



UFOP

Universidade Federal
de Ouro Preto

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
ENGENHARIA GEOLÓGICA



ESCOLA DE MINAS

IZADORA AMARAL SILVA

MINERAIS ÍNDICES E ISÓGRADAS METAMÓRFICAS NA PORÇÃO CENTRO-
MERIDIONAL DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

OURO PRETO/MG

2024

Izadora Amaral Silva

MINERAIS ÍNDICES E ISÓGRADAS METAMÓRFICAS NA PORÇÃO CENTRO-MERIDIONAL DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

Monografia do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 401, ano 2023/2.

Orientadora: Cristiane Paula de Castro Gonçalves
Coorientador: Marco Aurélio Piacentini

OURO PRETO/MG

2024

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S586m Silva, Izadora Amaral.

Minerais índices e isógradas metamórficas na porção centro-meridional do Quadrilátero Ferrífero. [manuscrito] / Izadora Amaral Silva. - 2024.
124 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Cristiane Paula de Castro Gonçalves.

Coorientador: Dr. Marco Aurélio Piacentini Pinheiro.

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

1. Metamorfismo (Geologia). 2. Quadrilátero Ferrífero (MG). 3. Rochas metamórficas - Isógradas metamórficas. I. Gonçalves, Cristiane Paula de Castro. II. Pinheiro, Marco Aurélio Piacentini. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 552.4

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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Izadora Amaral Silva

Minerais índices e isógradas meetamórficas na porção centro-meridional do Quadrilátero Ferrífero

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

Aprovada em 16 de dezembro de 2024

Membros da banca

Dra - Cristiane Paula de Castro Gonçalves - Orientador(a) Universidade Federal de Ouro Preto
Dra - Maria Eugênia Silva de Souza - Universidade Federal de Ouro Preto
Dra - Joana Maranhão - Serviço Geológico do Brasil - SGB-CPRM

Cristiane Paula de Castro Gonçalves, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 12/02/2025



Documento assinado eletronicamente por **Cristiane Paula de Castro Gonçalves, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/02/2025, às 16:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0848967** e o código CRC **AB3D5831**.

Dedico este trabalho com todo o meu coração aos meus pais, cujos sacrifícios, amor e ensinamentos moldaram a pessoa que sou hoje; à minha irmã, minha companheira de todas as horas, que me ensinou o verdadeiro significado da amizade e da parceria; e à minha avó, fonte inesgotável de sabedoria e carinho.

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho não seria possível sem o apoio e a colaboração de muitas pessoas que fizeram parte dessa jornada. Portanto, gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que contribuíram de alguma forma para que este trabalho se tornasse realidade.

Primeiramente, aos meus pais, Hamilton e Raquel, e à minha irmã, Maria, minhas palavras não são suficientes para expressar toda a minha gratidão e amor. Obrigada por estarem sempre ao meu lado, incentivando-me a nunca desistir e a acreditar em meus sonhos. Cada passo que dei, foi também um reflexo de tudo o que aprendi com vocês.

Aos meus professores orientadores, Cris e Leo, agradeço imensamente a dedicação, paciência, sabedoria e orientação durante todo o processo. Agradeço também à Geogalera, amigos que que compartilharam comigo os desafios e alegrias dessa jornada acadêmica, a convivência com vocês foi fundamental para o meu crescimento, tanto acadêmico quanto pessoal.

Por fim, agradeço à todas as moradoras e ex-alunas da República Convento, que me acolheram nesses últimos anos sendo um porto seguro para mim. Vocês são sinônimo de aprendizado, amizade e companheirismo.

Este trabalho é o reflexo do esforço coletivo e da colaboração de pessoas incríveis que me cercaram ao longo dessa caminhada. Muito obrigada!

RESUMO

O Quadrilátero Ferrífero (QFe), localizado no extremo sul do Cráton São Francisco, em Minas Gerais, é uma das províncias minerais mais importantes do mundo, amplamente estudada em termos de estratigrafia, geologia estrutural e metalogenia. No entanto, ainda há uma lacuna no entendimento da evolução metamórfica da região. Esta pesquisa visa preencher parte dessa lacuna por meio da caracterização mineralógica e textural de rochas do Supergrupo Rio das Velhas e Supergrupo Estrada Real, com foco na área adjacente ao Complexo Bação e ao Anticlinal de Mariana. Os resultados mostraram que o metamorfismo no QFe atinge condições de grau baixo a médio, com fácies que variam de xisto-verde a anfíbolito. A pesquisa também identificou dois eventos deformacionais principais, D1 e D2, que resultaram em duas gerações de foliação (S1 e S2). A partir da identificação de assembleias minerais representativas do pico metamórfico, foram mapeadas as isógradas metamórficas, que, em conjunto com a geologia estrutural, permitiram a análise da variação das condições metamórficas na região. Dados estruturais e metamórficos sugerem que o núcleo do anticlinal de Mariana e a borda do domo Bação experimentaram condições de pressão e temperatura mais extremas, ligadas tanto à deformação compressiva como ao metamorfismo de contato. A comparação com mapas de isógradas anteriores, como o de Herz (1978), e a aplicação de geotermobarometria, confirmaram a existência de uma nova zona barrovia, a zona da granada, com grau metamórfico mais elevado do que o previamente descrito. Esses resultados contribuem para uma reinterpretação do metamorfismo no Quadrilátero Ferrífero de forma que o modelo proposto oferece uma compreensão atualizada do comportamento metamórfico da área e tem implicações para estudos futuros sobre evolução tectônica e potencial geotérmico.

Palavras-chave: metamorfismo; isógradas metamórficas; Supergrupo Rio das Velhas; Quadrilátero Ferrífero.

ABSTRACT

The Quadrilátero Ferrífero (QFe), located in the southernmost part of the São Francisco Craton in Minas Gerais, is one of the most important mineral provinces in the world, widely studied in terms of stratigraphy, structural geology, and metallogeny. However, the metamorphic evolution of the region remains poorly understood, and this project aims to provide a mineralogical and textural characterization of rocks from the Rio das Velhas and Estrada Real supergroups, nearby Bação Complex and the Mariana Anticline. The results show that metamorphism in the QFe reaches conditions ranging from low to medium grade, with facies ranging from greenschist to amphibolite. The study also identified two main deformational events, D1 and D2, which resulted in two generations of foliation (S1 and S2). By identifying mineral assemblages representative of the metamorphic peak, metamorphic isograds were mapped, which, together with the structural geology, allowed the analysis of the variation in metamorphic conditions across the region. Structural and metamorphic data suggest that the core of the Mariana Anticline and the edge of the Bação dome experienced more extreme pressure and temperature conditions, related to both compressive deformation and contact metamorphism. A comparison with previous isograd maps, such as that of Herz (1978), and the application of geothermobarometry, confirmed the existence of a new barrovian zone, the garnet zone, with a higher metamorphic grade than previously described. These results contribute to a reinterpretation of the metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero. The proposed model provides an updated understanding of the region's metamorphic behavior and has implications for future studies on tectonic evolution and geothermal potential.

Keywords: metamorphism; metamorphic isograds; Rio das Velhas Supergroup; Quadrilátero Ferrífero.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo apresentando a estrada principal de acesso e os municípios e distritos presentes na região.....	18
Figura 2: Localização das amostras selecionadas no acervo do Serviço Geológico do Brasil (SGB) na área pesquisada.	22
Figura 3 - (A) Contexto tectônico do Cráton São Francisco na configuração do Gondwana Ocidental. (B) Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero. O retângulo em vermelho corresponde à FIG. 5.	23
Figura 4 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.....	25
Figura 5 - Mapa geológico simplificado da região de estudo.....	26
Figura 6: Mapa simplificado mostrando a subdivisão do greenstone belt Rio das Velhas em três blocos tectonoestratigráficos, de acordo com Baltazar & Zucchetti (2007) e a localização dos seguintes mapas geológicos: 1- Santa Luzia (Cavalcanti et al. 2020d); 2- Serra da Piedade (Araújo et al. 2020d); 3- Belo Horizonte (Cavalcanti et al. 2020a); 4- Nova Lima (Cavalcanti et al. 2020b); 5- Caeté (Araújo et al. 2020a); 6- Gongo Soco (Araújo et al. 2020c); 7- Santa Bárbara (Ferreira et al. 2020c); 8- São Sebastião das Águas Claras (Cavalcanti et al. 2020e); 9- Rio Acima (Cavalcanti et al. 2020c); 10- Gandarela (Araújo et al. 2020b); 11- Conceição do Rio Acima (Ferreira et al. 2020b); 12- Catas Altas (Ferreira et al. 2020a); 13- Itabirito (Freitas et al. 2020b); 14- Rio de Pedras (Freitas et al. 2020c); 15- Capanema (Freitas et al. 2020a); 16- Santa Rita Durão (Ferreira et al. 2020d).	29
Figura 7 - Mapa esquemático de articulação do sistema de nappes do Quadrilátero Ferrífero e as principais falhas/zonas de cisalhamento. Nappes: NC- Nappe Curral, NM- Nappe Maquiné, NSR- Nappe Santa Rita, NIRP- Nappe Itabira-Rio Piracicaba, NOP- Nappe Ouro Preto. F Falhas: SB- São Bento, AQ- Água Quente, RP- Rio Piracicaba, IT- Itacolomi, Cr- Curral. Zonas de cisalhamento: MB- Moeda Bonfim (descolamento basal da Nappe Curral), SV- São Vicente (descolamento basal do Sistema de Nappes Ouro Preto).....	32
Figura 8 - Campos de pressão e temperatura para as diferentes fácies metamórficas. And = andaluzita, Ky= cianita e Sil = sillimanita.	38
Figura 10 - Mapa de zonas barrobianas na região de Terras Altas da Escócia.....	40

Figura 11 - Mapa de zonas metamórficas do Quadrilátero Ferrífero. Também disponível no Anexo 1. O retângulo em vermelho representa a localização aproximada da área de estudo.	41
Figura 12 - Resumos dos estudos metamórficos sobre o Quadrilátero Ferrífero proposto por Pires & Bertolino (1991). Neste mapa observam-se valores de temperatura definidos por geotermometria de carbonatos e isótopos de oxigênio. O retângulo em vermelho indica a localização aproximada da área de estudo.	42
Figura 13 - Compartimentação tectônica Greenstone Belt Rio das Velhas. O retângulo em vermelho indica a localização aproximada da área de estudo.	43
Figura 14 - Mapa geológico simplificado da área de estudo com localização das amostras estudadas e seus respectivos protólitos.	45
Figura 15 - Principais minerais observados. À esquerda estão as fotomicrografias em luz natural polarizada, à direita em luz plana polarizada. A) e B) Amostra MP381G. C) e D) Amostra MP463. D) e E) Amostra HR368. Bt-Biotita, Chl-Clorita, Qz-Quartzo, Plg-Plagioclásio, Ms-Muscovita, Ep-Epidoto, Act-Actinolita, Tit-Titanita.	48
Figura 16 - Principais minerais observados. À esquerda estão as fotomicrografias em luz natural polarizada, à direita em luz plana polarizada. A) e B) Amostra MP471. C) e D) Amostra IA04. E) e F) Amostra x. G) e H) Amostra. Grt-granada, Bt-Biotita, Act-Actinolita, Hbl-Hornblenda, Qz-Quartzo, Plg-Plagioclásio e Ep-Epidoto.....	49
Figura 17 - Fotomicrografia indicando o comportamento da foliação S1 nas rochas. A primeira coluna são as fotos tiradas em luz natural enquanto a segunda coluna em luz polarizada. As fotografias A e B (amostra HR 364) mostram grãos de anfibólios (hornblenda-hbl e actinolita-act) orientados segundo S1, enquanto em C e D (amostra MP 381G), os grãos orientados são de biotita, que intercalam com banda granular, composta por quartzo+plagioclásio (qz+plg). As fotografias E e F (amostra MP 387B) mostram orientação preferencial segundo a foliação de inclusões em porfiroblasto de granada (grt). As fotografias G e H (amostra HR397) apresenta um bandamento granulométrico na rocha. As linhas pontilhadas em vermelho indicam a orientação preferencial de S1, enquanto a linha vermelha continua indica o comportamento de S1 em relação à um porfiroblasto.....	52
Figura 18 - Fotomicrografia indicando o comportamento da foliação S1 (linhas pontilhadas em vermelho) e clivagem de crenulação, foliação S2 (linhas pontilhadas em azul) nas rochas. A primeira coluna são as fotos tiradas em luz natural enquanto a segunda coluna em luz polarizada. As fotografias A e B demonstram uma S2 pontual na lâmina MP 463 nos	

grãos de clorita e agregado de muscovita, enquanto em C e D (amostra MP 381I), os grãos de biotita aparecem crenulados. As fotografias E e F (amostra CF 366, aumento de 2,5x) mostram uma foliação espaçada de forma que S1 e S2 são bem delineados. Nesta amostra, a linha pontilhada em vermelho também indica um bandamento metamórfico. Também se destaca nessa amostra um bandamento composicional marcada pela intercalação entre bandas claras e amarronzadas.....53

Figura 19 - Fotomicrografia em luz natural e interpretação gráfica da microtectônica em porfiroblastos de granada. À direita, o contorno em preto indica o grão de granada e as linhas em vermelho a foliação S1, representado em sua respectiva foto à esquerda. Em A e B (amostra MP 471) a foliação interna se encontra oblíqua à foliação externa, indicando uma cinemática Inter-S1. Em C e D (amostra HR 369A) a foliação é paralela à foliação externa, indicando uma cinemática Sin-S1. Em E e F (amostra HR 406) a foliação no interior da granada se comporta de forma curva, indicando uma cinemática Sin-S1. 55

Figura 20 - Fotomicrografia em luz natural e interpretação gráfica da microtectônica em porfiroblastos de granada. À direita, o contorno em preto indica os porfiroblastos e as linhas em vermelho a foliação S1, representado em sua respectiva foto à esquerda. Tanto em A e B (amostra MP471) quanto em C e D (amostra MP463), a biotita ocorre como porfiroblastos que crescem ao longo da foliação S1 englobando os minerais orientados de quartzo e zircão. Também se encontram pórfiros de biotita que cortam a foliação principal da rocha. Em E e F (amostra HR364) está indicado uma banda onde ocorre hornblenda a qual está orientada segundo F1 (linha pontilhada em vermelho). Em alguns grãos do anfibólio há inclusões de quartzo que ocorrem orientados..... 56

Figura 21 - Distribuição dos pórfiros na área de estudo.....57

Figura 22 - Diagrama esquemático ilustrando o crescimento de porfiroblastos nos períodos pré, inter, sin e pós-tectônicos. As imagens superiores referem-se ao crescimento do mineral em relação à foliação resultante em uma deformação. Nas imagens inferiores considera a deformação que causa a crenulação de uma foliação mais antiga..... 58

Figura 23 - Amostra HR397 indicando corona de clorita em torno do porfiroblasto de granada..... 59

Figura 24 - Blastese dos minerais metamórficos presentes nas lâminas descritas em dois eventos metamórficos distintos: E1, primeiro quadro, e E2, segundo quadro..... 60

Figura 25 - Gráfico com as temperaturas de metamorfismo obtidas pela média das temperaturas obtidas pelos métodos convencionais (552°C), bem como pelo termômetro

granada-biotita de Bhattacharya <i>et al.</i> (1992) e o barômetro GASP (550°C) e pelo Average P-T THERMOCALC (657 ± 41°C e de 7,1 +0,9 Kbar). As fácies metamórficas apresentadas neste gráfico respeitam os limites de pressão e temperatura de Yardley (1989).....	62
Figura 26 - Grade petrogenética para rochas pelíticas. As amostras possivelmente se enquadram nas áreas indicadas pelos círculos em vermelho.....	63
Figura 27 - Grade petrogenética para rochas metamáficas. A linha pontilhada em vermelho indica as associações minerais localizadas na borda do Complexo Bação. A linha pontilhada em azul se relaciona às associações minerais de protólito máfico nas demais regiões de estudo.	64
Figura 28 - Porção do Mapa de zonas barrobianas proposto por Herz (1978) que corresponde a área de estudo (Ref FIG. 4). As linhas verde e azul indicam as isógradas propostas neste trabalho. A linha em vermelho segrega o complexo granito-gnáissico.	66
Figura 29 - Adaptação do mapa de zonas barrobianas proposto por Herz (1978), incluindo a sugestão da zona da granada como uma nova zona barrobianas na região.....	67
Figura 30 - Sobreposição das isógradas metamórficas e localização das amostras com seus respectivos minerais índices do metamorfismo no mapa proposto por Endo <i>et al</i> 2020. O mapa representa apenas a região determinada no estudo.	68
Figura 31- Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A-C) luz plana; (B-D) luz plano-polarizada. As figuras A e B mostram uma visão geral da lamina em que os grãos aparecem orientados e crenulados. As figuras C e D mostram um porfiroblasto de biotita orientado segundo a foliação principal e que possui inclusões de quartzo e opacos dispostos na mesma orientação.....	80
Figura 32 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A-C) luz plana; (B-D) luz plano-polarizada. As figuras A e B demonstram uma massa de anfibólio sendo preenchida por grãos de quartzo, biotita e clorita. Nas figuras C e D observa-se um porfiroblasto de granada ao centro da imagem o qual é contornado pela foliação rocha. Além disso, nota-se inclusões de quartzo orientados paralelos à foliação da rocha.	82
Figura 33 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. A imagem mostra uma visão geral da lâmina com destaque ao seu caráter granular.	84
Figura 34 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A-C) luz plana; (B-D) luz plano-polarizada. As figuras A e B mostram uma visão geral da lâmina identificando principalmente a foliação marcada pelos filossilicatos e o comportamento do	

porfiroblasto de granada (à centro-direita da foto), sendo contornado pela foliação. As figuras C e D demonstram o comportamento do porfiroblasto na lâmina de forma que a orientação de suas inclusões é oblíqua a da foliação principal (que contorna o grão).86

Figura 35 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. Observa-se principalmente a orientação dos filossilicatos que marcam a foliação principal da rocha. Também a seriticização dos grãos de plagioclásio. Na porção superior da foto observa-se a substituição da biotita pela clorita. 88

Figura 36 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A-C) luz plana; (B-D) luz plano-polarizada. Nas figuras A e B observa-se os grãos muito grossos de biotita que marcam a foliação S1 da lâmina. As figuras C e D demonstram uma biotita crenulada indicando a foliação S2 (clivagem de crenulação). 90

Figura 37 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. Observa-se a foliação principal da rocha marcada pela orientação dos filossilicatos. 92

Figura 38 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A-C) luz plana; (B-D) luz plano-polarizada. As figuras A e B evidenciam a alternância de bandas leucocráticas e melanocráticas. Nas figuras C-D nota-se uma orientação preferencial dos grãos que marcam a foliação da rocha. Além disso, destaca-se os minerais de grau metamórfico mais elevado (cianita e estauroлита). 94

Figura 39 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. Destaca-se na imagem a composição sua coloração esverdeada marcada pela presença de hornblenda e actinolita. Esses minerais estão orientados segundo a foliação principal da rocha. 96

Figura 40 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. Observa-se o bandamento metamórfico da lâmina marco por uma banda melanocrática crenulada, e uma banda leucocrática. Foto retirada com aumento de 2x. 98

Figura 41 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. Foto tirada com objetiva de 2x. 100

Figura 42 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. Destaca-se na imagem a composição sua coloração esverdeada marcada pela presença de hornblenda. A orientação do mineral dá a direção preferencial da foliação da rocha..... 102

Figura 43 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. A imagem mostra uma visão geral da lâmina com destaque à leve orientação marcada pelos filossilicatos.	104
Figura 44 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. As fotos destacam a orientação preferencial dos grãos de filossilicatos que marcam a foliação da rocha.	106
Figura 45 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. Destaca-se a coloração esverdeada na amostra intercalada por um bandamento leucocrático.	108
Figura 46 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. A imagem mostra uma visão geral da lâmina com destaque aos minerais de anfibólio e clorita que marcam a foliação principal da rocha.	110
Figura 47 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A-C) luz plana; (B-D) luz plano-polarizada. Nas figuras A e B destaca-se um bandamento granulométrico que marca S ₀ . As figuras C e D mostram um grão de granada circundado por uma auréola de clorita.	112
Figura 48 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. Ao centro da imagem estão localizados grãos de granadas que são contornados pela foliação principal da rocha, marcada pelos filossilicatos.	114
Figura 49 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida plana. Destaca-se o bandamento composicional da lâmina.	117
Figura 50 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. Destacam-se porfiroblastos de granada que são circundados pela foliação marcada pela hornblenda.	119
Figura 51 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. Destacam-se porfiroblastos de granada bem fraturados e com algumas inclusões de quartzo.	121
Figura 52 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. Observa-se principalmente o grande número de porfiroblastos de granada na lâmina que são circundados por grãos de hornblenda que marcam a foliação da rocha. Os grãos de granada apresentam fraturas paralelas.	123

Figura 53 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida em luz plana.
(A) Margem de reação entre anfibólios, biotita e quartzo na borda do veio de quartzo; (B)
Grãos de biotita e muscovita deformados gerando uma microdobra. 125

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Amostras selecionadas do acervo do Serviço Geológico do Brasil (SGB).....	20
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	APRESENTAÇÃO	17
1.2	LOCALIZAÇÃO	18
1.3	OBJETIVOS	19
1.4	JUSTIFICATIVA.....	19
1.5	MATERIAIS E MÉTODOS	19
1.5.1	Revisão Bibliográfica	20
1.5.2	Descrição Petrográfica	20
1.5.3	Cartografia Metamórfica	22
2	CONTEXTO GEOLÓGICO	23
2.1	O QUADRILÁTERO FERRÍFERO	23
2.1.1	Contexto Litoestratigráfico	26
2.1.2	Contexto Estrutural	31
3	METAMORFISMO	37
3.1	Metamorfismo de Rochas Metapelíticas.....	39
3.2	Metamorfismo no Quadrilátero Ferrífero.....	40
4	CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E TEXTURAL	45
4.1	DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA.....	45
4.2	CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E MICROTTECTÔNICA.....	50
4.2.1	Estruturas planares	50
4.2.2	Porfiroblastos	54
4.2.3	Análise Microestrutural e Microtectônica	57
4.3	METAMORFISMO	60
4.4	DEFINIÇÃO DE CONDIÇÕES TERMOBAROMÉTRICAS.....	61
4.5	CONFEÇÃO DO MAPA DE ISÓGRADAS	64
5	DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	69

REFERÊNCIAS	72
APÊNDICE - Caracterização Petrográfica.....	79
ANEXO A - Mapa De Zonas Metamórficas Do Quadrilátero Ferrífero (Herz 1978). ..	126

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O Quadrilátero Ferrífero (QFe) está localizado no extremo sul do Cráton São Francisco, na região centro-sul do estado de Minas Gerais. É uma das províncias minerais mais importantes do mundo, sendo uma das áreas mais investigadas no Brasil. Muitos estudos sobre sua estratigrafia, geologia estrutural, metalogenia, geoquímica e geocronologia foram publicados como contribuições individuais (*e.g.* Chemale Jr *et al.*, 1994; Dorr, 1969; Alkmim & Marshak, 1998; Endo *et al.*, 2020). Contudo, apesar dos avanços quando se trata de seu arcabouço litoestratigráfico e estrutural, ainda há uma carência dos estudos voltados ao entendimento da evolução metamórfica da área.

Através da petrologia metamórfica é possível, por meio das associações minerais em equilíbrio, determinar as condições metamórficas em que um determinado litotipo foi formado ou transformado. Além disso, o pico metamórfico atingido é caracterizado pelas associações minerais estáveis em condições de mais alta temperatura, enquanto as associações de mais baixa temperatura poderão refletir processos retrometamórficos ou mesmo indicar metamorfismo progressivo precedendo os minerais de mais alta temperatura. Nesse sentido, a combinação de caracterização mineralógica e textural permite relacionar texturas e microestruturas à blastese dos minerais índices de metamorfismo, possibilitando definir a relação temporal entre fases minerais, estruturas observadas e processo(s) metamórfico(s) registrado(s). Por outro lado, ao espacializar essas informações, plotando em mapa os pontos de ocorrência de minerais índices de metamorfismo, é possível traçar linhas que delimitem essas ocorrências, as chamadas isógradas metamórficas (Tilley, 1925).

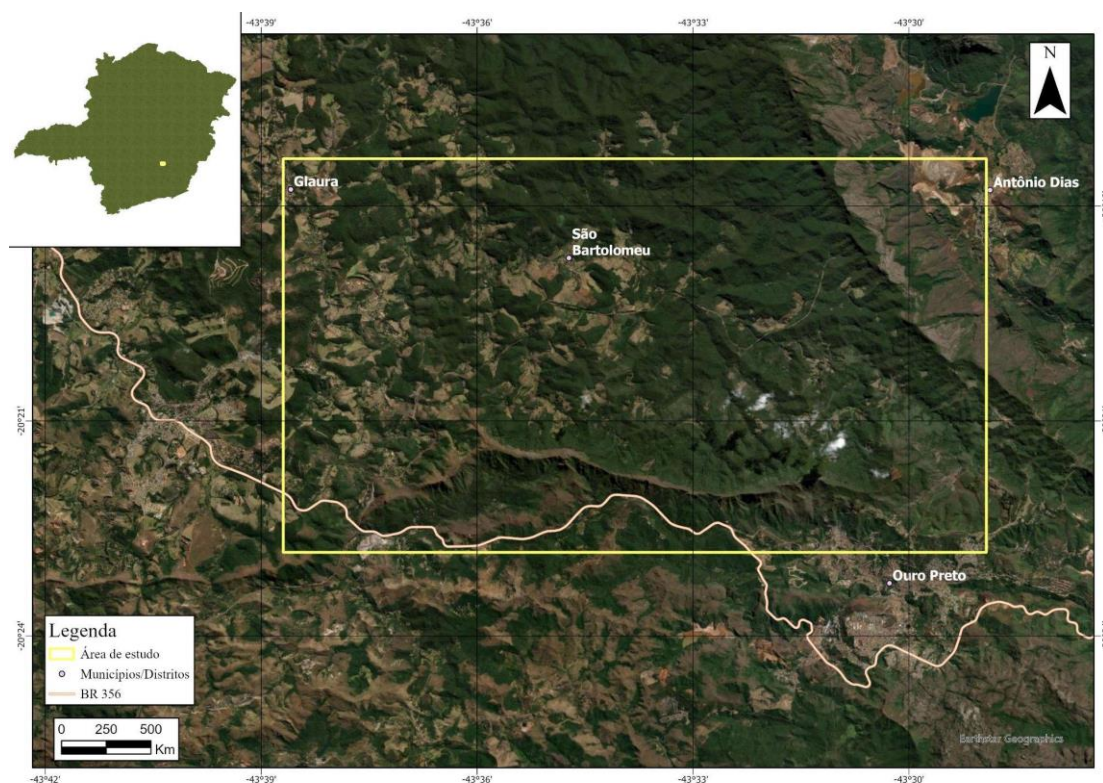
No contexto do Quadrilátero Ferrífero, o entendimento metamórfico remete às concepções iniciais propostas por Herz (1978), o qual caracterizou a variação metamórfica da região por meio de um mapa de isógradas. Desta forma, a fim de contribuir para o conhecimento da evolução tectono-metamórfica do QFe, tendo o mapa mencionado como referência, propõe-se uma releitura dos dados e interpretações acerca das condições metamórficas de área piloto, nas adjacências do Complexo Bação e Anticlinal de Mariana, a partir da caracterização mineralógica-textural de rochas do Supergrupo Rio das Velhas. Objetivou-se definir uma sistemática de mapeamento metamórfico, baseando-se na identificação de assembleias representativas do pico metamórfico, que, especializadas na

região, permitiram a construção de isógradas. Essas, atreladas às estruturas regionais apresentadas nos mapas geológicos e modelos estruturais, permitiram abordagem acerca da variação das condições metamórficas no QFe, tendo como foco inicial a área piloto aqui apresentada.

1.2 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo encontra-se na região centro-sul do estado de Minas Gerais e engloba principalmente o município de Ouro Preto e os distritos de Glaura, São Bartolomeu e Antônio Dias, tendo uma área de aproximadamente 170 km² (FIG 1). A principal rodovia na área de pesquisa é Rodovia dos Inconfidentes (BR 356) além de algumas estradas vicinais as quais interligam os municípios.

Figura 1 - Localização da área de estudo apresentando a estrada principal de acesso e os municípios e distritos presentes na região.



Fonte: Elaboração própria.

1.3 OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo um melhor entendimento das condições metamórficas do Quadrilátero Ferrífero, a partir do mapeamento metamórfico de área piloto através da identificação de isógradas metamórficas e suas relações com as estruturas regionais. Para tal, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar a mineralogia e textura/microestruturas de rochas pertencentes ao Supergrupo Rio das Velhas e Supergrupo Estrada Real, aflorantes nas adjacências do Complexo Bação, atingindo o núcleo do Anticlinal de Mariana;
- Definir isógradas metamórficas para a área em estudo e compará-las com o mapa proposto por Herz (1978);
- Estabelecer relação entre os minerais metamórficos identificados e as estruturas descritas, por exemplo, xistosidade e clivagem de crenulação;
- Correlacionar a polaridade metamórfica identificada e as estruturas regionais.

1.4 JUSTIFICATIVA

A concepção cartográfica do metamorfismo no Quadrilátero Ferrífero foi apresentada há aproximadamente 50 anos, e, dos trabalhos posteriores existentes baseados na cartografia geológica, as citações sobre o contexto metamórfico é inexistente ou apenas pontuais. Em conjunto a essa lacuna, a falta de metodologia para mapeamentos metamórficos dificulta a geração de produtos cartográficos, levando em consideração que em terrenos polideformados assembleias minerais se sucedem, frente às mudanças termobarométricas impostas pelos sucessivos eventos tectonometamórficos. Desta forma, o projeto visou fortalecer o desenvolvimento da pesquisa voltada à compreensão das variações das condições de metamorfismo no Quadrilátero Ferrífero.

1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do projeto foram realizadas as etapas descritas a seguir.

1.5.1 Revisão Bibliográfica

Para a realização do levantamento bibliográfico foram compilados artigos, dissertações, teses, mapas geológicos da região estudada com foco no entendimento do contexto litoestratigráfico, como também do modelo estrutural da porção central do Quadrilátero Ferrífero. Além disso, a revisão bibliográfica baseou-se também em trabalhos voltados ao estudo do metamorfismo na região assim como na metodologia de cartografia metamórfica (e.g. Herz, 1978; Pires & Bertolino, 1991; Zucchetti & Baltazar, 2000; Endo *et al.*, 2020).

1.5.2 Descrição Petrográfica

A partir do estudo realizado por Herz (1978) em conjunto com os resultados obtidos pelo Projeto Rio das Velhas (Zucchetti & Baltazar, 2000), optou-se por selecionar a área piloto delimitada a leste do Complexo Bação, ao longo do núcleo do Anticlinal de Mariana (FIG. 3, item 2.1), a fim de dar continuidade ao estudo das condições metamórficas da região. A área delimitada apresenta uma geologia complexa, e a escolha visa fortalecer os estudos na região para aprimorar a compreensão de sua evolução tectônica.

Definida a área de estudo, passou-se a uma consulta ao acervo do Serviço Geológico do Brasil (SGB, antiga CPRM), referente ao Projeto Rio das Velhas (Zucchetti & Baltazar, 2000), a fim de se selecionar amostras coletadas na área selecionada. Foram selecionadas 25 amostras, de unidades do Supergrupo Rio das Velhas e Supergrupo Estrada Real, listadas no QUADRO 1 e ilustradas na FIG. 2. Nova coleta foi realizada nas proximidades do contato leste do Complexo Bação com unidades do Supergrupo Rio das Velhas, a fim de melhor caracterizar a natureza das amostras dessa zona de contato (amostras IA001, IA002, IA003 e IA004, QUADRO 1, FIG. 2).

Quadro 1 - Amostras selecionadas do acervo do Serviço Geológico do Brasil (SGB). As respectivas unidades geológicas se relacionam com mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero proposto por Endo *et. al.*, 2020 (FIG. 2)

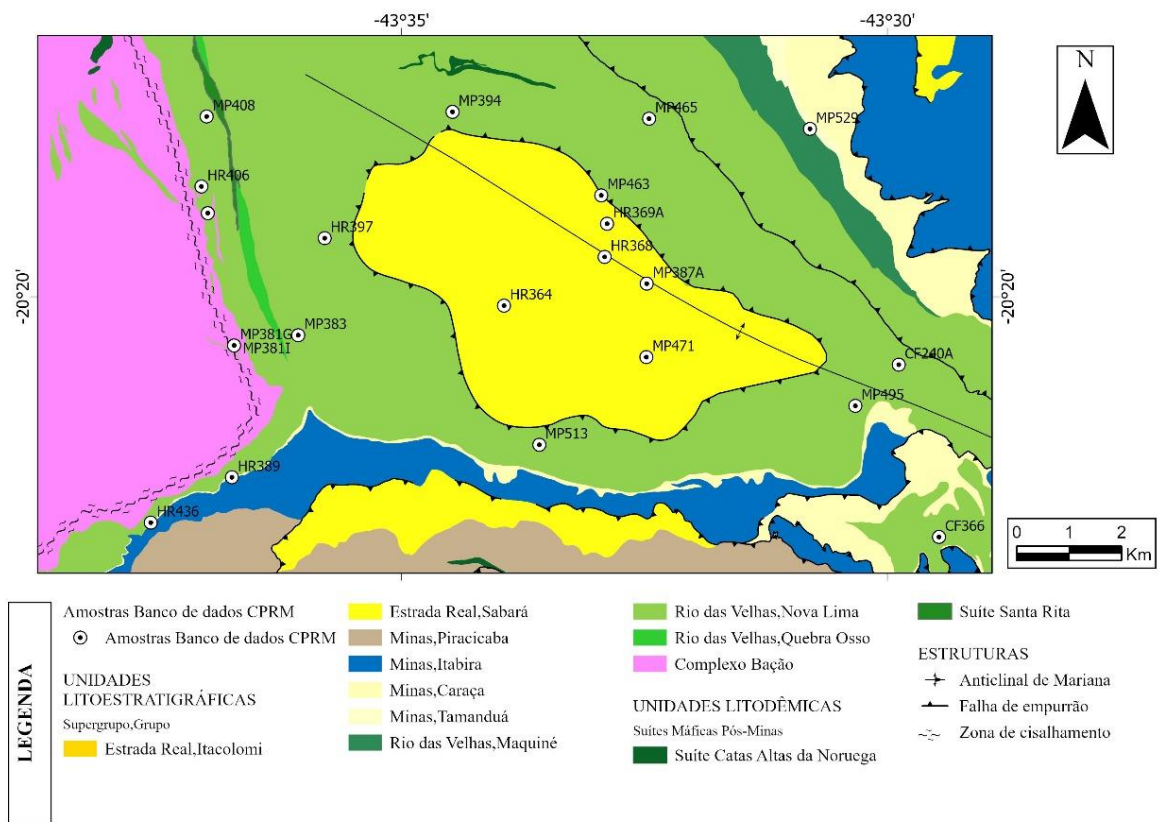
(continua)

LÂMINA	UTM E	UTM N	UNIDADE GEOLÓGICA
MP463	651480	7752890	Sg. Estrada Real, Gr. Sabará, Fm. Catarina Mendes
HR369A	651580	7752350	Sg. Estrada Real, Gr. Sabará, Fm. Catarina Mendes
HR368	651530	7751720	Sg. Estrada Real, Gr. Sabará, Fm. Catarina Mendes

LÂMINA	UTM E	UTM N	UNIDADE GEOLÓGICA
MP471	652260	7749810	Sg. Estrada Real, Gr. Sabará, Fm. Catarina Mendes
MP381G	644880	7750095	Complexo Bação
MP381I	644880	7750095	Complexo Bação
MP383	646030	7750280	Sg. Rio das Velhas, Gr. Nova Lima
HR364	649720	7750810	Sg. Estrada Real, Gr. Sabará, Fm. Catarina Mendes
MP387A	652280	7751205	Sg. Estrada Real, Gr. Sabará, Fm. Catarina Mendes
CF366	657470	7746345	Sg. Rio das Velhas, Gr. Nova Lima
MP394	648830	7754500	Sg. Rio das Velhas, Gr. Nova Lima
CF240A	656780	7749625	Sg. Rio das Velhas, Gr. Nova Lima
MP513	650330	7748160	Sg. Rio das Velhas, Gr. Nova Lima
MP529	655230	7754120	Sg. Rio das Velhas, Gr. Maquiné
MP465	652350	7754340	Sg. Rio das Velhas, Gr. Nova Lima
MP408	644425	7754450	Sg. Rio das Velhas, Gr. Nova Lima
HR397	646520	7752120	Sg. Rio das Velhas, Gr. Nova Lima
HR406	644320	7753120	Sg. Rio das Velhas, Gr. Nova Lima
MP495	655995	7748850	Sg. Rio das Velhas, Gr. Nova Lima
IA001	644430	7752613	Sg. Rio das Velhas, Gr. Nova Lima
IA002	644430	7752613	Sg. Rio das Velhas, Gr. Nova Lima
IA003	644430	7752613	Sg. Rio das Velhas, Gr. Nova Lima
IA004	644430	7752613	Sg. Rio das Velhas, Gr. Nova Lima
HR389	644792	7747583	Sg. Rio das Velhas, Gr. Nova Lima
HR436	643360	7746740	Sg. Rio das Velhas, Gr. Nova Lima

Fonte: Elaboração Própria.

Figura 2: Localização das amostras selecionadas no acervo do Serviço Geológico do Brasil (SGB) na área pesquisada.



Fonte: Modificado de Endo et al (2020)

As lâminas selecionadas foram descritas através da microscopia óptica, nos laboratórios do DEGEO/EM/UFOP, pelo sistema de luz transmitida, que possibilita a identificação de minerais translúcidos e transparentes. A caracterização das amostras estudadas baseou-se no reconhecimento das assembleias minerais, incluindo uma sistemática de descrição das texturas associadas e identificação de minerais índices de metamorfismo.

1.5.3 Cartografia Metamórfica

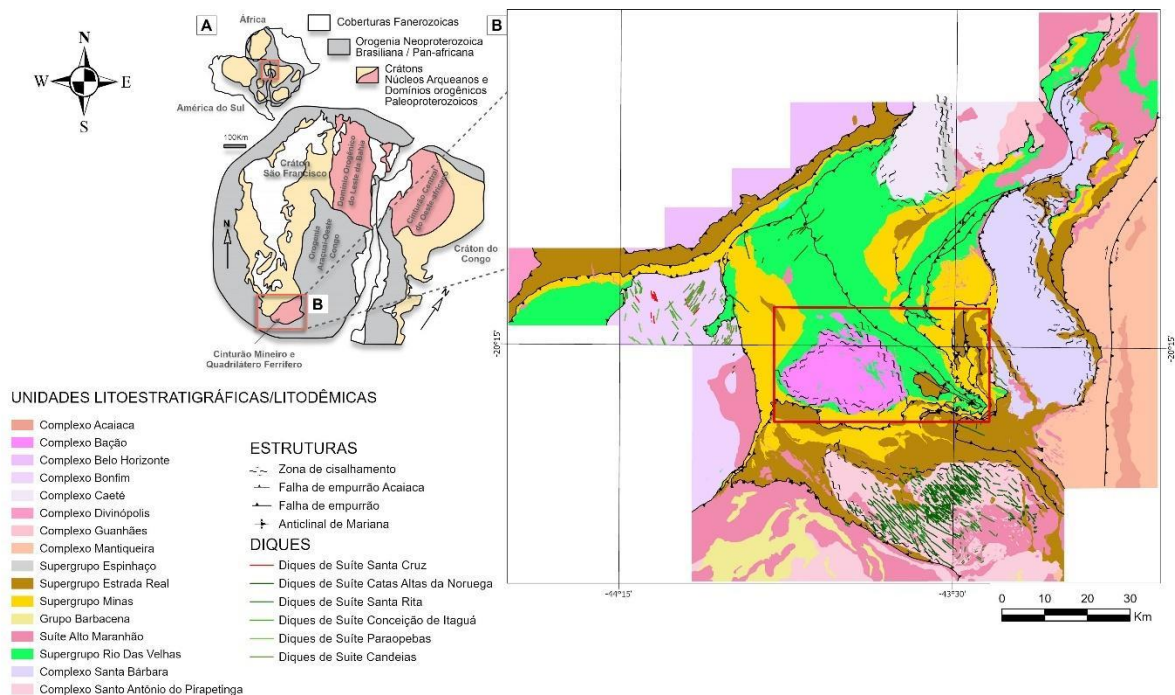
A fim de alcançar o objetivo geral proposto, buscou-se desenvolver uma sistemática de cartografia metamórfica através da compilação dos dados obtidos a partir da revisão bibliográfica e caracterização petrográfica das amostras selecionadas. Por fim, tem-se como produto final um mapa metamórfico com as respectivas assembleias e isógrads minerais, bem como sua relação com feições microestruturais (e.g., xistosidade, clivagens), estruturas locais (e.g. zonas de cisalhamento) e/ou regionais (e.g. dobras, falhas).

2 CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1 O QUADRILÁTERO FERRÍFERO

O Quadrilátero Ferrífero situa-se na região centro-sul do estado de Minas Gerais, na porção sul do Cráton São Francisco, limitado a leste pelo Orógeno Araçuai e a Sul pelo Cinturão Mineiro (FIG. 3) (Almeida, 1977). É constituído pelo embasamento cristalino, composto por rochas graníticas e gnaíssicas, rochas supracrustais metavulcanossedimentares do Supergrupo Rio das Velhas e sequências de rochas metassedimentares e metavulcânicas do Supergrupo Minas e Supergrupo Estrada Real, de idades Neoarqueana e Paleoproterozoica (FIG. 3) (e.g. Endo *et al.* 2020).

Figura 3 - (A) Contexto tectônico do Cráton São Francisco na configuração do Gondwana Ocidental. (B) Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero. O retângulo em vermelho corresponde à FIG. 5.



Fonte: (A) Modificado de Alkmim & Teixeira (2017). (B) Modificado de Endo *et al.* (2020).

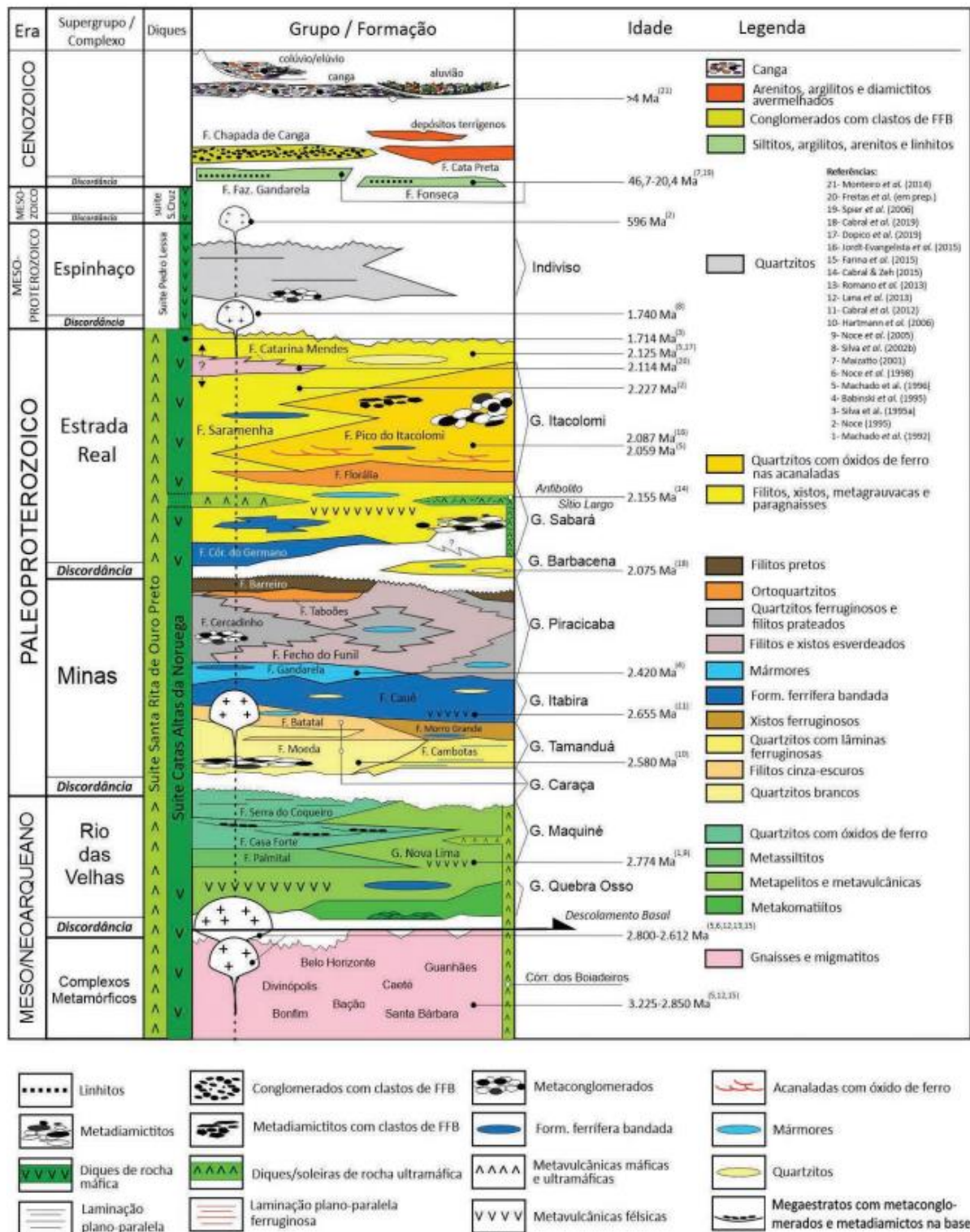
O arcabouço estrutural do Quadrilátero Ferrífero é marcado por estruturas regionais sob uma configuração quadrangular, na forma de megadobras com eixos dispostos a NE-SW, N-S, NW-SE e E-W. Pode-se citar dois principais modelos tectono-estruturais que buscam

explicar a evolução geológica do Quadrilátero Ferrífero: modelo domos e quilhas (Alkmim & Marshak, 1998) e modelo de nappes (Endo et al, 2020).

Segundo o modelo de domos e quilhas, os domos, constituídos de rochas do embasamento cristalino, são predominantemente formados por rochas magmáticas e metamórficas, datadas no arqueano, enquanto as quilhas pelas supracrustais, que os bordejam, representadas pelo Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi (Alkmim & Marshak, 1998). Neste cenário, Chemale Jr. et al. (1991) dividem o contexto geotectônico em dois episódios principais: o primeiro é um evento tectônico extensional, afetando as supracrustais e unidades graníticas-gnáissicas durante o Transamazônico – Paleoproterozoico; a segunda é um evento colisional afetando unidades mais jovens do Espinhaço meridional durante o Brasileiro – Neoproterozoico.

Endo et al. (2020), por sua vez, propôs uma estruturação por meio de Nappes além de acrescentar à estratigrafia o Supergrupo Estrada Real. Nessa proposta, os autores dividem o Quadrilátero Ferrífero em três grandes unidades: i) embasamento siálico, que corresponde aos complexos graníticos gnáissicos arqueanos; ii) associações do tipo Greenstone Belt, equivalente ao Supergrupo Rio das Velhas, composto por complexos metamáfico-metavulcanossedimentares arqueanos; iii) sucessões metassedimentares clásticas e químicas e metavulcânica félsicas, máficas e ultramáficas paleoproterozoicas do Supergrupo Minas e Supergrupo Estrada Real. Além disso, inclui-se também o Grupo Barbacena, constituído por rochas metassedimentares clásticas e químicas e por rochas metavulcânicas máficas e ultramáficas; o Supergrupo Espinhaço, composto principalmente por metarenitos e metaconglomerados; e intrusões pós-Minas que cortam toda a sequência de rochas do QFe (FIG. 4). Neste modelo Endo et al. (2020) definem o arcabouço estrutural do QFe como resultado da superposição de duas nappes em eventos compressoriais, sendo elas a Nappe Curral, basal com vergência para NNE, e a Nappe Ouro Preto, superior com vergência para SW.

Figura 4 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.



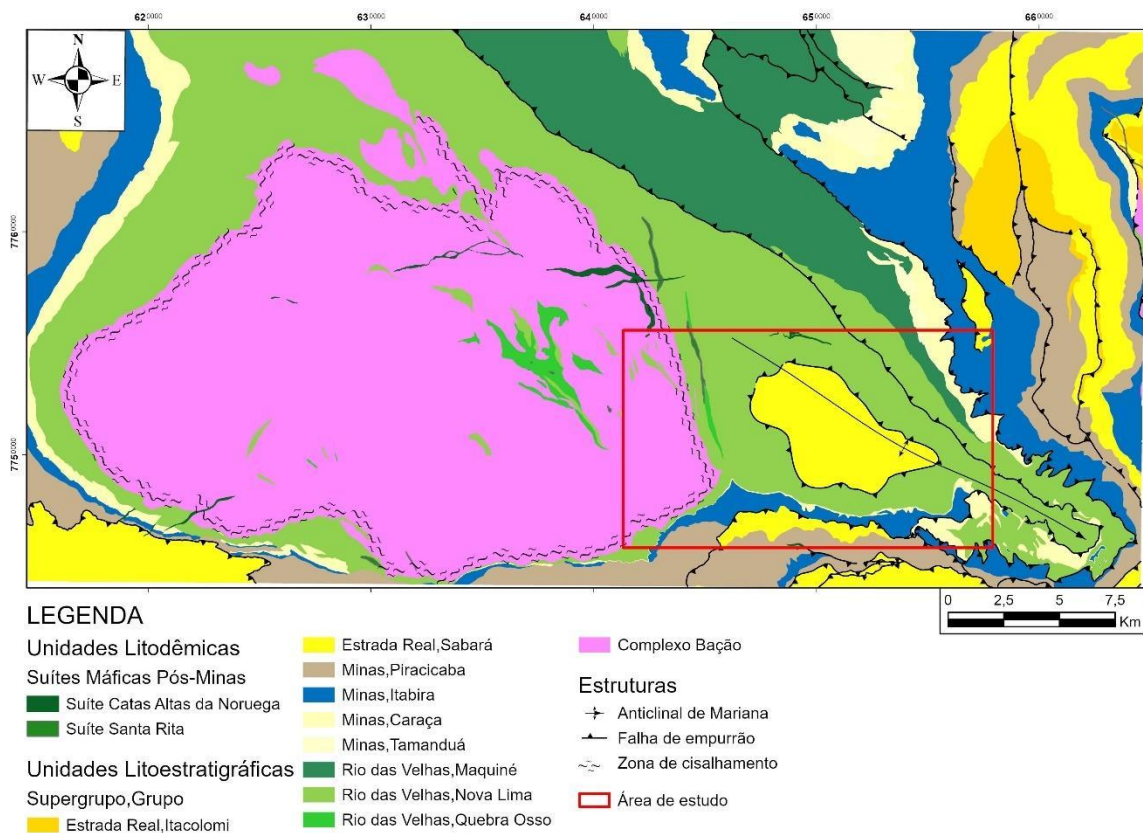
Fonte: Endo *et al.* (2020).

2.1.1 Contexto Litoestratigráfico

Em função desse trabalho dar continuidade ao estudo das condições metamórficas interpretadas a partir da caracterização petrográfica de amostras coletadas em unidades do Supergrupo Rio das Velhas a NW, E, e S-SW do Complexo Bação a área piloto definida para esse estudo está localizada na porção centro-sul do QFe, nas adjacências do Complexo Bação e Anticlinal de Mariana (FIG. 5). Nessa porção, estão dispostas principalmente as unidades litoestratigráficas: Complexo metamórfico arqueano (Bação), Supergrupo Rio das Velhas e Supergrupo Estrada Real, na concepção de Endo *et al.* (2020) (FIG. 4). Além dessas unidades, o Supergrupo Minas também compõe a estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero.

A seguir, serão detalhadas as unidades estratigráficas correspondentes a este estudo, embora o Embasamento Cristalino e Supergrupo Minas também esteja descrito de forma sucinta.

Figura 5 - Mapa geológico simplificado da região de estudo.



Fonte: Modificado de Endo *et al* (2020).

2.1.1.1 Complexos Metamórficos

O embasamento cristalino do Quadrilátero Ferrífero corresponde a vários complexos metamórficos de idade arqueana e é representado pelos domos Belo Horizonte, Bação, Bonfim, Florestal, Caeté, Divinópolis, Guanhães, Santa Rita e Santa Bárbara. De forma geral, esses domos são compostos por ortognaisses bandados, que possuem uma alternância de bandas leuco e mesocráticas a melanocráticas, corpos de anfibolitos locais, migmatitos, corpos intrusivos de granitóides leucocráticos, veios aplíticos e diques máficos de diferentes gerações (Endo *et al.* 2020). O presente trabalho focará nos arredores e borda leste do Complexo Bação.

2.1.1.2 Supergrupo Rio Das Velhas

O alvo principal do presente estudo consiste nas rochas do Supergrupo Rio das Velhas, definido por Dorr *et al.* (1957) e Dorr (1969). É constituído por uma série de rochas metavulcânicas e metassedimentares arqueanas, do tipo *Greenstone Belt*, as quais posteriormente foram divididas, da base para o topo, nos grupos Quebra Osso, Nova Lima e Maquiné.

O Grupo Quebra Osso (Schorscher, 1979) é constituído por komatiitos e metavulcânicas máficas/ultramáficas correspondendo a unidade basal do Supergrupo Rio das Velhas. O Grupo Nova Lima compreende principalmente a intercalação de unidades sedimentares, vulcânicas e vulcanoclásticas que a partir de uma forte deformação cisalhante e ação de processos hidrotermais, deram origem a xistos, xistos cloríticos e filitos (Endo *et al.*, 2020). De modo geral, a unidade abrange metassedimentos químicos-exalativos, como formação ferrífera bandada, metassedimentos marinhos de granulação fina como metapelitos carbonosos, rochas ígneas variadas como basalto toleíticos, komatiíticos com texturas primárias preservadas (pillow lavas, amídalas, varíolas) e tufos (Freitas, 2019; Schorscher, 1979).

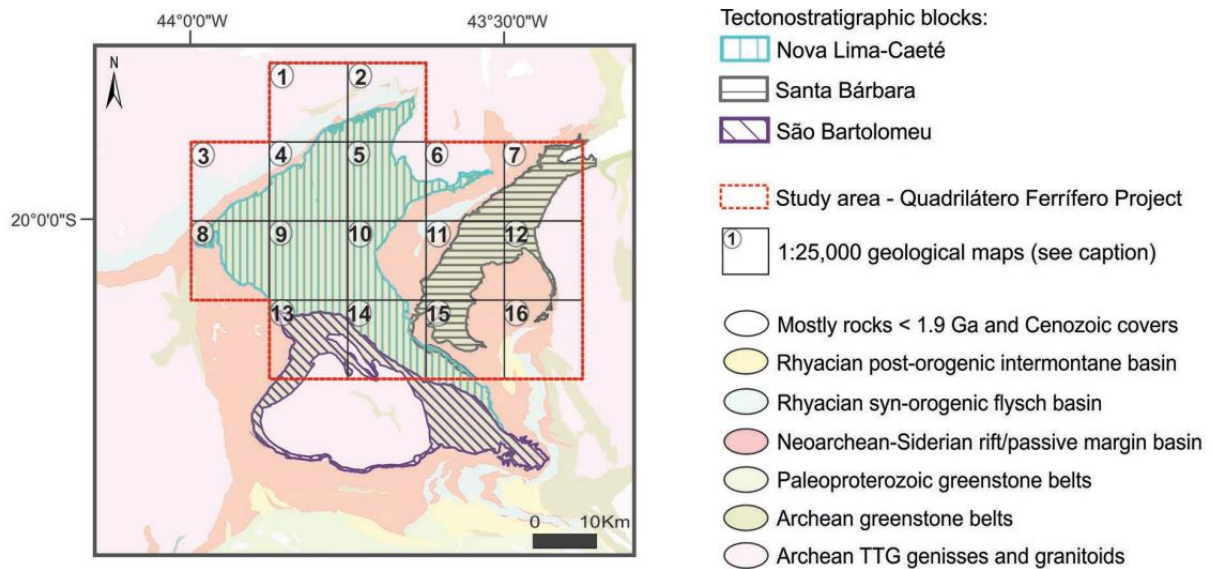
O Grupo Maquiné sobrepõe o Grupo Nova Lima através de um contato gradacional a discordante (Gair, 1962) e é constituído por metassedimentos clásticos de fonte continental e vulcanogênica, dividido, da base ao topo, nas formações Palmital, Casa Forte e Serra do Coqueiro (Endo *et al.*, 2020). A Formação Palmital é composta por sericita filito, quartzo-clorita xistos e xistos sendo sobreposta pela Formação Casa Forte, composta por quartzitos,

metaconglomerados e metadiamicritos. Uma faixa de quartzito laminado foi denominada por Angeli (2015) como Formação Serra do Coqueiro, do Grupo Maquiné (Endo *et al.*, 2020).

Baltazar & Zucchetti (2007) subdividem o Supergrupo Rio das Velhas, da base para o topo, nas seguintes associações litofaciológicas: (i) associação vulcânica máfica-ultramáfica, a qual é predominantemente composta de lavas máficas e ultramáficas, originados de uma pluma do manto, além de BIF's (formações ferríferas bandadas) e chert ferruginoso intercalados, pelito carbonático, turbiditos e raras rochas vulcanoclásticas félsicas; (ii) associação vulcano-química-sedimentar composta por toleítos intercalados com BIF's e chert ferruginoso, além de rochas sedimentares clásticas como turbiditos carbonoso e pelitos; (iii) associação clástica-química-sedimentar composta por sedimentos de águas profundas depositados em um ambiente pelágico representados pelos pelitos (xistos micáceos e cloríticos) intercalados com BIF's em menor proporção, chert e xistos carbonosos; (iv) associação vulcanoclástica, formada por rochas máficas e vulcanoclásticas félsicas, caracterizada por quatro litofácies, (1) brechas monomíticas e polimíticas, (2) conglomerados-grauvacas, (3) grauvacas-arenito e (4) grauvacas-argilito; (v) associação ressedimentada, amplamente distribuída no QFe, que inclui três diferentes sequências de grauvacas-argilito: (1) grauvacas orientais (com fontes mistas e félsicas) que se transformam em rochas sedimentares pelágicas; (2) grauvacas do Norte (com fontes félsicas) que transitam para a associação vulcanoclástica de grauvacas; e (3) sequências de grauvacas-argilito ricos em carbonato do sul (com fontes mistas e félsicas) que transacionam para litofácies de arenito-siltito; (vi) associação costeira, restrita a uma pequena área a noroeste do complexo Bação, que combina principalmente as litofácies compostas por arenitos com estratificação cruzada em espinha de peixe, marcas de ondulação e estratificação cruzada em larga escala, além da transição entre arenito-siltito; por fim, (vii) associação não marinha, formada por rochas sedimentares aluviais-fluviais continentais da Formação Casa Forte (Grupo Maquiné), que ocorre nas porções centrais e orientais do QFe, e é formada pelas litofácies (1) conglomerado-arenito, (2) arenito de granulação grossa e (3) arenito de granulação fina-média, que estão sobrepostas em discordância angular ao Grupo Nova Lima na parte central do QF.

Araújo *et al.* (2020) realizaram uma revisão da estratigrafia e cartográfica dos greenstone belts do Supergrupo Rio das Velhas, sugerindo que a definição mais precisa desse supergrupo pode ser feita por meio da subdivisão em três blocos tectoestratigráficos (Zucchetti & Baltazar, 2007) (FIG. 6): Santa Bárbara, Nova Lima-Caeté e São Bartolomeu.

Figura 6: Mapa simplificado mostrando a subdivisão do greenstone belt Rio das Velhas em três blocos tectonoestratigráficos, de acordo com Baltazar & Zucchetti (2007) e a localização dos seguintes mapas geológicos: 1- Santa Luzia (Cavalcanti et al. 2020d); 2- Serra da Piedade (Araújo et al. 2020d); 3- Belo Horizonte (Cavalcanti et al. 2020a); 4- Nova Lima (Cavalcanti et al. 2020b); 5- Caeté (Araújo et al. 2020a); 6- Gongo Soco (Araújo et al. 2020c); 7- Santa Bárbara (Ferreira et al. 2020c); 8- São Sebastião das Águas Claras (Cavalcanti et al. 2020e); 9- Rio Acima (Cavalcanti et al. 2020c); 10- Gandarela (Araújo et al. 2020b); 11- Conceição do Rio Acima (Ferreira et al. 2020b); 12- Catas Altas (Ferreira et al. 2020a); 13- Itabirito (Freitas et al. 2020b); 14- Rio de Pedras (Freitas et al. 2020c); 15- Capanema (Freitas et al. 2020a); 16- Santa Rita Durão (Ferreira et al. 2020d).



Fonte: Modificado de Araújo et al. 2020.

Os autores sugerem que o reconhecimento e a individualização das unidades estratigráficas foram possíveis por meio da análise de cada domínio, de forma que: o bloco Santa Bárbara é composto por metakomatiitos que correspondem à unidade basal do Grupo Quebra Ossos, seguidos por metabasaltos toleíticos e metassedimentos clasto-químicos do Grupo Nova Lima (Formações Vigário da Vara, Santa Quitéria e Córrego do Sítio), e, no topo, por rochas metassedimentares do Grupo Maquiné (Formações Palmital e Casa Forte); o bloco Nova Lima-Caeté, o único que contém a sequência greenstone belt, é composto, na base, por rochas do Grupo Nova Lima, incluindo metabasaltos toleíticos-komatiíticos das formações Ouro Fino e Morro Velho, seguidos por rochas metavulcanoclásticas e metavulcânicas ácidas a intermediárias da Formação Mestre Caetano, e, por fim, uma sequência metassedimentar com uma importante sequência vulcanogênica (Formação Ribeirão do Brumado). No topo, a sequência é concluída por rochas siliciclásticas do Grupo Maquiné (Formações Palmital e Casa Forte); o bloco São Bartolomeu é composto exclusivamente por rochas metassedimentares que marcam o topo do Grupo Nova Lima, correspondendo às Formações Fazenda Velha, Córrego da Paina e Pau D'Óleo, além de uma unidade distinta do Grupo Maquiné (Formação Andaimés).

2.1.1.3 Supergrupo Minas

Endo *et al.* (2020) classificam o Supergrupo Minas em uma nova subdivisão das unidades datadas no paleoproterozoico, de forma que é composto, da base para o topo, pelos supergrupos Caraça, Tamanduá, Itabira e Piracicaba, constituindo uma sucessão de ambiente continental-marinho.

O Grupo Tamanduá e Caraça registram uma fase rifte e transição para o desenvolvimento da margem passiva (Renger *et al.* 1995; Alkmim & Marshak 1998), sendo constituídos predominantemente por psamitos e subordinadamente por pelitos e conglomerados aluviais a marinhos. O Grupo Itabira é composto por itabiritos, itabiritos dolomíticos, itabiritos anfibolíticos, filitos, quartzitos e mármore da Formação Cauê e Gandarela, representando o registro integral da bacia de margem passiva (Alkmim & Marshak 1998). No topo da seção estratigráfica, encontram-se as rochas metassedimentares marinhas do Grupo Piracicaba (Dorr *et al.* 1957) como os quartzitos ferruginosos, filitos prateados, dolomitos, xistos sericíticos e metaconglomerados, filitos, filitos dolomíticos, metassiltitos e dolomitos quartzosos e argilosos.

2.1.1.4 Supergrupo Estrada Real

O Supergrupo Estrada Real, proposto por Endo *et al.* (2020), é uma redefinição que engloba o Grupo Sabará proposto por Almeida *et al.* (2005). É constituído pelos grupos Sabará e Itacolomi representando uma sucessão do tipo *flysh* e molassa sin-orogênicos.

A unidade basal do Grupo Sabará é a Formação Córrego do Germano (Endo *et al.*, 2020) sendo constituída principalmente por formação ferrífera bandada do tipo granular e quartzitos ferruginosos. Acima, a Formação Saramenha (Almeida *et al.*, 2005) é composta essencialmente por clorita xistos, mica xistos com intercalações de metagrauvas, quartzitos e formações ferríferas bandadas.

A Formação Catarina Mendes, inicialmente designada como unidade Catarina Mendes, no núcleo do Anticlinal de Mariana (FIG. 4), era entendida como unidade do Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas (Zuccheti & Baltazar 1998), até o estudo realizado por Freitas (2019). Esse autor, ao datar zircões detríticos de metagrauvas e metarenitos, definiu idade máxima de sedimentação de 2481 ± 12 Ma, demonstrando se tratar de unidade mais jovem e, portanto, não relacionada ao Grupo Nova Lima, mas a uma bacia à parte das sequências *greenstone*. Por meio de padrões geoquímicos (assinaturas de ETR) das rochas da

então unidade Catarina Mendes e rochas das possíveis áreas fonte, Freitas, (2019) apresenta granitos e gnaisses do Complexo Bação, basaltos toleíticos e rochas vulcânicas félsicas do Gr. Nova Lima como fonte de sedimentação.

Endo *et al.* (2020), ao propor novo mapa e coluna estratigráfica para área do QFe, apresenta então a Formação Catarina Mendes como unidade de topo do Grupo Sabará, constituída por: carbonato-clorita-biotita-plagioclásio-quartzo xisto, sericita-biotita-clorita-quartzo xisto, quartzo-clorita xisto, granada-biotita-quartzo xisto e clorita-biotita-plagioclásio-quartzo xisto com cianita, estauroлита e granada; e camadas pouco expressivas de formação ferríferas bandadas pouco magnéticas. Os autores propõem que essas rochas afloram em uma janela estrutural no núcleo do Anticlinal de Mariana, porção centro-leste da área de estudo (FIG. 4), cujos contatos tectônicos se dão através de zonas de cisalhamento e empurrão (Nalini *et al.*, 1992; Endo *et al.*, 1996) com os pacotes estratigráficos relacionados ao Grupo Maquiné.

O Grupo Itacolomi é composto pelas formações Florália (inferior) e Pico do Itacolomi (superior). A Formação Florália é constituída por ortoquartzitos e corresponde a unidade basal, já a Formação Pico do Itacolomi corresponde aos quartzitos do Grupo Itacolomi de Dorr (1969), metaconglomerados com seixos, calhaus, além de matações com veios de quartzo, quartzito, itabirito, filito e granito em menor abundância (Endo *et al.*, 2020).

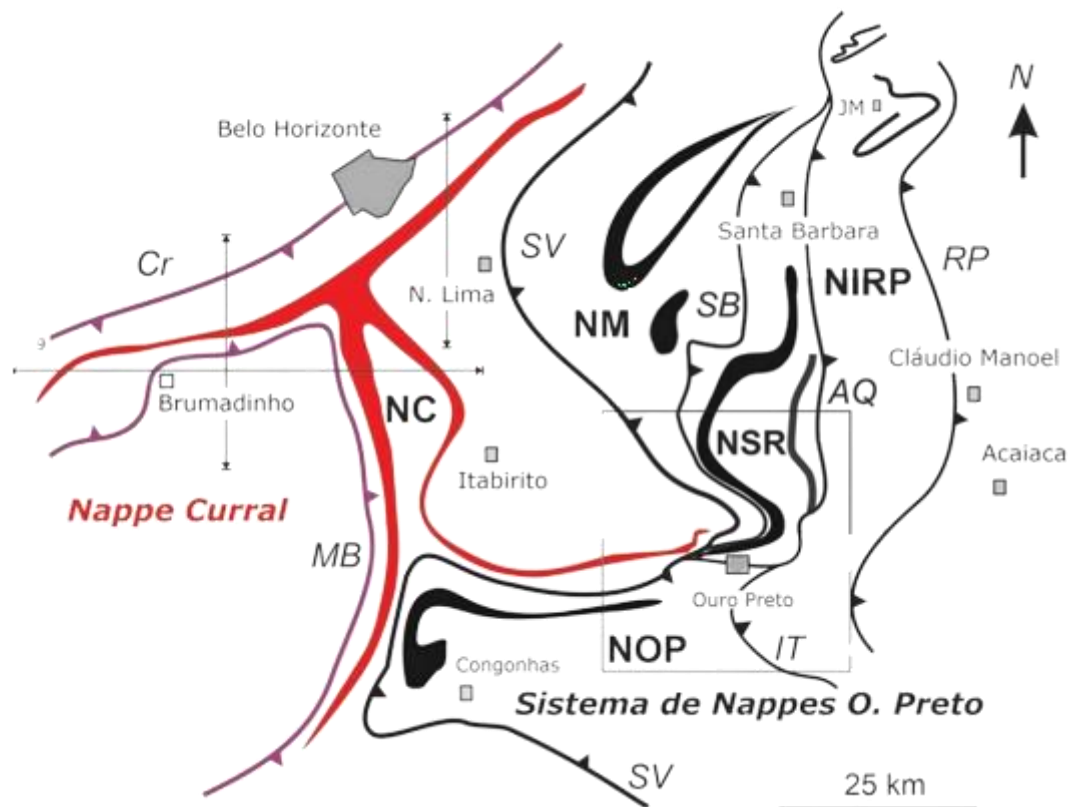
2.1.2 Contexto Estrutural

Do ponto de vista estrutural e tectônico, o Quadrilátero Ferrífero é caracterizado por rochas supracrustais arqueanas e paleoproterozoicas, alóctones sobre o embasamento cristalino (Endo *et al.* 2020), as quais configuram dobras de várias gerações e estilos correspondentes a diferentes fases e eventos tectônicos (Dorr 1969, Endo 1997, Almeida *et al.* 2001, Almeida *et al.* 2002, Almeida 2004, Almeida *et al.* 2005). Existem dois modelos principais que visam explicar a geologia estrutural do Quadrilátero Ferrífero: o modelo de domos e quilhas (Alkmim & Marshak, 1998) e o modelo de nappes (Endo *et al.* 2020). O modelo utilizado para a estruturação deste trabalho será aquele mais recente, o modelo proposto por Endo *et al.* (2020).

Em escala regional, Endo *et al.* (2020) compartimentaram o arcabouço estrutural em dois sistemas de nappes, de idade transamazônica, sendo eles: Nappe Curral, com vergência para NNE, e o Sistema de Nappes Ouro Preto, com vergência para SSW (FIG. 7). Embora

apresentem vergências opostas, os planos de simetria do sistema de nappes se assemelham, de forma que se orientam em torno de 095/45 e suas estruturas lineares (lineação mineral, de estiramento mineral e eixo de dobra) são paralelas entre si. Isso ocorre tanto nas porções mais deformadas, à leste do Quadrilátero, quanto à oeste, porção menos deformada (Rosière *et al.*, 2001).

Figura 7 - Mapa esquemático de articulação do sistema de nappes do Quadrilátero Ferrífero e as principais falhas/zonas de cisalhamento. Nappes: NC- Nappe Curral, NM- Nappe Maquiné, NSR- Nappe Santa Rita, NIRP- Nappe Itabira-Rio Piracicaba, NOP- Nappe Ouro Preto. F Falhas: SB- São Bento, AQ- Água Quente, RP- Rio Piracicaba, IT- Itacolomi, Cr- Curral. Zonas de cisalhamento: MB- Moeda Bonfim (descolamento basal da Nappe Curral), SV- São Vicente (descolamento basal do Sistema de Nappes Ouro Preto).



Fonte: Endo *et al.*, 2020.

A Nappe Curral é uma megadobra alóctone presente na porção oeste do Quadrilátero Ferrífero. Ela envolve as unidades do Supergrupo Rio das Velhas e do Supergrupo Minas sobre a superfície de descolamento basal Moeda-Bonfim, seguida de uma tectônica do embasamento de antepaís (*thick-skin*), com o envolvimento dos complexos metamórficos Bonfim e Bação (Endo *et al.*, 2020).

O Sistema de Nappes Ouro Preto envolve as estruturas orientais do Quadrilátero Ferrífero de forma que engloba as unidades do Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas e Supergrupo Estrada Real. Este sistema é construído a partir da junção de quatro nappes: a Nappe basal Maquiné, as Nappes intermediárias Santa Rita e Ouro Preto e Nappe superior Itabira-Rio Piracicaba, delimitadas pelas falhas São Bento, Água Quente, Itacolomi, Rio Piracicaba e pela superfície de cavalgamento basal do sistema, denominada Zona de Cisalhamento São Vicente (Endo *et al.*, 2020). As principais dobras associadas ao Sistema de Nappes Ouro Preto são: Sinclinal Gandarela, Sinclinal Ouro Fino, Anticlinal Conceição, Sinclinal Santa Rita, Sinclinório de Itabira, Sinclinório João Monlevade-Rio Piracicaba, Anticlinal de Mariana e Sinclinal Dom Bosco.

O sistema de Nappes do Quadrilátero Ferrífero passou por dois processos de deformação de idade brasileira, em regimes tectônicos compressivos. A primeira fase corresponde a esforços dirigidos de E para W e se relaciona ao reflexo da manifestação tectônica do orógeno Araçuaí (Pedrosa-Soares *et al.*, 2007 in Endo *et al.*, 2020). Como exemplos de evidências estruturais, destacam-se a formação de clivagens de crenulação N-S, dobras de escala mesoscópica vergentes para W e fraturas de alívio N-S preenchidas por veios de quartzo, e de tração preenchidas por corpos de hematitito (Endo *et al.*, 2020). A segunda fase corresponde a esforços dirigidos de S para N e se relaciona à manifestação da interferência da faixa Ribeira em relação ao orógeno Brasília (Peternel *et al.*, 2005, Campos Neto *et al.*, 2007 in Endo *et al.*, 2020). Para ilustrar indicativos estruturais dessa fase, citam-se a nucleação do sistema de dobras de direção axial E-W (sinformes Dom Bosco, Nova Lima-Brumal e Itabira e antiformes Furquim e João Monlevade), a formação de clivagens de crenulação E-W e dobras de escala mesoscópica vergentes para N (Endo *et al.*, 2020).

A região de estudo (FIG. 5) se encontra entre a Nappe Curral e o sistema de Nappes Ouro Preto, de forma que se estende desde a borda leste do complexo Bação até a região do Anticlinal de Mariana, o qual foi nucleado no paleoproterozóico em um regime tectônico compressivo, durante o evento tectônico Transamazônico. O anticlinal se configura devido a manifestação de uma ramificação cega, na lapa, da Zona de Cisalhamento São Vicente, ocorrida no momento do ápice do empilhamento tectônico (Endo *et al.*, 2020). Observa-se em sua feição, mais precisamente em seu núcleo, uma janela estrutural, marcada por uma falha de empurrão, preenchida por rochas da Formação Catarina Mendes, do Grupo Sabará.

2.1.2.1 Geologia Estrutural do Anticlinal de Mariana

O Anticlinal de Mariana está localizado na porção sudeste do QFe (SE da FIG. 5), entre os municípios de Ouro Preto e Mariana. É limitado a sul pela serra de Ouro Preto, a norte e leste pela serra de Antônio Pereira, e a Oeste pelo Complexo Bação. As referidas serras são sustentadas por rochas paleoproterozóicas das unidades do Supergrupo Minas, principalmente quartzitos e itabiritos, enquanto no núcleo da estrutura encontram-se rochas arqueanas do Supergrupo Rio das Velhas e, segundo Freitas (2019) e Endo *et al.* (2020), rochas proterozóicas do Supergrupo Estrada Real, justapostas. Essa janela estrutural preenchida por rochas do Supergrupo Estrada Real não se encontra em outros modelos estruturais do Quadrilátero Ferrífero (e.g Alkmim e Marshak, 1998) colocando em contraponto com àquele proposto por Endo et al 2020.

Estudos sobre o anticlinal possuem um histórico de longa data, devido à sua importância econômica, associada à ocorrência de mineralizações auríferas, e também sua complexidade estrutural.

Kattah J.C (2018) propõe um modelo evolutivo para o Anticlinal de Mariana baseado em uma deformação progressiva com transporte tectônico de NNE para SSW e o esquematiza em 7 fases:

- a) Fase F1: supõe-se a pré-existência das Falhas Água Quente, São Bento e São Vicente (FIG. 7), de forma que a última se relaciona com o início do desenvolvimento do cavalgamento da Nappe Ouro Preto sobre a Nappe Curral, com vergência para SW. A deformação da base da Nappe Ouro Preto resultaria na estruturação do Sinclinal de Santa Rita;
- b) Fase F2: esta fase está relacionada à deformação progressiva iniciada em F1, marcando principalmente o início de dobramentos entre as falhas São Bento e São Vicente. É desenvolvida a dobra Taquaral, de característica anticlinal assimétrica, que pertence ao flanco meridional do Anticlinal de Mariana. Durante essa fase, o início da ascensão do embasamento deforma sequências supracrustais e se comporta como um anteparo para a progressão do transporte tectônico para SW. Isto faz com que haja amplificação dos dobramentos como também leva ao achatamento da dobra Taquaral;
- c) Fase F3: representa a intensidade máxima da deformação iniciada em F1. A deformação progressiva é resultado do transporte tectônico para SSW refletindo em

uma xistosidade com vorticidade horária, a qual sobrepõe a vorticidade produzida nos dobramentos entre as falhas São Bento e São Vicente. Nesta fase, marca-se principalmente o rompimento dos flancos curtos, gerada pela falha de Córrego Seco, que resulta em duas foliações penetrativas: xistosidade de dobramentos e xistosidade de cisalhamento (falha);

- d) Fase F4: Nesta fase destaca-se a ascensão do Domo Bação que ocorre como resposta ao aprofundamento da atuação da Falha São Vicente e promove dobramentos por flexura das sequências supracrustais. Este dobramento por flexão é o responsável pela rotação da dobra Taquaral e pela nucleação do Anticlinal de Mariana. A deformação gerada pelo transporte tectônico para SSW é acentuada devido a elevação progressiva da sobrecarga tectônica, que reflete no aprofundamento de atuação das falhas de São Bento e Água Quente que se interconectam à falha de São Vicente em um único falhamento;
- e) Fase F5: Após a formação da Anticlinal de Mariana, o regime compressivo resulta no relaxamento tectônico e colapso gravitacional local. Também, há maior taxa de soerguimento do Domo Bação. Além disso, observa-se a geração de duplexes extensionais do flanco norte do anticlinal com sentido de cavalgamento dos *horses* contrário ao transporte tectônico principal, o que reflete na alteração do padrão de vorticidade, próximo aos duplexes, com vergência de SW para NE;
- f) Fase F6: Relacionada ao Neoproterozóico, esta fase possui transporte tectônico para oeste e caráter rúptil a dúctil-rúptil. Identificam-se fraturas, veios de quartzo e dobras com direções N-S;
- g) Fase F7: associa-se a um transporte tectônico para norte cujas estruturas - veios de quartzo e dobras locais - possuem orientações EW. Esse transporte desencadeou o fechamento do Anticlinal de Mariana além de rotacionar algumas estruturas, verticalizando veios de quartzo com *tension gashes* e apertando dobras mesoscópicas.

As zonas de cisalhamento São Vicente (ZCVS), São Bento (ZCSB) e Água Quente (ZCAQ) afetam diretamente a estruturação do anticlinal, tanto na sua parte interna quanto externa. No oeste do Anticlinal de Mariana, as zonas de cisalhamento ZCSB e ZCSV se conectam, constituindo um complexo sistema de falhas de empurrão. A ZCSV inicia a noroeste do município de Caeté e encerra em um traçado curvilíneo na Anticlinal de Mariana,

quando é sobreposta pelo sistema de cavalgamento Fundão-Cambota (Freitas, 2019). Essa estrutura corresponde ao plano resultante do descolamento basal da Nappe Ouro Preto, de vergência para S-SW (Endo *et al.* 2005). Segundo Madeira (2016), durante o Brasiliano, a ZCSV teve sua geometria deformada em antifomes e sinformes, e como consequência houve a nucleação do anticlinal de Mariana. A ZCSB se conecta em profundidade com a ZCSV. Madeira (2016) descreve a ZCSB como coincidente a separação dos xistos do Grupo Maquiné (lapa) com as BIF's do Supergrupo Minas (capa), evidenciando um contraste reológico. Em relação à ZCAQ, ela se localiza a leste do anticlinal de Mariana, na porção leste do Qfe e é responsável pelo cavalgamento do embasamento (Complexo Santa Bárbara) sobre as sequências dos supergrupos Rio das Velhas e Minas (Ferreira Filho & Fonseca, 2001).

3 METAMORFISMO

O metamorfismo é um processo geológico de modificação da composição mineralógica e/ou estrutura da rocha, em estado sólido, como consequência da variação das condições de pressão e/ou temperatura em que é submetida (NGB Oliveira, 2023). Essa transformação ocorre a partir de reações físico-químicas que estão ligadas a processos dinâmicos na Terra. O que distingue os diferentes tipos de rochas metamórficas é a rocha que a deu origem, denominada protólito, podendo ser de origem sedimentar, ígnea ou metamórfica.

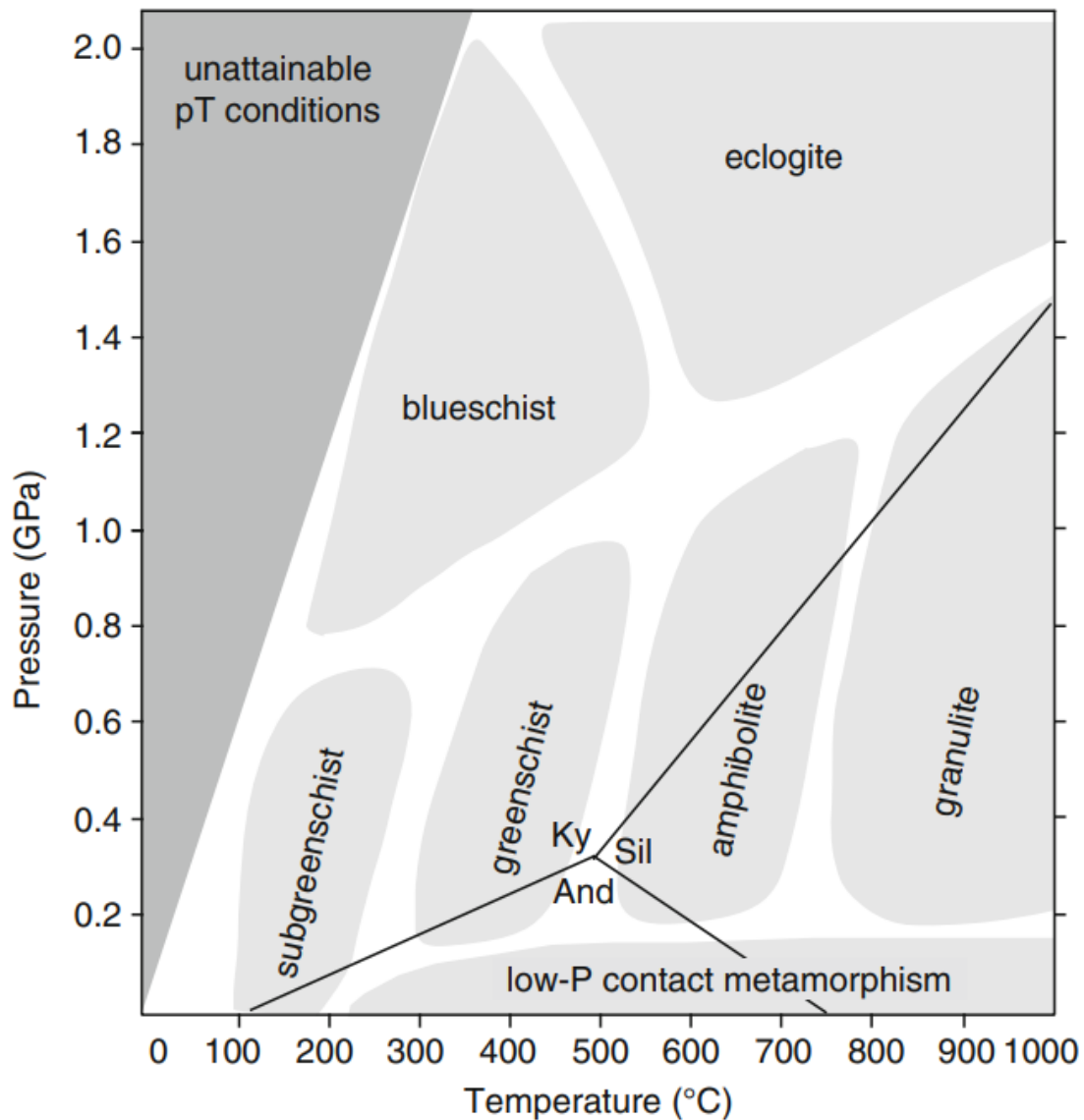
Os limites do metamorfismo são controlados pela pressão e temperatura, além de serem afetados também pela composição da rocha. Em muitas rochas, as transformações minerais se iniciam logo após a sedimentação e intensificam com o soterramento, sendo então o limite inferior do metamorfismo identificado nessa transição (Bucher & Grapes, 2011). Bucher & Grapes (2011) estipularam um limite arbitrário em cerca de $150\text{ °C} \pm 50\text{ °C}$. Em alta temperatura, as rochas iniciam seu processo de fusão parcial, desta forma essa temperatura, pré-definida para cada tipo de rocha, determina o limite superior do metamorfismo.

Uma estimativa mais precisa das condições metamórficas pode ser determinada ao se definir a associação mineral estável nas condições do pico do metamorfismo, conhecida como paragênese mineral (Frost & Frost, 2019). A paragênese mineral em equilíbrio em determinada condição de pressão e temperatura define o que Eskola (1915) denominou de fácies metamórficas. Esse conceito foi ampliado por outros autores de forma que atualmente são defendidas 11 fácies metamórficas, as quais foram separadas por Yardley (1989) em 4 diferentes grupos (Winter, 2014) (FIG. 8):

- a) Fácies de alta pressão, representada pelas fácies xisto azul e eclogito, as quais são características de zonas de subducção;
- b) Fácies de pressão média, caracterizada pelas fácies xisto verde, anfíbolito e granulito. A maioria das rochas expostas na superfície da terra se encontram nessa classificação e são típicas de metamorfismo regional;
- c) Fácies de baixa pressão, desenvolvidas a partir de um metamorfismo de contato, é classificada pelas fácies albita-epidoto hornfels e piroxênio hornfels. A fácies sanidina, menos comum, também se encaixa nesse grupo e ocorre em xenólitos;

- d) E fácies de baixo grau, equivalentes às fácies zeólita e prehnita-pumpellyita. Contudo nem sempre são representadas por ocorrerem em condições de P-T muito baixas, durante a fase de soterramento. A assembleia mineral é pobre e dependente entre as duas fases, por isso, muitas vezes são agrupadas e citadas como fácies sub-xisto verde.

Figura 8 - Campos de pressão e temperatura para as diferentes fácies metamórficas. And = andaluzita, Ky= cianita e Sil = sillimanita.



Fonte: Bucher & Grapes, 2011

Além das definições apresentadas, destacam-se os conceitos de zonas metamórficas e minerais índices apresentados por Barrow (1893) e Tilley (1925), detalhados no tópico 3.1 a

seguir. Neste trabalho serão abordadas essas definições que serão fundamentais para o estudo das rochas aflorantes na região da pesquisa, cujos litotipos são essencialmente xistos de protólito pelítico.

3.1 METAMORFISMO DE ROCHAS METAPELÍTICAS

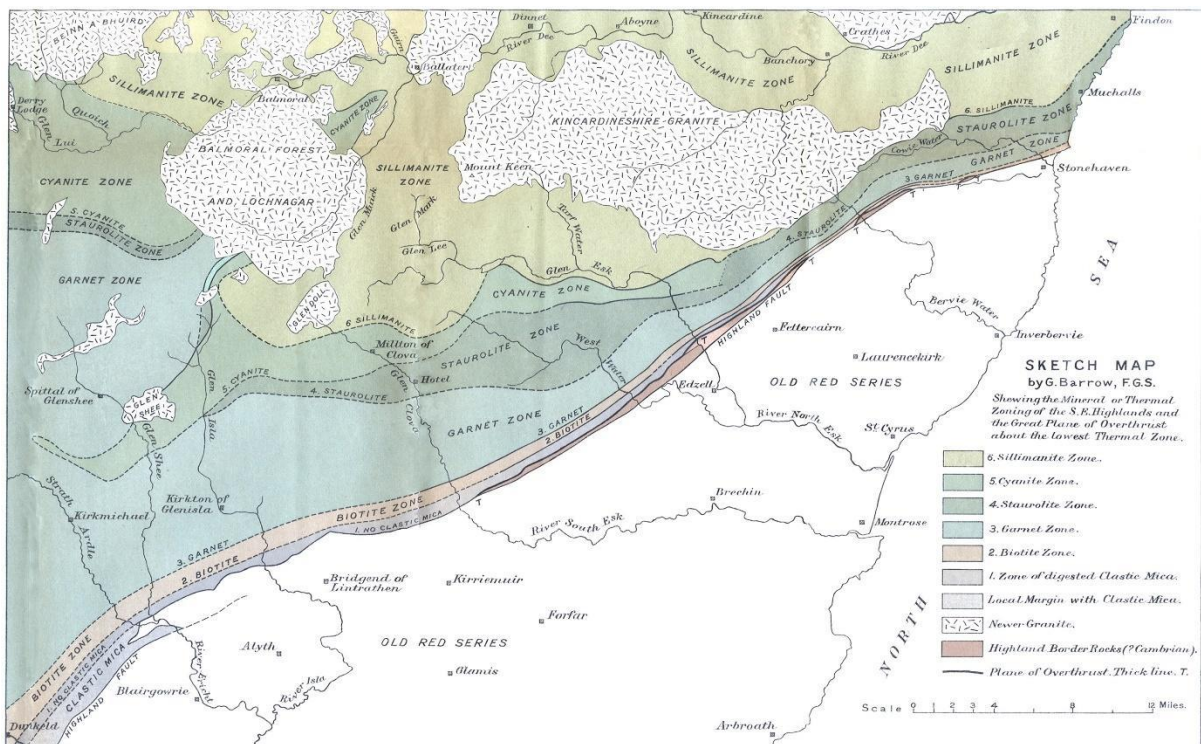
As rochas metapelíticas são rochas metamórficas de protólito sedimentar de granulometria fina, cujo tamanho dos grãos são menores que 2 μm . Sua composição é representada pelo sistema químico KFMASH (K_2O , Fe_2O_3 , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , além do H_2O em excesso), cujos minerais típicos são: granada, biotita, muscovita, clorita, estaurolita e polimorfos de Al_2SiO_5 (andaluzita, cianita e sillimanita) (Bucher & Grapes 2011). São ótimas para marcar um metamorfismo progressivo, de forma que pequenas variações de temperatura e pressão influenciam nas paragêneses minerais, o que permite a avaliação de suas condições metamórficas.

Barrow (1893) notou uma mudança significativa em rochas pelíticas de forma que ele poderia subdividir uma área em uma série de zonas metamórficas, cada uma baseada no aparecimento de um novo mineral nas rochas pelíticas metamorfoseadas, à medida que o grau metamórfico aumentava (o que ele poderia correlacionar ao aumento do tamanho do grão). O mineral que caracteriza uma zona particular é denominado mineral índice (Barrow, 1893). Os minerais índice definem o grau do metamorfismo em rochas pelíticas ao aparecerem em uma sequência progressiva: clorita, biotita, granada, estaurolita, cianita e sillimanita. Em conjunto a esses termos, Tilley (1925) definiu o termo isógrada para indicar uma linha em mapa que une o primeiro aparecimento de um mineral índice em uma região mapeada. As variações regionais no metamorfismo podem ser documentadas através do mapeamento das zonas metamórficas, assim como mapeado por George Barrow, na Escócia, no início do século XIX (FIG. 9). A sequência de zonas metamórficas reconhecidas, e suas respectivas rochas e assembleias minerais são (Winter, 2014):

- a) Zona da clorita: rochas pelíticas, como ardósias e filitos, que contém tipicamente clorita, muscovita, quartzo e albita;
- b) Zona da biotita: filitos e xistos com biotita, clorita, muscovita, quartzo e albita;
- c) Zona da granada: xistos com granada aparente, geralmente associada a biotita, clorita, muscovita, quartzo, albita e oligoclásio;

- d) Zona da estauroлита: xistos com estauroлита, biotita, muscovita, quartzo, granada e plagioclásio. Nessa zona, um pouco de clorita ainda pode persistir;
- e) Zona da cianita: xistos com cianita, biotita, muscovita, quartzo, plagioclásio e comumente granada e estauroлита;
- f) Zona da sillimanita: xistos e gnaisses com sillimanita, biotita, muscovita, quartzo, plagioclásio, granada e talvez ocorra estauroлита.

Figura 9 - Mapa de zonas barrobianas na região de Terras Altas da Escócia.



Fonte: Barrow, 1912.

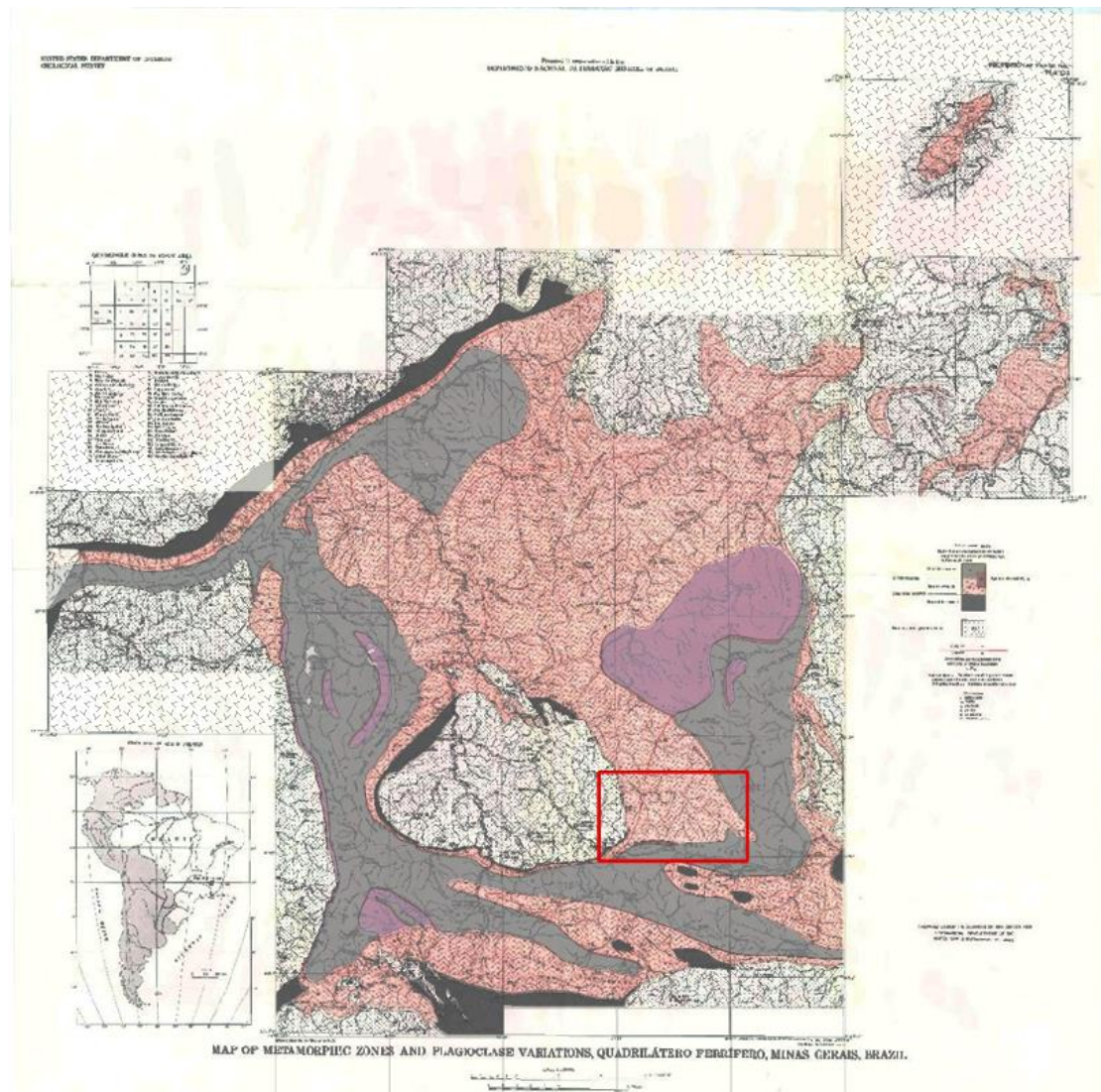
3.2 METAMORFISMO NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

O estudo da evolução metamórfica no Quadrilátero Ferrífero teve como pioneiro o trabalho publicado por Dorr (1964), em que ele sugere que as variações do tamanho do grão de quartzo na formação ferrífera seria consequência do metamorfismo. O autor apontou que na região leste do Quadrilátero Ferrífero o grau metamórfico atingiu um nível mais elevado, alcançando a fácies almandina-anfibolito, enquanto nas porções centro-oeste, as rochas são associadas a fácies xisto verde (Pires & Bertolino 1991).

No final da década de 70, Norman Herz publicou um trabalho em que ele caracteriza o metamorfismo do Quadrilátero Ferrífero através de um mapa de isógradas metamórficas

identificando quatro zonas metamórficas: clorita, biotita, estauroлита e cianita (FIG. 10). Além disso, quando se refere ao Supergrupo Rio das Velhas, Herz (1978) indica que as rochas dessa unidade estão em condições de fácies metamórfica de baixo grau, pertencendo a isógrads da biotita e clorita, na fácies xisto verde, encontrando tipicamente a assembleia quartzo-sericita-clorita. Indica também que fácies metamórfica de grau mais alto são encontrados no contorno do Complexo Bação. O trabalho de Herz (1978) foi referência para trabalhos posteriores, permanecendo como um marco e importante orientação para trabalhos dessa natureza na região do Quadrilátero Ferrífero.

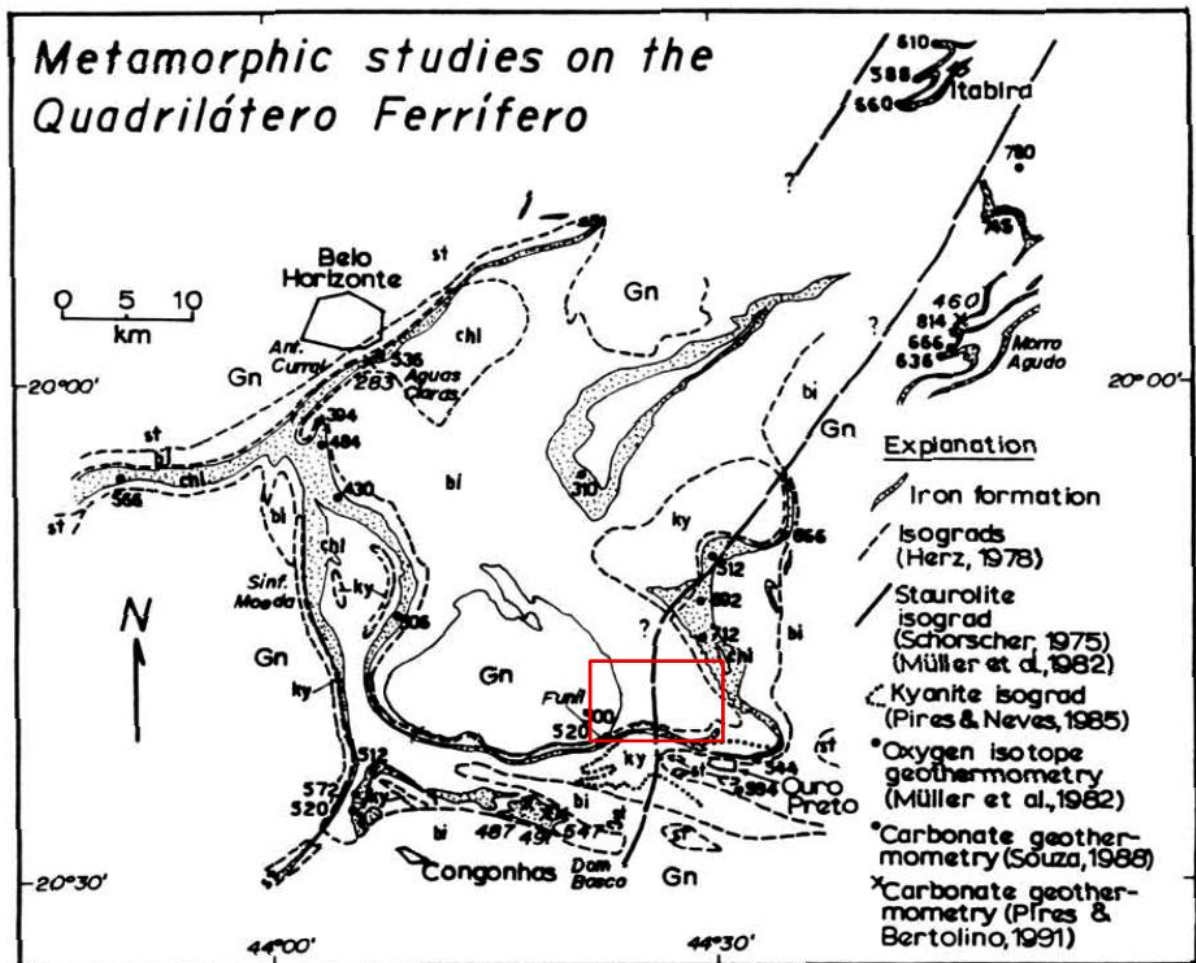
Figura 10 - Mapa de zonas metamórficas do Quadrilátero Ferrífero. Também disponível no Anexo 1. O retângulo em vermelho representa a localização aproximada da área de estudo.



Fonte: Modificado de Herz, 1978.

Outros projetos foram significativos para o entendimento da evolução do metamorfismo no Quadrilátero Ferrífero. Pires & Bertolino (1991) fazem uma revisão histórica da evolução metamórfica no Quadrilátero Ferrífero focando nas formações proterozoicas do Supergrupo Minas (FIG. 11). Neste trabalho, observa-se também a distribuição de quatro zonas metamórficas, próximas da configuração de Herz (1978). A zona da clorita foi associada às porções oeste e centro oeste; a zona da biotita associada à área do *Greenstone Belt* Rio das Velhas; a zona da estaurolita foi associada a um grau mais elevado baseando-se na isógrada que marca a transição cloritóide-estaurolita; e uma isógrada restrita da cianita no Sinformal Dom Bosco (Pires & Neves, 1985), coincide aproximadamente com a zona da estaurolita, e delimita o aparecimento do topázio.

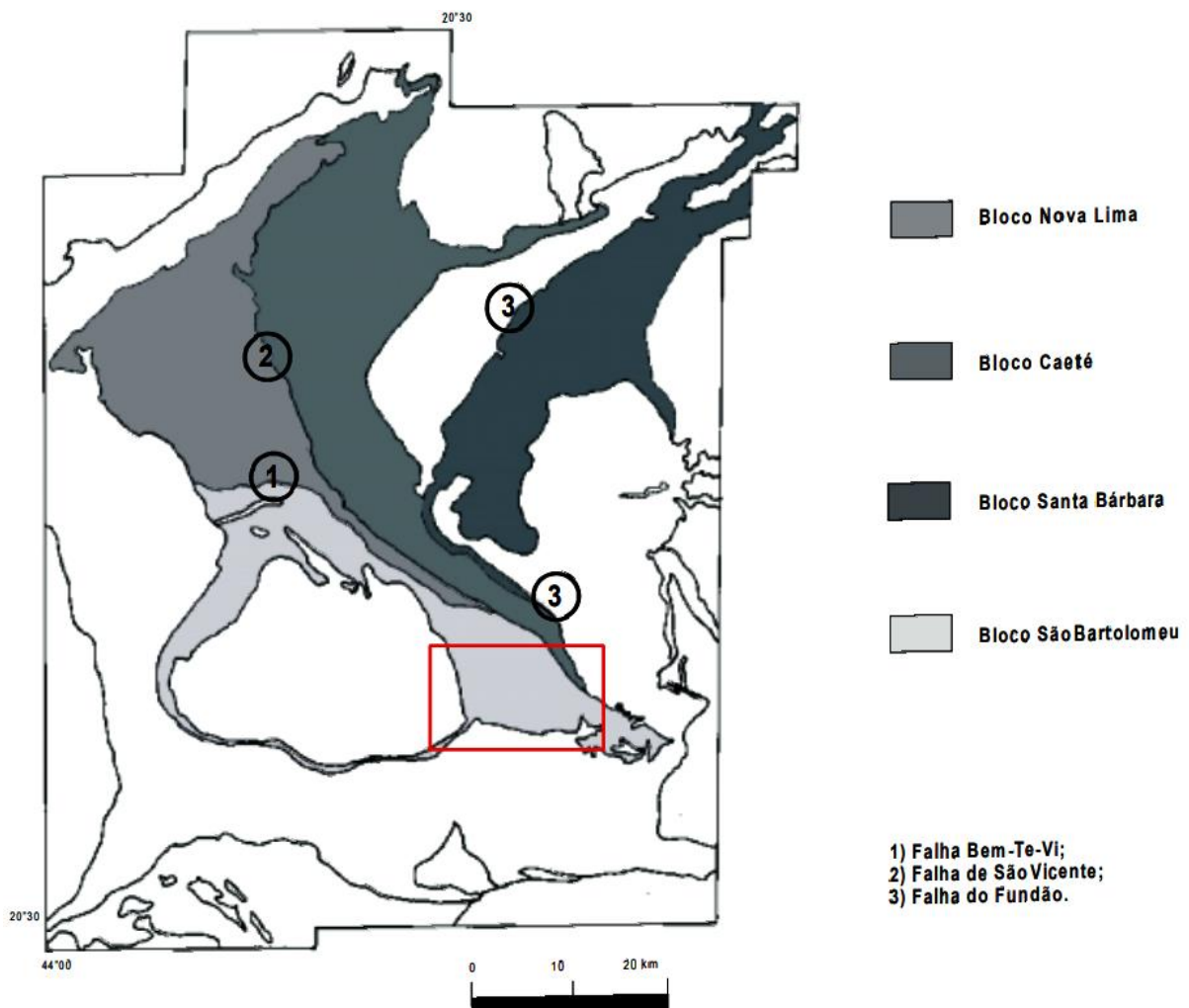
Figura 11 - Resumos dos estudos metamórficos sobre o Quadrilátero Ferrífero proposto por Pires & Bertolino (1991). Neste mapa observam-se valores de temperatura definidos por geotermometria de carbonatos e isótopos de oxigênio. O retângulo em vermelho indica a localização aproximada da área de estudo.



Fonte: Modificado de Pires & Bertolino, 1991.

Zucchetti & Baltazar (2000), no trabalho divulgado referente ao Projeto Rio das Velhas, propõe um gradiente metamórfico NE-SW, a partir da divisão do Supergrupo Rio das Velhas em unidades litoestratigráficas agrupadas em blocos tectônicos, caracterizados por colunas litoestratigráficas distintas e limitados por grandes lineamentos estruturais (FIG. 12). Os blocos tectônicos são classificados em Nova Lima, Caeté, Santa Bárbara e São Bartolomeu. Quanto ao grau metamórfico, Zucchetti & Baltazar (2000) classificam o metamorfismo na fácies xisto verde nos litotipos dos blocos Nova Lima, Caeté e Santa Bárbara, tendo atingido a fácies anfibolito no bloco São Bartolomeu.

Figura 12 - Compartimentação tectônica Greenstone Belt Rio das Velhas. O retângulo em vermelho indica a localização aproximada da área de estudo.



Fonte: Modificado de Zucchetti & Baltazar, 2000

Visando então contribuir para o entendimento da polaridade metamórfica do QFe, sob a luz dos estudos já realizados e da recente proposta de evolução estrutural proposta por Endo

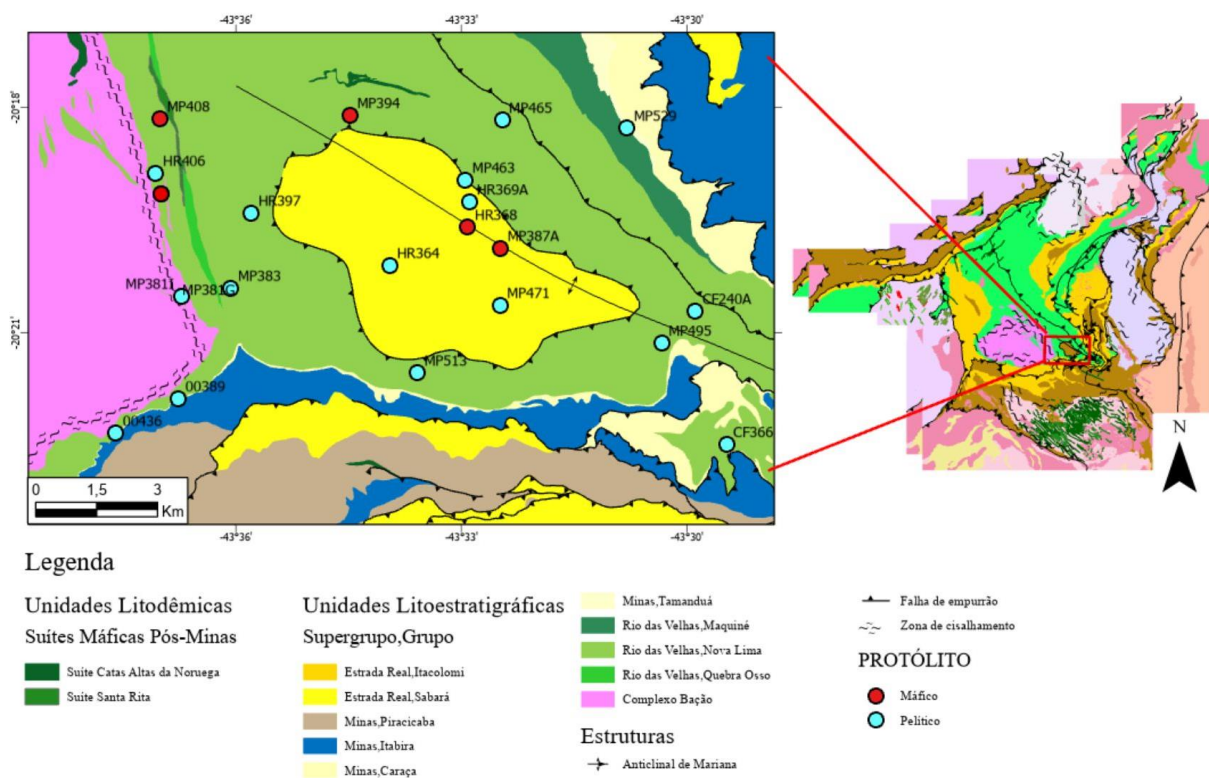
et al. (2020), apresenta-se, no Capítulo 4, a caracterização petrográfica e microestrutural de xistos a leste do Complexo Bação e porção interna do Anticlinal de Mariana (Fig. 5).

4 CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E TEXTURAL

4.1 DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

O estudo mineralógico e microestrutural da porção centro-meridional do Quadrilátero Ferrífero, pontos estudados apresentados na FIG. 13 cujas descrições se encontram no APÊNDICE, revelou em sua grande maioria xistos de protólito pelítico, mas também contendo aqueles de protólito máfico. O grau metamórfico das amostras foi definido a partir do mineral que indica o pico metamórfico registrado naquela rocha.

Figura 13 - Mapa geológico simplificado da área de estudo com localização das amostras estudadas e seus respectivos protólitos.



Fonte: Modificado de Endo *et al.*, 2020.

Os xistos pelíticos possuem em sua composição minerais do sistema químico KFMAS-HC, de modo que os principais minerais que compõe sua assembleia mineral são quartzo, feldspatos, filossilicatos - como muscovita/sericita, biotita, clorita -, e granada. Estauroлита e cianita foram reconhecidas em uma amostra somente (HR364, FIG. 13). Desta forma, o grau metamórfico dos xistos pelíticos varia de xisto verde inferior a anfibolito.

De maneira geral, as amostras analisadas são inequigranulares e porfiroblásticas, com granulação variando de fina a grossa. A granulação fina/média corresponde à matriz das rochas, composta por quartzo, plagioclásio e filossilicatos que apresentam uma orientação principal, marcando uma foliação na rocha. Os porfiroblastos marcam a granulação média/grossa e são compostos por grãos de granada e/ou biotita.

Os grãos de quartzo e plagioclásio ocorrem em grande parte das rochas descritas. Eles normalmente apresentam contatos poligonais (FIG. 14). Os grãos de quartzo podem estar recristalizados e podem possuir extinção ondulante. Os grãos de plagioclásio às vezes aparecem maclados, com maclas polissintéticas e de Carlsbad. Sericitização dos feldspatos é observada localmente (FIG. 14 A-B). Em rochas foliadas, os grãos de quartzo e plagioclásio formam agregados que definem bandas félsicas paralelas à foliação, definida pelos filossilicatos (FIG. 16 C-D).

A biotita é caracterizada pelo seu forte pleocroísmo variando em tons amarronzados mais claros e mais escuros. Os seus grãos marcam a foliação das rochas, mas também podem ocorrer como porfiroblastos (FIG 14 A-D). A maioria dos grãos possuem inclusões de zircão e quartzo (FIG. 14 C-D). A clorita ocorre como grãos incolores e lamelares, com a cor de interferência de primeira ordem, em tons de cinza-azulado, sendo assim Mg-clorita. Também é responsável por marcar a orientação da foliação das rochas. Muitas vezes ocorrem associadas à biotita, sendo interpretada como produto dos grãos de biotita, indicando um processo de retrometamorfismo para a zona da clorita em alguns xistos (FIG. 14 A-B). A mica branca ocorre como grãos inequigranulares de diferentes gerações (FIG 14 C-D). A sericita forma grãos muito finos, frequentemente em feldspatos alterados ou como agregados, indicando a substituição de um mineral (FIG. 14 A-B). Há também grãos de granulação mais grossa, lamelares.

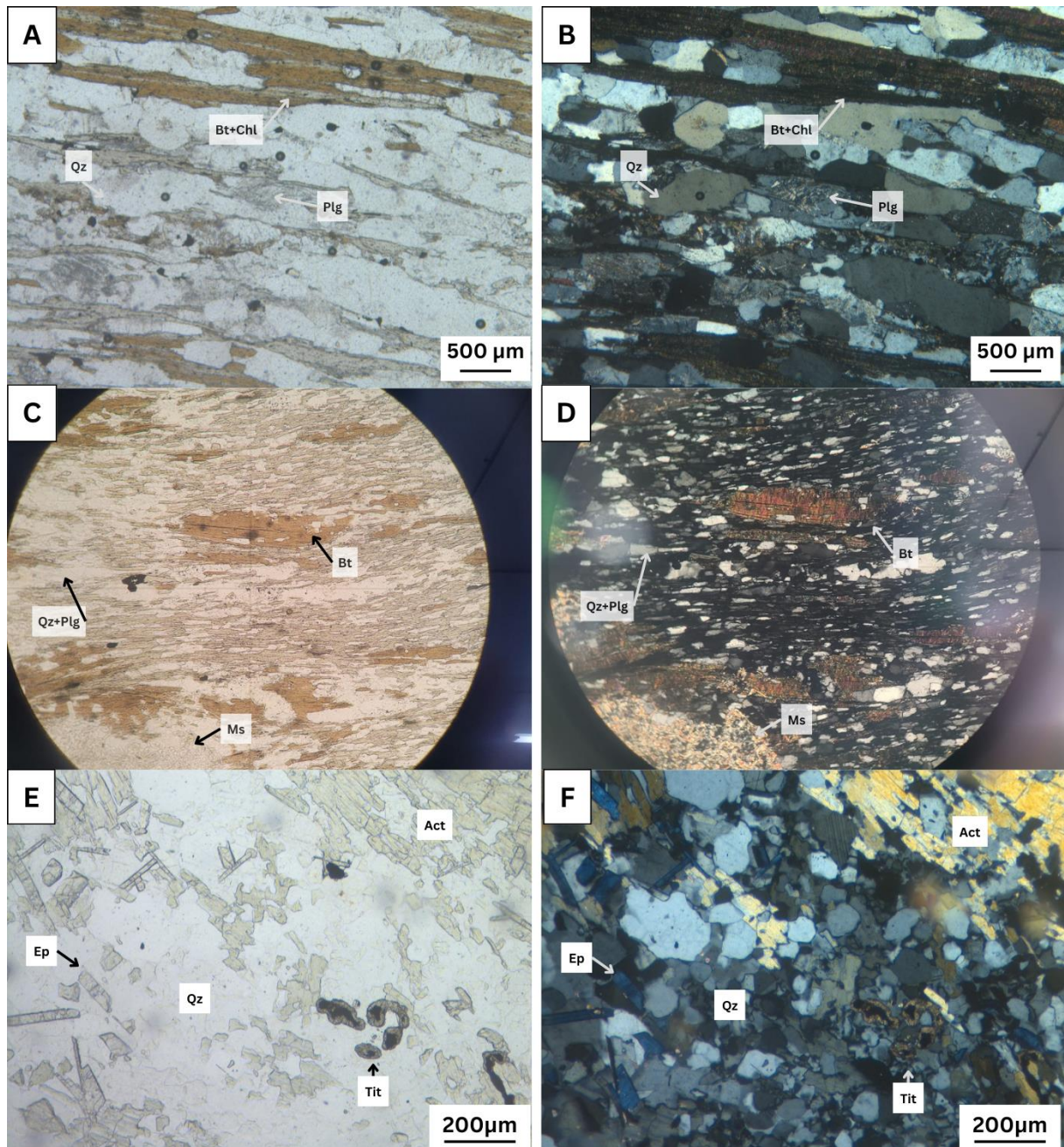
A granada é porfiroblástica, suas características diagnósticas são a coloração pálida, relevo alto e o caráter óptico isotrópico (FIG. 15 A-D). Sua distribuição e relação microestrutural com as demais fases minerais identificadas permitem importantes considerações acerca dos processos metamórficos-deformacionais registrados pelos xistos estudados, apresentadas à frente.

Os xistos de protólito máfico possuem em sua assembleia mineral anfibólitos como actinolita e hornblenda, plagioclásio, quartzo, epidoto e titanita. A fácies metamórfica varia de xisto verde a anfíbolito. A coexistência do epidoto e anfibólito (amostra MP387A) caracteriza a fácies denominada epidoto-anfíbolito, demarcando exatamente a transição entre essas fácies.

A actinolita possui coloração incolor a verde-pálido e relevo moderado, seu hábito é prismático e alongado (FIG. 15 E-H). A hornblenda possui a cor verde mais escura, podendo ser marrom, e possui um pleocroísmo intenso (FIG. 15 C-F). Além da tonalidade da cor em luz natural, a cor de interferência também diferencia ambos os minerais, de forma que a actinolita apresenta uma cor mais discreta. Além disso, a actinolita é típica de condições metamórficas de mais baixo grau (fácies xisto verde), enquanto a hornblenda, indica grau metamórfico mais elevado.

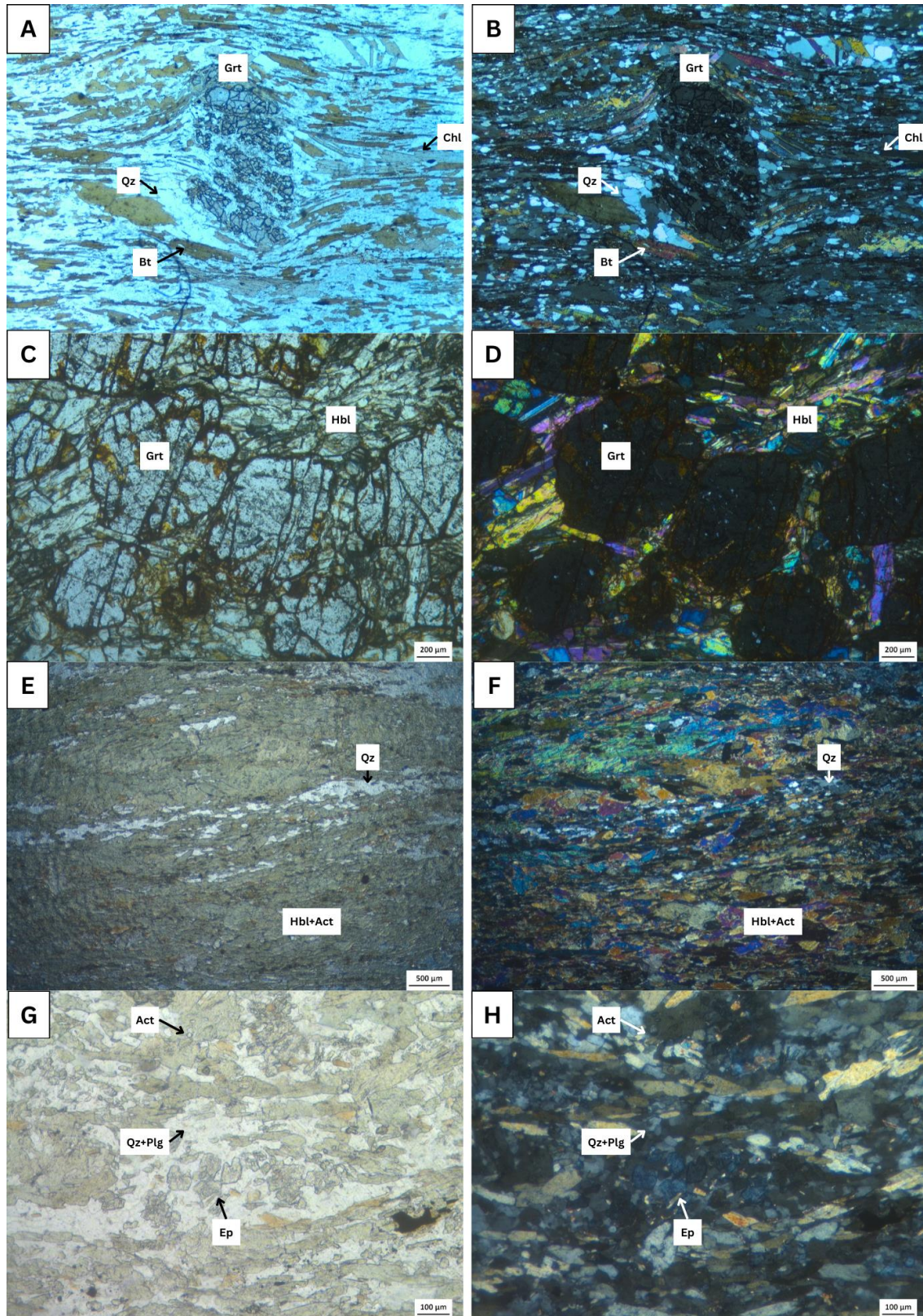
Os cristais de epidoto se apresentam em menor proporção nas rochas. São incolores, de relevo alto e possuem cor de interferência azulada (FIG. 15 G-H). Em rochas metamórficas de baixo grau, ocorrem associados a actinolita, plagioclásio e quartzo, já nas rochas de maior grau metamórfico se associam com a hornblenda. Quanto aos minerais acessórios, observam-se principalmente grãos de zircão, que ocorrem tanto na matriz da rocha quanto como inclusões nas biotitas, e ainda titanita (FIG. 14 E-F), apatita e minerais opacos.

Figura 14 - Principais minerais observados. À esquerda estão as fotomicrografias em luz natural polarizada, à direita em luz plana polarizada. A) e B) Amostra MP381G. C) e D) Amostra MP463. D) e E) Amostra HR368. Bt-Biotita, Chl-Clorita, Qz-Quartzo, Plg-Plagioclásio, Ms-Muscovita, Ep-Epidoto, Act-Actinolita, Tit-Titanita.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 16 - Principais minerais observados. À esquerda estão as fotomicrografias em luz natural polarizada, à direita em luz plana polarizada. A) e B) Amostra MP471. C) e D) Amostra IA04. E) e F) Amostra MP387A. G) e H) Amostra HR368 Grt-granada, Bt-Biotita, Act-Actinolita, Hbl-Hornblenda, Qz-Quartzo, Plg-Plagioclásio e Ep-Epidoto.



Fonte: Elaboração própria.

4.2 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E MICROTTECTÔNICA

É possível observar em rochas metamórficas microestruturas que refletem episódios ou fases de deformação de um ciclo tectônico (e.g. Medeiros, 2022). A partir da análise dessas microestruturas e relação com os minerais metamórficos presentes, pode-se relacionar os processos de blastese com as micro e macroestruturas observadas, estabelecendo-se idade relativa entre tais estruturas e minerais. Em uma blastese sin-cinemática, por exemplo, tem-se estruturas definidas por orientações preferenciais de filossilicatos, alongamento de grãos de quartzo ou desenvolvimento de porfiroblastos, que ao crescer adquirem inclusões que se alinham com a orientação da microestrutura/estrutura externa ao mineral. Por outro lado, em uma blastese pós-cinemática, observa-se principalmente o crescimento de minerais metamórficos após o período de deformação da rocha.

A seguir tem-se as principais feições microestruturais observadas e as relações estabelecidas com os minerais metamórficos identificados, principalmente aqueles indicativos do pico metamórfico atingido.

4.2.1 Estruturas planares

De modo geral, observa-se nas rochas estudadas estrutura planar definida principalmente pelos grãos de filossilicatos, como clorita e biotita (FIG. 16 C-F) e também grãos de hábito prismático como os anfibólios (FIG. 16 A-B). Ela também se manifesta nas inclusões observadas nos porfiroblastos, sendo marcada por trilhas de grãos de quartzo ou minerais opacos (FIG 16 E-F). Trata-se de uma foliação (Sn), contínua, originada a partir de processos deformacionais.

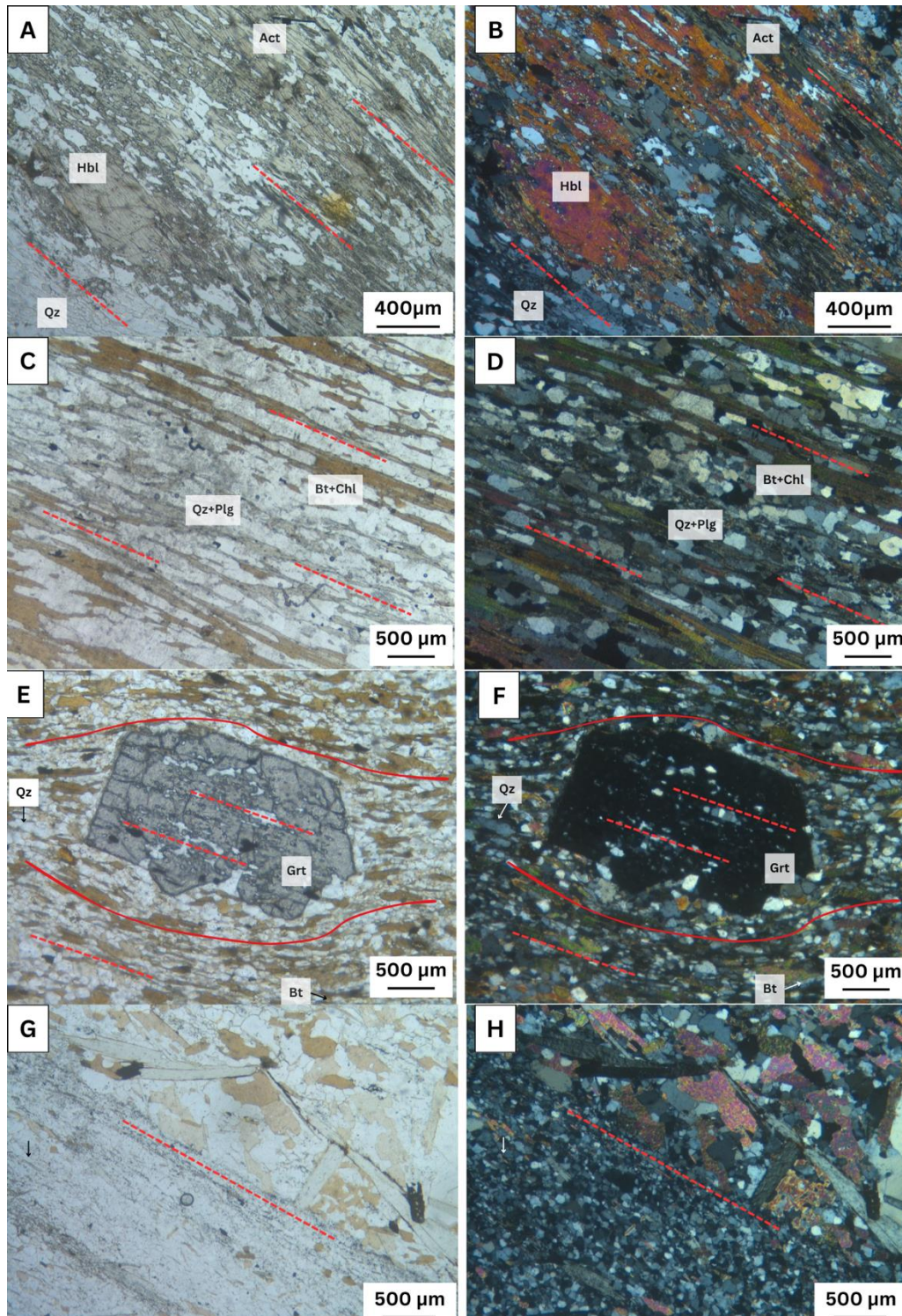
A orientação preferencial de grãos em uma rocha pode definir uma estrutura planar que ocorre de forma penetrativa na rocha e é denominada foliação (Passchier & Trouw, 2005). Essa estrutura pode ser classificada como foliação primária ou secundária, a depender do processo que gera essa orientação preferencial dos grãos. A foliação primária são estruturas relacionadas ao processo de formação da rocha como a sedimentação, resultado da deposição de sedimentos que geram camadas alternadas e que possuem variações consideráveis na composição, e cristalização da rocha, resultado do fluxo magmático durante o resfriamento de rochas ígneas. As foliações secundárias são vistas em rochas metamórficas, sendo resultado de um evento deformacional, responsável por reorientar os minerais. Neste grupo incluem clivagem, xistosidade, camadas na rocha que possuem diferença

composicional, e foliação milonítica. O que define a foliação secundária de uma rocha são o comportamento dos minerais, podendo ser grãos alongados ou laminados, descontinuidades planas em geral (seja na matriz ou em rocha equigranular) e agrupamento de minerais que formam bandas com diferentes composições.

Nas amostras CF366 e HR397 existem uma variação granulométrica, possivelmente marcando o acamamento sedimentar (S_0), e se encontra paralela a foliação principal observada (S_n) (FIG. 16 G-H, 17 E-F). Assim, considerando a possível preservação dos processos formadores da rocha, sugere-se que S_n corresponda à foliação de primeira geração, designada como S_1 .

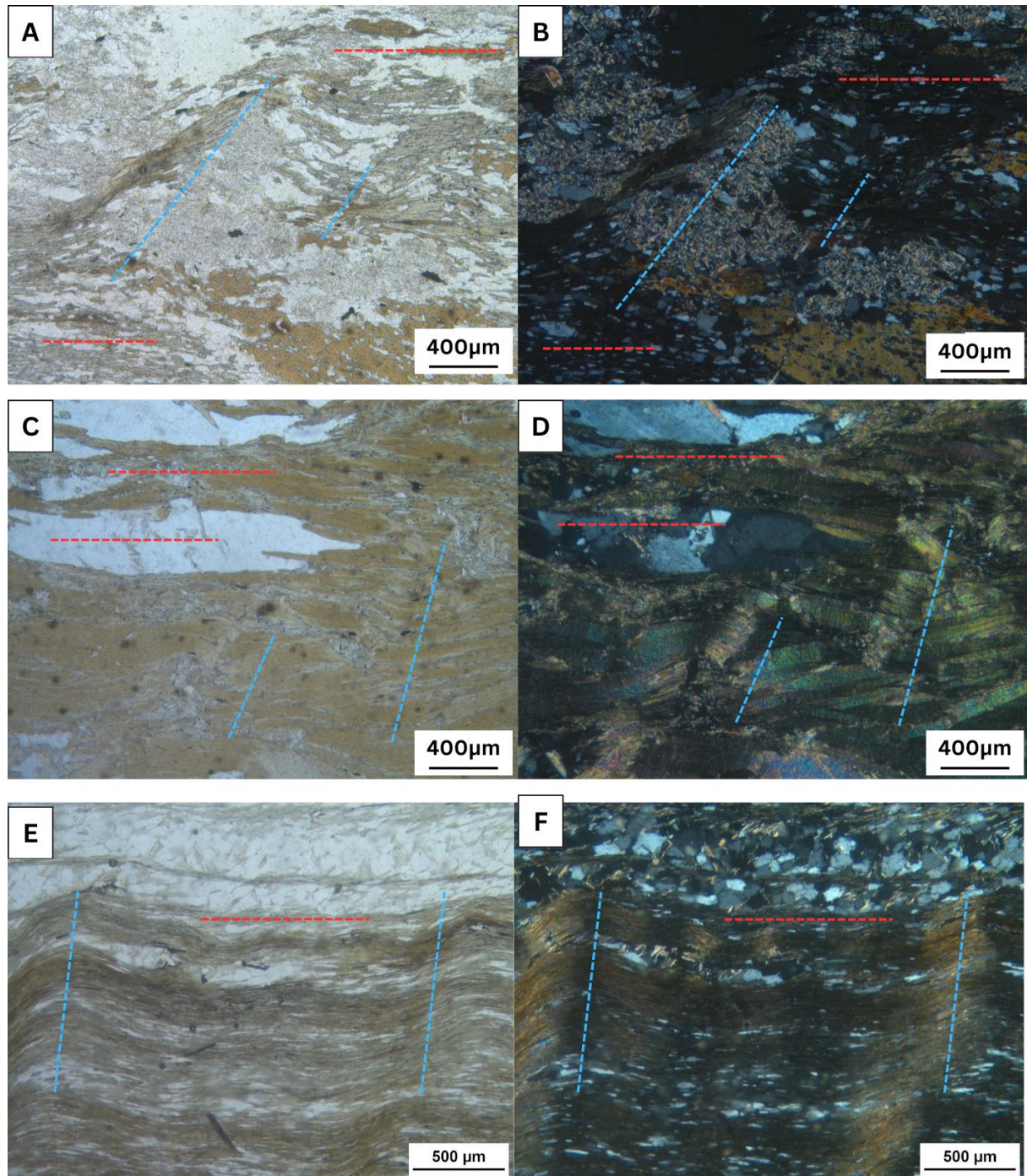
Observam-se também nas amostras MP 463, MP381I e CF366, microdobras desenvolvidas sobre a foliação S_n , designadas como crenulação, que reorientam os grãos finos de filossilicatos e definem uma foliação (S_{n+1}) (FIG. 17 A-F). Como a crenulação se forma sobre uma foliação que já existia na rocha (S_1), sugere-se que ela se trata de S_2 .

Figura 16 - Fotomicrografia indicando o comportamento da foliação S1 nas rochas. A primeira coluna são as fotos tiradas em luz natural enquanto a segunda coluna em luz polarizada. As fotografias A e B (amostra HR 364) mostram grãos de anfibólios (hornblenda-hbl e actinólita-act) orientados segundo S1, enquanto em C e D (amostra MP 381G), os grãos orientados são de biotita, que intercalam com banda granular, composta por quartzo+plagioclásio (qz+plg). As fotografias E e F (amostra MP 387B) mostram orientação preferencial segundo a foliação de inclusões em porfiroblasto de granada (grt). As fotografias G e H (amostra HR397) apresenta um bandamento granulométrico na rocha. As linhas pontilhadas em vermelho indicam a orientação preferencial de S1, enquanto a linha vermelha contínua indica o comportamento de S1 em relação à um porfiroblasto.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 17 - Fotomicrografia indicando o comportamento da foliação S1 (linhas pontilhadas em vermelho) e clivagem de crenulação, foliação S2 (linhas pontilhadas em azul) nas rochas. A primeira coluna são as fotos tiradas em luz natural enquanto a segunda coluna em luz polarizada. As fotografias A e B demonstram uma S2 pontual na lâmina MP 463 nos grãos de clorita e agregado de muscovita, enquanto em C e D (amostra MP 381I), os grãos de biotita aparecem crenulados. As fotografias E e F (amostra CF 366) mostram uma foliação espaçada de forma que S1 e S2 são bem delineados. Nesta amostra, a linha pontilhada em vermelho também indica um bandamento metamórfico. Também se destaca nessa amostra um bandamento composicional marcada pela intercalação entre bandas claras e amarronzadas.



Fonte: Elaboração própria.

4.2.2 Porfiroblastos

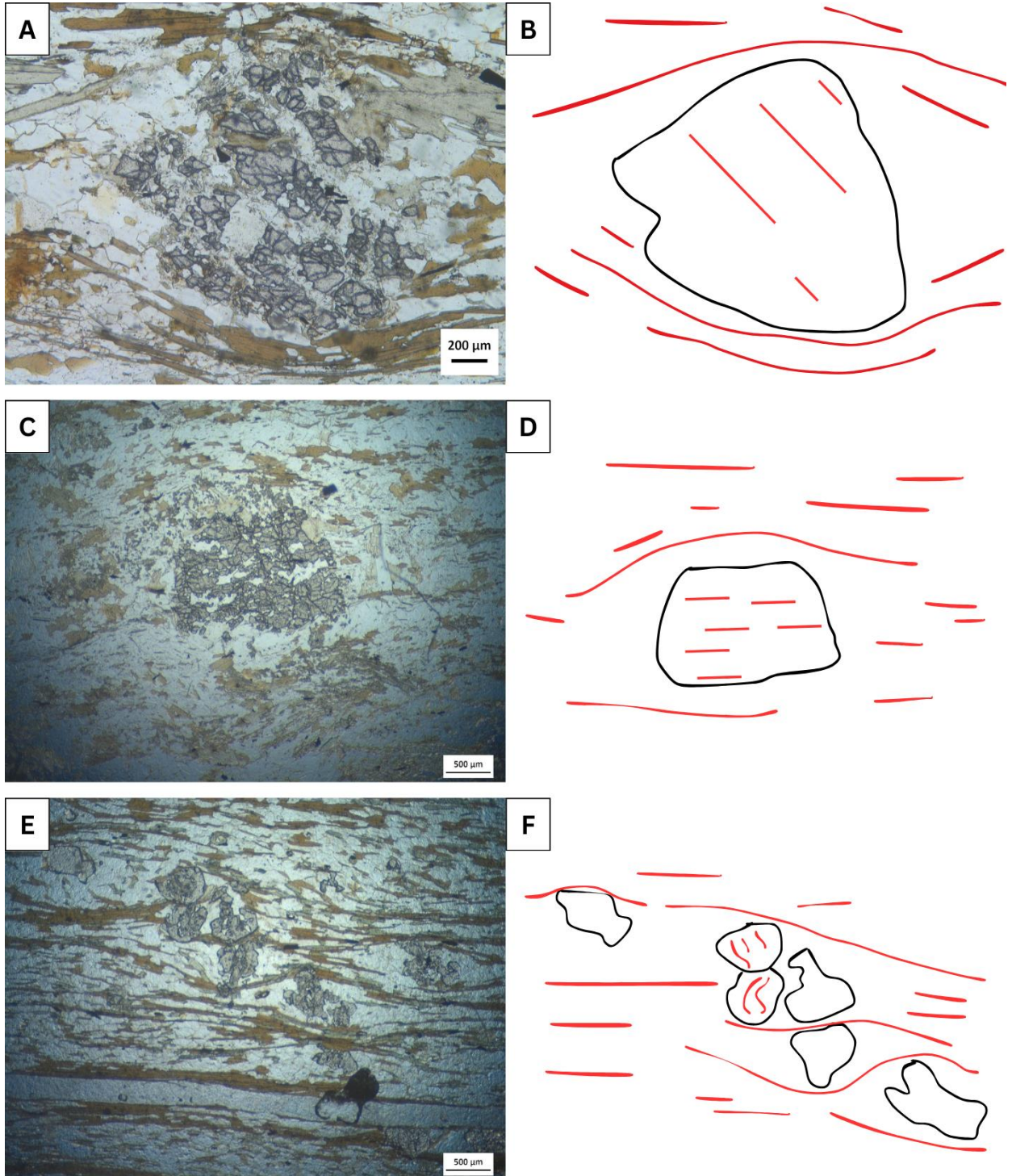
Os porfiroblastos são cristais relativamente grandes e são formados durante um evento metamórfico. Esses grãos fornecem informações sobre a evolução tectonometamórfica de uma região. Os padrões de inclusões nos porfiroblastos podem refletir a microestrutura da rocha de forma que, ao se desenvolverem, eles podem adquirir inclusões que se alinham com a orientação da foliação externa, ajudando a reconstruir a relação entre o desenvolvimento do mineral e as condições metamórficas deformacionais (Passchier & Trouw, 2005).

Existem porfiroblastos de granada, biotita e anfibólio em grande parte das rochas analisadas, sendo possível identificar microestruturas principalmente a partir de inclusões no interior desses grãos minerais. Os porfiroblastos de granada ocorrem envoltos por S1 e podem possuir inclusões de quartzo em seu interior. As inclusões ocorrem de maneiras diferentes em cada lâmina, podendo não apresentar nenhuma orientação ou estar levemente orientados. Essa orientação pode seguir a da foliação principal da rocha ou estar oblíqua a foliação externa à granada (FIG. 18).

Os porfiroblastos de biotita cresceram paralelos ou oblíquos à S1, englobando grãos de quartzo, opacos e zircão que se encontram orientados segundo a foliação da rocha (FIG 19 A-D). Também há aqueles que ocorrem de forma aleatória, discordantes da orientação preferencial dos grãos. Na lâmina MP381 os cristais de biotita, de granulação média à grossa, acompanham a foliação S1 e também aparecem crenulados, representando a foliação S2 (FIG. 17 C-D). Ao observar a expressão dessas duas estruturas, interpreta-se duas fases deformacionais. Além dessas feições, também se encontram biotitas que aparentam ter passado por um processo de boudinagem (Amostra MP471, FIG. 19 A-B)

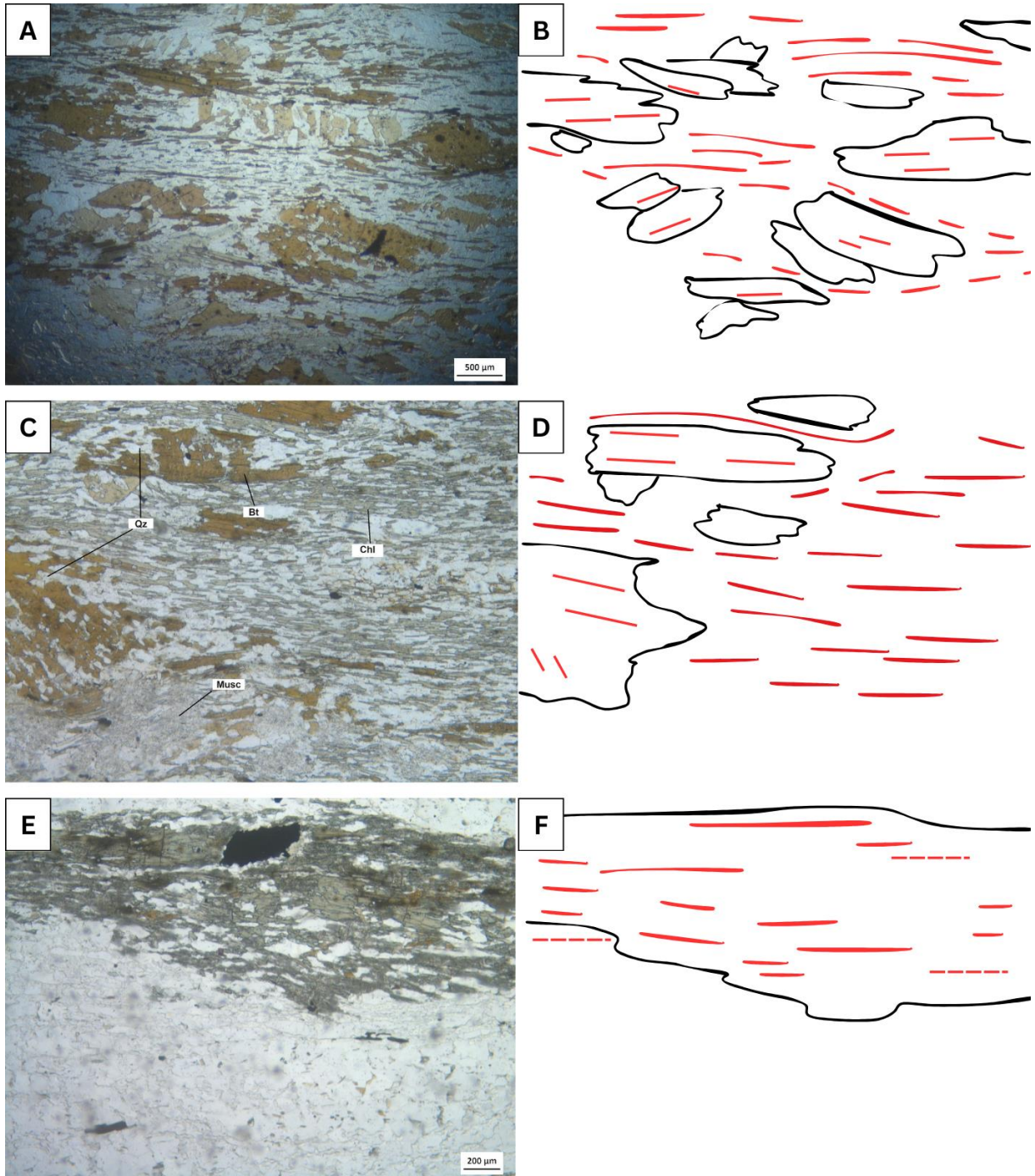
Por fim, também se encontram, em algumas amostras (HR364 e HR369A), porfiroblastos de anfibólio. Esses podem ocorrer como grandes massas difusas na rocha em que foram substituídos por quartzo e biotita, mas também ocorrem marcando a foliação S1 das rochas (FIG. 19 E-F).

Figura 18 - Fotomicrografia em luz natural e interpretação gráfica da microtectônica em porfiroblastos de granada. À direita, o contorno em preto indica o grão de granada e as linhas em vermelho a foliação S1, representado em sua respectiva foto à esquerda. Em A e B (amostra MP 471) a foliação interna se encontra oblíqua à foliação externa, indicando uma cinemática Inter-S1. Em C e D (amostra HR 369A) a foliação é paralela à foliação externa, indicando uma cinemática Sin-S1. Em E e F (amostra HR 406) a foliação no interior da granada se comporta de forma curva, indicando uma cinemática Sin-S1.



Fonte: Elaboração própria.

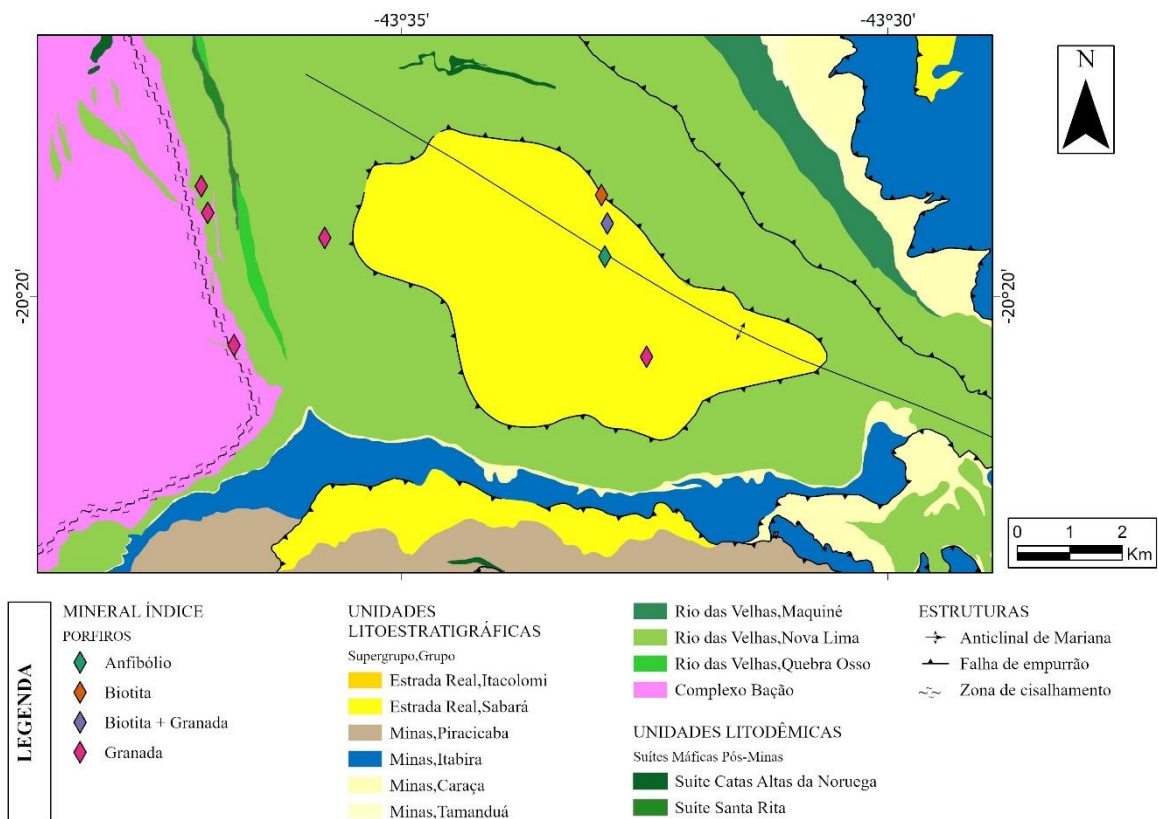
Figura 19 - Fotomicrografia em luz natural e interpretação gráfica da microtectônica em porfiroblastos de granada. À direita, o contorno em preto indica os porfiroblastos e as linhas em vermelho a foliação S1, representado em sua respectiva foto à esquerda. Tanto em A e B (amostra MP471) quanto em C e D (amostra MP463), a biotita ocorre como porfiroblastos que crescem ao longo da foliação S1 englobando os minerais orientados de quartzo e zircão. Também se encontram pórfiros de biotita que cortam a foliação principal da rocha. Em E e F (amostra HR364) está indicado uma banda onde ocorre hornblenda a qual está orientada segundo F1 (linha pontilhada em vermelho). Em alguns grãos do anfibólio há inclusões de quartzo que ocorrem orientados.



Fonte: Elaboração própria.

A ocorrência dos porfiroblastos na área de estudo pode ser observada no mapa representado na FIG. 20 de forma que se observa sua distribuição concentrada próxima ao contato com o complexo Bação e ao longo do eixo do Anticlinal de Mariana. Um porfiroblasto de biotita ocorre pontualmente no mapa nas unidades do Supergrupo Rio das Velhas.

Figura 20 - Distribuição dos pórfiros na área de estudo.



Fonte: Modificado de Endo *et al.* 2020.

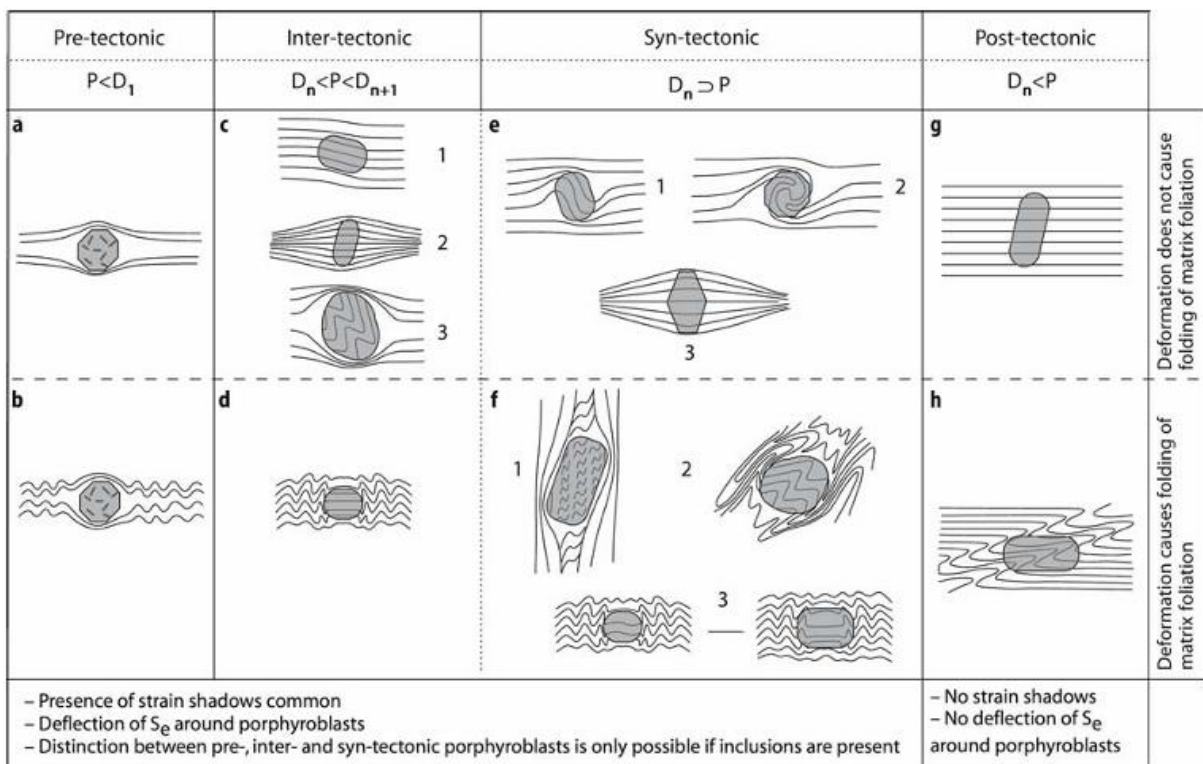
4.2.3 Análise Microestrutural e Microtectônica.

A partir da relação dos porfiroblastos com as estruturas observadas, os mesmos são classificados como pré, sin, inter e pós tectônicos (Passchier & Trouw, 2005), descrevendo-se a relação entre o crescimento do mineral e as fases específicas de deformação, normalmente representadas por foliação (ões) ou dobras na matriz da rocha (FIG. 21).

Porfiroblastos pré tectônicos podem estar circundados pela foliação da matriz, e podem ou não ter inclusões em seu interior, além de ser possível encontrar um tipo de zoneamento. Quando possuem alguma inclusão, elas não possuem uma orientação

preferencial (FIG. 21). Aqueles classificados como intertectônicos são porfiroblastos que tem um crescimento posterior ao desenvolvimento de uma foliação secundária, mas há uma matriz deformada em um evento posterior que o contorna, sem nenhum registro em seu interior (FIG. 21). Os porfiroblastos sintectônicos crescem durante uma única fase de deformação e existem uma grande variedade de microestruturas que podem caracterizá-los (FIG. 21). Os padrões de inclusões são geralmente curvos enquanto naqueles classificados como pré e intertectônicos ocorrem aleatoriamente ou o padrão é linear. Por fim, os cristais pós tectônicos cresceram após um evento de deformação e o padrão de suas inclusões segue o mesmo padrão da foliação externa (FIG. 21).

Figura 21 - Diagrama esquemático ilustrando o crescimento de porfiroblastos nos períodos pré, inter, sin e pós-tectônicos. As imagens superiores referem-se ao crescimento do mineral em relação à foliação resultante em uma deformação. Nas imagens inferiores considera a deformação que causa a crenulação de uma foliação mais antiga.



Fonte: Passchier & Trouw, 2005.

A partir das descrições, observam-se duas principais foliações marcadas pela foliação (S1) (FIG. 16 e 17) e clivagem de crenulação (S2) (FIG. 17), as quais sugerem eventos deformacionais diferentes.

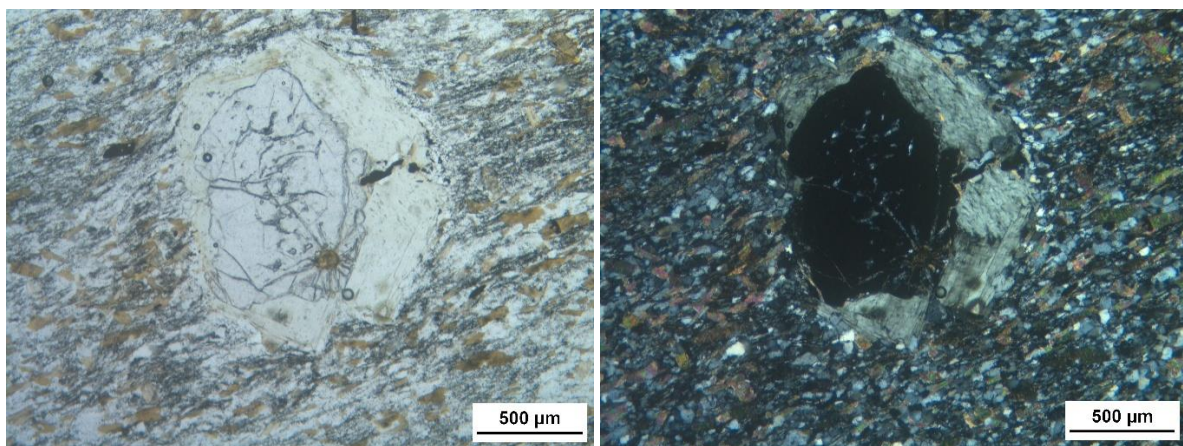
A clorita ocorre marcando a orientação da rocha seguindo a foliação S1. Ela muitas vezes provém da biotita. Sendo assim, ela é classificada como sin-S1.

A biotita compõe a matriz da rocha definindo a foliação S1 e também pode ocorrer como porfiroblastos os quais, na maioria das vezes, se orientam segundo a foliação, embora também hajam aqueles que ocorrem de forma aleatória. Desta forma, no conjunto de rochas ela pode ser interpretada como sin-S1 a pós-S1. Também, encontram-se em algumas amostras uma biotita crenulada, sendo inter-S2.

Os porfiroblastos de granada apresentam boas relações microestruturais, principalmente através de suas inclusões, que mostram padrões diferentes. Podem estar orientadas paralelamente à foliação S1 ou serem oblíquas a ela. Por outro lado, algumas vezes, a foliação S1 contorna grãos que não possuem nenhuma inclusão. Desta forma, a granada pode ser classificada como pré à sintectônica.

Na amostra HR397, há coronas de clorita em grãos de granada que são contornados pela foliação S1 (FIG. 22). Interpreta-se então que essa clorita seja de uma geração distinta das demais presentes na amostra, de forma que se formou a partir de processos retrometamórficos. A granada, formada em condições de alta pressão e temperatura, foi gradualmente substituída por clorita com a redução dessas condições, criando uma auréola. Esse fenômeno reflete mudanças nas condições metamórficas que favoreceram a formação de clorita.

Figura 22 - Amostra HR397 indicando corona de clorita em torno do porfiroblasto de granada.



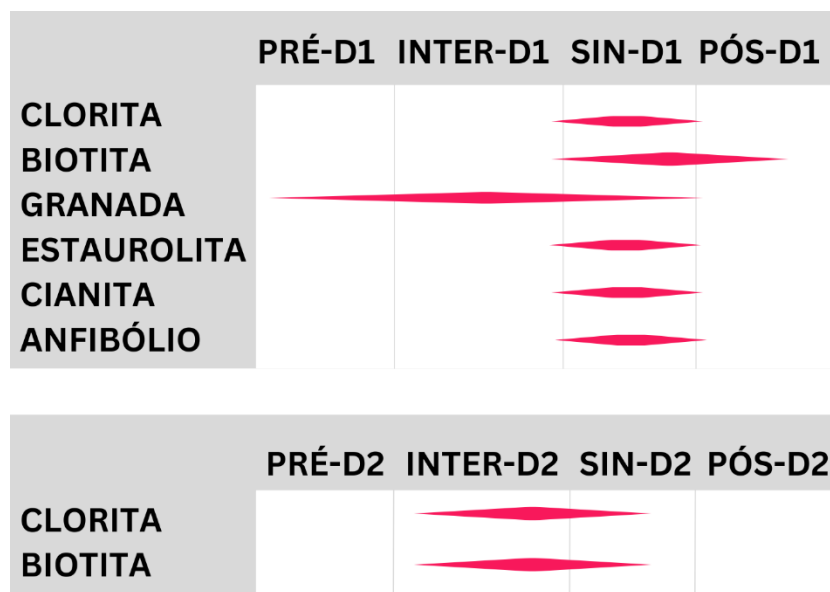
Fonte: Elaboração própria.

Tanto a estaurolita quanto a cianita ocorrem paralelas à xistosidade e possuem algumas inclusões de quartzo que estão orientadas segundo S1. Sendo assim esses porfiroblastos se enquadram numa cinemática sintectônica.

Em muitas amostras encontram-se anfibólios que marcam a foliação S1. Eles também podem apresentar inclusões de quartzo orientadas ou não. Além disso, na amostra HR 369, o anfibólio ocorre como porfiroblasto que foi substituído por biotita e quartzo.

Com a identificação de S1 e S2, interpreta-se dois eventos ou fases de formação, designados como D1 e D2. A partir então da análise microestrutural e correlação com as estruturas observadas, propõe-se a seguir uma relação entre blastese e processos deformacionais reconhecidos nas amostras estudadas (FIG. 23).

Figura 23 - Blastese dos minerais metamórficos presentes nas lâminas descritas em dois eventos metamórficos distintos: E1, primeiro quadro, e E2, segundo quadro.



Fonte: Elaboração própria.

4.3 METAMORFISMO

A partir da caracterização petrográfica, foi possível definir as principais paragêneses minerais:

- a) clorita+biotita
- b) clorita+biotita+granada
- c) biotita+granada+estaurolita+cianita
- d) anfibólio+clorita
- e) anfibólio+epidoto
- f) hornblenda+granada+biotita

Essas associações minerais possibilitaram a definição de duas principais isógradas, as quais vão individualizar a zona da clorita, a zona da biotita e zona da granada. Essas isógradas foram definidas a partir do aparecimento de um novo mineral índice do metamorfismo, o qual ajudará a definir o grau metamórfico.

A descrição das amostras permite relacionar as foliações e minerais metamórficos presentes, identificando-se duas fases de metamorfismo distintas, M1 e M2. O evento M1 está relacionado à orientação dos grãos de biotita, clorita e anfibólio, que marcam a foliação S1. As inclusões nos grãos de granada e biotita indicam blastese durante a fase de deformação D1. Em apenas uma amostra descrita, identificou-se estauroлита e cianita também sin-D1. Esta associação mineral que se formou durante a fase de deformação D1 registra então as condições metamórficas de fácies xisto verde a anfibólito.

O evento M2 é caracterizado pelos minerais metamórficos clorita e biotita que ocorrem contemporâneos a deformação D2, marcando a clivagem de crenulação S2 e atingindo grau metamórfico correspondente à fácies xisto verde.

As definições de condições geotermobarométricas, detalhadas no tópico a seguir, representam uma estratégia para melhor definição do grau metamórfico, vigentes quando da formação/estabilização da paragênese mineral em questão.

4.4 DEFINIÇÃO DE CONDIÇÕES TERMOBAROMÉTRICAS

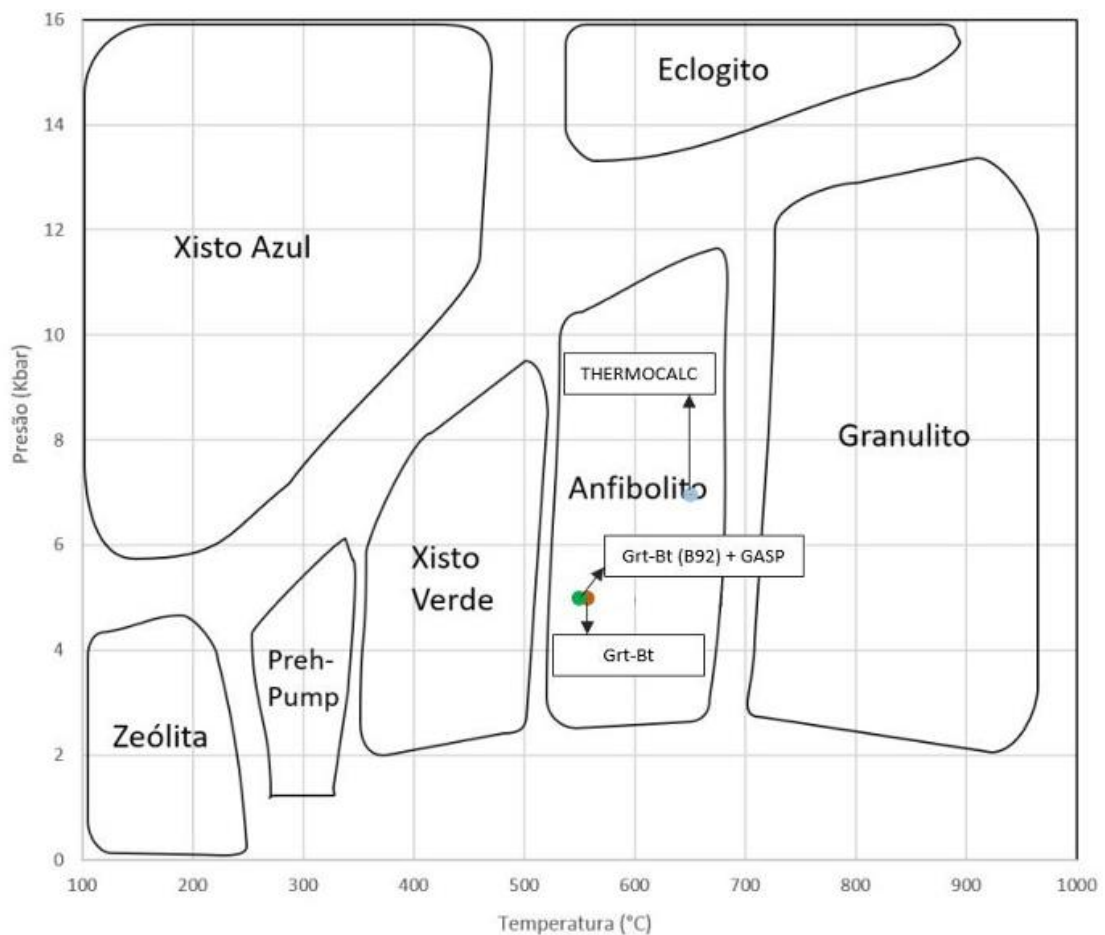
Um dos principais objetivos da petrologia metamórfica é definir as condições P-T do pico metamórfico em que determinado litotipo foi exposto. Uma técnica eficaz para obter dados P-T para rochas metamórficas é a geotermobarometria (GTB). As condições P-T para o estado menos hidratado de uma rocha podem ser inferidas a partir do equilíbrio dos minerais estáveis e de suas composições químicas, observando a distribuição de elementos entre minerais coexistentes (Bucher & Grapes, 2011).

A distribuição de elementos entre minerais que coexistem, quando adequadamente balanceada, pode ser extremamente útil para a definição da termobarometria. Um dos métodos mais comuns é analisar a distribuição de Mg e Fe entre granada e biotita (Bhattacharya et. al, 1992), uma vez que a variação da constante de equilíbrio K difere em grades metamórficas distintas.

Oliveira (2023) obteve valores de pressão e temperatura para xistos pelíticos localizados na região de São Bartolomeu, por meio dos resultados obtidos a partir da química

dos minerais em equilíbrio. Como resultado, as temperaturas variam entre 522 e 612° C para o núcleo dos cristais e 508 a 586° C para as bordas, a partir do geotermômetro granada-biotita. A pressão considerada foi de 5 kbar, devido a presença de estauroлита. Além disso, obteve valores médios de temperatura e pressão de $657 \pm 41^\circ\text{C}$ e de $7,1 \pm 0,9$ Kbar pelo software THERMOCALC (Holland & Powell 1998), no modo Average P-T. A partir de seus resultados, estimou-se grau metamórfico médio, na fácies anfibolito (FIG. 24).

Figura 24 - Gráfico com as temperaturas de metamorfismo obtidas pela média das temperaturas obtidas pelos métodos convencionais (552°C), bem como pelo termômetro granada-biotita de Bhattacharya *et al.* (1992) e o barômetro GASP (550°C) e pelo Average P-T THERMOCALC ($657 \pm 41^\circ\text{C}$ e de $7,1 \pm 0,9$ Kbar). As fácies metamórficas apresentadas neste gráfico respeitam os limites de pressão e temperatura de Yardley (1989).

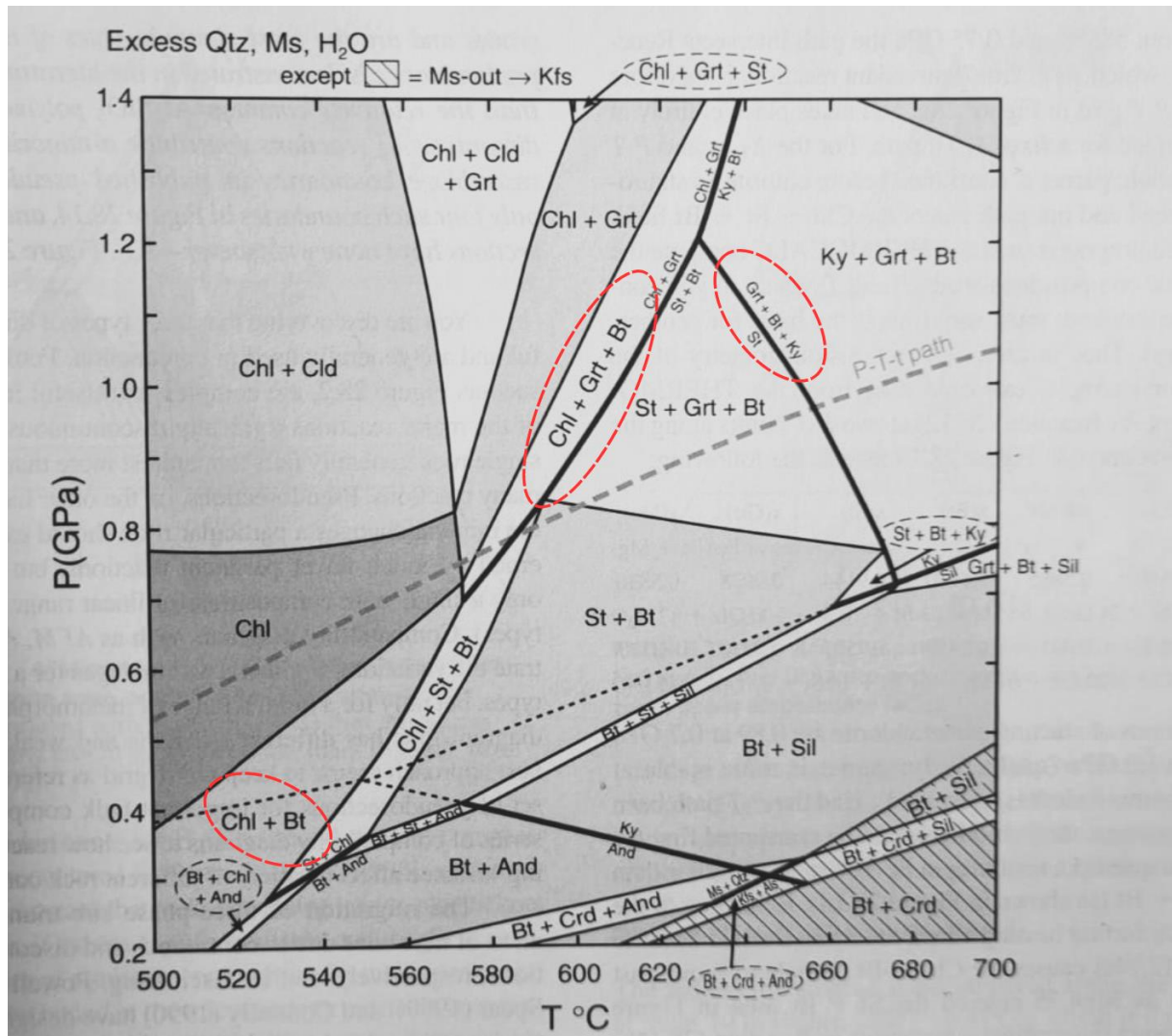


Fonte: Oliveira, 2023.

Outro método utilizado para inferir as condições P-T de uma paragênese mineral são as grades petrogenéticas. Ao associar a grade petrogenética para protólitos pelíticos (FIG. 25) às associações minerais em equilíbrio descritas nas amostras é possível estimar um intervalo

de temperatura variando de 500° a 560°C e 560° a 680°C e um intervalo de pressão de 2 a 7 kbar e 7 a 12 kbar, que corresponde às fácies metamórficas xisto verde e anfibolito (Winter, 2014).

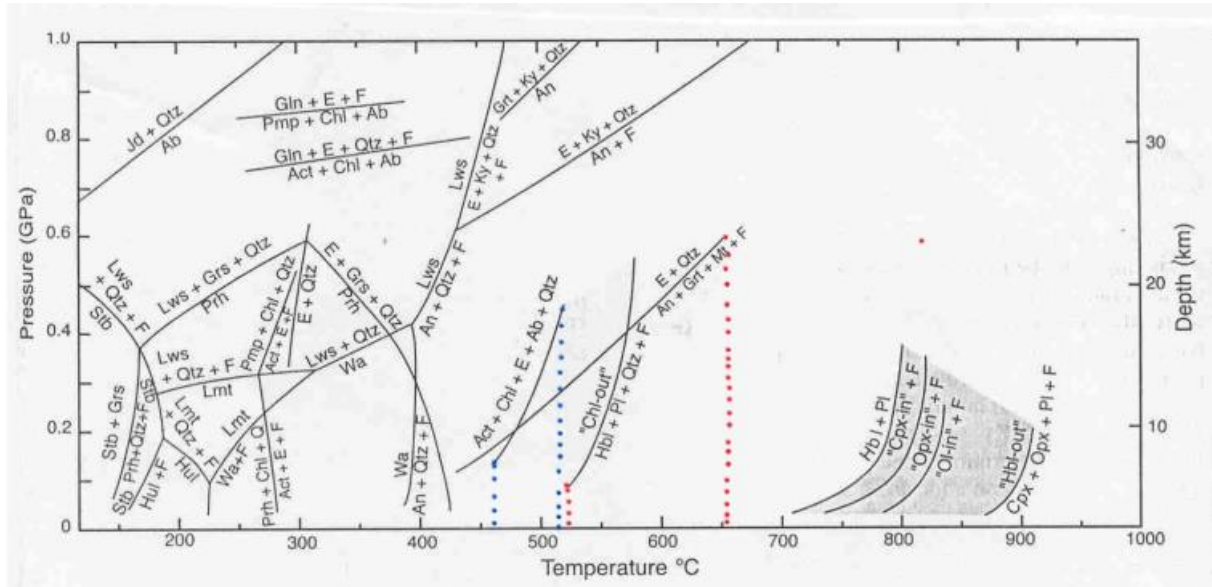
Figura 25 - Grade petrogenética para rochas pelíticas. As amostras possivelmente se enquadram nas áreas indicadas pelos círculos em vermelho.



Fonte: Winter, 2014.

Para a borda leste do Complexo Bação, região oeste da área de estudo, a associação mineral predominante é quartzo+plagioclásio, biotita, hornblenda e granada, cujo protólito é máfico. Segundo a grade petrogenética para essas rochas (FIG. 26) proposta por Winter (2001), em conjunto com a paragéneses mineral das amostras, é possível identificar que essas rochas passaram por um metamorfismo na fácies anfibolito (intervalos de temperatura variando de 530° a 650°C e pressão 2 a 6 kbar).

Figura 26 - Grade petrogenética para rochas metamáficas. A linha pontilhada em vermelho indica as associações minerais localizadas na borda do Complexo Bação. A linha pontilhada em azul se relaciona às associações minerais de protólito máfico nas demais regiões de estudo.



Fonte: Winter, 2001.

Embora tenha sido realizado a oeste da área de estudo, a química mineral e modelamento metamórfico apresentados por Coelho (2015) nas rochas supracrustais da porção centro-leste do Complexo Bação, identificou-se que o granada-anfibolito foi metamorfozido em fácies anfibolito. Esse resultado foi obtido através de pseudosseção em conjunto com termobarometria via isopleths. A amostra indicou um pico do metamorfismo em pressões de 5.4-11.8 kbar e temperatura variou de 602-750° para granada-anfibolito.

4.5 CONFECÇÃO DO MAPA DE ISÓGRADAS

As relações petrográficas e microtectônicas observadas na área de estudo permitem a identificação de duas isógradas que dividem a região em três zonas barrovianas distintas: a zona da clorita, a zona da biotita e a zona da granada. Cada uma dessas zonas é caracterizada por assembleias minerais específicas.

A zona da clorita, caracteriza-se principalmente por uma combinação de clorita, muscovita e quartzo. Esta zona representa um estágio inicial de metamorfismo, onde as condições são menos severas. A zona da biotita, por sua vez, é composta essencialmente por clorita, biotita, muscovita e quartzo, indicando um aumento nas condições metamórficas. Essa zona se estende na área de ocorrência do Supergrupo Rio das Velhas, sugerindo uma

continuidade das características metamórficas na região. Finalmente, a zona da granada apresenta em sua assembleia clorita, biotita, granada, muscovita, quartzo e hornblenda. Essa zona indica um grau metamórfico mais elevado, refletindo as condições mais extremas de pressão e temperatura na região.

Apenas na amostra HR364 foi possível identificar a presença de estauroлита e cianita (FIG. 27). Devido à baixa quantidade de laminais com esses minerais índices optou-se por não delimitar as zonas metamórficas correspondentes.

O grau metamórfico na área estudada aumenta em direção ao núcleo do Anticlinal de Mariana. Além disso, observa-se uma faixa no contorno do complexo Bação que também indica um grau mais elevado de metamorfismo, sugerindo íntima relação entre as estruturas geológicas da região e as condições metamórficas locais.

Herz (1978) já havia interpretado faixas na fácies anfíbolito ao longo do domo do Bação, representadas pela isógrada da estauroлита, consideradas como auréolas de metamorfismo de contato. Zucchetti e Baltazar (2000) associam a origem dessas auréolas a um segundo evento de deformação, resultante do posicionamento (emplacement) do Complexo Bação. Esse processo gerou minerais típicos de fácies de alta temperatura, como biotita, plagioclásio, epidoto, hornblenda, estauroлита e cianita, que ocorrem no contato entre as rochas dos Grupos Bação e Rio das Velhas (Zucchetti e Baltazar, 2000).

Em contrapartida, toda a porção leste da área foi caracterizada por Herz (1978) como pertencentes a zona da clorita e biotita. Contudo, alguns estudos sobre o Quadrilátero Ferrífero já indicavam um grau metamórfico mais elevado do que o proposto por Herz (1978) para a região de Catarina Mendes (núcleo do Anticlinal de Mariana).

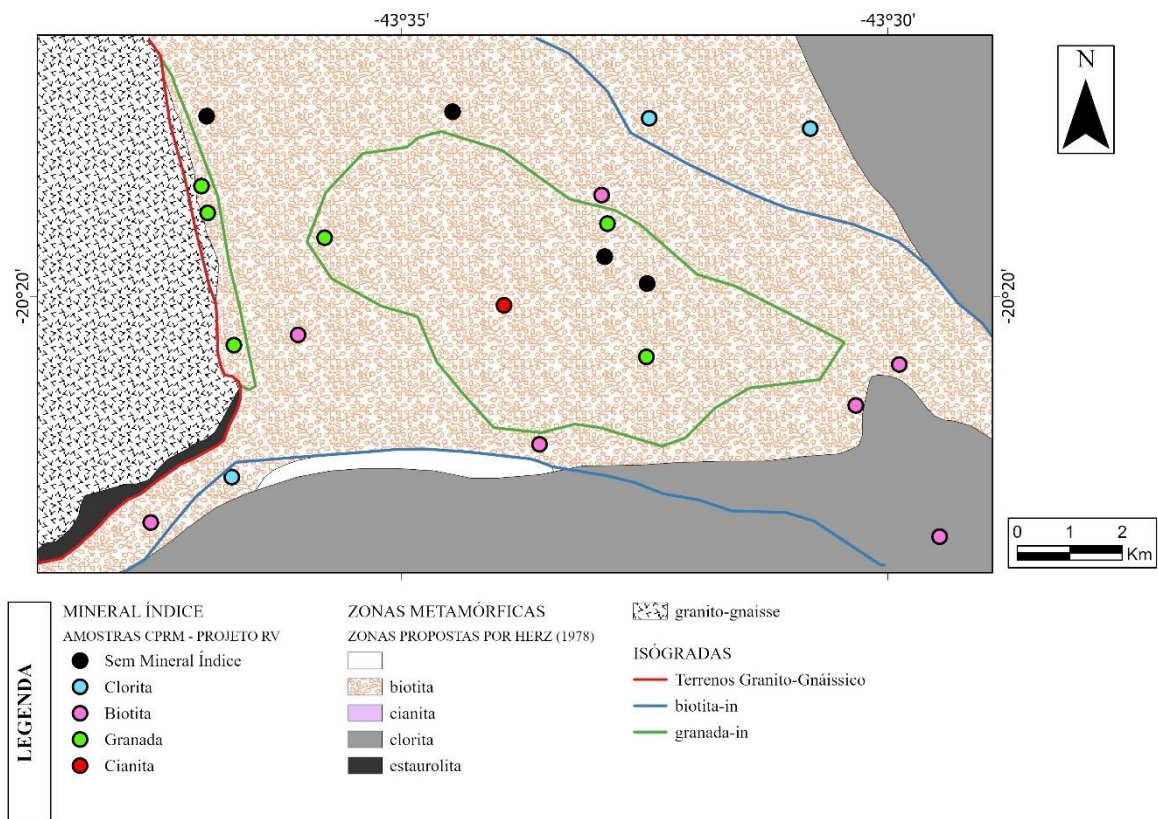
Ladeira (1980), Carneiro (1992) e Golia *et al.* (1995) ressaltam que o metamorfismo regional da área de estudo atingiu condições de pressão e temperatura típicas da fácies anfíbolito, seguidas por processos retrometamórficos na fácies xisto verde (Endo, 1996).

Zucchetti e Baltazar (2000) classificam o metamorfismo da Unidade Catarina Mendes na fácies anfíbolito, devido à presença de estauroлита, biotita titanífera e granada, embora essa unidade tenha posteriormente sofrido retrometamorfismo para a fácies xisto verde. Zucchetti e Baltazar (2007) identificam um evento metamórfico arqueano que atingiu a fácies anfíbolito no bloco de São Bartolomeu. Subsequentemente, eventos metamórficos causaram o retrometamorfismo geral da sequência. A região inicialmente foi interpretada como aureolas metamórficas ao redor do Complexo Bação (Freitas, 2019), contudo, a ausência de isógradas

típicas desse tipo de metamorfismo (Tuller & Ribeiro, 1994) levou a interpretação de um metamorfismo regional (Freitas, 2019).

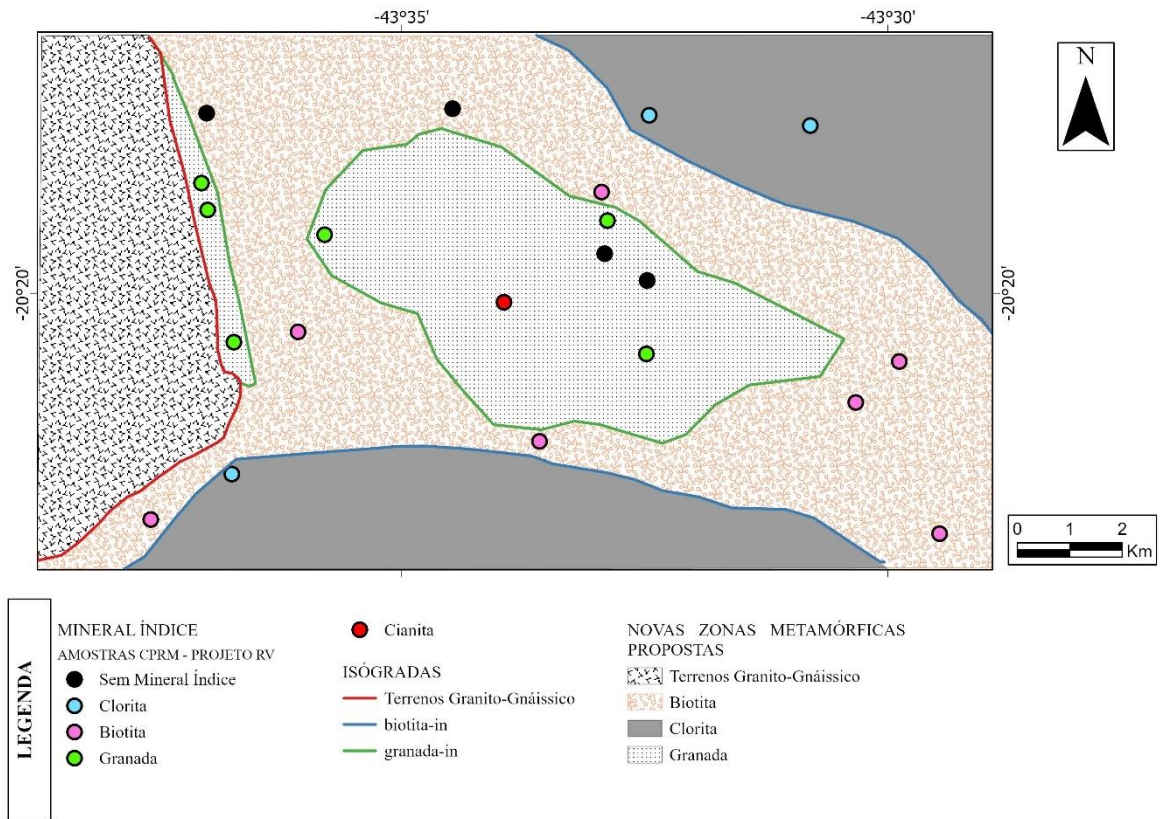
Sendo assim, a partir dos resultados obtidos sugere-se uma adaptação no mapa proposto por Herz, de forma que é acrescentada uma nova zona metamórfica, de grau mais elevado, na região central da poligonal (FIG. 27 e 28).

Figura 27 - Porção do Mapa de zonas barrovianas proposto por Herz (1978) que corresponde a área de estudo (Ref FIG. 5). As linhas verde e azul indicam as isógradas propostas neste trabalho. A linha em vermelho segrega o complexo granito-gnáissico.



Fonte: Modificado de Herz 1978.

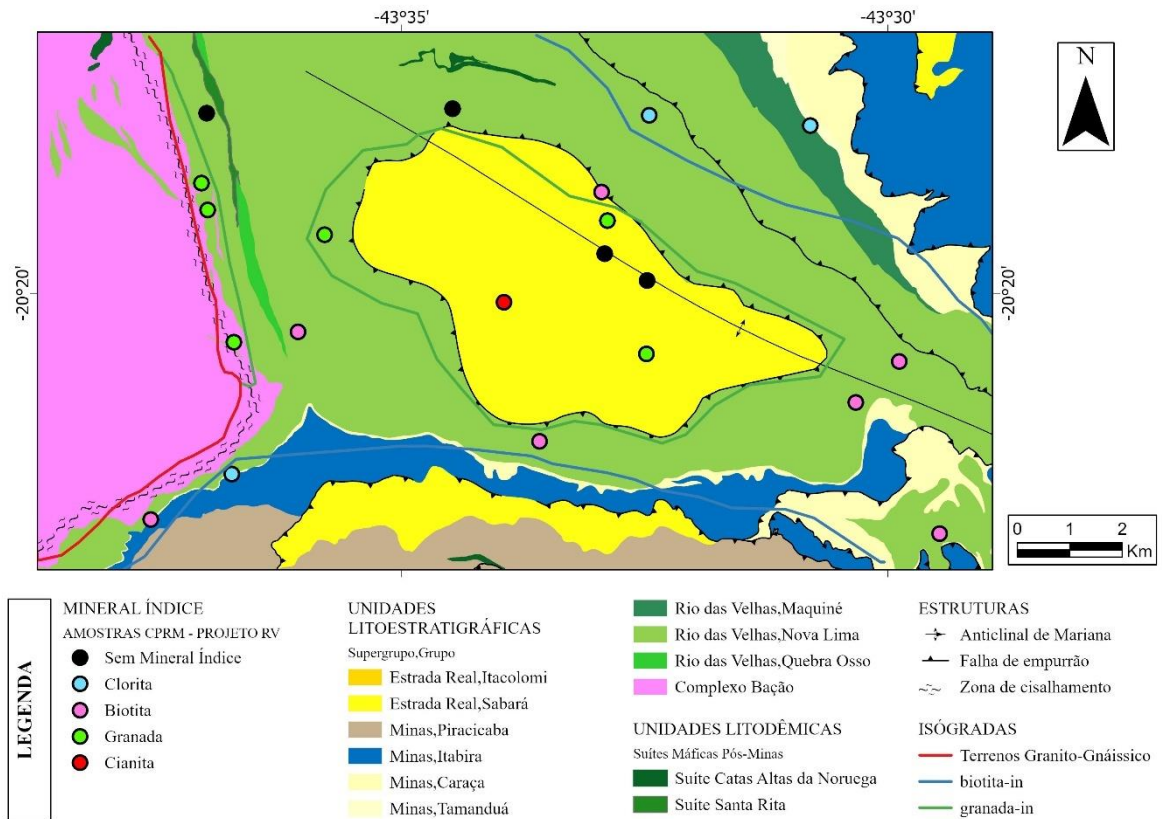
Figura 28 - Adaptação do mapa de zonas barrobianas proposto por Herz (1978), incluindo a sugestão da zona da granada como uma nova zona barroviana na região.



Fonte: Modificado de Herz 1978.

Na FIG. 29 apresenta-se a superposição das isógradadas determinadas neste trabalho ao mapa geológico mais recente, à luz das estruturas apresentadas em Endo *et al* 2020. Observa-se a semelhança da zona da granada disposta na porção central da região à janela estrutural proposta por Endo *et al* 2020, onde aflora a Formação Catarina Mendes, localizada no bloco São Bartolomeu. Neste contexto, sugere-se, portanto, um contorno aproximado entre a zona da granada e a janela estrutural definida por Endo *et al* (2020).

Figura 29 - Sobreposição das isógradas metamórficas e localização das amostras com seus respectivos minerais índices do metamorfismo no mapa proposto por Endo *et al* 2020. O mapa representa apenas a região determinada no estudo.



Fonte: Modificado de Endo *et al.* 2020.

5 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na pesquisa permitem uma nova compreensão sobre o metamorfismo no Quadrilátero Ferrífero. As caracterizações petrográficas das amostras (Apêndice 1) permitem classificar o grau metamórfico das rochas, que variam de um metamorfismo de grau baixo a médio, com fácies que se estendem de xisto verde à anfibolito. As assembleias que contém quartzo, clorita, biotita e actinolita indicam a fácies xisto-verde. Já as amostras que contém anfibólio em equilíbrio com epidoto, indicam uma fácies de transição entre a fácies xisto verde e anfibolito, denominada epidoto-anfibolito. Por fim, as assembleias que contém granada, biotita, estauroлита, cianita e hornblenda indicam a fácies anfibolito. Essas assembleias estão distribuídas de forma constante em algumas regiões na área de estudo o que ajuda a sua divisão em zonas barrovianas. Desta forma foi possível obter 3 zonas barrovianas distintas: A zona da granada, que se concentra no núcleo do Anticlinal de Mariana e nas bordas do complexo Bação, a zona da biotita que se estende ao longo das unidades do supergrupo Rio das Velhas e a zona da clorita que bordejia a da biotita.

A partir da análise microtectônica, aponta-se dois eventos deformacionais, D1 e D2, que resultaram na formação de duas gerações de foliações: foliação S1 e clivagem de crenulação S2. Após realizar a descrição microestrutural e relacionar com os minerais que compõem a assembleia da rocha, foi possível identificar a blastese dos minerais em relação aos eventos de deformação destacados (FIG. 23).

Durante o evento D1, aponta-se a orientação da clorita, biotita e anfibólio e também o crescimento de minerais metamórficos (biotita e granada) englobando a foliação S1, gerando inclusões paralelas à essa foliação. Isso caracteriza os minerais sintectônicos presentes na lâmina. Também se apontam porfiroblastos sem inclusões que são contornados pela orientação da rocha, caracterizando os minerais pré-tectônicos, e aqueles que cortam a foliação S1, possuindo uma cinemática pós-tectônicos. No evento D2, identifica-se a clivagem de crenulação (S2) que afeta principalmente os grãos de biotita e clorita, sendo classificados com uma cinemática sintectônica. Não se encontra porfiroblastos associados a esse evento de deformação.

O estudo de Alkmim & Marshak (1998) propõe que a estruturação do Quadrilátero Ferrífero (domos e quilhas) resultou de um ciclo de deformação em duas fases (colisão e colapso) em um ciclo de Wilson Paleoproterozóico. O primeiro estágio, relacionado à compressão e colisão de placas tectônicas, levou à formação das faixas de dobramentos e

empurrões thin-skinned, que afetaram as sequências supracrustais, e o soergimento dos domos. O segundo estágio envolve um colapso tectônico, com a criação de quilhas e a colocação dos domos contra as rochas supracrustais, definindo a arquitetura geológica atual da região do Quadrilátero Ferrífero. Os resultados obtidos do trabalho Cutts et al (2019) é compatível com o modelo proposto por Alkmim & Marshak (1998), de forma que datações recentes de monazita e titanita de diques anfíbolíticos e leucocráticos, granitoides e gnaisses nos complexos Bação, Bonfim e Belo Horizonte fornecem idades entre 2100 e 1950 Ma, sugerindo que a crosta Arqueana foi afetada por um evento metamórfico de longa duração representando o fechamento da Bacia Minas e a amalgamação dos núcleos Arqueanos dos crátons São Francisco e Congo (Aguilar et al., 2017). Desta forma, para discussão do trabalho, considera-se um metamorfismo de idade paleoproterozoica.

Em um contexto regional, Endo et al. (2020) organizam o acervo estrutural do Quadrilátero Ferrífero em dois sistemas de nappes de idade transamazônica que acomodam dobras e falhas, destacando a Nappe Curral com vergência para NNE e o sistema de Nappes Ouro Preto com vergência para SSW. As polaridades tectônicas destas nappes ocorrem opostas e são concordantes com as polaridades metamórficas crescentes para NNE, do Sistema de Nappes Ouro Preto, e para SSW, da Nappe Curral (por exemplo, Müller et al. 1982, Hoefs et al. 1982, Pires & Bertolino 1991).

No Quadrilátero Ferrífero manifesta-se dois principais eventos de deformação compressional de idade paleoproterozoica (Endo *et al.* 2020). A fase F1 está relacionada com a nucleação da Nappe Curral, com vergência para NNE, desenvolvendo uma xistosidade plano axial. Na fase F2, houve a nucleação da Nappe Ouro Preto a qual desenvolveu uma segunda xistosidade plano axial e também a nucleação do Anticlinal de Mariana por ramificação de uma falha cega de lapa da Zona de Cisalhamento São Vicente (descolamento basal),

Assim como identificado nas lâminas, em que se observam duas manifestações tectônicas, os esforços geraram estruturas praticamente perpendiculares entre si (FIG. 17). Sendo assim, a partir da microestrutura dos porfiroblastos da lâmina, o qual registra uma determinada deformação, é possível associar o crescimento dos minerais que compõem a paragênese mineral com os eventos deformacionais. Os principais eventos compressionais paleoproterozoicos proposto por Endo *et al.* 2020, foram aqui identificados, respectivamente, como D1 e D2.

Associa-se a distribuição das zonas metamórficas ao longo das estruturas regionais, de forma que a zona da granada se localiza ao núcleo do anticlinal de mariana e na borda leste do

complexo Bação, o que evidencia uma relação direta entre o aumento do grau metamórfico e a geologia estrutural da região. Sugere-se que o núcleo do anticlinal apresenta um grau metamórfico mais elevado como consequência das condições de maior pressão e temperatura geradas pela deformação compressional. Já a borda do domo Bação indica a influência de uma auréola metamórfica (Cutts et al, 2019), possivelmente associada ao metamorfismo de contato gerado pela intrusão do complexo granito-gnáissico.

A comparação dos resultados obtidos com o mapa de isógradas de Herz (1978) sugere uma nova interpretação para o pico metamórfico da região, ou seja, as condições maior pressão e temperatura em que determinada região enfrentou, propondo a existência de uma nova zona barrovia, a zona da granada, que indica um grau metamórfico mais elevado do que o previamente considerado. Alguns autores (e.g. Zucchetti & Baltazar, 2000; Freitas, 2019; Oliveira, 2023) já haviam sugerido um grau metamórfico superior àquele mapeado na quadrícula de São Bartolomeu, localizado próximo ao núcleo do Anticlinal de Mariana. Logo, a delimitação da zona da granada se baseou na coincidência entre o grau metamórfico mais elevado e a Formação Catarina Mendes, no núcleo do anticlinal de Mariana (Endo *et al.* 2020) (FIG. 29). No entanto, frente à existência de outros modelos estruturais (e.g., Alkmim & Marshak, 1998), a possibilidade de novas interpretações permanece em aberto.

A aplicação de geotermobarometria em uma amostra localizada na região de São Bartolomeu, localizada no núcleo do Anticlinal de Mariana, com o uso do geotermômetro granada-biotita (Oliveira, 2023), permitiu identificar intervalos de pressão e temperatura que corroboram a presença das fácies anfíbolito.

Esses resultados corroboram para um novo olhar sobre o metamorfismo no Quadrilátero Ferrífero de forma que inova as concepções publicadas há cerca de 50 anos. Desta forma, aponta-se a importância de estudos relacionados à petrografia microscópica em conjunto com a definição de condições geotermobarométricas para a definição de eventos metamórficos em uma determinada região como também estipular seu grau metamórfico.

REFERÊNCIAS

ALKMIM, F. F., *et al.* The Transamazonian orogeny in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil: Paleoproterozoic Collision and Collapse in the Southern São Francisco Craton region. **Precambrian Research**, v. 90, p. 29-58, 1998.

ALMEIDA, F. F. M. D. O cráton São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 7, n. 4, p. 349-364, 1977.

ALMEIDA, G. **Evolução tectônica da porção central do sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero**. 2004. 110 f. Dissertação (Doutorado) - Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto, 2004.

ALMEIDA, L. G. *et al.* O grupo Sabará no sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero: Uma revisão estratigráfica. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n. 2, p. 177-186, 2005.

ALMEIDA, L. G.; ENDO, I.; FONSECA, M. A. Sistemas de nappes na porção meridional do Quadrilátero Ferrífero, MG. **SGB, Congresso Brasileiro de Geologia**, João Pessoa., p. 615

ALMEIDA, L. G., *et al.* O arcabouço estratigráfico-estrutural da região de Dom Bosco/Bela Vista, Quadrilátero Ferrífero, como manifestação da orogênese Minas com polaridade tectônica para sudoeste. **XI Simpósio de Geologia de Minas Gerais, Belo Horizonte, SBG/Núcleo Minas Gerais**, Belo Horizonte, 2001.

ANGELI, G. **Arcabouço estrutural e contribuição à estratigrafia do Grupo Maquiné, Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 102. 2015.

ARAÚJO, Joanna Chaves Souto *et al.* The Archean Rio das Velhas greenstone belt revisited: new insights into the stratigraphy. **Journal of the Geological Survey of Brazil**, 2020.

Araújo J.C.S, Ribeiro J.H., Tuller M.P, Signorelli N.. **Carta geológica e de recursos minerais: Folha Caeté - SE.23-Z-C-VI-4-NO**. Belo Horizonte: CPRM, 2020a. Escala 1:25.000.

Araújo J.C.S, Ribeiro J.H., Tuller M.P, Signorelli N. **Carta geológica e de recursos minerais:** Folha Gandarela - SE.23-X -A-III-2-NO. Belo Horizonte: CPRM, 2020b. Escala 1:25.000.

Araújo J.C.S, Ribeiro J.H., Tuller M.P, Signorelli N. **Carta geológica e de recursos minerais:** Folha Gongo Soco - SE.23-Z -C-VI-4-NO. Belo Horizonte: CPRM, 2020c. Escala 1:25.000.

Araújo J.C.S, Ribeiro J.H., Tuller M.P, Signorelli N. **Carta geológica e de recursos minerais:** Folha Serra da Piedade - SE.23-Z-C-VI-4-NO. Belo Horizonte: CPRM, 2020d. Escala 1:25.000.

BALTAZAR, F.; ZUCCHETTI, M. Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas greenstone belt. Quadrilátero Ferrífero, Brazil: A review of the setting of gold deposits. **Ore Geology Reviews**, v. 32, n. 3-4, p. 471-499, 2007.

BARROW, G. On an intrusion of muscovite biotite gneiss in the SE Highlands of Scotland and its accompanying metamorphism. **Quarterly Journal of the Geological Society**, v. 49, p. 330-358, 1893.

BARROW, G. On the geology of lower Deeside and the southern highland border. **Proceedings of the Geologists' Associations**, v. 23, p. 268-284, 1912.

BATTACHARYA, A. *et al.* Non-ideal mixing in the phogopite annite boundary: constraints from experimental data on Mg-Fe partitioning and reformulation of the biotite-garnet geothermometer. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 111, p. 87-93, 1992.

BUCHER, K.; GRAPES, R. **Petrogenesis of metamorphic rocks**. Berlin: Springer, v. 428, 2011.

CAMPOS NETO, M. C. *et al.* Sistema de nappes Andrelândia, setor oriental: litoestratigrafia e posição estratigráfica. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. n-suplemento, p. 47-60, 2007.

CARNEIRO, M. A. **O Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional - Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Litoestratigrafia e evolução geológica de um segmento de crosta continental do Arqueano**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. [S.l.], p. 233. 1992.

Cavalcanti J.A.D., Ribeiro J.H., Tuller M.P, Signorelli N. **Carta geológica e de recursos minerais**: Folha Belo Horizonte - SF.23-ZC-VI-3-SO. Belo Horizonte: CPRM, 2020a. Escala 1:25.000.

Cavalcanti J.A.D., Ribeiro J.H., Tuller M.P, Signorelli N. **Carta geológica e de recursos minerais**: Folha Nova Lima - SF.23-Z-C-VI-3-SE. Belo Horizonte: CPRM,2020b. Escala 1:25.000.

Cavalcanti J.A.D., Ribeiro J.H., Tuller M.P, Signorelli N. 2020c. **Carta geológica e de recursos minerais**: Folha Rio Acima - SF.23-X-AIII-1-NE. Escala 1:25.000. Belo Horizonte, CPRM. Available on line at: <http://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/20497> (accessed on 16 September 2020)

Cavalcanti J.A.D., Ribeiro J.H., Tuller M.P, Signorelli N. **Carta geológica e de recursos minerais**: Folha Santa Luzia - SF.23-ZC-VI-3-NE. Belo Horizonte: CPRM, 2020d. Escala 1:25.000.

Cavalcanti J.A.D., Ribeiro J.H., Tuller M.P, Signorelli N. **Carta geológica e de recursos minerais**: Folha São Sebastião das Águas Claras - SF.23-X-A-III-1-NO. Belo Horizonte: CPRM, 2020e. Escala 1:25.000.

CHEMALE JUNIOR, F.; ROSIÈRE, C. A.; ENDO , I. Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: um modelo. **Pesquisa em Geociências**, v. 18, n. 2, p. 104-112, 1991.

CHEMALE JÚNIOR, F., *et al.* The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Precambrian Research**, p. 25-54, 1994.

COELHO, V. **Modelagem metamórfica e geocronologia de xistos e anfibolitos do grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero**. 2015. 183 f. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2015.

Cutts K., Lana C., Alkmim F.F., Farina F., Moreira H., Coelho V. 2019. Metamorphism and exhumation of basement gneiss domes in the Quadrilátero Ferrífero: Two stage dome-and-keel evolution? **Geoscience Frontiers**, v. 10, n. 5, p.1765-1787.

DORR, J. V. N. Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero, 1957.

DORR, J. V. N. Supergene iron ores of Minas Gerais, Brazil. **Economic Geology**, v. 59, n. 7, p. 1203-1240, 1964.

DORR, J. V. N. Physiographic stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **U.S. Geological Survey Professional Paper**, 1969., p. 110p

ENDO, I. *et al.* **Nappe Curral**: Uma megaestrutura alóctone do Quadrilátero Ferrífero e controle da mineralização. X Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos / IV International Symposium on Tectonics. Curitiba: [s.n.]. 2005, p. 279-282.

ENDO, I. *et al.* Estratigrafia e evolução estrutural do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **In**: CASTRO, P. D. T. A.; ENDO, I.; GANDINI, A. L. **Quadrilátero Ferrífero**: Avanços dos conhecimentos nos últimos 50 anos. Belo Horizonte: 3i Editora, 2020., p. 480.

ENDO, I.; CARNEIRO, M. A.; MACHADO, R. O Complexo metamórfico Bação: um elemento estrutural anisotrópico na deformação do supergrupo Rio das Velhas-QF, MG. **Anais**, v. 1, p. 411-413, 1996.

ESKOLA, P. On the relations between the chemical and mineralogical composition in the metamorphic rocks of the Orijarvi region. **Comm. geol. Finlade Bull**, v. 44, p. 109-145, 1915.

FERREIRA FILHO, F. A.; FONSECA, M. A. Partição da deformação em regimes contracionais com obstáculos no antepaís: Exemplo do Sistema de Falhas de Água Quente, borda leste do Quadrilátero Ferrífero, MG. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 3, p. 267-278, 2001.

Ferreira R.C.R., Ribeiro J.H., Tuller M.P, Signorelli N. **Carta geológica e de recursos minerais**: Folha Catas Altas - SF.23-XB-I-1-NO. Belo Horizonte: CPRM, 2020a. Escala 1:25.000.

Ferreira R.C.R., Ribeiro J.H., Tuller M.P, Signorelli N. **Carta geológica e de recursos minerais**: Folha Conceição do Rio Acima - SF.23-X-A-III-2-NE. Belo Horizonte: CPRM, 2020b. Escala 1:25.000.

Ferreira R.C.R., Ribeiro J.H., Tuller M.P, Signorelli N. **Carta geológica e de recursos minerais**: Folha Santa Bárbara - SE.23-ZD- IV-3-SO. Belo Horizonte: CPRM, 2020c. Escala 1:25.000.

Ferreira R.C.R., Ribeiro J.H., Tuller M.P, Signorelli N. **Carta geológica e de recursos minerais:** Folha Santa Rita Durão - SF.23-X-B-I-1-SO. Belo Horizonte: CPRM, 2020d. Escala 1:25.000.

FREITAS, F. M. **Geocronologia em U-PB em zircões detríticos e caracterização litoestratigráfica das rochas metassedimentares da Unidade Catarina Mendes- implicações quanto a evolução geotectônica do Quadrilátero Ferrífero.** 2019. 83 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geologia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. Belo Horizonte, 2019.

Freitas F.M, Dias P.H.A., Signorelli N., Tuller M.P., Ribeiro J.H. **Carta geológica e de recursos minerais:** Folha Capanema - SF.23-X-A-III-2-SE. Belo Horizonte: CPRM, 2020a. Escala 1:25.000.

Freitas F.M, Dias P.H.A., Signorelli N., Tuller M.P., Ribeiro J.H. **Carta geológica e de recursos minerais:** Folha Itabirito - SF.23-XA-III-1-SE. Belo Horizonte: CPRM, 2020b. Escala 1:25.000.

Freitas F.M, Dias P.H.A., Signorelli N., Tuller M.P., Ribeiro J.H. **Projeto Evolução Crustal e Metalogenética do Quadrilátero Ferrífero, Folha Rio de Pedras - SF.23-X-A-III-2-SO.** Belo Horizonte: CPRM, 2020c. Escala 1:25.000

FROST, B. R.; FROST, C. D. **Essentials of Igneous and Metamorphic petrology.** [S.l.]: Cambridge University Press, 2019.

GAIR, J. E. Geology and ore deposits of the Nova Lima and Rio Acima quadrangles, Minas Gerais, Brazil. **U.S. Geol. Survey Prof. Paper**, v. 341-A, p. 67, 1962.

GOLIA, A. *et al.* **Geologia do greenstone belt Rio das Velhas no distrito aurífero de São Bartolomeu, Minas Gerais.** SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS. Diamantina: [s.n.]. 1995, p. 67-69.

HERZ, N. Metamorphic rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil, 1978.

HOLLAND, T.; POWELL, R. An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrologic interest. **Journal of Metamorphic Geology** , v. 16, p. 309-343, 1998.

KATTAH, J. C. **Arcabouço Tectono-Estratigráfico da Região Periclinal da Anticlinal de Mariana - Quadrilátero Ferrífero, MG.** Monografia (graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. [S.l.], p. 122. 2018.

LADEIRA, E. A. **Metallogenesis of gold at the Morro Velho mine and in the Nova Lima district, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.** PhD, thesis, University of Western Ontario, Canadá. [S.l.], p. 272. 1980.

MADEIRA, T. J. **Análise Geofísica e Estrutural da Zona de Cisalhamento de São Vicente, Quadrilátero Ferrífero.** 2016. 119 f. MS Dissertation, Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2016.

MEDEIROS, L. C. **Estudo e modelamento metamórfico de rochas metapelíticas da Sequência Juscelândia, Goiás.** 2022. Dissertação (Mestrado em Petrologia Ígnea e Metamórfica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

NALINI JR, H. A.; ROSIÈRE, C. A.; ENDO, I. Sobre a geologia estrutural do anticlinal de Mariana, região sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Uma revisão. **Journal of the School of Mines-REM**, Ouro Preto-MG, v. 45, n. 1-2, p. 18-20, 1992.

OLIVEIRA, N. G. B. **Caracterização petrográfica e das condições metamórficas dos xistos pelíticos da região de São Bartolomeu, sudeste do Quadrilátero Ferrífero.** Monografia (Graduação em Engenharia Geológica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.. Ouro Preto, p. 48. 2023.

PASSCHIER, C. W.; TROUW, R. A. J. **Microtectonics.** 2º. ed. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2005.

PEDROSA-SOARES, A. C. *et al.* Orógeno Araçuaí: Síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. **Geonomos**, v. 15, n. 1, p. 1-16, 2007.

PETERNEL, R.; TROUW, R. A. J.; SCHMITT, R. S. Interferência entre duas faixas móveis neoproterozóicas: o caso das Faixas Brasília e Ribeira no sudeste do Brasil. **Rev. Bras. Geoc**, v. 35, p. 297-310, 2005.

PIRES, F. R. M.; BERTOLINO, L. C. Estudo do metamorfismo nas formações proterozóicas no quadrilátero Ferrífero, MG. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 14, p. 1-9, 1991.

PIRES, F. R. M.; NEVES, M. T. **Gênese dos depósitos de cianita do Distrito de Ouro Preto, Quadrilátero Ferrífero. Minas Gerais.** 11/SIMP. GEOL. MINAS GERAIS. [S.l.]: [s.n.]. 1985, p. 251-263.

RENGER, F. E. *et al.* Evolução sedimentar do supergrupo Minas: 500 Ma. de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. **Geonomos**, v. 2, n. 1, p. 1-11, 1995.

ROSIÈRE, C. A. *et al.* Microstructures, textures and deformation mechanisms in hematite. **Journal of Structural Geology**, v. 23, n. 9, p. 1429-1440, 2001.

SCHORSCHER, J. H. D. Evolução geotectônica e petrogenética do embasamento Arqueano do Quadrilátero Ferrífero. **Anais Acad. Bras. Ciências**, v. 51, n. 4, p. 767-768, 1979.

TILLEY, C. E. A preliminary survey of metamorphic zones in the southern Highlands in Scotland. **Quarterly Journal of Geological Society**, v. 81, n. 1-4, p. 100-112, 1925.

TULLER, M. P.; RIBEIRO, J. H. **Projeto Rio das Velhas fase II - Folha São Bartolomeu/Cachoeira do Campo. Relatório de atividades.** CPRM. Belo Horizonte. 1994.

WINTER, J. D. **Principles of igneous and metamorphic petrology.** 2^a. ed. Harlow, UK: Pearson education, 2014.

YARDLEY, B. W. D. **An introduction to metamorphic petrology.** Longman Scientific & Technical. [S.l.], p. 248. 1989.

ZUCCHETTI, M.; BALTAZAR, O. F. **Projeto Rio das Velhas: Texto explicativo do mapa geológico integrado. Escala 1:10.000.** Convenio DNPM/CPRM. Belo Horizonte. 1998.

ZUCCHETTI, M.; BALTAZAR, O. F. **Projeto Rio das Velhas: texto explicativo do mapa geológico integrado.** DNPM, CPRM. [S.l.]. 2000.

APÊNDICE - Caracterização Petrográfica

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
<p>LÂMINA: MP463</p> <p>UTM E: 651480</p> <p>UTM N: 7752890</p> <p>UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Formação Catarina Mendes, Supergrupo Estrada Real</p>
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
<p>MINERAIS ESSENCIAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quartzo • Clorita • Biotita • Mica branca <p>MINERAIS ACESSÓRIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zircão • Turmalina
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>Rocha inequigranular com dois tamanhos principais de grãos: uma matriz fina, a qual apresenta uma foliação metamórfica marcada pela orientação da clorita e grãos de quartzo alongados paralelamente a foliação; e porfiroblastos de biotita de tamanho médio, que acompanham a foliação e possuem inclusões de quartzo e zircão (FIG. 28 C-D). As inclusões de quartzo em biotita podem estar orientadas segundo a foliação, indicando uma biotita sintectônica, ou mostrarem distribuição aleatória, indicando uma biotita pré-cinemática. A mica branca ocorre como cristais muito finos agrupados, sem orientação, sua formação pode ser associada a alguma reação metamórfica. É possível perceber uma clivagem de crenulação pontualmente (FIG.A-B).</p> <p>A microestrutura da rocha pode ser designada como granolepidoblástica.</p>
<p>ASSEMBLEIA MINERAL: Qz+Chl+Bt+Ms</p>
<p>PROTÓLITO: Pelítico</p>

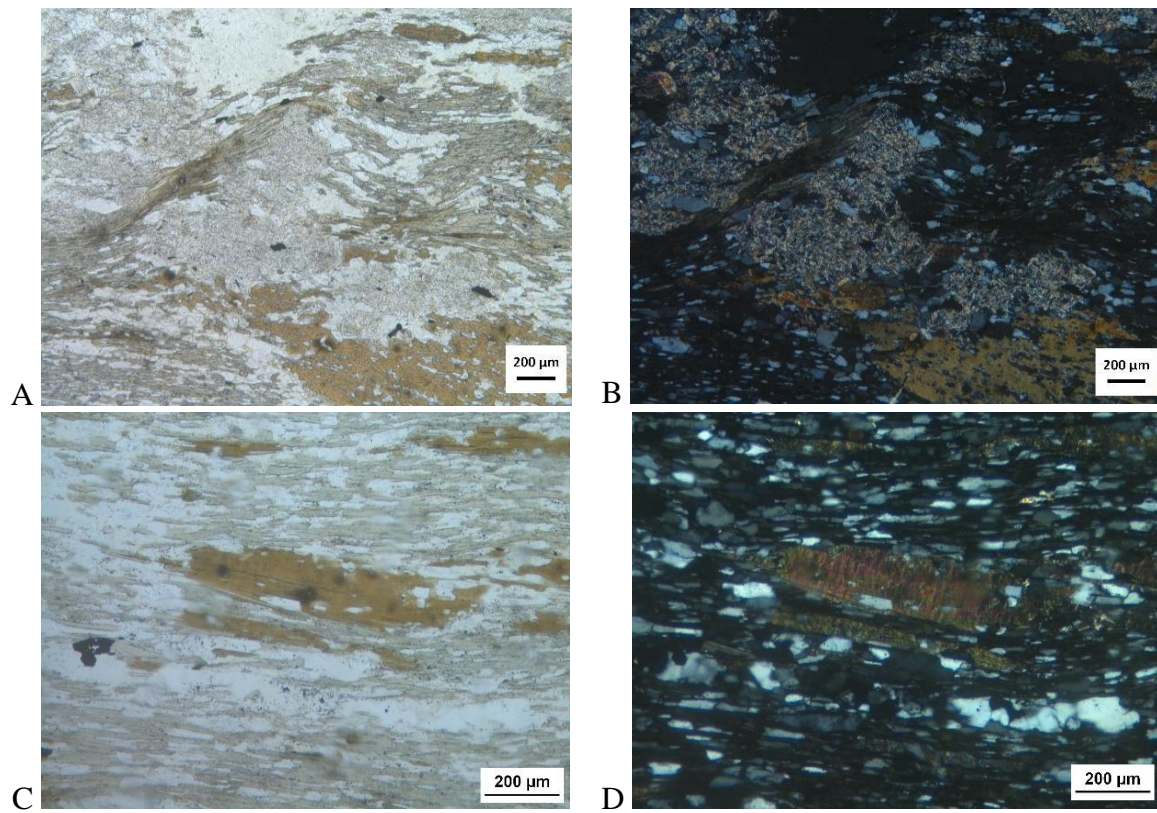
FÁCIES METAMÓRFICA: Xisto Verde

ZONA METAMÓRFICA: Zona da Biotita

NOME DA ROCHA: Quartzo-Clorita-Biotita Xisto

FOTOMICROGRAFIA

Figura 31- Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A-C) luz plana; (B-D) luz plano-polarizada. As figuras A e B mostram uma visão geral da lamina em que os grãos aparecem orientados e crenulados. As figuras C e D mostram um porfiroblasto de biotita orientado segundo a foliação principal e que possui inclusões de quartzo e opacos dispostos na mesma orientação.



FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
<p>LÂMINA: HR369A</p> <p>UTM E: 651580</p> <p>UTM N: 7752350</p> <p>UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Formação Catarina Mendes, Supergrupo Estrada Real</p>
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
<p>MINERAIS ESSENCIAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quartzo • Biotita • Anfibólio • Plagioclásio • Clorita • Opacos • Granada <p>MINERAIS ACESSÓRIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zoisita • Zircão
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>Rocha inequigranular com faixas de tamanhos que variam de granulação fina a grossa. A fração fina da lâmina é ocupada por grãos de quartzo e plagioclásio. Os grãos médios e grossos são representados por porfiroblastos de biotita e granada. A rocha exibe uma leve orientação dos grãos de biotita pré-tectônica, sugerindo uma foliação. Foi encontrado um único pórfiro de granada sintectônicos, com inclusões de quartzo orientadas segundo a foliação (FIG. 29 A-B). Os porfiroblastos de biotita se apresentam com inclusões de quartzo e zircão orientados segundo a foliação principal, indicando uma cinemática sintectônica, como também em grãos dispersos, cortando a foliação, indicando uma cinemática pós-tectônica. A clorita aparece sempre associada à biotita. Os grãos de quartzo, por sua vez, possuem contato poligonal entre si e entre os plagioclásios - que podem aparecer maclados. A lâmina também apresenta grandes massas de anfibólio as quais foram, em grande parte, preenchidas por</p>

cristais de quartzo, biotita e clorita (FIG. 29 A-B).

ASSEMBLEIA MINERAL: Qz+Bt+Anf+Plg+Chl

PROTÓLITO: Pelítico

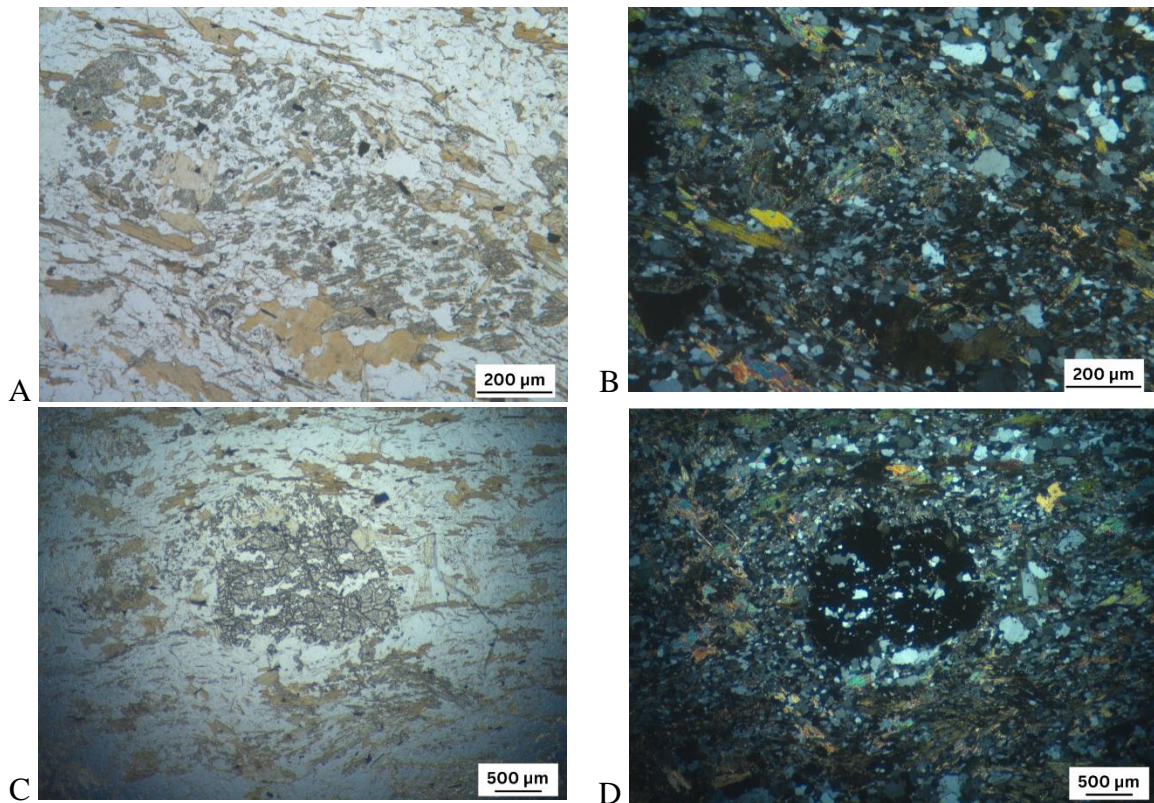
FÁCIES METAMÓRFICA: Anfibolito Inferior

ZONA METAMÓRFICA: Zona da granada

NOME DA ROCHA: Clorita-Plagioclásio-Anfibólio-Biotita-Quartzo Xisto com Granada

FOTOMICROGRAFIA

Figura 32 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A-C) luz plana; (B-D) luz plano-polarizada. As figuras A e B demonstram uma massa de anfibólio sendo preenchida por grãos de quartzo, biotita e clorita. Nas figuras C e D observa-se um porfiroblasto de granada ao centro da imagem o qual é contornado pela foliação rocha. Além disso, nota-se inclusões de quartzo orientados paralelos à foliação da rocha.



FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
<p>LÂMINA: HR368</p> <p>UTM E: 651530</p> <p>UTM N: 7751720</p> <p>UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Formação Catarina Mendes, Supergrupo Estrada Real</p>
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
<p>MINERAIS ESSENCIAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quartzo • Anfibólio • Plagioclásio • Zoisita • Carbonato • Opacos • Titanita <p>MINERAIS ACESSÓRIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apatita • Zircão
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>Rocha inequigranular com faixas de tamanho variando de grãos finos a grossos (FIG. 30 A-B). A granulação fina a média é composta pelos grãos quartzo, plagioclásio, zoisita e raramente carbonatos. Os grãos maiores da lâmina são anfibólios poiquiloblásticos de coloração verde-clara com pleocroísmo verde-amarelado. Os grãos de quartzo estão recristalizados e apresentam extinção ondulante, enquanto os plagioclásios apresentam maclas polissintéticas. Os grãos de zoisita são euédricos, dispostos em ripas ou em agregados. Há presença de titanita ao redor dos minerais opacos.</p> <p>A microestrutura da rocha pode ser designada como granonematoblástica.</p>
<p>ASSEMBLEIA MINERAL: Qz+Anf+Plg+Zs</p>
<p>PROTÓLITO: Rocha Básica</p>

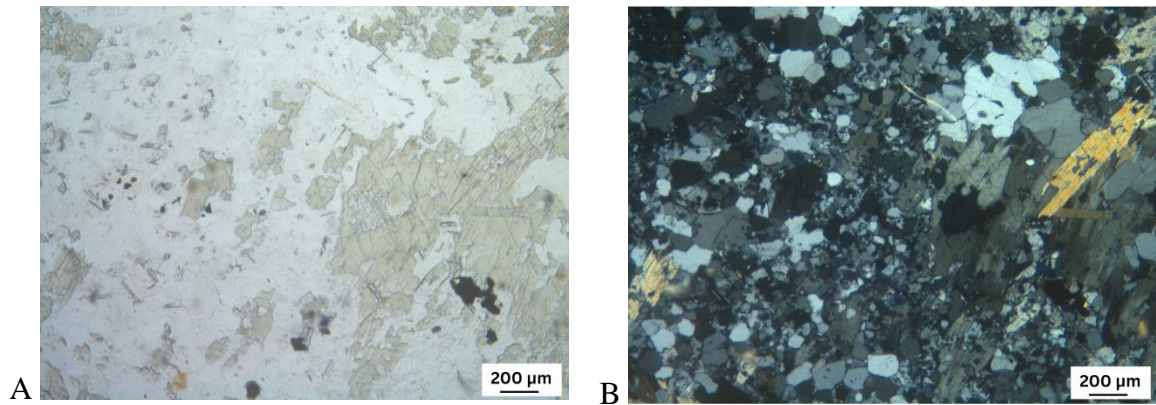
FÁCIES METAMÓRFICA: Anfibolito Inferior

ZONA METAMÓRFICA: -

NOME DA ROCHA: Zoisita-Plagioclásio-Anfibólio-Quartzo Granofels

FOTOMICROGRAFIA

Figura 33 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. A imagem mostra uma visão geral da lâmina com destaque ao seu caráter granular.



FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
<p>LÂMINA: MP471</p> <p>UTM E: 652260</p> <p>UTM N: 7749810</p> <p>UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Formação Catarina Mendes, Supergrupo Estrada Real</p>
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
<p>MINERAIS ESSENCIAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quartzo • Biotita • Clorita • Mica Branca • Plagioclásio • Granada • Opacos <p>MINERAIS ACESSÓRIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zircão
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>Rocha inequigranular com bandamento metamórfico e textura granolepdoblástica. As bandas se diferenciam pela variação granulométrica. Uma porção da rocha é composta por grãos finos de quartzo, além de grãos orientados de biotita e clorita. Nesta banda também se encontram porfiroblastos de granadas (FIG, A-B). A outra banda possui composição semelhante, porém os cristais se encontram mais bem desenvolvidos, e não apresentam uma orientação preferencial. A granada possui inclusões de quartzo, seguindo uma orientação diferente àquela da foliação principal da rocha, que contorna o mineral (FIG. 31 C-D). A clorita ocorre associada à biotita. A biotita da lâmina é sin a pós-tectônica. Aquela sintectônica orientou junto com a deformação que resultou na orientação preferencial da lamina. Aquela classificada como pós-tectônica, formou-se como porfiroblastos cortando muitas vezes a foliação. Encontra-se agregados de grãos muito finos de muscovita, e grãos finos a médios de quartzo e clorita. Além desses, existem outros agregados constituídos</p>

apenas por grãos maiores de biotita e quartzo e sem orientação.

ASSEMBLEIA MINERAL: Qz+Bt+Chl+Musc+Plg+Grt

PROTÓLITO: Pelítico

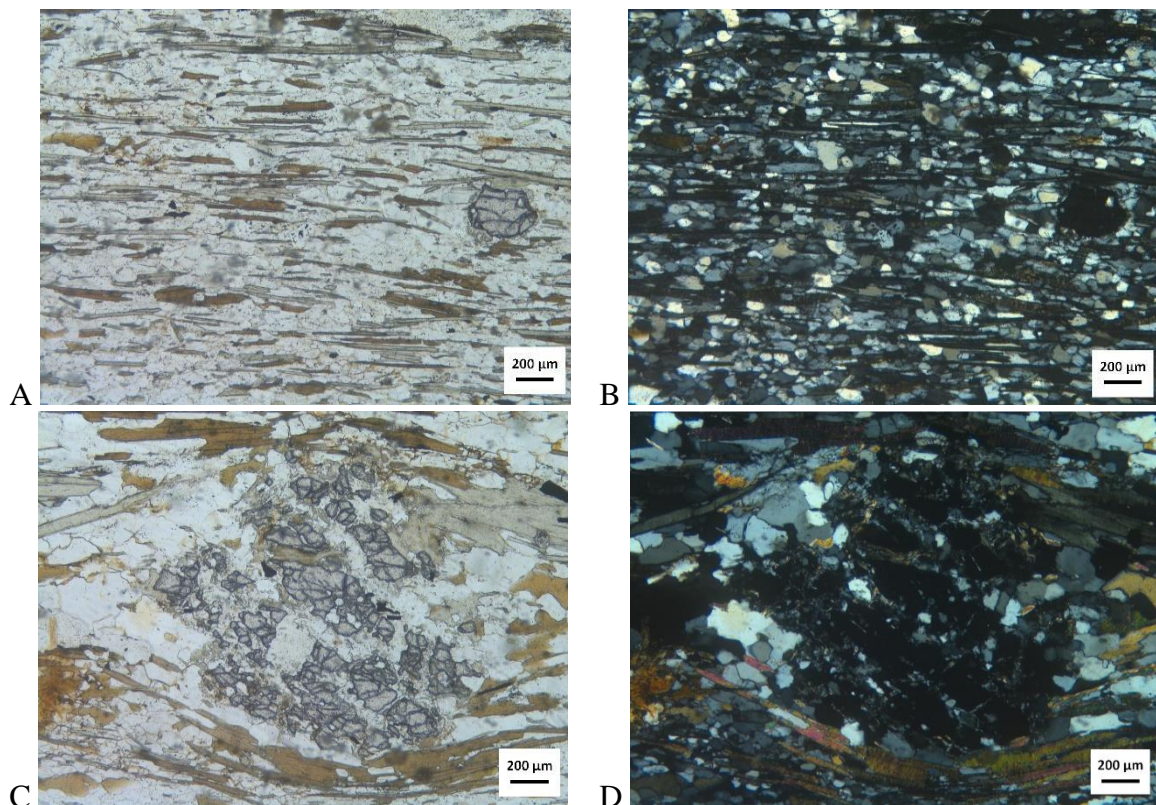
FÁCIES METAMÓRFICA: Xisto Verde Superior

ZONA METAMÓRFICA: Granada

NOME DA ROCHA: Granada-Muscovita-Clorita-Biotita-Quartzo Xisto

FOTOMICROGRAFIA

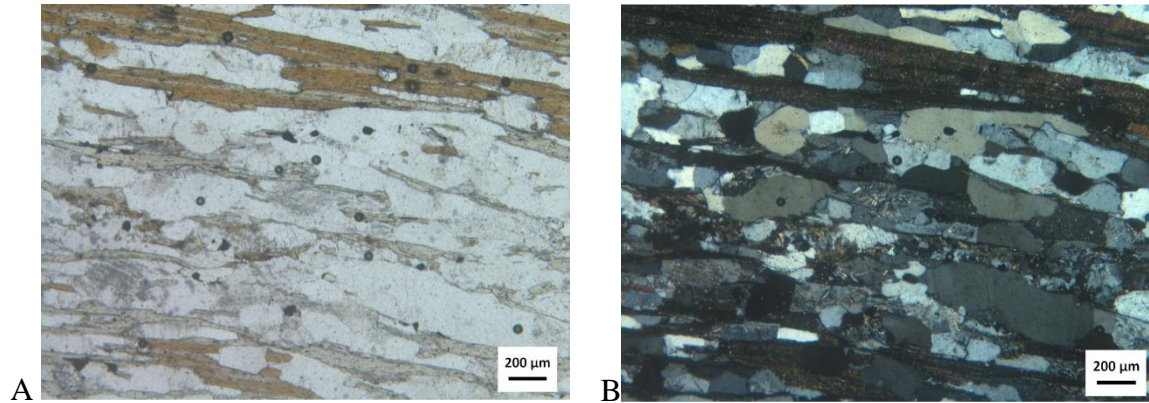
Figura 34 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A-C) luz plana; (B-D) luz plano-polarizada. As figuras A e B mostram uma visão geral da lâmina identificando principalmente a foliação marcada pelos filossilicatos e o comportamento do porfiroblasto de granada (à centro-direita da foto), sendo contornado pela foliação. As figuras C e D demonstram o comportamento do porfiroblasto na lâmina de forma que a orientação de suas inclusões é oblíqua a da foliação principal (que contorna o grão).



FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
<p>LÂMINA: MP381G</p> <p>UTM E: 644880</p> <p>UTM N: 7750095</p> <p>UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Embasamento Granito-Gnáissico do Complexo Bação</p>
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
<p>MINERAIS ESSENCIAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quartzo • Plagioclásio • Biotita • Clorita • Opacos <p>MINERAIS ACESSÓRIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zircão • Turmalina
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>Rocha equigranular com grãos de tamanho médio. Ela apresenta uma foliação bem definida marcada pela orientação dos grãos de biotita e clorita. Os grãos de quartzo e feldspatos (os quais muitas vezes aparecem sericitizados) ocorrem agrupados segundo a foliação principal. Os grãos de clorita ocorrem sempre associados à biotita. A microestrutura é granolepdoblástica. (FIG. 32 A-B).</p>
<p>ASSEMBLEIA MINERAL: Qz+Plg+Bt+Chl</p>
<p>PROTÓLITO: Quartzo-Feldspático</p>
<p>FÁCIES METAMÓRFICA: Xisto Verde</p>
<p>ZONA METAMÓRFICA: Biotita</p>
<p>NOME DA ROCHA: Clorita-Biotita-Plagioclásio-Quartzo Xisto</p>

FOTOMICROGRAFIA

Figura 35 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. Observa-se principalmente a orientação dos filossilicatos que marcam a foliação principal da rocha. Também a seritização dos grãos de plagioclásio. Na porção superior da foto observa-se a substituição da biotita pela clorita.

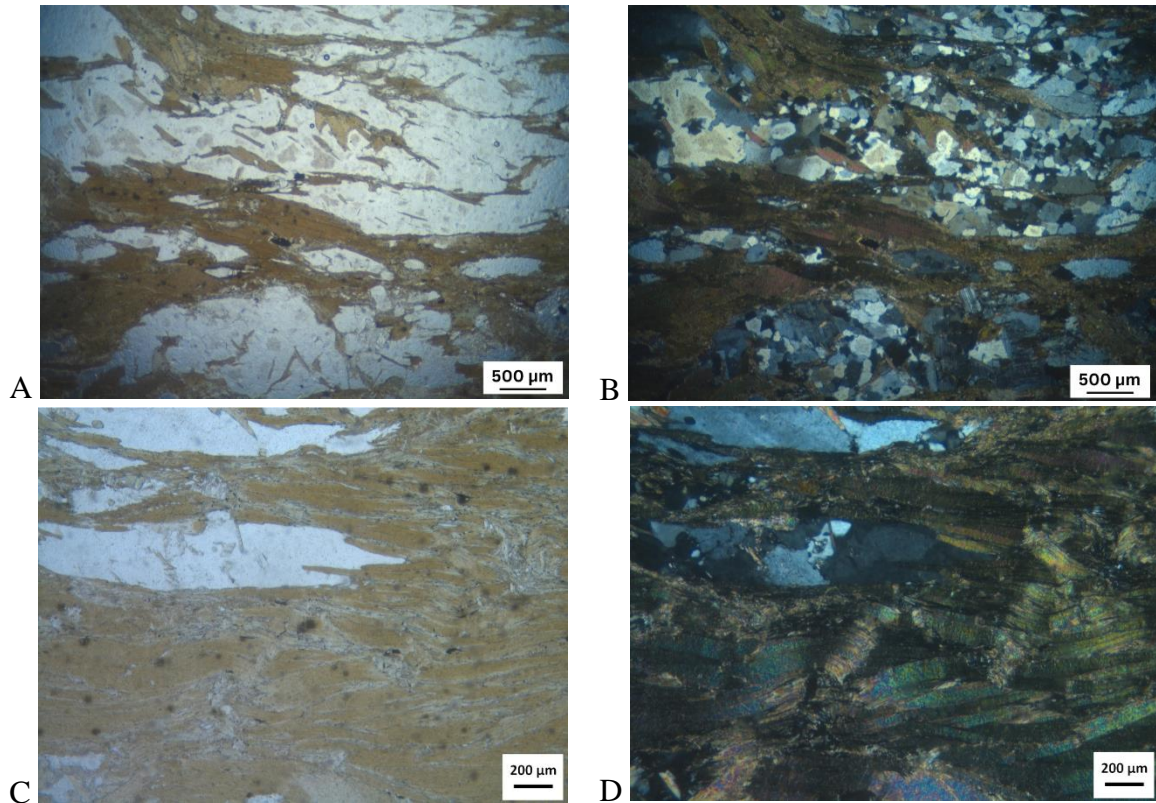


FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
LÂMINA: MP381I UTM E: 644880 UTM N: 7750095 UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Embasamento Granito-Gnáissico do Complexo Bação
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
MINERAIS ESSENCIAIS <ul style="list-style-type: none"> • Biotita • Quartzo • Plagioclásio • Granada MINERAIS ACESSÓRIOS <ul style="list-style-type: none"> • Apatita • Zircão
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>Rocha inequigranular com grãos variando na faixa média até grãos muito grossos. A rocha possui uma tonalidade escura castanho-esverdeada devido a presença marcante dos grãos de biotita (FIG. 33). Os grãos de biotita estão orientados e possuem clivagem de crenulação (FIG. 33 C-D). Na lâmina, observam-se porções cuja composição é predominantemente quartzo-feldspática (FIG. 33 A-B). Os cristais de plagioclásio possuem macla polissintética ou de carlsbad, enquanto os grãos de quartzo apresentam extinção ondulante. A microestrutura pode ser classificada como lepidogranoblástica.</p>
ASSEMBLEIA MINERAL: Bt+Qz+Plg+Grt
PROTÓLITO: Pelítico
FÁCIES METAMÓRFICA: Xisto Verde Superior
ZONA METAMÓRFICA: Granada

NOME DA ROCHA: Granada-Plagioclásio-Quartzo-Biotita Xisto

FOTOMICROGRAFIA

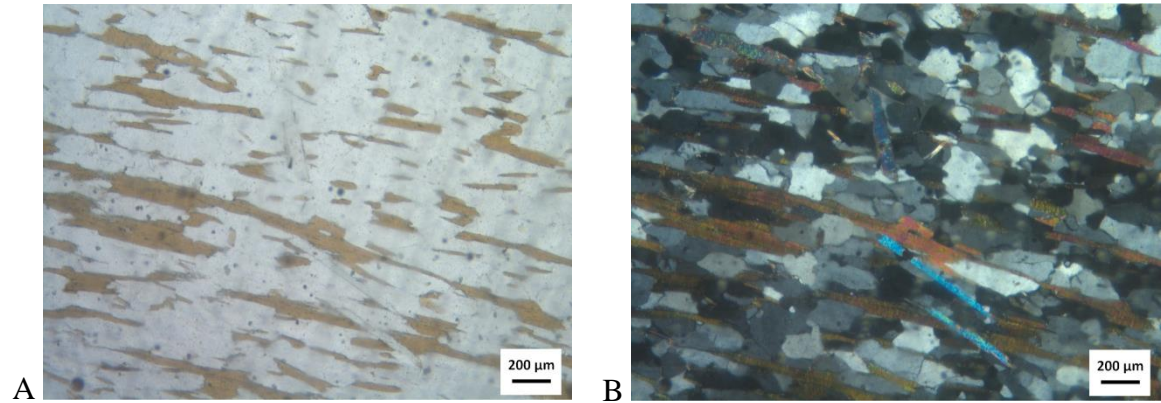
Figura 36 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A-C) luz plana; (B-D) luz plano-polarizada. Nas figuras A e B observa-se os grãos muito grossos de biotita que marcam a foliação S1 da lâmina. As figuras C e D demonstram uma biotita crenulada indicando a foliação S2 (clivagem de crenulação).



FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
LÂMINA: MP383 UTM E: 646030 UTM N: 7750280 UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
MINERAIS ESSENCIAIS <ul style="list-style-type: none"> • Quartzo • Plagioclásio • Biotita • Muscovita • Clorita MINERAIS ACESSÓRIOS <ul style="list-style-type: none"> • Opacos • Zircão
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>Rocha equigranular com grãos de tamanhos médios. A rocha apresenta uma orientação dos grãos de biotita e clorita que marcam a foliação (FIG. 34 A-B). A clorita por sua vez ocorre associada à biotita. Os grãos de quartzo e plagioclásio – raramente com maclas polissintéticas - se organizam em contatos poligonais. A muscovita ocorre aleatoriamente, cortando a foliação da rocha. A textura é granolepidoblástica.</p>
ASSEMBLEIA MINERAL: Qz+Plg+Bt+Ms
PROTÓLITO: Quartzo-Feldspático
FÁCIES METAMÓRFICA: Xisto Verde
ZONA METAMÓRFICA: Biotita
NOME DA ROCHA: Muscovita-Biotita-Plagioclásio-Quartzo Xisto

FOTOMICROGRAFIA

Figura 37 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. Observa-se a foliação principal da rocha marcada pela orientação dos filossilicatos.



FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
<p>LÂMINA: HR364</p> <p>UTM E: 649720</p> <p>UTM N: 7750810</p> <p>UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Formação Catarina Mendes, Supergrupo Estrada Real</p>
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
<p>MINERAIS ESSENCIAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quartzo • Plagioclásio • Biotita • Estaurolita • Anfibólio • Cianita • Clorita • Epidoto <p>MINERAIS ACESSÓRIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Opacos • Granada • Zircão • Apatita
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>Rocha inequigranular, bandada. As bandas leucocráticas (1) possuem grãos finos a médios, enquanto as bandas melanocráticas (2) exibem cristais grossos. A banda (1) possui granulometria variando da faixa fina à média, composta por quartzo e plagioclásio, maclados ou não (FIG. 35 A-B). Já a banda (2) ocorre paralelamente e é composta por cristais de biotita, estaurolita, cianita, clorita e anfibólio (FIG. 35 C-D). A biotita ocorre paralelamente ao bandamento da rocha e associadas à clorita. Os cristais de estaurolita são irregulares e os de cianita são alongados. Ambos possuem inclusões de quartzo, o qual está orientado segundo a foliação da rocha. Os anfibólios, caracterizados como hornblenda, ocorrem também como</p>

grandes cristais que também marcam a foliação da rocha. Localmente, altera-se para biotita.

ASSEMBLEIA MINERAL: Qz+Plg+Bt+St+Anf + Ky +Chl

PROTÓLITO: Pelítico

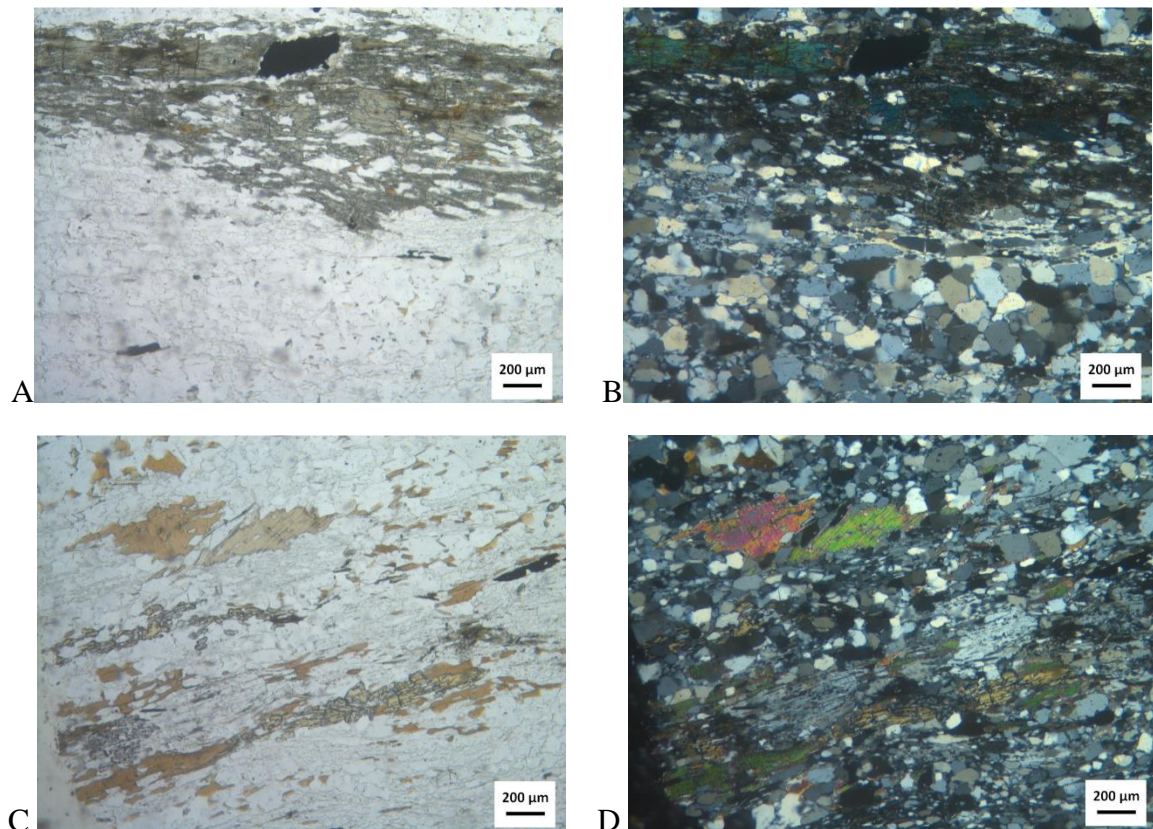
FÁCIES METAMÓRFICA: Anfibolito

ZONA METAMÓRFICA: Cianita

NOME DA ROCHA: Clorita-Anfibolio-Cianita-Estauroлита-Biotita-Plagioclásio-Quartzo Xisto

FOTOMICROGRAFIA

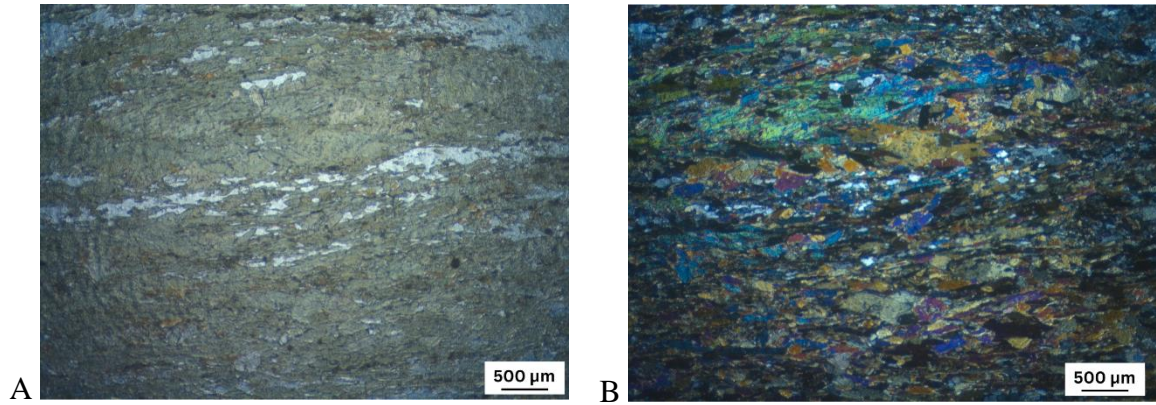
Figura 38 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A-C) luz plana; (B-D) luz plano-polarizada. As figuras A e B evidenciam a alternância de bandas leucocráticas e melanocráticas. Nas figuras C-D nota-se uma orientação preferencial dos grãos que marcam a foliação da rocha. Além disso, destaca-se os minerais de grau metamórfico mais elevado (cianita e estauroлита).



FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
LÂMINA: MP387A UTM E: 652280 UTM N: 7751205 UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Formação Catarina Mendes, Supergrupo Estrada Real
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
MINERAIS ESSENCIAIS <ul style="list-style-type: none"> • Hornblenda • Quartzo • Plagioclásio • Titanita • Epidoto MINERAIS ACESSÓRIOS <ul style="list-style-type: none"> • Opacos
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>Rocha equigranular com granulação fina e coloração esverdeada (FIG. 36 A-B). Apresenta uma foliação marcada pela orientação dos cristais de anfibólio, que também é responsável por trazer o tom verde para a amostra. Este anfibólio está disposto como camadas espessas alternadas com finas camadas de quartzo e plagioclásio onde também ocorrem epidotos dispersos. Os grãos de titanita estão associados ao anfibólio e seguem a orientação principal da rocha. A microestrutura geral é nematogranoblástica.</p>
ASSEMBLEIA MINERAL: Anf+Qz+Plg
PROTÓLITO: Máfico
FÁCIES METAMÓRFICA: Epidoto-Anfibolito
ZONA METAMÓRFICA: -
NOME DA ROCHA: Titanita-Plagioclásio-Quartzo-Anfibólio Xisto

FOTOMICROGRAFIA

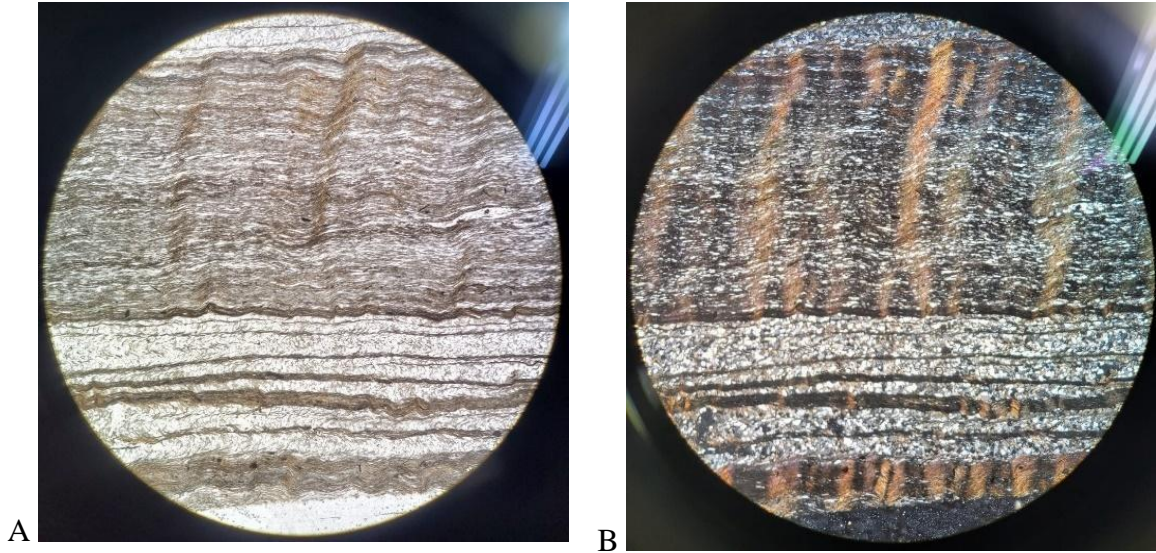
Figura 39 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. Destaca-se na imagem a composição sua coloração esverdeada marcada pela presença de hornblenda e actinolita. Esses minerais estão orientados segundo a foliação principal da rocha.



FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
LÂMINA: CF366 UTM E: 657470 UTM N: 7746345 UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
MINERAIS ESSENCIAIS <ul style="list-style-type: none"> • Clorita • Biotita • Quartzo • Mica Branca • Opacos MINERAIS ACESSÓRIOS <ul style="list-style-type: none"> • Rutilo
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>A rocha possui um bandamento metamórfico que é marcado por um nível filossilicático e o outro quartzoso (FIG. 37). A microestrutura é marcada por duas principais foliações: a xistosidade S1 e a clivagem de crenulação S2. Nos níveis filossilicáticos encontra-se clorita e biotita que estão orientadas segundo S1, mas também ocorrem crenulados, devido à S2. Nos níveis quartzosos há presença de biotita, porém não estão orientadas segundo a foliação principal.</p>
ASSEMBLEIA MINERAL: chl+bt+mus+qz
PROTÓLITO: Pelítico
FÁCIES METAMÓRFICA: Xisto Verde
ZONA METAMÓRFICA: Zona da Biotita
NOME DA ROCHA: Quartzo-Muscovita-Biotita-Clorita Xisto

FOTOMICROGRAFIA

Figura 40 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. Observa-se o bandamento metamórfico da lâmina marco por uma banda melanocrática crenulada, e uma banda leucocrática. Foto retirada com aumento de 2x.



FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
LÂMINA: CF240A UTM E: 656780 UTM N: 7749625 UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
MINERAIS ESSENCIAIS <ul style="list-style-type: none"> • Quartzo • Plagioclásio • Biotita • Muscovita/Sericita • Clorita • Opacos MINERAIS ACESSÓRIOS <ul style="list-style-type: none"> • Rutilo • Zircão
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>Rocha equigranular com granulação fina (FIG. 38). A composição da rocha é marcada pela presença de quartzo, plagioclásio e filossilicatos. Os filossilicatos – Biotita que se altera para clorita – marcam a foliação principal da rocha. Os grãos de quartzo e plagioclásio compõem a maior parte da rocha. O plagioclásio muitas vezes se encontra maclado e altera para mica branca. Os minerais opacos estão dispersos pela rocha.</p>
ASSEMBLEIA MINERAL: Qz+Plg+Bt+Mus+Chl
PROTÓLITO: Pelítico
FÁCIES METAMÓRFICA: Xisto Verde
ZONA METAMÓRFICA: Zona da Biotita

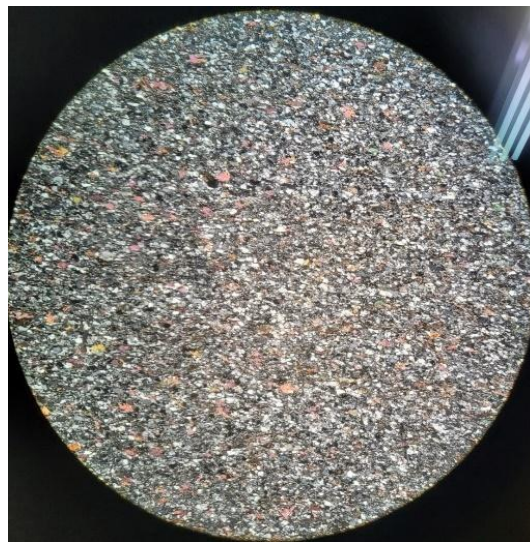
NOME DA ROCHA: Clorita-Muscovita-Biotita-Plagioclásio-Quartzo Xisto

FOTOMICROGRAFIA

Figura 41 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada.
Foto tirada com objetiva de 2x.



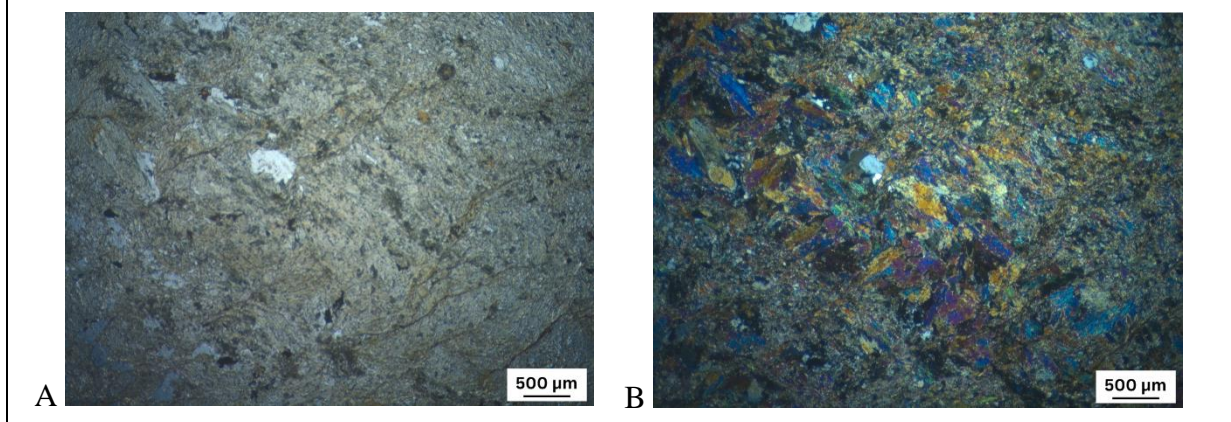
A



B

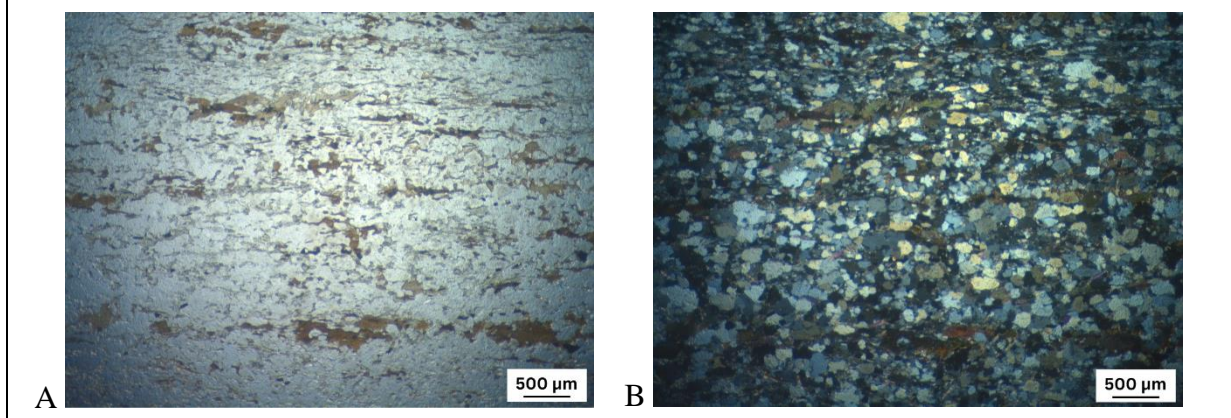
FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
LÂMINA: MP394 UTM E: 648830 UTM N: 7754500 UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
MINERAIS ESSENCIAIS <ul style="list-style-type: none"> • Hornblenda • Quartzo • Epidoto MINERAIS ACESSÓRIOS <ul style="list-style-type: none"> • Titanita • Opacos
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>Rocha esverdeada, composta majoritariamente por anfibólios, que dá o tom verde para a rocha (FIG. 39). Os grãos da rocha possuem uma orientação principal, indicando ausência de uma foliação definida. O quartzo ocorre disperso na rocha ou então como agregados. O epidoto ocorre em pequenos cristais que podem estar intercalados com o anfibólio ao associados aos grãos de quartzo.</p>
ASSEMBLEIA MINERAL: Anf+Qz+Epidoto
PROTÓLITO: Mafico
FÁCIES METAMÓRFICA: Anfibolito
ZONA METAMÓRFICA:
NOME DA ROCHA: Epidoto-Quartzo-Hornblenda Granofels
FOTOMICROGRAFIA

Figura 42 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. Destaca-se na imagem a composição sua coloração esverdeada marcada pela presença de hornblenda. A orientação do mineral dá a direção preferencial da foliação da rocha.



FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
LÂMINA: MP513 UTM E: 650330 UTM N: 7748160 UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
MINERAIS ESSENCIAIS <ul style="list-style-type: none"> • Quartzo • Biotita • Clorita • Carbonato MINERAIS ACESSÓRIOS <ul style="list-style-type: none"> • Apatita • Zircão
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>Rocha inequigranular, seriada, com duas faixas de tamanho: fina à média. A rocha apresenta uma foliação marcada pela orientação da biotita, que às vezes se altera para clorita. A biotita possui inclusões de zircão e minerais opacos. Os grãos de quartzo estão dispostos em uma textura de mosaico. O carbonato aparece em pequenos cristais difusos na rocha. A textura da rocha é granolepidoblástica. (FIG. 40 A-B).</p>
ASSEMBLEIA MINERAL: Qz+Bt+Chl
PROTÓLITO: Pelítico
FÁCIES METAMÓRFICA: Xisto Verde
ZONA METAMÓRFICA:
NOME DA ROCHA: Clorita-Biotita-Quartzo Xisto com carbonato
FOTOMICROGRAFIA

Figura 43 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. A imagem mostra uma visão geral da lâmina com destaque à leve orientação marcada pelos filossilicatos.

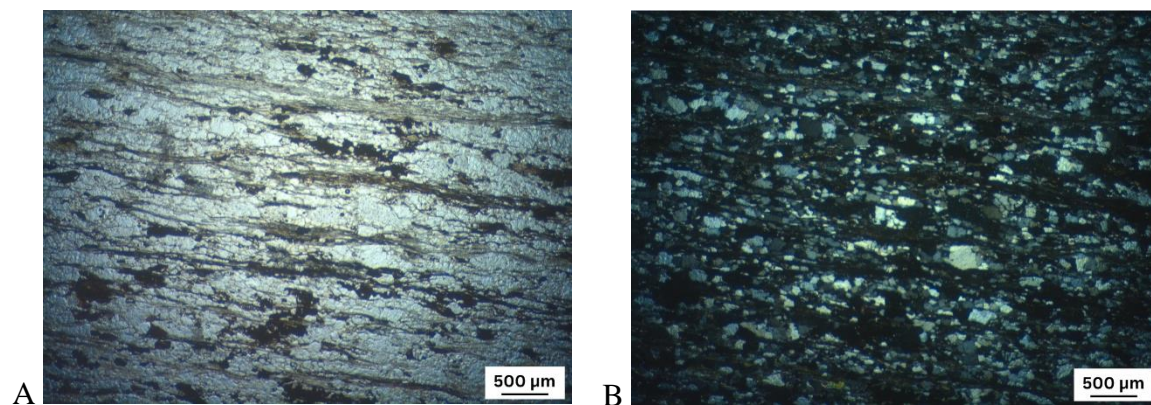


FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
<p>LÂMINA: MP529</p> <p>UTM E: 655230</p> <p>UTM N: 7754120</p> <p>UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Formação Casa Forte, Grupo Maquiné, Supergrupo Rio das Velhas</p>
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
<p>MINERAIS ESSENCIAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quartzo • Plagioclásio • Clorita • Muscovita • Opacos <p>MINERAIS ACESSÓRIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zircão
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>A rocha é equigranular, de granulação fina, composta por um bandamento composicional. Uma das bandas é composta por grãos de quartzo e plagioclásio que estão dispostos em textura de mosaico. Os grãos de plagioclásio raramente apresentam maclas. A outra banda é representada por finas lentes de clorita e muscovita que acompanham uma orientação preferencial (FIG. 41). Além dos filossilicatos, encontram-se opacos que seguem a foliação principal e trazem um tom avermelhado para a rocha.</p>
<p>ASSEMBLEIA MINERAL: Qz+Plg+Chl+Ms</p>
<p>PROTÓLITO: Pelítico</p>
<p>FÁCIES METAMÓRFICA: Xisto Verde</p>
<p>ZONA METAMÓRFICA: Zona da Clorita</p>

NOME DA ROCHA: Muscovita-Clorita-Plagioclásio-Quartzo Xisto

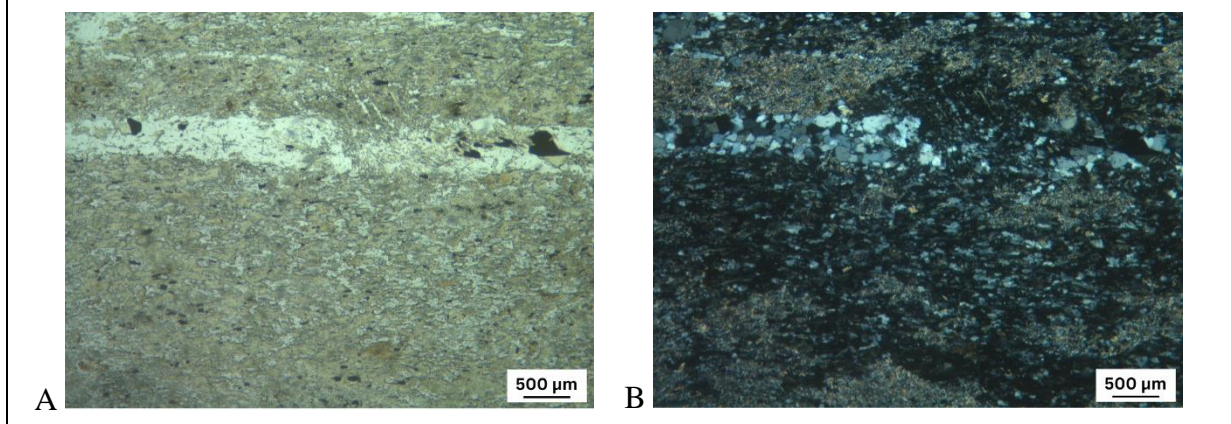
FOTOMICROGRAFIA

Figura 44 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. As fotos destacam a orientação preferencial dos grãos de filossilicatos que marcam a foliação da rocha.



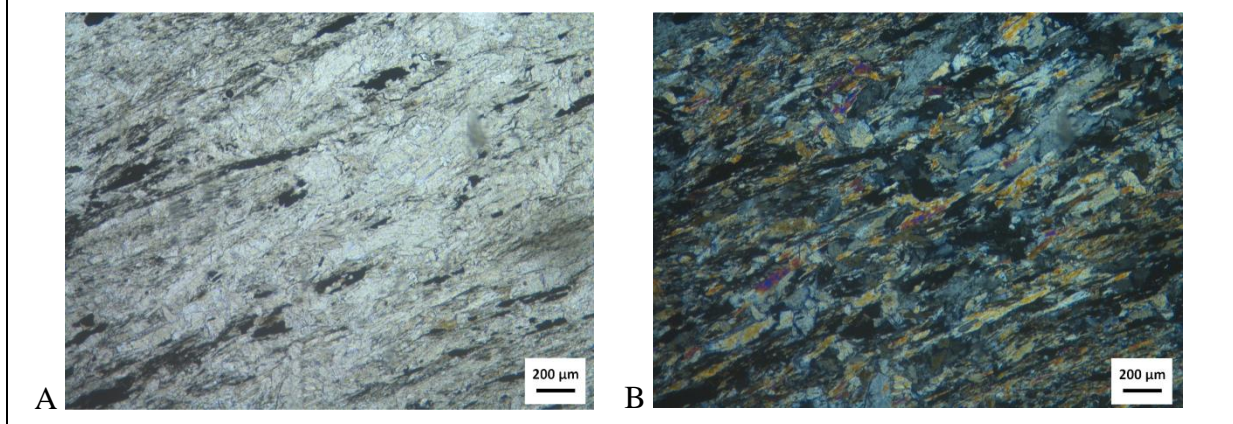
FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
<p>LÂMINA: MP465</p> <p>UTM E: 652350</p> <p>UTM N: 7754340</p> <p>UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas</p>
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
<p>MINERAIS ESSENCIAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quartzo • Clorita • Muscovita • Opacos <p>MINERAIS ACESSÓRIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zircão
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>Rocha equigranular de grãos finos. A rocha apresenta um bandamento marcado pela intercalação de bandas quartzosas e bandas filossilicáticas composta por clorita (FIG. 42 A-B). Além disso, agregados de grãos muito finos de muscovita se formam possuindo um contorno arredondado. A textura é granolepidoblástica.</p>
<p>ASSEMBLEIA MINERAL: Qz+Chl+Mus</p>
<p>PROTÓLITO: Pelítico</p>
<p>FÁCIES METAMÓRFICA: Xisto Verde</p>
<p>ZONA METAMÓRFICA: Zona da Clorita</p>
<p>NOME DA ROCHA: Muscovita-Clorita-Quartzo Xisto</p>
FOTOMICROGRAFIA

Figura 45 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. Destaca-se a coloração esverdeada na amostra intercalada por um bandamento leucocrático.



FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
LÂMINA: MP408 UTM E: 644425 UTM N: 7754450 UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
MINERAIS ESSENCIAIS <ul style="list-style-type: none"> • Anfibólio • Clorita • Opaco MINERAIS ACESSÓRIOS <ul style="list-style-type: none"> • Biotita
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>Rocha inequigranular seriada com granulação variando entre fino e médio. A composição é em grande maioria por anfibólios podendo ser encontrado também, clorita, opacos e baixa proporção de biotita. O anfibólio ocorre como cristais incolores, prismáticos, orientados, marcando a foliação da rocha (FIG. 43 A-B). A clorita ocorre como cristais bem desenvolvidos e às vezes discordantes com a foliação. Os minerais opacos são de tamanho médio e estão dispersos pela rocha. A biotita é lamelar e rara.</p>
ASSEMBLEIA MINERAL: Anf+Chl
PROTÓLITO: Máfico
FÁCIES METAMÓRFICA: Anfibolito
ZONA METAMÓRFICA: -
NOME DA ROCHA: Clorita-Anfibólio Xisto
FOTOMICROGRAFIA

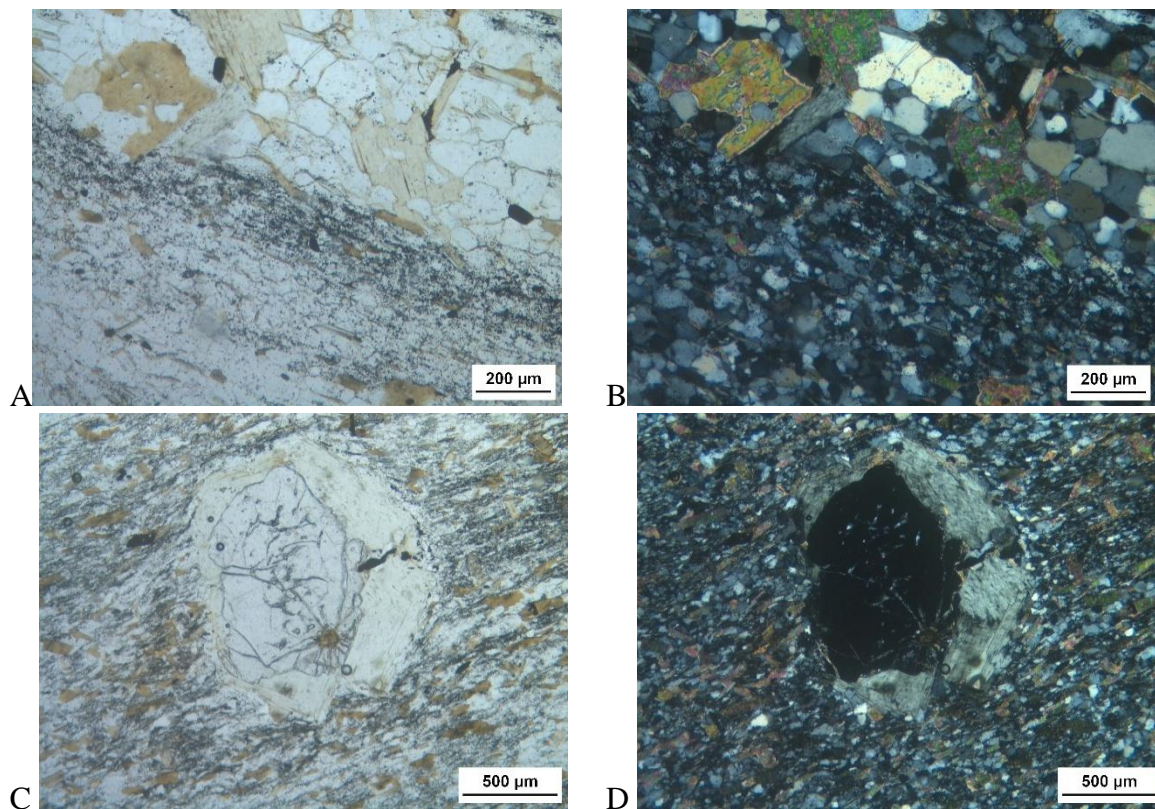
Figura 46 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. A imagem mostra uma visão geral da lâmina com destaque aos minerais de anfibólio e clorita que marcam a foliação principal da rocha.



FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
<p>LÂMINA: HR397</p> <p>UTM E: 646520</p> <p>UTM N: 7752120</p> <p>UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas</p>
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
<p>MINERAIS ESSENCIAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quartzo • Biotita • Clorita • Granada <p>MINERAIS ACESSÓRIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Opacos
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>A rocha apresenta duas bandas diferenciadas principalmente pela variação granulométrica, que variam de grãos finos a grossos (FIG. 44 A-B). Uma das bandas, é uma porção mais quartzítica fina, em que o quartzo está disposto em uma textura de mosaico, além de possuir palhetas finas de biotita e clorita que marcam a orientação da foliação da rocha. Encontram-se porfiroblastos de granadas circundadas por grãos bem desenvolvidos de clorita, que se comportam como um auréola (FIG. 44 C-D). A outra banda é constituída por uma matriz quartzítica de grãos finos e palhetas grossas, milimétricas, de biotita, clorita e granada.</p>
<p>ASSEMBLEIA MINERAL: Qz+Bt+Chl+Grt</p>
<p>PROTÓLITO: Pelitico</p>
<p>FÁCIES METAMÓRFICA: Xisto Verde Superior</p>
<p>ZONA METAMÓRFICA: Zona da Granada</p>
<p>NOME DA ROCHA: Granada-Clorita-Biotita-Quartzo Xisto</p>

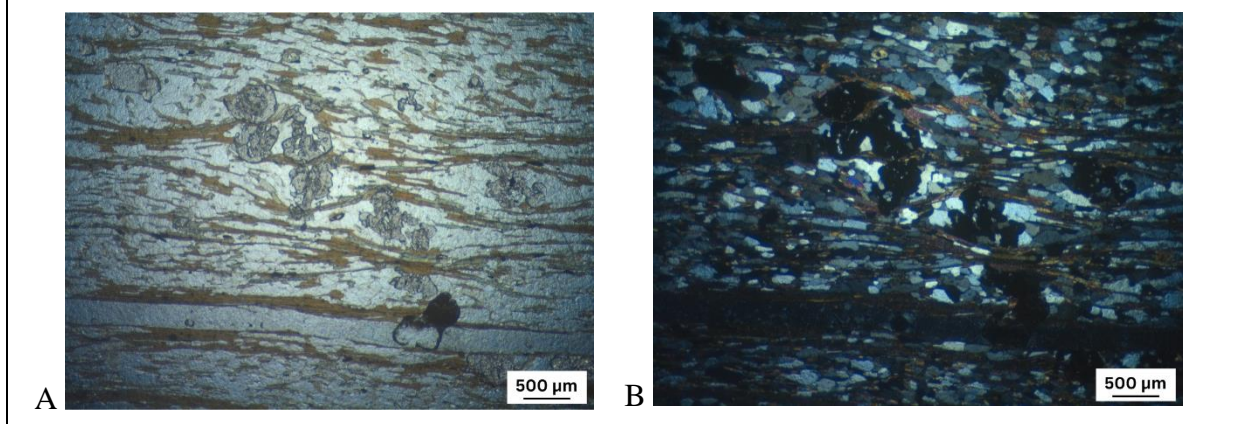
FOTOMICROGRAFIA

Figura 47 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A-C) luz plana; (B-D) luz plano-polarizada. Nas figuras A e B destaca-se um bandamento granulométrico que marca S0. As figuras C e D mostram um grão de granada circundado por uma auréola de clorita.



FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
<p>LÂMINA: HR406</p> <p>UTM E: 644320</p> <p>UTM N: 7753120</p> <p>UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas</p>
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
<p>MINERAIS ESSENCIAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quartzo • Biotita • Granada • Anfibólio <p>MINERAIS ACESSÓRIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Opacos • Zircão
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>A rocha é inequigranular com granulação variando de médios a grossos. A biotita e a actinolita orientam a foliação da rocha, e muitas vezes contornam os porfiroclastos de granada. Os porfiroblastos de granada são intertectônicos e possuem inclusões de quartzo que se orientam de forma diferente da foliação da rocha (FIG. 45). Os grãos de quartzo ocorrem em textura de mosaico.</p>
<p>ASSEMBLEIA MINERAL: Qz+Bt+Grt+Anf</p>
<p>PROTÓLITO: Pelítico</p>
<p>FÁCIES METAMÓRFICA: Xisto verde superior</p>
<p>ZONA METAMÓRFICA:</p>
<p>NOME DA ROCHA: Anfibolio+Granada+Biotita+Quartzo Xisto</p>
FOTOMICROGRAFIA

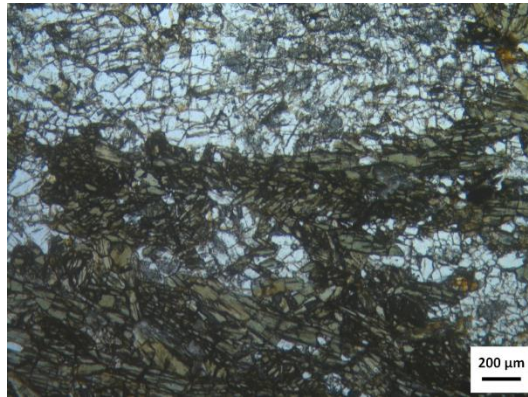
Figura 48 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. Ao centro da imagem estão localizados grãos de granadas que são contornados pela foliação principal da rocha, marcada pelos filossilicatos.



FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
<p>LÂMINA: MP495</p> <p>UTM E: 655995</p> <p>UTM N: 7748850</p> <p>UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Grupo Nova Lima, Supergrupo Estrada Real</p>
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
<p>MINERAIS ESSENCIAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biotita • Clorita • Quartzo <p>MINERAIS ACESSÓRIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Opacos
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>Rocha de granulometria fina/muito fina. A orientação principal dos filossilicatos marcam a foliação da rocha. A biotita é titanífera. Os grãos de quartzo ocorrem muito finos em textura de mosaico. A textura geral é lepidogranoblástica.</p>
<p>ASSEMBLEIA MINERAL: Bt+Chl+Qz</p>
<p>PROTÓLITO: Pelítico</p>
<p>FÁCIES METAMÓRFICA: Xisto Verde Superior</p>
<p>ZONA METAMÓRFICA: Zona da Biotita</p>
<p>NOME DA ROCHA: Quartzo-Clorita-Biotita Xisto</p>

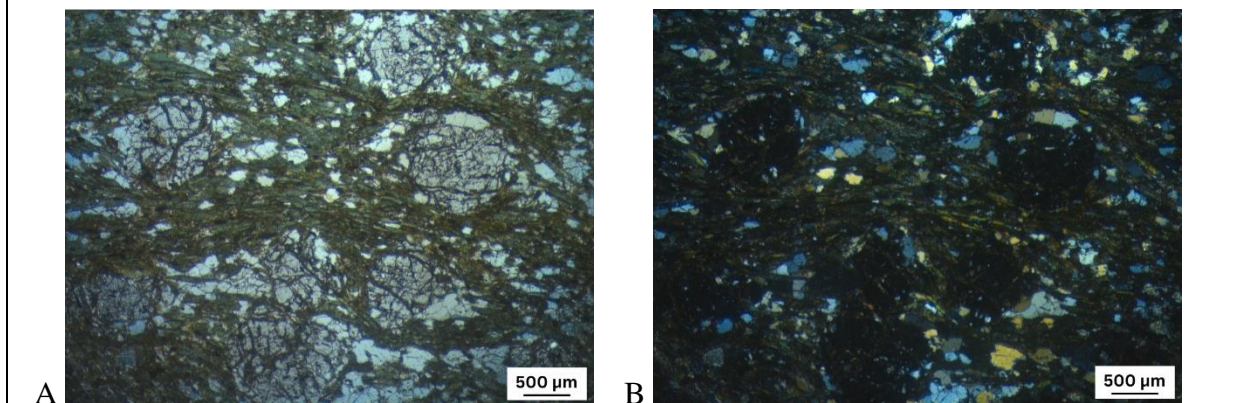
FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
LÂMINA: IA01 UTM E: 644430 UTM N:7752613 UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
<p>MINERAIS ESSENCIAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hornblenda • Cloritóide • Plagioclásio • Epidoto • Biotita <p>MINERAIS ACESSÓRIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rutilo
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>Rocha inequigranular de granulação média a grossa e bandamento centimétrico composicional (FIG. 46). Uma das bandas é composta por hornblenda e biotita que ocorrem sempre associados e trazem a coloração escura para a rocha. Esses minerais ocorrem orientados marcando a foliação da rocha. A outra banda é composta por grãos de plagioclásio, os quais ocorrem maclados, e epidoto associados.</p>
ASSEMBLEIA MINERAL: hbl+cld+plg+ep+bt
PROTÓLITO: máfico
FÁCIES METAMÓRFICA: anfibolito
ZONA METAMÓRFICA: -
NOME DA ROCHA: epidoto-plagioclásio-cloritóide-hornblenda xisto com biotita
FOTOMICROGRAFIA

Figura 49 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida plana. Destaca-se o bandamento composicional da lâmina.



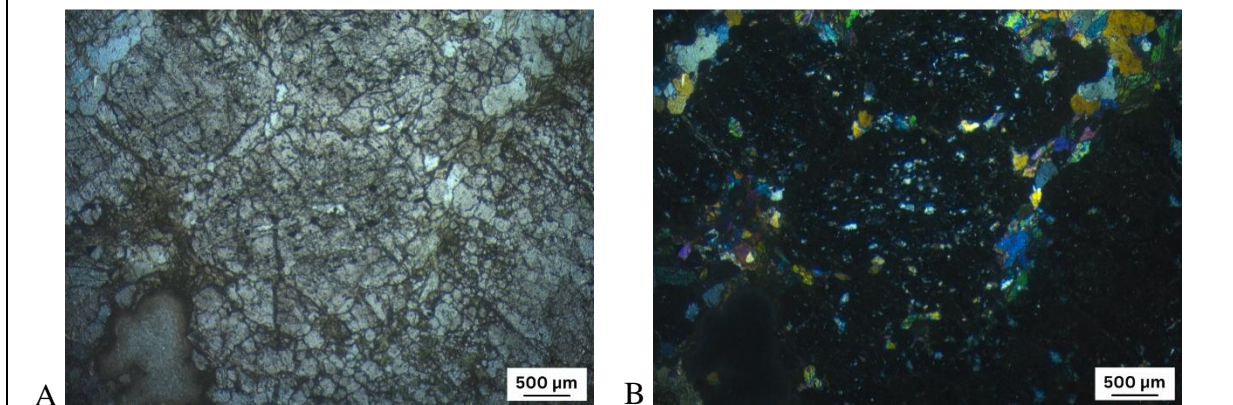
FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
LÂMINA: IA002 UTM E: 644430 UTM N:7752613 UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
<p>MINERAIS ESSENCIAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hornblenda + biotita • Granada • Cloritóide <p>MINERAIS ACESSÓRIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Titanita
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>Rocha inequigranular com granulação média a grossa. A rocha apresenta uma foliação bem definida, marcada pela presença de grãos médios de hornblenda e biotita, que contorna grãos de granada (FIG. 47 A-B). A granada representa a porção grossa da rocha e é classificada como pré-tectônica, não possuindo inclusões, sendo envolvida pela foliação da rocha. Além disso, há grãos de cloritóide muito fraturados, semelhantes aos encontrados na lâmina anterior.</p>
ASSEMBLEIA MINERAL: hbl+grt+cld+bt
PROTÓLITO: máfico
FÁCIES METAMÓRFICA: anfibolito
ZONA METAMÓRFICA:
NOME DA ROCHA: cloritóide-biotita-granada-hornblenda xisto
FOTOMICROGRAFIA

Figura 50 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. Destacam-se porfiroblastos de granada que são circundados pela foliação marcada pela hornblenda.



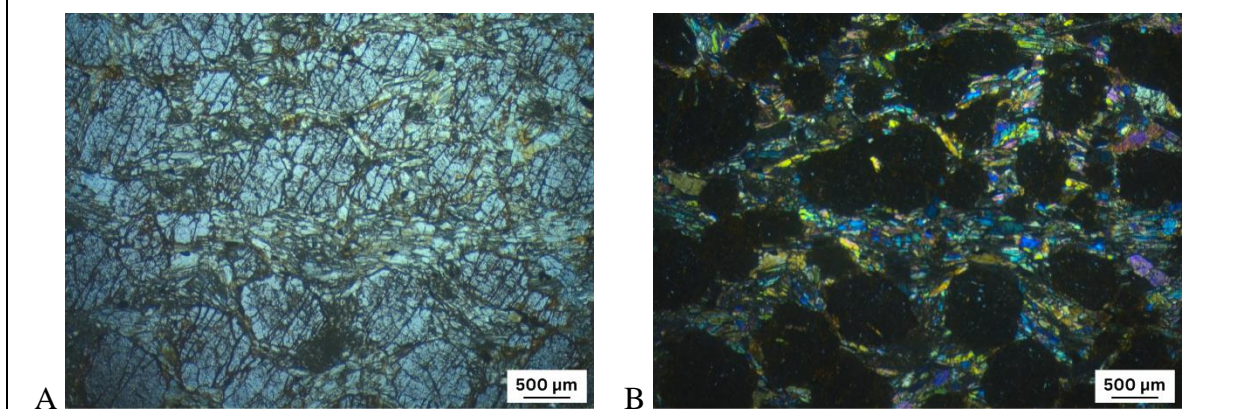
FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
LÂMINA: IA003 UTM E: 644430 UTM N:7752613 UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
<p>MINERAIS ESSENCIAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Granada • Quartzo • Hornblenda <p>MINERAIS ACESSÓRIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biotita • Titanita
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>Rocha inequigranular, porfiroblástica com granulação média a muito grossa. A matriz possui grãos de tamanhos médios e é composta por quartzo, hornblenda e em menor proporção, biotita, que geralmente está associada à hornblenda. A matriz não está orientada. Os porfiroblastos são de granada possuem tamanho grossos a muito grossos, e estão dispersos por toda a lâmina (FIG. 48). Algumas granadas apresentam uma orientação preferencial das inclusões de quartzo, porém não é comum na rocha. Suas inclusões na maioria são aleatórias, sem identificar um evento deformacional específico.</p>
ASSEMBLEIA MINERAL: grt+qz+hbl
PROTÓLITO: máfico
FÁCIES METAMÓRFICA: anfibolito
ZONA METAMÓRFICA: zona da granada
NOME DA ROCHA: hornblenda-quartzo-granada Granofels
FOTOMICROGRAFIA

Figura 51 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. Destacam-se porfiroblastos de granada bem fraturados e com algumas inclusões de quartzo.



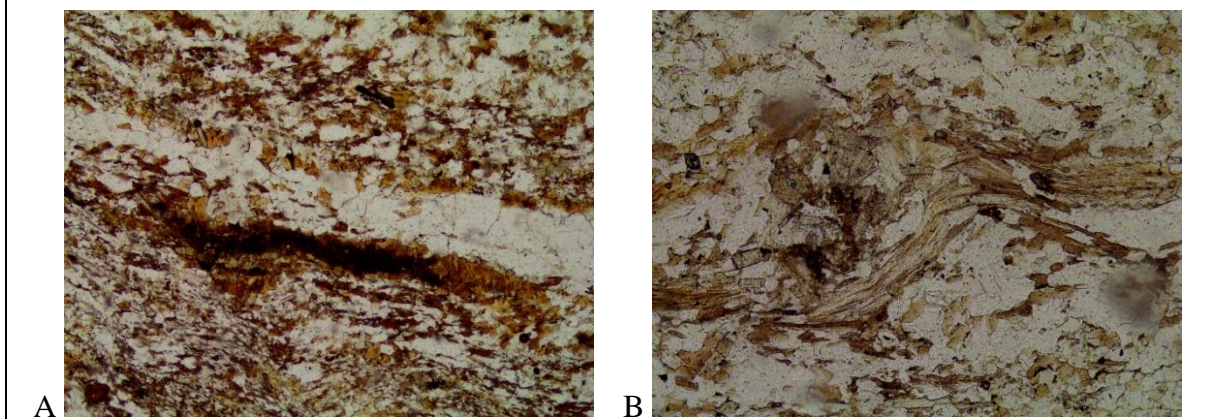
FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
LÂMINA: IA004 UTM E: 644430 UTM N:7752613 UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
MINERAIS ESSENCIAIS <ul style="list-style-type: none"> • Granada • Hornblenda+Biotita
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>A rocha apresenta uma granulação que varia de muito grossa a média. É majoritariamente composta por grãos muito grossos de granada, que são circundados por uma matriz de grãos de hornblenda de tamanho médio. A matriz exibe uma foliação, que é marcada pela presença da hornblenda e biotita (FIG. 49).</p> <p>Todos os grãos de granada estão fraturados, apresentando fraturas que se orientam na mesma direção. Nos contornos das fraturas e dos grãos de granada, observa-se uma coloração avermelhada, que se mantém sob luz polarizada em nicóis cruzados, indicando uma possível composição ferrosa do mineral.</p>
ASSEMBLEIA MINERAL: grt+hbl+bt
PROTÓLITO: máfico
FÁCIES METAMÓRFICA: anfibolito
ZONA METAMÓRFICA: zona da granada
NOME DA ROCHA: biotita-hornblenda-granada xisto
FOTOMICROGRAFIA

Figura 52 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida. (A) luz plana; (B) luz plano-polarizada. Observa-se principalmente o grande número de porfiroblastos de granada na lâmina que são circundados por grãos de hornblenda que marcam a foliação da rocha. Os grãos de granada apresentam fraturas paralelas.

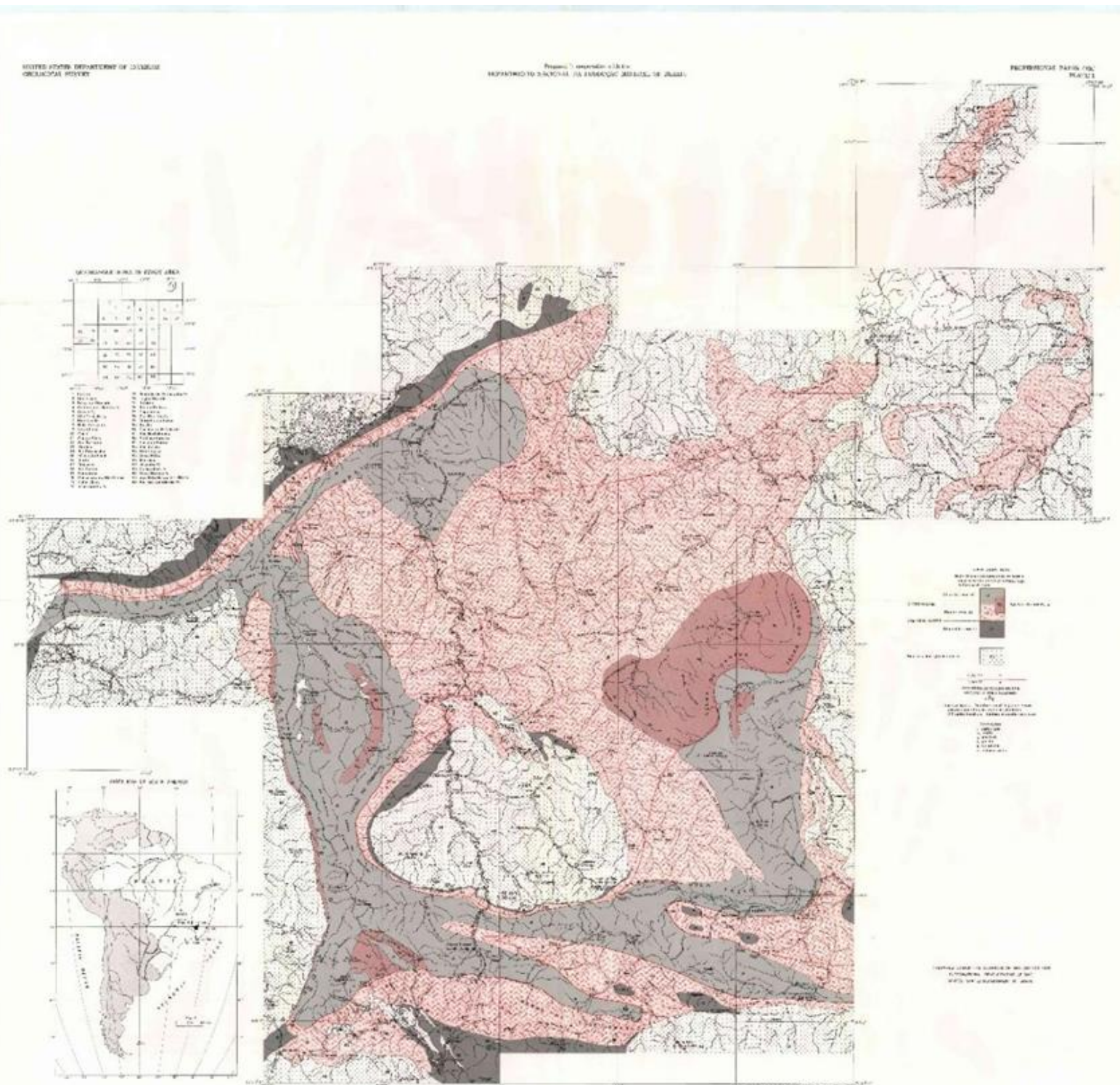


FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA
<p>LÂMINA: MP436</p> <p>UTM E: 643360</p> <p>UTM N: 7746740</p> <p>UNIDADE ESTRATIGRÁFICA: Supergrupo Rio das Velhas, Grupo Nova Lima</p>
MINERAIS IDENTIFICADOS (em ordem decrescente de abundância)
<p>MINERAIS ESSENCIAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quartzo • Biotita • Muscovita • Clorita <p>MINERAIS ACESSÓRIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Opacos • Anfibólio
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<p>Rocha de cor castanho alaranjada, equigranular de granulação fina, possui textura granolepidoblástica. É constituída majoritariamente por quartzo, e biotita que por sua vez marca a foliação da rocha. Minerais acessórios como anfibólio, clorita, apatita, zircão, titanita e opacos ocorrem em menor quantidade. A rocha é cortada por finas veias de quartzo (microvenulações), paralelos a foliação principal (FIG. 50A). Em algumas áreas, nas bordas de contato entre as veias de quartzo e os minerais da rocha, observa-se uma reação entre anfibólios, biotita e quartzo, formando uma margem de reação (FIG. 50A). Os grãos de biotita e muscovita podem ocorrer deformados configurando microdobras na lâmina (FIG. 50B).</p>
ASSEMBLEIA MINERAL: qz+bt+ms
PROTÓLITO: máfico
FÁCIES METAMÓRFICA: zona da biotita
ZONA METAMÓRFICA: xisto verde
NOME DA ROCHA: muscovita-biotita-quartzo xisto
FOTOMICROGRAFIA

Figura 53 - Fotomicrografias por microscopia ótica de luz transmitida em luz plana. (A) Margem de reação entre anfibólios, biotita e quartzo na borda do veio de quartzo; (B) Grãos de biotita e muscovita deformados gerando uma microdobra.



ANEXO A - Mapa De Zonas Metamórficas Do Quadrilátero Ferrífero (Herz 1978).



MAP OF METAMORPHIC ZONES AND PLAGIOCLASE VARIATIONS, QUADRILÁTERO FERRIFERO, MINAS GERAIS, BRAZIL.