olivina serpentinizada, calcita extinta e minerais opacos.



Fonte: A autora (2023).

Na Fotomicrografia 2 a seguir, é possível identificar a porção de calcita incolor a levemente marrom, devido a assimilação de ferro. Há alteração de clinohumita associada a minerais opacos, apatita com relevo moderado, incolor com hábito com aspecto acicular, longitudinais com pontas angulosas e perovskita marrom escuro. Sob a luz polarizada, apresenta características diagnósticas de cores de interferência entre azul e rosa intenso e alta birrefringência alta da olivina, todas sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

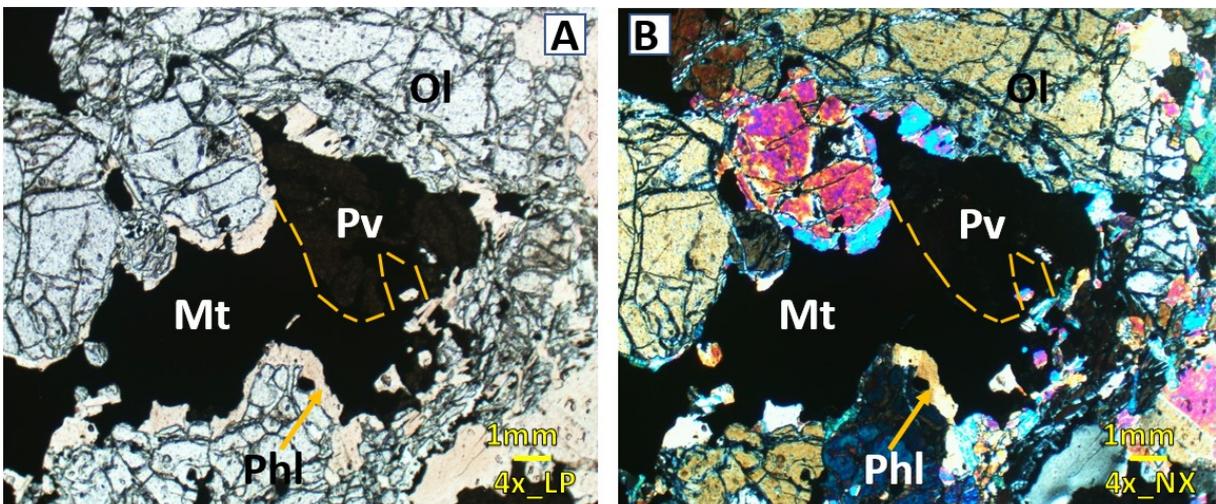
Fotomicrografia 2 - (A) Porção de calcita (Cal) minerais opacos (Op), clinohumita (Chu) flogopita (Phl), apatita (Ap), perovskita (Pv), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante sob os nicóis cruzados, com características diagnósticas de cores de interferência e birrefringência.



Fonte: A autora (2023).

Na Fotomicrografia 3, é possível identificar mineral de olivina bem desenvolvido, preservado e serpentinizado, com associação de magnetita intercrescida com perovskita delimitada de cor amarela, com coroa de flogopita, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B). Sob a luz polarizada, apresenta alta birrefringência, cores fortes de interferência da flogopita em contraste com baixa birrefringência de cor cinza da olivina.

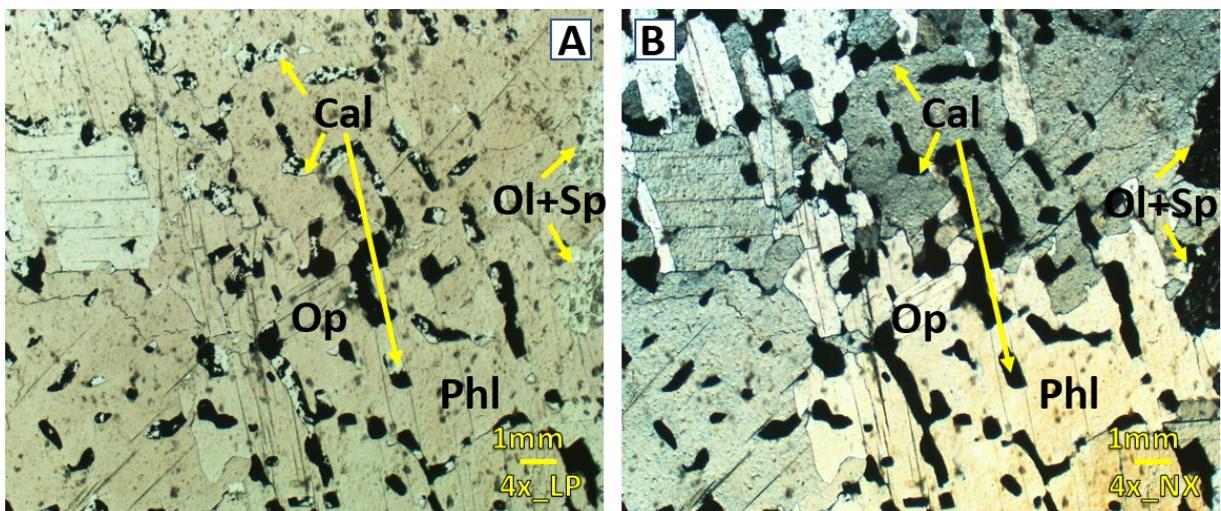
Fotomicrografia 3 - (E) Mineral de olivina bem desenvolvido, preservado e serpentinizado (Ol+Sp), com associação de magnetita (Mt) intercrescida com perovskita (Pv) delimitada de cor amarela, com coroa de flogopita (Phl). (F) Fotomicrografia semelhante sob nicóis cruzados, com cores de interferência e birrefringência da olivina.



Fonte: A autora (2023).

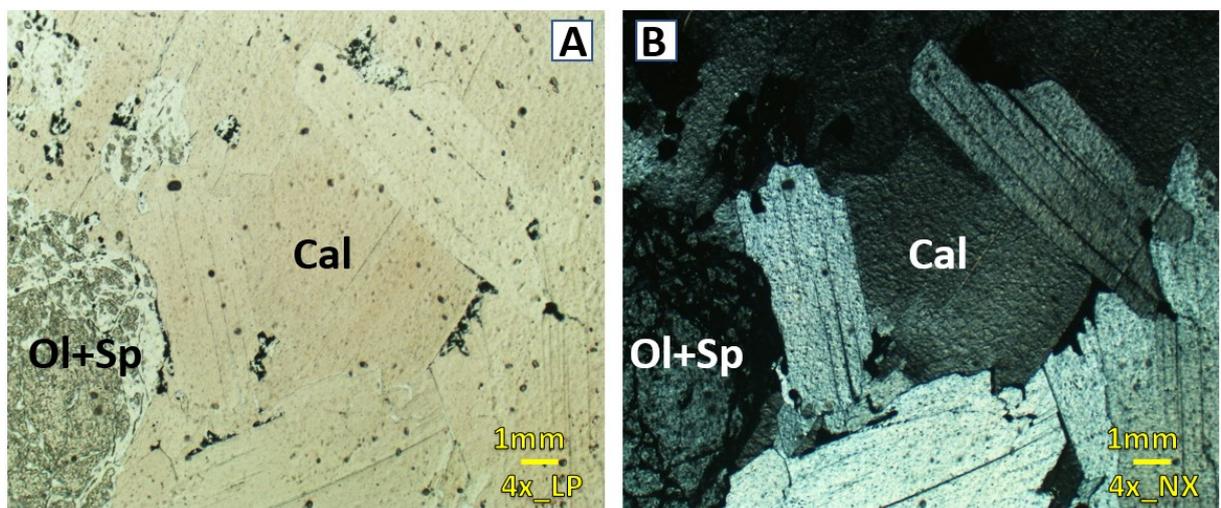
Na Fotomicrografia 4, é possível observar mineral de flogopita comendo massa incolor a marrom pálido, lamelar, clivagem perfeita a uma direção, sem orientação preferencial com inclusões de minerais opacos (magnetita que predominam textura poiquilítica), também nos cristais de calcita em contato com pseudomorfos de olivina serpentinizada, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B). Sob a luz polarizada, apresenta cores de interferência alta de amarelo a róseo e alta birrefringência, os minerais de calcita apresentaram cores de interferência cinza e baixa birrefringência.

Fotomicrografia 4 - (A) Flogopita (Phl) comendo massa, com minerais opacos (Op), calcita (Cal) e olivina serpentinizada (Ol+Sp) no canto direito da imagem, à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante sob os nicóis cruzados, com cores de interferência alta e alta birrefringência.



Fonte: A autora (2023).

Fotomicrografia 5 – (A) Fotomicrografia mostrando de calcita (Cal) em contato com pseudomorfo de olivina intensamente serpentinizada (Ol+Sp), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante sob nicóis cruzados, destacando cores e birrefringência baixa, pseudomorfo de olivina serpentinizada cinza escura.

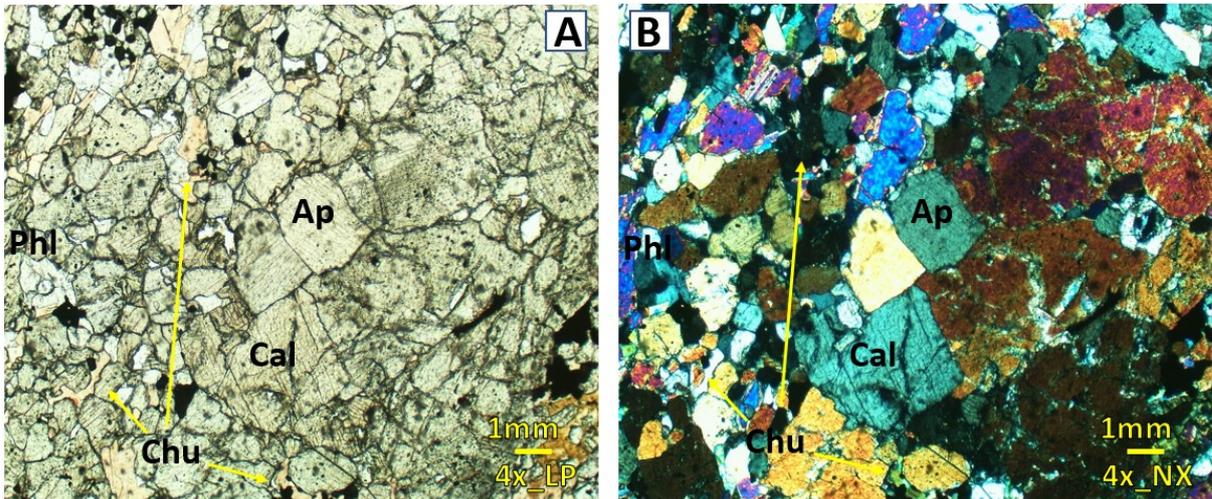


Fonte: A autora (2023).

Na Fotomicrografia 5, é possível notar fenocristais de calcita sem orientação preferencial, em contato com pseudomorfo de olivina intensamente serpentinizado. Apresentam cores incolores a creme, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B). Sob a luz polarizada, apresenta cores de interferência baixa e baixa birrefringência, com cores variando de cinza claro à cinza escuro.

Já na Fotomicrografia 6, é possível identificar diversos cristais, contendo flogopita, apatita, clinohumita e calcita, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B). Sob a luz polarizada, destaca cores de alta birrefringência e alta interferência dos cristais dispostos.

Fotomicrografia 6 - (A) Variados cristais contendo flogopita (Phl), apatita (Ap), clinohumita (Chu) e calcita (Cal) à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante sob nicóis cruzados mostrando cores de alta interferência e birrefringência.



Fonte: A autora (2023).

5.2. DUNITO SERPENTINIZADO

O Dunito Serpentinizado com veio e borda de reação, representado pela Amostra 2, é tipicamente cinza escuro, cortado por veios claros de carbonato, flogopita e bordas de coloração marrom envolvendo os veios.

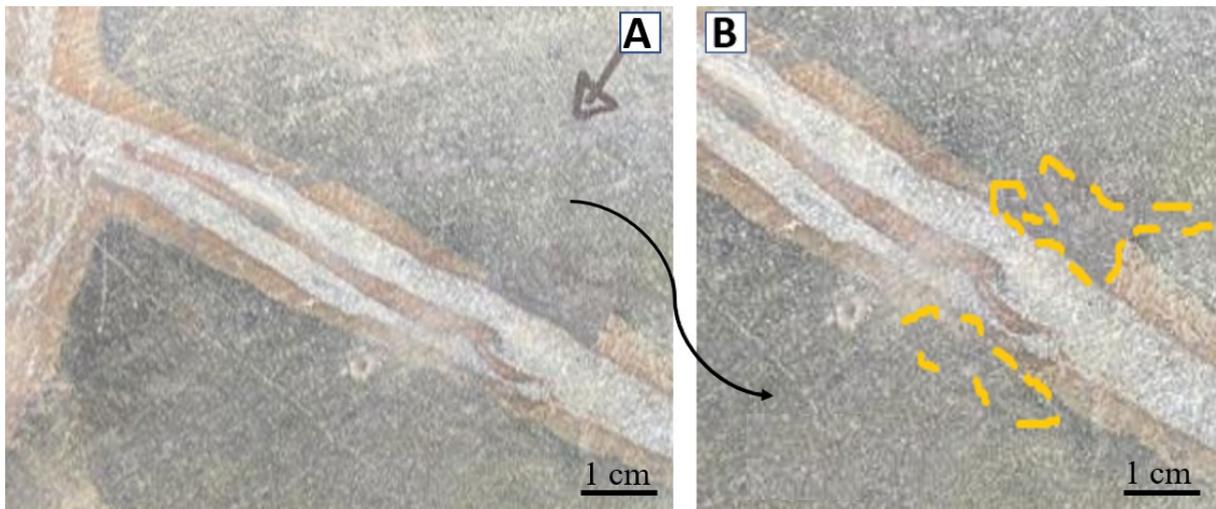
Em geral, a textura é fanerítica, maciça fina, com estrutura cumulática formada por *cumulus*, dada a variação de olivina englobando flogopita, magnetita e o próprio carbonato *intercumulus*.

Os minerais de alteração comuns abundantes são a serpentina e subordinadamente o carbonato. Na descrição macroscópica, foi possível identificar a presença de magnetita de

coloração preta, com um veio constituído de flogopita de granulação grossa (vermelha), e o carbonato intersticial de coloração branca, considerado dolomítico.

Em amarelo desenhado na Figura 11, B, há o cumulado de magnetita, no qual houve forte atração quando submetido à teste de ímã. Quando observado em lupa de grande aumento, foi possível reconhecer também perovskita e olivina, em menores frações.

Figura 11 – Aspectos petrográficos da rocha dunítica serpentinizada de Serra Negra. (A) Aspecto macroscópico do dunito cinza escuro identificando dique de flogopita e carbonato associados. (B) Observação em detalhe do veio de flogopita, dolomita e em amarelo, o cumulado de magnetita.



Fonte: A autora (2023).

Microscopicamente, foi possível distribuir a porcentagem mineralógica do Dunito Serpentinizado – Amostra 2. É constituído basicamente por minerais de olivina e serpentina (75%), dolomita (14%), flogopita bastante alterada (4%), não sendo possível visualizar um cristal bem formado ou demarcado, perovskita (3%), magnetita (3%) e alterações de óxidos e hidróxidos de ferro (1%).

A olivina representou a fase mais importante de *cumulus*, variando de 0,6 a 2,5 mm, com presença de minerais de serpentina preenchendo as microfraturas na forma de finos veios.

Inclusões de minerais opacos puderam ser observados por vezes, sendo comum a substituição nas bordas dos cristais de olivina por serpentina (quando há uma substituição total, fica evidente por esses minerais de olivina se mostrarem como pseudomorfos, tendo magnetita como subproduto da reação).

A flogopita apresentou coloração levemente marrom a marrom avermelhado, pálido.

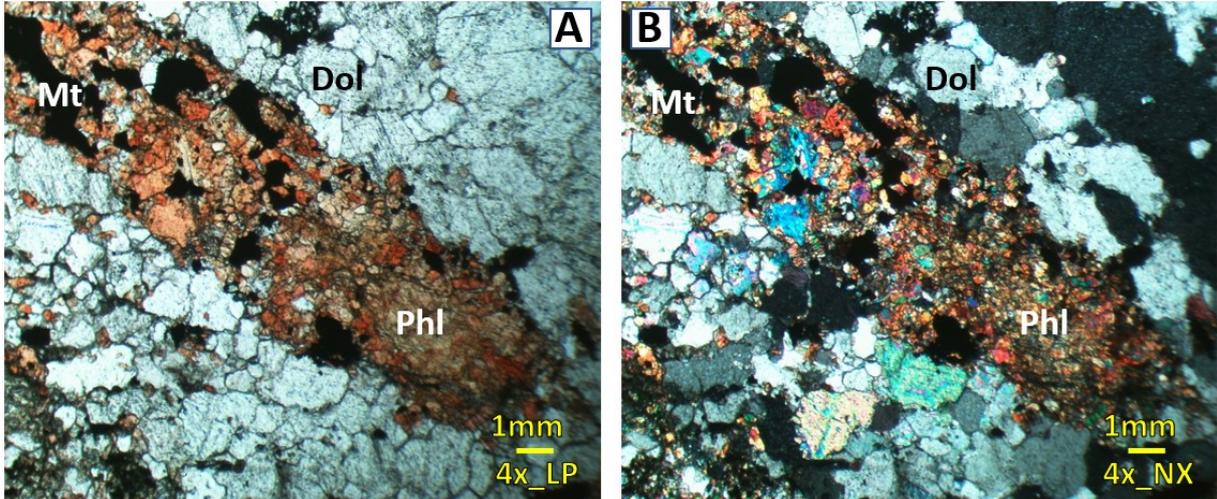
Isso se deve, provavelmente, devido a adição de ferro e portanto, se destacou na forma de cristais individuais de 0,1 à 3,5 mm, mas frequentemente como microagregados finos, *intercumulus*, geralmente associados à magnetita, formando bordas (Fotomicrografia 9, A e B), possivelmente devido à reação da magnetita com um líquido residual rico em potássio. A dolomita apresentou coloração variando em algumas porções de pouco cinza à tons marrons (provavelmente por causa dos teores de ferro). Apresentou formas variando de subédrica a euédrica, de hábito granular a lamelar, e quando submetida à luz cruzada, mostrou cores creme, de ordens elevadas. Quando em extinção, apresentou coloração cinza, com birrefringência de 0,180 e caráter uniaxial negativo.

Os minerais opacos, representados pela magnetita, variaram de 0,1 a 2,0 mm, a perovskita variou de 0,1 a 1,0 mm, já os óxidos e hidróxidos de ferro se mostraram distribuídos amplamente entre e dentro dos cristais desenvolvidos de flogopita, como inclusões dos cristais, provavelmente representando uma fase *cumulus* tardia à *intercumulus* fina com 0,25 mm de espessura. Já a dolomita se mostrou fina e *intercumulus*. A magnetita apresentou granulação fina à grossa, em média 0,18 mm, quase euédrica, preferencialmente concentrada em faixas juntamente com a flogopita. A perovskita, por ser um mineral raro, provavelmente se apresenta diante da substituição do cálcio por sódio e de titânio por nióbio. Como minerais secundários, se destacaram a serpentina e óxidos que por vezes, formaram bordas em cristais de olivina como produto de alteração.

Na Fotomicrografia 7 a seguir, são descritos aspectos gerais dunito serpentizado. É possível observar detalhes do veio microgranular, constituído por flogopita, cúmulos de magnetita, subordinadamente dolomita em branco, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B). Sob luz polarizada, a cores de interferência alta e alta birrefringência da flogopita, além de leve alteração da cor da dolomita.

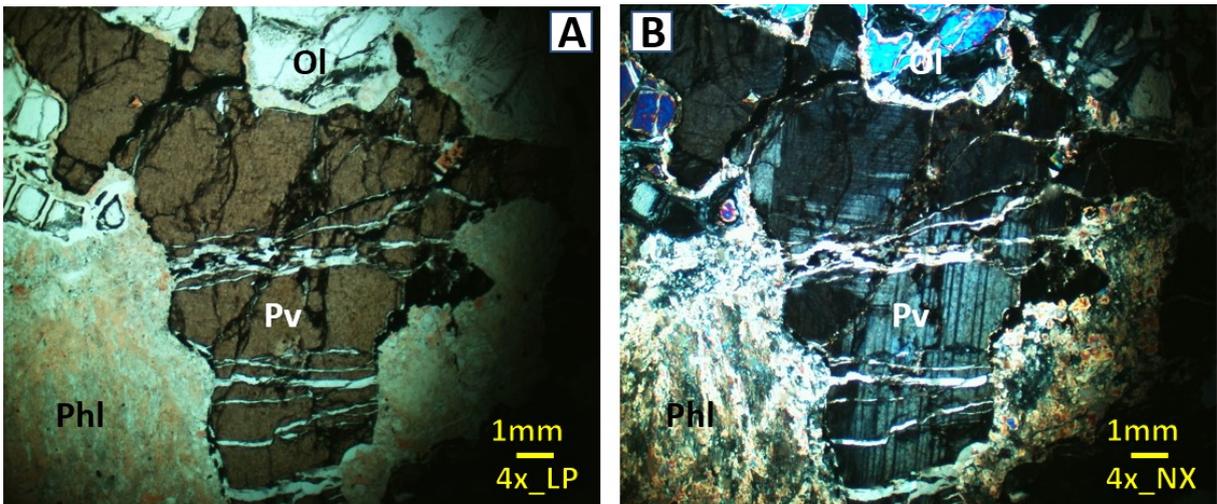
Na Fotomicrografia 8 a seguir, é possível notar presença de mineral de perovskita bem característico, com relevo super alto, no centro da imagem, com olivina na parte superior da imagem e massa flogopítica na parte inferior, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B). Sob luz polarizada, a cores de interferência birrefringência da flogopita quase não tiveram alteração, a olivina teve leve mudança na cor de interferência e birrefringência média. Já a perovskita se mostrou como baixa cor de interferência escuras (anômalas) e birrefringência baixa, com tons cinzas à levemente azulados, apresentando maclas polissintéticas.

Fotomicrografia 7 – Veio microgranular com flogopita (Phl), magnetita (Mt), dolomita (Dol), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante sob nicóis cruzados, mostrando cores de interferência alta e alta birrefringência.



Fonte: A autora (2023).

Fotomicrografia 8 – Grande cristal de perovskita (Pv) com olivina (Ol) e flogopita (Phl) bordejando, à nicóis descruzados. (D) Fotomicrografia semelhante sob nicóis cruzados, indicando interferência e birrefringência.



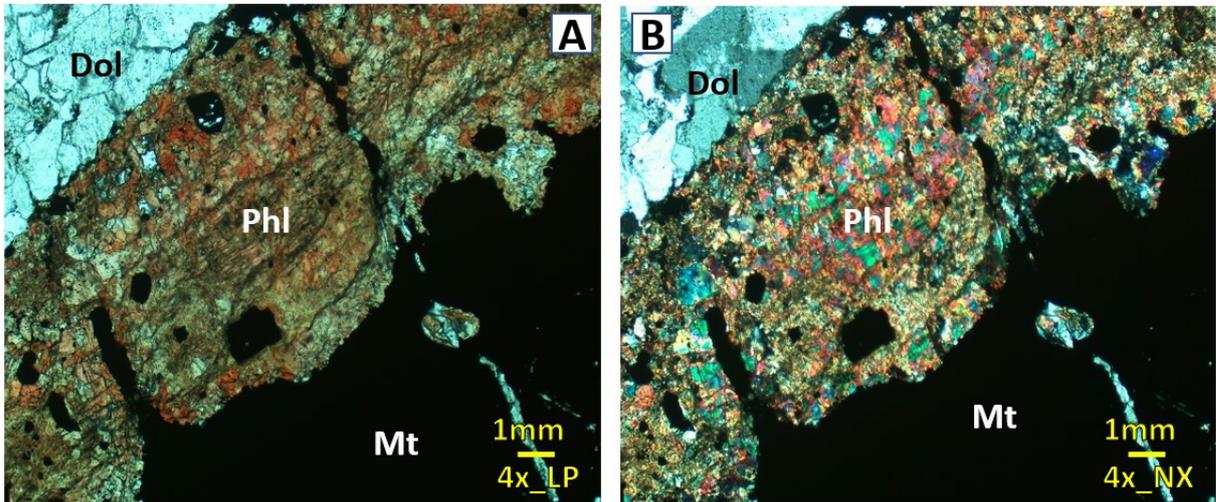
Fonte: A autora (2023).

Na Fotomicrografia 9 a seguir, pode-se notar contato bem marcado entre a dolomita e a flogopita, como microagregados finos *intercumulus*, com veios e fenocristais em cima de intensa presença de magnetita, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

Sob luz polarizada, a cores de interferência birrefringência da flogopita foram altas apesar de microagregadas. A dolomita quase não mostrou alteração no tom cinza, e a magnetita não

alterou. Pode-se notar na imagem que tanto a “bolinha” quanto o leve fio de flogopita que intercepta a magnetita tem característica forte sob a NX.

Fotomicrografia 9 – Contato entre dolomita (Dol) e flogopita (Phl) e magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (F) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando cores de birrefringência e interferência da flogopita.



Fonte: A autora (2023).

Na Fotomicrografia 10 a seguir, pode-se identificar o detalhe do contato que se forma entre a flogopita micro agregada, super fina, e o canal de magnetita no meio entre a dolomita, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

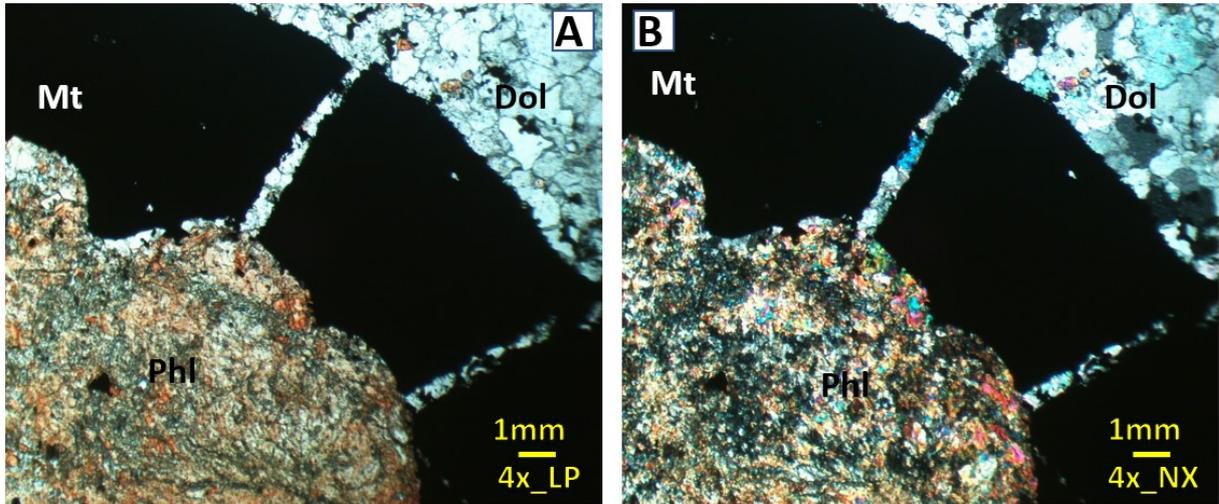
Sob luz polarizada, é possível notar as cores de interferência e birrefringência da massa flogopítica, já a massa dolomítica teve uma sutil alteração.

É possível observar também que se formam duas pontes entre a dolomita e flogopita, atravessando a magnetita. Essas pontes pela alteração de interferência e birrefringência indicam ser minerais de flogopita.

Na Fotomicrografia 11, é possível caracterizar a olivina bem desenvolvida em contato com a flogopita micro agregada fina, *intercumulus*, e a magnetita na parte inferior da imagem, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

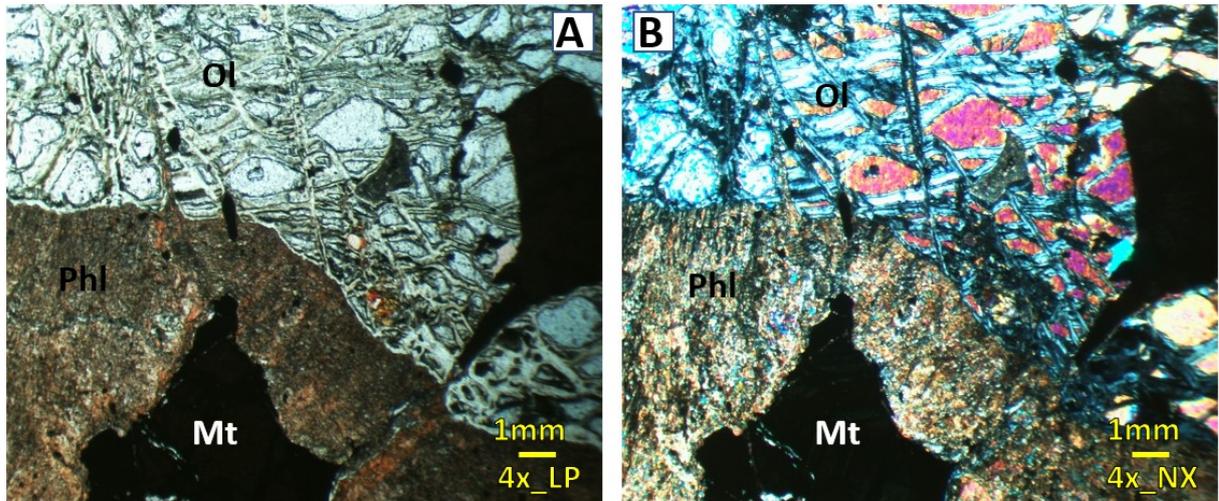
Sob luz polarizada, é possível observar as cores de interferência e birrefringência da olivina. A flogopita por estar micro agregada, apresenta leve alteração de cor de interferência e leve grau de birrefringência, a magnetita não sofre alteração.

Fotomicrografia 10 – (A) Contato entre flogopita (Phl), magnetita (Mt) e dolomita (Dol), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante sob nicóis cruzados, mostrando leve alteração da dolomita e flogopita.



Fonte: A autora (2023).

Fotomicrografia 11 – (A) Olivina (Ol) em contato com a flogopita (Phl) e magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante sob nicóis cruzados mostrando interferência e birrefringência dos minerais.

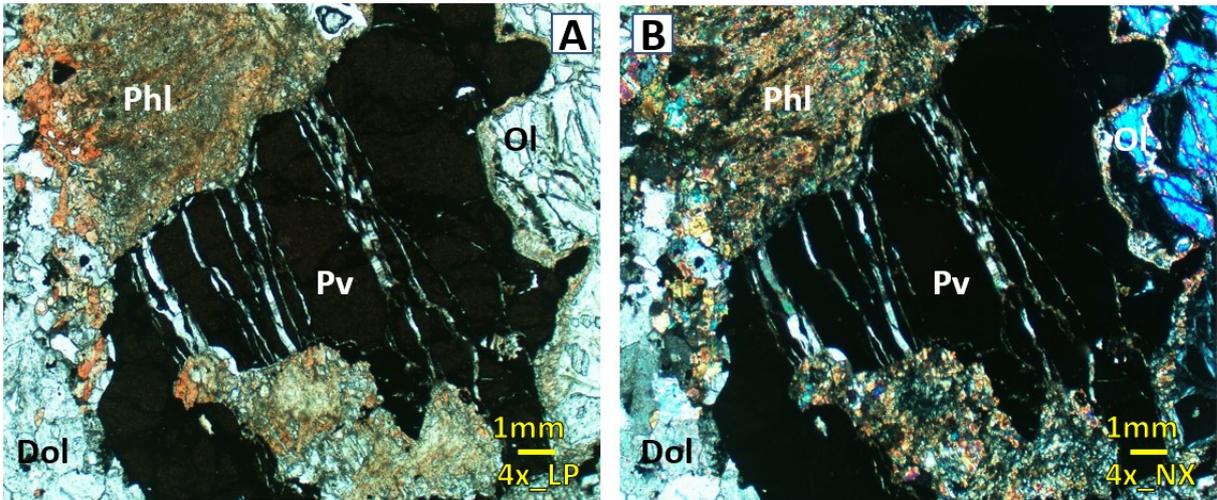


Fonte: A autora (2023).

Na Fotomicrografia 12, é possível observar um contato bem marcado entre dolomita e flogopita, como microagregados finos *intercumulus*, com veios e fenocristais em cima de grande presença de perovskita, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

Sob luz polarizada, é possível observar as cores birrefringência e interferência da flogopita e olivina, a perovskita nesta situação não alterou.

Fotomicrografia 12 – (A) Grande cristal de perovskita (Pv), circundado por flogopita (Phl), dolomita (Dol) e olivina (Ol). (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando interferência e birrefringência da olivina.

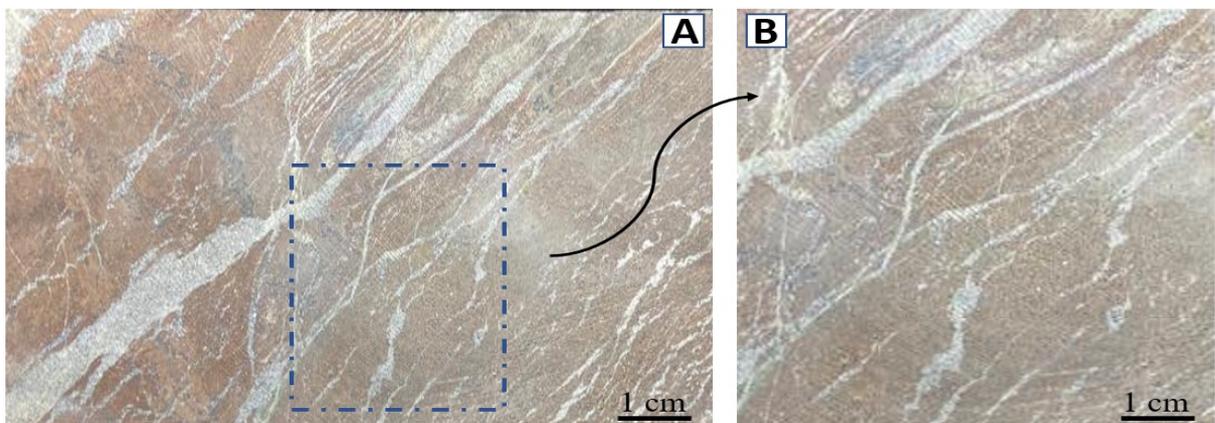


Fonte: A autora (2023).

5.3.FLOGOPITITO COM GRANDES VEIOS DE CALCITA

O Flogopitito com grandes veios de Calcita, representado pela Amostra 3, apresentou diversas texturas brechadas, semelhante as descritas por Grasso (2010), segundo o qual infere que as intrusões carbonatíticas causam brechação nas rochas silicáticas encaixantes, portanto, a maioria das brechas são constituídas por veios e diques de carbonatito que metassomatizaram localmente os dunitos causando serpentinização das olivinas e os bebedouritos, convertendo-os em flogopititos metassomáticos (Figura 12).

Figura 12 - Aspectos petrográficos da rocha brechada. (A) Aspecto macroscópico da textura brechada identificando os veios de calcita. (B) Imagem da lâmina gerada a partir da amostra.



Fonte: A autora (2023).

Macroscopicamente os veios de carbonato variaram de finos a médios, constituídos essencialmente por calcita, não sendo possível identificar nenhum mineral acessório ou secundário a olho nú ou lupa.

Microscopicamente, foi classificado como Flogopito com grandes veios de Calcita, devido a distribuição de veios de calcita intercalados com massas enriquecidas em flogopita e minerais opacos.

Assim, a porcentagem mineralógica da Amostra 3 é constituída basicamente por minerais de calcita (37%), flogopita bastante alterada para tetra-ferriflogopita, com cristais por vezes deformados (50%) e minerais opacos (8%), óxidos de alteração (5%).

O contato entre eles é bem marcado, possível ser visto na fotomicrografia 13, A e B.

A flogopita apresentou intensa cor vermelha principalmente em suas bordas, podendo ser chamada de tetra-ferriflogopita (o que dá impressão de relevo mais alto), em geral, as formas variaram de euédrica a subédrica, e apresentaram clivagem perfeita a uma direção. Apresentaram diminutos cristais lamelares e dimensões que variaram de microgranulares a 0,50 mm.

A calcita em geral apareceu constituindo uma massa de granulação fina e textura equigranular, de hábito variando de subédrico a anédrico e granulação variando de 0,1 à 0,85 mm, formando bandas carbonatíticas em cumulos.

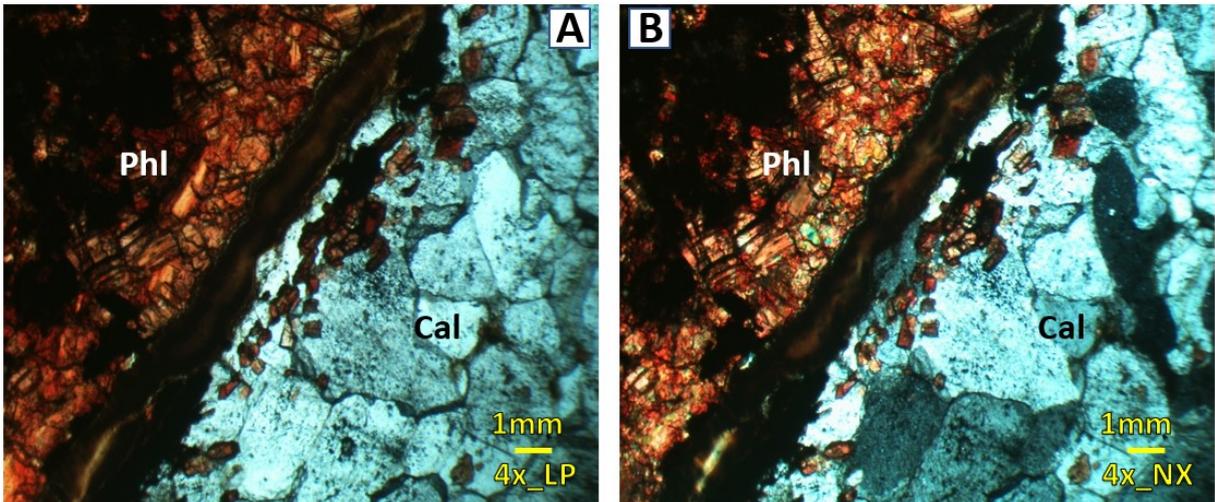
O carbonato apresentou-se em alguns momentos fortemente recristalizado ao longo de fraturas, desenvolvendo um aspecto turvo e abundantes microinclusões, sugerindo tratarem-se de produtos resultantes de exsolução.

Foi comum a presença de inclusões de minerais opacos, muitas vezes alinhados na lateral do bandamento rico em tetra-ferriflogopita e alterações como a clinohumita associados a calcita, às vezes subédrica mas comumente anedral, cor marrom amarelado, mineral rico em Titânio típico de metassomatismo (Fotomicrografia 15, A e B).

Na Fotomicrografia 13, é possível observar o contato bem marcado entre os veios constituídos por calcita intercalados por um veio rico em flogopita, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

Sob a luz polarizada, apresenta pouca alteração nas cores de interferência alta e birrefringência da flogopita, além da leve alteração de cor da calcita.

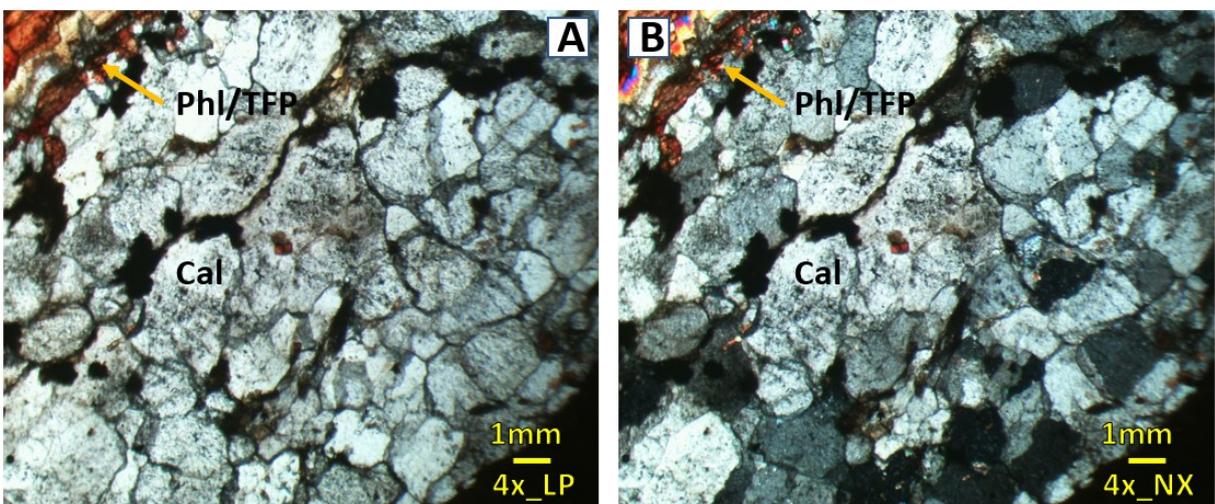
Fotomicrografia 13 – (A) Contato entre flogopita (Phl) e calcita (Cal) sob nicóis descruzados. (B) fotomicrografia semelhante sob nicóis cruzados, mostrando cores de interferência e birrefringência levemente alterados.



Fonte: A autora (2023).

Já na Fotomicrografia 14, é possível reconhecer intensa massa calcítica com leve presença de flogopita alterada, também podendo ser chamada de tetra-ferriflogopita, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B). Sob a luz polarizada, apresenta leve alteração nas cores de interferência alta e birrefringência da flogopita, já a massa calcítica quase não sofreu alteração de cor. Pode-se perceber que na imagem, a flogopita aparece em dois formatos, como alteração do ferro de cor bem marrom avermelhado e alterando as cores de interferência e birrefringência no veio que ele se forma.

Fotomicrografia 14 – (A) Calcita (Cal) com fino veio de flogopita (Phl) no canto superior esquerdo, à nicóis descruzados. (B) fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando leve alteração de interferência e birrefringência.

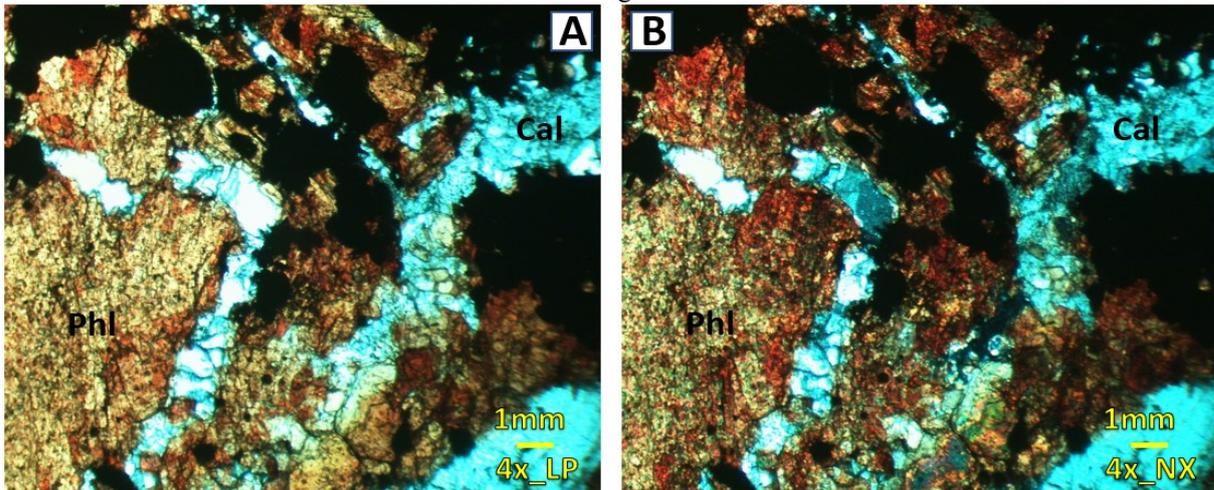


Fonte: A autora (2023).

Na Fotomicrografia 15, é possível notar veios de calcita em meio a flogopita, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

Sob a luz polarizada, mostrou quase que nenhuma alteração de interferência ou birrefringência dos minerais.

Fotomicrografia 15 – (A) Veios de calcita (Cal) em meio a massa flogopítica (Phl) à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados mostrando quase que nenhuma alteração de interferência e birrefringência.



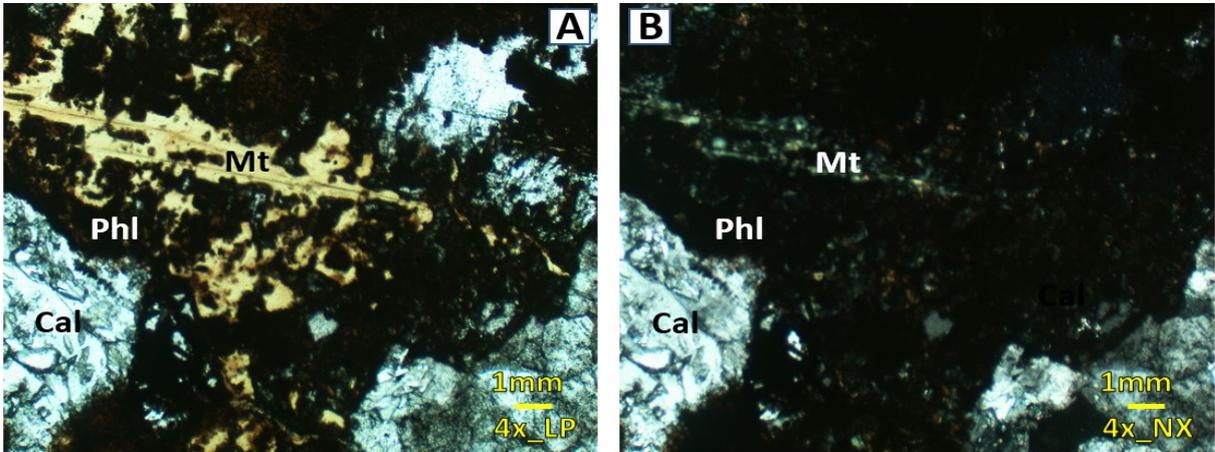
Fonte: A autora (2023).

Na Fotomicrografia 16, é possível ver uma massa granular de magnetita esquelética envolvendo flogopita, bastante alterada, quase que imperceptível quando comparada com sua cor e aparência padrão, ambos imersos em matriz rica em cristais de calcita, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B). Sob luz polarizada, é possível observar cores de baixa interferência e baixa birrefringência alterando a magnetita para um cinza. A flogopita também tem baixa interferência praticamente ficando 100% preta, e a massa calcítica não alterou.

Na Fotomicrografia 17, pode-se observar flogopitito mostrando massa calcítica com finos veios de flogopita, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B). A flogopita, neste caso, tem alto teor de ferro alterando sua coloração, portanto, trata-se de uma tetra-ferriflogopita.

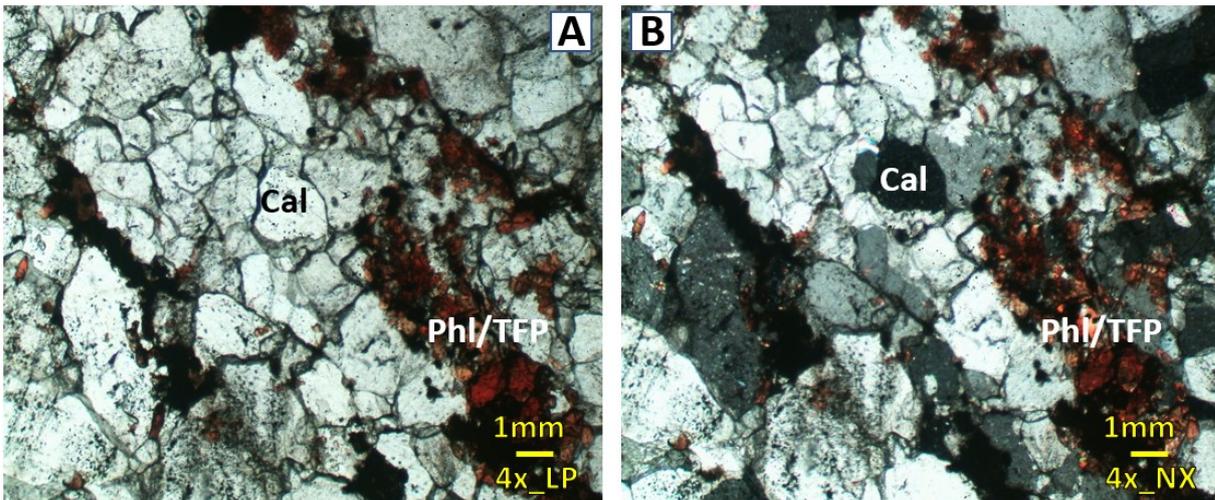
Sob luz polarizada, é possível ver quase que nenhuma alteração referente às cores de interferência e birrefringência dos minerais. A massa calcítica não alterou, e a flogopita por ser tetra-ferriflogopita, também não dispôs de alteração na coloração.

Fotomicrografia 16 – (A) Magnetita (Mt) no centro da imagem, com calcita (Cal) e flogopita (Phl), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados mostrando baixa interferência e birrefringência.



Fonte: A autora (2023).

Fotomicrografia 17 – (A) Massa calcítica (Cal) com finos veios de flogopita/tetra-ferriflogopita (Phl/TFP), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados mostrando alterações sobre interferência de cores e birrefringência quase que nulas.

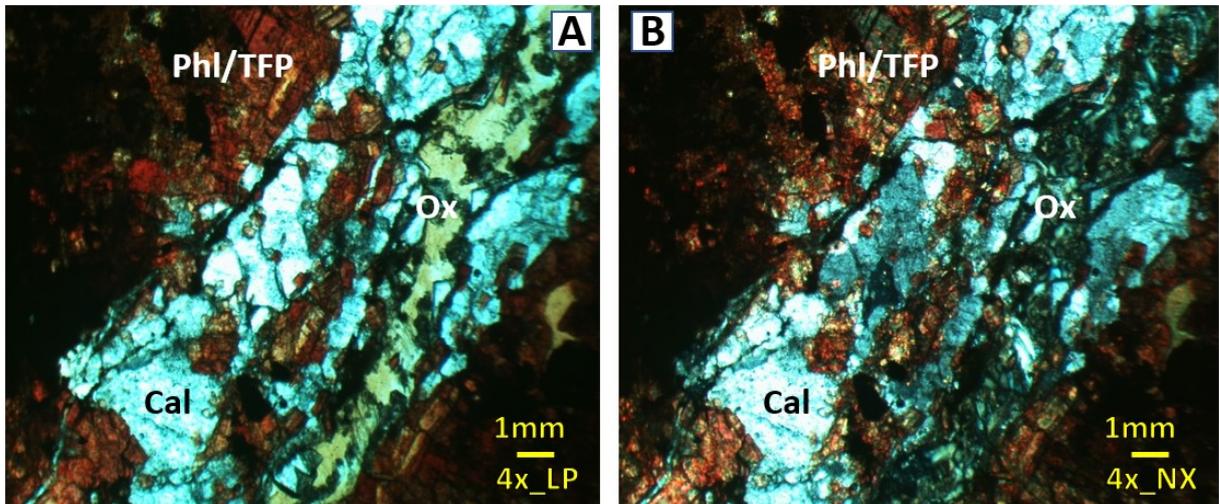


Fonte: A autora (2023).

Na Fotomicrografia 18, nota-se veio de calcita com borda de flogopita/tetra-ferriflogopita e óxidos de alteração ao centro, com cor característica esverdeada, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

Sob luz polarizada, é possível ver alteração quase que nula sobre as cores de interferência e birrefringência dos minerais.

Fotomicrografia 18 – (A) Veio calcítico (Cal) com borda de flogopita/treta-ferriflogopita (Phl/TFP) e óxidos (Ox), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando quase que alteração nula.



Fonte: A autora (2023).

5.4. FLOGOPITITO COM FINOS VEIOS DE DOLOMITA

A amostra 4, foi caracterizada como Flogopitito com finos veios de Dolomita, mas se diferenciam da litologia anterior, por se tratar de um veio com espessura grossa. O contato é bem evidente com aspecto irregular, textura maciça e de composição carbonática.

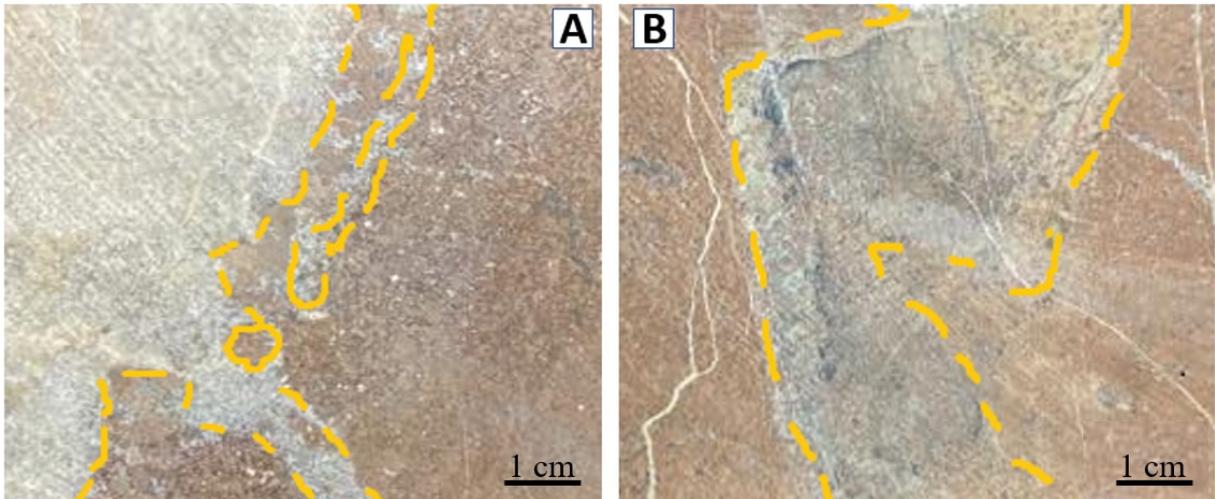
A amostra foi dividida em duas partes gerando duas lâminas distintas para a descrição microscópica, já que a mesma amostra macroscópica apresentava grande diferença a olho nu.

Na amostra 4.1, representada pela Figura 13.A, foi possível identificar o contato variando entre as bandas irregulares a lobuladas, de cores diferentes, constituída por dolomita, sendo uma mais preservada de coloração cinza escura e outra alterada de cor marrom delimitadas pelas linhas amarelas.

Já na amostra 4.2, representado pela figura 13.B, é possível ver macroscopicamente uma maior presença de novos minerais além da dolomita, como flogopita lamelares, magnetita e olivina.

A partir desta amostra, foi possível definir o início da alteração, onde os carbonatos ainda estão preservados, alterando sua cor de verde para um tom marrom.

Figura 13 – Aspectos petrográficos do Flogopitito. (A) Aspecto macroscópico da 4.1. (B) Aspecto macroscópico da 4.2.



Fonte: A autora (2023).

Microscopicamente, foi possível distribuir a porcentagem mineralógica do Flogopitito com finos veios de Dolomita – Amostra 4. Tanto para a amostra 4.1, quanto para a amostra 4.2. ao serem analisadas ao microscópio, foi observada que sua constituição basicamente é formada por minerais de flogopita mais bem alterados para tetra-ferriflogopita (55%), além de veios de dolomita (33%), minerais opacos (5%), magnetita (5%) e alterações como clinohumita (2%). Já para a amostra 4.2, foi possível diferenciá-lo devido os minerais estarem melhores selecionados, com dimensões maiores e mais bem preservados.

Ambas amostras possuem minerais em comum. A flogopita variou de dimensões de microcristalinas até minerais euédricos, placóides com 2,6 mm quando maiores e lamelares quando menores.

Apresentou clivagem perfeita a uma direção, euédrica a subédrica, quando em cristais maiores apresentou intensa cor vermelha principalmente em suas bordas podendo ser chamada de tetra-ferriflogopita,

A ocorrência da tetra-ferriflogopita (flogopita com pleocroísmo invertido se dá devido à substituição de Al_3+ por Fe_3+ no sítio tetraédrico) é comum em carbonatitos, o que dá impressão de relevo mais alto, portanto apresentou várias inclusões de minerais opacos (magnetita) e intenso microfraturamento frequentemente preenchido por dolomita às vezes muito microcristalinas.

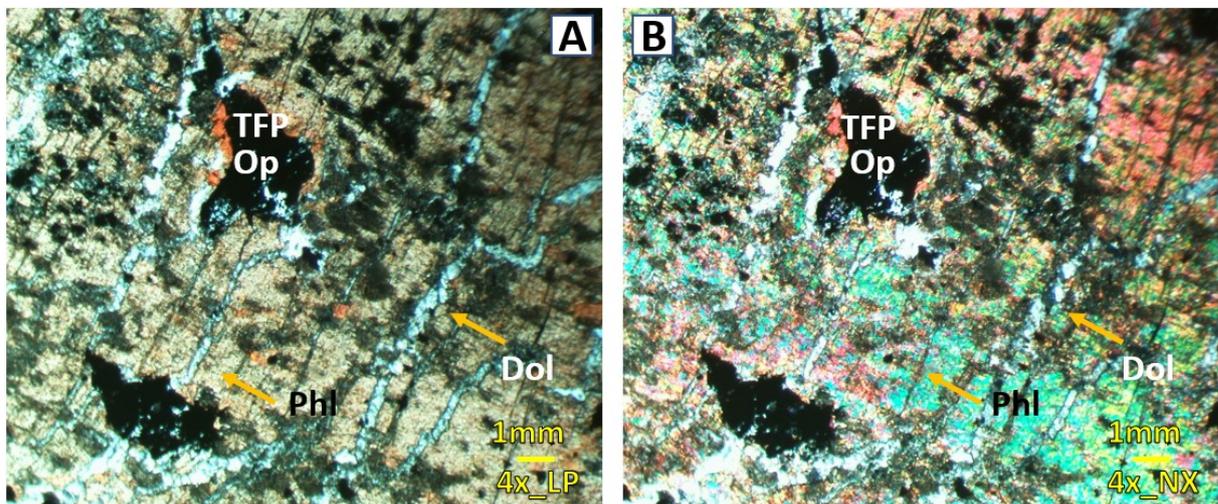
A dolomita apresentou relevo variando entre baixo, incolor, subédrico a anédrico, comumente granular. Suas dimensões variaram de microcristalina a 1,0 mm, às vezes apareceu sob a forma de cristais individuais, fazendo parte da matriz ou microcristalino quando preenche os microveios.

Os minerais opacos apareceram sob a forma de magnetitas como inclusões dentro da flogopita (Fotomicrografia 19, A e B), lateralmente microgranulares alinhadas ao longo da lateral dos veios de carbonatitos, como aparece nas Fotomicrografias 21, A e B.

Na Fotomicrografia 19, observa-se as microfraturas preenchidas por dolomita dentro de fenocristal de flogopita, de orientação preferencial com inclusões de minerais opacos. É possível notar também a coroa de tetra-ferriflogopita no opaco, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

Sob luz polarizada, é possível ver cores de interferência e média birrefringência da flogopita. A dolomita e a tetra-ferriflogopita não alteraram.

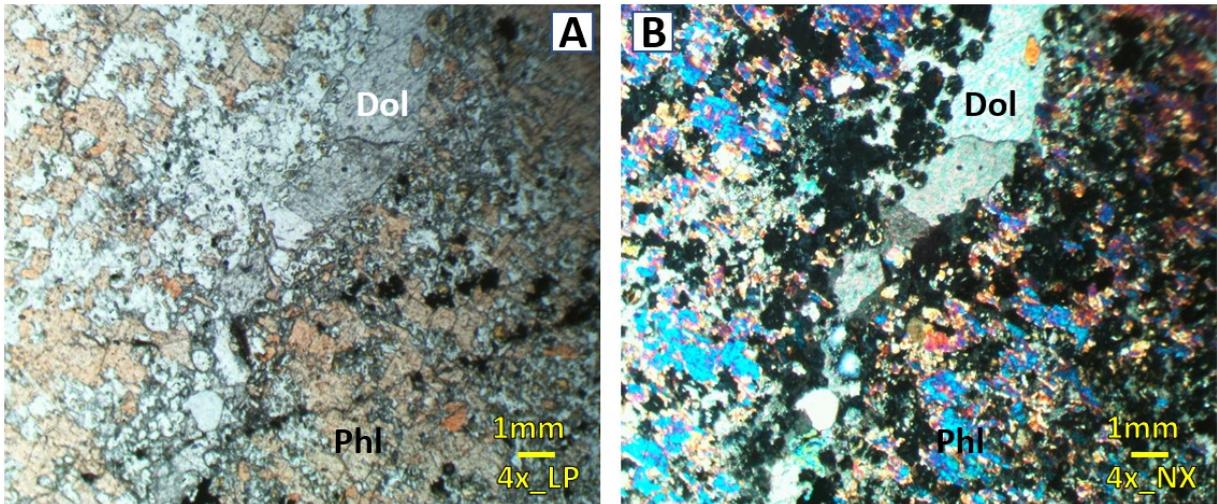
Fotomicrografia 19 – (A) Flogopita (Phl) com tetra-ferriflogopita (TFP) coroando minerais opacos (Op), com veios de dolomita (Dol), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante sob nicóis cruzados, mostrando cores de interferência da flogopita.



Fonte: A autora (2023).

Na Fotomicrografia 20, pode-se notar cristais mais preservados de dolomita, com cristais fraturados de flogopita. Há uma alteração de óxidos entre os dois minerais, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B). Sob luz polarizada, é possível ver cores de média interferência e média birrefringência da flogopita.

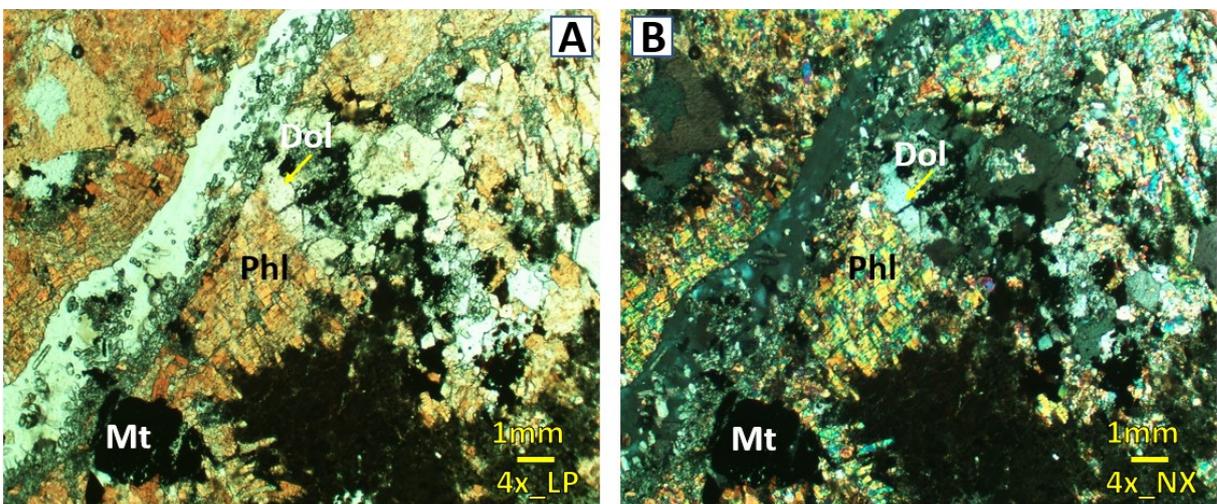
Fotomicrografia 20 – (A) Veio de dolomita (Dol) em meio a flogopita (Phl), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados mostrando leve alteração nas cores de interferência.



Fonte: A autora (2023).

Já na Fotomicrografia 21, nota-se veios dolomíticos cortando transversalmente uma matriz microcristalina, composta por flogopita e minerais opacos representados pela magnetita. A dolomita sofre uma leve alteração, como se fosse uma massa, sem fratura ou qualquer tipo de texturização, isto sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B). Sob luz polarizada, é possível ver cores de média interferência e média birrefringência da flogopita, a dolomita apresenta de média a baixa cor de interferência e birrefringência, mostrando uma cor cinza esverdeada. Os minerais opacos não alteraram.

Fotomicrografia 21 – (A) Veio dolomítico (Dol) com flogopita (Phl) à esquerda e magnetita (Mt) à direita da imagem, à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante sob nicóis cruzados, mostrando cores de interferência.



Fonte: A autora (2023).

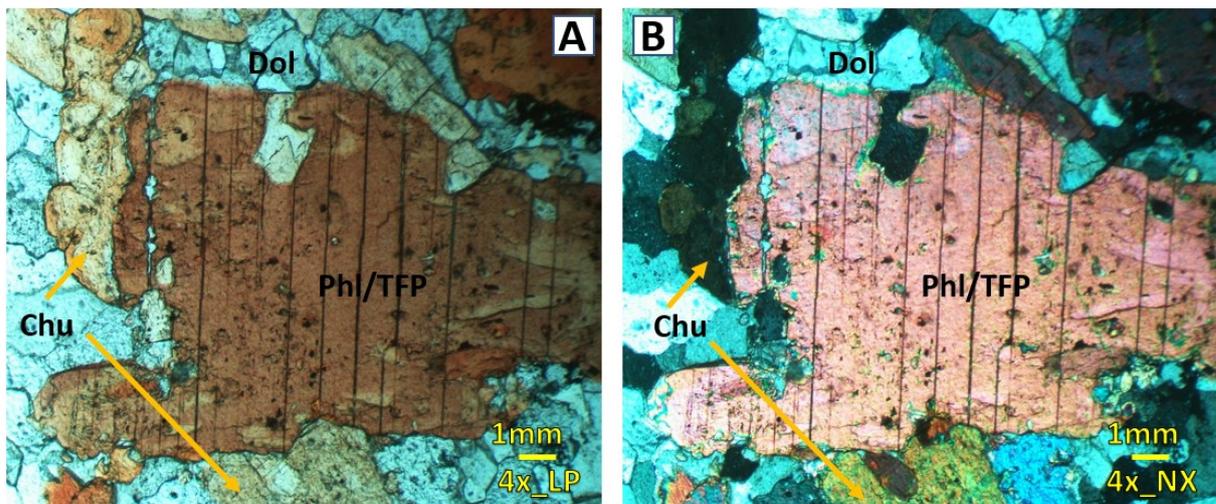
Já para a amostra 4.2, é possível diferenciar das imagens anteriores devido à alta diferença em relação a preservação dos minerais, tamanhos e distribuições modais.

Na Fotomicrografia 22, observa-se mineral de flogopito já transformado em tetra0ferriflogopita gerando a com marrom avermelhada. Há presença de alteração representado pela clinohumita.

O cristal de flogopita em si é bem desenvolvido com hábito placóide, clivagem perfeita a uma direção, em matriz fina de dolomita, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

Sob luz polarizada, é possível ver cores de alta interferência e alta birrefringência da flogopita, com tom rosado. A clinohumita neste caso apresenta de média a baixa cor de interferência e birrefringência.

Fotomicrografia 22 – (A) Cristal de flogopita (Phl)/tetra-ferriflogopita (TFP) com presença de clinohumita (Chu) e dolomita (Dol), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante mostrando alteração de interferência sob nicóis cruzados.

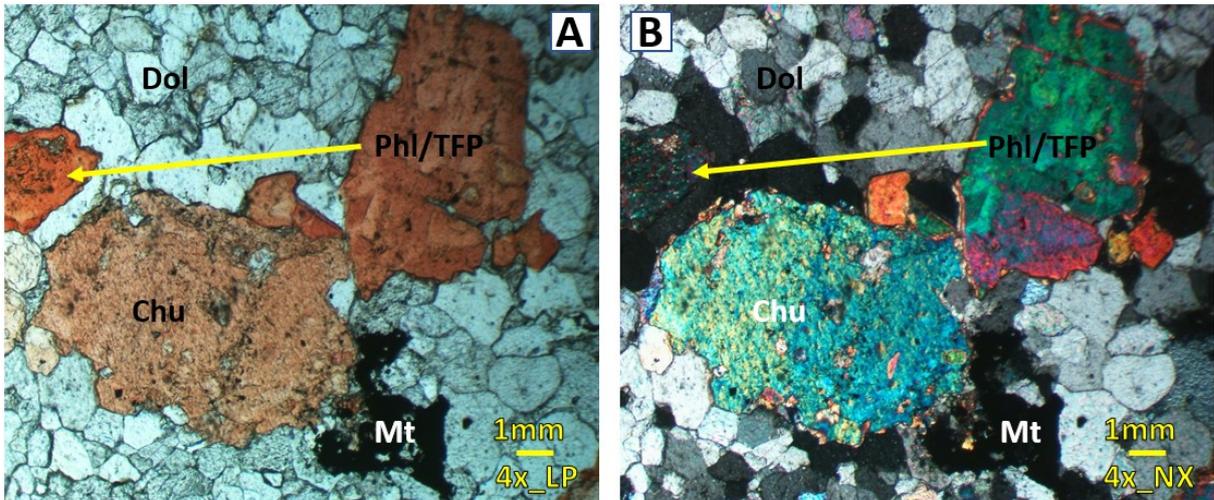


Fonte: A autora (2023).

Na Fotomicrografia 23, pode-se notar a massa de dolomita com cristal bem preservado de flogopita/tetra-ferriflogopita, com clinohumita e magnetita. sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

Sob luz polarizada, é possível ver cores de alta interferência e alta birrefringência da flogopita, além da leve alteração de cor da dolomita.

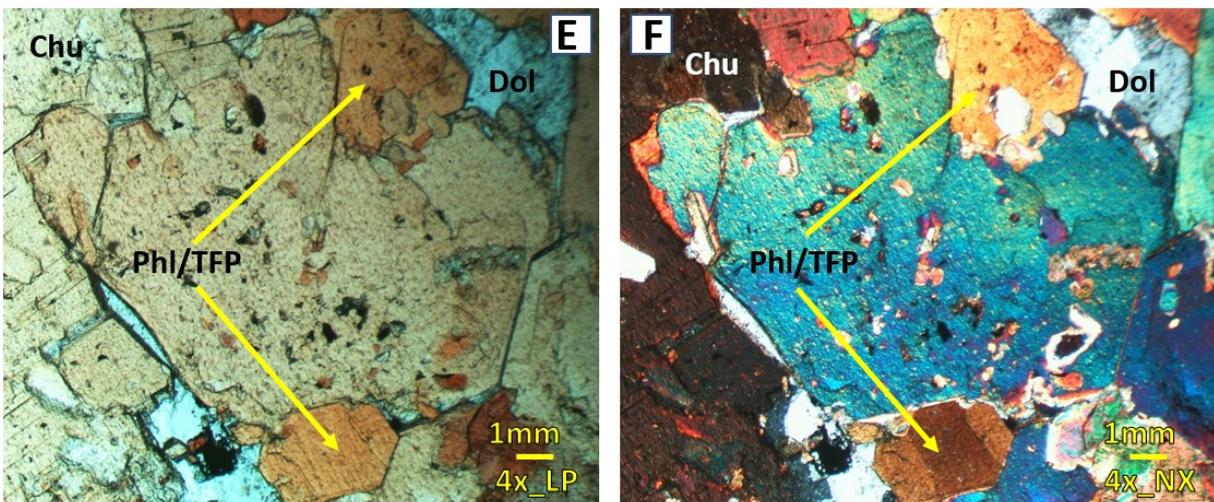
Fotomicrografia 23 – (A) Massa dolomítica (Dol) com magnetita (Mt), flogopita (Phl)/tetra-ferriflogopita (TFP) e clinohumita (Chu), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante mostrando alta interferência nas cores, sob nicóis cruzados.



Fonte: A autora (2023).

Por fim, na Fotomicrografia 24, nota-se grande mineral de flogopita preservado sofrendo leve alterações de coloração, nas bordas representando a tetra-ferriflogopita e a clinohumita no lado esquerdo da imagem. Do lado direito, há presença de dolomita, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B). Sob luz polarizada, é possível ver cores de alta interferência e alta birrefringência da flogopita apresentando coloração azul forte, tetra-ferriflogopita e clinohumita. A dolomita neste caso não alterou.

Fotomicrografia 24 – (A) Cristal de flogopita (Phl) com alteração de tetra-ferriflogopita (TFP) e clinohumita (Chu) em meio a dolomita (Dol), à nicóis descruzados. (B) fotomicrografia semelhante mostrando alta interferência de cor, à nicóis cruzados.



Fonte: A autora (2023).

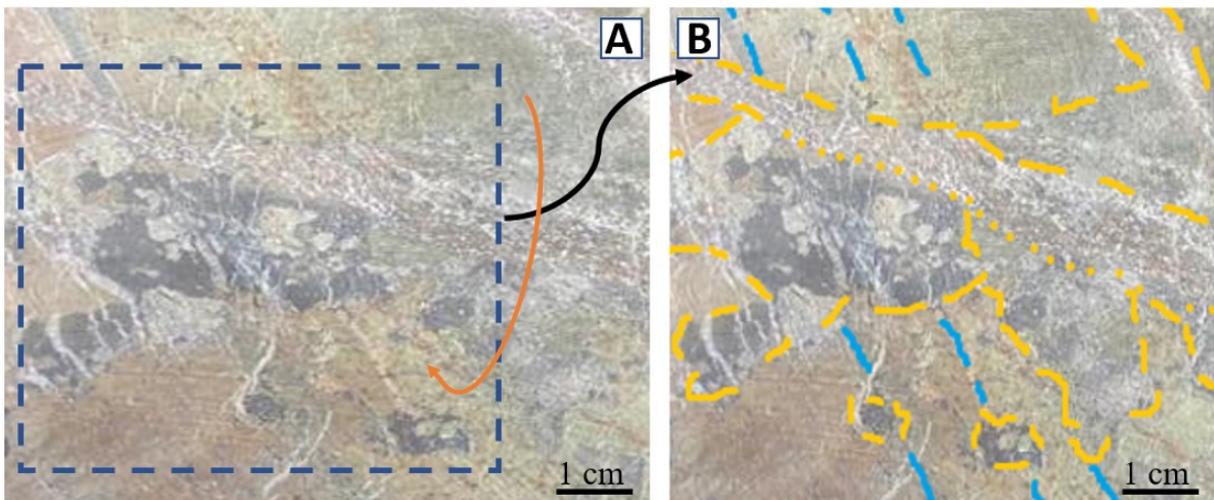
5.5. OLIVINA-SERPENTINA FLOGOPITITO COM DOLOMITA

O Olivina-Serpentina Flogopitito com Dolomita representado pela amostra 5, é uma rocha maciça, cortada por finos veios milimétricos de carbonatito, no qual foi possível notar uma alteração na cor de verde para um tom marrom.

Na Figura 15.A é possível ver a fase de transição pela mudança de coloração na descrição macroscópica, sendo possível identificar perovskita parcialmente convertida para anatásio (possível a identificação devido ao brilho e coloração, brilho metálico alterando para tom “pastel”, representado pela seta laranja), além da coloração verde, há magnetita, e veios de silicato primário com diversas orientações.

Também foi possível observar em lupa de grande aumento, a presença de olivina, e milimétricos cristais de flogopita.

Figura 14 – Aspectos petrográficos da Olivina-Serpentina Flogopitito com Dolomita. (A) Aspecto macroscópico da flogopita identificando os contatos entre apatita, magnetita e veio de silicato. (B) Imagem da lâmina gerada a partir da amostra.



Fonte: A autora (2023).

Microscopicamente, foi possível distribuir a porcentagem mineralógica da Olivina-Serpentina Flogopitito com Dolomita - Amostra 5. É constituída basicamente por minerais de flogopita e tetra-ferriflogopita (60%), olivina serpentinizada (25%), dolomita (11%), perovskita (2%) e magnetita (2%).

Aqui a flogopita variou de dimensões de 0,4 a 2,5 mm em geral são bem desenvolvidas, de lamelares quando menores a placóides quando maiores, apresentam clivagem perfeita a uma direção, euédrica a subédrica (fotomicrografia 25 e 26, A e B).

Quando em cristais maiores, apresentavam intensa cor vermelha principalmente em suas bordas, podendo ser chamada de tetra-ferriflogopita. Nesta litologia é possível observar também a ocorrência da tetra-ferriflogopita (flogopita com mudanças na coloração de tons creme para marrom avermelhada conforme pode ser bem observada na Fotomicrografia 26, A e B).

Pode-se observar distribuição de minerais opacos, como agregados ou na forma de várias inclusões, podendo variar de magnetita a óxidos.

A olivina apresentou-se como fenocristais ou às vezes em agregados equigranulares *cumulus*, com dimensões variando de 0,6 a 1,2 mm na forma de pseudomorfos subédricos a anédricos, frequentemente arredondados e intensamente serpentinizado. Sob a luz paralela aparecem como típicos cristais incolores com núcleos serpentinizados com hábito de fibras \pm paralelas, o que dá ao cristal um aspecto “sujo”, com relevo fibroso e bordas da olivina preservadas gerando um relevo muito alto e característicos, fortemente microfraturados e muitas vezes substituídos por pseudomorfos de serpentina sobre olivina.

Alguns apresentavam leve coloração amarelo-esverdeado pálido com pleocroísmo amarelo pálido, sob a luz cruzada as cores se tornavam intensas, com alta birrefringência, variando de laranja, rosa a azul de 2º e 3º ordem. A dolomita mostrou relevo variando entre baixo, incolor, subédrico a anédrico, comumente granular suas dimensões variam de microcristalina a 0,3mm a 1,0mm, às vezes apareceu sob a forma de agregados minerais. Os minerais opacos apareceram sob a forma de magnetitas como inclusões dentro da flogopita e como cristais individuais, ocorrendo juntamente com a perovskita e demais óxidos e hidróxidos.

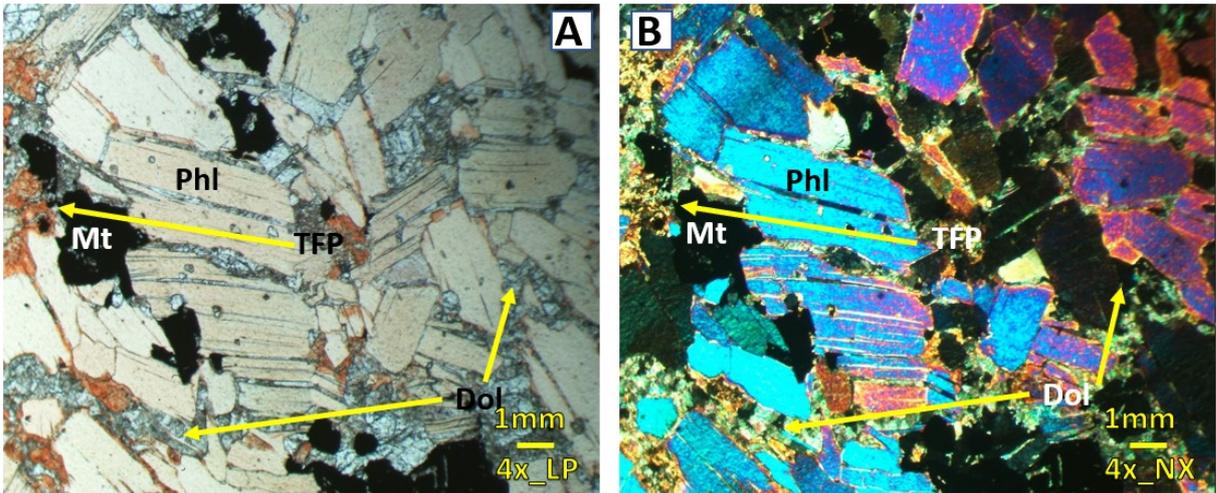
Os minerais opacos, representados pela magnetita (0,1 a 2,0 mm), perovskita (0,1 a 1,0 mm), óxido e hidróxido de Fe, se mostraram distribuídos amplamente entre e dentro de cristais desenvolvidos de flogopita, como inclusões dos cristais, provavelmente representando uma fase *cumulus*, tardia, a *intercumulus*, fina (0,25 mm). Já a dolomita se mostrou fina e *intercumulus*.

A magnetita apresentou granulação fina a grossa, em média 0,18 mm, quase euédrica, preferencialmente concentrada em faixas, juntamente com flogopita. Já a perovskita, por ser um mineral raro, se apresentou provavelmente diante da substituição de Cálcio por Sódio e Titânio por Nióbio. Como minerais secundários, se destacaram a serpentina e argilominerais que por vezes formam bordas em cristais de olivina, como produto de alteração.

Na Fotomicrografia 25, pode-se observar mineral de flogopita sem orientação preferencial com presença de alguns cumulados de magnetita e tetra-ferriflogopita bordejando a flogopita, sob dolomita, com objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B). Sob luz polarizada, é possível ver cores de alta interferência

e alta birrefringência da flogopita apresentando coloração azul à rosa. A dolomita neste caso não alterou.

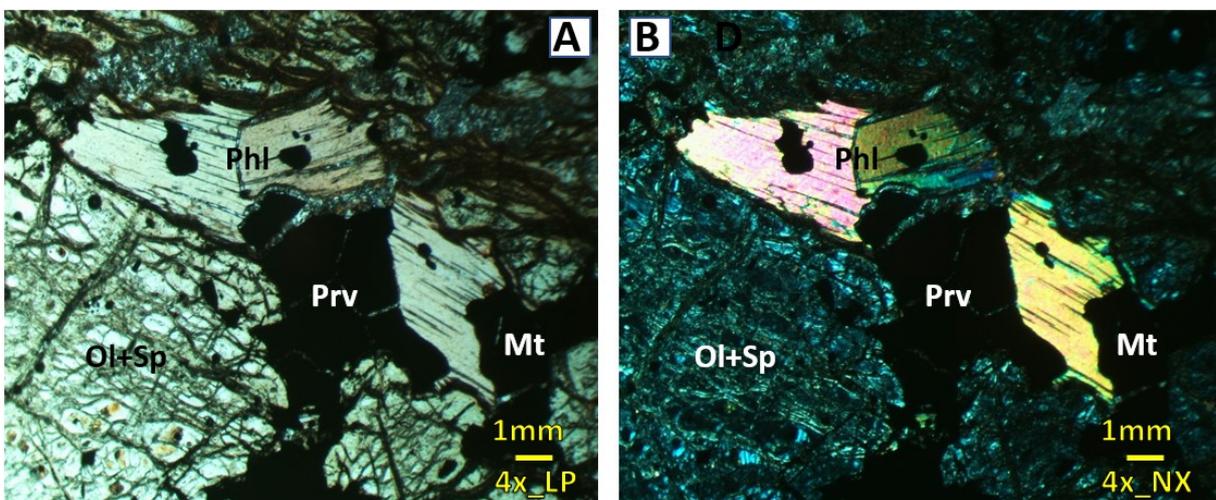
Fotomicrografia 25 – (A) Cristais de flogopita (Phl) com tetra-ferriflogopita (TFP) e magnetita (Mt) sob dolomita (Dol), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante, à nicóis cruzados, mostrando alta cor de interferência.



Fonte: A autora (2023).

Na Fotomicrografia 26, nota-se o processo de serpentinização da olivina, com mineral de flogopita, magnetita e perovskita, com objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B). Sob luz polarizada, é possível observar as cores de média interferência e média birrefringência da flogopita, e baixa interferência e birrefringência da olivina e da perovskita.

Fotomicrografia 26 – (A) Olivina serpentinizada (Ol+Sp) com presença de flogopita (Phl), perovskita (Pv) e magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante mostrando alta interferência da flogopita e baixa dos demais minerais, à nicóis cruzados.

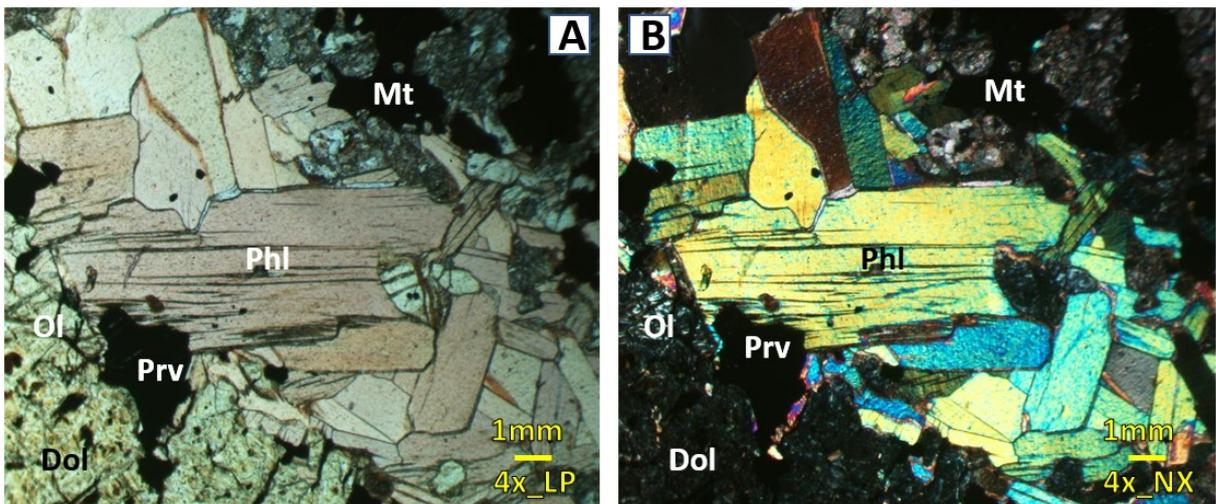


Fonte: A autora (2023).

Na Fotomicrografia 27, observa-se grande fenocristal de flogopita bem preservada, sem orientação preferencial, com presença de magnetita, dolomita, perovskita e olivina, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

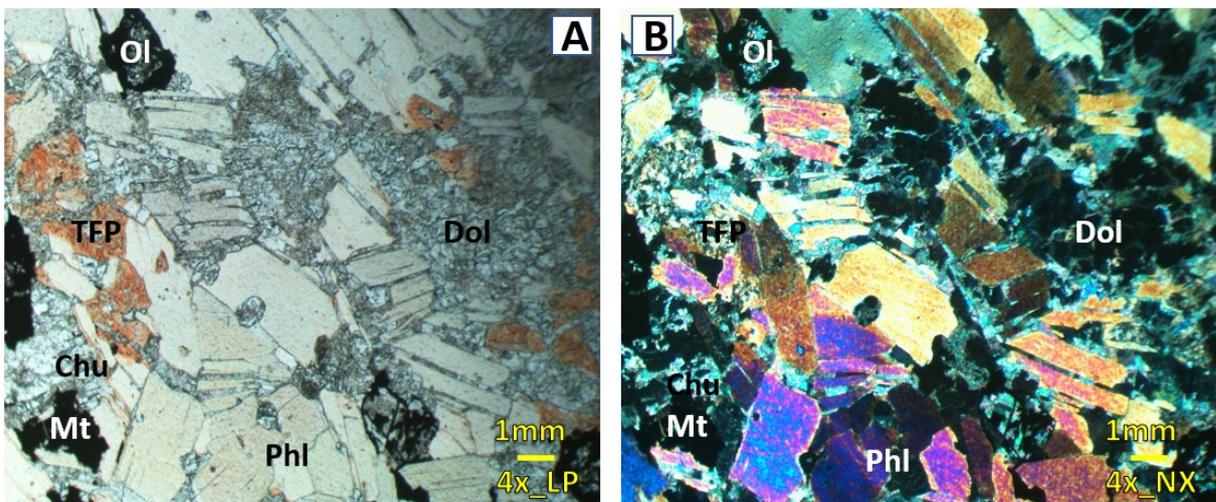
Sob luz polarizada, é possível notar as cores de alta interferência e alta birrefringência da flogopita, e baixa interferência e birrefringência da olivina e da perovskita.

Fotomicrografia 27 – (A) Flogopita (Phl) em meio a magnetita (Mt), Perovskita (Pv), dolomita (Dol) e olivina (Ol), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados mostrando alta interferência de cores dos minerais.



Fonte: A autora (2023).

Fotomicrografia 28 – (A) Flogopita (Phl) em meio a dolomita (Dol) com presença de magnetita (Mt), tetra-ferriflogopita (TFP), olivina (Ol) e clinohumita (Chu), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando cores de alta interferência da flogopita.



Fonte: A autora (2023).

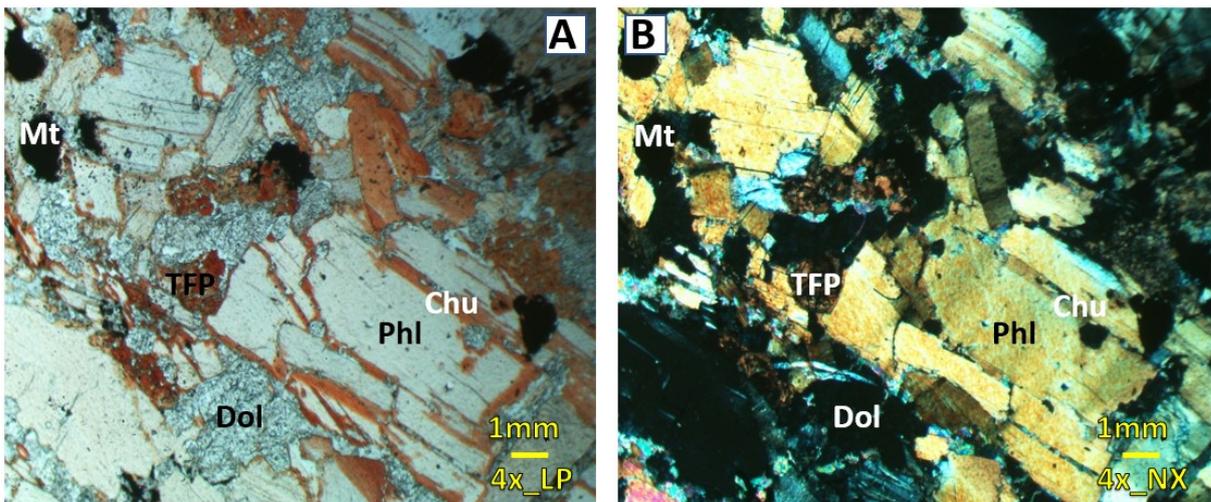
Na Fotomicrografia 28, acima, pode-se observar mineral de flogopita, tetra-ferriflogopita e clinohumita, com presença de magnetita, olivina e dolomita bem fraturada, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

Sob luz polarizada, é possível notar as cores de alta interferência e alta birrefringência da flogopita.

Na Fotomicrografia 29, abaixo, pode-se notar processo de bordejamento que a clinohumita faz sob a flogopita, com presença de tetra-ferriflogopita, com massa fraturada de dolomita, com objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

Sob luz polarizada, é possível identificar as cores de alta interferência e alta birrefringência da flogopita.

Fotomicrografia 29 – (A) Flogopita (Phl) com bordas de clinohumita (Chu) sob a massa dolomítica (Dol), com presença de tetra-ferriflogopita (TFP) e magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando cores de alta interferência da flogopita.

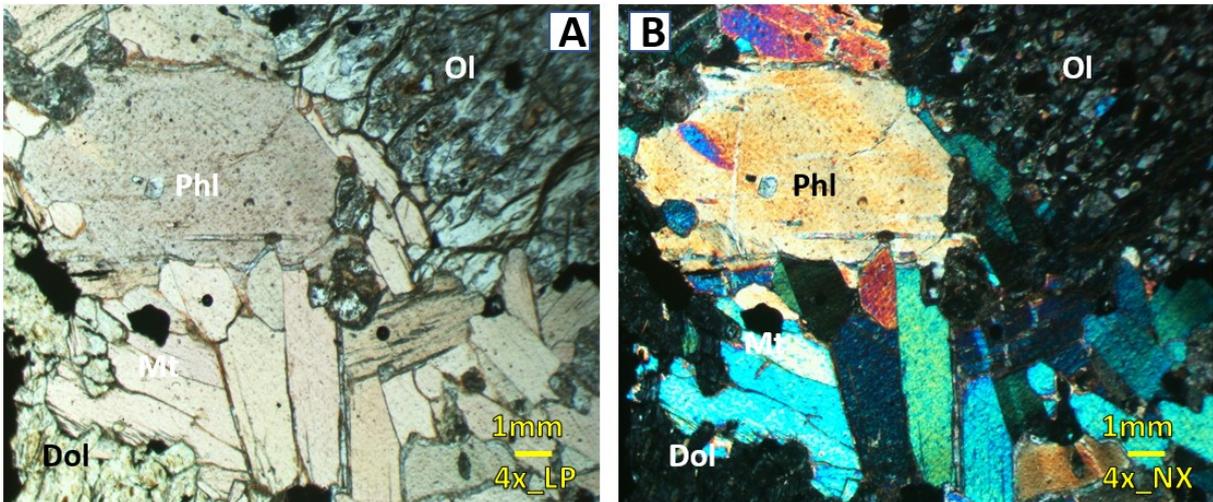


Fonte: A autora (2023).

Por fim, na Fotomicrografia 30, nota-se grande fenocristal de flogopita bem preservada, sem orientação preferencial, com presença de magnetita, dolomita e olivina, com objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

Sob luz polarizada, é possível identificar as cores de alta interferência e alta birrefringência da flogopita.

Fotomicrografia 30 – (A) Flogopita (Phl) sob massa dolomítica (Dol) e presença de olivina (Ol) no canto superior direito, à nicóis descruzados. ((B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando cores de alta interferência da flogopita.

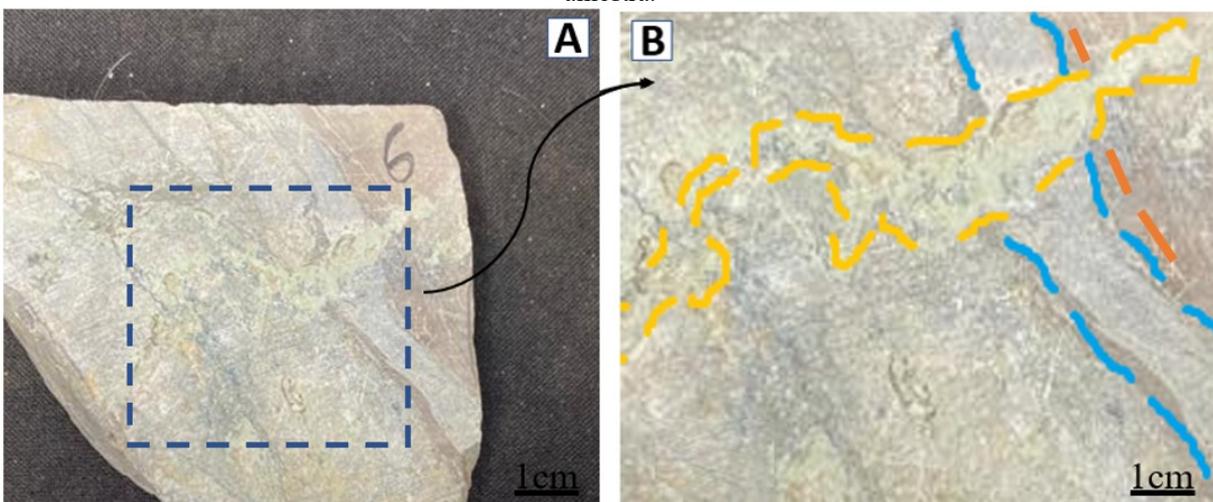


Fonte: A autora (2023).

5.6. FLOGOPITITO

A amostra 6 também é classificada como Flogopitito, caracterizada pela forte presença de flogopita, com carbonato. Neste caso, o carbonato é considerado calcita pela reação forte quando na presença de ácido clorídrico diluição de 10%. Macroscopicamente apresentou porções que variaram de marrom a esverdeado, com predomínio desta última, suas dimensões apresentam granulação fina. Foi possível identificar na Figura 15.A., algumas faixas que indicam a calcita, a magnetita e a flogopita. Representado na figura a seguir, em amarelo indica a calcita, em azul, representa o carbonato intersticial e laranja a intensa presença de flogopita.

Figura 15 - Aspectos petrográficos da Flogopitito. (A) Aspecto macroscópico do flogopitito identificando os contatos entre magnetita, flogopita e o cumulado de calcita intersticial. (B) Imagem da lâmina gerada a partir da amostra.



Fonte: A autora (2023).

Microscopicamente, foi possível distribuir a porcentagem mineralógica do Flogopitito - Amostra 6. É constituída basicamente por minerais de flogopita (60%), calcita (30%), magnetita (8%) e minerais opacos (2%).

A flogopita representou-se como o mineral dominante nesta litologia, as dimensões variaram na faixa entre 0,5 a 8,5 mm.

Em geral, apresentaram bem desenvolvidas e lamelares, com clivagem perfeita a uma direção, euédrica a subédrica, (Fotomicrografia 31, A e B, 32 A e B), birrefringência alta a luz cruzada, sendo possível ver em algumas deformações representadas pela curvatura das clivagens conforme observada na Fotomicrografia 32, A e B.

Foi possível observar a distribuição de minerais opacos, destacando entre os óxidos, a magnetita, distribuídos na forma de agregados intersticiais em cristais individuais ou na forma de múltiplas inclusões em cristais maiores de flogopita.

A calcita apareceu como carbonato intersticial, anédrico, com dimensões que variaram de microgranulares até 0,8 mm. São incolores, mas podem ser levemente acinzentadas a luz paralela, relevo baixo a moderado.

Sob a luz cruzada, apresentou birrefringência extrema 0,172, cores muito elevadas às vezes cremes, castanhas, com pontos e bandas coloridas, de 4ª ordem.

Apresentou também extinção ondulante, indicando evidências de deformação (Fotomicrografia 31, A e B, 32, A e B).

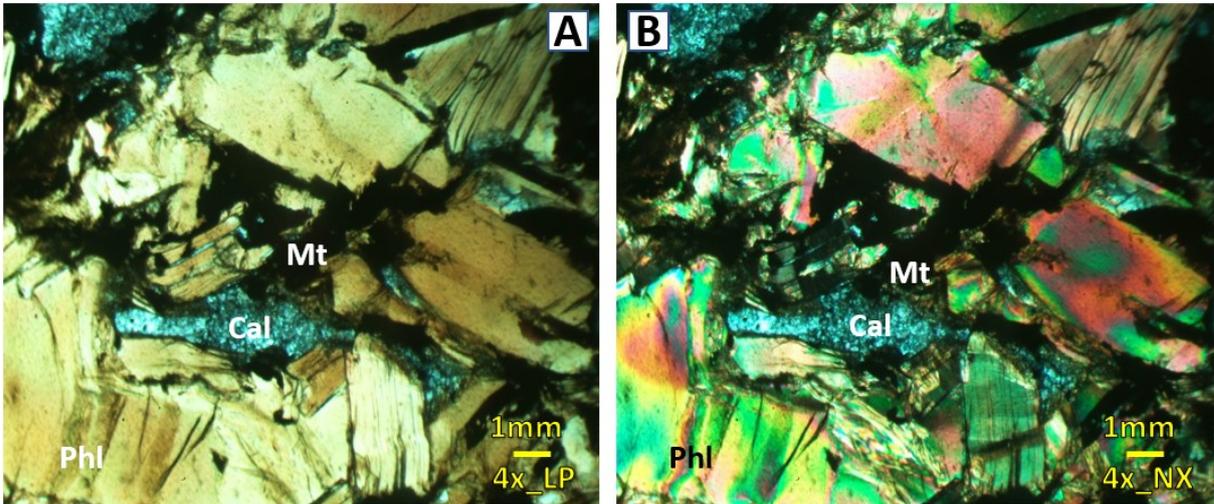
Os minerais opacos, representados pela magnetita (0,8 a 2,0mm), óxido e hidróxido de Fe, se mostraram distribuídos amplamente entre e dentro de cristais desenvolvidos de flogopita, como inclusões dos cristais fina (0,25 mm).

A magnetita apresentou granulação em média 0.8 mm, quase euédrica, preferencialmente concentrada intersticial e como inclusões nas flogopitas.

Na Fotomicrografia 31, percebe-se mineral de flogopita sofrendo deformação, com presença de magnetita e massa calcítica, com objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

Sob luz polarizada, é possível notar cores de alta interferência e alta birrefringência da flogopita. Já a massa calcítica não sofreu nenhum tipo de alteração em sua cor.

Fotomicrografia 31 – (A) Flogopita (Phl) sob massa calcítica (Cal) com presença de magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando cores de alta interferência da flogopita.

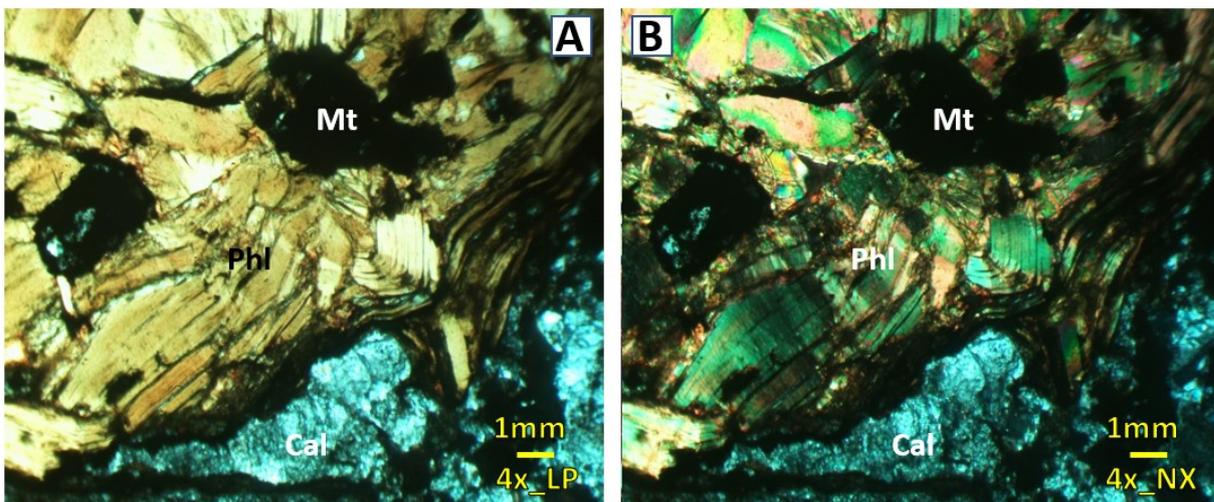


Fonte: A autora (2023).

Na Fotomicrografia 32, pode-se observar vários minerais de flogopita sem orientação preferencial, sofrendo uma maior deformação, com presença de magnetita e calcita, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

Sob luz polarizada, é possível notar as cores de média interferência e média birrefringência da flogopita, a calcita não alterou.

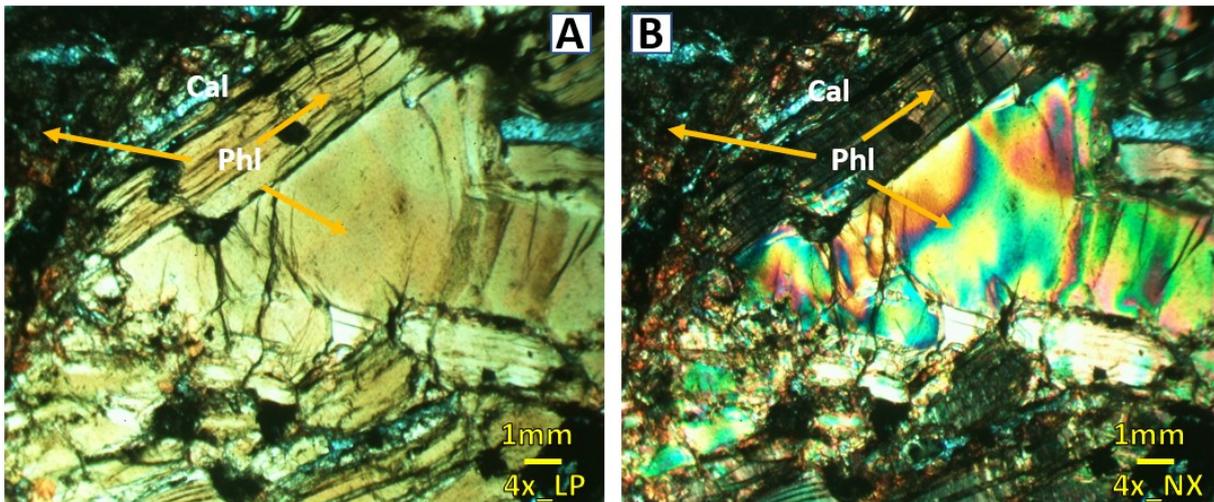
Fotomicrografia 32 – (A) Flogopita deformada (Phl) com presença de magnetita (Mt) sob calcita (Cal), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando cores de alta interferência da flogopita.



Fonte: A autora (2023).

Já na Fotomicrografia 33 nota-se o resultado da deformação sofrida pela flogopita, mostrando o mesmo em três estágios diferentes. Há presença de pequenos veios de calcita, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B). Sob luz polarizada, é possível ver cores de alta interferência e alta birrefringência da flogopita.

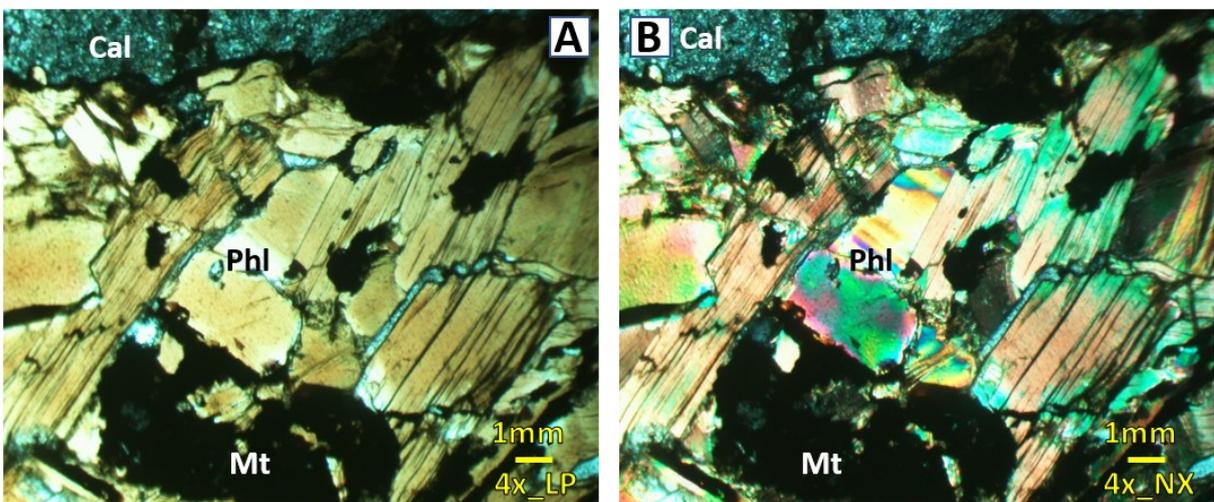
Fotomicrografia 33 - (A) Flogopita deformada (Phl) com veios de calcita (Cal), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando cores de alta interferência da flogopita.



Fonte: A autora (2023).

Na Fotomicrografia 34, observa-se cristais de flogopita, sem orientação preferencial, sofrendo deformação, com presença de magnetita, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B). Sob luz polarizada, é possível notar as cores de alta interferência e alta birrefringência da flogopita, a massa calcítica não alterou.

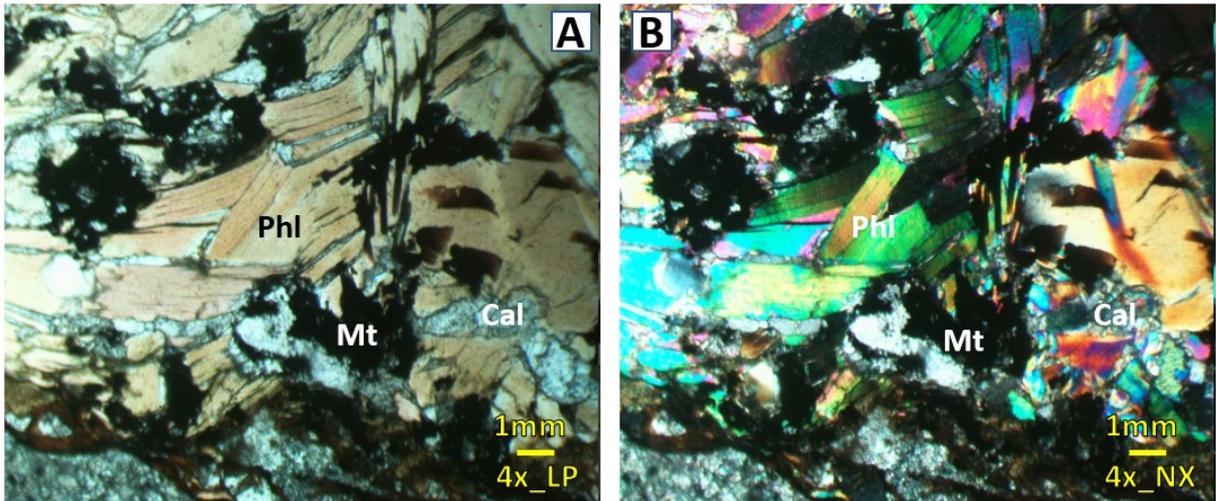
Fotomicrografia 34 - (A) Flogopita deformada (Phl) com massa de calcita (Cal) e magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante à nicóis cruzados, mostrando cores de alta interferência.



Fonte: A autora (2023).

Na Fotomicrografia 35, nota-se que há processo de deformação ondulante de flogopita e magnetita, sob calcita, com objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B). Sob luz polarizada, é possível notar as cores de alta interferência e alta birrefringência da flogopita.

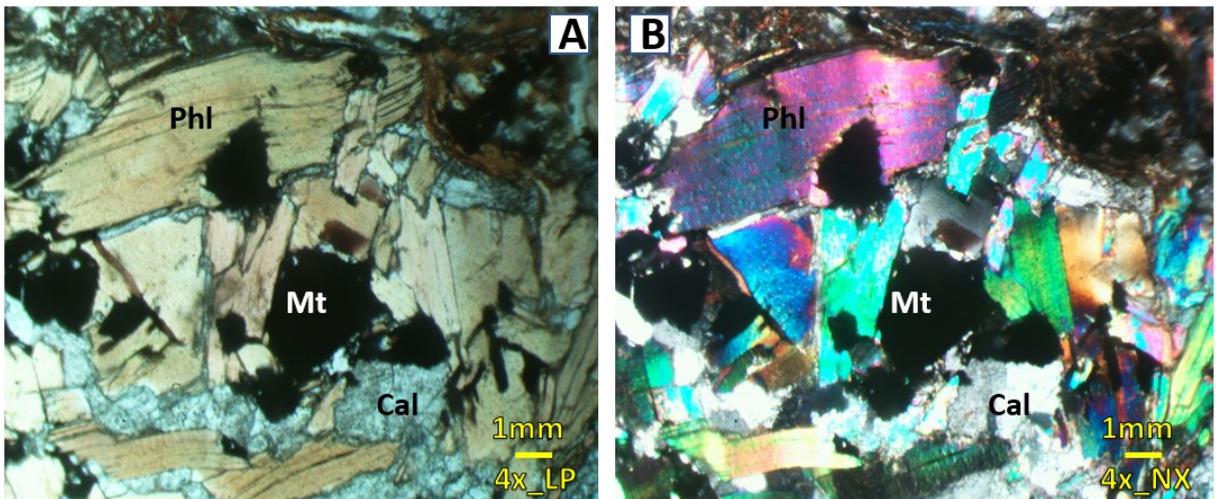
Fotomicrografia 35 - (A) Flogopita deformada (Phl) com massa de calcita (Cal) e magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (B) *Fotomicrografia* semelhante à nicóis cruzados, mostrando cores de alta interferência.



Fonte: A autora (2023).

Por fim, na Fotomicrografia 36, observa-se grande fenocristal de flogopita bem preservada, com presença de magnetita e calcita com objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B). Sob luz polarizada, é possível identificar as cores de alta interferência e alta birrefringência da flogopita.

Fotomicrografia 36 - (A) Flogopita deformada (Phl) com massa de calcita (Cal) e magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (B) *Fotomicrografia* semelhante à nicóis cruzados, mostrando cores de alta interferência.



Fonte: A autora (2023).

5.7. DUNITO COM FLOGOPITA

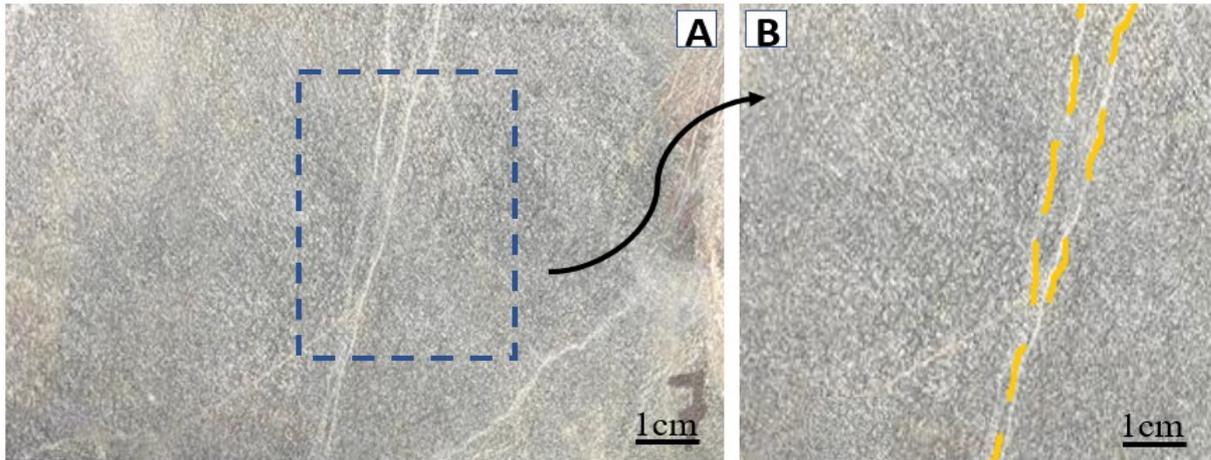
O Dunito com Flogopita, representado pela amostra 7 de coloração cinza escura, foi caracterizado por cristais de olivinas podendo ser vistos a olho nu, além de minerais opacos e um veio de dolomita. Na descrição macroscópica, o dunito é cinza, com granulação fina, sem muita variação modal. A composição típica sugerida é de 60% de olivina, com 25% de minerais opacos e 15% de carbonatos intersticiais. Microscopicamente, foi possível distribuir a porcentagem mineralógica do Dunito Flogopitizado - Amostra 7. É constituído basicamente por minerais de olivina e serpentina (80%), flogopita (14%), dolomita (3%), e magnetita (3%).

A olivina, comumente preservada, representou a fase mais importante de *cumulus*, variando de 0,6 a 3,8 mm, com presença de minerais de serpentina fibrosa de cores anômalas na forma de pseudomorfos, preenchendo as microfraturas na forma de finos veios dentro do cristal. Os minerais opacos aparecem junto com a Tetra-ferriflogopita na forma de cordões laterais aos veios cumulados, puderam ser observados por vezes, sendo comum a substituição nas bordas dos cristais de olivina por serpentina (quando há uma substituição total fica evidente por esses minerais de olivina se mostrarem como pseudomorfos, tendo magnetita como subproduto da reação). A flogopita apresentou coloração marrom-vermelho, com leve pleocroísmo. Isso se deve, provavelmente, devido a adição de Fe e portanto, se destacou na forma de cristais individuais de 0,1 a 3,5 mm mas frequentemente como microagregados finos, *intercumulus*, geralmente associados à magnetita, formando bordas na última (fotomicrografia 40, A e B), possivelmente devido à reação da magnetita com um líquido residual rico em potássio. A dolomita apresentou coloração variando em algumas porções de pouco cinza a tons marrons (teores de Ferro). Apresentou formas variando de subédrica a euédrica, de hábito granular a lamelar, e quando submetida a luz cruzada, mostrou cores cremes, de ordens elevadas. Quando em extinção, apresentou coloração cinza, com birrefringência de 0,180 e caráter uniaxial negativo.

Os minerais opacos, representados pela magnetita (0,1 a 3,0mm), óxido e hidróxido de Fe, se mostraram distribuídos amplamente entre e dentro de cristais desenvolvidos de flogopita, como inclusões dos cristais, provavelmente representando uma fase *cumulus*, tardia, a *intercumulus*, fina (0,25 mm). Já a dolomita se mostrou fina e *intercumulus*. A magnetita apresenta granulação fina a grossa, em média 0,18 mm, quase euédrica, preferencialmente concentrada em faixas, juntamente com flogopita. Como minerais secundários, se destacaram

a serpentina e argilominerais que por vezes formam bordas em cristais de olivina, como produto de alteração.

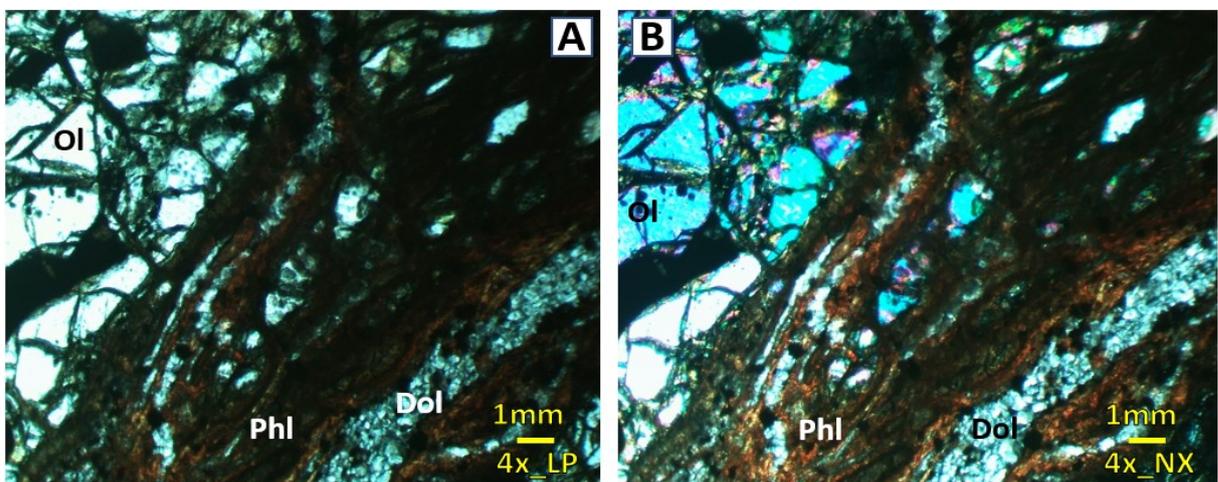
Figura 16 - Aspectos petrográficos da Dunito com Flogopita. (A) Aspecto macroscópico da olivina identificando os contatos entre apatita, magnetita e o veio de silicato. (B) Imagem da lâmina gerada a partir da amostra.



Fonte: A autora (2023).

Na Fotomicrografia 37, abaixo, pode-se notar veios de dolomita em contato com a olivina, associado à cordões longos, microgranulares escuros, formados por tetra-ferriflogopita, além de associações de minerais opacos como magnetita, com objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B). Sob luz polarizada, é possível identificar as cores de alta interferência e alta birrefringência da olivina, tanto o veio de flogopita quanto a dolomita que preenche o veio não alteraram suas cores.

Fotomicrografia 37 – Veio de flogopita (Phl) preenchido por dolomita (Dol) sob olivina, à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante mostrando alteração de cor, à nicóis cruzados.

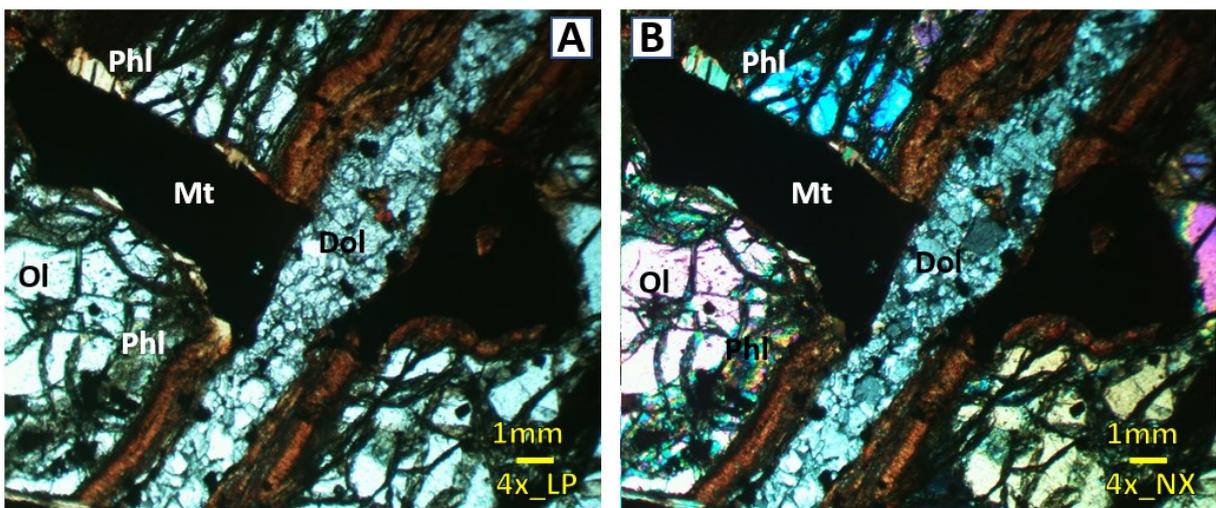


Fonte: A autora (2023).

Na Fotomicrografia 38, observa-se veios de dolomita com flogopita, com presença de magnetita e olivina, a flogopita faz um leve processo de coroa na magnetita, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

Com luz polarizada, é possível identificar as cores de alta interferência e alta birrefringência da olivina, tanto o veio de flogopita quanto a dolomita que preenchem o veio não alteraram.

Fotomicrografia 38 - Veio de flogopita (Phl) preenchido por dolomita (Dol) sob olivina, com magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante mostrando alteração de cor, à nicóis cruzados.



Fonte: A autora (2023).

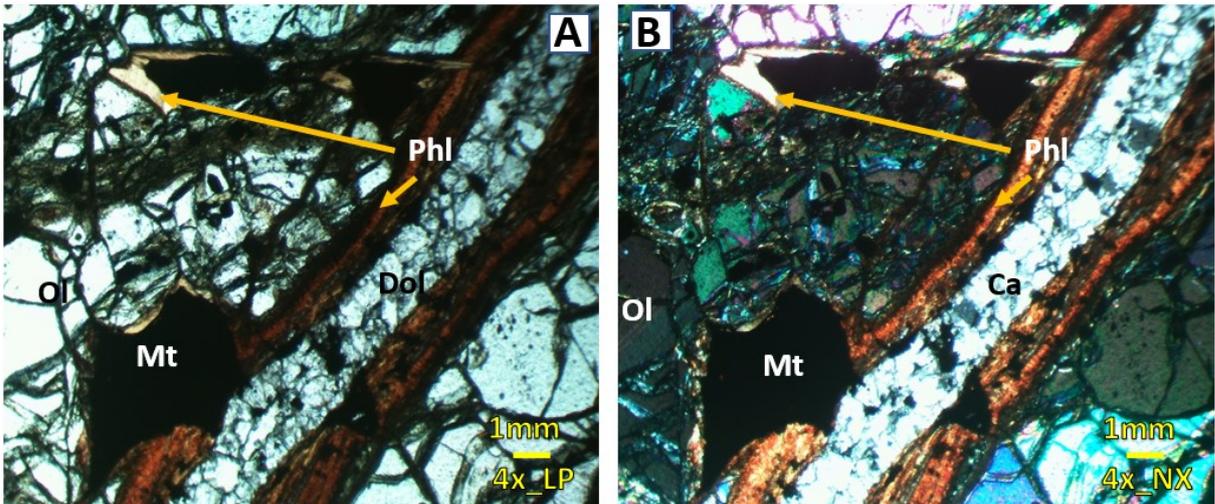
Na Fotomicrografia 39, pode-se observar veios de dolomita com flogopita e coroa de flogopita na magnetita, além da olivina, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

Com luz polarizada, é possível identificar as cores de alta interferência e alta birrefringência da olivina, tanto o veio de flogopita quanto a dolomita que preenchem o veio não alteraram.

Já na Fotomicrografia 40, nota-se mineral de olivina com presença de serpentina, e magnetita, sob objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

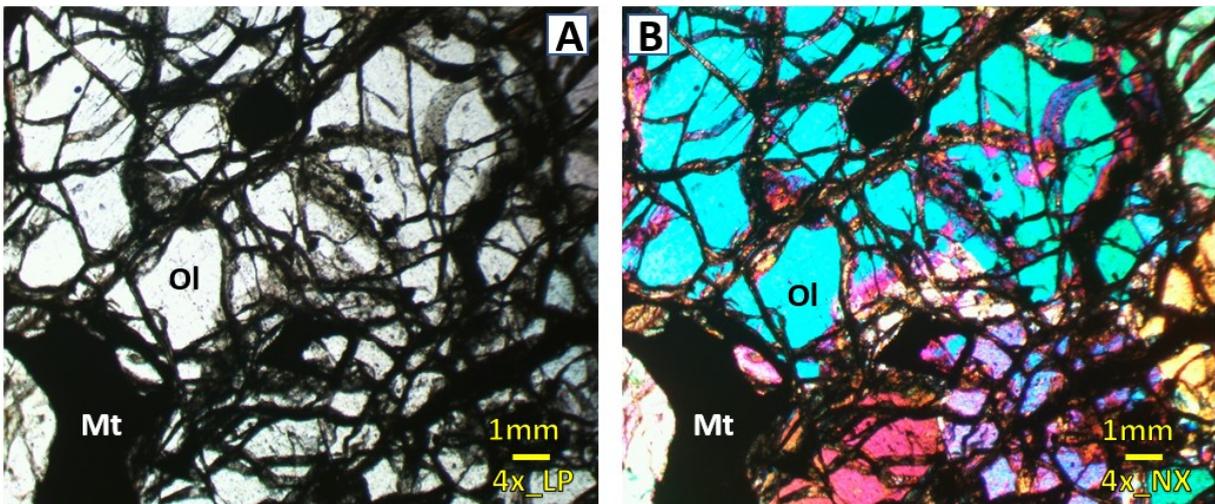
Com luz polarizada, é possível identificar as cores de alta interferência e alta birrefringência da olivina.

Fotomicrografia 39 - Veio de flogopita (Phl) preenchido por dolomita (Dol) sob olivina, com magnetita (Mt) e coroa de flogopita (Phl), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante mostrando alteração de cor, à nicóis cruzados.



Fonte: A autora (2023).

Fotomicrografia 40 – Olivina (Ol) com magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante mostrando alteração de cor da olivina, à nicóis cruzados.

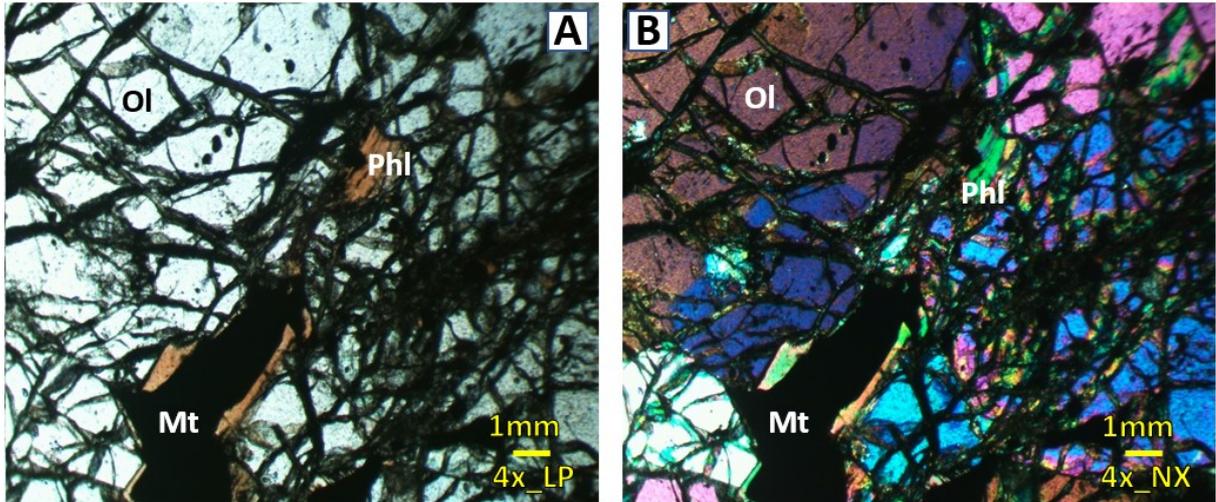


Fonte: A autora (2023).

Na Fotomicrografia 41, observa-se o processo de serpentinização da olivina, com mineral de flogopita coroadando a magnetita, com objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

Sob luz polarizada, é possível identificar as cores de alta interferência e alta birrefringência da olivina, a flogopita sofreu leve alteração na cor, já a magnetita, não.

Fotomicrografia 41 – (A) Olivina (Ol) com flogopita (Phl) coroando a magnetita (Mt), à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante mostrando alteração de cor da olivina, à nicóis cruzados.

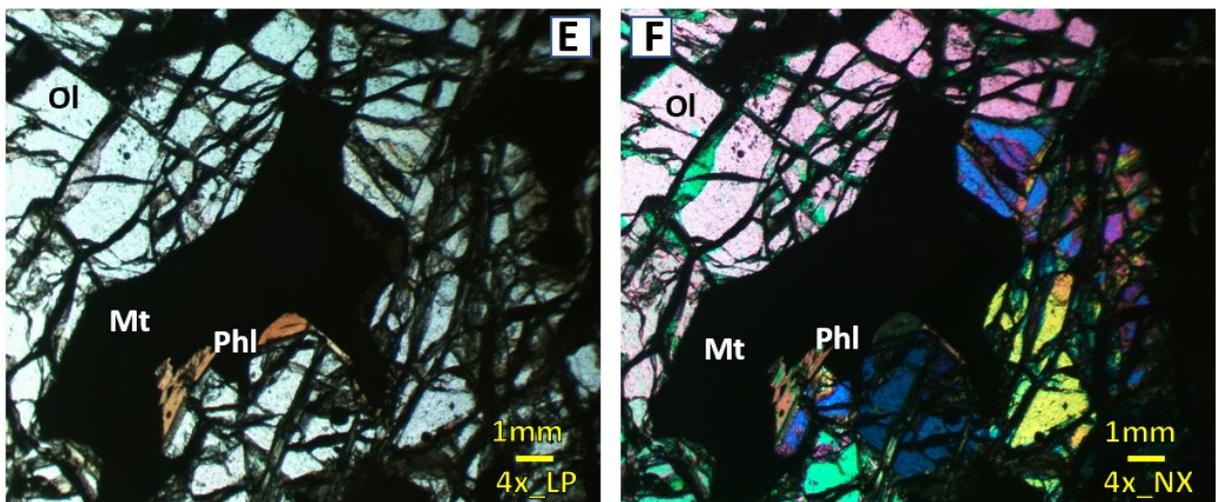


Fonte: A autora (2023).

Por fim, na Fotomicrografia 42, nota-se no dunito flogopitizado a intensa presença de olivina, magnetita e flogopita, com objetiva de menor aumento (4x) à luz plana e polarizada, respectivamente (LP e NX – A e B).

Sob luz polarizada, é possível identificar as cores de alta interferência e alta birrefringência da olivina, a flogopita sofreu leve alteração na cor.

Fotomicrografia 42 - (A) Olivina (Ol) com flogopita (Phl) bordejando a magnetita (Mt) à nicóis descruzados. (B) Fotomicrografia semelhante mostrando alteração de cor da olivina, à nicóis cruzados.



Fonte: A autora (2023).

5.8. RESULTADOS GERAIS

A partir de todo processo de caracterização petrográfica das lâminas geradas, foi possível realizar o percentual dos minerais que compõem as sete amostras, a seguir.

Tabela 1 – Distribuição percentual de minerais nas amostras.

<i>Mineral</i>	<i>1. Apatita-Olivina Flogopitito com Calcita (Amostra 1)</i>	<i>2. Dunito Serpentinizado (Amostra 2)</i>	<i>3. Flogopitito com grandes veios de Calcita (Amostra 3)</i>	<i>4. Flogopitito com finos veios de Dolomita (Amostra 4)</i>	<i>5. Olivina-Serpentina Flogopitito com Dolomita; (Amostra 5)</i>	<i>6. Flogopitito (Amostra 6)</i>	<i>7. Dunito com Flogopita (Amostra 7)</i>
<i>Apatita</i>	5	-	-	-	-	-	-
<i>Calcita</i>	21	-	37	-	-	30	-
<i>Clinohumita</i>	1	-	-	2	-	-	-
<i>Dolomita</i>	-	14	-	33	11	-	3
<i>Flogopita</i>	40	4	50	55	60	60	4
<i>Magnetita</i>	2	3	-	5	2	8	3
<i>Olivina</i>	30	75	-	-	25	-	90
<i>Óxidos</i>	-	1	5	-	-	-	-
<i>Minerais opacos</i>	-	-	8	5	-	2	-
<i>Perovskita</i>	1	3	-	-	2	-	-

Fonte: A autora (2023).

6. DISCUSSÃO

Conforme descrito por Grasso (2010), o Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra é formado por cerca de 70% de dunitos, que ocorrem a partir do contato externo com o quartzito encaixante, até o centro do domo. Nas porções central e norte do complexo, encontram-se duas intrusões de magnésio-carbonatito. Possivelmente durante o alojamento dessas intrusões ocorreram a formação de auréolas de brechação nos dunitos encaixantes, já no interior da intrusão setentrional, foram delimitadas duas regiões com predomínio de veios e diques de cálcio-carbonatitos.

Dentro desses domínios, de acordo com Grasso (*op. cit.*) foi identificado apatita cálcio-carbonatitos, que gradaram localmente para cumulados foscoríticos bandados. Com menos frequência, cumulados foscoríticos também estão associados aos magnésio-carbonatitos da intrusão setentrional. Perovskita bebedouritos ocorrem nas bordas das intrusões de magnésio-carbonatitos, além de diques de traquito porfirítico e de flogopita picrito, cortando as rochas do complexo.

A análise petrográfica das amostras de testemunhos, permitiu concluir que os litotipos que constituem o Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra podem ser classificados como: 1. Apatita-Olivina Flogopitito com Calcita; 2. Dunito Serpentinizado; 3. Flogopitito com grandes veios de Calcita; 4. Flogopitito com finos veios de Dolomita; 5. Olivina-Serpentina Flogopitito com Dolomita; 6. Flogopitito e 7. Dunito com Flogopita. Sendo assim, foi possível observar o domínio dos flogopititos e dunitos serpentinizados ou flogopitizados, no qual poderia sugerir que essas rochas estariam associadas a fase mais primitiva do líquido mais primitivo de Serra Negra, enquanto os dunitos resultariam diretamente do fracionamento de olivina desse magma parental.

A medida que o magma residual foi enriquecendo de forma gradual em CO₂, causou a saturação e separação de líquidos imiscíveis silicáticos-carbonatíticos, o que explicaria a presença da perovskita, e estas provavelmente foram cristalizadas a partir do líquido imiscível silicático, enquanto os magnésio-carbonatitos representam seu par conjugado carbonatítico.

As amostras de flogopititos apresentaram altas concentrações de flogopita, olivina (serpentinizada em sua maioria) magnetita e o carbonato (variando entre calcita e dolomita), com variações texturais, variações entre as proporções dos minerais e variações na proporção de veios de carbonato também. Da mesma forma, os dunitos também apresentaram semelhanças dos minerais presentes, diferenciando apenas as proporções da especialidade das olivinas.

Apesar dos testemunhos serem distintos entre si, houve intensa presença de flogopita, o que permitiu a classificação como flogopitito, portanto o que variou entre eles foi a forma de apresentação, além da intensidade e tipos de carbonatos, além dos demais minerais.

Algumas observações foram feitas, como por exemplo, as Amostras 1 e 5 (Apatita-Olivina Flogopitito com Calcita e Olivina-Serpentina Flogopitito com Dolomita) foram caracterizadas como Flogopitito, no qual a petrografia se apresentou mais diferenciada quando relacionada entre todas as demais amostras, isto se deve ao fato que, foram as únicas que apresentaram apatita na mineralogia com proporções diferentes.

Da mesma forma, a perovskita esteve presente apenas amostras 1, 2 e 5 (Apatita-Olivina Flogopitito com Calcita; Dunito Serpentinizado; Olivina-Serpentina Flogopitito com Dolomita). Em contrapartida, nos dunitos (2. Dunito Serpentinizado e 7. Dunito com Flogopita) havia uma semelhança entre as olivinas com pseudomorfos serpentinizados, variando apenas pela maior presença de magnetita e abundância de flogopita na Amostra 2, enquanto na 7, a flogopita estava subordinada, predominando assim a olivina.

Entre as Amostras 3 e 7 (Flogopitito com grandes veios de Calcita e Dunito com Flogopita, respectivamente) também houve uma leve semelhança em relação aos veios de carbonato que estavam com a flogopita circundando.

Entre o Dunito Serpentinizado e o Flogopitito com grandes veios de Calcita (Amostras 2 e 3) também foi possível fazer comparação em relação à massa carbonática presente, muito semelhantes entre si. Enquanto a amostra 2 se apresentou cortada por dois veios com bordas de alteração, textura geral fanerítica, maciça, granulação em geral fina, com estrutura cumulática formada por *cumulus*, dada a variação de olivina englobando flogopita, magnetita e o próprio carbonato (dolomita) *intercumulus*, a amostra 3 apresentou diversas texturas brechadas, semelhante às descritas por Grasso (2010).

De acordo com a autora, as intrusões carbonáticas causam brechação nas rochas silicáticas encaixantes, portanto, a maioria das brechas são constituídas por veios e diques de carbonatito que metassomatizaram localmente os dunitos, causando serpentinação das olivinas e os bebedouritos, convertendo-os em flogopititos metassomáticos.

Nas Amostras 2, 3 e 7 (Dunito Serpentinizado; Flogopitito com grandes veios de Calcita; Dunito com Flogopita; respectivamente) foi possível notar também a forma com o qual a flogopita estava presente, se apresentando em todas essas com microagregados finos, em forma de *intercumulus*, enquanto nas demais amostras, os fenocristais de flogopita estavam bem preservados, alguns ainda, chegando até a megacristais.

O Dunito Serpentinizado, representado pela Amostra 2, é tipicamente cinza escuro, cortado por veios claros de carbonato e flogopita com bordas de coloração marrom envolvendo os veios.

Em geral a textura é fanerítica, maciça fina, com estrutura cumulática formada por *cumulus*, dada a variação de olivina englobando flogopita, magnetita e o próprio carbonato *intercumulus*. Os minerais de alteração comuns abundantes são a serpentina e subordinadamente dolomita, e minerais de alteração como a clinohumita.

Petrograficamente, o trabalho de Grasso (2010) caracteriza rochas silicáticas da série bebedourítica do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra, portanto, foi possível realizar algumas análises comparativas. Um exemplo no qual a autora explica, é a descrição microscópica que existe a presença de olivina *cumulus* e magnetita *intercumulus* com a reação de coroa de flogopita. Nos resultados do presente trabalho, foi possível identificar algo bem parecido na Amostra 1 e 7 (Apatita-Olivina Flogopitito com Calcita e Dunito com Flogopita).

Outra semelhança entre os trabalhos, é que a autora reforça a presença de clinohumita como produto de alteração do dunito, além da tetra-ferriflogopita circundantes nos minerais de flogopita, no qual pode ser visto nas Amostras 1, 4 e 5, sendo Apatita-Olivina Flogopitito com Calcita, Flogopitito com finos veios de Dolomita e Olivina-Serpentina Flogopitito com Dolomita, respectivamente.

Sobre as definições da área, Grasso (2010) define que o flogopitito presente na área do Complexo Alcalino é oriundo do alojamento dos magnésio-carbonatitos que causaram auréolas de brechação nos dunitos, no qual as brechas cortam a rocha silicáticas, convertendo-o para flogopitito. Isso está inserido nas porções central e norte do Complexo (intrusão central e setentrional), portanto, pode-se inferir que os flogopititos descritos neste trabalho são dessa área do Complexo.

A autora também comenta que raros afloramentos de dunitos serpentinizados ocorrem na região noroeste do domo, no qual compreendem cerca de 70% do complexo, portanto, também pode-se inferir que os dunitos do presente trabalho pertencem a essa região. Algumas observações também foram realizadas em relação a discordância de dados, pois de acordo com Grasso (2010), é reforçado que os bebedouritos apresentam abundância em minerais de perovskita, no qual no presente trabalho não foi encontrado em grande quantidade, restritos apenas nas Amostras 1, 2 e 5, em poucas porcentagens.

Também é citado no trabalho de Grasso (*op. cit.*) outras mineralizações associadas a complexos alcalinos-carbonatíticos, como barita, fluorita, anatásio, vermiculita e cobre, e estes minerais não foram encontrados nas lâminas analisadas no presente trabalho.

7. CONCLUSÃO

O interesse despertado em se estudar mais profundamente as rochas que compõem o Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra, se caracteriza, não só pela proximidade geográfica da região, mas também pelo seu grande potencial geológico como um corpo alcalino proveniente de magma carbonático, que já é explorado por sua rica mineralogia e pode aumentar com a descoberta de novos minerais de interesse comercial, de modo a oportunizar um desenvolvimento regional.

A partir dos dados obtidos e informações acerca dos carbonatitos da região, foi possível compreender, a partir da identificação mineral, as prováveis classificações petrográficas, além das análises comparativas com outros trabalhos anteriores sobre a área (que contêm descrições mineralógicas, geoquímicas, geológicas e geocronológicas), para fundamentar o entendimento dos possíveis processos de origem, desenvolvimento e evolução do magma que gerou o Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra.

No Brasil, existem várias ocorrências de Províncias Alcalinas, onde a maioria se concentra na borda da Bacia Sedimentar do Paraná. O Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra faz parte da Província Ígnea do Alto Paranaíba – APIP – e a intrusão de carbonatitos nas rochas silicáticas ultramáficas teria gerado zonas de reação, nas quais as rochas ultramáficas primárias teriam sido convertidas em flogopititos, resultado predominante deste trabalho.

Tanto as flogopitas, flogopititos, quanto os dunitos com flogopita e serpentina, são descritos no trabalho de Grasso (2010), fazendo com que os dados obtidos e os estudados, se coincidissem. A forte presença de rochas pertencentes à série bebedourítica na área de estudo, indica que ocorreram vários processos de diferenciação magmática, como imiscibilidade de líquidos, cristalização fracionada em conjunto com processos metassomáticos, que deram origem à rochas alcalinas ultramáficas, formadas por rochas geradas por flogopita, apatita, olivina, magnetita, carbonatos mais cálcicos (em algumas litologias) e dolomíticos. Minerais estes, predominantes em todas as amostras descritas, com exceção do aparecimento de apatita e perovskita em algumas amostras.

Portanto, foi possível concluir que através da detalhada análise petrográfica das amostras de testemunhos do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra, foram identificadas as seguintes litologias: 1. Apatita-Olivina Flogopitito com Calcita; 2. Dunito Serpentinizado; 3. Flogopitito com grandes veios de Calcita; 4. Flogopitito com finos veios de Dolomita; 5. Olivina-Serpentina Flogopitito com Dolomita; 6 Flogopitito; 7. Dunito com Flogopita.

Concluindo com base na classificação e caracterização petrográfica ao ser comparada com o material geológico literário existente da região de estudo, mostrou muita similaridade com a pesquisa de Grasso (2010), que além da petrografia, trabalhou a geoquímica e fugacidade de oxigênio do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra, sugerindo assim, que todas as rochas de Serra Negra teriam uma conexão genética, relacionadas entre si por processos como cristalização fracionada, imiscibilidade de líquidos e metassomatismo.

8. REFERÊNCIAS

Agro 2.0 em <a href="https://agro20.com.br/mosaic-fertilizantes/". **Mosaic Fertilizantes é uma das mais importantes empresas do ramo.**

ALMEIDA, F.F.M. **Relações Tectônicas das Rochas Alcalinas Mesozoicas da Região Meridional da Plataforma Sul-Americana.** Revista Brasileira de Geociências, 13(3), 139–158. 1983.

AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. **Potassium-argon ages of alkaline rocks from southern Brasil.** Geoch. et Cosmoch. Acto, 31: 117-142. 1967.

BARBOSA, E.S.R.; BROD, J.A.; JUNQUEIRA-BROD, T.C.; CORDEIRO, P.F.O.; DANTAS, E.L.; SANTOS, R.V.; PINTO, H.S.D.; ARAÚJO, I.M.C.P. **Mineralogia e petrologia do complexo alcalino-foscorítico carbonatítico de Salitre I (Minas Gerais, Brasil).** 2010.

BECCALUVA, L.; BARBIERI, M.; BORN, H.; BROTZU, P.; COLTORTI, M.; CONTE, A.; GARBARINO, C.; GOMES, C.B.; MACCIOTTA, G.; MORBIDELLI, L.; RUBERTI, E.; SIENA, F.; TRAVERSA, G. **Fractional crystallization and liquid immiscibility processes in the alkaline-carbonatite complex of Juquiá (São Paulo, Brazil).** Journal of Petrology 33: 1371-1404. 1992.

BELL, K.; RUKHLOV, A.S. **Carbonatites: Origin, evolution and source characteristics.** In: Phoscorites and Carbonatites from Mantle to Mine: the Key Example of the Kola Alkaline Province (F. Wall and A.N. Zaitsev, editors) Mineralogical Society Series, PP. 433-468. 2004.

BERBERT, C.O. **Carbonatites and Associated Mineral Deposits in Brazil. In: Research on Mineral Deposits Associated with Carbonatite in Brazil. Research on Mineral Deposits Associated with Carbonatite in Brazil.** Report of International Research and Development Cooperation, pp. 131-152, (reprodução de artigo publicado em 1984 no Japan Geological Survey Report, 263, 269–290). 1987.

BEZERRA, M.A. & BROD, J.A. **Mineralogia da Apatita do Complexo Alcalino Carbonatítico de Tapira**. Universidade Federal de Goiás. Disponível em: http://www.sbpcnet.org.br/livro/63ra/conpeex/pibicbalcao/trabalhos/MATEUS_ARAUJO_BEZERRA.pdf. 2011.

BROD, J.A. **Petrology and geochemistry of the Tapira alkaline complex, Minas Gerais State, Brazil**. PhD Thesis, University of Durham, UK. 1999.

BROD, J.A.; RIBEIRO, C.C.; GASPAR, J.C.; JUNQUEIRA-BROD, T.C.; RIFFEL, B.F.; SILVA, J.F.; CHABAN, N.; A.J.D. **Geologia e Mineralizações dos Complexos Alcalino-Carbonatíticos da Província Ígnea do Alto Paranaíba**. In: Congresso brasileiro de geologia, 42., Araxá. 2004.

BRÖGGER, W.C. **Die Eruptivgesteine des Kristiannia-gebietes**. IV. Das Fengebiet in Telemarken, Norwegen. Norske Videns. Skrift. Mat. Naturv. Klasse, n. 9 . 1921.

COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C.B. (orgs.). **Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform**. São Paulo, Edusp/Fapesp, 159–211p. 2005.

COMIN-CHIARAMONTI, P.; FOULGER, R.G.; JURDY, D.M. (orgs.). **Plates, Plumes and Planetary Processes**, Special Paper, 430, 603–633. 2007.

COSTA, A.F.U.; FERNANDES, L.A.D.; SHUKIOWSKY, W.; NARDI, L.V.S.; BITENCOURT, M.F. **Teste dos Modelos Tectônicos e de Posicionamento do Complexo Granítico de Caçapava do Sul Através de Estudos de Modelagem Gravimétrica 3-D**. Revista Brasileira de Geofísica, 13(2), 91–101. 1995.

COUTINHO, J.M.V.C.; ENS, H.H. **Diques Lamprofíricos e Diferenciados Carbonatíticos da Região de São Sebastião e Itanhaém, SP (Resultados Preliminares)**. In: XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia, Resumos Expandidos, 1, 512–513. São Paulo: SBG. 1992.

COUTINHO, J.M.V. **Dyke Swarms of the Paraná Triple Junction, Southern Brazil**. Geologia USP. Série Científica, 8(2), 28–52. 2008.

DALTON, J.; PRESNALL, D. **Carbonatítico funde ao longo do solidus do lherzolito modelo no sistema CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-CO₂ de 3 a 7 GPa.** *Contrib Mineral Petrol* 131, 123–135. 1998.

EBERHARDT, D.B. **Elementos-traços em minerais do complexo alcalino carbonatítico de Tapira – MG.** Universidade de Brasília. Instituto de Geociências. 2014.

GIBSON, S.A.; THOMPSON, R.N.; DICKIN, A.P.; LEONARDOS, O.H. **High-Ti and low-Ti mafic potassic magmas: Key to plume-lithosphere interactions and continental floodbasalt genesis.** *Earth and Planetary Science Letters*, 136:149-165. 1995a.

GIBSON, S.A.; THOMPSON, R.N.; LEONARDOS, O.K.; DICKIN, A.P.; MITCHELL, J.G. **The Late Cretaceous impact of the Trindade mantle plume - evidence from large-volume, mafic, potassic magmatism in SE Brazil.** *Journal of Petrology*, 36:189-229. 1995b.

GIBSON, S.A.; BROD, J.A.; THOMPSON, R.N.; JUNQUEIRA-BROD, T.C.; SEER, H.J.; MORAES, L.C.; BOAVENTURA, G.R. **The kamafugite-carbonatite association in the Alto Paranaíba Igneous Province (APIP) Southeastern Brazil.** *Revista Brasileira de Geociências*. 30(3): 408-412. 2000.

GITTINS, J.; HARMER, R.E.; BARKER, D.S. **The Bimodal Composition of Carbonatites: Reality or Misconception?** *Lithos*, 85(1–4), 129–139. 2005.

GOMES, C.B.; RUBERTI, E.; MORBIDELLI, L. **Carbonatite complexes of Brazil: a review.** *Journal of South American Earth Sciences* 3:51-63. 1990.

GOMES, C.B.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; VELÁZQUEZ, V.F. **A Synthesis on the Alkaline Magmatism of Eastern Paraguay.** *Brazilian Journal of Geology*, 43(4), 745–761. 2013.

GOMES, C.B.; AZZONE, R.G.; RUBERTI, E.; VASCONCELOS, P. M.; SATO, K.; ROJAS, G.E.E. **New age determinations for the Banhadão and Itapirapuã Complexes in the Ribeira Valley, Southern Brazil.** *Brazilian Journal of Geology*. 48(2), 403–414. 2018.

GOMES C.B.; BERBERT, C.O.; RUBERTI, E.; BETTENCOURT, J.S.; CHMYZ, L.; ROSA, P.A.S.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; AZZONE, R.G.; FERNANDEZ, V.V.; APZ, V. **Os Carbonatitos Cretácicos da Plataforma Brasileira e suas Principais Características.**

São Paulo, Instituto de Geociências da USP, DOI:10.11606/9786586403008. ISBN: 978-65-86403-00-8. 253p. 2020.

GRASSO, C.B. **Petrologia do Complexo Alcalino Carbonatítico de Serra Negra, MG.** Universidade de Brasília, Instituto de Geociências. 2010.

GUARINO, V.; AZZONE, R.G.; BROTZU, P.; GOMES, C.B.; MELLUSO, L.; MORBIDELLI, L.; RUBERTI, E.; TASSINARI, C.C.G.; BRILLI, M. **Magmatism and Fenitization in the Cretaceous Potassium-Alkaline-Carbonatitic Complex of Ipanema São Paulo State, Brazil.** *Mineralogy and Petrology*, 104(1–2), 43–61. 2012.

HALL, A. **Igneous Petrology.** Prentice Hall, pp. 417. 1996.

HARALYI, N.L.E. **Carta Gravimétrica do Oeste de Minas Gerais, Sudeste de Goiás e Norte de São Paulo.** Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 152p. 1978.

HEINRICH, E.W. **The Geology of Carbonatites.** Rand M.cNally and Comp., Chicago, 609 p., 1966.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Tectônica da Bacia do Paraná.** São Paulo, Relatório, 91, 1–187. 1980.

KJARSGAARD, B.A.; HAMILTON, D.L. **The genesis of carbonatites by immiscibility.** In: K. Bell, Ed., *Carbonatites: genesis and evolution.* London, Unwin Hyman, 388-404. 1989.

LE MAITRE, R.W. (ed.) **Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks**, 2nd ed. xvi + 236 pp. *Geological Magazine*, 140(3), 367–367. 2002.

LEE, W.J.; WYLLIE, P.J. **Processes of Crustal Carbonatite Formation by Liquid Immiscibility and Differentiation, Elucidated by Model Systems.** *Journal of Petrology*, Volume 39, Issue 11-12, November 1998, Pages 2005–2013. 1998.

LEE, W.J.; FANELLI, M.F.; CAVA, N.; WYLLIE, P.J. **Calciocarbonatite and magnesiocarbonatite rocks and magmas represented in the system CaO-MgO-CO₂-H₂O at 0.2 GPa.** *Mineralogy and Petrology* 68: 225-256. Leonardos, O.H., Carval. 2000.

MARIANO A.N.; MARCHETTO, M. **Serra Negra and Salitre carbonatite alkaline igneous complex**. In: LEONARDO, O. H., MEYER, H. O. A., GASPAR, J. C. (eds.). In: 5th International Kimberlite Conference Araxá, Field Guide Book, CPRM, Special Publication 3/91, p. 75-79. 1991.

MELCHER, G.C. **Nota Sobre o Distrito Alcalino de Jacupiranga, São Paulo**. Divisão de Geologia e Mineralogia, Notas Preliminares, p.84. 1954.

MELCHER, G.C. **O Carbonatito de Jacupiranga**. Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, Geologia, 21, 1–75. 1965.

MELCHER, G.C.; COUTINHO, J.M.V. **Rochas Alcalinas e Carbonatito de Anitápolis, Estado de Santa Catarina**. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, v.15, p. 59–93. 1966.

MELO, M.T.V. **Depósitos de Fosfato, Titânio e Nióbio de Tapira, Minas Gerais**. In: C. Schobbenhaus, E.T. Queiroz, C.E.S. Coelho (Eds). Principais depósitos minerais do Brasil. DNPM/CPRM, Brasília, 41-56. 1997.

MITCHELL, R.H. **Kimberlites: Mineralogy, Geochemistry and Petrology**. Nova York, Plenum Press.552p. 1986.

MITCHELL, R.H. **Carbonatites and Carbonatites and Carbonatites**. The Canadian Mineralogist, 43, 2049–2068.2005.

MONTEIRO, C.F.; TONIOLO, J.A.; ABRAM, M.B. **Carbonatitos Associados ao Escudo Sul-Riograndense, Rio Grande do Sul**. In: Abram, M. B., Bahiense, J. C. & Almeida R. C. (orgs). Projeto Fosfato Brasil – Parte II. CPRM, Informe de Recursos Minerais, Série Insumos Minerais para Agricultura, 17, 433–449. 2016.

MORBIDELLI, L.; GOMES, C.B.; BECCALUVA, L.; BROTZU, P.; GARBARINO, C.; RIFFEL, B.F.; RUBERTI, E.; TRAVERSA, G. **Parental Magma Characterization of Salitre Cumulate Rocks (Alto Paranaíba Alkaline Province, Brazil) as Inferred from Mineralogical, Petrographic, and Geochemical Data**. International Geology Review, Vol. 39, p. 723-743. 1997.

PECORA, W.T. **Carbonatites, a review**. Geological Society of America Bulletin, v. 67, p. 1537-1556. 1956.

PENA, G.S. **Geologia da Área do Projeto Goiânia II, Sudoeste de Goiás.** In: XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, 4, 37–50. Porto Alegre: SBG. 1974.

RICCOMINI, C.; VELÁZQUEZ, V.F.; GOMES, C. B. **Tectonic Controls of the Mesozoic and Cenozoic Alkaline Magmatism in the Central-Southeastern Brazilian Platform.** In: **Comin-Chiaramonti, P. & Gomes, C. B. (orgs.), Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform.** São Paulo: Edusp/Fapesp, 31-56. 2005.

RIBEIRO, C.C.; BROD, J.A.; GASPAR, J.C.; PETRINOVIC, I.A.; GRASSO, C.B.; JUNQUEIRA-BROD, T.C. **Textural evidence for liquid immiscibility in the kamafugitecarbonatite association: the alkaline-carbonatite complex of Catalão I, Alto Paranaíba Igneous Province.** In: **Simp. Vulcanismo e Ambientes Associados, 3, Cabo Frio, RJ, 137-141.** 2005.

RIBEIRO, C.C. **Geologia, geometalurgia, controles e gênese dos depósitos de fósforo, terras raras e titânio do complexo carbonatítico Catalão I, GO.** Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasil. 2008.

RODRIGUES, C.S.; LIMA, P.R.A.S. **Complexos Carbonatíticos do Brasil.** In: **Complexos Carbonatíticos do Brasil: Geologia.** São Paulo, Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração, 1–17. 1984.

RUBERTI, E.; CASTORINA, F.; CENSI, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C.B.; ANTONINI, P.; ANDRADE, F.R.D. **The geochemistry of the Barra do Itapirapuã carbonatites (Ponta Grossa Arch, Brazil): a multiple stockwork.** *Journal of South American Earth Sciences* 15:215-228. 2002.

RUBERTI, E.; GOMES, C.B.; COMIN-CHIARAMONTI, P. **The Alkaline Magmatism from the Ponta Grossa Arch.** In: **Comin-Chiaramonti, P. & Gomes, C. B. (orgs.), Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform.** São Paulo, Edusp/Fapesp, 473-522. 2005.

SGARBI, P.B.A.; GASPAR, J.C. **Geochemistry of Santo Antônio da Barra Kamafugites, Goiás, Brazil.** *Journal of South American Earth Sciences*, 14(8), 889–901. 2002.

SLAVEC, G.B. **Estudo gravimétrico do Complexo Alcalino de Juquiá**. São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, Trabalho de Graduação, 50p. 2000.

SEER, H.J.; MORAES, L.C.; SILVA, C.H. **Folha Araxá, SE-23-Y-C-VI, 2015. Escala 1:100.000 (mapas, relatório SIG)**. In: Pedrosa-Soares, A., Voll, E., Profeta, A. (Coordenadores), Projeto Fronteiras de Minas (ISBN: 978-85-89923-04-0) CODEMIG/FUNDEP-UFMG, Editora CODEMIG (www.portaldageologia.com.br), Belo Horizonte, Brasil. 2015.

SPEZIALE, S.; CASTORINA, F.; CENSI, P.; GOMES, C.B.; MARQUES, L.S.; COMIN-CHIARAMONTI, P. **Carbonatites from the Southern Brazilian Platform: I**, Open Geosciences, 12(1), 452-478. 2020.

STRECKEISEN, A.L. **Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites, and melilitic rocks: Recommendations and suggestions of the IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks**. Channan, IUGS Subcommittee Mineralogisches Institut, Sahlstrasse, 6. Geology, v. 7, p. 331-335. 1979.

TONIOLO, J.A.; REMUS, M.V.D.; PARISI, G.N.; DANI, N. **Dois Eventos Carbonatíticos Temporalmente Distintos no RS: Tipos Linear e Central**. In: VIII Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia. Foz do Iguaçu: SBG. 2013.

TRÖGER, E. **Alkaligesteine aus der Serra do Salitre im westlichen Minas Geraes, Brasilien**. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Abt A: 202-204. 1928.

TUTTLE, O.F. & GITTINS, J. **Carbonatites**. Interscience Publishers, New York. 591 pp. 1966.

ULBRICH, H.H.; VLACH, S.R.F.; ULBRICH, M.N.C.; KAWASHITA, K. **Penecontemporaneous Syenitic-Phonolitic and Basic-Ultrabasic-Carbonatitic Rocks at the Poços de Caldas Alkaline Massif, SE, Brazil: Geologic and Geochronologic Evidence**. Revista Brasileira de Geociências, 32, 15–26. 2002.

VIGNERESSE, J.L. **Control of granite emplacement by regional deformation**. Tectonophysics 249(3-4), p. 173-186. 1995.

VLACH, S.R.F.; ULBRICH, M.N.C.; ULBRICH, H. H.; GUALDA, G.A.R. **Rochas de Afinidades Alnoíticas e Sílico-Carbonatíticas Periféricas ao Maciço Alcalino de Poços de Caldas (MG-SP)**. In: XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, 2, 128–130. Salvador: SBG. 1996.

WERNICK, E. **Rochas Magmáticas: Conceitos Fundamentais e Classificação Modal, Química, Termodinâmica e Tectônica**. São Paulo-SP, Ed. Unesp. 655 p. 2004.

WOOLLEY, A.R.; KEMPE, D.R.C. **Carbonatites: nomenclature, average chemical compositions, and element distribution**. In: Bell K (ed) Carbonatites: Genesis and Evolution, Unwin Hyman, pp .1-14. 1989.

WOOLLEY, A.R.; KJARSGAARD, B.A. **Paragenetic Types of Carbonatite as Indicated by the Diversity and Relative Abundances of Associated Silicate Rocks: Evidence from a Global Database**. The Canadian Mineralogist, 46(4), 741-752. 2008.

ANEXOS

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA													
Trabalho de Conclusão de Curso													
Número da Lâmina: Amostra 1										Ponto: —			
Longitude: —					Latitude: —					Altitude: —			
Unidade Estratigráfica: —													
Carta Geológica: —													
Assinale com um X os diferentes procedimentos de preparação e analíticos efetuados nesta amostra													
BRA	LD	LP	Brita	Pó	AM	AQM	AQMe	ETR	Rb/Sr	Sm/Nd	Pb/Pb	U/Pb	SP
x	x				x								
BRA = Bloco reserva da Amostra, LD = Lâmina Delgada, LP = Lâmina Polida, AM= Análise de Minerais, AQM= Análise Química de Maiores, AQMe = Análise Química de Menores, Análises isotópicas (Rb/Sr, Sm/Nd, Pb/Pb e U/Pb), SP = Separação de Minerais													
Minerais (%)									Análise Modal de Rochas Ígneas				
Apatita : 5						Magnetita: 2			Q		X		
Calcita: 21						Olivina: 30			A		X		
Clinohumita: 1						Óxidos: -			P		X		
Dolomita: -						Minerais Opacos: -			F		X		
Flogopita: 40						Perovskita : 1			Total		100		

Descrição Microscópica (ordem decrescente de abundância)
Minerais Essenciais: Flogopita, olivina e apatita;
Minerais Acessórios: Calcita, clinohumita, magnetita e perovskita;
Minerais e Processos de Alteração: olivina serpentinizada;
Descrição Macroscópica da Lâmina
<p>A amostra 1 é constituída de fenocristais de flogopita, intercalada com minerais de olivina, calcita, apatita. Possui estrutura maciça, com cristais de flogopita em massa de composição de cristais milimétricos com granulação de até 0,8 cm constituído por olivina (de coloração verde escuro), perovskita e minerais opacos (com coloração variando de marrom a preto), que formam contatos irregulares com grandes cristais de flogopita (douradas a amarronzadas), na forma de fenocristais bem desenvolvidos sob a forma lamelar e planares, de granulação grossa, que podem ultrapassar dimensões com cerca de 5,5 cm. É possível observar a presença de apatita perfazendo porção de cor amarelo-esverdeada, delimitando a apatita com o carbonatito.</p>
Fotomicrografia da Amostra



Nome da Rocha: Apatita-Olivina Flogopitito com Calcita

Descrição dos Minerais

Apatita

Foi possível observar a apatita (0,5 mm) variando de subédrica a anédrica, apresentou-se com formato prismático longo (“bastão”) de pontas arredondadas.

Calcita

Entre as porções de olivina e flogopita, foi possível verificar a presença de carbonato (calcita), apatita, magnetita e demais minerais opacos distribuídos como microinclusões dentro da flogopita, além da borda da olivina.

Clinohumita

A clinohumita é um produto de alteração comum nas bordas dos cristais de olivina e, em casos raros, substitui integralmente os cristais originais.

Dolomita

Não ocorreu na amostra 1.

Flogopita

A flogopita variou de euédrica a subédrica, incolor a levemente rosada à luz paralela, possuindo relevo baixo, clivagem perfeita a uma direção e hábito lamelar a planar. À luz cruzada, apresentou típica cor de alta interferência e alta birrefringência. Apresentou-se na forma de fenocristais planares superdesenvolvidos, com dimensões que variaram de 0,7 mm a 10 mm.

Magnetita

A magnetita e os demais minerais opacos considerados como magnetita na amostra, estavam distribuídos como microinclusões dentro da flogopita.

Olivina

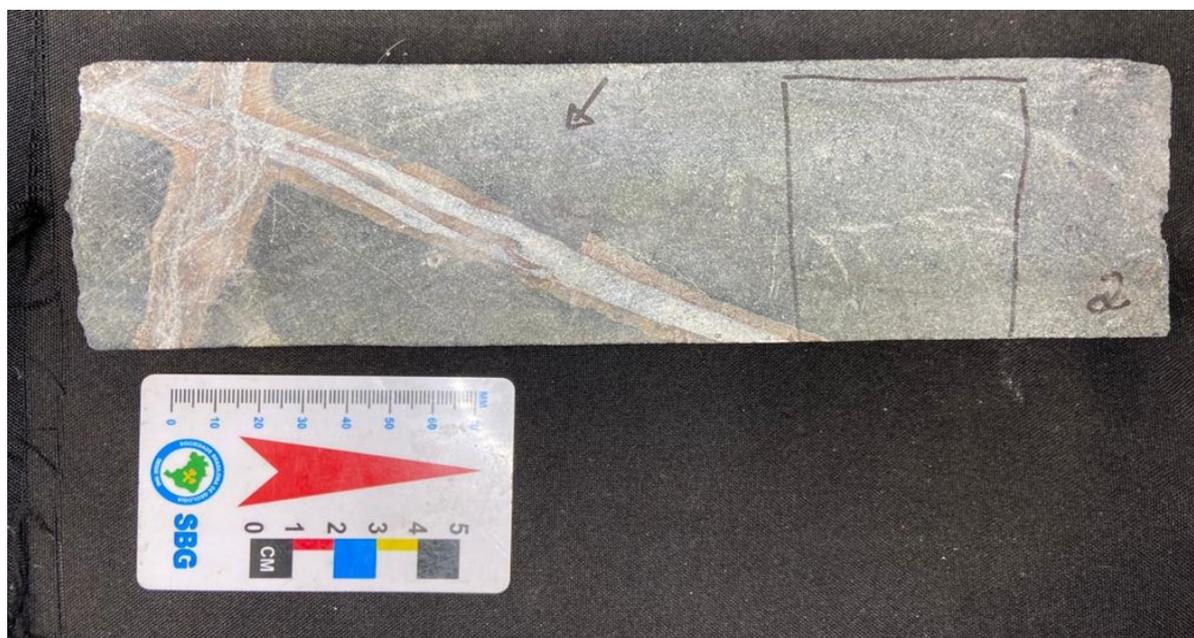
Foi possível observar a presença de pseudomorfos de olivina serpentizada e textura poiquilítica, marcada pela presença de diversos microcristais de magnetita e minerais opacos em cristais maiores dentro das flogopitas e calcitas. A olivina apresentou-se como fenocristais e em agregados equigranulares, com dimensões variando de 0,8 a 1,4 mm. Em geral, eram subédricos a anédricos, frequentemente arredondados. Apareceram como típicos cristais incolores, relevo muito alto, fortemente microfraturados e muitas vezes substituídos por pseudomorfos de serpentina sobre olivina. Alguns apresentavam leve coloração amarelo-esverdeado pálido com pleocroísmo amarelo pálido, sob a luz cruzada as cores se tornavam intensas, com alta birrefringência, variando de laranja, rosa a azul de 2º e 3º ordem.

Óxidos

<p>BRA = Bloco reserva da Amostra, LD = Lâmina Delgada, LP = Lâmina Polida, AM= Análise de Minerais, AQM= Análise Química de Maiores, AQMe = Análise Química de Menores, Análises isotópicas (Rb/Sr, Sm/Nd, Pb/Pb e U/Pb), SP = Separação de Minerais</p>			
Minerais (%)		Análise Modal de Rochas Ígneas	
Apatita : -	Magnetita: 3	Q	X
Calcita: -	Olivina: 75	A	X
Clinohumita: -	Óxidos: 1	P	X
Dolomita: 14	Minerais Opacos: -	F	X
Flogopita: 4	Perovskita: 3	Total	100
<p>Descrição Microscópica (ordem decrescente de abundância)</p>			
<p>Minerais Essenciais: Olivina, dolomita e flogopita;</p>			
<p>Minerais Acessórios: Perovskita, magnetita, óxidos.</p>			
<p>Minerais e Processos de Alteração: olivina serpentinizada;</p>			
<p>Descrição Macroscópica da Lâmina</p>			

A amostra 2 é tipicamente cinza-escuro, cortado por veios claros de carbonato e flogopita e bordas de coloração marrom envolvendo os veios. Em geral a textura é fanerítica, maciça fina, com estrutura cumulática formada por *cumulus*, dada a variação de olivina englobando flogopita, magnetita e o próprio carbonato *intercumulus*. Os minerais de alteração comuns abundantes são a serpentina e subordinadamente carbonato, argilo-minerais e clinohumita. É possível identificar a presença de magnetita de coloração preta, com um veio constituído de flogopita de granulação grossa (vermelha), e o carbonato intersticial de coloração branca, considerado dolomítico. Há o cumulado de magnetita, no qual houve forte atração quando submetido à teste de ímã. Quando observado em lupa de grande aumento, foi possível reconhecer também perovskita, apatita e olivina, em menores frações.

Fotomicrografia da Amostra



Nome da Rocha: - Dunito Serpentinizado

Descrição dos Minerais

Apatita

Não ocorreu na amostra 2.

Calcita	
Não ocorreu na amostra 2.	
Clinohumita	
Não ocorreu na amostra 2.	
Dolomita	
<p>A dolomita apresentou coloração variando em algumas porções de pouco cinza a tons marrons (teores de Fe). Apresentou formas variando de subédrica a euédrica, de hábito granular a lamelar, e quando submetida a luz cruzada, mostrou cores cremes, de ordens elevadas. Quando em extinção, apresentou coloração cinza, com birrefringência de 0,180 e caráter uniaxial negativo.</p>	
Flogopita	
<p>A flogopita apresentou coloração levemente marrom a marrom-vermelho pálido, com leve pleocroísmo. Isso se deve, provavelmente, devido a adição de Fe e portanto, se destacou na forma de cristais individuais de 0,1 a 3,5 mm mas frequentemente como microagregados finos, <i>intercumulus</i>, geralmente associados à magnetita, formando bordas, possivelmente devido à reação da magnetita com um líquido residual rico em potássio.</p>	
Magnetita	
<p>A magnetita apresentou granulação fina a grossa, em média 0,18 mm, quase euédrica, preferencialmente concentrada em faixas, juntamente com flogopita.</p>	
Olivina	

A olivina predomina na amostra, seus cristais variaram de 0,6 a 2,5 mm, com presença de minerais de serpentina preenchendo as microfraturas na forma de finos veios. Inclusões de minerais opacos puderam ser observados por vezes, sendo comum a substituição nas bordas dos cristais de olivina por serpentina (quando há uma substituição total fica evidente por esses minerais de olivina se mostrarem como pseudomorfos, tendo magnetita como subproduto da reação).

Óxidos

Os óxidos e hidróxidos de Fe, se mostraram distribuídos amplamente entre e dentro de cristais desenvolvidos de flogopita.

Minerais Opacos

Os minerais opacos, representados pela magnetita (0,1 a 2,0 mm), perovskita (0,1 a 1,0 mm), óxido e hidróxido de Fe, se mostraram distribuídos amplamente entre e dentro de cristais desenvolvidos de flogopita, como inclusões dos cristais, provavelmente representando uma fase *cumulus*, tardia, a *intercumulus*, fina (0,25 mm).

Perovskita

A perovskita por ser um mineral raro, provavelmente se apresenta diante da substituição de cálcio por sódio e titânio por nióbio. Como minerais secundários, se destacaram a serpentina e argilominerais que por vezes formam bordas em cristais de olivina, como produto de alteração.

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso

Número da Lâmina: Amostra 3

Ponto: —

Longitude: —

Latitude: —

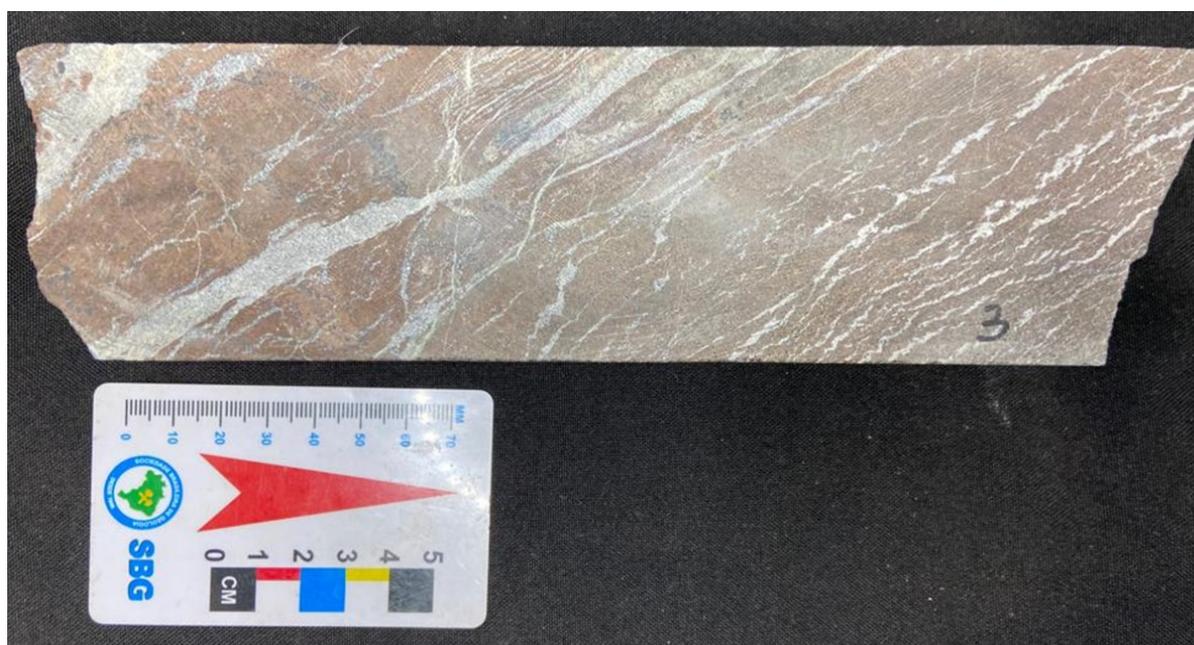
Altitude: —

Unidade Estratigráfica: —													
Carta Geológica: —													
Assinale com um X os diferentes procedimentos de preparação e analíticos efetuados nesta amostra													
BRA	LD	LP	Brita	Pó	AM	AQM	AQMe	ETR	Rb/Sr	Sm/Nd	Pb/Pb	U/Pb	SP
x	x				x								
BRA = Bloco reserva da Amostra, LD = Lâmina Delgada, LP = Lâmina Polida, AM= Análise de Minerais, AQM= Análise Química de Maiores, AQMe = Análise Química de Menores, Análises isotópicas (Rb/Sr, Sm/Nd, Pb/Pb e U/Pb), SP = Separação de Minerais													
Minerais (%)									Análise Modal de Rochas Ígneas				
Apatita : -									Magnetita: -		Q	X	
Calcita: 37									Olivina: -		A	X	
Clinohumita: -									Óxidos: 5		P	X	
Dolomita: -									Minerais Opacos: 8		F	X	
Flogopita: 50									Perovskita: -		Total	100	
Descrição Microscópica (ordem decrescente de abundância)													
Minerais Essenciais: Flogopita, calcita													
Minerais Acessórios: Opacos, clinohumita													
Minerais e Processos de Alteração: Flogopita alterada para tetra-ferriflogopita													

Descrição Macroscópica da Lâmina

A amostra 3 apresentou diversas texturas brechadas, no qual os veios de carbonato variaram de finos a médios, constituídos essencialmente por calcita, não sendo possível identificar nenhum mineral acessório ou secundário a olho nú ou lupa.

Fotomicrografia da Amostra



Nome da Rocha: - Flogopitito com grandes veios de Calcita

Descrição dos Minerais

Apatita

Não ocorreu na amostra 3.

Calcita

<p>A calcita apareceu constituindo uma massa de granulação fina e textura equigranular, de hábito variando de subédrico a anédrico e granulação variando de 0,1 a 0,85 mm, formando bandas carbonatíticas em cumulos. O carbonato apresentou-se em alguns momentos, fortemente recristalizado ao longo de fraturas, desenvolvendo um aspecto turvo e abundantes microinclusões, sugerindo tratarem-se de produtos resultantes de exsolução.</p>	
Clinohumita	
<p>Não ocorreu na amostra 3.</p>	
Dolomita	
<p>Não ocorreu na amostra 3.</p>	
Flogopita	
<p>A flogopita apresentou intensa cor vermelha principalmente em suas bordas, podendo ser chamada de tetra-ferriflogopita (o que dá impressão de relevo mais alto), em geral, as formas variaram de euédrica a subédrica, e apresentaram clivagem perfeita a uma direção. Apresentaram diminutos cristais lamelares e dimensões que variaram de microgranulares a 0,50 mm.</p>	
Magnetita	
<p>Não ocorreu na amostra 3.</p>	
Olivina	
<p>Não ocorreu na amostra 3.</p>	
Óxidos	

Os óxidos de alteração apareceram por vezes alinhadas na lateral do bandamento rico em tetra-ferriflogopita

M. Opacos

Os minerais opacos estavam muitas vezes alinhados na lateral do bandamento rico em tetra-ferrio-flogopita e alterações como a clinohumita associados a calcita, às vezes subédrica mas comumente anédral, cor marrom amarelado, mineral rico em Ti típico de metassomatismo.

Perovskita

Não ocorreu na amostra 3.

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso

Número da Lâmina: Amostra 4

Ponto: —

Longitude: —

Latitude: —

Altitude: —

Unidade Estratigráfica: —

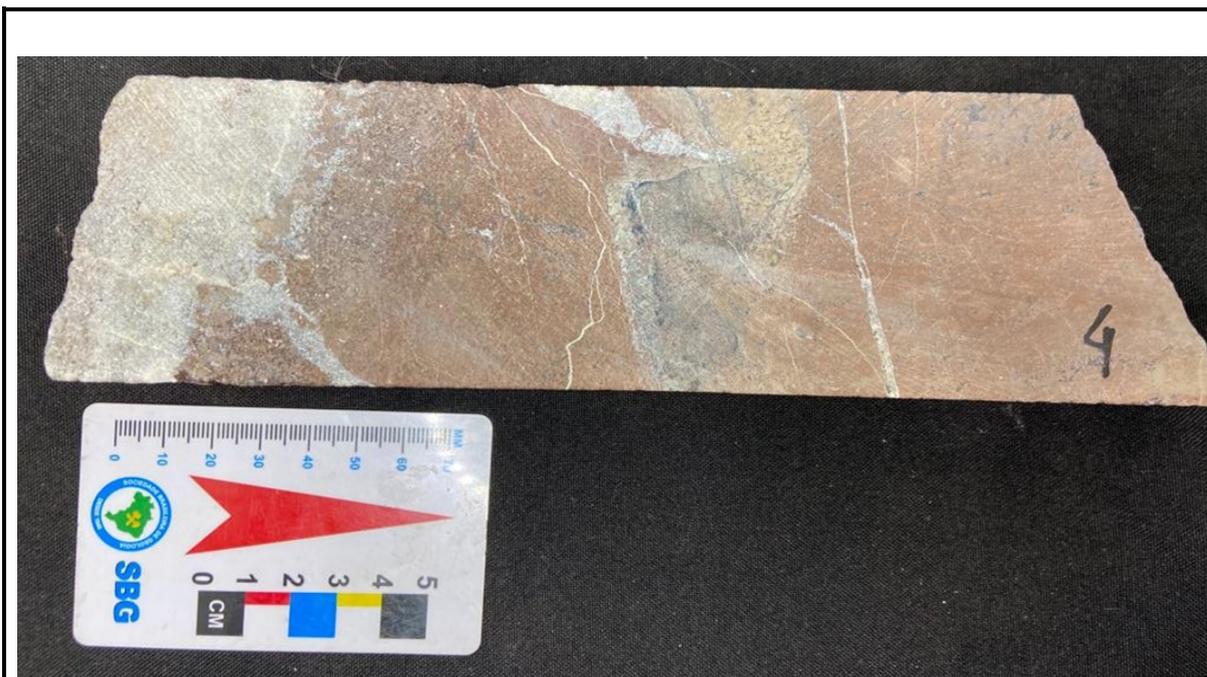
Carta Geológica: —

Assinale com um X os diferentes procedimentos de preparação e analíticos efetuados nesta amostra

BRA	LD	LP	Brita	Pó	AM	AQM	AQMe	ETR	Rb/Sr	Sm/Nd	Pb/Pb	U/Pb	SP
x	x				x								

BRA = Bloco reserva da Amostra, LD = Lâmina Delgada, LP = Lâmina Polida, AM= Análise de Minerais, AQM= Análise Química de Maiores, AQMe = Análise Química de Menores, Análises isotópicas (Rb/Sr, Sm/Nd, Pb/Pb e U/Pb), SP = Separação de Minerais

Minerais (%)		Análise Modal de Rochas Ígneas	
Apatita : -	Magnetita: 5	Q	X
Calcita: -	Olivina: -	A	X
Clinohumita: 2	Óxidos: -	P	X
Dolomita: 43	Minerais Opacos: 5	F	X
Flogopita: 45	Perovskita: -	Total	100
Descrição Microscópica (ordem decrescente de abundância)			
Minerais Essenciais: Flogopita, dolomita			
Minerais Acessórios: Magnetita, opacos, clinohumita			
Minerais e Processos de Alteração: flogopita alterada para tetra-ferriflogopita			
Descrição Macroscópica da Lâmina			
<p>A amostra 4 apresenta finos veios quando vistos no microscópio, o contato é bem evidente com aspecto irregular, textura maciça e de composição carbonática. É possível identificar do lado esquerdo da amostra, o contato variando entre as bandas irregulares a lobuladas, de cores diferentes, constituída por dolomita, sendo uma mais preservada de coloração cinza escura e outra alterada de cor marrom. Já no lado direito, é possível ver uma maior presença de novos minerais além da dolomita, como flogopita lamelares, magnetita e olivina. A partir desta amostra, foi possível definir o início da alteração, onde os carbonatos ainda estão preservados, alterando sua cor de verde para um tom marrom.</p>			
Fotomicrografia da Amostra			



Nome da Rocha: Flogopitito com finos veios de Dolomita

Descrição dos Minerais

Apatita

Não ocorreu na amostra 4.

Calcita

Não ocorreu na amostra 4.

Clinhumita

A clinhumita apareceu como material de alteração da flogopita presente.

Dolomita	
<p>A dolomita apresentou relevo variando entre baixo, incolor, subédrico a anédrico, comumente granular. Suas dimensões variaram de microcristalina a 1,0 mm, às vezes apareceu sob a forma de cristais individuais, fazendo parte da matriz ou microcristalino quando preenche os microveios.</p>	
Flogopita	
<p>A flogopita variou de dimensões de microcristalinas até minerais euédricos, placóides com 2,6 mm quando maiores e lamelares quando menores. Apresentou clivagem perfeita a uma direção, euédrica a subédrica, quando em cristais maiores apresentou intensa cor vermelha principalmente em suas bordas podendo ser chamada de tetra-ferriflogopita, A ocorrência da tetra-ferriflogopita (flogopita com pleocroísmo invertido se dá devido à substituição de Al^{3+} por Fe^{3+} no sítio tetraédrico) é comum em carbonatitos, o que dá impressão de relevo mais alto, portanto apresentou várias inclusões de opacos (magnetita) e intenso microfraturamento frequentemente preenchido por dolomita, às vezes muito micro cristalinas.</p>	
Magnetita	
<p>A magnetita juntamente com os minerais opacos, apareceram sob a forma de inclusões dentro da flogopita, lateralmente microgranulares alinhadas ao longo da lateral dos veios de carbonatitos.</p>	
Olivina	
<p>Não ocorreu na amostra 4.</p>	
Óxidos	
<p>Não ocorreu na amostra 4.</p>	
M. Opacos	

Os minerais opacos apareceram sob a forma de inclusões dentro da flogopita, lateralmente microgranulares alinhadas ao longo da lateral dos veios de carbonatitos.

Perovskita

Não ocorreu na amostra 4.

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso

Número da Lâmina: Amostra 5

Ponto: —

Longitude: —

Latitude: —

Altitude: —

Unidade Estratigráfica: —

Carta Geológica: —

Assinale com um X os diferentes procedimentos de preparação e analíticos efetuados nesta amostra

BRA LD LP Brita Pó AM AQM AQMe ETR Rb/Sr Sm/Nd Pb/Pb U/Pb SP

x	x				x										
---	---	--	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

BRA = Bloco reserva da Amostra, LD = Lâmina Delgada, LP = Lâmina Polida, AM= Análise de Minerais, AQM= Análise Química de Maiores, AQMe = Análise Química de Menores, Análises isotópicas (Rb/Sr, Sm/Nd, Pb/Pb e U/Pb), SP = Separação de Minerais

Minerais (%)

Análise Modal de Rochas

Ígneas

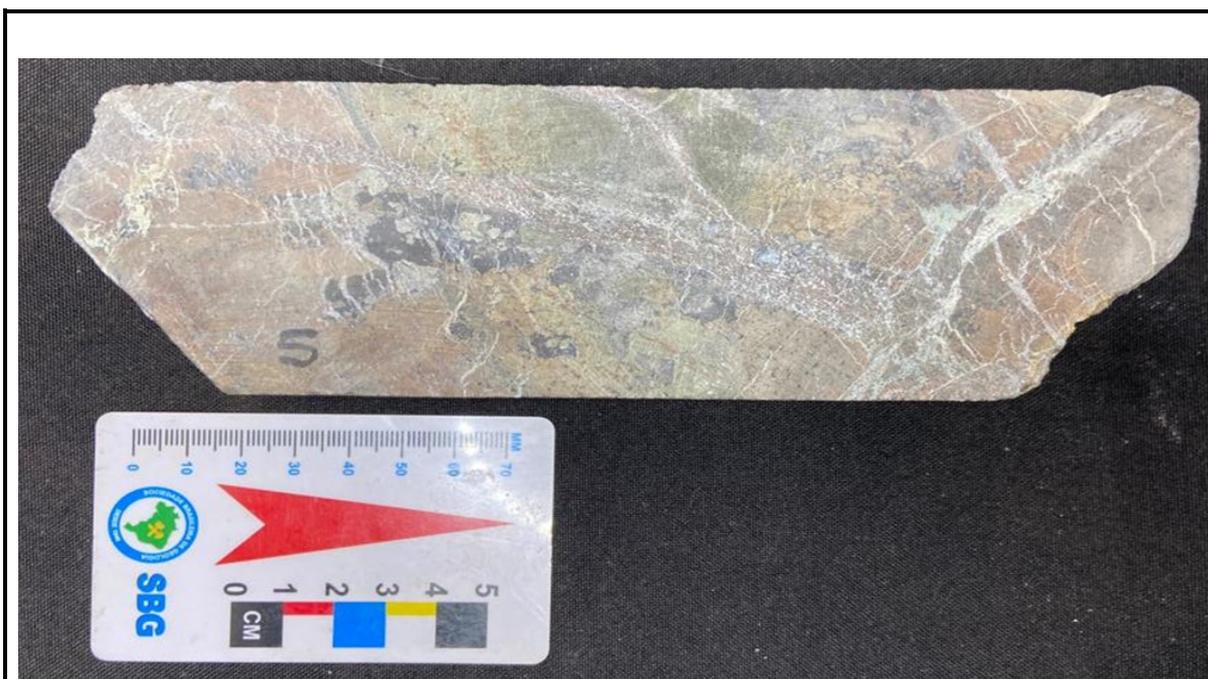
Apatita : -

Magnetita: 2

Q

X

Calcita: -	Olivina: 25	A	X
Clinohumita: -	Óxidos: -	P	X
Dolomita: 11	Minerais Opacos: -	F	X
Flogopita: 60	Perovskita: 2	Total	100
Descrição Microscópica (ordem decrescente de abundância)			
Minerais Essenciais: Flogopita, olivina			
Minerais Acessórios: Dolomita, magnetita e perovskita			
Minerais e Processos de Alteração: flogopita como tetra-ferriflogopita, serpentinização da olivina			
Descrição Macroscópica da Lâmina			
A mostra 5 é uma rocha maciça, cortada por finos veios milimétricos de carbonatito, no qual foi possível notar uma alteração na cor de verde para um tom marrom. É possível identificar perovskita, magnetita, e veios de silicato primário com diversas orientações. Também foi possível observar em lupa de de grande aumento, a presença de olivina, e milimétricos cristais de flogopita.			
Fotomicrografia da Amostra			



Nome da Rocha: Olivina-Serpentina Flogopitito com Dolomita

Descrição dos Minerais

Apatita

Não ocorreu na amostra 5.

Calcita

Não ocorreu na amostra 5.

Clinhumita

Não ocorreu na amostra 5.

Dolomita	
<p>A dolomita apresentou relevo variando entre baixo, incolor, subédrico a anédrico, comumente granular suas dimensões variam de microcristalina a 0,3mm a 1,0mm, às vezes apareceu sob a forma de agregados minerais.</p>	
Flogopita	
<p>A flogopita variou de dimensões de 0,4 a 2,5 mm em geral são bem desenvolvidas, de lamelares quando menores a placóides quando maiores, apresentavam clivagem perfeita a uma direção, euédrica a subédrica. Quando em cristais maiores, apresentavam intensa cor vermelha principalmente em suas bordas, podendo ser chamada de tetra-ferriflogopita.</p>	
Magnetita	
<p>A magnetita apresentou-se bem distribuída como agregados ou na forma de várias inclusões dentro da flogopita e como cristais individuais, ocorrendo juntamente com a perovskita e demais óxidos e hidróxidos. A sua granulação foi de fina a grossa, em média 0.18 mm, quase euédrica, preferencialmente concentrada em faixas, juntamente com flogopita.</p>	
Olivina	
<p>A olivina apresentou-se como fenocristais ou às vezes em agregados equigranulares cumulatus, com dimensões variando de 0,6 a 1,2mm na forma de pseudomorfos subédricos a anédricos, frequentemente arredondados e intensamente serpentinizado. Sob luz paralela aparecem como típicos cristais incolores com núcleos serpendinizados com hábito asbestiforme (fibras ± paralelas), o que dá ao cristal um aspecto “sujo”, com relevo fibroso e bordas da olivina preservadas gerando um relevo muito alto e característicos, fortemente microfraturados e muitas vezes substituídos por pseudomorfos de serpentina sobre olivina. Alguns apresentavam leve coloração amarelo-esverdeado pálido com pleocroísmo amarelo pálido, sob a luz cruzada as cores se tornavam intensas, com alta birrefringência, variando de laranja, rosa a azul de 2º e 3º ordem.</p>	
Óxidos	
<p>Não ocorreu na amostra 5.</p>	

M. Opacos	
Não ocorreu na amostra 5.	
Perovskita	
O mineral de perovskita tinha de 0,1 a 1,0mm e se apresentou provavelmente diante da substituição de Cálcio por sódio e titânio por nióbio.	

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA																													
Trabalho de Conclusão de Curso																													
Número da Lâmina: Amostra 6	Ponto: —																												
Longitude: —	Latitude: —																												
Altitude: —																													
Unidade Estratigráfica: —																													
Carta Geológica: —																													
Assinale com um X os diferentes procedimentos de preparação e analíticos efetuados nesta amostra																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>BRA</th> <th>LD</th> <th>LP</th> <th>Brita</th> <th>Pó</th> <th>AM</th> <th>AQM</th> <th>AQMe</th> <th>ETR</th> <th>Rb/Sr</th> <th>Sm/Nd</th> <th>Pb/Pb</th> <th>U/Pb</th> <th>SP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">x</td> <td style="text-align: center;">x</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">x</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		BRA	LD	LP	Brita	Pó	AM	AQM	AQMe	ETR	Rb/Sr	Sm/Nd	Pb/Pb	U/Pb	SP	x	x				x								
BRA	LD	LP	Brita	Pó	AM	AQM	AQMe	ETR	Rb/Sr	Sm/Nd	Pb/Pb	U/Pb	SP																
x	x				x																								
BRA = Bloco reserva da Amostra, LD = Lâmina Delgada, LP = Lâmina Polida, AM= Análise de Minerais, AQM= Análise Química de Maiores, AQMe = Análise Química de Menores, Análises isotópicas (Rb/Sr, Sm/Nd, Pb/Pb e U/Pb), SP = Separação de Minerais																													
Minerais (%)	Análise Modal de Rochas Ígneas																												

Apatita : -	Magnetita: 8	Q	X
Calcita: 30	Olivina: -	A	X
Clinohumita: -	Óxidos: -	P	X
Dolomita: -	Minerais Opacos: 2	F	X
Flogopita: 60	Perovskita: -	Total	100
Descrição Microscópica (ordem decrescente de abundância)			
Minerais Essenciais: Flogopita, carbonato			
Minerais Acessórios: Magnetita			
Minerais e Processos de Alteração:			
Descrição Macroscópica da Lâmina			
A mostra 6 é caracterizada pela forte presença de flogopita com carbonato. Neste caso, o carbonato é considerado calcita pela reação forte quando na presença de ácido clorídrico diluição de 10%. Macroscopicamente apresentou porções que variaram de marrom a esverdeado, com predomínio desta última, suas dimensões apresentam granulação fina.			
Fotomicrografia da Amostra			



Nome da Rocha: Flogopitito

Descrição dos Minerais

Apatita

Não ocorreu na amostra 6.

Calcita

A calcita apareceu como carbonato intersticial, anédrico, com dimensões que variaram de microgranulares até 0,8 mm. São incolores, mas podem ser levemente acinzentadas a luz paralela, relevo baixo a moderado. Sob a luz cruzada, apresentou birrefringência extrema

0,172, cores muito elevadas às vezes cremes, castanhas, com pontos e bandas coloridas, de 4ª ordem. Apresentou também extinção ondulante, indicando evidências de deformação.	
Clinohumita	
Não ocorreu na amostra 6.	
Dolomita	
Não ocorreu na amostra 6.	
Flogopita	
A flogopita representou-se como o mineral dominante nesta litologia, suas dimensões variaram na faixa entre 0,5 a 8,5 mm. Em geral, apresentaram bem desenvolvidas e lamelares, com clivagem perfeita a uma direção, euédrica a subédrica, birrefringência alta a luz cruzada, sendo possível ver em algumas deformação representadas pela curvatura das clivagens.	
Magnetita	
A magnetita apresentou minerais variando de 0,8 a 2,0mm, e se mostraram distribuídos amplamente entre e dentro de cristais desenvolvidos de flogopita, como inclusões dos cristais fina (0.25 mm). A magnetita apresentou granulação em média 0.8 mm, quase euédrica, preferencialmente concentrada intersticial e como inclusões nas flogopitas.	
Olivina	
Não ocorreu na amostra 6.	
Óxidos	

Não ocorreu na amostra 6.	
M. Opacos	
Os minerais opacos estavam distribuídos na forma de agregados intersticiais em cristais individuais ou na forma de múltiplas inclusões em cristais maiores de flogopita.	
Perovskita	
Não ocorreu na amostra 6.	

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA																													
Trabalho de Conclusão de Curso																													
Número da Lâmina: Amostra 7	Ponto: —																												
Longitude: —	Latitude: —																												
Altitude: —																													
Unidade Estratigráfica: —																													
Carta Geológica: —																													
Assinale com um X os diferentes procedimentos de preparação e analíticos efetuados nesta amostra																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>BRA</th> <th>LD</th> <th>LP</th> <th>Brita</th> <th>Pó</th> <th>AM</th> <th>AQM</th> <th>AQMe</th> <th>ETR</th> <th>Rb/Sr</th> <th>Sm/Nd</th> <th>Pb/Pb</th> <th>U/Pb</th> <th>SP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">x</td> <td style="text-align: center;">x</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">x</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		BRA	LD	LP	Brita	Pó	AM	AQM	AQMe	ETR	Rb/Sr	Sm/Nd	Pb/Pb	U/Pb	SP	x	x				x								
BRA	LD	LP	Brita	Pó	AM	AQM	AQMe	ETR	Rb/Sr	Sm/Nd	Pb/Pb	U/Pb	SP																
x	x				x																								
BRA = Bloco reserva da Amostra, LD = Lâmina Delgada, LP = Lâmina Polida, AM= Análise de Minerais, AQM= Análise Química de Maiores, AQMe = Análise Química de Menores, Análises isotópicas (Rb/Sr, Sm/Nd, Pb/Pb e U/Pb), SP = Separação de Minerais																													

Minerais (%)		Análise Modal de Rochas Ígneas	
Apatita : -	Magnetita: 3	Q	X
Calcita: -	Olivina: 90	A	X
Clinohumita: -	Óxidos: -	P	X
Dolomita: 3	Minerais Opacos: -	F	X
Flogopita: 4	Perovskita: -	Total	100
Descrição Microscópica (ordem decrescente de abundância)			
Minerais Essenciais: Olivina			
Minerais Acessórios: Flogopita, magnetita			
Minerais e Processos de Alteração: serpentinização da olivina			
Descrição Macroscópica da Lâmina			
A mostra 7 tem coloração cinza escura, e foi caracterizado por cristais de olivinas podendo ser vistos a olho nu, além de minerais opacos e um veio de dolomita. Na descrição macroscópica, o dunito é cinza, com granulação fina, sem muita variação modal.			
Fotomicrografia da Amostra			



Nome da Rocha: Dunito com Flogopita

Descrição dos Minerais

Apatita

Não ocorreu na amostra 7.

Calcita

Não ocorreu na amostra 7.

Clinhumita

Não ocorreu na amostra 7.

Dolomita	
<p>A dolomita apresentou coloração variando em algumas porções de pouco cinza a tons marrons (teores de Fe). Apresentou formas variando de subédrica a euédrica, de hábito granular a lamelar, e quando submetida a luz cruzada, mostrou cores cremes, de ordens elevadas. Quando em extinção, apresentou coloração cinza, com birrefringência de 0,180 e caráter uniaxial negativo.</p>	
Flogopita	
<p>A flogopita apresentou coloração marrom-vermelho, com leve pleocroísmo. Isso se deve, provavelmente, devido a adição de Fe e portanto, se destacou na forma de cristais individuais de 0,1 a 3,5 mm mas frequentemente como microagregados finos, <i>intercumulus</i>, geralmente associados à magnetita, formando bordas na última, possivelmente devido à reação da magnetita com um líquido residual rico em potássio. Também houve presença de Tetra-ferriglogopita na forma de cordões laterais aos veios cumulosos, puderam ser observados por vezes, sendo comum a substituição nas bordas dos cristais de olivina por serpentina (quando há uma substituição total fica evidente por esses minerais de olivina se mostrarem como pseudomorfos, tendo magnetita como subproduto da reação).</p>	
Magnetita	
<p>A magnetita apresentou tamanhos de 0,1 a 3,0mm e se mostrou bem distribuídos amplamente entre e dentro de cristais desenvolvidos de flogopita, como inclusões dos cristais, provavelmente representando uma fase <i>cumulus</i>, tardia, a <i>intercumulus</i>, fina (0.25 mm). A magnetita apresentou granulação fina a grossa, em média 0.18 mm, quase euédrica, preferencialmente concentrada em faixas, juntamente com flogopita.</p>	
Olivina	
<p>A olivina comumente preservada, representou a fase mais importante de <i>cumulus</i>, variando de 0,6 a 3,8 mm, com presença de minerais de serpentina fibrosa de cores anômalas na forma de pseudomorfos, preenchendo as microfraturas na forma de finos veios dentro do cristal.</p>	
Óxidos	
<p>Não ocorreu na amostra 7.</p>	
M. Opacos	

Não ocorreu na amostra 7.	
Perovskita	
Não ocorreu na amostra 7.	