



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DE GNAISSES
DOS COMPLEXOS SANTA BÁRBARA E MANTIQUEIRA NA REGIÃO
DE MARIANA, MINAS GERAIS, BRASIL**

LUIZA CLEMENTE RODRIGUES

MONOGRAFIA nº 475

Ouro Preto, junho de 2023

**PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DE
GNAISSES DOS COMPLEXOS SANTA BÁRBARA E
MANTIQUEIRA NA REGIÃO DE MARIANA, MINAS
GERAIS, BRASIL**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a Cláudia Aparecida Marlière de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof.^a Dr.^a Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. José Alberto Naves Cocota Junior

Vice-Diretor

Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Dr. Geraldo Magela Sampaio

MONOGRAFIA

Nº 475

PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DE GNAISSES DO COMPLEXO SANTA BÁRBARA E MANTIQUEIRA NA REGIÃO DE MARIANA, MINAS GERAIS, BRASIL

Luiza Clemente Rodrigues

Orientador

Prof. Dr. Marco Paulo de Castro

Co-Orientadores

Msc. Syro Gustavo Lacerda

Dr. Marco Aurélio Piacentini Pinheiro

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

OURO PRETO

2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

R696p Rodrigues, Luiza Clemente.
Petrografia, geoquímica e geocronologia de gnaisses dos Complexos Santa Bárbara e Mantiqueira na região de Mariana, Minas Gerais, Brasil. [manuscrito] / Luiza Clemente Rodrigues. - 2023.
48 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Marco Paulo de Castro.
Coorientadores: Dr. Marco Aurélio Piacentini Pinheiro, Me. Syro Gusthavo Lacerda.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Petrologia. 2. Geoquímica. 3. Gnaisse. 4. Geocronologia. I. Castro, Marco Paulo de. II. Lacerda, Syro Gusthavo. III. Pinheiro, Marco Aurélio Piacentini. IV. Universidade Federal de Ouro Preto. V. Título.

CDU 552.42

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



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Luiza Clemente Rodrigues

Petrografia, geoquímica e geocronologia de gnaisses dos complexos Santa Bárbara e Mantiqueira na região de Mariana, Minas Gerais, Brasil

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 31 de maio de 2023

Membros da banca

Orientador(a): Prof. Dr. Marco Paulo de Castro (Universidade Federal de Ouro Preto)
Profa. Dra. Cláudia dos Santos (Universidade Federal de Ouro Preto)
Profa. Dra. Maria Eugênia Silva de Souza (Universidade Federal de Ouro Preto)

Marco Paulo de Castro, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 07/06/2023



Documento assinado eletronicamente por **Marco Paulo de Castro, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/06/2023, às 11:36, 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 **0537897** e o código CRC **301E8F96**.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, Maria das Graças e Nilson Bento, por todo o investimento na minha educação e por sempre me apoiarem nas escolhas. Aos meus avós Geraldo (*in memorian*), Calu (*in memorian*), Tunico e Amires, por todo esforço e cuidado para garantir melhores oportunidades aos filhos e netos. Às minhas tias “Marias”, Tininha, Geraldinha e Fatinha (*in memorian*) pelo incentivo ao estudo e por todos os almoços servidos com amor e muita risada. Aos meus primos e amigos de Simonésia, que apesar da distância sempre estiveram presentes durante minha caminhada, Laura, Carolina, Tadeu, Lais, Clarice e Letícia.

Às amigas que fiz durante a graduação, em especial à Érica, Alice, Wilker, Pri, Jéssica, Ana, Maria Tereza, Nath, Paulinha e Pedro. Tenho um carinho imenso por todos vocês.

Ao convênio de bolsas de Iniciação Científica, entre o Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) e o Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM). Aos meus orientadores de IC, Leonardo Gonçalves, Marco Paulo e Marco Aurélio por me apresentarem o projeto e pelas conversas pacientes, despertando curiosidade sobre a história evolutiva dos continentes e incentivo para dar continuidade aos estudos. Ao Syro pela amizade, por cada escuta atenciosa e pela calma e respeito ao orientar.

Ao Laboratório de Geoquímica Isotópica (AIR), ao Laboratório de Microscopia e Microanálises (LMic) e ao Laboratório de Geoquímica Ambiental (LGqA) do Departamento de Geologia (DEGEO/UFOP) pelas análises realizadas.

Ao Serviço Geológico do Brasil (SGB/SUREG-BH) pela oportunidade de estágio, em especial ao Cassiano pelo apoio na preparação das amostras e à Joana Magalhães pela excelente ajuda com os dados geocronológicos.

Por fim, agradeço a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e seu Departamento de Geologia (DEGEO) pelo ensino público, gratuito e de qualidade.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	x
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xiv
RESUMO	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 LOCALIZAÇÃO	3
1.3 OBJETIVOS	3
1.4 JUSTIFICATIVA.....	4
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS	4
1.5.1 Revisão bibliográfica.....	4
1.5.2 Trabalhos de campo.....	5
1.5.3 Descrição petrográfica.....	6
1.5.4 Geoquímica.....	7
1.5.5 Geocronologia.....	8
2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	12
2.1 PROVÍNCIA GEOTECTÔNICA SÃO FRANCISCO	12
2.1.1 O Cráton São Francisco	12
2.1.2 O Quadrilátero Ferrífero	13
2.1.3 O Complexo Santa Bárbara	16
2.1.4 O Complexo Santo Antônio do Pirapetinga.....	16
2.2 PROVÍNCIA GEOTECTÔNICA MANTIQUEIRA	18
2.2.1 O Orógeno Araçuaí	18
2.2.2 O Complexo Mantiqueira	18
2.2.3 O Complexo Acaiaca.....	20
2.2.4 O Grupo Dom Silvério	20
3 RESULTADOS	22
3.1 Petrografia	22
3.1.1 Petrografia dos gnaisses do Complexo Santa Bárbara.....	22
3.1.2 Petrografia dos gnaisses do Complexo Mantiqueira	27
3.2 Geoquímica.....	31
3.3 Geocronologia.....	36
4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	40
5 CONCLUSÕES	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
APÊNDICES.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Províncias geotectônicas do Brasil por Almeida (1977).....	1
Figura 1.2 - Mapa geológico simplificado da zona limítrofe entre as províncias geotectônicas São Francisco e Mantiqueira na borda leste do Quadrilátero Ferrífero (QFe) com a delimitação aproximada da área de estudo. Extraído e modificado de Endo et al. (2019)	2
Figura 1.3 - Mapa de localização geográfica da área estudada e localização dos pontos visitados.	3
Figura 1.4 - Preparação de amostras para análise geoquímica.....	7
Figura 1.5 - Preparação de amostras para análise geocronológica	9
Figura 1.6 - Preparação da pastilha para análise geocronológica.....	10
Figura 2.1 - Mapa geológico do Cráton São Francisco e suas faixas móveis. Extraído e modificado de Alkmim & Martins Neto (2012).....	13
Figura 2.2 – Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero com a localização aproximada da área de estudo. Extraído de Romano <i>et al.</i> (2013).	14
Figura 2.3 - Mapa geológico simplificado da borda leste do Quadrilátero Ferrífero. Extraído e modificado do Mapa Geológico de Minas, CPRM/SGB (2020).....	17
Figura 3.1 - Vista geral dos afloramentos do Complexo Santa Bárbara e suas respectivas amostragens para análise microscópica. A) Biotita mica branca gnaiss (PP-171), B) Biotita gnaiss (PP-172).	22
Figura 3.2 - Fotomicrografias da amostra de biotita gnaiss (PP-172). A e B: Microclina, plagioclásio e quartzo de granulação grossa no bandamento da rocha. C: Biotitas orientadas definindo uma foliação incipiente. D: Fenocristal de K-feldspato perítico em contato com plagioclásio mirmequítico, E: Fenocristal de de K-feldspato e plagioclásio maclado com maclas polissintética. F: Microclina com macla Tartan e plagioclásio sericitizado.	24
Figura 3.3 - Fotomicrografias da amostra de biotita mica branca gnaiss (PP-171). A e B: Mica branca e biotita orientadas segundo a foliação da rocha. C e D: Fenocristal de microclina com macla Tartan e micas brancas orientadas. E: Plagioclásio com macla polissintética, microclina com macla Tartan alterada e biotita alterando para clorita. F: Agregados interlobados de quartzo e feldspato.	25

Figura 3.4 - Fotomicrografias da mineralogia acessória. A: Allanita metamítica com fraturamento radial ao entorno. B: Titanita substituindo a biotita. C: Apatita com seção basal pseudo-hexagonal, D: Zircão e rutilo inclusos em grãos de biotita e rastro de zircão metamítico.	26
Figura 3.5 - A: Vista geral do afloramento. B: Biotita gnaissé com intercalação de bandas leucocráticas descontínuas ou caóticas. C: Biotita gnaissé com leucossoma. D: Dobra em “M”. E: Dique pegmatítico cisalhado e veio fino de mesma composição. E: Dobra intrafolial.	27
Figura 3.6 - Fotomicrografias da porção foliada do biotita gnaissé (lâminas RF-5 e RF-6). A e B: Palhetas de biotitas definindo a foliação anastomosada, em tons de castanho a marrom escuro. C: Palhetas de biotita orientadas entre grãos de quartzo poligonais. D: Palhetas de biotitas orientadas e substituição por mica branca.	29
Figura 3.7 - A e B: Porção amostrada do biotita gnaissé. C e D: Fotomicrografias da transição entre o bandamento granulométrico e a matriz da rocha. E: Grãos de microclina em contatos poligonais. F: Filme de feldspato potássico em torno de grão de plagioclásio.	30
Figura 3.8 - Mapa simplificado da borda leste do Quadrilátero Ferrífero com a localização das amostras usadas para o estudo geoquímico. (Extraído e modificado do Mapa do Quadrilátero Ferrífero (Endo et. al, 2019).	31
Figura 3.9 - Diagramas binários para elementos maiores das amostras deste estudo (PP-171, 172, 372 e RF-3) e dos gnaisses estudados por Fonseca (2017) (amostras FUM-1, 2 e demais plots em cinza) A: SiO ₂ x Al ₂ O ₃ . B: SiO ₂ x MgO + FeO. C: SiO ₂ x Na ₂ O. D: SiO ₂ x CaO.	32
Figura 3.10 - Diagramas de classificação para as rochas deste estudo (PP-171, 172, 372 e RF-3) com a plotagem das análises químicas extraídas do Programa de Levantamento Geológico do Brasil, Folha Mariana (Baltazar & Raposo, 1993) e da tese de doutorado de Fonseca (2007) A: Diagrama An – Ab – Or de O’Connor (1965), com o campos dos TTG’s arqueanos de Moyen & Martin (2012) em rosa. B: Diagrama SiO ₂ x K ₂ O de Peccerillo & Taylor (1976), com os campos dos TTGs (amarelo), biotita granitos (verde) e granitos híbridos (laranja) conforme proposto por Laurent et al., (2014). C: A/ANK x A/CNK de Shand (1943). D: Diagrama P-Q de Debon e Lefort (1983).	33
Figura 3.11 – Diagramas multielementos para amostras do Complexo Santa Bárbara e Mantiqueira, as amostras PN-3, FUM-1 e FUM-2 pertencem ao trabalho de Fonseca (2007). A) Diagramas de elementos terras raras, com valores normalizados ao condrito (Boyton, 1984). B) Diagrama de elementos incompatíveis, com os valores normalizados ao manto primitivo (McDonough and Sun, 1995).	35
Figura 3.12 - Imagens de catodoluminescência dos grãos de zircões selecionados para análise.	36

Figura 3.13 - Diagrama da concórdia das análises LA-ICP-MS da amostra PP-171.	37
Figura 3.14 - Imagens de catodoluminescência com a localização dos spots e suas respectivas idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ e razões Th/U.	38
Figura 4.1 - Distribuição das idades herdadas (H), de cristalização (C) e idades metamórficas (M) encontradas por este estudo e pelos trabalhos de Lana et al. (2013), Milagres (2013) e Fonseca (2017) para o Complexo Santa Bárbara e discriminação dos eventos magmáticos descritos por (Lana et al., 2013).	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 - Discriminação das amostras coletadas em campo.....	5
Tabela 3.1- Resultados das análises U-Pb via LA-ICP-MS nos zircões da amostra PP-171....	39

Resumo

A borda leste do Quadrilátero Ferrífero está inserida na região limítrofe entre dois segmentos crustais que registram uma longa e cíclica história geodinâmica durante o Pré-Cambriano, as províncias geotectônicas São Francisco e Mantiqueira. Este trabalho aborda o estudo de rochas graníticas presentes na região de Mariana, Minas Gerais, pertencentes ao domínio sul do Complexo Santa Bárbara (CSB) e à porção central do Complexo Mantiqueira (CMA). Estes terrenos são caracterizados principalmente pela ocorrência de gnaisses TTG's em associação a rochas metaultramáficas. O objetivo principal visou comparar as unidades no ponto de vista petrológico (petrografia, mineralogia, geoquímica) e geocronológico, a fim de se debater sobre o limite local das províncias geotectônicas. Além disso, os objetivos específicos visaram classificar as rochas segundo suas composições mineralógicas e geoquímicas, compilar os dados cronológicos de trabalhos já publicados e definir idades de cristalização para a comparação com estudos anteriores. Foram realizados trabalhos de campo para a coleta das amostragens, seguido pela preparação das rochas para a confecção de lâminas delgadas e para as análises de geoquímica de elementos maiores e análises isotópicas U-Pb em grãos de zircão. O trabalho também contou com duas lâminas delgadas e os resultados de três análises geoquímicas de rocha total fornecidos pelo Serviço Geológico do Brasil. As rochas do Complexo Santa Bárbara foram classificadas como biotita mica branca gnaiss e biotita gnaiss. Sob análise microscópica exibem textura inequigranular, granolepidoblástica com bandamento definido pela granulação média de cristais de quartzo e feldspatos, que por vezes encontram-se alongados segundo a direção preferencial da rocha. A amostra do domínio do Complexo Mantiqueira é classificada como biotita gnaiss, e apresenta textura inequigranular, granoblástica a granolepidoblástica, com bandamento composto por cristais grossos de quartzo anédrico. A mineralogia principal, composta por quartzo, microclina, plagioclásio e biotita em associação com os minerais acessórios identificados (allanita, titanita, rutilo e zircão) permitiram interpretar que esses gnaisses são derivados de protólitos ígneos e formados a partir de metamorfismo em fácies anfibolito. O estudo geoquímico dos elementos maiores, terras raras e incompatíveis, em comparação com as análises compiladas da literatura, evidencia que os gnaisses compõem a série dos granitóides arqueanos. O granitóides atribuídos ao CSB apresentam concentrações baixas a intermediárias de ETR leves em relação aos pesados, e as rochas do CMA são enriquecidas em ETR leves. O estudo comparativo entre as assinaturas propõe que o domínio sul do CSB se estenda para leste, assim como sugerido por trabalhos anteriores. As análises isotópicas U-Pb em grãos de zircão revelaram uma idade de cristalização de 2878 Ma e uma idade herdada de 3233 Ma para um litotipo gnáissico do Complexo Santa Bárbara. Estas idades foram associadas aos eventos de magmatismo TTG responsáveis pela evolução de uma crosta arqueana no sul do Cráton São Francisco, referidos como Santa Bárbara e Rio das Velhas I.

Palavras chaves: Complexo Santa Bárbara, Complexo Mantiqueira, TTGs, gnaisses, petrografia, geoquímica, geocronologia U-Pb.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O território brasileiro integra parte da Plataforma Sul-Americana e é dividido em 10 Províncias Estruturais que registram informações fundamentais ao entendimento da evolução crustal dos continentes. Esses segmentos são divididos de acordo com limites geologicamente estabelecidos, como falhas profundas, zonas de cisalhamento de grande magnitude e outros segmentos transicionais que guardam evidências de uma mudança brusca no regime tectônico. Dessa forma, as Províncias Estruturais Brasileiras são definidas como partes da crosta continental que compartilham aspectos petrogenéticos como arcabouço litoestratigráfico, magmatismo, deformação e metamorfismo (Fig. 1.1) (Almeida *et al.*, 1977).

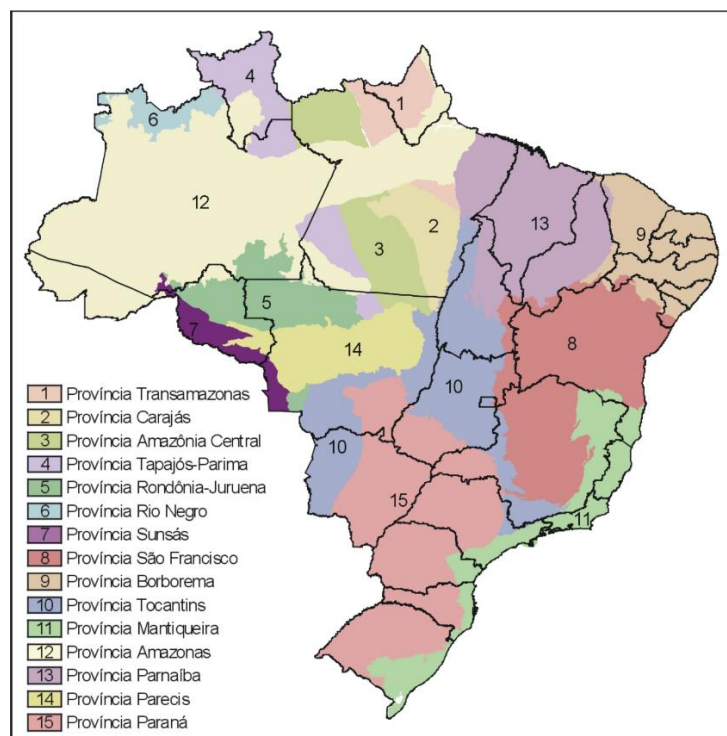


Figura 1.1 - Províncias geotectônicas do Brasil por Almeida (1977).

A Província São Francisco ocupa aproximadamente a mesma área que o Cráton São Francisco, segundo Almeida (1997), sendo representada principalmente por sequências supracrustais de baixo grau metamórfico e granitóides associados. A Província Mantiqueira por sua vez é constituída pelas faixas marginais Ribeira e Araçuaí, que bordejam o domínio cratônico e agrupam rochas gnáissicas e granulíticas, de médio a alto grau metamórfico (Baltazar & Raposo, 1993).

Apesar de haver nos últimos anos expressivos avanços quanto a delimitação e a caracterização desses segmentos, as regiões transicionais podem apresentar grande complexidade na delimitação de seus domínios interiores. Nesse sentido, grande parte do acervo bibliográfico envolvendo o Complexo Santa Bárbara é focado em sua porção sul, a qual o limite com o Complexo Mantiqueira tem sido alvo de controversas devido à semelhança petrológica entre as duas unidades.

Este trabalho apresenta um estudo de gnaisses presentes em afloramentos na região de Mariana, Minas Gerais, na borda leste do Quadrilátero Ferrífero, pertencentes aos complexos metamórficos Santa Bárbara e Mantiqueira (Fig. 1.2). Foram realizadas análises laboratoriais geoquímicas e geocronológicas, além da confecção de lâminas petrográficas, para a classificação das litologias. Dessa forma, os dados obtidos foram comparados e integrados a trabalhos anteriores a fim de se contribuir para discussões acerca do contexto geotectônico e da delimitação entre as duas unidades.

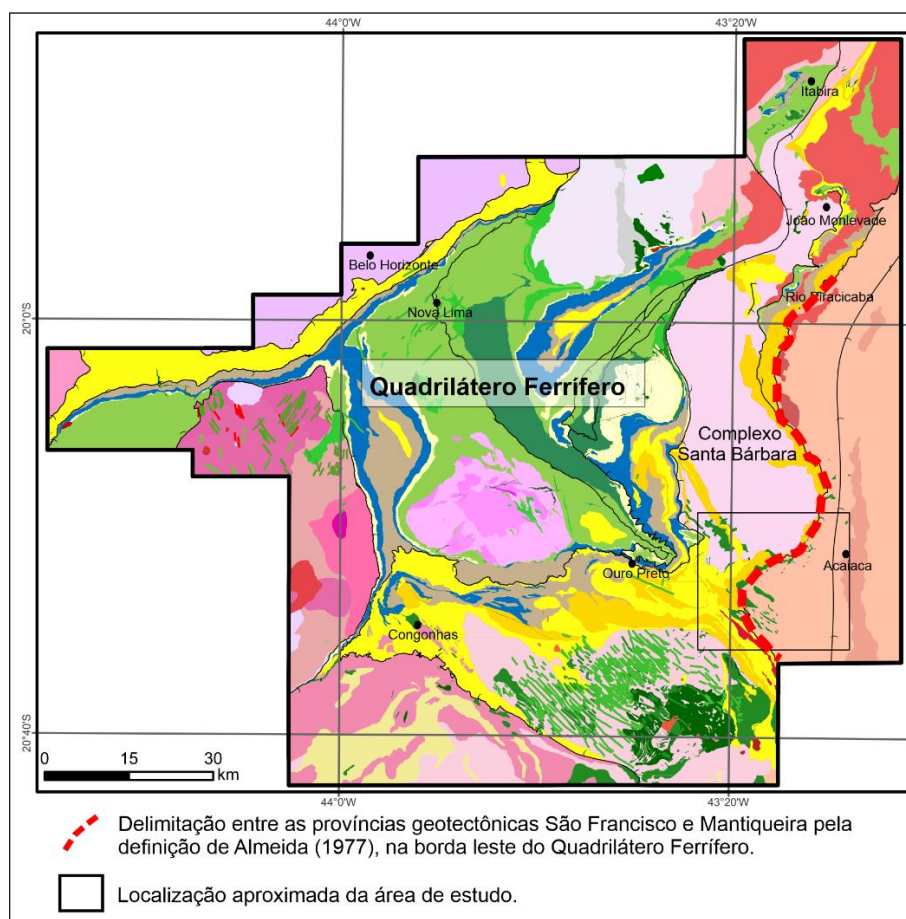


Figura 1.2 - Mapa geológico simplificado da zona limítrofe entre as províncias geotectônicas São Francisco e Mantiqueira na borda leste do Quadrilátero Ferrífero (QFe) com a delimitação aproximada da área de estudo. Extraído e modificado de Endo et al. (2019)

1.2 LOCALIZAÇÃO

As unidades litodêmicas desse estudo localizam-se na borda leste do Quadrilátero Ferrífero, nas proximidades do município de Mariana, Estado de Minas Gerais. Foram selecionadas duas estações de trabalho. A primeira está localizada na Represa da Fumaça, instalada à montante do Rio Gualaxo do Sul, entre os distritos de Mainart e Barrocas e acesso ocorreu a partir de Ouro Preto, pela BR-356, em direção à cidade de Diogo de Vasconcelos. A segunda estação de trabalho situa-se no distrito de Monsenhor Horta, com rota a partir de Mariana, pela BR-356, seguindo para a MG-262, onde encontra-se a estrada de acesso (Figura 1.2).



Figura 1.3 - Mapa de localização geográfica da área estudada e localização dos pontos visitados.

1.3 OBJETIVOS

Este projeto tem como objetivo principal comparação petrológica (petrografia, mineralogia, geoquímica e geocronologia) das rochas associadas aos complexos Santa Bárbara e Mantiqueira, na região de Mariana, Minas Gerais, Brasil, a fim de se debater sobre o limite local das províncias geotectônicas São Francisco e Mantiqueira. Além disso, são objetivos específicos deste trabalho:

- Classificar as diferentes rochas estudadas segundo sua composição mineralógica e geoquímica;
- Compilar os dados geocronológicos de trabalhos já publicados e avaliar a interpretação das idades encontradas;
- Definir idades de cristalização e/ou metamórficas das rochas estudadas e comparar com as idades obtidas em trabalhos anteriores.

1.4 JUSTIFICATIVA

A área de estudo do projeto se situa em uma região que abrange duas grandes unidades litodêmicas, atribuídas a domínios geotectônicos distintos. O Complexo Santa Bárbara pertence ao domínio da Província Geotectônica São Francisco e possui um dos raros registros de crosta Paleoarqueana preservada na região (Lana *et al.* 2013), enquanto o Complexo Mantiqueira faz parte da Província Geotectônica Mantiqueira e tem seu desenvolvimento associado a um sistema orogênico desenvolvido às margens do paleocontinente São Francisco durante o Paleoproterozóico (Noce *et al.*, 2007). No entanto, trabalhos recentes apontam idades de cristalização que variam do Mesoarqueano ao Neoarqueano, além de idades de metamorfismo Orosirianas, para os gnaisses que ocorrem na parte central do CMa (Fonseca, 2017).

Diante disso, apesar da zona transicional entre as províncias simbolizar mudanças significativas no regime tectônico, os limites entre a porção sul do CSB com o domínio do CMa permanecem pouco entendidos pela literatura, tendo em vista suas similaridades petrológicas e geocronológicas. O Complexo Santa Bárbara se trata de um corpo extenso com poucas ocorrências de rochas preservadas e é alvo de poucos estudos. O Complexo Mantiqueira, por sua vez, é alvo de diversos estudos que apresentam divergências principalmente na definição das idades e configuração tectônica. Este trabalho se propõe à compilação e aquisição de dados acerca gnaisses que ocorrem na transição entre o sul do CSB e a porção central do CMa. O estudo comparativo visa contribuir para as discussões acerca do limite local entre as unidades.

1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas do trabalho foram realizadas da seguinte forma, algumas simultaneamente: i) revisão bibliográfica; ii) trabalhos de campo (coleta de amostras); iii) descrição petrográfica; iv) geoquímica; v) geocronologia.

1.5.1 Revisão bibliográfica

Foi realizada uma revisão bibliográfica minuciosa envolvendo artigos recentes e trabalhos precursores no estudo da área abordada, e.g. Programa de Levantamento Geológico do Brasil (PLGB) realizados pela CPRM em 1993, a fim de se estabelecer uma sequência que aponte o avanço do conhecimento ao longo do tempo. Esta revisão também focou na compilação de dados, sobretudo geocronológicos, com a finalidade de se avaliar as interpretações e comparar com os resultados obtidos no presente trabalho. A elaboração do capítulo de geologia regional foi baseada principalmente nos trabalhos de Brito Neves (1995), Almeida *et al.* (1997, 2004), Silva (2002, 2005), Lana *et al.* (2013), Fonseca (2007) e Endo *et al.* (2019). Para o capítulo sobre granitóides TTG's foram utilizados os trabalhos de Moyen (2011) e Bonin *et al.*, (2020).

1.5.2 Trabalhos de campo

Foram realizados trabalhos de campo com o objetivo de identificar e descrever as unidades abordadas nesse estudo e coletar amostras representativas para análises laboratoriais. Na Represa da Fumaça, foram coletados cerca de 10 kg de amostras de gnaiss para estudos geocronológicos e 3 kg para a geoquímica de elementos maiores (RF-3). Para fins de confecção de lâminas delgadas e posterior caracterização petrográfica, mineralógica e microtextural, foram coletadas diferentes amostras que representam diferentes fácies da unidade principal e que indicam processos de milonitização e/ou migmatização. esse ponto, também foram coletadas fácies da unidade principal que indicam processos de milonitização

Além disso, o trabalho contou com duas amostras (PP171, PP172; Tabela 1.1) coletadas pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM), referentes a campos de mapeamento geológico na área em questão. O material fornecido pelo SGB conta com a análise química de rocha total e lâminas petrográficas, e cerca de 12kg de uma das amostras foi repassado à autora deste trabalho para a preparação para de concentrado mineral para os estudos geocronológicos. A tabela 1.1 apresenta a discriminação das amostras coletadas em campo para este trabalho.

Tabela 1.1 - Discriminação das amostras coletadas em campo.

Amostra	Litologia	UTM X	UTM Y	Lâmina	Geocronologia U-Pb	Geoquímica	Química mineral
RF-1	Biotita gnaiss	681000	7737500	x			
RF-2	Gnaiss milonítico	681000	7737500	x			
RF-3	Biotita gnaiss	681000	7737500	x	x	x	x
RF-4	Metagranitóide pegmatítico	681000	7737500	x	x		
RF-5	Biotita gnaiss	681000	7737500	x			x
RF-6	Biotita gnaiss	681000	7737500	x			
PP-171	Gnaiss	678358	7749834	x	x	x	
PP-172	Gnaiss	677973	7750669	x		x	

1.5.3 Descrição petrográfica

Foram preparadas 6 lâminas delgadas e polidas no LAMIN/DEGEO (Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia), visando a caracterização petrográfica e micro-estrutural. (Figura 1.3). O processo é realizado através das seguintes etapas:

1. Corte da amostra com serra de disco diamantado para dimensões específicas ao vidro a ser impregnada;
2. Desbaste da amostra utilizando-se pó de carbetto de tungstênio;
3. Após a impregnação no vidro, corta-se a amostra em uma fatia mais fina utilizando novamente a serra de disco e a laminadora manual;
4. Desbaste da amostra para que todos os lados estejam nivelados com o uso de pó de carbetto de tungstênio;
5. A partir do desbaste na granulometria mais fina, chega-se à espessura média de 30 micrômetros – estimada a partir da cor de interferência de minerais conhecidos, como o quartzo;
6. Polimento amostra usando polítrices, tecidos específicos e pasta diamantada ou pasta de alumínio.

As descrições das lâminas petrográficas foram realizadas utilizando microscópio binocular Olympus BX41 do Laboratório de Microscopia (LMic) do DEGEO-UFOP. A caracterização das amostras é focada tanto na identificação das fases minerais como nas feições texturais geradas a partir processos de fusão parcial e/ou deformação em estado sólido. Para ilustrar as observações, foram incluídas fotomicrografias obtidas com a câmera Zeiss AxioCam HRc conectada ao microscópio Leica DM LP.

1.5.4 Geoquímica

As porções mais homogêneas da amostra RF-03 foram separadas para a análise química de elementos maiores. A preparação foi realizada nas dependências do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) e as análises no Laboratório de Geoquímica do DEGEO/UFOP via Espectrometria de Emissão de Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES), da marca Agilent, modelo 725.

A preparação física das amostras foi realizada a partir dos seguintes procedimentos:

1. As amostras foram lavadas e lixadas para se remover a superfície alterada (Fig. 1.4a);
2. Após a secagem, os fragmentos foram reduzidos ao um tamanho compatível ao moinho de pedra, onde foram pulverizadas (Fig. 1.4b);
3. O processo de pulverização se repetiu até que 95% da amostra passasse pela peneira de 200 *mesh* (Fig. 1.4c).

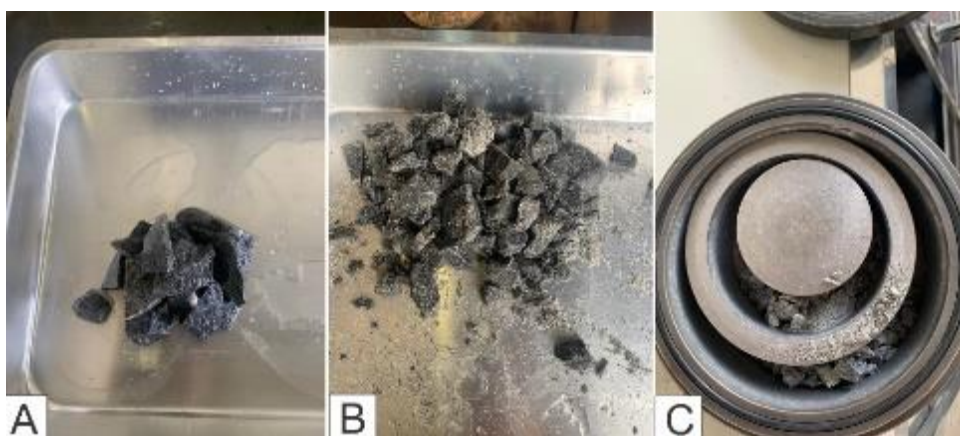


Figura 1.4 - Preparação de amostras para análise geoquímica

Após a pulverização, é pesado aproximadamente 0,250g da amostra para se dar início ao processo de dissolução química. O procedimento adotado pelo laboratório é detalhado abaixo:

1. Adição de 1 ml de HNO₃ 10 mol/l seguido de 3 ml de HCL 10 mol/l;
2. Deixar os frascos abertos sobre a placa aquecedora a cerca de 110°C, até a secura;
3. Adição de 2 ml de HF concentrado e, com os frascos fechados, deixar cerca de 30 horas na placa aquecedora à 110°C. Essa etapa é repetida mais uma vez;
4. Retirada dos frascos da placa até que estejam esfriados. Com os frascos abertos, se leva na chapa aquecedora à cerca de 110° até a secura;
5. Adição de 2 ml de HNO₃ 10 mol/l e, com os frascos abertos, são levados à secura na placa aquecedora. Essa etapa é repetida mais uma vez;
6. Os frascos são transferidos da placa aquecedora ao porta-fracos;

7. Adição de 25 ml de HCL 2 mol/l e, com os frascos fechados, são agitados e deixados sobre a placa aquecedora;
8. Os frascos são retirados da placa aquecedora e, após esfriarem, são pesados e a amassa total (frasco + tampa + solução) é anotada no caderno;
9. Após a dissolução completa das amostras, é adicionado água destilada e a solução resultante é transferida para o equipamento.

1.5.4.1 Espectrometria de Emissão de Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES)

A técnica ICP-OES consiste na ionização e excitação dos átomos e íons que compõem a amostra a partir de um plasma altamente energético, seguida pela medição e comparação das linhas espectrais emitidas quando as partículas voltam ao estado de menor energia. Como o espectro de emissão de cada elemento é característico, são fornecidas informações qualitativas e quantitativas dos elementos maiores que compõem a amostra. Os dados geoquímicos gerados e compilados por este trabalho foram tratados pelo software *Excel* e os diagramas de classificação foram gerados a partir do programa *GCDKit* e *CorelDraw*.

1.5.5 Geocronologia

Foram selecionadas 2 amostras para a obtenção de idades, preparadas no Laboratório de Preparação de Amostras para Geocronologia (LOPAG) do DEGEO/UFOP e nas dependências do Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), em Caeté/MG. As datações foram feitas via ICP-MS, no Laboratório de Geoquímica Isotópica (AIR/DEGEO/UFOP), a partir do método de análises de U-Th-Pb em cristais de zircão, imageados por catodoluminescência no Laboratório de Microscopia e Microanálises do DEGEO/UFOP.

As etapas da preparação de amostra incluem:

1. Fragmentação das amostras, com a utilização de uma marreta, até de obter um tamanho compatível com a abertura do britador de mandíbulas (Fig. 1.5a);
2. Lavagem e secagem das amostras em forno a 120°C (Fig. 1.5b);
3. Britagem, utilizando o britador e um saco plástico reservatório (Fig. 1.5c);
4. A amostra é separada utilizando peneiras de diferentes granulometrias, onde ficam retidas as seguintes frações: > 4mm; <4mm>2mm; >60#, <60#>80#, <80#>120#, <120#>200#, >200# (Fig. 1.5d);
5. É utilizado uma bateia para fazer o refino e selecionar os grãos de maior densidade.
6. Após a secagem dos concentrados, é utilizado um imã de mão para atrair os grãos com os maiores índices de magnetização (Fig. 1.5e);
7. O concentrado obtido pela bateia é submetido novamente à separação magnética utilizando o Separador Isodinâmico Frantz. Para evitar a perda de grãos não magnetizados por arraste,

o equipamento é operado em uma sequência crescente de correntes, variando de 0.3, 0.5, 0.75 e 1.0 ampères (Fig. 1.5f);

8. Separação dos grãos pesados por meio do composto líquido bromofórmio (Fig. 1.5g);
9. Secagem e armazenamento dos grãos de maior densidade (Fig. 1.5h, i).



Figura 1.5 - Preparação de amostras para análise geocronológica

Após a obtenção dos concentrados de maior densidade, separados por granulometria (<80#>120#, <120#>200#, >200#), se dá início à confecção do *mount*, feita a partir das seguintes etapas:

1. Separação manual dos grãos de zircão com o uso de uma lupa binocular;
2. Fixação dos grãos selecionados em uma fita dupla face, sobre um molde, com o auxílio da lupa binocular (Fig. 1.6a);
3. Aplicação da resina líquida *epóxi* sobre os grãos fixados no molde (Fig. 1.6b);
4. Secagem da resina por 24h (Fig. 1.6c);
5. Polimento da pastilha, com o auxílio da politriz, até se obter uma superfície lustrada (Fig. 1.6d, e, f).

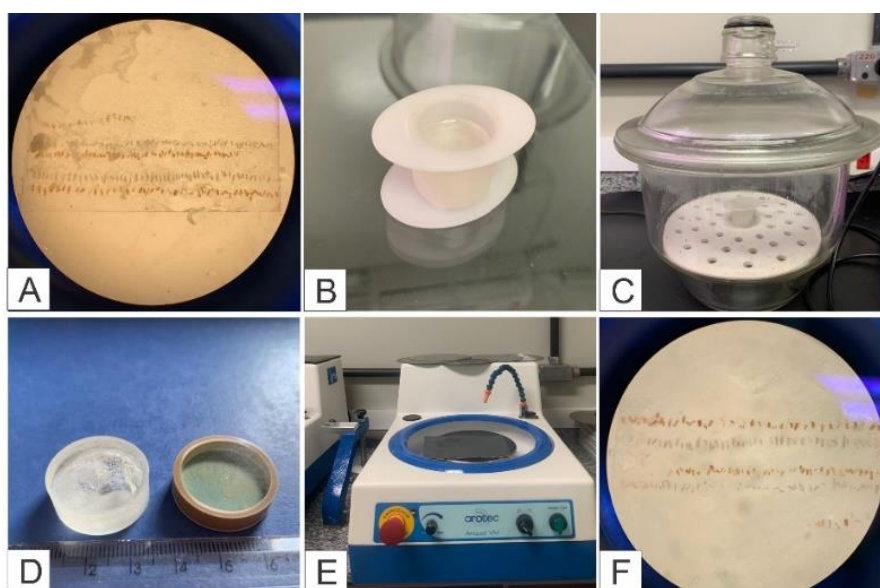


Figura 1.6 - Preparação da pastilha para análise geocronológica

Após a confecção da pastilha, foram obtidas imagens de catodoluminescência no Microscópio Eletrônico de Varredura JEOL 6510 (LMic/DEGEO-UFOP), a fim de se conhecer a estrutura interna dos cristais de zircão para a seleção dos pontos a serem datados. Dentre os 89 grãos de zircão dispostos no *mount*, 44 foram selecionados para a análise via Ablação a Laser com Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente (LA-ICP-MS). O principal critério utilizado para a seleção dos grãos foi a presença de zoneamentos internos que possam indicar processos de cristalização e/ou metamorfismo, bem como a individualização de possíveis núcleos herdados.

1.5.5.1 Ablação a Laser com Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente (LA-ICP-MS)

A técnica ICP-MS é utilizada na determinação da abundância de diferentes isótopos de um mesmo elemento, neste trabalho foi analisado o sistema de decaimento de U e Th para isótopos estáveis de Pb com a finalidade de se obter idades radiométricas em grãos de zircão. Como se trata de amostras sólidas, a análise se inicia pelo sistema de Ablação a Laser (LA), que consiste na incidência de um feixe no mineral, capaz de vaporizar as porções escolhidas (*spots*).

As partículas sólidas são bombeadas para uma câmara de spray e após serem introduzidas no Sistema do Plasma indutivo, são transformadas em um gás que é atomizado e ionizado à medida que percorre o trajeto até a zona analítica. Quando chega ao Espectrômetro de Massa, os átomos e íons induzidos são separados e detectados em função da razão massa/carga, representando a composição elementar e a abundância isotópica da amostra. (Thomas, 2001)

As análises deste trabalho foram conduzidas por meio do equipamento Element 2 Thermo Finnigan acoplado a um sistema de laser Photon-Machines 193nm. A ablação das amostras de zircão foi feita durante 30 segundos com um laser de 30 micrômetros e os dados foram obtidos utilizando o modo de salto de picos com medição de background durante 30 segundos. A redução dos dados foi feita com o auxílio do Software Saturn de Silva (2020), enquanto o cálculo das idades e os diagramas da concórdia foram realizados pelo programa IsoplotEx 4.13 (Ludwig, 2003).

CAPÍTULO 2

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Este capítulo foca ns principais unidades que compõem a borda leste do Quadrilátero Ferrífero, bem como os principais eventos magmáticos e metamórficos registrados, responsáveis pela edificação da zona limítrofe entre as províncias geotectônicas São Francisco e Mantiqueira.

2.1 PROVÍNCIA GEOTECTÔNICA SÃO FRANCISCO

A Província geotectônica São Francisco é definida como uma entidade tectônica consolidada no Ciclo Brasileiro e ocupa praticamente a mesma área do Cráton São Francisco de Almeida (1977). É caracterizada por sequências de rochas supracrustais de fácies metamórfica que varia de xisto-verde a anfibolito baixa e seu embasamento compreende terrenos graníticos-gnáissicos, geralmente de fácies anfibolito alto a granulito e geralmente aparecem migmatizados (Almeida, 1977; Baltazar & Raposo, 1993).

2.1.1 O Cráton São Francisco

As regiões cratônicas são as porções mais antigas da litosfera continental e preservam características substanciais para o entendimento da evolução geodinâmica do planeta. O conceito de cráton é definido como unidades marcadas principalmente pela relativa estabilidade tectônica, poupadas de eventos deformacionais que atuam nas margens das placas (Almeida, 1977; Brito Neves, 1995; Alkmim *et al.*, 2004).

Diante disso, o Cráton São Francisco representa um dos núcleos arqueanos preservados na Plataforma Sul-Americana e ocupa a região centro-leste do Brasil, nos estados da Bahia Minas Gerais. Almeida (1977) o definiu primeiramente como uma unidade formada pela amalgamação de blocos crustais Arqueanos e Paleoproterozóicos durante o Ciclo Brasileiro, delimitado pelas faixas móveis Neoproterozóicas Brasília, Rio Preto, Riacho do Pontal, Sergipana, Araçuaí e Ribeira, que registram esforços tectônicos para o interior do Cráton (Figura 2.1).

Este segmento registra sequências de rochas que vão desde o Paleoarqueano ao Cenozóico, o embasamento do CSF é exposto nas porções nordeste e extremo sul, representado por gnáisses predominantemente de composição TTG, associados a sequências *greenstone-belts* e plútons graníticos, de idade Arqueana-Paleoproterozóica. Em sua porção sul, ocorrem coberturas sedimentares que variam do Paleoproterozóico ao Mesozóico, depositadas na Bacia do São Francisco (Almeida, 1977; Almeida *et al.*, 1981).

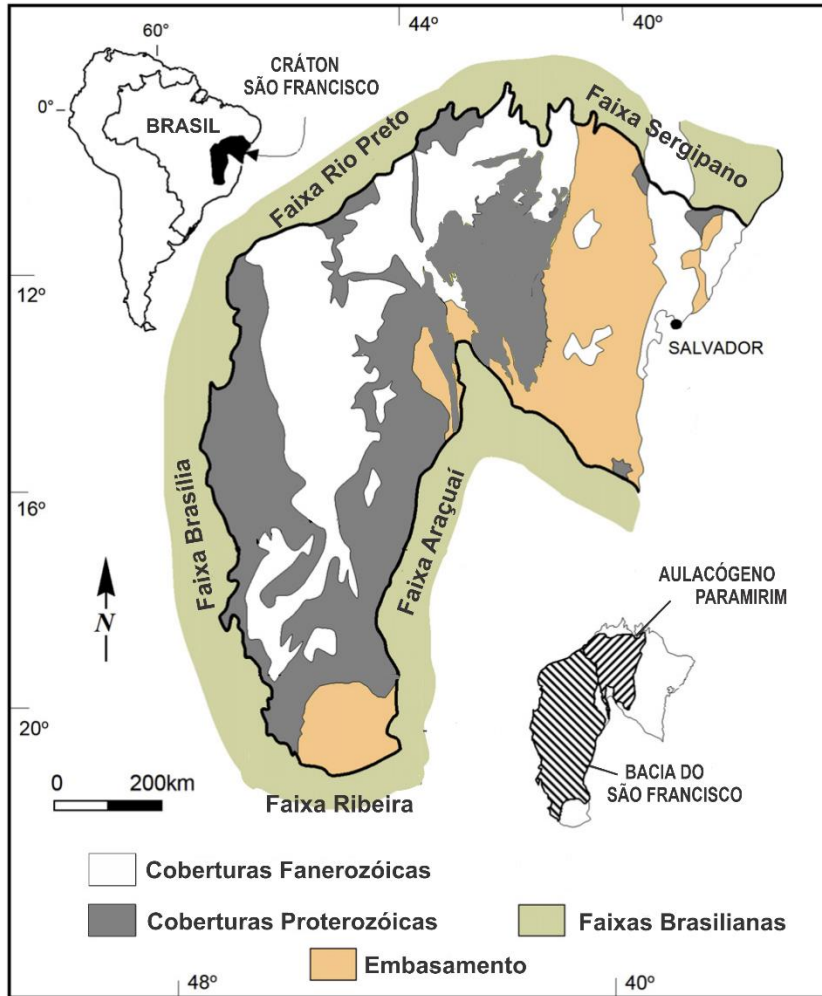


Figura 2.1 - Mapa geológico do Cráton São Francisco e suas faixas móveis. Extraído e modificado de Alkmim & Martins Neto (2012).

2.1.2 O Quadrilátero Ferrífero

O Quadrilátero Ferrífero (QFe) é uma província mineral situada no sudeste do Brasil, porção centro-sul do Estado de Minas Gerais (Dorr, 1969). A região recebeu esse nome devido a sua arquitetura característica, relacionada à ocorrência de estruturas em domos e quilhas e à complexa evolução tectônica do terreno envolvendo sistemas de dobras e falhas em escala regional (Barbosa & Rodrigues, 1967). A litoestratigrafia do QFe pode ser definida em três conjuntos distintos: terrenos gnáissicos Arqueanos a Paleoproterozóicos, sequências greenstones belts Arqueanas e coberturas supracrustais Proterozóicas (Fig. 2.2).

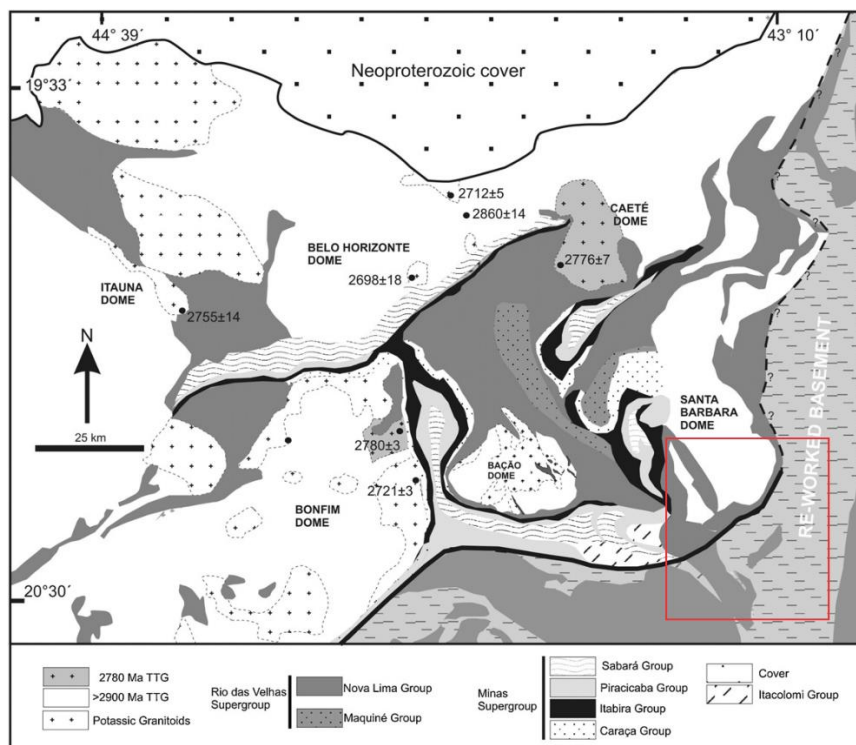


Figura 2.2 – Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero com a localização aproximada da área de estudo. Extraído de Romano *et al.* (2013).

2.1.2.1 Estratigrafia

Terrenos gnáissicos

Esse conjunto de rochas representa o embasamento Arqueano na porção sul do Cráton São Francisco e compreende unidades litodêmicas que configuram estruturas dômicas na região do QFe (e.g., complexo Bonfim, Bação e Santa Bárbara). Tratam-se de terrenos de médio a alto grau metamórfico, constituídos principalmente por gnaisses de composição TTG, com idades que variam de 2.9 Ga a 3.2 Ga, migmatizados ou não, intrudidos por plútons graníticos de alto K e corpos máficos. (Noce, 1995; Lana *et al.*, 2013; Romano *et al.*, 2013)

Supergrupo Rio das Velhas

O Supergrupo Rio Das Velhas (SGRV) é uma unidade Neo-arqueana constituída por sequências metavulcanossedimentares, os *greenstone belts*, dividida em dois grupos: Nova Lima e Maquiné. Essas sequências aparecem frequentemente em contatos tectônicos com as rochas do Supergrupo Minas e compreendem rochas máficas e ultramáficas, como basaltos e komatiitos, sobrepostas por rochas vulcânicas, vulcanoclásticas e sedimentos clásticos. O grau metamórfico dessas

seqüências pode variar de xisto verde a anfibolito baixo (Dorr, 1969; Ladeira *et al.*, 1983; Baltazar & Raposo, 1993).

Supergrupo Minas

O Supergrupo Minas compreende uma unidade metassedimentar Paleoproterozóica e estabelece contato tectônico com o Supergrupo Rio das Velhas por meio de uma inconformidade. As unidades basais são representadas pelos grupos Tamanduá e Caraça, compostos por conglomerados e arenitos e sobrepostos por pelitos, formações ferríferas e carbonatos dos grupos Itabira e Piracicaba, os quais indicam mudanças no sistema deposicional, que varia de ambientes continentais a marinhos. No topo, encontra-se o Grupo Sabará, de idade deposicional mais jovem, representado principalmente por turbiditos (Alkmim & Marshak, 1998).

2.1.2.2 *Evolução geodinâmica de terrenos gnáissicos Arqueanos na região do Quadrilátero Ferrífero*

Os modelos de evolução para a crosta Arqueana envolvem um contexto em que o manto terrestre operava em temperaturas muito mais quentes, sob uma litosfera consideravelmente mais delgada. Essa dinâmica interna permitiu a ocorrência de intensa atividade vulcânica e a produção de grandes volumes de magmas TTG. Na região do Quadrilátero Ferrífero, foram identificados três eventos principais caracterizados por sucessivos episódios de magmatismo e acreção continental. A partir de dados geocronológicos U-Pb, Lana *et al.* (2013) descreveram um primeiro evento de magmatismo denominado Santa Bárbara, o qual deu origem a um núcleo Paleoarqueano, representado pela geração juvenil de gnaisses TTG com idade de cristalização de 3.2Ga. Essa crosta precursora se desenvolveu durante o Neoarqueano a partir de dois eventos denominados Rio das Velhas I e Rio das Velhas II.

O evento Rio das Velhas I é associado a formação da maior parte da crosta TTG preservada na região do QFe, os complexos gnáissicos Bação, Bonfim e Belo Horizonte. É sugerido que a formação dessas rochas se deu a partir da colocação de grandes volumes de magmas TTG associados a acreção de rochas máficas-ultramáficas ao núcleo continental entre 2930 e 2900Ma. O terceiro evento, Rio das Velhas II, se refere ao último episódio de magmatismo TTG, entre 2800 e 2770Ma, produzido pelo melting parcial de rochas máficas-ultramáficas na base da crosta TTG gerada pelo evento anterior. Entre 2750 e 2700Ma ocorre os estágios finais da acreção do arco de ilha à crosta Mesoarqueana, marcado pela intrusão de granitóides potássicos cujos pulsos de magmatismo precederam o início da estabilização da massa continental no sul do Cráton São Francisco (Lana *et al.*, 2013; Romano *et al.*, 2013).

2.1.3 O Complexo Santa Bárbara

No domínio da Província Geotectônica São Francisco, o Complexo Santa Bárbara (CSB) ocorre na forma de domo alongado segundo a posição geral NS, sendo quase totalmente envolvido pelas sequências *greenstone belts* do Supergrupo Rio das Velhas e depósitos do Supergrupo Minas (Fig. 2.3). A oeste, o Complexo sobrepõe as rochas supracrustais por meio da Falha de Água Quente e a leste, é delimitado pelo sistema de falhas do Rio Piracicaba, onde é sobreposto pelo Complexo Mantiqueira (Endo *et al.*, 2019).

São descritas três litologias predominantes que ocorrem no CSB, são elas: (i) gnaiss tonalítico a trondhejmito muito claro e bandado, (ii) granitóide foliado de aspecto mosqueado e (iii) mica branca-biotita-microclina gnaiss. Também foram identificados anfibólitos ocorrendo associados como xenólitos (Baltazar & Raposo, 1993). Dados geocronológicos acerca do CSB apontam idades de cristalização entre 3,2 e 2,6 Ga, obtidos por datação U-Pb em zircão via LA-ICP-MS, além de uma idade metamórfica de ca. 2.7 Ga (Lana *et al.*, 2013; Milagres, 2013; Fonseca, 2017).

Segundo Lana *et al.* (2013), esse segmento representa uma parte bem preservada da crosta Paleoarqueana, desenvolvida por meio de processos de subducção e magmatismo associado à formação das sequências *greenstone belts*. Os primeiros estágios de magmatismo são marcados pelos eventos Santa Bárbara, Rio das Velhas I e II, responsáveis pela colocação de um grande volume de magma de composição tonalito-trondhejmito-granodiorito (TTG), os quais levaram ao desenvolvimento de uma crosta polideformada e intrudida por rochas máficas-ultramáficas. Também foi descrito um terceiro evento, relacionado a intrusão de volumosos plútons de granitóides potássicos, entre 2750 e 2700 Ma.

2.1.4 O Complexo Santo Antônio do Pirapetinga

O Complexo Santo Antônio do Pirapetinga (CSAP) aparece em forma elíptica, delimitado por três zonas de cisalhamento. A norte, encontra-se a falha de Ouro Branco, a sudoeste é limitado pela zona de cisalhamento Congonhas e a sudeste pela zona de cisalhamento Lenheiro-Jacutinga (Endo *et al.*, 2019) (Fig. 2.3). Foi definido pela primeira vez como complexo máfico-ultramáfico acamadado, por Pinto (1975) e Pinto & Duarte (1978), sendo posteriormente denominado como Complexo Monsenhor Isidro por Pinto & Silva (2014). Também pode ser encontrado referido na literatura como Complexo Máfico-Ultramáfico de Catas Altas da Noruega por Suíta *et al.* (2004).

Esta unidade é classificada por conter rochas máficas e ultramáficas acamadadas, sob formas tabulares irregulares e metamorfizadas em graus distintos, associadas a gnaisses TTG e bandas subordinadas de xisto, formação ferrífera e quartzito (Raposo, 1991). Estudos recentes acerca dos corpos ultramáficos na região de Santa Rita de Ouro Preto apontam que apesar da interpretação de

aerofotografias sugerirem formas tabulares, em campo esses corpos apresentariam inicialmente uma forma amendoada, em função da deformação durante o evento Brasiliano, atingindo geometria sigmoide em resposta aos campos de tensões. (Gonçalves *et al.*, 2011)

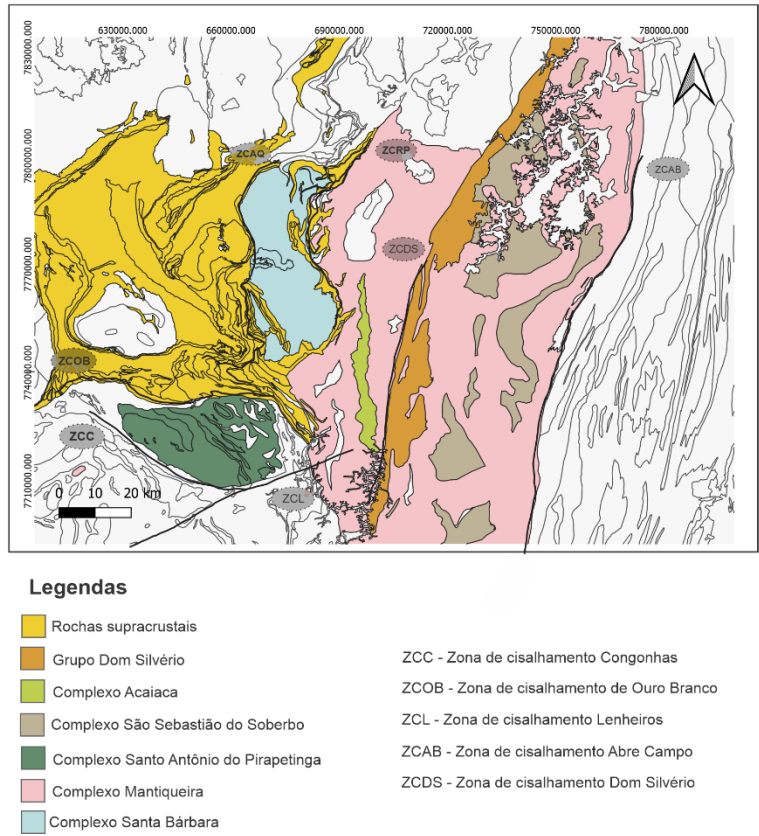


Figura 2.3 - Mapa geológico simplificado da borda leste do Quadrilátero Ferrífero. Extraído e modificado do Mapa Geológico de Minas, CPRM/SGB (2020)

2.2 PROVÍNCIA GEOTECTÔNICA MANTIQUEIRA

A Província Mantiqueira foi definida por Almeida (1981) como um complexo segmento estrutural deformado pelo Ciclo Brasileiro, que se estende do Estado da Bahia, Brasil, até o Uruguai. Paralela à costa Atlântica, a província ocupa as margens leste do Cratón São Francisco e do Cratón Rio de La Plata. É caracterizada por um sistema de orógenos que registram a evolução do Ciclo de Wilson durante o final da amalgamação do Gondwana Ocidental. Diante disso, o orógeno Araçuaí é uma faixa orogênica a sudeste do CSF, cujo embasamento compreende blocos paleoproterozóicos amalgamados durante a orogênese Brasileira.

2.2.1 O Orógeno Araçuaí

Enquanto as regiões cratônicas são representadas principalmente pela estabilidade tectônica, as porções mais afetadas por deformações compressivas nas margens de placas convergentes são denominadas orógenos. Ao entorno do Cratón São Francisco, o Orógeno Araçuaí foi edificado por meio de quatro estágios orogênicos no Neoproterozoico superior, caracterizando uma zona orogênica brasileira (Brito Neves, 1995; Alkmim *et al.*, 2007).

O embasamento desta unidade se desenvolveu a partir da amalgamação de blocos crustais Arqueanos durante o Paleoproterozóico, posteriormente retrabalhados e desmembrados durante a orogenia brasileira. Esse embasamento é então representado pelos complexos Guanhões, Gouveia, Porteirinha e Mantiqueira de caráter autóctone e para-autóctone, e pelo Complexo Juiz de Fora, justaposto ao Complexo Mantiqueira pela extensa zona de cisalhamento Abre Campo (Alkmim *et al.* 2006), interpretada como uma sutura Paleoproterozoica reativada no Neoproterozoico (Noce *et al.*, 2007).

2.2.2 O Complexo Mantiqueira

A Série Mantiqueira foi definida por Barbosa (1954) para designar os gnaisses que ocorrem ao sul e a leste da Serra do Espinhaço. Esses litotipos foram incluídos no Complexo Gnáissico Migmatítico de Fontes *et al.* (1978), sendo posteriormente denominado como Grupo Barbacena, por Fonseca (1979) (Baltazar & Raposo, 1991). O nome Mantiqueira foi retomado por Trouw (1986), sendo definido como Complexo Mantiqueira (CMA) por Brandalise (1990) para designar gnaisses ortoderivados, de composições diversas, frequentemente bandados e com eventuais enclaves

tectônicos. Além disso, essa associação litológica pode ser referida como Gnaisses ou Complexo Piedade, por Ebert (1958) e Silva *et al.* (2002).

A oeste, esta unidade encontra-se em contato tectônico com as sequências do Supergrupo Rio das Velhas e com rochas do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga. Em seu interior, ocorrem individualizados a estreita faixa de granulitos do Complexo Acaiaca, e o corpos Granitóide Diogo de Vasconcelos e Granitóide Córrego Taioba (Fig. 2.3). O CMa se estende a leste, onde estabelece contato com o Complexo Juiz de Fora por meio da zona de cisalhamento reversa de Abre Campo (Baltazar & Raposo, 1991).

As litologias predominantes se constituem por gnaisses com frequentes intercalações de anfibolito e metagabros, os quais atingem níveis de espessuras decimétricas a métricas, ocorrendo biotita-hornblenda gnaisses de forma ampla em todo o complexo. Também foram identificados gnaisses, quartzo-dioritos e gnaisses bandados migmatizados, com injeções graníticas concordantes e esbranquiçadas (Baltazar & Raposo, 1991).

As microestruturas observadas no CMa indicam que os gnaisses que compõem esta associação foram deformados e recristalizados sob condições de fácies anfibolito. Entretanto, essas microestruturas indicam processos deformacionais dúcteis registrados somente nos gnaisses a oeste da cidade de Ponte Nova, gerados pelo mesmo estágio de metamorfismo M1 que afetou as rochas do Grupo Dom Silvério. A leste, na área delimitada pela zona de cisalhamento Ponte Nova, esses gnaisses registram uma segunda fase metamórfica em condições de fácies xisto verde, marcada pela intensa percolação de fluidos (Brandalise, 1991; Peres *et al.*, 2004).

Silva (2002) adota o nome Complexo Piedade para designar aproximadamente a mesma área, caracterizando como um arco magmático desenvolvido às margens do cráton São Francisco, o qual inclui fases pré-colisionais acrescidas em 2160 Ma e recicladas em 2100 – 2050 Ma. Esse modelo também é corroborado por Noce *et al.* (2007), o qual apresenta idades entre 2.9 e 3.2 Ga, interpretadas como herdadas, indicando a crosta Arqueana como possível fonte do magmatismo que deu origem aos protólitos dos gnaisses.

Evidências de cristalização magmática nas amostras da parte central do CMa e a sul do Complexo Santa Bárbara apresentam idades que variam desde o Arqueano ao Paleoproterozóico (3141 ± 21 a 2440 ± 11 Ma). Também foram apresentadas idades metamórficas entre 2100 – 1978 Ma, correspondendo ao Ciclo Transamazônico (Fonseca, 2007).

Em trabalhos recentes, o Complexo Mantiqueira é limitado a uma estreita faixa que ocorre a sul da área de estudo, estabelecendo contato com o Complexo Piedade de Silva *et al.* (2002) por meio da Zona de Cisalhamento Ponte Nova. Nessa porção, os autores se referem ao CMa como uma

unidade Riacciana gerada sob configurações de arco magmático, acrescido ao Paleocontinente São Francisco entre 2.1 e 2.06 Ga (Bruno *et al.*, 2020; Kuribara *et al.*, 2021).

2.2.3 O Complexo Acaiaca

O Complexo Acaiaca constitui-se como uma faixa de orientação geral norte-sul e se encontra quase totalmente em contato com os gnaisses do Complexo Mantiqueira. Essa unidade representa basicamente rochas de alto grau metamórfico, são relatados charnokitos, enderbitos, anfibólio gnaisses migmatíticos e quartzitos associados (Fig. 2.3). (Baltazar & Raposo, 1991). Segundo Medeiros Jr. (2009), essa unidade representa uma porção maior do que aquela ocupada segundo trabalhos mais antigos, se estendendo, no mínimo, 36 Km na direção N-S e com cerca de 6 km de largura.

Datações de zircões obtidas por Medeiros Jr. (2016) indicam que as rochas de fácies granulito foram geradas durante processo metamórfico entre 2037-2056 Ma. É sugerido que a evolução geotectônica desta unidade esteja relacionada ao desenvolvimento de uma bacia de retro-arco à margem do Arco Magmático Mantiqueira. Idades de metamorfismo entre 2056 e 2060 Ma nos granulitos indicam que a inversão dessa bacia pode ser produto da colisão entre o Arco Mantiqueira com o Juiz de Fora. (Medeiros Jr., 2016)

2.2.4 O Grupo Dom Silvério

No domínio sul do Faixa Araçuaí, o Grupo Dom Silvério encontra-se restrito a uma faixa posicionada em NNE-SSW, sendo rodeado pelos gnaisses diversos do Complexo Mantiqueira (Fig. 2.3) (Baltazar & Raposo, 1993; Peres *et al.*, 2004). Essa unidade foi definida primeiramente por Lima *et al.* (1974) como constituída por rochas metavulcanossedimentares, abrangendo xistos quartzosos e muscovíticos, sobrepostos por quartzitos ferruginosos e muscovíticos, ocorrendo também gonditos, rochas calciossilicáticas, metaultramáficas e gnáissicas de forma intercalada (Baltazar & Raposo, 1993, Jordt Evangelista, 1984, 1992). Essa unidade também foi relacionada com remanescentes ofiolíticos que ocorrem em uma faixa na porção nordeste da Faixa Araçuaí (Pedrosa-Soares *et al.* 1992,1998).

Estudos acerca dos cinturões orogênicos que bordejam o Cráton São Francisco sugerem que o Grupo Dom Silvério represente uma crosta oceânica que se formou entre o terreno Transamazônico, a leste, e o Cráton São Francisco, a oeste, registrando uma possível zona de sutura. Brueckner *et al.* (2000) obteve uma idade Sm/Nd em rocha total de ca. 547 Ma, demonstrando que o terreno foi metamorfozido durante o evento Brasiliano, e uma idade modelo de 2,3 Ga, indicando uma fonte Paleoproterozóica para essa unidade.

Segundo Peres *et al.* (2004), essa unidade, assim como toda a porção sul da Faixa Araçuaí, sofreu quatro fases deformacionais durante o Evento Brasileiro. A primeira fase foi marcada pelo transporte tectônico de baixo ângulo em direção à zona de cisalhamento Dom Silvério. A segunda e terceira fase levaram a ao desenvolvimento de falhas locais e dobramentos de larga escala, enquanto a quarta fase representa o colapso do Orógeno Araçuaí.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS

3.1 Petrografia

As rochas descritas por este estudo pertencem à região limítrofe entre a porção sul do Complexo Santa Bárbara (CSB) e a parte central do Complexo Mantiqueira (CMa). Estes terrenos são caracterizados principalmente pela ocorrência de gnaisses bandados de composição TTG com frequentes intercalações de corpos máficos. Foram descritas 2 lâminas delgadas dos gnaisses atribuídos ao CSB e 4 sessões para um único litotipo gnáissico com feições heterogêneas diversas, referente ao CMa. A seguir são apresentadas suas principais características petrográficas e microestruturais.

3.1.1 Petrografia dos gnaisses do Complexo Santa Bárbara

Para esta unidade foram amostrados dois litotipos (PP-171, PP172) que ocorrem em afloramentos relativamente próximos com feições petrográficas semelhantes (Figura 3.1). Em campo é possível observar a presença de gnaisses bandados, internamente foliados, definidos pela intercalação de níveis leucocráticos e mesocráticos, de composição quartzo-feldspática, e pela ocorrência de fenocristais centimétricos de feldspatos que por vezes aparecem rotacionados e em formas sigmoidais.



Figura 3.1 - Vista geral dos afloramentos do Complexo Santa Bárbara e suas respectivas amostragens para análise microscópica. A) Biotita mica branca gnaiss (PP-171), B) Biotita gnaiss (PP-172).

Em análise microscópica, estas rochas exibem textura inequigranular, porfiroclástica de matriz granolepidoblástica. Foram classificadas como augens gnaisses. A mineralogia essencial é constituída

por plagioclásio, microclina, quartzo, biotita e muscovita associada. O bandamento é definido pela granulação média dos cristais de quartzo e feldspato, que podem aparecer alongados segundo a orientação preferencial da rocha (Fig. 3.2 – A e B). A foliação é incipiente, marcada pela orientação dos filossilicatos (Fig. 3.2 – C; Fig. 3.3 – A e B).

A proporção modal para a amostra PP-171 é distribuída em 40% de plagioclásio, 20% de microclina, 20% de quartzo, 13% de mica branca e 7% de biotita. Como minerais acessórios ocorrem titanita, rutilo e zircão. Para a amostra PP-172, estas proporções variam para 35% plagioclásio, 30% microclina, 20% quartzo e 15% de biotita. A mineralogia acessória é constituída por allanita, apatita, titanita, rutilo e zircão.

Os plagioclásios apresentam grãos entre 0,25 e 1,5 mm, incolores, anédricos e com cor de interferência até o cinza de primeira ordem. As maclas polissintéticas são pouco frequentes. Quando em contato com feldspato potássico, ocorrem inclusões de quartzo como textura mirmequítica (Fig. 3.2 – D). Alguns grãos aparecem sericitizados (Fig. 3.2 - F).

A microclina é incolor, granular, anédrica e apresenta macla Tartan na maioria dos grãos (Fig. 3.3 – D). A granulação média varia de 0,4 a 1,5 mm, os fenocristais atingem até 0,5 cm. Possuem texturas perfiticas frequentes (Fig. 3.2 – D).

O quartzo é incolor, granular, anédrico, com cor de interferência até o branco de primeira ordem e granulação entre 0,2 e 1,5 mm. Alguns apresentam extinção ondulante. Podem ocorrer em microestruturas de mirmequita. Estes grãos formam agregados quartzo-feldspáticos na matriz com a predominância de contatos interlobados (Fig. 3.3 – F).

A biotita perfaz de 5 a 15% da moda dos gnaisses, possui hábito tabular alongado de 0,1 a 0,5 mm, relevo médio, pleocroísmo em tons de castanho esverdeado e extinção incompleta do tipo olho de pássaro (Fig. 3.2 – C). Na amostra PP-172 os grãos ocorrem orientados e definem a foliação rocha, enquanto na amostra PP-171 aparecem em menor proporção, majoritariamente substituídas pela mica branca.

A mica branca é secundária, perfaz 10% em volume da amostra PP-171 exibindo grãos de hábito tabular subédrico a euédrico, incolores, de relevo médio e granulação entre 0,1 e 0,5mm. Ocorrem principalmente como agregados orientados de hábito tabular alongado com extinção olho de pássaro (Fig. 3.3 B e D). Na amostra PP-172 os grãos ocupam menos que 5% da moda, associados a biotita ou inclusos nos feldspatos como produto de alteração.

Com relação a mineralogia acessória, a allanita possui coloração castanha e textura metamítica formando fraturas radiais (Fig. 3.4 – A). A titanita ocorre como substituição da biotita, apresenta relevo muito alto e coloração marrom (Fig. 3.4 – B). A apatita é incolor, de relevo alto e apresenta

seção basal hexagonal (Fig. 3.4 – C). O rutilo é prismático, de coloração castanha mascando a cor de interferência (Fig. 3.4 – D). O zircão é prismático, de coloração castanha, extinção incompleta e textura metamítica com a formação de halos e fraturas radiais (Fig. 3.4 – D).

A associação entre as fases minerais de quartzo + plagioclásio + microclina + biotita e os minerais acessórios zircão + titanita + allanita + rutilo indica que as amostras foram metamorfizadas sob condições máximas em fácies anfibolito baixo.

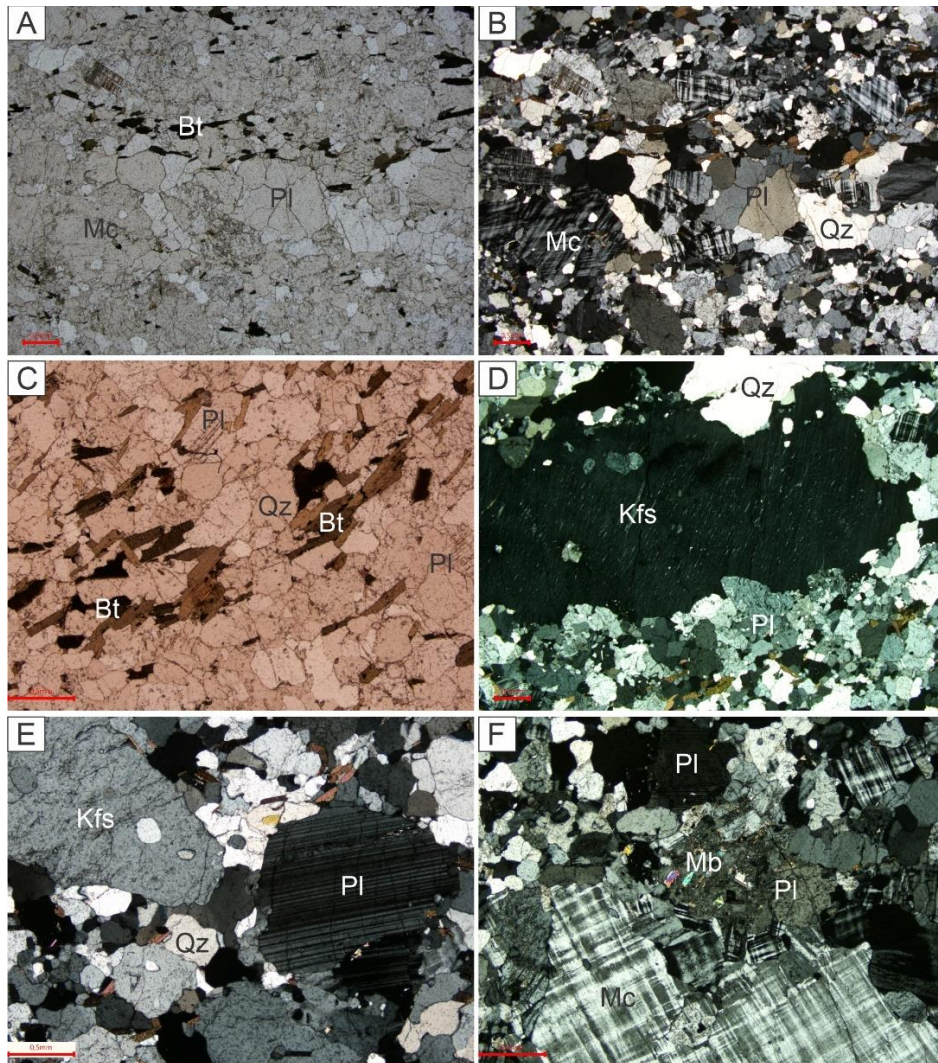


Figura 3.2 - Fotomicrografias da amostra de biotita gnaiss (PP-172). A e B: Microclina, plagioclásio e quartzo de granulação grossa no bandamento da rocha. C: Biotitas orientadas definindo uma foliação incipiente. D: Fenocristal de K-feldspato perítico em contato com plagioclásio mirmequítico, E: Fenocristal de de K-feldspato e plagioclásio maclado com maclas polissintética. F: Microclina com macla Tartan e plagioclásio sericitizado.

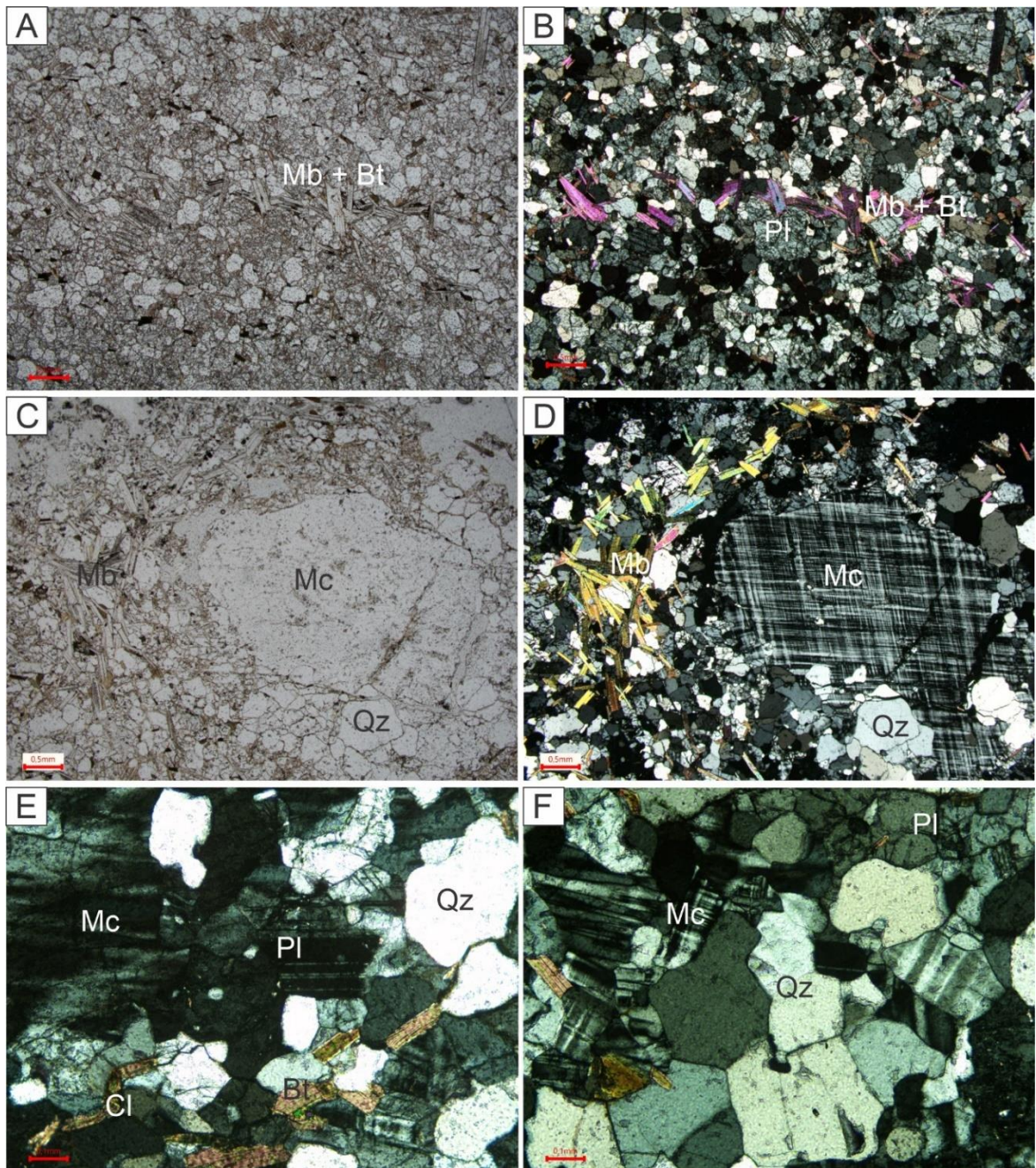


Figura 3.3 - Fotomicrografias da amostra de biotita mica branca gnaíse (PP-171). A e B: Mica branca e biotita orientadas segundo a foliação da rocha. C e D: Fenocristal de microclina com macla Tartan e micas brancas orientadas. E: Plagioclásio com macla polissintética, microclina com macla Tartan alterada e biotita alterando para clorita. F: Agregados interlobados de quartzo e feldspato.

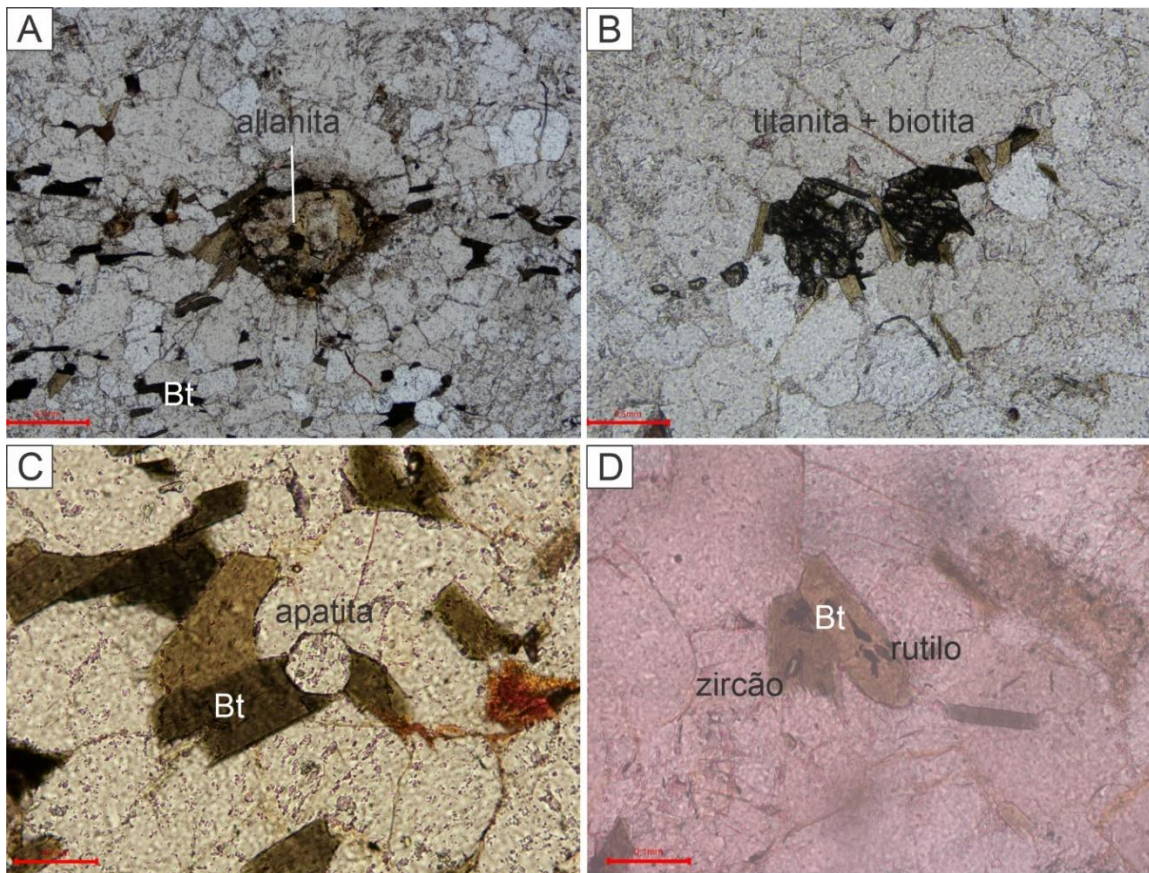


Figura 3.4 - Fotomicrografias da mineralogia acessória. A: Allanita metamítica com fraturamento radial ao entorno. B: Titanita substituindo a biotita. C: Apatita com seção basal pseudo-hexagonal, D: Zircão e rutilo inclusos em grãos de biotita e rastro de zircão metamítico.

3.1.2 Petrografia dos gnaisses do Complexo Mantiqueira

Neste estudo foi caracterizado um afloramento intensamente erodido e esculpido pela ação da água (Fig. 3.5 – A). O litotipo principal é um biotita gnaisse de coloração cinza, internamente foliado, com bandas leucocráticas e dobras intrafoliais (Fig. 3.5 – B, D e F). Em escala de campo, é observado muitas vezes que as estruturas deformacionais (bandamento, foliação e dobras) transitam para feições heterogêneas descontínuas com a segregação de leucossomas, indicando processos de fusão parcial (Fig. 3.5 – C). É comum ocorrer diques leucocráticos pegmatíticos que se conectam a veios finos de mesma composição (Fig. 3.5 – E).

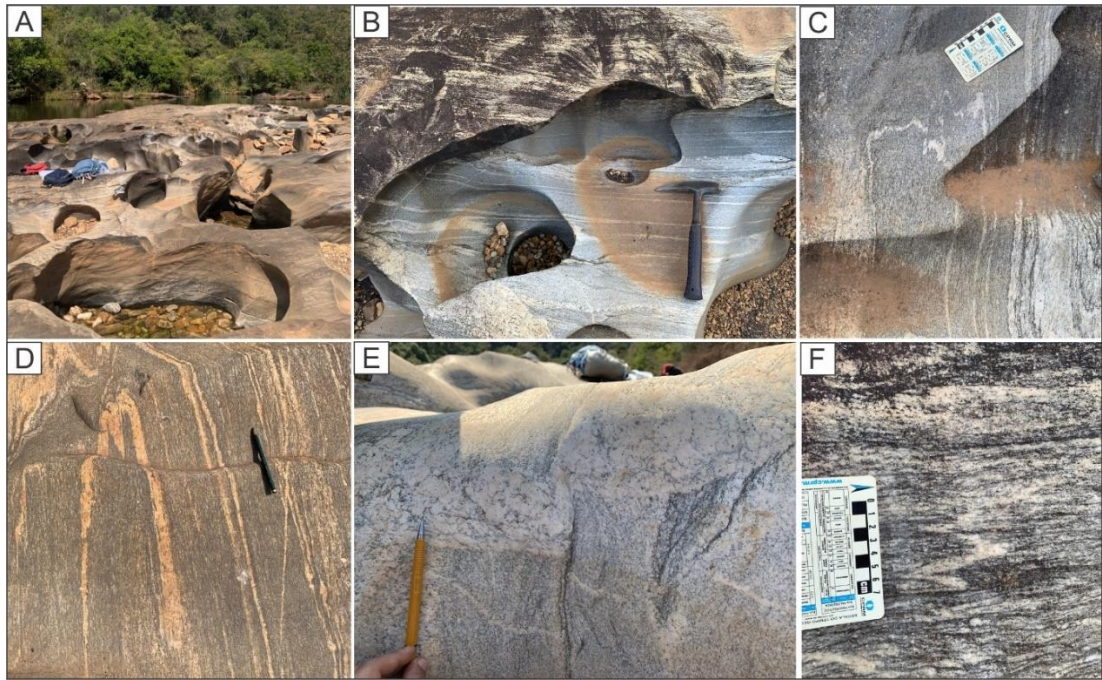


Figura 3.5 - A: Vista geral do afloramento. B: Biotita gnaisse com intercalação de bandas leucocráticas descontínuas ou caóticas. C: Biotita gnaisse com leucossoma. D: Dobra em “M”. E: Dique pegmatítico cisalhado e veio fino de mesma composição. F: Dobra intrafolial.

Foram escolhidas as porções mais representativas do litotipo principal para as descrições mineralógicas e microestruturais. Microscopicamente a rocha é inequigranular, granolepidoblástica e constituída por grãos anédricos a subédricos. A composição modal é dada por plagioclásio, microclina, quartzo, biotita e mica branca associada, enquanto os minerais acessórios observados são apatita e zircão. O bandamento é marcado pela granulação grossa de cristais de quartzo e microclina em menor proporção (Fig. 3.7 – C e D). A foliação é anastomosada, definida por palhetas de biotita orientadas (Fig. 3.8 – A e B).

O plagioclásio compõe cerca de 40% da rocha, é incolor, anédrico e de granulação entre 0,1 e 0,7 mm. As maclas polissintéticas são pouco frequentes. Alguns grãos estão sericitizados, com a formação de mica branca como produto de alteração.

A microclina perfaz de 25% da rocha, é incolor, anédrica e frequentemente apresenta maclas Tartan. Na zona de transição entre a matriz da rocha e o bandamento, a microclina forma agregados com contatos predominantemente poligonais (Fig. 3.7 – E). A granulação varia de 0,1 a 1 mm.

O quartzo perfaz cerca de 25% da composição modal, é incolor, anédrico e granulação média na matriz varia de 0,05 a 0,4 mm. É comum apresentarem contatos interlobados a poligonais (Fig. 3.7 – C). Os grãos que compõem o bandamento são consideravelmente mais grossos, com tamanhos entre 1 e 7mm.

A biotita perfaz 10% da rocha, é pleocróica em tons de catanho a marrom escuro e possui hábito tabular, de tamanhos entre 0,2 e 0,7 mm. A extinção é incompleta, e frequentemente a cor de interferência é mascarada pela cor natural. As palhetas são orientadas e definem uma foliação anastomosada que intercala porções quartzo-feldspáticas de textura granoblástica (Fig. 3.6 – A e C).

A ocorrência das fases minerais plagioclásio + microclina + quartzo + biotita com a presença zircão e titanita indica que o gnaiss foi metamorfozido em condições de fácies anfíbolito. Durante o pico metamórfico, a rocha pode ter sido submetida ao início de um processo de fusão parcial, como sugerido pelas estruturas migmatíticas em escala de afloramento e por uma microestrutura típica destas rochas, os filmes de k-feldspato em torno de grãos de plagioclásio (Fig. 3.7 – F).

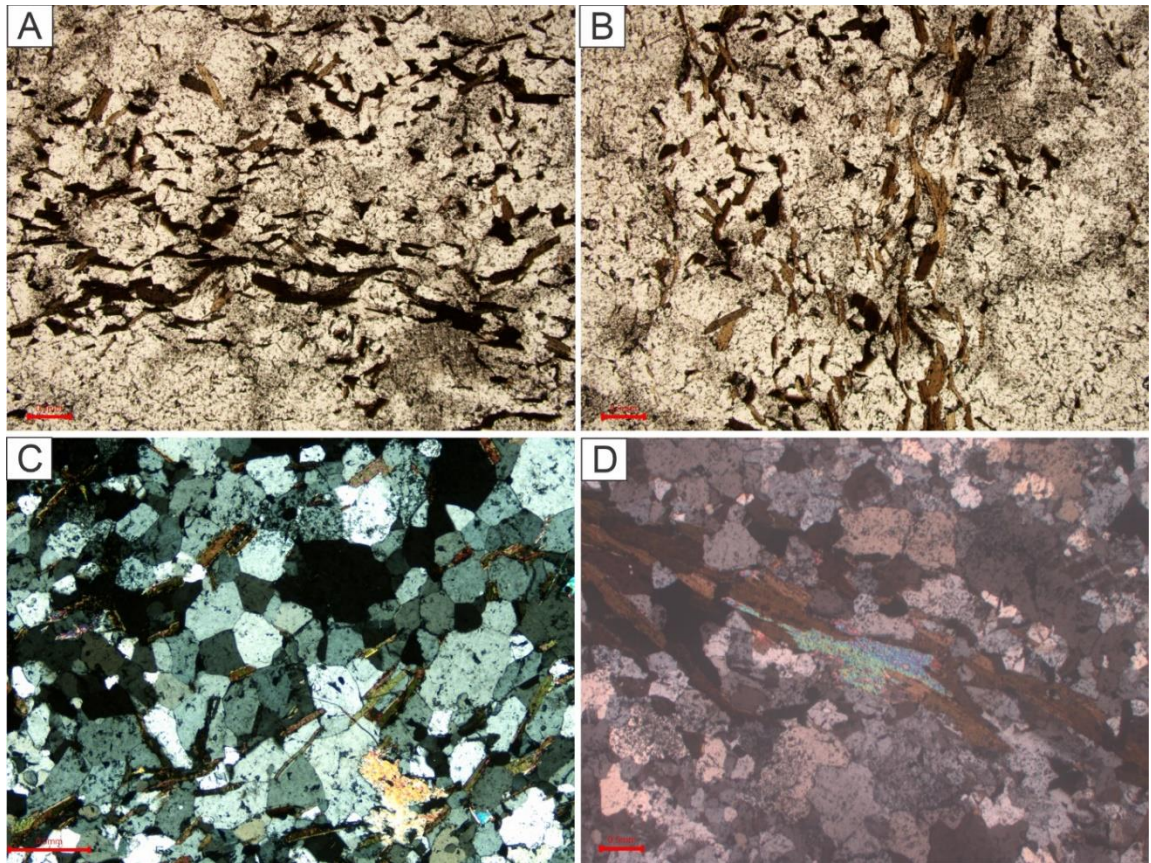


Figura 3.6 - Fotomicrografias da porção foliada do biotita gnaiss (lâminas RF-5 e RF-6). A e B: Palhetas de biotitas definindo a foliação anastomosada, em tons de castanho a marrom escuro. C: Palhetas de biotita orientadas entre grãos de quartzo poligonais. D: Palhetas de biotitas orientadas e substituição por mica branca.

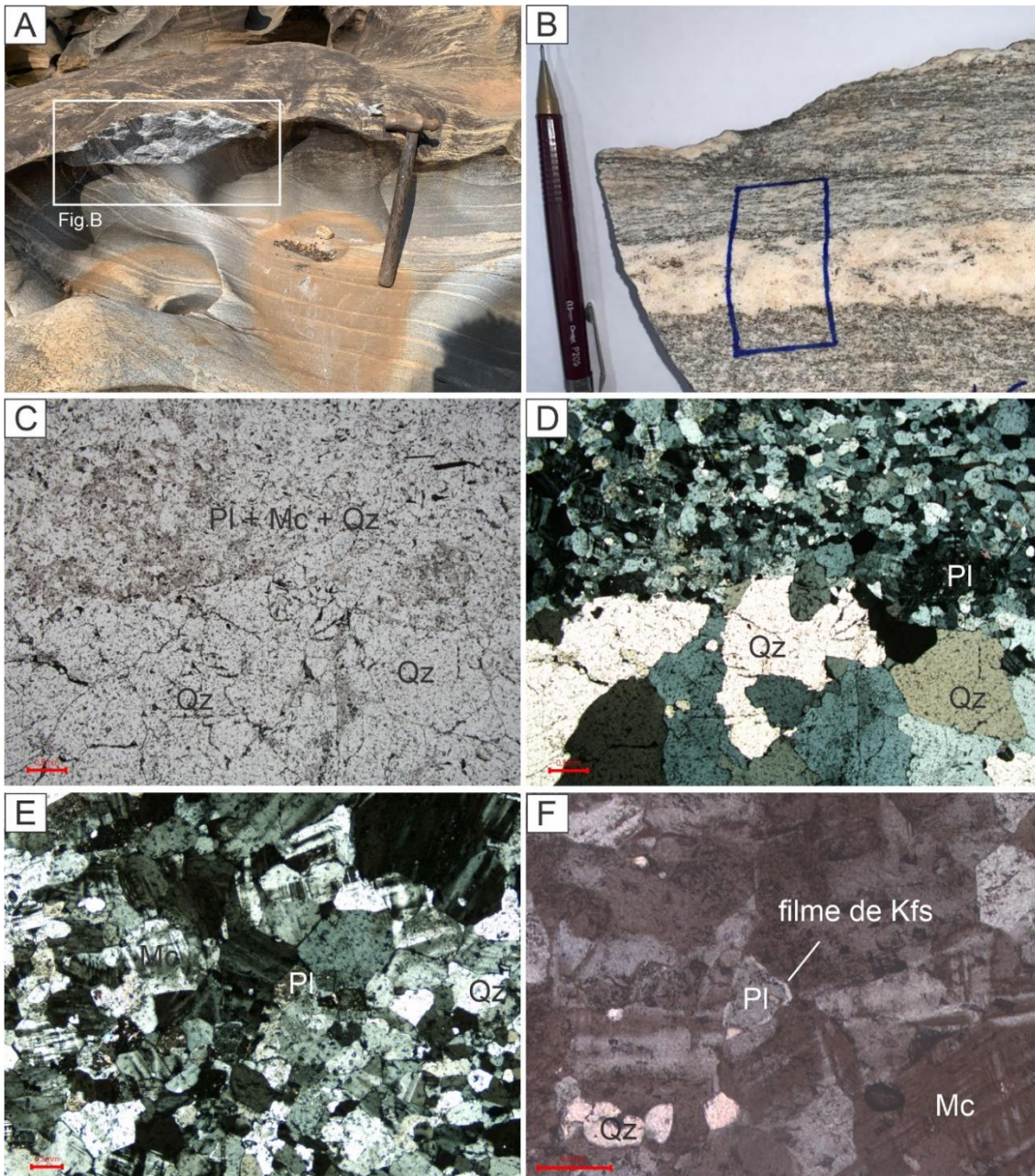


Figura 3.7 - A e B: Porção amostrada do biotita gnaiss. C e D: Fotomicrografias da transição entre o bandamento granulométrico e a matriz da rocha. E: Grãos de microclina em contatos poligonais. F: Filme de feldspato potássico em torno de grão de plagioclásio.

3.2 Geoquímica

Este estudo teve como objetivo caracterizar a assinatura geoquímica das rochas investigadas e compará-las com dados já publicados. Foram coletadas e preparadas as porções mais homogêneas do litotipo principal (RF-3), aflorante na Represa da Fumaça, para a análise química de elementos maiores via Espectrometria de Emissão de Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) (item 1.5.4). Além disso, o trabalho contou com os resultados de três análises geoquímicas de rocha total, fornecidos pelo SGB (PP-171, PP-172 e PP-372) (Fig. 3.8). Os dados obtidos e compilados para este trabalho encontram-se disponíveis no Apêndice C.

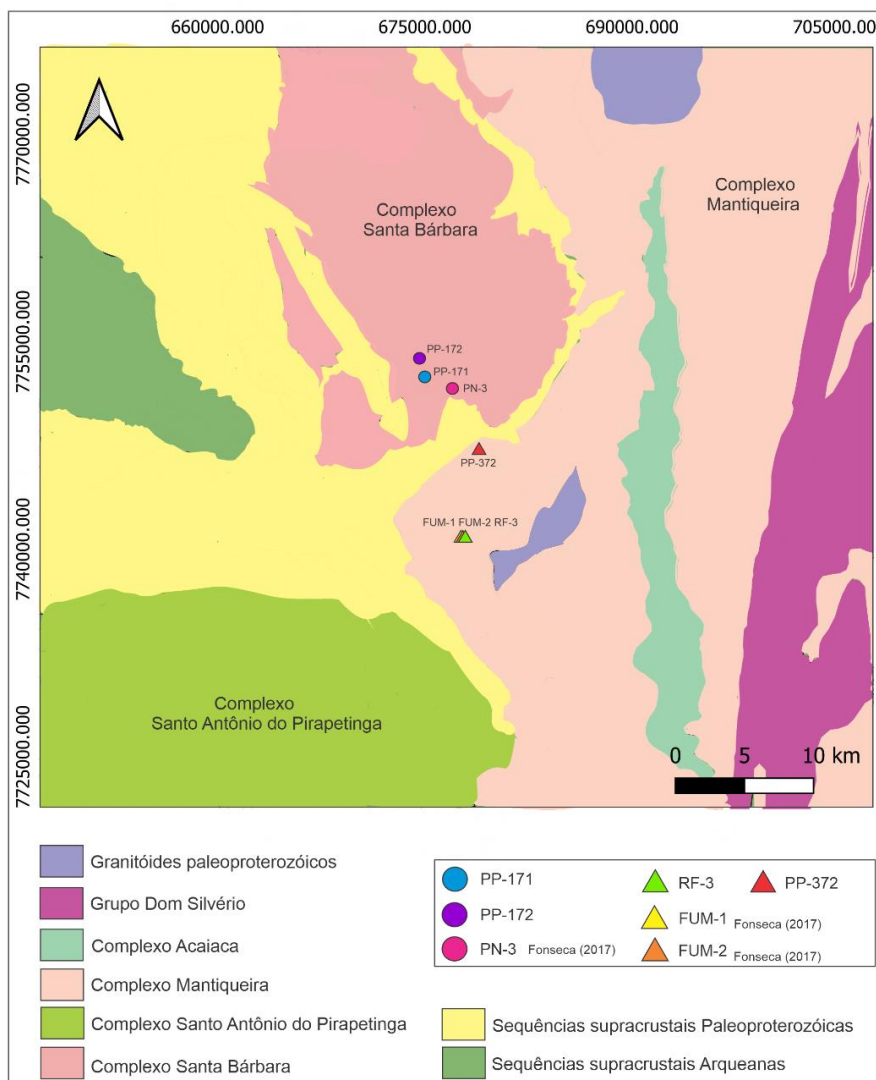


Figura 3.8 - Mapa simplificado da borda leste do Quadrilátero Ferrífero com a localização das amostras usadas para o estudo geoquímico. (Extraído e modificado do Mapa do Quadrilátero Ferrífero (Endo et. al, 2019).

Para viés de comparação, foram plotadas as análises químicas extraídas da tese de doutorado de Fonseca (2007) e do Programa de Levantamento Geológico do Brasil (Baltazar & Raposo, 1993), referentes aos gnaisses que ocorrem na parte central do Complexo Mantiqueira e no sul do Complexo Santa Bárbara.

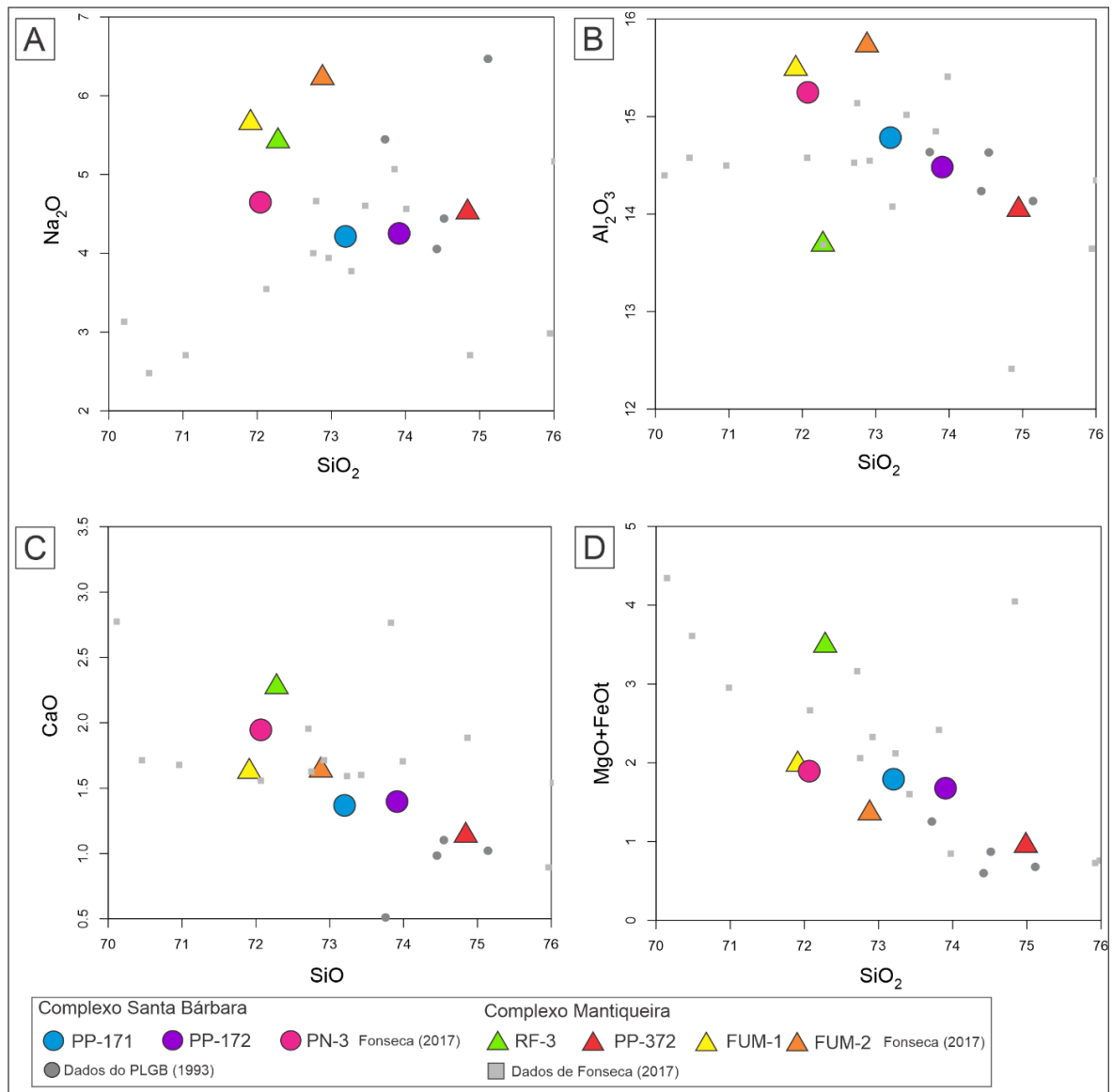


Figura 3.9 - Diagramas binários para elementos maiores das amostras deste estudo (PP-171, 172, 372 e RF-3) e dos gnaisses estudados por Fonseca (2017) (amostras FUM-1, 2 e demais plots em cinza) A: SiO₂ x Al₂O₃. B: SiO₂ x MgO + FeOt. C: SiO₂ x Na₂O. D: SiO₂ x CaO₂.

Os gnaisses deste estudo possuem conteúdo de sílica maior que 70wt. %, conteúdo de Na_2O entre 4 e 7wt % (Fig. 3.9 – A), altas concentrações de Al_2O_3 (13 – 16wt. %) (Fig. 3.9 – B), baixos conteúdos de CaO (1 – 3wt. %) (Fig. 3.9 – C) e de óxidos ferro-magnesianos (1 – 4wt. %) (Fig. 3.9 – D).

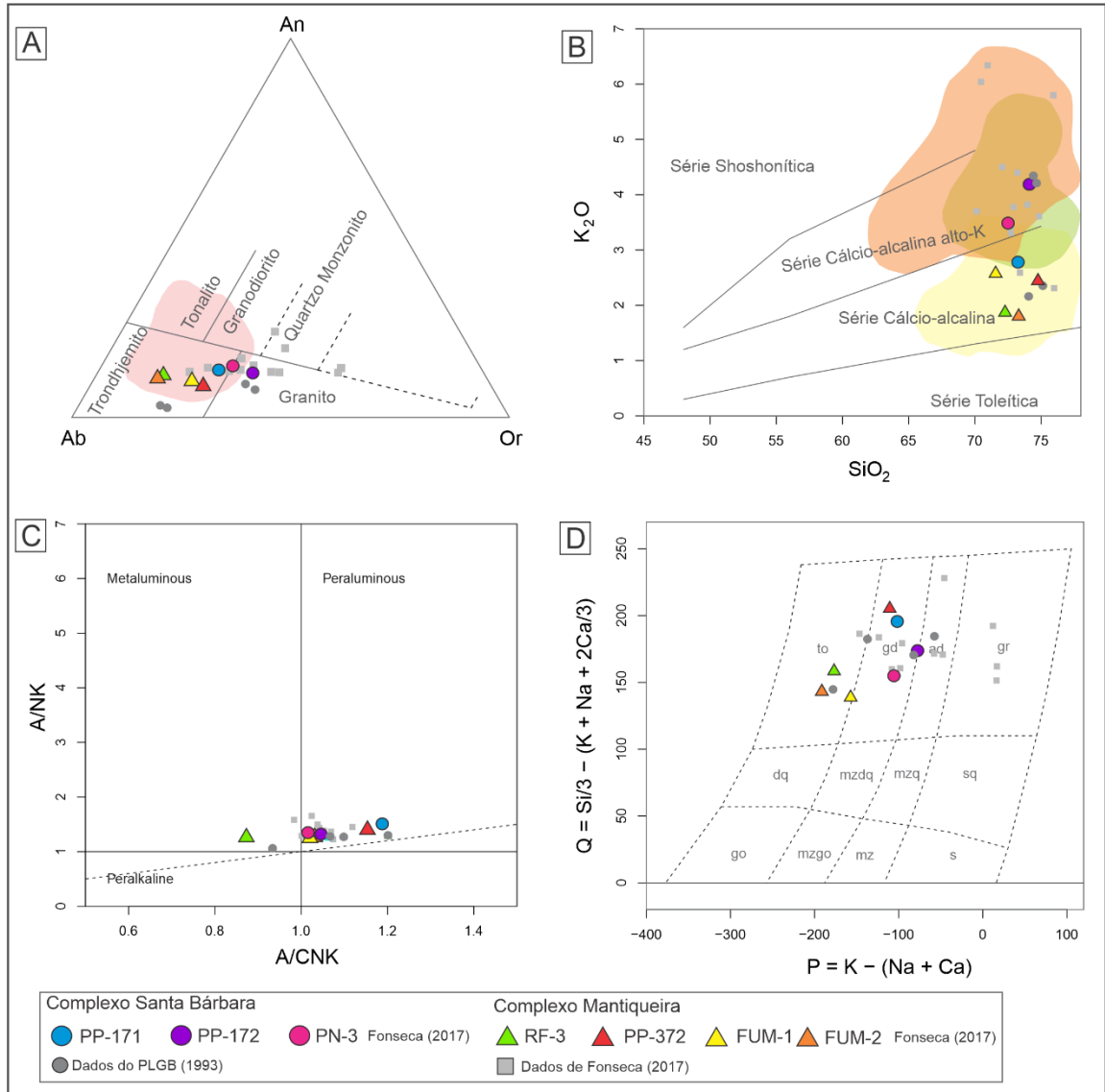


Figura 3.10 - Diagramas de classificação para as rochas deste estudo (PP-171, 172, 372 e RF-3) com a plotagem das análises químicas extraídas do Programa de Levantamento Geológico do Brasil, Folha Mariana (Baltazar & Raposo, 1993) e da tese de doutorado de Fonseca (2007) A: Diagrama An – Ab – Or de O'Connor (1965), com o campos dos TTG's arqueanos de Moyen & Martin (2012) em rosa. B: Diagrama SiO_2 x K_2O de Peccerillo & Taylor (1976), com os campos dos TTGs (amarelo), biotita granitos (verde) e granitos híbridos (laranja) conforme proposto por Laurent *et al.*, (2014). C: A/NK x A/CNK de Shand (1943). D: Diagrama P-Q de Debon e Lefort (1983).

Os gnaisses do Complexo Santa Bárbara se distribuem entre os campos dos trondhjemitos e granitos. Essas rochas apresentam baixos conteúdos de anortita, altos componentes de albita e teores médios para ortoclásio segundo o diagrama de O'Connor (1965), calculado a partir da norma CIPW (Fig. 3.10 – A). Com relação às razões de $\text{SiO}_2 \times \text{K}_2\text{O}$, as rochas pertencem às séries cálcio-alcálicas de médio K e de alto K, conforme indicado no diagrama de Peccerillo e Taylor (1976) (Fig. 3.10 – B). De acordo com Shand (1943) os gnaisses são classificados majoritariamente como peraluminosos (Fig. 3.10 – C), e no diagrama P-Q de Debon e Lefort (1983), eles se enquadram principalmente no campo dos granodioritos (Fig. 3.10 – D).

A amostra de biotita gnaisse analisada neste estudo (RF-3) e as amostras de Fonseca (2017) (FUM-1 e FUM-2) são provenientes do mesmo local, referente ao domínio ocidental do Complexo Mantiqueira (Fig. 3.8). Conforme o diagrama de O'Connor (1965) (Fig. 3.10 – A), são rochas com altos componentes de albita e relativamente pobres em conteúdo de anortita e ortoclásio, classificadas como trondhjemitos a partir da norma CIPW e como tonalitos segundo Debon e Lefort (1983) (Fig. 3.10 – D). No diagrama de Peccerillo e Taylor (1976), as razões entre Si_2O e K_2O apresentam rochas cálcio-alcálicas de médio K (Fig. 3.10 – B).

Em diagramas de elementos terras-raras, com valores normalizados ao condrito (Boyton, 1984) (Fig. 3.11 – A), as amostras inseridas no domínio tectônico do Complexo Mantiqueira apresentam três diferentes assinaturas: (i) alto enriquecimento de elementos terras-raras leves (ETRL) em relação aos elementos terras-raras pesados (ETRP), alta razão $(\text{La}/\text{Yb})\text{N}$, e anomalia positiva ou ausente de Eu (FUM-1, FUM-2 e parte das amostras estudadas por Fonseca (2018)); (ii) médio enriquecimento de ETRL em relação aos pesados, média razão $(\text{La}/\text{Yb})\text{N}$, e anomalias negativas de Eu (parte das amostras estudadas por Fonseca (2018)); e (iii) fraco enriquecimento de ETRL em relação aos ETRP, baixa razão $(\text{La}/\text{Yb})\text{N}$, e anomalia negativa de Eu (PP-372).

Enquanto as amostras pertencentes ao Complexo Santa Bárbara apresentam, ao menos, duas assinaturas distintas de ETR (Fig. 3.11 – A). As amostras PN-3 e PP-171 apresentam enriquecimento de ETRL em relação aos pesados, em maior e menor proporção, respectivamente, e ausência ou leve anomalia de Eu. Por outro lado, a amostra PP-172 possui baixo enriquecimento de ETRL em relação aos ETRP e anomalia negativa de Eu. Essa amostra também apresenta enriquecimento de ETRP em relação aos elementos terras-raras médios $(\text{Gd}/\text{Yb})\text{N} < 1$.

Em diagramas de elementos incompatíveis, com valores normalizados ao manto primitivo (McDonough and Sun, 1995) (Fig. 3.11 – B), os litotipos do Complexo Mantiqueira são enriquecidos em elementos LILE em relação aos HSFE. As amostras FUM-1 e FUM-2 e as estudadas por Fonseca (2018), apresentam anomalias negativas em Nb, P e Ti, enquanto a amostra PP-372 possui anomalias

positivas em U, Pb, e negativas em Zr e Ti. Já as amostras do Complexo Santa Bárbara, as amostras apresentam enriquecimento em LILE em relação aos HFSE, anomalias negativas em Nb, P e Ti. As amostras PP-171 e PP-172 apresentam anomalias positivas em Pb.

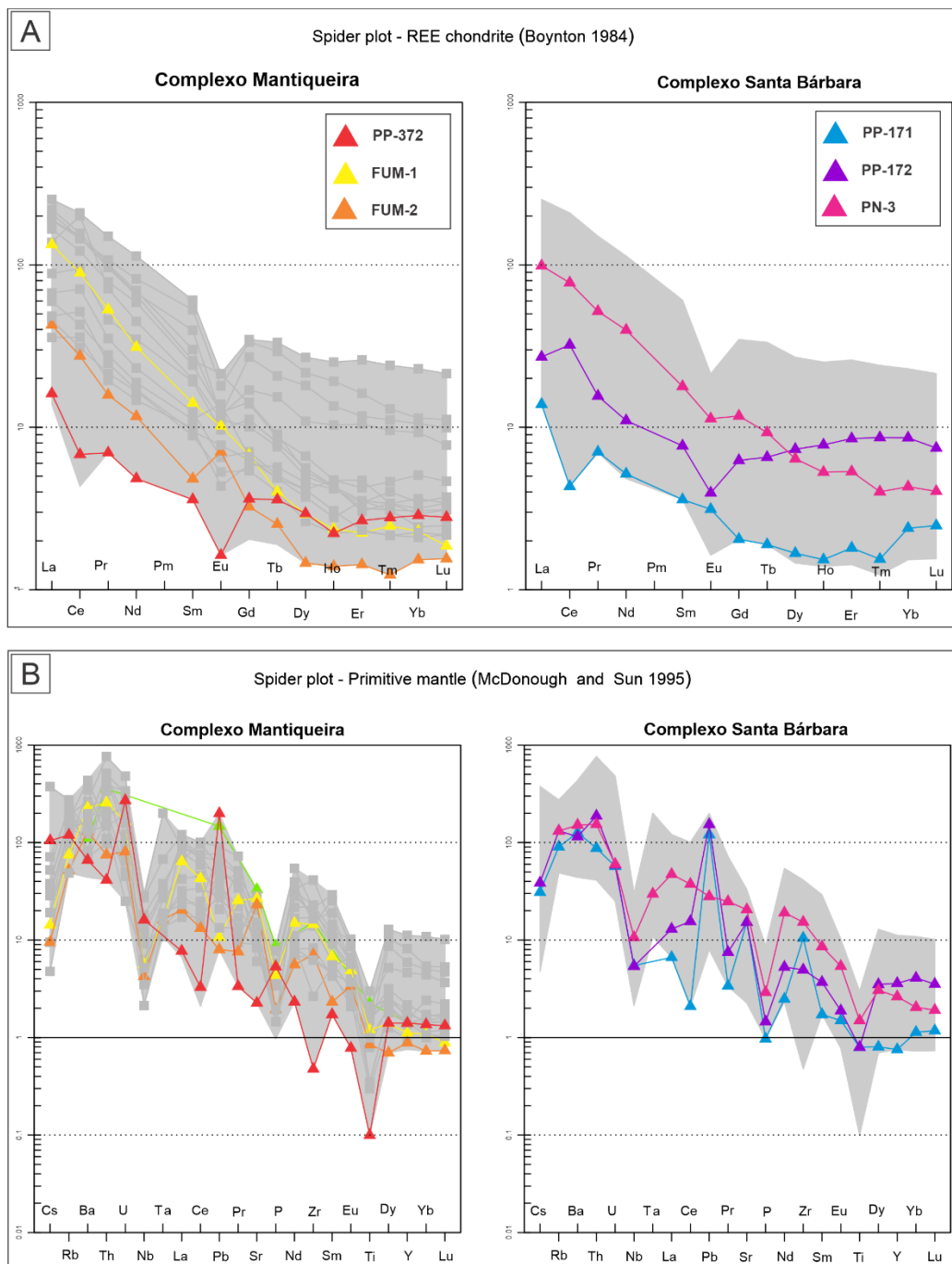


Figura 3.11 – Diagramas multielementos para amostras do Complexo Santa Bárbara e Mantiqueira, a amostras PN-3, FUM-1 e FUM-2 pertencem ao trabalho de Fonseca (2007). A) Diagramas de elementos terras raras, com valores normalizados ao condrito (Boynton, 1984). B) Diagrama de elementos incompatíveis, com os valores normalizados ao manto primitivo (McDonough and Sun, 1995).

3.3 Geocronologia

Para análises isotópicas U-Pb (LA-ICP-MS), foram coletadas e enviadas para preparação três amostras (RF-3, RF-4, PP-171). No entanto, somente a amostra PP-171 apresentou quantidade de grãos suficiente para as análises, resultando em uma pastilha com um total de 89 grãos de zircão, os quais 44 foram selecionadas para a marcação dos spots, considerando as texturas internas reveladas pelas imagens de catodoluminescência (Item 1.5.5).

Os grãos analisados são prismáticos, de comprimentos entre 150 e 400 μm e alongações que variam de 2:1 a 4:1, com bordas arredondadas e alguns com facetas preservadas em pirâmide. As imagens de catodoluminescência revelam morfologias internas marcadas principalmente por descontinuidades entre centro e borda (Fig. 3.11).

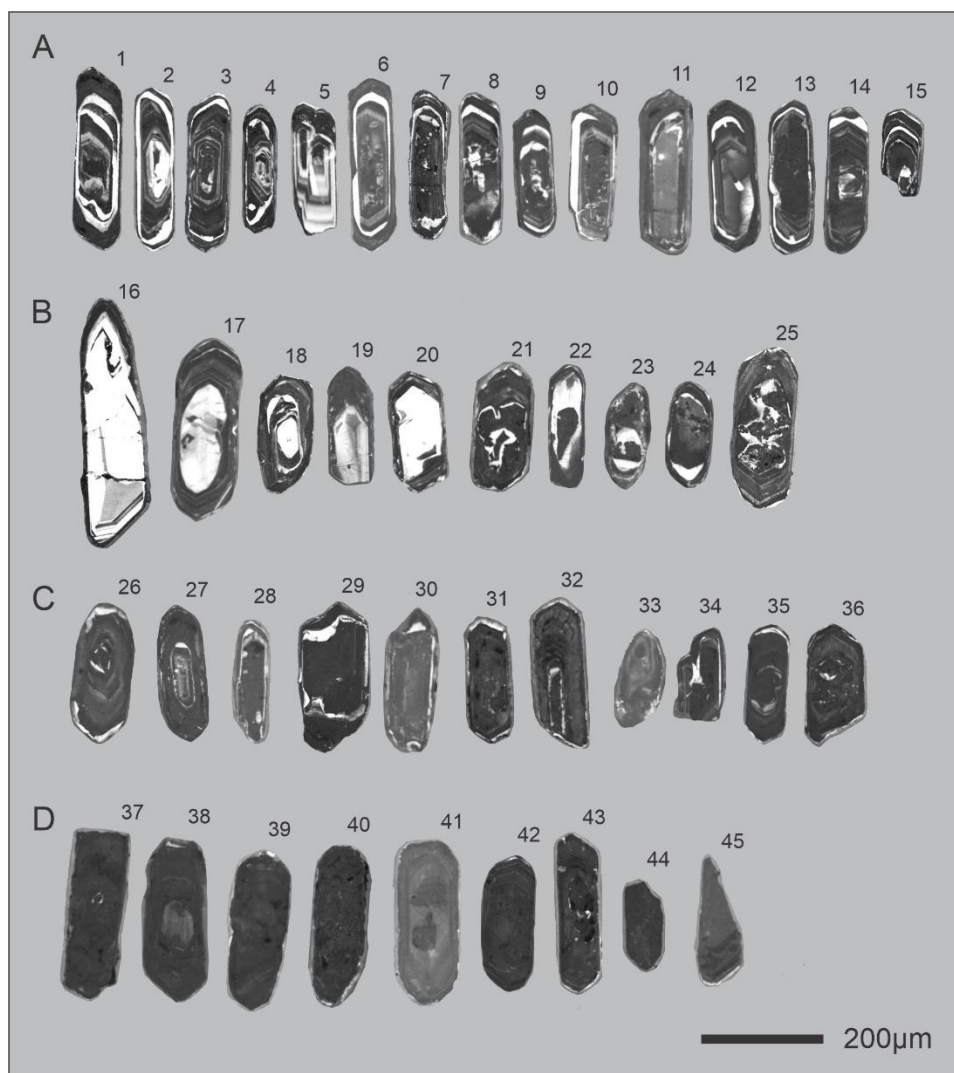


Figura 3.12 - Imagens de catodoluminescência dos grãos de zircões selecionados para análise.

Os cristais mais alongados (>3:1) são caracterizados principalmente por zonamentos oscilatórios concêntricos de luminescência variada (ex. grãos 1-5) ou por zonamentos setoriais nas margens com porções centrais de textura porosa (ex. grãos 7, 8, 10). Alguns destes zircões também apresentam texturas magmáticas (zonamento oscilatório) nos núcleos (ex. grãos, 3, 4) (Fig. 3.11 - A).

Foi observado que os zircões, principalmente de prismas curtos (Fig. 3.11 - B), exibem núcleos xenocrísticos, que se diferenciam das margens pelo aspecto subarredondado de alta luminescência (ex. grãos 17, 18) ou por apresentarem geometria irregular e textura metamítica (ex. grãos 22, 23, 25). Estes núcleos são envoltos por domínios de baixa luminescência (ex. grãos 19, 20) que ora aparecem como sobrecrecimentos de leve zonagem (ex. grãos 17, 25). Também foram analisados grãos de baixa luminescência, com texturas internas pouco marcadas (Fig. 3.11 - C) ou de aparência homogênea e escura (Fig. 3.11 - D).

Foram obtidas 51 análises, incluindo os centros e as bordas dos zircões. Os resultados definiram um amplo espectro de idades discordantes das razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, possivelmente devido a episódios de perda de chumbo. A idade de cristalização é definida por 25 análises que se alinham em uma reta discórdia com intercepto superior na curva da concórdia em 2.878 ± 11 Ma, com MSWD de 1.3 (Figura 3.12, tabela 3.1). Os spots se localizam em 9 domínios de sobrecrecimento que exibem zonamento oscilatório (spots 9, 13, 17) ou baixa luminescência (spots 57, 30), 10 núcleos xenocrísticos (spots 80, 72) ou com textura magmática (spots 18, 79, 76) e 3 domínios em grãos homogêneos de baixa luminescência. (Figura 3.13).

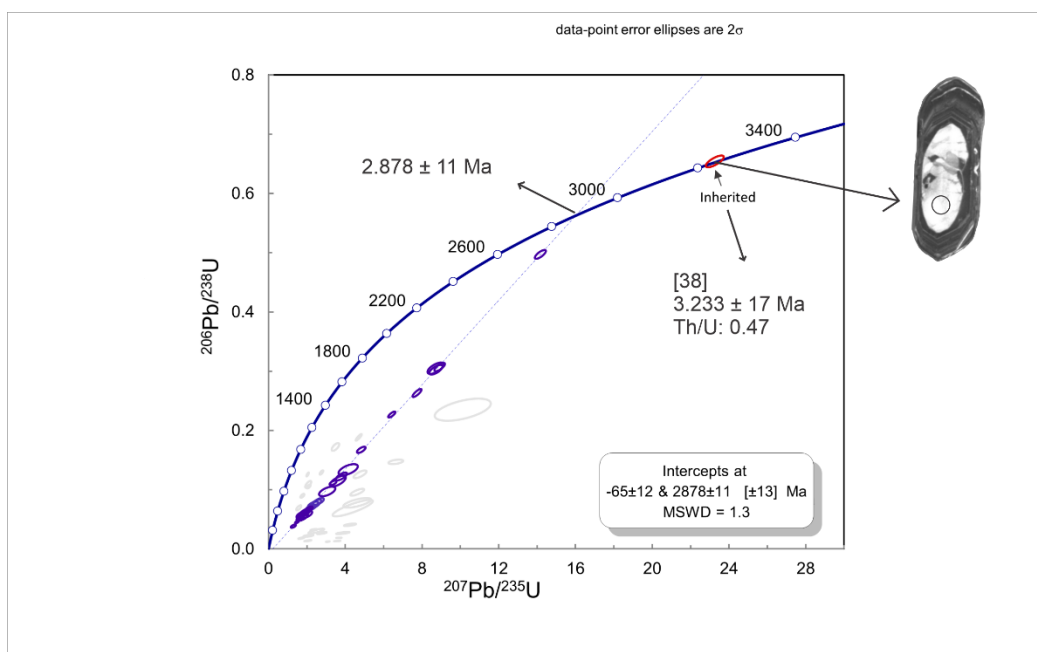


Figura 3.13 - Diagrama da concórdia das análises LA-ICP-MS da amostra PP-171.

Além disso, foi encontrada uma idade concordante de 3.233 ± 17 Ma (Figura 3.2, tabela 3.1) referente a um grão cujo núcleo apresenta aspecto relativamente homogêneo, de alta luminescência e bem individualizado, com relação ao domínio de sobrecrecimento com zonamento oscilatório (Fig. 3.3, spot 38). Esta idade foi considerada como herdada.



Figura 3.14 - Imagens de catodoluminescência com a localização dos spots e suas respectivas idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ e razões Th/U.

Em suma, os aspectos morfológicos e texturais dos grãos e suas respectivas análises apontam núcleos mais antigos, evidenciados pela idade de 3.2Ga extraída de um núcleo xenocrístico, envoltos por domínios zonados que indicam uma nova fase de crescimento magmático em aproximadamente 2.9Ga, atribuída como a idade de cristalização da rocha.

Tabela 3.1- Resultados das análises U-Pb via LA-ICP-MS nos zircões da amostra PP-171.

<i>Spots</i>	<i>U</i> (ppm)	<i>Th</i> (ppm)	<i>232Th</i> / <i>238U</i>	<i>Idade</i> <i>207Pb/235U</i>	<i>Idade</i> <i>206Pb/238U</i>	<i>Idade</i> <i>207Pb/206Pb</i>	<i>Disc.</i> %	<i>207Pb/</i> <i>235U</i>	<i>2σ%</i>	<i>206Pb/</i> <i>238U</i>	<i>2σ%</i>	<i>207Pb/</i> <i>206Pb</i>	<i>2σ</i> %	<i>ρ</i>
9	873	260	0.3	1079 ± 95	384 ± 36	3006 ± 161	64	1.8939	13.498	0.0615	9.6346	0.2235	9.45	0.71
10	766	163	0.21	1301 ± 66	498 ± 26	3085 ± 110	62	2.6019	8.6247	0.0804	5.4817	0.2349	6.66	0.64
13	648	147	0.23	1493 ± 36	681 ± 17	2967 ± 57	54	3.3524	4.4112	0.1114	2.6939	0.2182	3.49	0.61
17	508	390	0.77	1665 ± 85	809 ± 44	3019 ± 134	51	4.1554	9.8459	0.1337	5.7473	0.2253	7.99	0.58
18	229	336	1.47	2201 ± 25	1505 ± 28	2931 ± 23	32	7.7365	2.5509	0.263	2.1116	0.2133	1.43	0.83
20	991	409	0.41	1176 ± 70	430 ± 25	3048 ± 125	63	2.1834	9.6245	0.069	6.0836	0.2294	7.46	0.63
30	1753	765	0.44	843 ± 50	243 ± 13	3148 ± 107	72	1.295	8.4814	0.0384	5.4805	0.2443	6.47	0.65
32	824	241	0.29	1420 ± 92	597 ± 38	3038 ± 155	58	3.0502	11.349	0.097	6.6735	0.228	9.18	0.59
33	1027	1351	1.32	1237 ± 92	464 ± 42	3062 ± 131	63	2.3822	12.175	0.0746	9.3276	0.2315	7.83	0.77
37	1316	602	0.46	1053 ± 63	363 ± 25	3037 ± 98	66	1.8198	9.1357	0.0579	6.9609	0.2278	5.92	0.76
39	1319	1079	0.82	1119 ± 43	398 ± 17	3045 ± 68	64	2.0094	6.1374	0.0636	4.5224	0.229	4.15	0.74
40	1435	379	0.26	1030 ± 95	335 ± 30	3114 ± 175	68	1.7572	13.909	0.0533	9.3025	0.2392	10.3	0.67
49	623	727	1.16	1790 ± 34	997 ± 25	2900 ± 45	44	4.8283	3.8132	0.1673	2.669	0.2093	2.72	0.7
50	798	579	0.73	1592 ± 53	745 ± 31	3015 ± 74	53	3.7966	6.278	0.1225	4.3986	0.2247	4.48	0.7
53	1451	753	0.52	1067 ± 128	363 ± 35	3073 ± 265	66	1.86	18.069	0.0579	9.8544	0.233	15.1	0.55
56	362	6	0.02	2309 ± 32	1703 ± 33	2899 ± 38	27	8.7226	3.1895	0.3025	2.1695	0.2092	2.34	0.68
57	1420	107	0.08	1151 ± 54	421 ± 20	3027 ± 92	63	2.1082	7.4614	0.0675	4.9603	0.2264	5.57	0.66
68	1769	322	0.18	920 ± 36	287 ± 11	3088 ± 70	69	1.4748	5.7828	0.0455	3.8974	0.2352	4.27	0.67
71	1486	356	0.24	1077 ± 60	375 ± 18	3044 ± 118	65	1.8883	8.6286	0.0598	4.936	0.2289	7.08	0.57
72	140	2	0.01	2761 ± 18	2601 ± 27	2879 ± 18	6	14.164	1.668	0.4971	1.2658	0.2066	1.09	0.76
73	990	562	0.57	1551 ± 80	697 ± 43	3045 ± 117	55	3.6077	9.5156	0.1142	6.4486	0.2291	7	0.68
76	394	104	0.26	2308 ± 39	1716 ± 39	2883 ± 51	26	8.7079	4.024	0.305	2.5926	0.207	3.08	0.64
78	1353	1016	0.75	1218 ± 72	463 ± 25	3022 ± 132	62	2.3195	9.6755	0.0745	5.6523	0.2258	7.85	0.58
79	381	187	0.49	2329 ± 25	1725 ± 28	2911 ± 28	26	8.9159	2.5072	0.3069	1.8572	0.2107	1.68	0.74
80	11	29	2.72	2036 ± 23	1318 ± 22	2870 ± 24	35	6.4274	2.4051	0.2269	1.8868	0.2054	1.49	0.78
38	69	32	0.47	3238 ± 19	3245 ± 32	3233 ± 17	-0.2	23.254	1.6556	0.6543	1.2381	0.2578	1.1	0.75

CAPÍTULO 4

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As unidades caracterizadas são referidas como domínios distintos caracterizados por associações de granitóides que registram mudanças significativas no regime tectônico responsável pela formação e evolução da crosta continental na borda leste do Quadrilátero Ferrífero. O Complexo Santa Bárbara representa um domo desenvolvido a partir de eventos sucessivos de magmatismo TTG durante o Arqueano, enquanto o Complexo Mantiqueira está relacionado à evolução de um arco magmático gerado às margens do paleocontinente São Francisco durante o Paleoproterozóico. (Noce et al, 2007; Lana et al, 2013)

Neste estudo, foram analisadas as rochas gnáissicas localizadas na região de transição entre as unidades, a partir de um viés petrológico, a fim de se interpretar as principais características e debater sobre as delimitações propostas pela literatura.

Os gnaisses do Complexo Santa Bárbara são rochas claras, laminadas e foram classificadas como biotita mica branca gnaiss (PP-171) e biotita gnaiss (PP-172), exibindo uma composição modal consistente com os litotipos graníticos que afloram na área descritos por Baltazar & Raposo (1993) e Fonseca (2017). Essas rochas são caracterizadas pela associação de quartzo, plagioclásio, microclina e biotita como minerais principais, com a presença de minerais acessórios como apatita, allanita, zircão e titanita, interpretadas como rochas de protólito ígneo, memorfizadas sob fácies anfíbolito.

O biotita gnaiss (RF-3) referente ao Complexo Mantiqueira se trata de uma rocha acinzentada, intercalada por termos leucocráticos que se distribuem de forma descontínua e zonada. As feições heterogêneas identificadas em escala de afloramento nas rochas do CMa são típicas de estruturas migmatíticas, conforme as classificações morfológicas propostas por Mehnert (1968). Em análise microscópica a rocha apresenta grãos grossos de quartzo anédrico compondo o bandamento, entre uma matriz que varia granolepidoblástica a granoblástica, com cristais de microclina poligonizados. Estas relações texturais podem ser indicativas de que um novo material se formou a partir da fusão parcial da rocha parental. No entanto, é necessário análises microscópicas detalhadas considerando os componentes dos migmatitos e as condições necessárias para a geração e acomodação do fundido.

As análises geoquímicas dos gnaisses descritos, juntamente com a compilação de dados de estudos anteriores, revelam rochas com conteúdo de sílica maior que 71wt. %, concentrações intermediárias de Na₂O (4 – 6,5wt. %), alto conteúdo de Al₂O₃ (14 – 16wt. %), baixos conteúdos de CaO (1 – 3wt. %) e de óxidos ferro-magnesianos (1 – 4wt. %). As proporções entre os elementos maiores nos diagramas de classificação indicam que estes gnaisses compõem as séries dos granitóides arqueanos descritos Moyen & Martin (2012) e Laurent et. al (2014).

No domínio do Complexo Santa Bárbara os gnaisses exibem assinaturas geoquímicas típicas dos TTG's arqueanos de Moyen & Martin (2012) (PP-171, PN-3), dos biotitas granitos de médio K (PP-171) e granitos híbridos de alto K (PP-172, PN-3) conforme os campos distribuídos por Laurent et al. (2014). As amostras do Complexo Mantiqueira se distribuem pelo campo dos TTG's arqueanos de Moyen & Martin (2012) e dos TTG's de médio K descritos por Laurent et. al (2014).

Nos diagramas de elementos terras-raras, com valores normalizados ao condrito (Boyton, 1984), duas amostras (PP-171, PN3) do Complexo Santa Bárbara e duas amostras do CMa (FUM-1, FUM-2) apresentam enriquecimento de elementos terras raras leves em relação aos pesados e ausência ou leve anomalia de Eu. Essas assinaturas são compatíveis aos TTG's arqueanos descritos por Martin (1994), Moyen (2011) e Moyen & Martin (2012). Estes autores descrevem a série dos TTG's a partir de rochas com alto conteúdo em sódio, ricas em sílicas, relativamente leucocráticas e com baixo teor de elementos incompatíveis.

Por outro lado, a amostra PP-172 referente ao CSB, apresenta afinidade com a amostra PP-372, localizada no domínio do CMa. São rochas que apresentam fraco enriquecimento de elementos terras raras leves em relação aos pesados e anomalias negativas de Eu. Nos diagramas de elementos incompatíveis, com valores normalizados ao manto primitivo (McDonough & Sun, 1995), estas duas amostras também compartilham características como enriquecimento em LILE (elementos litófilos de grande raio iônico) em relação aos HFSE (elementos de grande intensidade de campo) e anomalias positivas de Pb. Tendo em vista que a amostra PP-372 ocupa o limite entre as duas unidades, é possível sugerir que este domínio local do Complexo Santa Bárbara se estenda para leste.

Além disso, outro argumento favorável a esta hipótese é a similaridade entre as assinaturas geoquímicas de elementos traços nas amostras do CSB deste estudo com duas amostras analisadas por Fonseca (2017) (MA-1 e MA-2), referentes ao CMa, as quais também apresentam fraco enriquecimento de ETRL em relação aos ETRP e anomalias negativas de Eu (Apêndice B). A autora também evidencia idades de 2738 e 2630 Ma para estes gnaisses (Apêndice C).

As análises isotópicas U-Pb via ICP-MS em zircões da amostra de gnaiss (PP-171) do Complexo Santa Bárbara definiram uma idade discordante com intercepto superior em 2878 ± 11 Ma e

uma idade concordante de 3.233 ± 17 Ma. Esta unidade compõe parte do embasamento da porção sul do Cráton São Francisco, e é descrita como uma das raras porções de crosta paleoarqueana preservada na região, que cresceu a partir de três períodos de magmatismo TTG (Lana et. al, 2013) (Fig. 5.1). A idade 2878 ± 11 Ma (MSWD = 1.3) foi interpretada como a idade de cristalização da rocha associada ao segundo evento magmático, denominado Rio das Velhas I, responsável pela acresção de rochas TTG's juvenis ao núcleo Paleoarqueano. A idade concordante de 3.233 ± 17 Ma sugere que a rocha preserva uma herança paleoarqueana em núcleos xenocrísticos remanescentes da fase inicial de magmatismo, registrada como Evento Santa Bárbara.

Foi observado que estas idades são próximas às idades U-Pb obtidas por Lana et al. (2013) em zircões de uma amostra de granitóide (D09, trondhjemito), referente ao embasamento retrabalhado do Cinturão Mineiro. Os autores interpretam uma idade de cristalização de 2898 ± 7 Ma (MSWD = 1.4) associada ao evento Rio das Velhas I, resultante de sete análises pontuais em sobrecrescimentos, e uma idade herdada de 3219 ± 13 Ma (MSWD = 1.09) relacionada ao Evento Santa Bárbara., obtida em núcleos individualizados de alta luminescência.

O terceiro evento magmático descrito para o Complexo Santa Bárbara é denominado Rio das Velhas II, e não foi relacionado aos resultados deste estudo. Milagres (2013) define uma idade metamórfica de 2736 ± 9.1 Ma a partir da análise isotópica U-Pb em grãos de zircão de um gnaisse que ocorre no domínio sul do CSB. Essa idade, se interpretada como cristalização, por se tratar de uma análise pontual em domínio de sobrecrescimento, pode ser relacionada ao evento Rio das Velhas II.

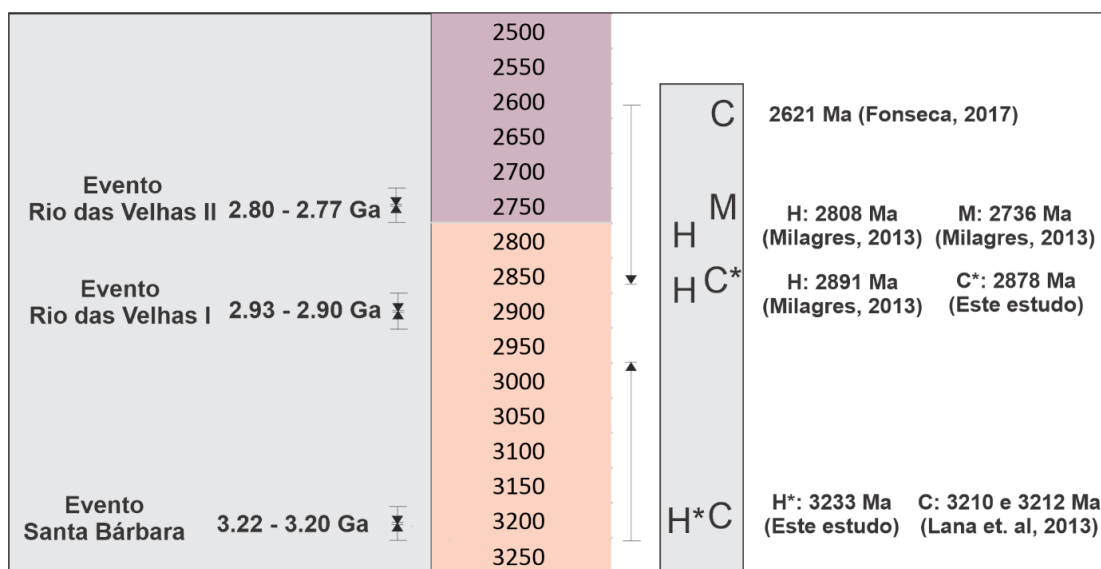


Figura 4.1 - Distribuição das idades herdadas (H), de cristalização (C) e idades metamórficas (M) encontradas por este estudo e pelos trabalhos de Lana et al. (2013), Milagres (2013) e Fonseca (2017) para o Complexo Santa Bárbara e discriminação dos eventos magmáticos descritos por (Lana et al., 2013).

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

- A análise microscópica e o estudo geoquímico demonstraram que os gnaisses se formaram sob condições de fácies anfíbolito a partir de um protólito ígneo, com assinaturas dos elementos maiores típicas da série de diferenciação dos granitóides arqueanos.
- O gnaisse de coloração cinza do Complexo Mantiqueira apresenta estruturas migmatíticas em escala de afloramento. Sugere-se a realização de estudos com foco identificação de microestruturas associadas a fusão parcial.
- As análises dos elementos terras raras e elementos incompatíveis das amostras de gnaisse deste estudo (PP-171, PP-172, PP-372) em comparação aos gnaisses estudados por Fonseca (2017) (MA-1 e MA-2), que ocorrem no domínio central do CMa, podem indicar que o domínio sul do Complexo Santa Bárbara se estenda para leste.
- As análises U-Pb em zircões da amostra de gnaisse do Complexo Santa Bárbara evidenciou uma idade cristalização de 2878 Ma, associada ao evento magmático Rio das Velhas I, e uma idade herdada de 3233 Ma relativa ao primeiro evento magmático responsável pela consolidação de um núcleo paleoarqueano, reportado como Evento Santa Bárbara.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida F.D., Hasui Y., Brito Neves B.D., & Fuck, R.A., 1977. Províncias estruturais brasileiras. *Simpósio de Geologia do Nordeste*, 8: 363-391.

Baltazar O.F., Raposo F.O., Mattos D.M.M., 1993. Estratigrafia, petrografia e petrologia. Programas de levantamento básicos do Brasil-PLGB. *Mapeamento Geológico da Folha de Mariana SF*, 17-93.

Brandalise LA. 1991. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. *Folha Ponte Nova*, SF.23-X-B-II. Escala 1:100.000. Brasília: DNPM/CPRM, 194 p.

Brito Neves, B.B. 1995. Crátons e faixas móveis. Boletim IG USP. *Instituto de Geociências Serie Didática*, n.7, p.1-188.

Brueckner H, Cunningham WD, Alkmim FF, Marshak S. 2000. Tectonic implications of Precambrian Sm-Nd dates from the southern São Francisco craton and adjacent Araçuaí and Ribeira belts, Brazil. *Precambrian Research* 99: 255-269.

Bonin B., Janoušek V., Moyen J. F. 2020. Chemical variation, modal composition and classification of granitoids. *Geological Society*, London, Special Publications, 491.

Boyton W. V. 1984. Cosmochemistry of the Rare Earth Elements: Meteorite Studies. P. Henderson. *Developments in Geochemistry*, 2, 63-114.

Dorr II, J.V.N., 1969. Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. USGS/DNPM, Washington, Prof. Paper 641^a, 110p.

Endo I., Galbiatti H. F., Delgado C. E. R., Oliveira M. M. F. de, Zapparoli A. de C., Moura L. G. B. de, Peres G. G., Oliveira A. H. de, Zavaglia G., Danderfer F^o A., Gomes C. J. S., Carneiro M. A., Nalini J r. H. A., Castro P de T. A., S uita M. T. de F., S eixas L. A. R., Tazava E., L ana C. de C., Martins-Neto M. A., Martins M. de S., Ferreira F^o F. A., Franco A. P., Almeida L. G., R ossi D. Q., Angeli G., Madeira T. J. A., Piassa L. R. A., Mariano D. F., Carlos D. U. 2019. *Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:150.000*. Ouro Preto, Departamento de Geologia, Escola de Minas – UFOP - Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero: www.qfe2050.ufop.br.

Fonseca G.M.D., 2017. *Petrogênese de rochas metaultramáficas do Quadrilátero Ferrífero e adjacências e geocronologia de terrenos associados*. Tese de Doutorado. Departamento de geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 274p.

Haralyi NLE and Hasui Y. 1982. The gravimetric information and the Archean-Proterozoic structural framework of Eastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências* 12:160-166.

Ladeira, E.A., Roeser, H.M.P., Tobschall, H.J. 1983 Evolução petrogenética do cinturão de rochas verdes, Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: *Simp. Geol. Minas Gerais*, 2, Anais, Belo Horizonte: SBG, 1983. v.2, p. 149-165.

- Lana C., Alkmim F. F., Armstrong R., Scholz R., Romano R. 2013. The ancestry and magmatic evolution of Archean TTG rocks of the Quadrilátero Ferrífero province, southeast Brazil. *Precambrian Research*, 231: 157 – 173.
- Laurent O., Martin H., Moyen, J. F., Doucelance, R. 2014. The diversity and Evolution of late-Archean granites: Evidence for the onset of a “modern type” plate tectonics between 3.0 and 2.5 Ga. *Lithos*, 205:208 – 235.
- McDonough W. F., Sun S. S. 1995. The composition of the Earth. *Chemical Geology*. 120, 223-253.
- Medeiros Júnior E.B. 2009. *Petrogênese do Complexo Acaiaca, MG*. Dissertação de mestrado, Dep. de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 101p.
- Medeiros Júnior, E. B. 2016. *Evolução Petrogenética de Terrenos Granulíticos nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo*. Tese de Doutorado. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto
- Mehnert, K. R. 1968. *Migmatites and the Origin of Granitic Rocks*. Elsevier Publishing Company, 393 p.
- Moyen J-F. 2011. The composite Archaean grey gnaisses: Petrological significance, and evidence for a non-unique tectonic setting for Archaean crustal growth. *Lithos*, 123, 21-36
- Moyen J.F., Martin H., 2012. Forty Years of TTG research. *Lithos*, 178:312-336
- Noce C.M. 1995. Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Unpublished PhD Theses, Universidade de São Paulo, Brazil, 129p.
- Noce C.M., Pedrosa-Soares A.C., Silva L.C., Alkmim F.F. 2007. O embasamento Arqueano e Paleoproterozóico do Orógeno Araçuaí. *Geonomos*, 15(1):17-23
- Noce C.M., Pedrosa-Soares A.C., Silva L.C., Armstrong R., Piuzana D. 2007b. Evolution of polycyclic basement complexes in the Araçuaí Orogen, based on U-Pb SHRIMP data: Implications for Brazil-Africa links in Paleoproterozoic time. *Precambrian Research*, 159(1-2): 60-78.
- Pedrosa-Soares AC, Vidal P, Leonardos OH and Brito-Neves BB. 1998. Neoproterozoic oceanic remnants in eastern Brazil: evolution for the Araçuaí-West Congo orogen. *Geology* 26: 519-522.
- Pedrosa-Soares AC, Wiedemann CM, Fernandes MLS, Faria LF and Ferreira JCH. 1999. Geotectonic significance of the Neoproterozoic granitic magmatism in the Araçuaí belt, Eastern Brazil: a model and pertinent questions. *Revista Brasileira de Geociências*, 29: 57-64.
- Peres, G.G., Alkmim, F.F. & Jordt-Evangelista, H. 2004. The southern Aracuai belt and the Dom Silverio Group: Geologic architecture and tectonic significance. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, 76: 771-790
- Romano, R., Lana, C., Alkmim, F.F., Stevens, G., Armstrong, R., 2013. Stabilization of the Southern portion of the São Francisco craton, SE Brazil, through a long-lived period of potassic magmatism. *Precambrian Research*, v. 224. p. 143-159.
- Silva, L.C., Armstrong, R., Noce, C.M., Carneiro, M.A., Pimentel, M.M., Pedrosa-Soares, A.C., Leite, C.A., Vieira, V.S., Silva, M.A., Paes, V.J.C., Cardoso-Filho, J.M., 2002. Reavaliação da evolução

Rodrigues, L. C. 2023, Petrografia, geoquímica e geocronologia de gnaisses do Complexo Santa Bárbara e Mantiqueira na região de Mariana, Minas Gerais.

geológica em terrenos pré-cambrianos brasileiros com base em novos dados U-Pb SHRIMP, parte II: orógeno Araçuaí, Cinturão Mineiro e Cráton São Francisco Meridional. *Revista Brasileira de Geociências* 32: 513–528

Gonçalves, L. E. DA S., Costa, J. C. M. DE O., Endo, I., Roeser, H. M. P., 2011. Geometria, petrografia e deformação de corpos ultramáficos metamorfisados da região de Santa Rita de Ouro Preto, MG. Brasil. *Revista Geonomos* 19(1):10-17

APÊNDICES

Apêndice A – Tabela contendo a compilação dos dados de geoquímica de elementos maiores para as rochas estudadas.

Apêndice B – Tabela contendo a compilação dos dados geoquímicos de elementos traços para as rochas estudadas.

Apêndice C – Tabela contendo a compilação geocronológica para o Complexo Santa Bárbara e o Complexo Mantiqueira na borda leste do Quadrilátero Ferrífero.

Apêndice A

Amostra	Rocha	SiO2	TiO2	Al2O3	FeOt	MnO	MgO	CaO	K2O	Na2O	P2O5	LOI	Total	Referência
<i>Complexo Santa Bárbara</i>														
PP-171*	Augen gnaiss	73.2	0.16	14.8	1.41	0.02	0.39	1.38	2.78	4.22	0.02	0.85	99.15	Este estudo (2023)*
PP-172*	Augen gnaiss	73.9	0.16	14.5	1.39	0.02	0.29	1.41	3.96	4.23	0.03	0.41	99.59	Este estudo (2023)*
GM-174	Qz-mc-pl gnaiss	74.5	0.05	14.6	0.75	0.2	0.1	1.1	4	4.5	0.05	0.15	99.85	Baltazar <i>et al.</i> (1993)
GM-178	Mc gnaiss	74.4	0.09	14.2	0.42	0.01	0.15	0.96	4.1	4.1	0.05	1.52	98.48	Baltazar <i>et al.</i> (1993)
GM-253	Bt gnaiss	73.7	0.2	14.6	0.75	0.02	0.48	0.4	2.2	5.5	0.05	2.1	97.9	Baltazar <i>et al.</i> (1993)
GM-290A	Metagranitóide	75.1	0.05	14.1	0.56	0.01	0.1	1	2.4	6.5	0.05	0.13	99.87	Baltazar <i>et al.</i> (1993)
PN-3	Metagranitóide	72.04	0.3	15.22	1.36	0.02	0.51	1.93	3.55	4.64	0.06	0.36	99.64	Fonseca (2017)
<i>Complexo Mantiqueira</i>														
PP-372*	Augen gnaiss	74.9	0.02	14	0.71	0.09	0.18	1.13	2.52	4.47	0.11	0.6	99.4	Este estudo (2023)*
RF-3*	Biotita gnaiss	72.28	0.45	13.71	2.7	0.04	0.8	2.29	1.88	5.45	0.18	0.22	99.78	Este estudo (2023)*
FUM-1	Biotita gnaiss	71.91	0.24	15.51	1.44	0.02	0.55	1.64	2.69	5.68	0.09	0.4	99.6	Fonseca (2017)
FUM-2	Biotita gnaiss	72.88	0.17	15.75	0.94	0.01	0.43	1.65	1.87	6.25	0.04	0.41	99.59	Fonseca (2017)
MA-1	Leucognaiss	73.97	0.06	15.43	0.53	0.01	0.29	1.81	3.82	4.56	0.03	0.16	99.84	Fonseca (2017)
MA-2	Biotita gnaiss	72.7	0.32	14.55	2.52	0.05	0.63	2.1	3.31	3.99	0.09	0.27	99.73	Fonseca (2017)
ML-8	Biotita gnaiss	73.22	0.3	14.1	1.54	0.01	0.56	1.68	4.4	3.76	0.07	0.38	99.62	Fonseca (2017)
BL-1	Augen gnaiss	72.06	0.31	14.6	2.07	0.02	0.58	1.64	4.5	3.53	0.08	0.65	99.35	Fonseca (2017)
BL-3	Biotita gnaiss	70.46	0.42	14.6	2.73	0.05	0.87	1.82	6.04	2.45	0.09	0.71	99.29	Fonseca (2017)
BL-4	Biotita gnaiss	74.84	0.39	12.44	2.61	0.04	1.43	2.02	3.61	2.68	0.03	0.54	99.46	Fonseca (2017)
BL-5	Augen gnaiss	70.12	0.6	14.42	3.07	0.04	1.27	3.05	3.7	3.11	0.16	1.05	98.95	Fonseca (2017)
DV-3	Biotita gnaiss	73.41	0.16	15.04	1.19	0.02	0.39	1.69	2.59	4.6	0.03	1.37	98.63	Fonseca (2017)
PF-1A	Biotita gnaiss	72.74	0.2	15.16	1.58	0.02	0.46	1.72	3.43	4.66	0.03	0.29	99.71	Fonseca (2017)
PF-2	Ep-bt gnaiss	70.96	0.33	14.52	2.3	0.02	0.64	1.78	6.34	2.68	0.12	0.38	99.62	Fonseca (2017)
*AV-1	Biotita gnaiss	75.99	0.07	14.37	0.59	0	0.14	1.62	2.31	5.17	0.03	0.19	99.79	Fonseca (2017)
*AV-2A	Biotita gnaiss	72.91	0.2	14.57	1.53	0.03	0.78	1.82	3.78	3.93	0.03	0.51	99.49	Fonseca (2017)
*AV-3	Biotita gnaiss	75.93	0.07	13.67	0.55	0	0.15	0.87	5.8	2.96	0.04	0.65	99.35	Fonseca (2017)

Apêndice B

Amostra	Rocha	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Referência
<i>Complexo Santa Bárbara</i>																				
PP-171*	Augen gnaïsse	<5	5	2	3.9	31	54.2	303	3.24	110	3.6	0.65	833	4.3	3.5	0.86	3.1	0.7	0.23	Este estudo (2023)*
PP-172*	Augen gnaïsse	<5	4	2.5	4.1	25	79	303	15.5	52	3.54	0.81	758	8.4	26	1.9	6.6	1.5	0.29	Este estudo (2023)*
PN-3	Metagranitóide	17		3.8	1.9	42	78.6	408	11.3	161	7		999	30.6	62.7	6.31	23.8	3.48	0.83	Fonseca (2017)
<i>Complexo Mantiqueira</i>																				
RF-3*	Biotita gnaïsse							656	6.2	160			730							Este estudo (2023)*
PP-372*	Augen gnaïsse	83	<1	1.8	9.8	14	71.6	45	6.05	<10	10.6	2.2	436	5	5.5	0.85	2.9	0.7	0.12	Este estudo (2023)*
FUM-1	Biotita gnaïsse	12	<	2	1	30	45	531	4.8	152	3.7	0.3	1502	41.4	72.1	6.48	18.7	2.75	0.75	Fonseca (2017)
FUM-2	Biotita gnaïsse	14	<	2.3	0.6	17	31.2	460	3.8	74.4	2.8	0.2	854	13.2	22.2	1.93	7	0.94	0.52	Fonseca (2017)
MA-1	Leucognaïsse	<	<	3.1	6.8	9	55.9	564	4.2	87	1.4	0.4	2294	14.2	25	2.62	10	1.73	0.39	Fonseca (2017)
MA-2	Biotita gnaïsse	26	<	6.1	1.6	65	165	121	35.1	154	18.7	7.9	452	58.3	117	13.1	49.2	10.3	1.32	Fonseca (2017)
ML-8	Biotita gnaïsse	18	<	7.9	14	27	79.6	203	6.7	179	4.1	0.6	809	27.4	76.8	5.6	20.9	3.73	0.71	Fonseca (2017)
BL-1	Augen gnaïsse	26	<	5.1	4.5	30	102	236	7.4	234	6.8	0.8	1032	42.7	162	8.69	27	3.86	0.82	Fonseca (2017)
BL-3	Biotita gnaïsse	44	<	15.5	118	31	115	402	19.9	434	7.6	0.8	1740	68.2	126	12.3	41.5	5.86	0.87	Fonseca (2017)
BL-4	Biotita gnaïsse	44	<	25.6	25.4	39	124	166	8.1	198	11.9	1.5	548	51.4	98.3	9.59	35.2	4.71	0.91	Fonseca (2017)
BL-5	Augen gnaïsse	63	<	14.5	45.9	33	87.7	250	48.1	224	17.9	0.6	1034	78.3	169	18.3	68	11.8	1.57	Fonseca (2017)
DV-3	Biotita gnaïsse	11	<	3.3	7.2	25	69.5	180	5.9	67	6	0.7	468	11.1	29	2.37	8.8	1.93	0.32	Fonseca (2017)
PF-1A	Biotita gnaïsse	12	<	2	1.2	37	69.5	214	6.5	147	4.1	0.2	473	20.8	57.4	4.3	13.9	2.42	0.48	Fonseca (2017)
PF-2	Ep-bt gnaïsse	33	<	4.8	5.8	29	102	420	9.3	240	3.9	0.2	2868	64.1	119	11.7	39	5.02	1.57	Fonseca (2017)
*AV-1	Biotita gnaïsse	0	<	1	11.6	5	29.3	304	6.1	27.8	2.3	0.1	1300	18.5	34.6	3.4	11.3	2.18	1.02	Fonseca (2017)
*AV-2A	Biotita gnaïsse	25	<	5.1	1	28	92.6	275	25.4	174	8.8	0.4	1032	58.8	120	11.9	40.1	7.7	0.87	Fonseca (2017)
*AV-3	Biotita gnaïsse	<	<	1.4	0.7	11	147	177	6.1	65.5	3.4	1.1	858	15	41.7	3.02	10.2	1.84	0.57	Fonseca (2017)

Amostra	Rocha	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	Pb	Th	U	Co	Mo	W	Ga	Referência
<i>Complexo Santa Bárbara</i>																			
PP-171	Augen gnaïsse	0.53	0.09	0.54	0.11	0.38	0.05	0.5	0.08	2.69		18.1	7	1.14	1.9	0.19		17	Este estudo (2023)
PP-172	Augen gnaïsse	1.62	0.31	2.36	0.56	1.79	0.28	1.8	0.24	2.75		23	15	1.18	1.5	0.26		17.3	Este estudo (2023)
PN-3	Metagranitóide	3.04	0.44	2.06	0.38	1.12	0.13	0.9	0.13	4.5	1.1	4.2	12.3	1.2					Fonseca (2017)
<i>Complexo Mantiqueira</i>																			
RF-3	Biotita gnaïsse											22.01	28.46						Este estudo (2023)
PP-372	Augen gnaïsse	0.94	0.17	0.95	0.16	0.56	0.09	0.6	0.09	0.65		29.8	3.3	5.4	0.4	0.11		16.9	Este estudo (2023)
FUM-1	Biotita gnaïsse	1.75	0.19	0.94	0.17	0.47	0.08	0.48	0.06	4.1	0.6	1.6	20.5	3.3	49.1	<	462.6	14.9	Fonseca (2017)
FUM-2	Biotita gnaïsse	0.84	0.12	0.47	0.1	0.3	0.04	0.32	0.05	2.3	0.6	1.2	6	1.6	51.4	<	492.9	15.7	Fonseca (2017)
MA-1	Leucognaïsse	1.4	0.19	0.85	0.16	0.48	0.07	0.44	0.07	2.9	0.5	7.3	8.8	2	35.8	<	357.1	14.2	Fonseca (2017)
MA-2	Biotita gnaïsse	8.67	1.39	6.98	1.38	3.4	0.42	2.38	0.36	4.6	7.4	3.1	30.8	6.8	39.8	<	369.7	21.6	Fonseca (2017)
ML-8	Biotita gnaïsse	2.89	0.38	1.81	0.31	0.67	0.1	0.51	0.08	5.6	1	5.4	18.3	1	54.9	0.4	515.4	13.5	Fonseca (2017)
BL-1	Augen gnaïsse	2.61	0.36	1.61	0.31	0.74	0.11	0.66	0.11	6.5	0.4	8.6	27	1.7	28.7	0	268.4	15.5	Fonseca (2017)
BL-3	Biotita gnaïsse	4.39	0.73	3.51	0.74	2.2	0.31	1.94	0.25	11.2	1.1	11.5	61.1	9.6	34.8	1	262.8	14.2	Fonseca (2017)
BL-4	Biotita gnaïsse	3.7	0.43	1.72	0.31	0.64	0.11	0.61	0.1	5.7	1.4	7.4	37.8	2.4	50.2	0.3	469.3	14.7	Fonseca (2017)
BL-5	Augen gnaïsse	8.99	1.58	8.69	1.81	5.45	0.78	4.79	0.69	5.8	2.5	13.6	40.9	6.3	27.9	<	202.7	14.2	Fonseca (2017)
DV-3	Biotita gnaïsse	1.53	0.27	1.47	0.3	0.72	0.13	0.72	0.12	2.3	0.5	4.3	7.8	1.3	28.9	<	255.1	15	Fonseca (2017)
PF-1A	Biotita gnaïsse	1.83	0.24	1.33	0.34	0.89	0.15	1.06	0.15	4.4	0.6	4.1	13.4	0.9	31	<	297	17.5	Fonseca (2017)
PF-2	Ep-bt gnaïsse	3.61	0.41	2.14	0.34	0.99	0.11	0.76	0.11	6.4	0.6	6.2	12.1	0.5	32.1	0.2	302.5	13.6	Fonseca (2017)
*AV-1	Biotita gnaïsse	1.71	0.23	1.2	0.2	0.74	0.1	0.64	0.1	0.8	0.6	2	15.3	4.6	31.8	0.2	317	13	Fonseca (2017)
*AV-2A	Biotita gnaïsse	7.01	0.98	5.83	0.97	2.46	0.36	2.2	0.32	5.6	1.2	9.7	40.9	3.2	70.4	<	568.6	17.2	Fonseca (2017)
*AV-3	Biotita gnaïsse	1.63	0.23	1.33	0.22	0.49	0.07	0.47	0.07	2	0.7	11.5	11.9	3.8	57	0.1	528.4	14.6	Fonseca (2017)

Apêndice C

Amostra	Petrografia	Tdm (Ga)	Herdado (Ma)	Magmático (Ma)	Metamórfico (Ma)	Referência
<i>Complexo Santa Bárbara</i>						
PP-171*	Augen gnaisse		3223 ± 17	2878 ± 11		Este estudo (2023)*
CAM-1	TTG gnaisse			3210 ± 8		Lana et al. (2013)
CAM-2	TTG gnaisse			3212 ± 9		Lana et al. (2013)
7174	Gnaisse		2891 ± 5 e 2808 ± 4		2736 ± 9	Milagres (2013)
PN-3	Biotita gnaisse			2621 ± 5		Fonseca (2017)
<i>Complexo Mantiqueira</i>						
RP-1	Tonalito	3,0		2137±19		Noce et al. (2007)
LC70	Granodiorito	2,9		2044±4		Noce et al. (2007)
LC77	Granodiorito	3,1		2018±3		Noce et al. (2007)
LC79	Granito	2,9		2051±10	569±31	Noce et al. (2007)
LC78	Granodiorito	3,2		2051±12	570±36	Noce et al. (2007)
LC67	Tonalito	3,1		2137±20		Noce et al. (2007)
AV-1	Biotita gnaisse			2440 ± 11	2100 ± 3	Fonseca (2017)
AV-5	Saprólito			2501 ± 3		Fonseca (2017)
MA-2	Biotita gnaisse			2630 ± 43		Fonseca (2017)
BL-1	Augen gnaisse			2634 ± 3	1978 ± 3	Fonseca (2017)
BL-4	Biotita gnaisse			2648 ± 9	1994 ± 8	Fonseca (2017)
BL-5	Augen gnaisse			2665 ± 3		Fonseca (2017)
PF-2	Ep-bt gnaisse			2670 ± 10	2002 ± 4	Fonseca (2017)
ML-8	Biotita gnaisse			2678 ± 26		Fonseca (2017)
AV-3	Biotita gnaisse			2700 ± 10		Fonseca (2017)
PF-1A	Biotita gnaisse		2789 ± 10	2709 ± 4	2003 ± 5	Fonseca (2017)
MA-1	Leucognaisse			2738 ± 17		Fonseca (2017)
AV-2A	Biotita gnaisse			2778 ± 53		Fonseca (2017)
DV-3	Biotita gnaisse		3202 ± 14 e 2974 ± 5	2805 ± 16	2020 ± 14	Fonseca (2017)
AV-6	Leucognaisse			2812 ± 4		Fonseca (2017)
BA-3	Biotita gnaisse			3141 ± 21	2795 ± 26	Fonseca (2017)