



**UFOP**  
Universidade Federal  
de Ouro Preto

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



**ESCOLA DE MINAS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**O COMPLEXO BELA VISTA REVISITADO: UMA CONTRIBUIÇÃO  
AO CONHECIMENTO GEOLÓGICO DO SEGMENTO SUL DO  
QUADRILÁTERO FERRÍFERO**

Fernanda Rezende Moreira

**MONOGRAFIA nº 393**

Ouro Preto, Março de 2021



**O COMPLEXO BELA VISTA REVISITADO: UMA  
CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO GEOLÓGICO DO  
SEGMENTO SUL DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO**

---





**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**

**Reitora**

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

**Vice-Reitor**

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

**Pró-Reitora de Graduação**

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

**ESCOLA DE MINAS**

*Diretor*

Prof. Dr. Issamu Endo

*Vice-Diretor*

Prof. Dr. Hernani Mota de Lima

**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

*Chefe*

Prof. MSc. Edison Tazava



# MONOGRAFIA

Nº 393

## **O COMPLEXO BELA VISTA REVISITADO: UMA CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO GEOLÓGICO DO SEGMENTO SUL DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO**

Fernanda Rezende Moreira

*Orientador*

Prof. Dr. Marco Antonio Fonseca

*Co-Orientadora*

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Sílvia Carvalho Barbosa

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2021/2.

OURO PRETO  
2021

---





Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>  
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>  
Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>  
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita  
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais  
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606

Direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Revisão geral: Fernanda Rezende Moreira  
Marco Antonio Fonseca

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do  
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

### SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M838c Moreira, Fernanda Rezende.

O Complexo Bela Vista revisitado [manuscrito]: uma contribuição ao conhecimento geológico do segmento sul do Quadrilátero Ferrífero. / Fernanda Rezende Moreira. - 2021.

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

Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio Fonseca.

Coorientadora: Profa. Dra. Maria Sílvia de Carvalho Barbosa.

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

1. Geofísica. 2. Petrografia. 3. Complexos metamórficos . I. Barbosa, Maria Sílvia de Carvalho. II. Fonseca, Marco Antônio. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 550.3:552.4

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

<http://www.sisbin.ufop.br>

# Ficha de Aprovação

---

## TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO


**TÍTULO:** O COMPLEXO BELA VISTA REVISITADO: UMA CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO GEOLÓGICO DO SEGMENTO SUL DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

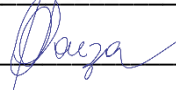
**AUTOR:** Fernanda Rezende Moreira

**ORIENTADOR:** Marco Antonio Fonseca

**Aprovado em:**

### BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marco Antonio Fonseca  DEGEO/UFOP

Profa. Dra. Maria Eugênia Silva de Souza  DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Maximiliano de Souza Martins  DEGEO/UFOP

Ouro Preto, 02/08/2021



## **Agradecimentos**

---

Agradeço primeiramente a minha família, por sempre me incentivarem a perseguir meus sonhos por terem sido a minha rocha durante a realização do curso e do presente trabalho.

Agradeço também à Universidade Federal de Ouro Preto e a Escola de Minas, pela oportunidade, e a todos os professores do Departamento de Geologia por todo o aprendizado e crescimento durante a graduação. Um reconhecimento especial ao Prof. Dr. Marco Antonio Fonseca e à Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Sílvia Carvalho Barbosa, pela orientação, compreensão, apoio e suporte oferecidos. Não sei descrever o quanto sou grata.

À república Maria Malagueta, meu eterno lar. Ex-alunas e moradoras, obrigada pela convivência, aprendizado e irmandade. Aos meus amigos e a “geogalera” pela amizade, estudos, campos e longas risadas.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação e da construção deste trabalho, o meu muito obrigado.



# SUMÁRIO

---

AGRADECIMENTOS.....	x
SUMÁRIO .....	xii
LISTA DE FIGURAS .....	xiv
LISTA DE TABELAS .....	xviii
RESUMO .....	xx
ABSTRACT .....	xxii
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 APRESENTAÇÃO .....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO .....	2
1.3 OBJETIVOS .....	4
1.4 JUSTIFICATIVA .....	4
1.5 METODOLOGIA .....	5
1.5.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
1.5.2 MAPEAMENTO GEOLÓGICO .....	5
1.5.3 CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA .....	5
1.5.4 ANÁLISE GEOFÍSICA .....	6
2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL .....	7
2.1 O QUADRILÁTERO FERRÍFERO NO CONTEXTO DO CRÁTON SÃO FRANCISCO .....	7
2.2 ARCABOUÇO ESTRATIGRÁFICO REGIONAL .....	8
2.3 EVOLUÇÃO GEOLÓGICA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO .....	10
3. GEOLOGIA LOCAL .....	13
3.1 TRABALHOS ANTERIORES .....	13
3.2 O COMPLEXO BELA VISTA: TRABALHOS ANTERIORES .....	15
3.3 ESTRATIGRAFIA LOCAL .....	17
3.3.1 SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS - GRUPO NOVA LIMA (DISTRIBUIÇÃO E PETROGRAFIA).....	17
3.3.2 GRANITOIDES .....	20
3.3.3 UNIDADES CORRELATAS AO SUPERGRUPO MINAS: FORMAÇÃO MOEDA E GRUPO PIRACICABA (DISTRIBUIÇÃO E PETROGRAFIA) .....	24
3.3.3.1 Formação Moeda .....	24
3.3.3.2 Grupo Piracicaba .....	25
3.4 GEOLOGIA ESTRUTURAL .....	30
3.4.1 ANÁLISE DESCRITIVA .....	30
3.4.1.1 Estruturas do Domínio Norte .....	30
3.4.1.2 Estruturas do Domínio Sul.....	31

4. GEOFÍSICA .....	33
4.1 MAGNETOMETRIA .....	33
4.1.1 MAGNETISMO DAS ROCHAS E MINERAIS .....	33
4.1.2 TRATAMENTO DE DADOS .....	35
4.1.3 ANÁLISE QUALITATIVA DOS DADOS MAGNÉTICOS .....	36
4.1.3.1 Mapa de amplitude do sinal analítico (ASA) .....	36
4.1.3.2 <i>TILT</i> .....	37
4.1.3.3 Mapa de derivadas .....	37
4.1.4 ANÁLISE QUANTITATIVA DOS DADOS MAGNÉTICOS .....	38
4.1.4.1 Análise da Deconvolução de Euler .....	39
4.2 RADIOMETRIA .....	40
4.2.1 RADIOATIVIDADE DAS ROCHAS E MINERAIS .....	40
4.2.2 ANÁLISE QUALITATIVA DOS MAPAS RADIOMÉTRICOS .....	41
4.2.2.1 Mapa Ternário .....	42
4.2.2.2 Mapas de Canais de Urânio e Tório .....	43
4.2.2.3 Mapa de Parâmetro F .....	45
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	47
6. CONCLUSÕES .....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55
ANEXO .....	58





## INDÍCE DE FIGURAS

---

<b>Figura 1.1</b> –Mapa de localização e acessos da área de estudo.....	3
<b>Figura 1.2</b> – Rota entre a cidade de Belo Horizonte à localidade de Bela Vista, próxima a Rodrigo Silva, MG. ....	4
<b>Figura 2.1</b> –Localização do Quadrilátero Ferrífero no Cráton do São Francisco. <b>8Error! Bookmark not defined.</b>	
<b>Figura 2.2</b> – Coluna estratigráfica proposta para o Quadrilátero Ferrífero. ....	10
<b>Figura 2.3</b> – Evolução esquemática em seções da evolução do terreno de domo e quilhas. ....	12
<b>Figura 3.1</b> – Mapa geológico e litológico do sistema de falhas do Sinclinal Dom Bosco, na porção sul do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. ....	13
<b>Figura 3.2</b> – Mapa geológico-estrutural do Sinclinal Dom Bosco; 1 - dique básico; 2 - Grupo Itacolomi; 3 - Grupo Piracicaba; 4 - Grupo Itabira; 5 - Grupo Caraça; 6 - SGRV; 7 - TGG ....	14
<b>Figura 3.3</b> – Perfil Geológico ao logo do Sinclinal Dom Bosco. ....	15
<b>Figura 3.4</b> –Mapa geológico do Complexo Bela Vista, QF, MG. ....	16
<b>Figura 3.5</b> –Mapa geológico da área do estudo.....	17
<b>Figura 3.6</b> – A) Afloramento de xisto do Grupo Nova Lima com cor de alteração avermelhada característica (Ponto 13) e B) Ponto evidenciado no mapa. ....	18
<b>Figura 3.7</b> – Amostra F1 pertencente ao Grupo Nova Lima A) à luz natural e B) à luz polarizada; A identificação dos minerais é dada por: Ser – sericita, Chl – clorita, Qz – quartzo.....	19
<b>Figura 3.8</b> – Biotita-quartzo-clorita xisto pertencente ao Grupo Nova Lima A) à luz natural e B) à luz polarizada. Os minerais possíveis de designação na imagem foram: Chl – clorita, Qz - quartzo..	20
<b>Figura 3.9</b> – A) Intrusão de granitoides vista em uma drenagem (Ponto 10) e B) Ponto evidenciado no mapa.....	20
<b>Figura 3.10</b> – Amostra F3 A)à luz natural e B) à luz polarizada. Os minerais possíveis de designação na imagem foram: Qz – quartzo, Kfs – feldspato potássico, Ser – sericita .....	21
<b>Figura 3.11</b> – Classificação do sienogranitóide através da análise modal evidenciada no Diagrama QAPF .....	21
<b>Figura 3.12</b> – Amostra F4A) à luz natural e B) à luz polarizada. Os minerais possíveis de designação na imagem foram: Qz – quartzo e Pl – plagioclásio.....	22

<b>Figura 3.13</b> – Classificação do granitóide rico em quartzo através da análise modal evidenciada no Diagrama QAPF .....	23
<b>Figura 3.14</b> – Intrusão vista em afloramento de leucogranito (Ponto 19) e B) Ponto evidenciado no mapa.....	24
<b>Figura 3.15</b> – Exposição em afloramento da Formação Cercadinho (Ponto 7) e B) Ponto evidenciado no mapa.....	25
<b>Figura 3.16</b> – Uma das poucas exposições do contato de topo entre Formação Fecho do Funil e Formação Cercadinho (Ponto 5) e B) Ponto evidenciado no mapa.....	26
<b>Figura 3.17</b> – Exposição de metadiamicititos com seixos de quartzito (Ponto 9) e B) Ponto evidenciado no mapa .....	27
<b>Figura 3.18</b> – Amostra F5 A) à luz natural e B) à luz polarizada. Os minerais possíveis de designação na imagem foram: Qz – quartzo e Ser – matriz sericítica.....	27
<b>Figura 3.19</b> – Afloramento da Formação Fecho do Funil (Ponto 3) e B) Ponto evidenciado no mapa.....	28
<b>Figura 3.20</b> – Hipótese para falhamento normal dos perfis geológicos esquemáticos A) da seção orientada N-S, representado no mapa por AA' e B)da seção NE-SW, representado no mapa por BB..	29
<b>Figura 3.21</b> –Hipótese para falhamento reverso dos perfis geológicos esquemáticos A) da seção orientada N-S, representado no mapa por AA e B)da seção NE-SW, representado no mapa por BB' ..	29
<b>Figura 4.1</b> – Histograma mostrando os valores médios e os intervalos de susceptibilidade dos tipos de rochas mais comuns. ....	34
<b>Figura 4.2</b> –Mapa de amplitude do sinal da região em estudo (evidenciada pela poligonal branca).....	36
<b>Figura 4.3</b> – Mapa TILT da região em estudo (evidenciada pela poligonal branca). ....	37
<b>Figura 4.4</b> – Mapas de derivadas. A) DY, B) DX, C) DZ e D) DZ2. ....	38
<b>Figura 4.5</b> – A) Mapa magnético com a localização do perfil 14 e mapa menor da area completa. B)Resultado da deconvolução de Euler do perfil. C) Interpretação geológica da deconvolução. ....	39
<b>Figura 4.6</b> –Abundâncias relativas de elementos radioativos em diferentes tipos de rochas. ....	41
<b>Figura 4.7</b> –A) Mapa ternário da região, com o mapa geológico realizado superposto e B) Mapa ternário com a área em estudo evidenciada pela poligonal branca.. ....	43
<b>Figura 4.8</b> –Mapa radiométrico, canal Urânio da região em estudo. ....	44
<b>Figura 4.9</b> – Mapa radiométrico, canal Tório da região em estudo. ....	44

<b>Figura 4.10</b> – Mapa radiométrico, Fator F da região em estudo. ....	45
<b>Figura 5.1</b> – Mapa base da região e mapa geológico realizado em campo.....	47
<b>Figura 5.2</b> – Representação da hipótese de falhamento normal nas seções A) orientada N-S e B) orientada NE-SW. ....	50
<b>Figura 5.3</b> –Representação da hipótese de falhamento reverso da seção orientada N-S .....	49

## ÍNDICE DE TABELAS

---

<b>Tabela 3.1</b> – Atitudes observadas nos afloramentos do Grupo Piracicaba. ....	30
<b>Tabela 3.2</b> – Atitudes da xistosidade do Grupo Nova Lima. ....	31
<b>Tabela 4.1</b> – Filtros de Fourier e finalidades geofísicas no tratamento e interpretação dos dados aerolevantados. ....	35



## Resumo

---

O embasamento cristalino do Quadrilátero Ferrífero é formado por complexos granito-gnáissico-migmatíticos do tipo TTG (protólitostonalito-trondhjemitó-granodiorito) e são encontrados dispostos na forma de domos (e.g. Complexo de Bação) e também domos periféricos (Bonfim, Caeté, Belo Horizonte, dentre outros). Há, descrito na literatura, um complexo denominado Bela Vista cuja caracterização, seja do ponto de vista composicional e de sua relação com as supracrustais ainda não é clara. O Complexo Bela Vista foi descrito na porção sul do Quadrilátero Ferrífero (quadrícula de Dom Bosco – Ouro Branco) tendo sido objeto da presente investigação. Duas seções geológicas realizadas ao longo da zona de exposição do complexo e de unidades adjacentes foram realizadas bem como foram analisados alguns afloramentos periféricos. A primeira, secção, orientada norte sul, mostrou que, na zona de ocorrência do Complexo Bela Vista afloram essencialmente biotita clorita xistos e sericita xistos, os quais foram atribuídos ao Grupo Nova Lima. Não foram identificadas exposições do embasamento. Todo este conjunto faz contato ao norte com rochas atribuídas ao Grupo Piracicaba. A discriminação da natureza deste contato é ainda uma questão em aberto, face à sua não exposição. A segunda secção interceptou a zona de ocorrência do complexo em sua porção a oeste. Foi verificada a ocorrência dos mesmos xistos acima reportados e também não foram identificadas rochas atribuídas ao embasamento. Estudos geofísicos de magnetometria mostram três porções principais de anomalias magnéticas, sendo duas de altos valores de magnetismo, na porção norte e na porção sudoeste, e uma de baixos valores, na porção central da área de estudo. Por outro lado, a execução da deconvolução de Euler, tendo por base os dados de amplitude do sinal analítico mostrou evidências de importante descontinuidade na zona de contato entre as unidades arqueanas e paleoproterozoicas. Os dados radiométricos evidenciaram também os domínios propostos para região. Uma ocorrência de metadiamictos com matriz filítica e blocos e calhaus de quartzito foi mapeada e posicionada na base da Formação Cercadinho. Trata-se de um tipo litológico cujo posicionamento estratigráfico não corrobora com a literatura, pois a formação deste tipo de depósito não é decorrente dos processos sedimentares ao tempo do início da sedimentação do Grupo Piracicaba. Portanto, se configura numa questão que requer investigação adicional. Os dados geológicos (petrográficos e estruturais) coligidos não corroboraram, portanto, a existência de uma fração de exposição do embasamento do Quadrilátero Ferrífero. Ao contrário, ocorrem predominantemente rochas de natureza supracrustal, atribuídas ao Grupo Nova Lima. Desta forma, fica recomendado que seja abolido o uso do litodema Complexo Bela Vista bem como a refeita a cartografia desta parte do segmento sul do Quadrilátero Ferrífero.

**Palavras chaves:** Sinclinal Dom Bosco, Complexo Bela Vista, embasamento.



## Abstract

---

The crystalline basement of the Quadrilátero Ferrífero is formed by TTG type granite-gneissic-migmatitic complexes (tonalite-trondhjemite-granodiorite protolites). They are found arranged in the form of domes (eg Complex de Bação) and peripheral domes (Bonfim, Caeté, Belo Horizonte, among others). Another complex called Bela Vista has been described in the literature, whose characterization, whether from the compositional point of view and its relationship with the supracrustals, is not yet clear. The Bela Vista Complex was described in the southern portion of the Quadrilátero Ferrífero (Dom Bosco grid - Ouro Branco) and was the subject of the present investigation. Two geological sections were made along the area of exposure of the complex and its adjacent units. Furthermore, some peripheral outcrops were analyzed. The first, section, oriented north south, showed that, in the area of occurrence of the Bela Vista Complex, essentially occurs schists attributed to the Nova Lima Group. Basement exposures were not identified. This whole group makes contact to the north with rocks attributed to the Piracicaba Group. Discriminating the nature of this contact is still an open question, given its non-exposure. The second section intercepted the area of occurrence of the complex in its western portion. Likewise, no rocks that could be attributed to the basement have been identified. Geophysical studies of magnetometry show three main portions of magnetic anomalies, two of which have high values of magnetism, in the north and southwest, and one of low values, in the central portion of the study area. They corroborate the cartography carried out and the proposed subdivision of the domains. On the other hand, the execution of Euler's deconvolution, based on the amplitude data of the analytical signal, showed evidence of an important discontinuity in the contact zone between the archaean and paleoproterozoic units. The occurrence of metadiamictos with phyllitic matrix and blocks and quartzite pebbles was mapped and positioned at the base of the Cercadinho Formation. It is a lithological type whose stratigraphic position is not in accordance with the literature, since the formation of this type of deposit is not due to the sedimentary processes at the time of the beginning of the sedimentation of the Piracicaba Group. Therefore, it is an issue that requires further investigation. The geological data (petrographic and structural) collected did not corroborate the existence of a fraction of exposure of the basement of the Quadrilátero Ferrífero. On the contrary, there are predominantly rocks of a supracrustal nature, attributed to the Nova Lima Group. Thus, it is recommended that the use of the Bela Vista Complex lithodema be abolished and a cartographic revision of this part of the Quadrilátero Ferrífero be made.

**Keywords:** Dom Bosco Syncline, Bela Vista Complex, basement.







# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

---

### 1.1 APRESENTAÇÃO

Domos gnáissicas são feições orogênicas da crosta continental e têm demandado atenção de vários pesquisadores. Eles foram caracterizados sistematicamente por Eskola (1949), que os definiu como um complexo de “plutons” metamórficos em um núcleo, este por sua vez circundado e superposto por rochas supracrustais. Estas feições, comuns em núcleos cratônicos são bastante expressivas no Quadrilátero Ferrífero.

Desde os trabalhos pioneiros no início do século XX, a presença de estruturas dômicas é reportada nesta região. Basta examinar os mapas mais antigos, com a nítida presença do Complexo Bação. Dorr (1969) bem caracterizou a feição desses terrenos ao designar o Quadrilátero Ferrífero como uma ilha de rochas metassedimentares em meio a um mar de rochas graníticas.

Herz (1978) os descreveu como grandes massas de rochas graníticas e gnáissicas intrudindo a cobertura metassedimentar na forma de núcleos de domos em estruturas anticlinoriais. Ele reportou domos a oeste da serra do Curral, a leste da serra de Itabirito (na região de Cachoeira do Campo e Engenheiro Correia), a leste de Caeté e norte da serra de Tamanduá; ao sul de Jeceaba, a norte da Serra do Curral e Serra da Piedade, a leste de Santa Bárbara e na região de Itabira e João Monlevade.

Com base na composição e idades então disponíveis, Herz (1978) classificou as rochas constituintes em quatro grupos: Grupo I: Granodiorito Engenheiro Correa, II Gnaiss Itabirito, III Granitos Jovens tipo Borrachudos e IV granitos mistos e mais jovens. A descrição de Herz da principal disposição desses terrenos levou ao consenso atual a seguinte classificação e distribuição dos principais domos: Bação (ao centro), Santa Bárbara (a leste), Caeté e Belo Horizonte (ao norte), Bonfim (a oeste e sudoeste), Divinópolis (a oeste) e Santo Antônio do Pirapetinga a sul-sudeste.

Farina *et al.* (2015) caracterizam basicamente a composição destes domos em gnaisses finos que registram metamorfismo de fácies anfíbolito, com formação de trama secundária (foliação gnáissica). Estes são por sua vez intrudidos por leucogranitos e granitos médios à grossos. Estas

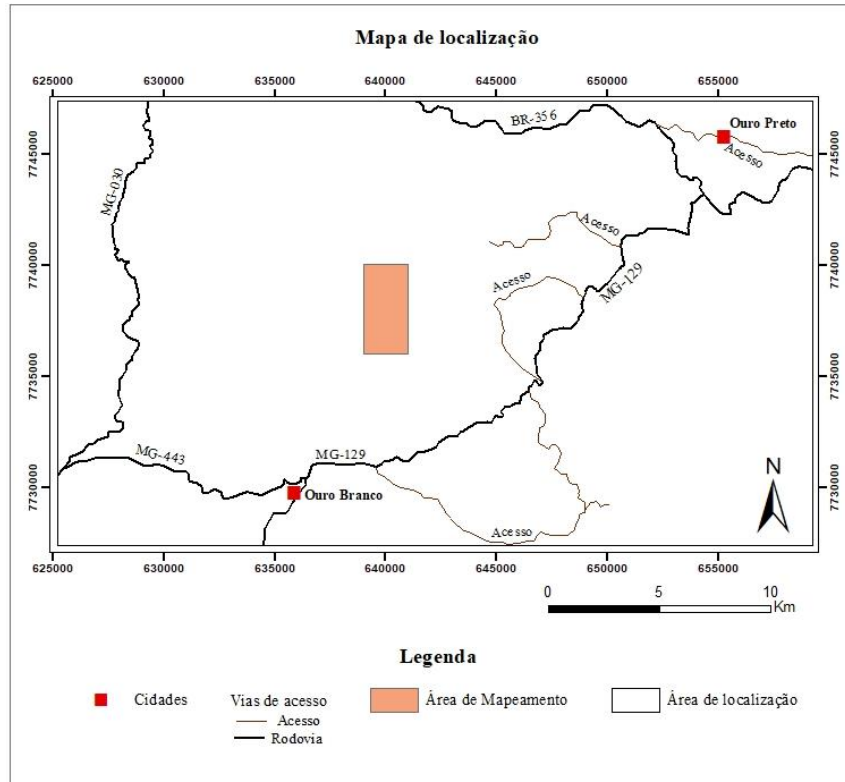
rochas se constituem no embasamento do Quadrilátero Ferrífero e se formaram a partir de sucessivos ciclos de geração crustal de terrenos TTG, como o Santa Bárbara, Rio das Velhas I e Rio das Velhas II, evento no período de tempo compreendido entre 3220 e 2770 Ma (Lana *et al.* 2013, Farina *et al.* 2015). Esses três episódios são seguidos por um período de intensa migmatização e fusão parcial com geração de granitoides potássicos, em torno de 2750-2700 Ma, durante o denominado evento Mamona (Farina *et al.* 2015).

Referências a presença de rochas do embasamento gnáissico junto ao flanco sul do Sinclinal Dom Bosco, ao sul da quadrícula de Dom Bosco e, portanto, fora dos sítios anteriormente descritos, foram reportadas por Magalhães & Fonseca (1984). Foi mencionada pelos autores a ocorrência de gnaisses com aspecto milonítico, com núcleos de quartzo estirado. Mineralogicamente são compostos de quartzo, plagioclásio, microclina, mica branca e textura milonítica. Essas rochas estariam em contato com o Supergrupo Rio das Velhas. Foi proposto por Pires & Fraga (1985) a ocorrência na região de um novo domo gnáissico, na forma de um corpo elíptico com eixo maior de aproximadamente 4 km e menor de 2 km, situado ao norte da serra de Ouro Branco. Este corpo foi designado de Complexo Bela Vista, com composição dominante de gnaisses cataclásticos e miloníticos, com paragênese quartzo, microclina, plagioclásio, biotita e clorita.

Desde os trabalhos de meados da década de 1980, não se procurou avançar no conhecimento desta fração do embasamento. Sobretudo de sua composição, natureza, contatos e especialmente de sua posição não usual, de certa forma, mais próxima do núcleo do Sinclinal Dom Bosco. Desta forma, o presente projeto contribui para o conhecimento do Complexo Bela Vista, utilizando técnicas tradicionais de mapeamento geológico, aliadas à estudos geofísicos, que podem subsidiar informações a respeito da geometria do corpo do embasamento e seus contatos com as supracrustais bordejantes.

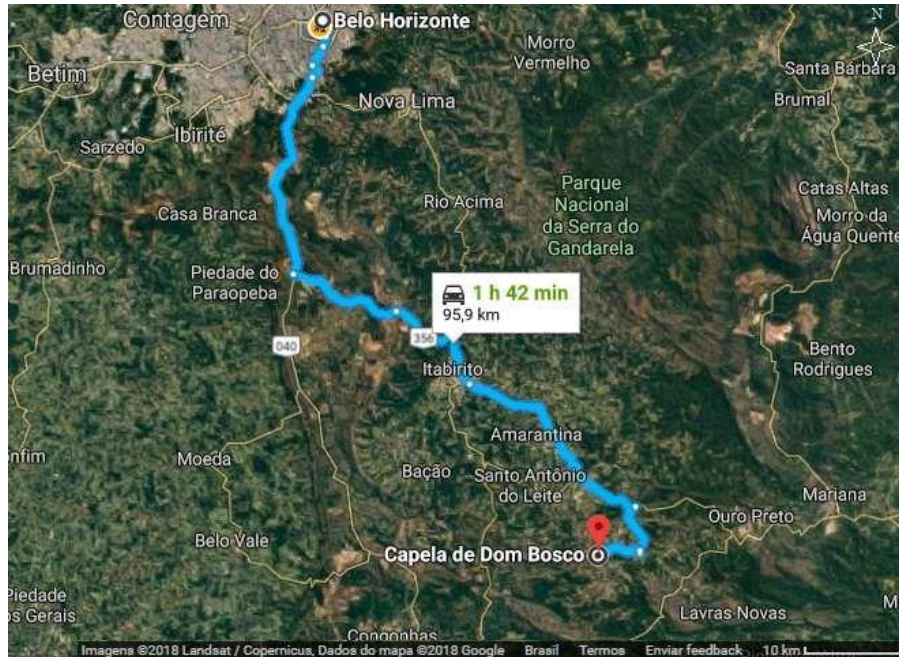
## **1.2 LOCALIZAÇÃO**

A região analisada situa-se no sudeste do Brasil, porção centro-sudeste do estado de Minas Gerais e está localizada próximo ao distrito de Rodrigo Silva, à sudoeste da cidade de Ouro Preto e a nordeste da cidade de Ouro Branco, representada na Figura 1.1. A área situa-se na folha Ouro Preto SF.23-X-A-III (CODEMIG, 2017) na escala 1:100.000 como também na Quadrícula de Dom Bosco (Escala 1:25.000).



**Figura 1.1**– Mapa de localização e acessos da área de estudo. Fonte: modificada do Google Maps, 2018.

Tomando como referência a capital de Minas Gerais, Belo Horizonte, a área em estudo se encontra à sudeste e pode ser visitada a partir da rodovia federal BR-356 até o Distrito de Cachoeira do Campo. Em seguida, toma-se uma estrada não pavimentada para sul, até o local em questão. A Figura 1.2 mostra este trajeto, finalizando o mesmo no local chamado Bela Vista (localizada alguns quilômetros ao sul da estação de Dom Bosco da antiga Estrada de Ferro Central do Brasil).



**Figura 1.2**– Rota entre a cidade de Belo Horizonte à localidade de Bela Vista, próxima a Rodrigo Silva, MG. Fonte: modificada do Google Maps, 2018.

### 1.3 OBJETIVOS

O objetivo primordial deste trabalho é atualizar o conhecimento geológico acerca do Complexo Belo Vista, ampliando os conhecimentos sobre o mesmo sob seguintes aspectos: natureza dos litotipos que o compõem, sua real extensão areal bem como a natureza dos seus limites com as supracrustais.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

Desde sua proposição por Pires e Fraga (1985) não foram mais registradas outras investigações sobre o Complexo Bela Vista. Desta forma, não se sabe exatamente qual a sua natureza. Seria o mesmo um complexo periférico que circunda o Quadrilátero Ferrífero em sua porção sul, como parte integrante do Complexo de Santo Antônio de Pirapetinga, ou se trata de um fragmento de embasamento entremeado entre as supracrustais? Várias questões decorrem das hipóteses acima. Se constitui em um complexo periférico ao sul, seria a mesma parte do Complexo Santo Antônio de Pirapetinga ou não? Se o mesmo se constitui em fragmentos do embasamento enfeixados entre as supracrustais, por que razão aí estariam, ou seja, junto ao núcleo de uma calha sinformal? Como se explicaria o posicionamento de um fragmento crustal do embasamento, de

natureza dômica, no núcleo de uma estrutura sinformal, o que se configura num nítido contrassenso, uma vez que, por óbvio, é provável que os mesmos se exponham no núcleo de estruturas antiformais erodidas? Existiriam elementos que corroborassem alguma correlação com o Complexo Bação, cuja exposição está poucos quilômetros ao norte? Sua composição guardaria alguma semelhança com este complexo? Todas estas questões merecem, portanto, a atenção da presente investigação, justificando assim sua realização.

## **1.5 METODOLOGIA**

O trabalho foi realizado conforme os itens descritos a seguir.

### **1.5.1 Revisão bibliográfica**

Esta etapa constou da revisão integral do acervo bibliográfico interessando o Complexo Bela Vista, o Sinclinal Dom Bosco bem como publicações acerca da evolução do Quadrilátero Ferrífero.

### **1.5.2 Mapeamento Geológico**

O projeto de mapeamento foi concebido através do levantamento de seções geológicas na escala de 1:10.000, utilizando-se a base topográfica 1:10:000 do Quadrilátero Ferrífero (ampliação da SF.23-X-A-III- 4-SO - Folha Dom Bosco 1:25:000). As seções tiveram orientação preferencial norte sul e nordeste sudoeste.

O exame dos contatos do complexo com as supracrustais foi feito mediante o levantamento detalhado da zona de contato ao norte e sul. Os dados são sintetizados em base topográfica na escala de 1:25:000. Durante o mapeamento foram observadas as litologias e estruturas presentes.

### **1.5.3 Caracterização petrográfica**

A caracterização petrográfica foi realizada a partir de descrições microscópicas dos litotipos aflorantes do local. Assim se obteve uma melhor caracterização dos materiais envolvidos bem como uma eventual melhor caracterização da trama. O foco dos estudos foram principalmente as rochas de natureza supracrustal, visto que rochas do embasamento não foram encontradas.

#### **1.5.4 Análise geofísica**

Estudos geofísicos foram realizados com base nos métodos magnetométrico e radiométrico. A magnetometria, neste caso permite discriminar as principais estruturas regionais e eventuais limites do Complexo Bela Vista. A análise radiométrica terá sua principal utilidade como suporte ao mapeamento geológico e estrutural, discriminando eventuais zonas de alteração hidrotermal. Os mapas foram gerados a partir do *software* Oasis Montaj que permite tratar os dados aerolevantados, empregando-se uma seqüência de filtros para a geração dos mapas de derivadas (mapa de gradiente vertical de primeira e segunda ordem em Z e de primeira e segunda ordem em X e Y) e do mapa de amplitude do sinal analítico (ASA), além da confecção de mapas radiométricos. A base de dados é a do convênio CODEMIG/CPRM - Área 2.



## CAPÍTULO 2

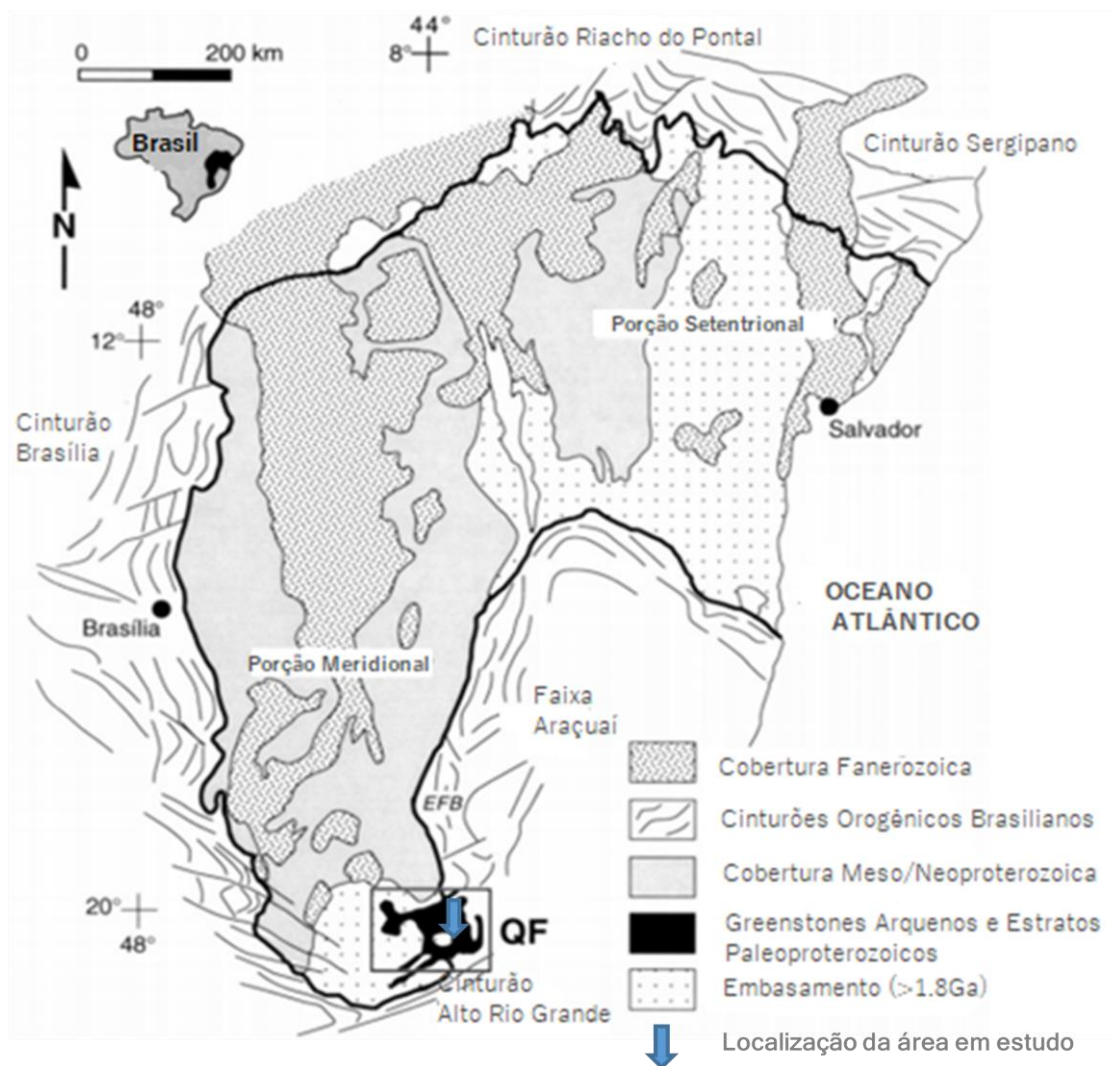
### CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

---

#### 2.1 O QUADRILÁTERO FERRÍFERO NO CONTEXTO DO CRÁTON SÃO FRANCISCO

O Quadrilátero Ferrífero (QF) localiza-se na parte central do estado de Minas Gerais e ocupa uma área aproximada de 7000 km<sup>2</sup>. Em termos geotectônicos, está localizado na borda sul do Cráton São Francisco (Almeida 1977), uma unidade geotectônica de idade Brasiliana cercada por cinturões orogênicos vergentes para seu interior. Este Cráton é definido como um núcleo antigo delimitado por cinturões tectônicos relacionados à orogênese Brasiliana, onde ao sul e oeste encontra-se a faixa Brasília, à noroeste a faixa Rio Preto, a faixa Riacho do Pontal e Sergipana ao norte e a faixa Araçuaí à sudeste (Alkmim 2004).

O nome Quadrilátero Ferrífero decorre do arranjo grosseiramente quadrangular de sinclinais onde afloram sedimentos plataformais do Supergrupo Minas, de idade Paleoproterozoica, separados por estruturas antiformais irregulares com terrenos arqueanos do tipo *greenstone* do Supergrupo Rio das Velhas, e domos de rochas cristalinas Meso a Neoarqueanas. (Machado *et al.* 1992, Machado & Carneiro 1992) incluindo gnaisses, granitos, metatonalitos e sienogranitos, pegmatitos, anfíbolitos, ultramáficas, além de supracrustais metamorfisadas na fácies anfíbolito. A porção sudeste do Cráton, por sua vez, é bordejada pelos cinturões móveis com a Faixa Araçuaí delimitando as margens nordeste e leste, enquanto a Faixa Alto Rio Grande marca o limite sudeste (Figura 2.1).



**Figura 2.1** – Localização do Quadrilátero Ferrífero no Cráton São Francisco. Fonte: Traduzido de Alkmim & Marshak (1998).

## 2.2 ARCABOUÇO ESTRATIGRÁFICO REGIONAL

O embasamento do Quadrilátero é composto por gnaisses e migmatitos do tipo TTG (protólitostonalito-trondhjemitó-granodiorito) dispostos na forma de domos (e.g. Bação, Bonfim, Congonhas, Caeté- Santa Bárbara e Belo Horizonte) entremeados por quilhas onde se encontra o Supergrupo Rio das Velhas.

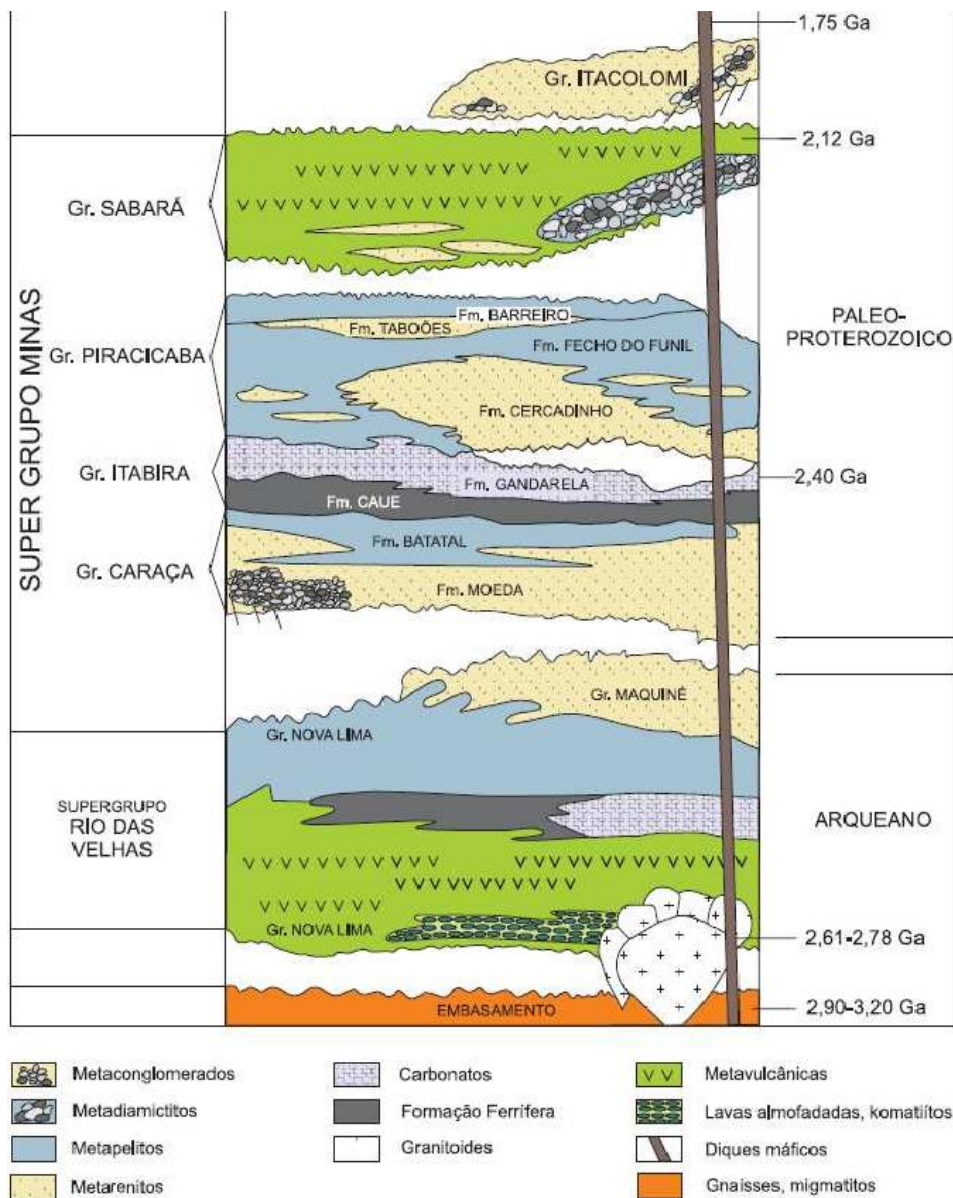
Tais fragmentos do embasamento mostram complexa evolução: após a consolidação da crosta siálica primitiva durante o denominado evento Santa Bárbara 3.220 Ma, Lana *et al.* (2013), diversos processos colisionais e acrecionários foram bem delineados. Lana *et al.* (2013) identificaram pelo menos 3 grandes ciclos (de acreção e colisão), situados no intervalo de 2930 a 2850Ma, os

denominados eventos Rio das Velhas I e Rio das Velhas II. Esses três eventos são seguidos por um período de intensa migmatização e fusão parcial com geração de granitoides potássicos, em torno de 2750-2700 Ma, durante o denominado evento Mamona (Farina *et al.* 2015).

O Supergrupo Rio das Velhas consiste em uma seqüência metavulcano-sedimentar, de idade arqueana (Machado *et al.* 1992), composta pelos Grupos Quebra Ossos (base), Nova Lima (intermediário) e no topo o Grupo Maquiné. A unidade metavulcânica é marcada por serpentinitos, esteatitos, talco xistos, basaltos e komatiitos, enquanto que a metassedimentar inclui *metacherts*, quartzitos impuros e metaconglomerados (Ladeira 1980).

O Supergrupo Minas, com idade Arqueana - Paleoproterozoica de 2,6–2,1 Ga (Machado *et al.* 1992, Dorr 1969, Renger *et al.* 1994), é uma unidade metassedimentar composta por metarenitos, metaconglomerados, metapelitos, itabiritos ou BIF's (Formação Cauê), mármore (Formação Gandarela), metadiamictitos e rochas metavulcânicas do grupo Sabará, (Noce 1996, Carneiro *et al.* 1992, Renger *et al.* 1995, Machado *et al.* 1992), unidades depositadas sobre hiato deposicional posterior ao Supergrupo Rio das Velhas.

O Grupo Itacolomi, unidade mais recente da coluna estratigráfica, tem idades discordantes encontradas por Hartmann *et al.* (2006) de  $2143 \pm 16$  Ma e Machado *et al.* (1996) de  $2039 \pm 42$  Ma até  $2059 \pm 58$  Ma. Separado do Supergrupo Minas por uma inconformidade regional, aflora apenas nas porções sudeste e sul do Quadrilátero Ferrífero, repousando de forma descontínua sobre as outras unidades litoestratigráficas (Alkmim 2004), e é composto por metarenitos e metaconglomerados (Dorr 1969). Por fim, todo o Quadrilátero Ferrífero é cortado por rochas máficas (1,75 Ga). A tabela da Figura 2.2, resume a litoestratigrafia regional.



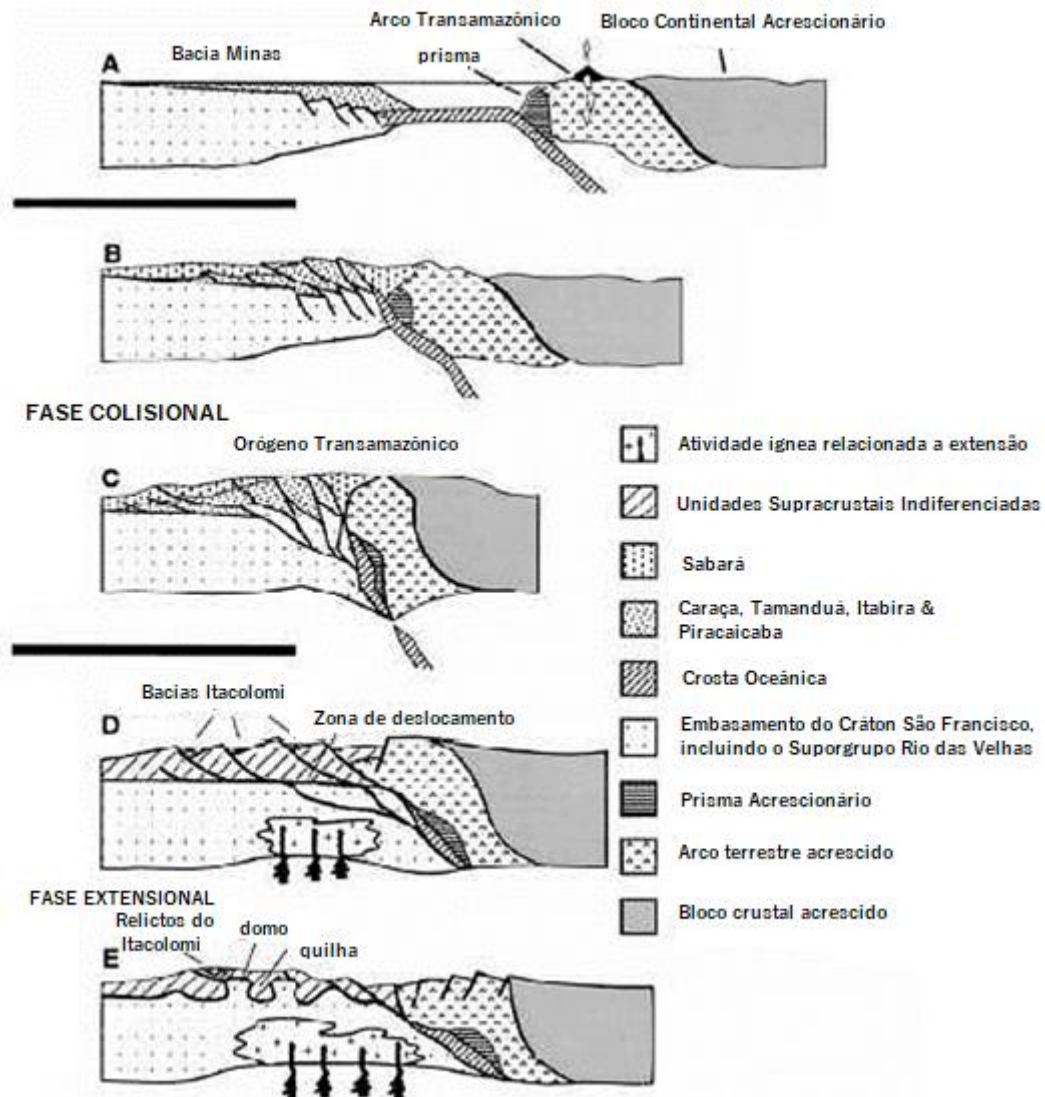
**Figura 2.2**—Coluna estratigráfica proposta para o Quadrilátero ferrífero. Fonte: Alkmim & Marshak (1998).

### 2.3 EVOLUÇÃO GEOLÓGICA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

De acordo com Dorr (1969), três eventos principais seriam responsáveis pela estruturação do Quadrilátero Ferrífero. Estes seriam: O primeiro deles afetaria apenas o Supergrupo Rio das velhas e seria de idade Arqueana. O segundo evento envolveria arqueamentos e soerguimentos no Supergrupo Minas, ocorrendo ao final do Paleoproterozoico. Por fim, após a deposição dos sedimentos do Grupo Itacolomi, teria ocorrido o terceiro evento que teria afetado toda a seqüência do Quadrilátero e formado sinformes e antifformes.

Três eventos teriam sido responsáveis pela estruturação do Quadrilátero Ferrífero segundo Endo (1997) e Fragoso *et al.* (1998): i) O Ciclo Jequié (entre 2780-2560 Ma), de idade arqueana – paleoproterozoica teria sido responsável pela deformação dos Grupos Quebra Osso, Nova Lima e Maquiné. Ao seu término teria ocorrido importante ciclo de magmatismo como a colocação de plutons calcioalcalinos ii) O Transamazônico teria alternância em fases compressivas e extensionais, compreendendo quatro fases deformacionais. A primeira, de caráter compressional de NE para SW, responsável pela inversão da bacia Minas. A segunda, de caráter extensional com esforço NW para SE, responsável pela origem dos domos metamórficos. A terceira tem caráter compressional, porém com vergência NW. Já a quarta seria de regime extensional com esforço para SE, o que levou à intrusão de diques máficos e inversão da bacia Itacolomi; iii) O Ciclo Brasileiro possui um regime transpressivo e atuou com duas fases compressivas. A primeira com estruturas vergentes para NW e cinemática dextral e a segunda marcada por cinemática transpressional sinistral com encurtamento SSE-NNW.

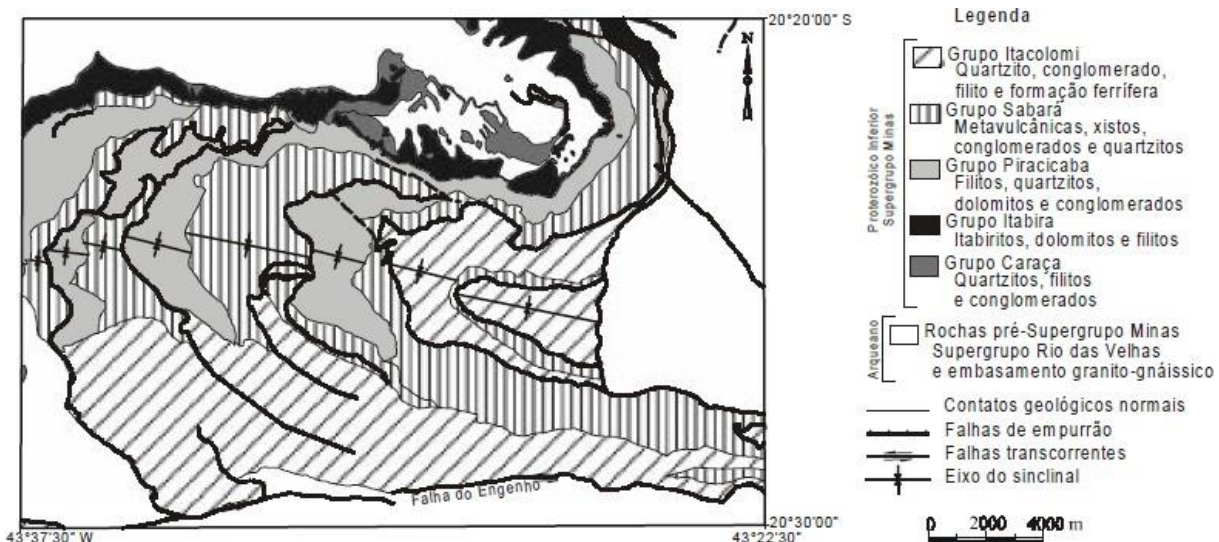
Segundo Alkmim & Marshak (1998), o modelo de domos e quilhas marca a evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero. Neste modelo, o embasamento tem papel fundamental. São sugeridos três eventos de deformação para explicar a evolução do arcabouço estrutural, a partir do Paleoproterozoico (Figura 2.3.): i) D1 é o primeiro evento, afetou o Supergrupo Minas e relaciona-se à orogênese Transamazônica; a 2.1. Ga. ii) D2 segundo evento deformacional e se associa ao colapso da cadeia Transamazônica com a ascensão do embasamento, gerando a tectônica de domos e quilhas. iii) por fim, o terceiro episódio, também de natureza contracional, deformaria as estruturas pré-existentes com a formação de falhas de empurrão, dobras mesoscópicas e reativação de zonas de cisalhamento. Este último teria idade Neoproterozoica.



**Figura 2.3**—Evolução esquemática em seções da evolução do terreno de domo e quilhas. Fonte: Traduzido de Alkmim & Marshak (1998).

### 3.1 TRABALHOS ANTERIORES

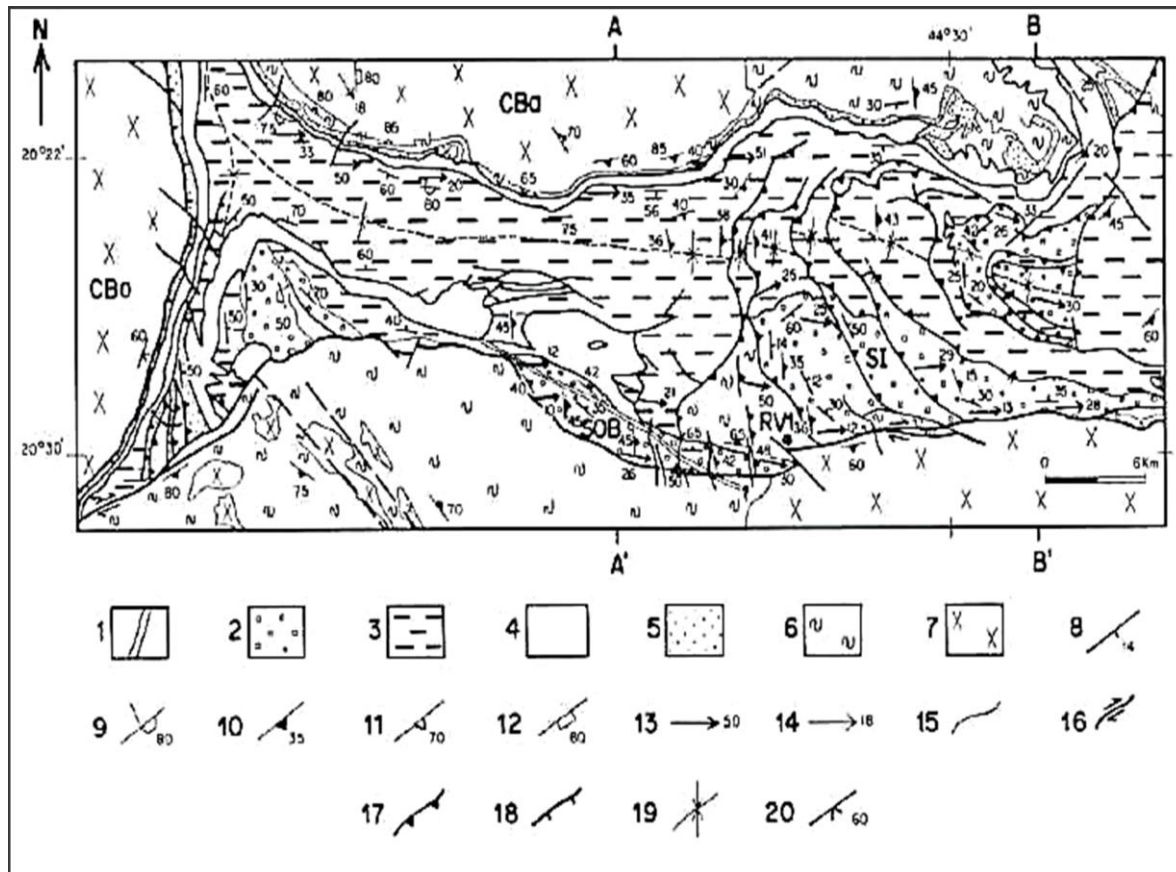
A porção sul do Quadrilátero Ferrífero, região central de Minas Gerais, é dominada pelo Sinclinal Dom Bosco (Johnson 1962, Dorr 1969, Barbosa 1969). Trata-se de um complexo sinclinal de traço axial aproximadamente E-W no interior do qual ocorre um sistema de falhas voltadas para oeste (Rolim 2016) (Figura 3.1). Estas falhas se articulam, a sul, à Falha do Engenho (Guild 1957), que ocorre em todo o flanco sul da sinclinal. Ao norte, as falhas internas conectam-se a uma zona de cisalhamento dúctil instalada na aba norte do sinclinal e que envolvem, na Serra de Ouro Preto, as rochas das Formações Moeda, Batatal e a porção basal da Formação Cauê do Supergrupo Minas.



**Figura 3.1** – Mapa geológico e litológico do sistema de falhas do Sinclinal Dom Bosco, na porção sul do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Mapa compilado de Johnson (1962), Dorr (1969) e Barbosa (1969), com modificações.

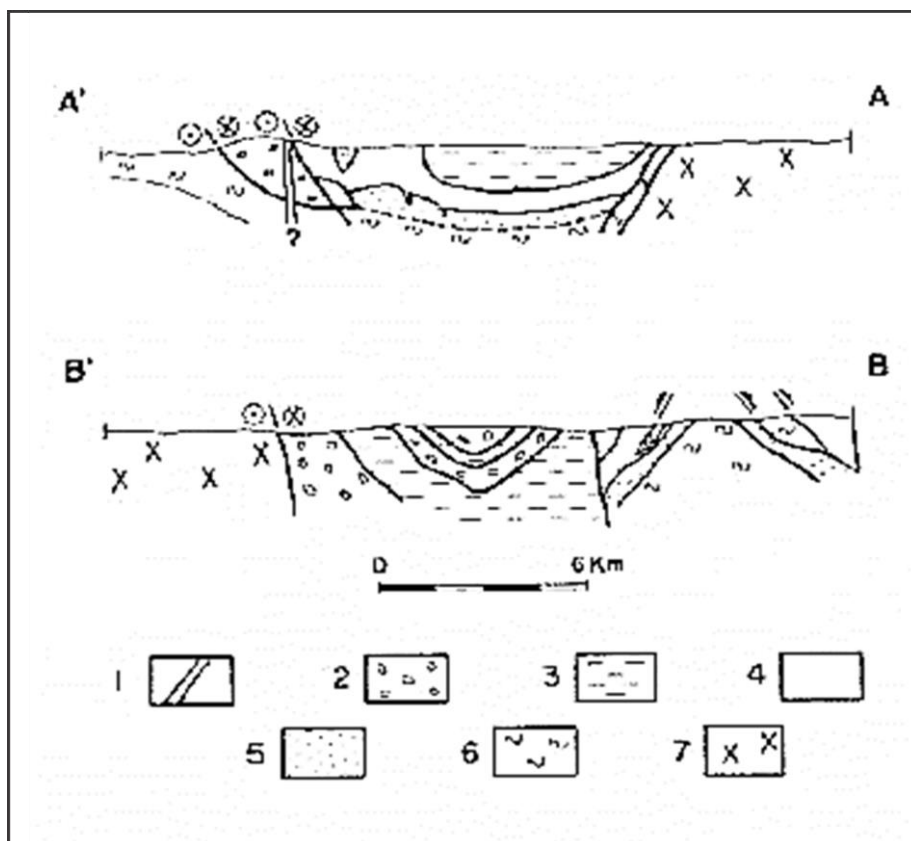
O Sinclinal Dom Bosco é composto principalmente por unidades atribuídas ao Supergrupo Minas (filitos, quartzitos e itabiritos), com cavalgamentos representados por uma geometria de rampas e patamares e falhas direcionais associadas. Tais estruturas encontram-se superpostas em uma disposição sinformal de eixo E-W (Figuras 3.2 e 3.3). Essa megaestrutura une-se diretamente ao Sinclinal Moeda no seu extremo oeste, caracterizando assim uma continuidade física entre ambos. Quando próximo ao Complexo Bação, o flanco norte desse sinclinal encontra-se bem preservado, ao contrário de seu flanco sul, intensamente recortado por falhas secundárias e por intensa supressão e repetição de camadas.

O evento deformacional responsável por esses falhamentos caracteriza-se por possuir três famílias de estruturas: a primeira em regime dúctil e a segunda e a terceira em regime rúptil-dúctil a dúctil-rúptil. Tais estruturas foram geradas pelos deslocamentos de massas de E para W durante o Brasiliano de acordo com Belo de Oliveira & Vieira (1987).



**Figura 3.2**—Mapa geológico-estrutural do Sinclinal Dom Bosco (modificado de Dorr 1969); 1 - dique básico; 2 - Grupo Itacolomi; 3 - Grupo Piracicaba; 4 - Grupo Itabira; 5 - Grupo Caraça; 6 - SGRV; 7 - TGG; 8 - acamamento primário; 9 - acamamento invertido; 10 - foliação; 11 - bandamento gnáissico; 12 - fratura; 13 - lineação de estiramento; 14 - lineação mineral; 15 - contato; 16 - falha direcional; 17 - empurrão; 18 - zona de falha extensional; 19 - sinclinal; 20 - foliação extensional; CBo - Complexo Bonfim; SI - Serra de Itatiaia; SOB - Serra de Ouro Branco. Fonte: Chemale Jr, 1991.





**Figura 3.3** – Perfil Geológico ao logo do Sinclinal Dom Bosco (localização e legenda, Figura 3.2). Chemale Jr (1991).

### 3.2 O COMPLEXO BELA VISTA: TRABALHOS ANTERIORES

As primeiras referências à ocorrência de rochas que poderiam ser atribuídas ao embasamento naquela região cabem a Magalhães & Fonseca (1984). Junto à faixa de exposição de quartzitos da Formação Moeda mapeada por Johnson (1962), eles descreveram pequenos corpos de gnaisses milotonizados entremeados a sericita e clorita xistos que mapearam como pertencentes ao Grupo Nova Lima.

Pires & Fraga (1985) estudaram a área e propuseram a designação formal de Complexo Bela Vista, como uma fração do embasamento na porção centro sul do Quadrilátero Ferrífero. Esta estrutura ocorre na forma de um corpo elipsóide (eixo maior aproximadamente de 4km orientado E-W e eixo menor de 2km, orientado norte sul), conforme representado na Figura 3.4. A área havia sido anteriormente cartografada na escala 1:25:000 por Johnson (1962) como uma faixa semicircular de afloramento de rochas atribuídas à Formação Moeda, formação esta que estaria em contato normal com metassedimentos do Grupo Piracicaba. No esboço de delimitação do complexo, os contatos ao norte e a oeste se fazem com rochas atribuídas ao Supergrupo Minas (Pires & Fraga 1985). À leste e sudeste, o contato seria feito com o Grupo Nova Lima (Figura 3.4). Em ambos os casos, os contatos com as supracrustais foram cartografados como contatos normais.

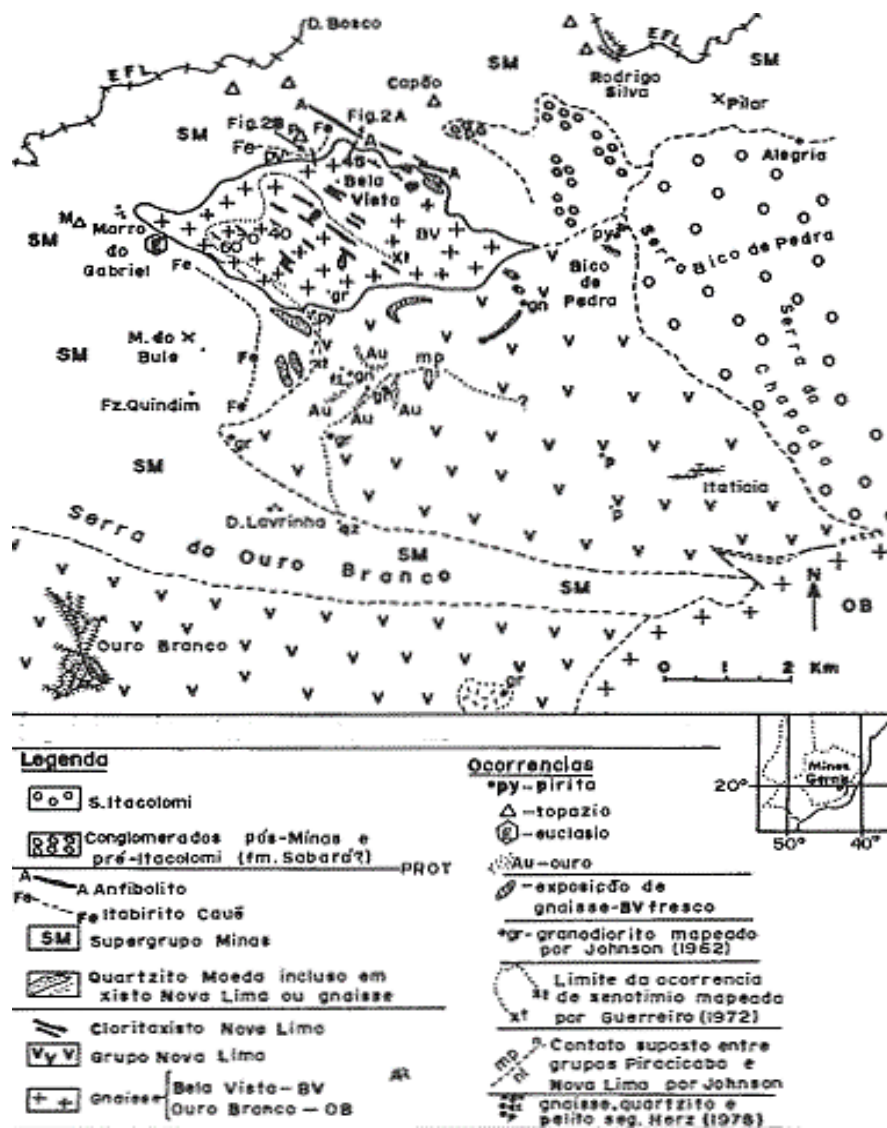


Figura 3.4—Mapa geológico do Complexo Bela Vista, QF, MG. Fonte: Pires & Fraga (1985).

Do ponto de vista composicional, Pires & Fraga (1985) descreveram gnaisses miloníticos e cataclásticos, entremeados a faixas métricas de xistos verdes, sericitas xistos, quartzo xistos e quartzitos. Este conjunto de rochas ainda é cortado por veios de quartzo, diques ou pequenos corpos de granodioritos. (Johnson 1962).

Mais recentemente, Baltazar *et al.* (2005) revisaram a cartografia da Folha de Ouro Preto na escala de 1:50:000. Nesta revisão, as rochas do Complexo Bela Vista foram caracterizadas como rochas gnáissicas e granitoides da região de Bela Vista. Estas rochas exibiriam intensa deformação com feições de milonitização. São quartzo muscovita xistos com intercalações de rochas “biotíticas e anfibolíticas”. Todo o conjunto estaria posicionado tectonicamente entre os Supergrupos Rio das Velhas (ao sul) e Minas (ao norte), embora as falhas nos contatos não tiveram sua cinemática

discriminada. Nesta atualização cartográfica, as rochas do Supergrupo Minas (ao norte) foram representadas pelo grupo Piracicaba indiviso.

### 3.3 ESTRATIGRAFIA LOCAL

Através da realização de duas seções geológicas, a primeira orientada N-S e a segunda NE-SW, e também pelo exame de alguns afloramentos adjacentes, foi realizado um mapa geológico da área em estudo (Figura 3.5) e também a identificação da seguinte sucessão litoestratigráfica:

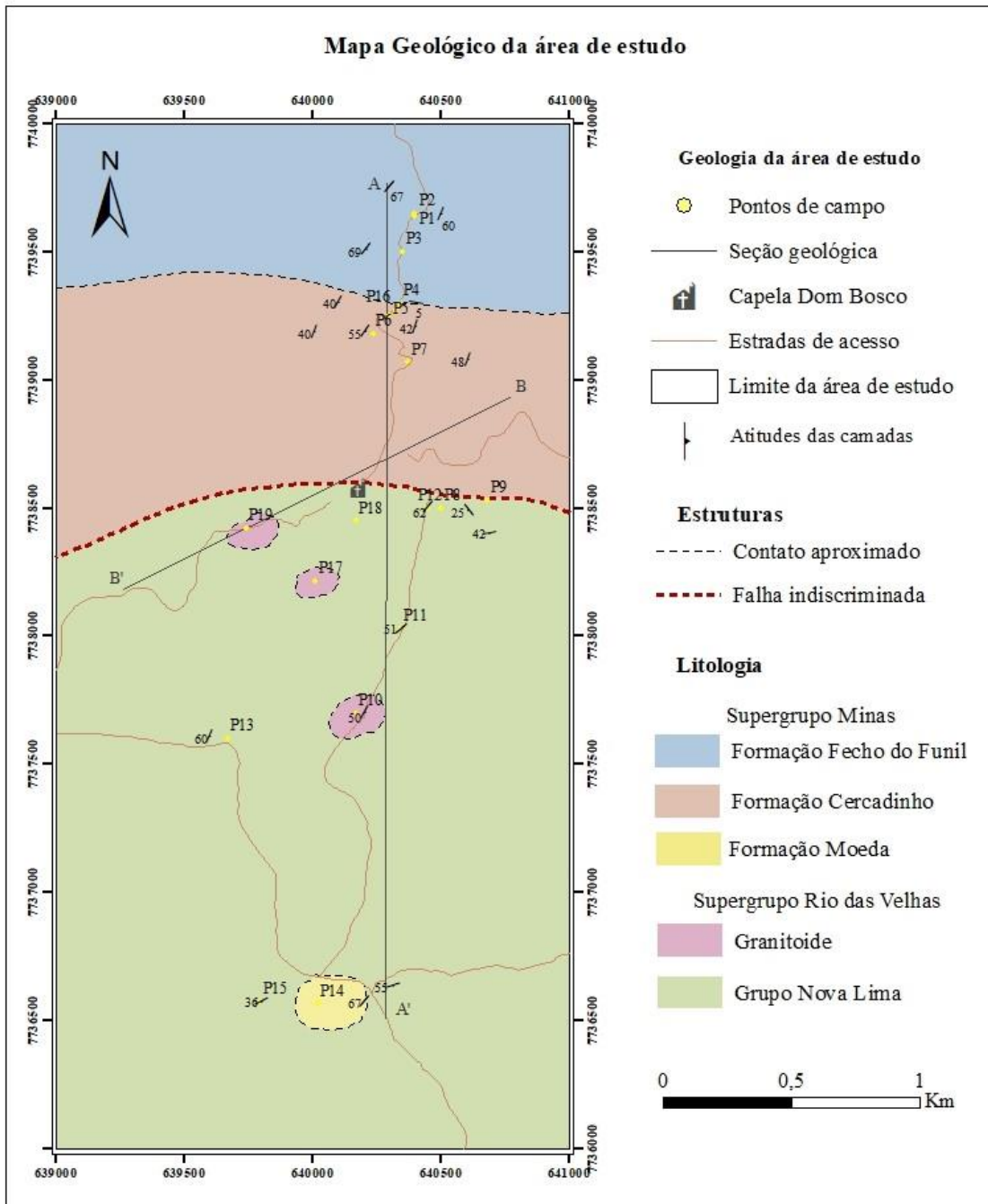


Figura 3.5–Mapa geológico da área do estudo.

### 3.3.1 Supergrupo Rio das Velhas – Grupo Nova Lima (Distribuição e Petrografia)

O Supergrupo Rio das Velhas é representado na área pelo Grupo Nova Lima. Ocorre principalmente ao sul, em toda a faixa então caracterizada como zona de exposição do embasamento. Seu contato com a Formação Cercadinho não pode ser discriminado com precisão e sua natureza será discutida posteriormente.

A composição principal é de sericita xistos, clorita-sericita xistos de coloração esverdeada (nos raros afloramentos não alterados), ou com cor de alteração avermelhada característica (Figura 3.6). Macroscopicamente apresentam textura lepdogranoblástica, com xistosidade bem marcada. Em geral, todo o pacote apresenta elevado grau de intemperização, o que inviabiliza uma melhor caracterização macroscópica. Subordinadamente ocorrem ainda filitos negros, filitos sericíticos e quartzitos.



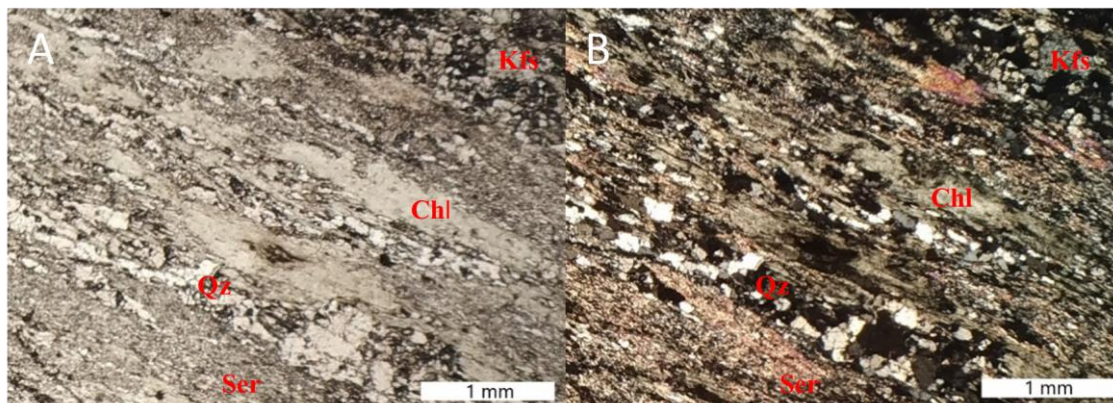
**Figura 3.6**—A) Afloramento de xisto do Grupo Nova Lima com cor de alteração avermelhada característica (Ponto 13) e B) Ponto evidenciado no mapa.

Duas amostras razoavelmente preservadas puderam, contudo, ser caracterizadas em análise microscópica.

A primeira amostra (código F1 – Figura 3.7) trata-se de um k-feldspato-clorita-sericita xisto (34% de sericita, 28% de clorita, 28% de quartzo e 7% de feldspato potássico), uma rocha foliada com microestrutura granolepdoblástica. A sericita, com baixa cristalinidade, perfaz a matriz da rocha. A clorita é encontrada muito deformada, com pleocroísmo em tons de verde, hábito lamelar e

presença de clivagem nas direções longitudinais. O quartzo é incolor, inequigranular, com extinção normal ou ondulante, contatos irregulares, relevo baixo e tamanho variado. O feldspato potássico é incolor, de relevo baixo, extinção normal e não é possível a visualização de alguma macla característica.

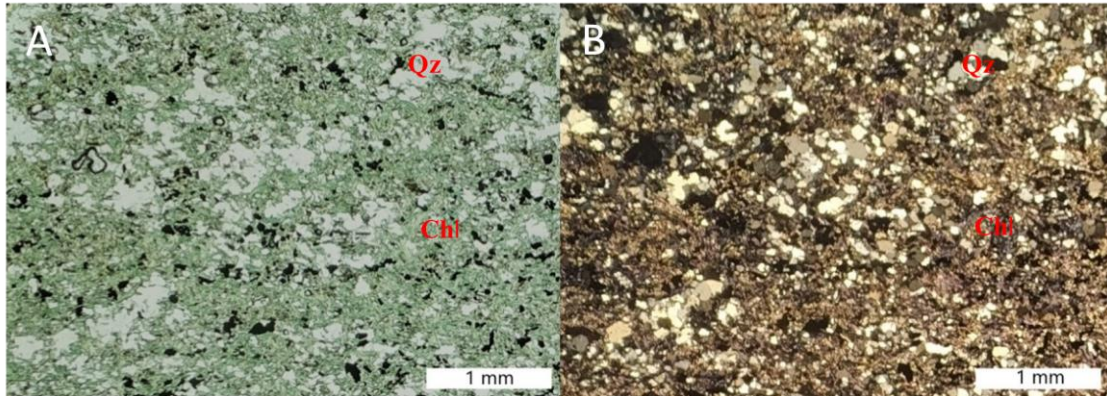
A mineralogia acessória é constituída de turmalina com pleocroísmo em tons de verde, hábito prismático, seção basal levemente triangular e relevo alto; rutilo de marrom amarelado, relevo muito alto e birrefringência extrema, além de minerais opacos.



**Figura 3.7**–Amostra F1 pertencente ao Grupo Nova Lima A) à luz natural e B) à luz polarizada; A identificação dos minerais é dada por: Ser – sericita, Chl – clorita, Qz – quartzo e Kfs – feldspato potássico.

A segunda amostra (código F2 – Figura 3.8) trata-se de biotita-quartzo-clorita xisto, (28% de clorita, 26% de quartzo, 17% de biotita, 10% de feldspato potássico, 6% de carbonato, 5% de muscovita e 8% de minerais opacos).

A clorita apresenta-se em tons de verde, com cristais subédricos pequenos (média de 0,1mm) de hábito lamelar e relevo alto. Os grãos de quartzo são incolores, anédricos, com granulação variada e extinção ondulante. A biotita é pleocroica em tons de marrom, de hábito lamelar, com grãos pequenos (variando de 0,09mm a 0,12mm) com típica extinção incompleta (estrutura olho-de-pássaro) e encontra-se em processo de alteração para clorita estando sempre associadas. O feldspato potássico é incolor, subédrico, de hábito prismático e relevo baixo, possuindo tamanhos variando entre 0,08mm e 0,16mm e com alguns grãos apresentando macla Carlsbad. O carbonato é incolor, anédrico, com tamanho médio de 0,14mm (podendo chegar até 0,25mm), e cor de interferência de alta ordem. A muscovita é incolor, de hábito lamelar, com cores vivas de interferência e encontra-se principalmente em associação as biotitas cloritizadas. Como mineralogia acessória foi possível observar a presença de cristais de alanita de cor marrom, hábito prismático, relevo alto e extinção paralela.



**Figura 3.8**– Biotita-quartzo-clorita xisto pertencente ao Grupo Nova Lima A) à luz natural e B) à luz polarizada. Os minerais possíveis de designação na imagem foram: Chl – clorita, Qz – quartzo.

### 3.3.2 Granitoides (Distribuição e Petrografia)

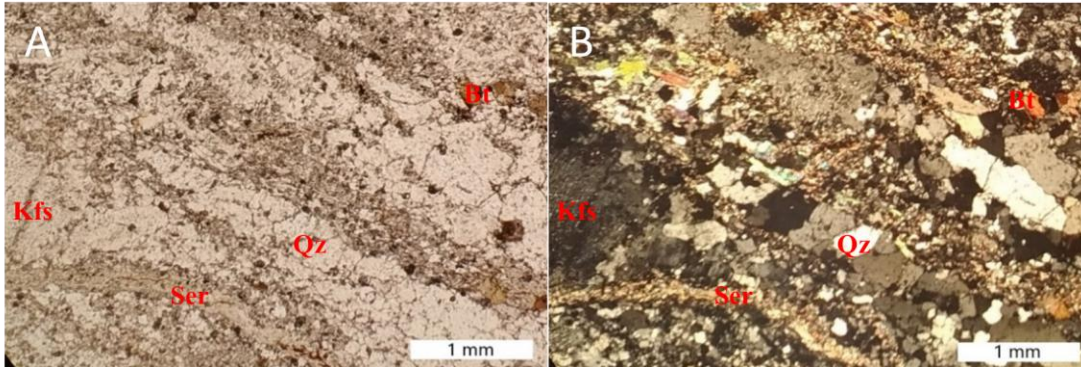
Truncando o Grupo Nova Lima, foram identificadas pequenas intrusões de granitoides. As intrusões mapeadas são de pequeno porte, ocorrendo principalmente ao longo de linhas de talvegue de córregos e drenagens (Figura 3.9). Duas amostras foram analisadas ao microscópio.



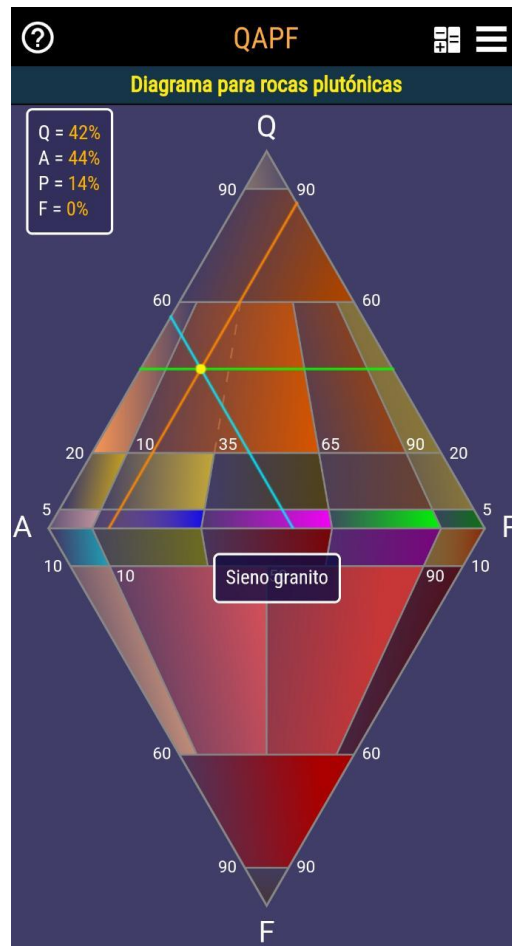
**Figura 3.9**–A) Intrusão de granitoides vista em uma drenagem (Ponto 10) e B) Ponto evidenciado no mapa.

A primeira amostra (código F3 - Figura 3.10) possui feições ígneas preservadas e alguma recristalização metamórfica e, que por isso, a nomenclatura utilizada é baseada na análise modal que

foi inserida no diagrama QAPF criado por Streckeisen (1976) para a classificação de rochas plutônicas (Figura 3.10). Trata-se de sienogranitos de mineralogia principal representado por 38% de quartzo, 40% de feldspato potássico, 13% de plagioclásio, 9% de micas, além de minerais opacos (Figura 3.11).



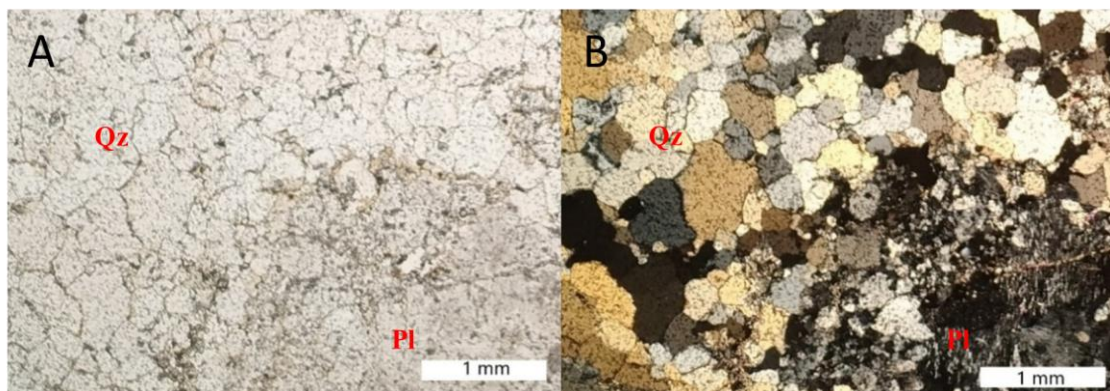
**Figura 3.10** – Amostra F3 A) à luz natural e B) à luz polarizada. Os minerais possíveis de designação na imagem foram: Qz – quartzo, Kfs – feldspato potássico, Ser – sericita e Bt - biotita.



**Figura 3.11** – Classificação do sienogranitóide através da análise modal evidenciada no Diagrama QAPF (Streckeisen 1976).

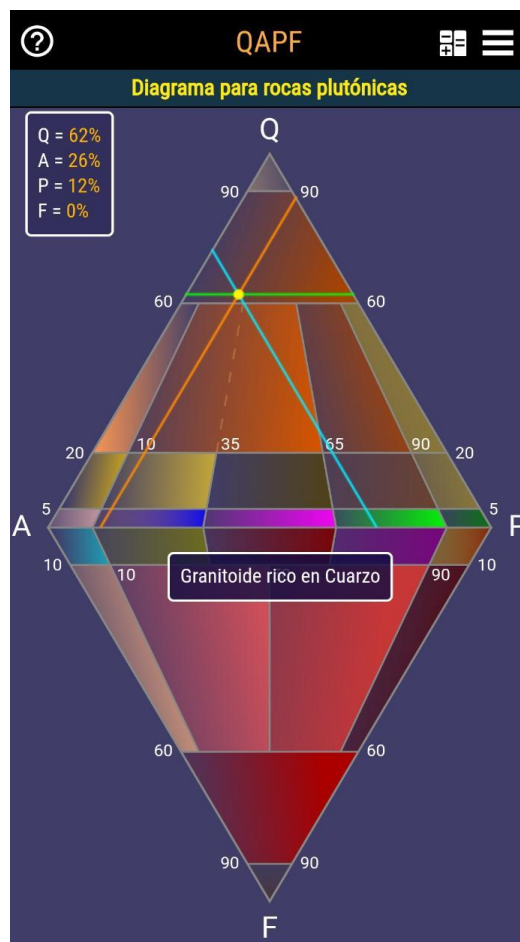
Os grãos de quartzo ocorrem de modo disseminado ou como agregados de cristais associados. Apresentam-se incolores, anédricos, com contatos retos, granulação muito variada e extinção normal ou levemente ondulante. O feldspato potássico ocorre predominantemente na forma de megacristais de variedades inequigranulares. Os cristais são anédricos, de contatos retos a irregulares, podem chegar até 4,9 milímetros e encontram-se pouco sericitizados. São maioritariamente microclinas, identificado pela macla Tartan, gerando padrões característicos, que é por vezes pouco desenvolvido. É possível observar também cristais com pertitas, que se caracterizam pelo grão de k-feldspato com exsolução de plagioclásio. O plagioclásio apresenta-se incolor, subédrico, de hábito granular e normalmente apresentando macla polissintética segundo a lei da Albita. As micas podem ser caracterizadas pela associação de sericita e cristais lamelares de biotita e muscovita. A biotita pode ser identificada pelo pleocroísmo em tons de marrom, clivagem em uma direção e extinção mosqueada. Já a muscovita é incolor, com cores de interferências vivas de 2ª ordem. Além disso, percebe-se a presença de rutilo como mineral acessório, caracterizado pela cor marrom amarelado, relevo muito alto e birrefringência extrema.

A primeira amostra (código F3 - Figura 3.12) também possui feições ígneas preservadas e recristalização metamórfica e, por isso, a nomenclatura utilizada também é baseada na análise modal inserida no diagrama QAPF criado por Streckeisen (1976) para a classificação de rochas plutônicas (Figura 3.13). Trata-se de granitóides ricos em quartzos, com textura granoblástica e seguinte composição: 51% de quartzo, 22% de feldspato potássico, 10% de plagioclásio, 9% de micas e 3% de minerais opacos.



**Figura 3.12** – Amostra F4A) à luz natural e B) à luz polarizada. Os minerais possíveis de designação na imagem foram: Qz – quartzo e Pl – plagioclásio.





**Figura 3.13** – Classificação do granitoide rico em quartzo através da análise modal evidenciada no Diagrama QAPF (Streckeisen 1976).

Os grãos de quartzo ocorrem de modo majoritário e são anédricos, com contatos retos, de tamanho muito variado, com extinção ondulante. O feldspato potássico é incolor, apresenta relevo baixo e cores de interferência de primeira ordem. Ocorrem comumente megacristais com exsoluções de plagioclásio, podendo chegar até 1,6 milímetros e apresentam alteração para sericita (seritização). Em minoria e em grão menores, percebe-se a presença de microclina, identificado pela macla Tartan. O plagioclásio apresenta-se incolor, subédrico, de hábito lamelar, com tamanho médio de 0,4 milímetros e normalmente apresentando macla polissintética segundo a lei da Albita. As micas são encontradas principalmente na forma de sericita, preenchendo veios ou fraturas nos grãos de feldspato. É possível encontrar alguns cristais pequenos e pontuais de biotita com pleocroísmo marrom, hábito lamelar e extinção olho-de-pássaro. A mineralogia acessória é dada pela muscovita incolor e com cores de interferências vivas de 2ª ordem, preenchendo pequenas fraturas.

Além dos corpos de sienogranitos, foram identificados ainda alguns corpos de leucogranitos (Figura 3.14). Eles ocorrem principalmente ao longo do perfil sudoeste e truncam os xistos do Grupo Nova Lima. São pequenos corpos intrusivos, de espessura não superior a dois metros aparentemente sem foliação e invariavelmente alterados. Na verdade, o que se pode observar em campo são massas de quartzo e caulim, uma vez que a mineralogia primária foi inteiramente modificada pelos processos de alteração.



**Figura 3.14**– Intrusão vista em afloramento de leucogranito (Ponto 19) e B) Ponto evidenciado no mapa.

### **3.3.3 Unidades do Supergrupo Minas: Formação Moeda e Grupo Piracicaba (Distribuição e Petrografia)**

#### **3.3.3.1. Formação Moeda**

Esta unidade tem ocorrência bastante restrita, estando situada no extremo sul da área estudada.

A unidade é composta por quartzitos brancos, finos, puros, pouco sericíticos, com uma xistosidade destacada. Esta unidade ocorre em uma crista elevada ao sul e, aparentemente está sobreposta ao Grupo Nova Lima.

Tal unidade não foi investigada em detalhe e tampouco foi examinada sua continuidade e contatos para sul. Certo é que, estando sotoposta ao grupo Nova Lima, poderia então ser

correlacionada(puramente por sua composição litológica e posição estratigráfica) tanto à Formação Moeda (opção adotada) como também poderia ser correlacionado ao grupo Maquiné.

### 3.3.3.2. Grupo Piracicaba

O Grupo Piracicaba ocorre em toda a parte central e norte da área estudada. Está em contato com as rochas do Grupo Nova Lima e pode ser dividido em duas formações: Cercadinho e Fecho do Funil. Por serem apenas bordejantes ao então Complexo Bela Vista, e sua natureza já ser conhecida, não foram realizados estudos microscópicos.

### 3.3.3.2. Formação Cercadinho

A Formação Cercadinho (Figura 3.15) aflora ao norte, ocupando principalmente fundos de vales e ravinas. É constituída por filitos prateados, laminados, com finas palhetas de sericita, intercalados com quartzitos finos, brancos, muitas vezes ferruginosos.



**Figura 3.15**– Exposição em afloramento da Formação Cercadinho (Ponto 7) e B) Ponto evidenciado no mapa.

Os filitos são majoritariamente de coloração prateada e mineralogia compostos por mica branca, quartzo e também hematita especular. Clastos e moldes de magnetita e pirita secundárias também são comuns. A textura é lepidoblástica e o acamamento é nítido às vezes, por conta das intercalações psamíticas. Xistosidade bem desenvolvida é sempre passível de ser identificada em campo.

O contato de topo nem sempre é passível de visualização, mas parece, por algumas observações, se dar de forma gradacional com a Formação Fecho do Funil (Figura 3.16).



**Figura 3.16**—Uma das poucas exposições do contato de topo entre Formação Fecho do Funil e Formação Cercadinho (Ponto 5) e B) Ponto evidenciado no mapa.

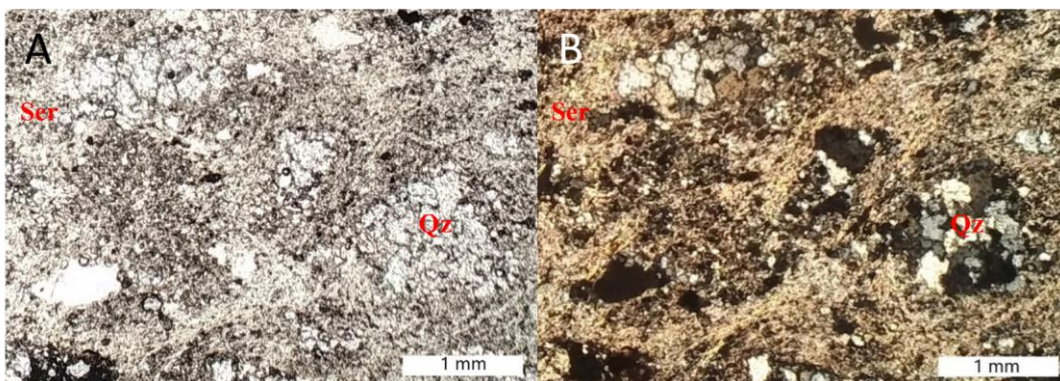
É nessa zona de contato que ocorre a mineralização do topázio, que segundo Olsen (1971) pertence ao horizonte BT, que se constitui num sericita filito marrom, untoso, contendo níveis de quartzo e caulim, com textura homogênea ou bandada. Esse horizonte é evidenciado na Mina do Capão, no extremo norte da área estudada.

Próximo à sua base e à zona contato com os xistos do Grupo Nova Lima, foi identificado um metadiamicrito com seixos de quartzito. (Figura 3.17). Esses fragmentos são da ordem de dezenas de centímetros a quase um metro de eixo maior. Na literatura a presença deste tipo litológico não foi ainda reportada nesta formação. Dorr (1969) descreve camadas conglomeráticas com seixos de quartzito de origem indeterminada (além de seixos de outras unidades como formação ferrífera e metachert). Poderia, em tese, representar algum tipo de depósito de processos intraformacionais. A ocorrência deste litotipo aí presente, na base da Formação Cercadinho, requer investigação adicional.



**Figura 3.17**–Exposição de metadiamic titos com seixos de quartzito (Ponto 9) e B) Ponto evidenciado no mapa.

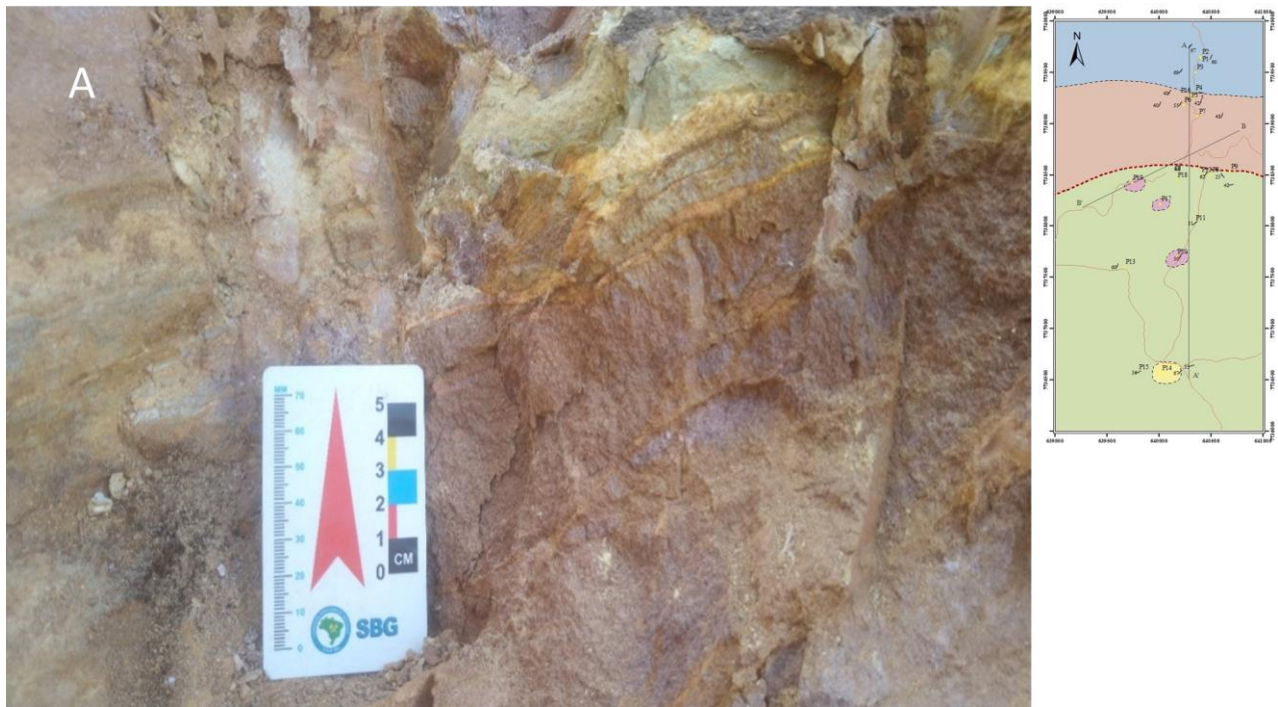
Fazendo a análise de lâmina dessa rocha (Amostra F5 - Figura 3.18) percebe-se uma matriz sericítica evidente em cerca de 60% da amostra ao redor de aglomerações de quartzo incolor, anédrico, relevo baixo, com contatos irregulares, tamanhos variados e extinção ondulante complementando o restante 40% da composição. Pode-se concluir então a presença de seixos de quartzito. Além disso é possível observar minerais pontuais opacos e de muscovita, incolor, com extinção mosqueada e cor de interferência viva como mineralogia acessória.



**Figura 3.18.** Amostra F5 A) à luz natural e B) à luz polarizada. Os minerais possíveis de designação na imagem foram: Qz – quartzo e Ser – matriz sericítica.

### 3.3.3.3 Formação Fecho do Funil

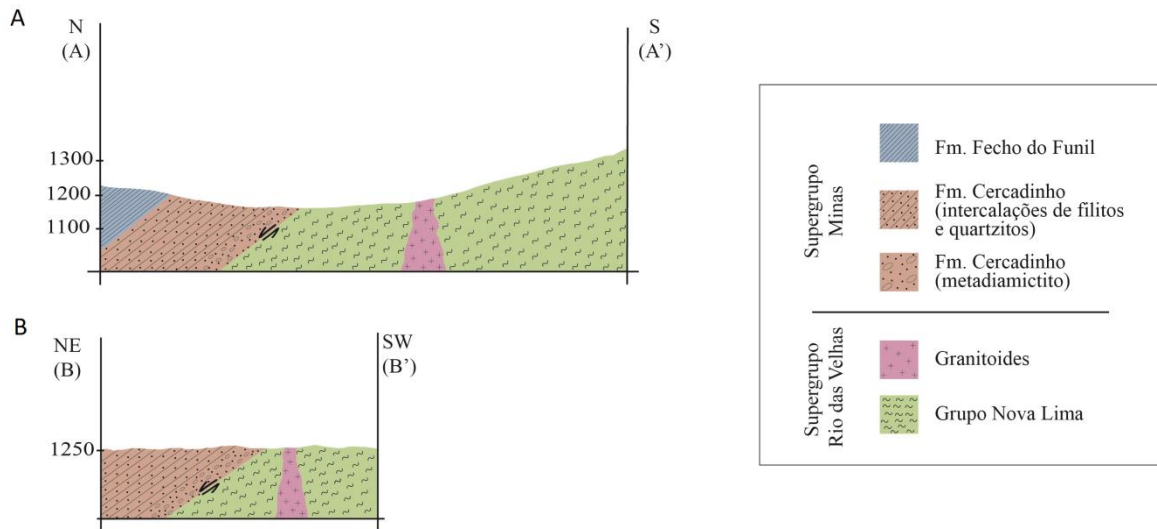
A Formação Fecho do Funil (Figura 3.19) é encontrada também na parte centro-norte da área de estudo, e é petrograficamente constituída predominantemente por filitos de várias colorações como róseos, roxos, brancos e avermelhados. Litologias mais quartzosas parecem ocorrer assim como pontuais de magnetita. Ao contrário da Formação Cercadinho, os filitos são pouco ou nada ferruginosos.



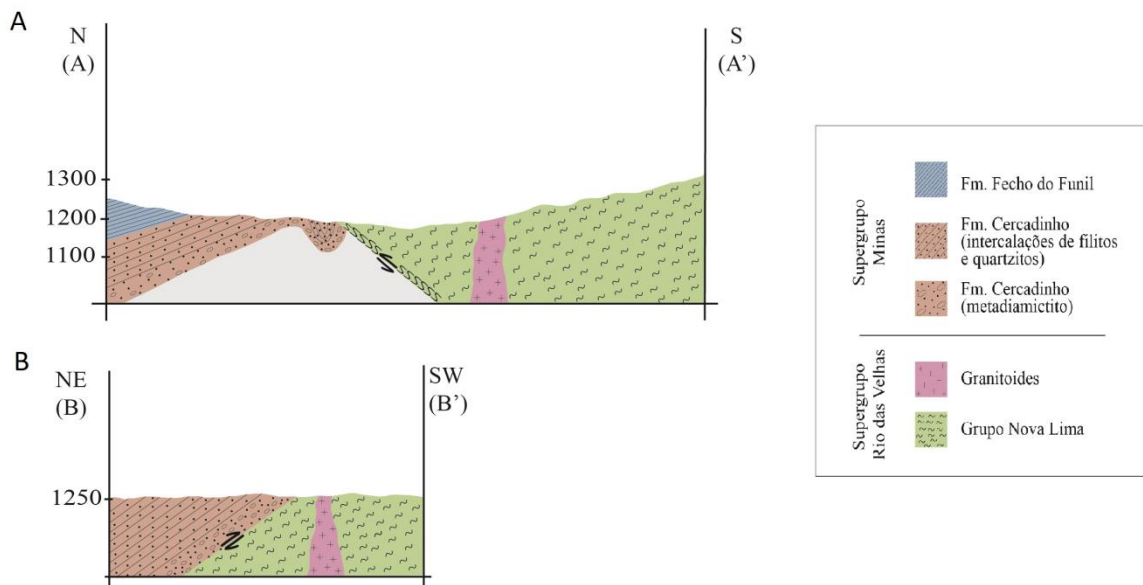
**Figura 3.19**–Afloramento da Formação Fecho do Funil (Ponto 3) e B) Ponto evidenciado no mapa.

Os afloramentos estudados dessa unidade estão invariavelmente alterados devido ao intemperismo e a mineralogia é composta principalmente por mica branca e pouco quartzo, além de sericita e óxidos de ferro, havendo porções com presença de hematita e biotita. Manifestam-se com granulação muito fina a fina. Foram observadas também lentes de dolomito maciço, compostas majoritariamente por dolomita pura, de granulação muito fina.

Essas unidades e formações foram compiladas no mapa geológico e foram criadas hipóteses para os perfis geológicos esquemáticos das seções representadas (Figura 3.20 e Figura 3.21).



**Figura 3.20**– Hipótese para falhamento normal dos perfis geológicos esquemáticos A) da seção orientada N-S, representado no mapa por AA' e B) da seção NE-SW, representado no mapa por BB'.



**Figura 3.21**–Hipótese para falhamento reverso dos perfis geológicos esquemáticos A) da seção orientada N-S, representado no mapa por AA' e B) da seção NE-SW, representado no mapa por BB'.

### 3.4 GEOLOGIA ESTRUTURAL

#### 3.4.1 Análise Descritiva

Em termos estruturais, a região estudada pode ser dividida em dois domínios: norte e sul, separados por uma descontinuidade importante, que será examinada a seguir.

##### 3.4.1.1 Estruturas do Domínio Norte

As principais estruturas observadas nos litotipos foram o acamamento ( $S_0$ ), especialmente junto à Formação Cercadinho. O acamamento é dado por variação composicional entre camadas pelíticas e psamíticas e xistosidade ( $S_1$ ). Na grande maioria dos afloramentos, esses elementos planares se encontram paralelizados (Tabela 3.1). A xistosidade, nestas rochas, é dada pela orientação planar a curvilinear de mica branca.

Os mergulhos, pode-se perceber, seja nas atitudes da xistosidade, seja nas atitudes do acamamento variam muito, o que indica efeitos de dobramentos posteriores. No geral, contudo, tanto acamamento quanto xistosidade têm tendência predominante de mergulho para nordeste.

Em se tratando da Formação Fecho do Funil, o acamamento é observado às vezes por variações de cor nos termos pelíticos. Da mesma forma, a xistosidade é marcada pela orientação planar a curvilinear de mica branca.

**Tabela 3.1**—Atitudes observadas nos afloramentos do Grupo Piracicaba.

	Formação Fecho do Funil	Formação Cercadinho
S <sub>0</sub>	23/60	9/20
	39/62	10/19
	35/55	18/42
	72/55	7/40
	40/67	21/37
	80/42	33/35
S <sub>1</sub>	50/51	21/40
	38/69	25/52
	36/65	23/48
	55/72	18/43
	30/50	30/49
	42/52	20/57



Na escala de afloramento, foram ainda identificados os seguintes elementos estruturais:

- a. Lineação mineral: raramente observada por conta da granulação mais fina das rochas, mas quando existente se apresenta no plano de  $S_1$ , com rumo E-SE.
- b. Dobras F1, sendo dobras de primeira fase, com  $S_1$  plano axial e charneiras com rumo para E-SE. Possuem escala de afloramento a dezenas de metros.
- c. Dobras F2, de segunda fase, dobram a xistosidade  $S_1$ . São dobras abertas, com planos axiais subverticais com direção aproximada E-W e possuindo escala de afloramento a centenas de metros.

### 3.4.1.2 Estruturas do Domínio Sul

No domínio sul predominam os xistos do Grupo Nova Lima. Em termos estruturais, as estruturas são muito semelhantes àquelas do domínio norte: uma xistosidade predominante ( $S_1$ ), uma lineação mineral e dobramentos mesoscópicos de segunda fase. As estruturas planares estão representadas na Tabela 3.2.

**Tabela 3.2**–Atitudes da xistosidade do Grupo Nova Lima.

Grupo Nova Lima		
$S_1$	23/60	50/51
	39/62	38/69
	35/55	36/65
	72/55	55/72
	40/67	30/50
	80/42	42/52

Da mesma forma que no domínio norte, a tendência de orientação geral das estruturas planares é de direção NNW com mergulhos variáveis para NNE. No extremo sul da área ocorrem os quartzitos da Formação Moeda, que aparentemente estão sotopostos aos xistos. O acervo estrutural desta unidade é basicamente o mesmo já descrito, porém com as particularidades, em termos de morfologia das estruturas, decorrentes de sua reologia diferenciada.

O limite entre os domínios norte e sul fica posicionado próximo à localidade de Bela Vista. Trata-se de uma feição importante em função de estabelecer qual a natureza do contato entre os mesmos. No entanto, a despeito de várias tentativas, a busca de exposições nesta zona foi

absolutamente infrutífera: boa parte delas está encoberta por depósitos aluvionares recentes do córrego Papa Cobra e extensos rejeitos de mineração de topázio. Assim, a opção mais razoável de se estabelecer, em termos cartográficos, por convenção, seria posicionar a Formação Cercadinho em contato diretamente sobre os xistos do Grupo Nova Lima. Processos que levaram à esta eventual disposição, sejam eles de hiato estratigráfico, omissão das secções basais do Supergrupo Minas (Grupos Caraça e Itabira) por falhamento normal merecem investigação adicional, mas serão abordados adiante.

# CAPÍTULO 4

## GEOFÍSICA

---

Os métodos geofísicos têm diversas aplicações. Neste trabalho, foram utilizados como suporte ao mapeamento geológico. Foram utilizados dados aerolevantados de **magnetometria**, que faz uso do campo magnético natural da Terra e de **radiometria**, que considera a emissão natural de radiação dos elementos Tório (Th), Urânio (U) e Potássio (K) assim como a contagem total, para o estudo das rochas e estruturas em profundidade ou aflorantes da região em estudo.

### 4.1 MAGNETOMETRIA

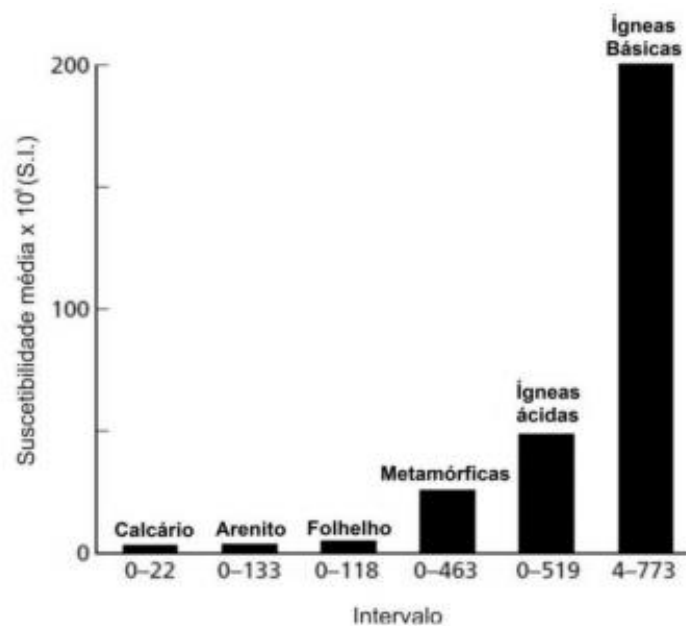
O magnetismo está presente em toda a matéria. Em níveis atômicos, os átomos se comportam como dipolos magnéticos devido às orbitas e aos spins (ou momento angular orbital) de seus elétrons ao redor do núcleo, e, quando inserida em um campo magnético externo, a matéria tem os spins de seus elétrons perturbados (Louro 2013). Sob a influência de um campo magnético, os materiais podem ter características diamagnéticas, paramagnéticas ou ferromagnéticas. Segundo Kearey *et al.* (2009), os materiais que não contêm nenhum átomo com o spin não compensado são ditos diamagnéticos, os paramagnéticos são espécies magnéticas em concentração fraca cujas trocas se fazem essencialmente na escala de pequenas acumulações de partículas isoladas e os ferromagnéticos contêm quantidades mais importantes de espécies magnéticas a uma curta distância, que separam as partículas gerando interações consideráveis.

#### 4.1.1 Magnetismo das rochas e minerais

Os dois tipos principais de magnetização nas rochas são a magnetização induzida e a remanescente. A magnetização induzida ( $M_i$ ), é a resposta de cargas subatômicas do material em função de um campo externo aplicado (Kearey *et al.* 2002), e está relacionada, portanto, a um campo secundário induzido, o qual desaparece quando o campo magnético é removido.

Contudo, materiais ferromagnéticos podem apresentar magnetização mesmo na ausência de campo magnético externo, denominada magnetização remanescente (Mr). Segundo Ribeiro, 2012, a magnetização remanescente não depende apenas do raio atômico, da cristalografia e da composição química das rochas, mas também da geologia, da história termal e da tectônica da região, e é adquirida durante o tempo em que a rocha esteve exposta a um campo magnético diferente do atual (Louro 2013). A magnetização remanescente pode gerar interferências e falsas anomalias, causando interpretações dúbias ou interferindo na visualização de potenciais magnéticos.

A intensidade de magnetização induzida no material é proporcional à sua susceptibilidade magnética e a estimulação magnética externa do material. A susceptibilidade magnética refere-se ao modo como a magnetização de um material responde a um campo externo quando aplicado. Esta propriedade varia dependendo do processo de formação e da mineralogia magnética da rocha. Dentre as rochas ígneas, as básicas exibem altos valores de susceptibilidade magnética e as ácidas valores menores. As rochas sedimentares por sua vez apresentam valores muito baixos de susceptibilidade magnética, com exceção das formações ferríferas bandadas (Thomas 2001). A seguir é possível visualizar os intervalos de susceptibilidade dos tipos de rochas mais comuns (Figura 4.1).



**Figura 4.1**– Histograma mostrando os valores médios e os intervalos de susceptibilidade dos tipos de rochas mais comuns (modificado de Kearey *et al.* 2009).

#### 4.1.2 Tratamento dos dados

Os dados depois de coletados passam por um tratamento com o objetivo de eliminar qualquer variação geológica ou não que possa vir a distorcer o reconhecimento das anomalias. Os dados magnetométricos podem ser processados e filtrados de acordo com a necessidade de ressaltar, remover ou suavizar diferentes anomalias geofísicas com o intuito de integrar com os dados geológicos e buscar uma interpretação coerente (Dentith & Mudge 2014). Os filtros denominados Filtros de Fourier ou Transformadas de Fourier possibilitam selecionar intervalos de frequência do sinal analítico a fim de visualizar profundidades desejadas, sendo que quanto menor a frequência, maior a profundidade do alvo que a gerou (Telford *et al.* 1990). A Tabela 4.1 evidencia os filtros e suas finalidades.

**Tabela 4.1**–Filtros de Fourier e finalidades geofísicas no tratamento e interpretação dos dados aerolevantados. Fonte: Barbosa & Oliveira (2020).

	<b>Filtros</b>	<b>Finalidade Geofísica</b>
Derivadas	Gradiente vertical (1ª derivada)	Evidencia estruturas superficiais.
	Gradiente residual (2ª derivada)	Remove anomalias regionais e realça anomalias locais.
	Gradiente horizontal em X	Evidencia estruturas N-S.
	Gradiente vertical em Y	Destaca estruturas E-W.
	Amplitude do sinal analítico	Projeção em superfície das anomalias em profundidade.
	<i>Tilt</i> Derivativo	Derivada do ângulo de inclinação da anomalia. Fornece uma estimativa do local de origem dos dados magnéticos.
Continuação	Para cima	Retira anomalias superficiais.
	Para baixo	Retira anomalias mais profundas (instável).
Frequência	Passa banda	Determina intervalo de frequência.
	Passa alta	Retira dados de baixa frequência, obtendo informações mais superficiais.
	Passa baixa	Retira dados de alta frequência, obtendo informações mais profundas.

Além disso, no método magnetométrico, são realizadas a correção da variação diurna, remoção do IGRF (International Geomagnetic Reference Field) e a correção topográfica. A correção da variação diurna é necessária pois a energia solar varia ao longo do dia e é absorvida na superfície terrestre de forma heterogênea. Já a remoção do IGRF permite identificar as anomalias causadas por corpos magnéticos Kearey *et al.* (2009). E por fim, a correção topográfica é realizada, pois os levantamentos aéreos são feitos com uma altura de vôo constante em relação ao nível do mar, porém quando em continente, uma serra ou um vale

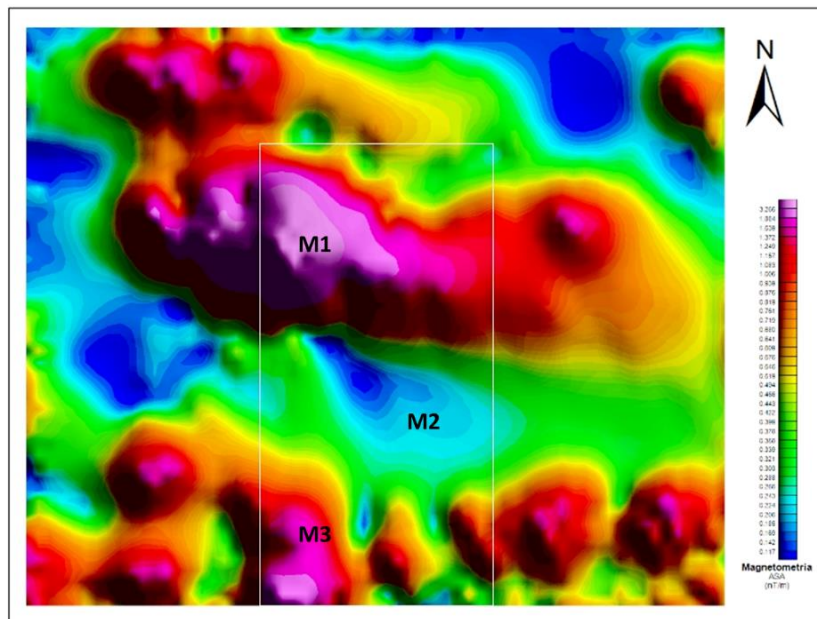
faz com que a distância entre o alvo e o instrumento diminua, podendo alterar a intensidade do alvo, criando assim uma anomalia.

#### 4.1.3 Análise qualitativa dos dados magnéticos

O mapa magnético e suas derivadas são dados dipolares, enquanto o mapa ASA é monopolar e exhibe as anomalias geofísicas de uma maneira mais precisa e nítida, facilitando o reconhecimento e interpretação das mesmas. A seguir serão descritas as características geofísicas da área de estudo, delimitada pelo retângulo branco. Nos mapas magnetométricos as cores mais quentes (vermelho a rosa) apresentam os mais altos valores de magnetização das rochas, enquanto os tons mais frios (azul) representam os mais baixos valores magnetização.

##### 4.1.3.1 Mapa de amplitude do sinal analítico (ASA)

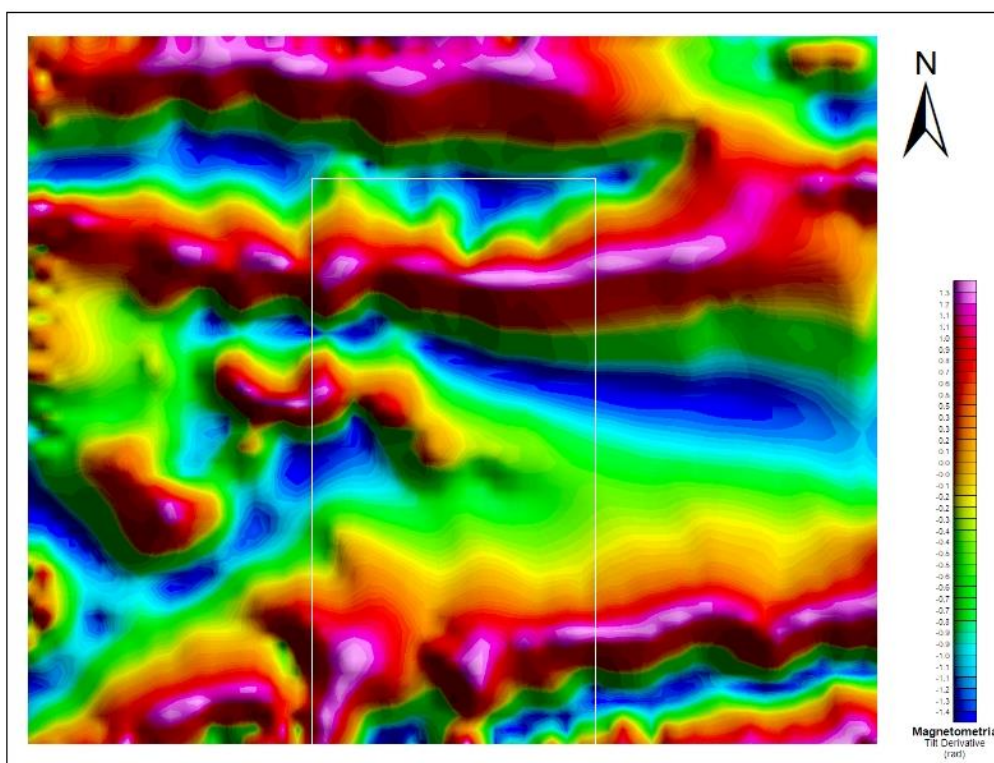
No mapa ASA, as anomalias são projetadas em superfície, fornecendo informações das estruturas que se encontram em profundidade. Na região em estudo é possível observar três características das anomalias magnéticas (magnetofácies). A primeira magnetofácies (M1) é caracterizada pela alta amplitude, alto comprimento de onda e localiza-se na porção norte da área de estudo. A segunda (M2) possui baixa amplitude, alto comprimento de onda e localiza-se na porção central da área. A terceira (M3) assemelha-se em termos de características da primeira magnetofácies, porém localiza-se na porção sul (Figura 4.2).



**Figura 4.2**– Mapa de amplitude do sinal da região em estudo (evidenciada pela poligonal branca).

#### 4.1.3.2 TILT

O método de Inclinação do Sinal Analítico (TDR), também chamado de *Tilt*, destaca anomalias tanto de grandes ou pequenas amplitudes, ou seja, ele é eficaz no balanceamento de amplitudes de diferentes anomalias (Bello 2014). A partir do mapa *TILT* é possível observar anomalias que caracterizam o centro de anomalias, em geral positivas. Assim, é possível associar as anomalias positivas identificadas no mapa ASA com as anomalias do mapa *TILT*, sendo elas na porção norte e na porção sul da área (Figura 4.3).



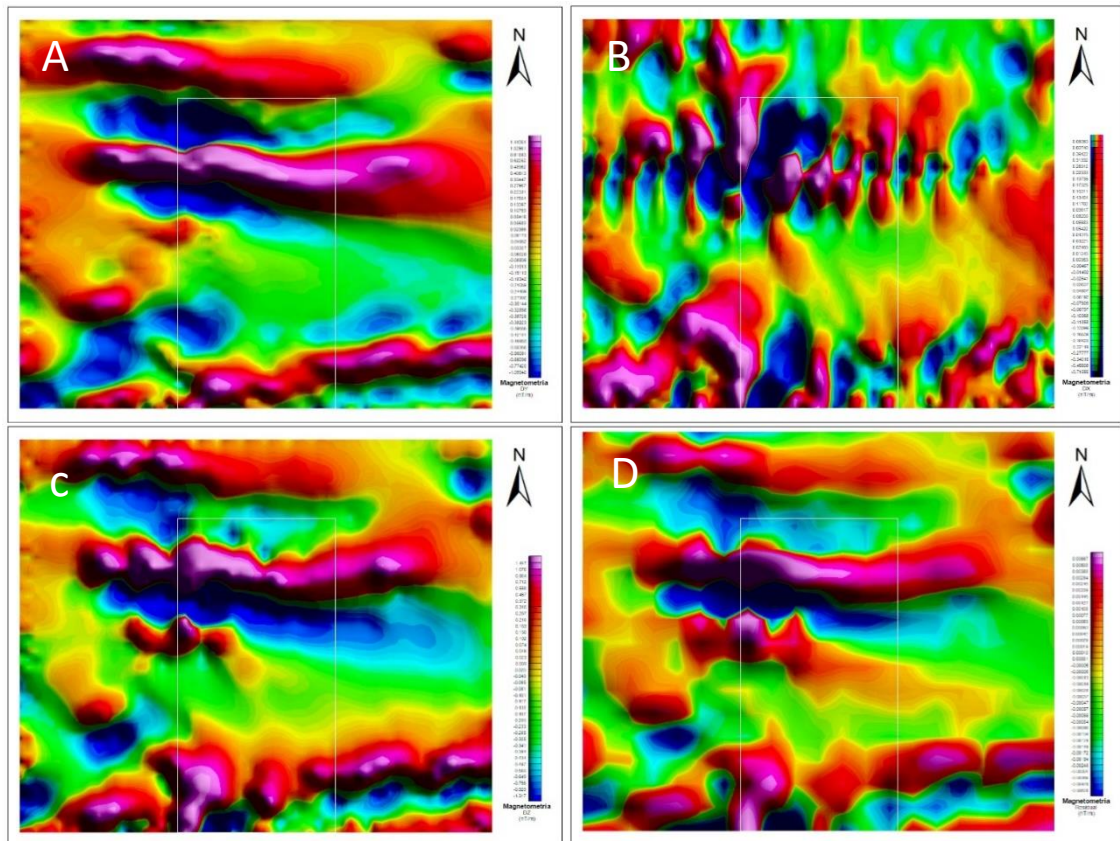
**Figura 4.3**– Mapa TILT da região em estudo (evidenciada pela poligonal branca).

#### 4.1.3.3 Mapas de derivadas

Os mapas de derivadas evidenciam estruturas que influenciam no magnetismo, sejam elas verticais ou horizontais, destacadas respectivamente pelos mapas de derivadas no eixo X (DX) e Y (DY), ou aquelas estruturas mais profundas, ressaltadas pelo mapa de derivada no eixo Z (DZ) e de segunda derivada no eixo Z (DZ2) (Figura 4.4).

Na área de estudo, principalmente os mapas DZ, DZ2 e DY, ressaltam as anomalias identificadas no mapa ASA, também com anomalias positivas na porção norte e na porção sul da área, sendo possível perceber que a região predominam estruturas horizontalizadas, sendo pouco relevantes as estruturas verticais, visto que, pela geometria apresentada pelo mapa DX,

não é possível diferenciar as estruturas das interferências geradas pelo processamento dos dados.



**Figura 4.4**–Mapas de derivadas. A) DY, B) DX,C) DZ e D) DZ2.

#### 4.1.4 Análise quantitativa dos dados magnéticos

Essa análise foi realizada por meio da inversão dos dados a partir da técnica de deconvolução de Euler.

A deconvolução de Euler foi proposta por Thompson (1982) e aprimorada por Reid *et al.* (1990) e é um método matemático que visa a homogeneização das soluções de um sistema de equações com múltiplas soluções. Um método complexo, porém, preciso na determinação de fontes magnéticas em profundidade (Reid *et al.* 1990). A relação da homogeneidade de Euler (Equação 3.1) pode ser descrita como:

$$(x - x_0) \frac{\partial T}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial T}{\partial y} + (z - z_0) \frac{\partial T}{\partial z} = N(B - T) \quad \text{Equação 3.1}$$

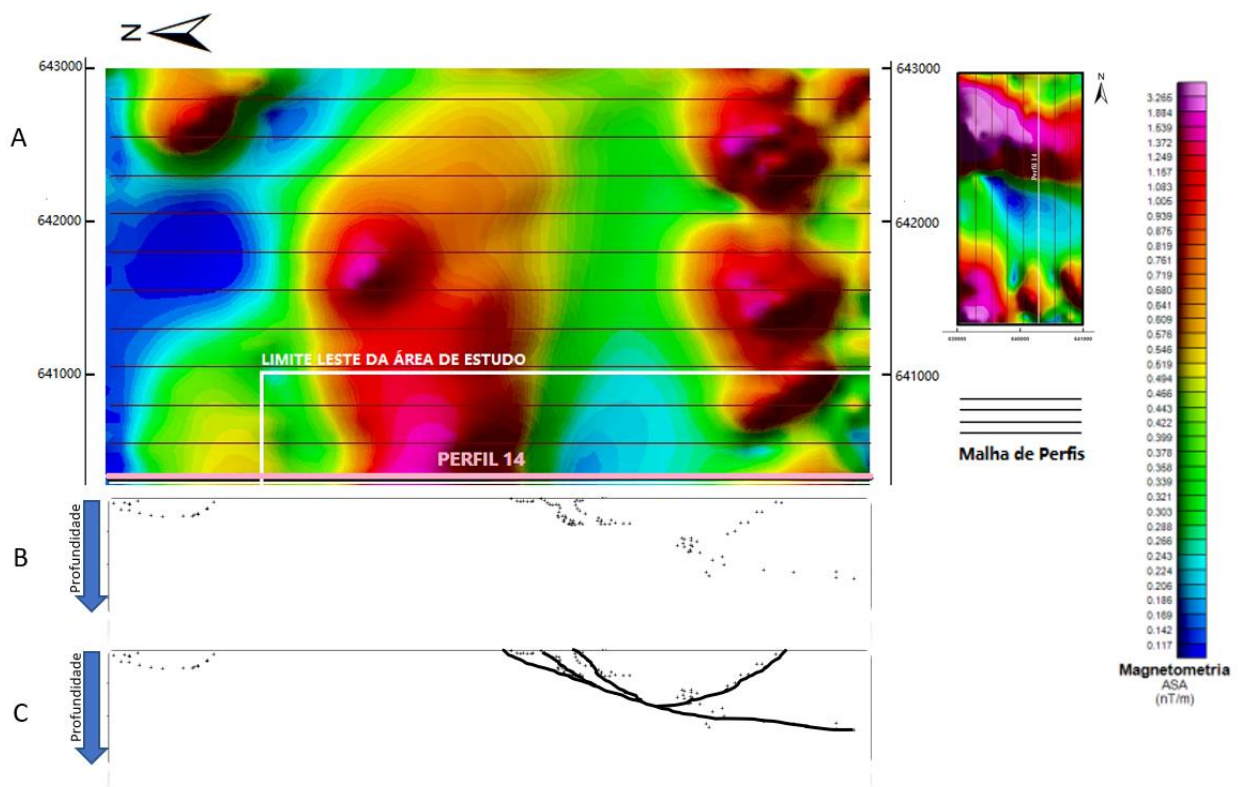


Onde  $(x_0, y_0, z_0)$  é a localização da fonte magnética,  $(x, y, z)$  é o ponto de levantamento,  $T$  é a anomalia de campo total,  $B$  é o campo regional e  $N$  é uma medida de taxa de variação que depende da fonte magnética (Kearey *et al.* 2009). Este parâmetro é um indicador da forma e geometria da anomalia e, por isso, recebe o nome de índice estrutural (Reid *et al.* 1990). As medidas magnéticas podem ainda ser utilizadas na identificação de contatos geológicos e estruturais, como dobras, falhas, geossuturas e limites de bacias sedimentares (Luiz & Silva 1995).

Assim, a inversão por essa técnica obtém-se a estimativa média do topo do corpo que gerou a anomalia magnética. Para tanto, utilizou-se o programa livre Euldeph, no qual os dados dos perfis magnéticos são fornecidos bem como o índice estrutural (no caso, utilizou-se o índice igual a 1, correspondente a planos, contatos e falhas).

#### 4.1.4.1 Análise da Deconvolução de Euler

Realizou-se uma malha de perfis de direção norte-sul, composta por 24 perfis equiespaçados. Considerando-se a seção geológica descrita no item 3.3, apresenta-se aqui o perfil 14 de deconvolução, que é coincidente com essa seção (Figura 4.5)



**Figura 4.5**–A) Mapa magnético com a localização do perfil 14 e mapa menor da area completa. B) Resultado da deconvolução de Euler do perfil. C) Interpretação geológica da deconvolução.

O resultado da deconvolução (item C da Figura acima) mostra que o melhor ajuste contempla uma falha principal com direção aproximada E-W, mergulhando para sul e à qual se acoplam falhas secundárias. Em profundidade, o mergulho da falha principal diminui significativamente. Mais para sul, a deconvolução mostra uma segunda falha, agora com mergulho para norte, que aparentemente também se conecta à falha principal.

## **4.2 RADIOMETRIA**

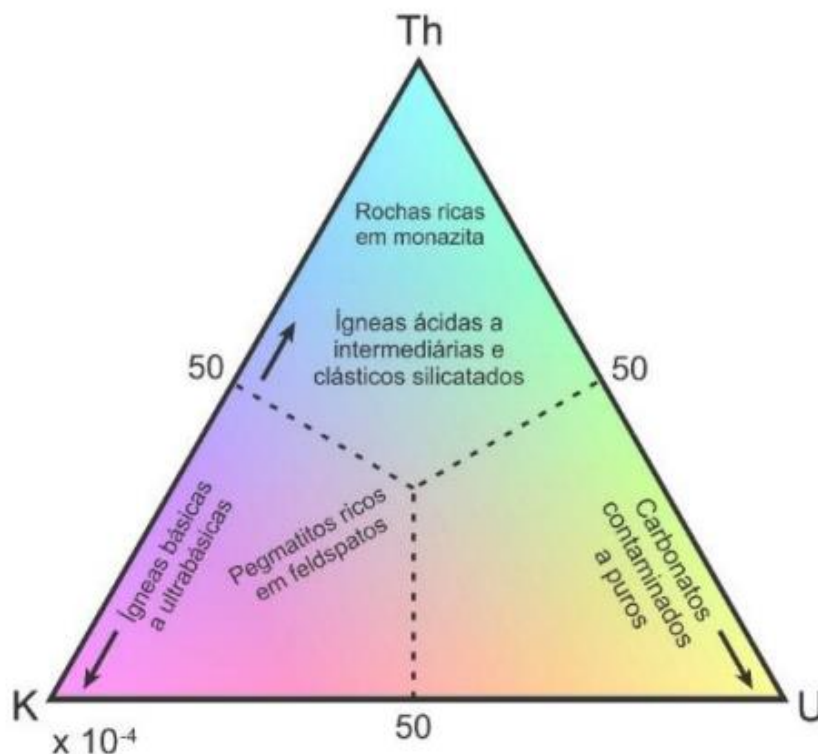
Os métodos radiométricos utilizam da radioatividade natural de três elementos: urânio ( $^{235}\text{U}$ ), tório ( $^{238}\text{Th}$ ) e um isótopo do potássio ( $^{40}\text{K}$ ). Existem mais de 50 elementos naturalmente radioativos, mas os citados anteriormente são os elementos naturais com radioisótopos que produzem raios gama com intensidade e energia o suficiente para serem detectados em pesquisas aéreas (Minty 1997) e são expressivamente mais úteis para a prospecção mineral.

A transformação das contagens por segundo em concentrações de eU (equivalente urânio – ppm), eTh (equivalente tório – ppm) e K (potássio - %), possibilita a identificação de áreas alteradas hidrotermalmente e suas relações com processos mineralizantes em vários ambientes geológicos (Telford *et al.* 1990).

### **4.2.1 Radioatividade das rochas e minerais**

A radiometria é de grande auxílio em levantamentos geológicos que visam mapear certa área, dada à possibilidade de caracterizar diferentes tipos de rochas e delimitar precisamente o contato entre as litologias (Kearey *et al.* 2009). Traços de minerais radioativos podem ser encontrados em todos os tipos de rocha, sendo mais fortes em umas que outras.

Nas rochas sedimentares e nos sedimentos metamorfisados em geral, a radioatividade é maior do que nas rochas ígneas e metamórficas. Em linhas gerais, nas rochas metassedimentares a radioatividade é maior do que nas rochas metaígneas, e quando a análise é realizada apenas dentro do Grupo das metassedimentares, quanto maior a argilosidade presente maior é a concentração de isótopos, já para as metaígneas o aumento da concentração de isótopos está relacionado ao aumento do teor de sílica (Telford *et al.* 1990). A Figura 4.6 exibe a abundância relativa de elementos radiativos em diferentes tipos de rochas.



**Figura 4.6**– Abundâncias relativas de elementos radioativos em diferentes tipos de rochas (modificado de Kearey *et al.* 2009).

A presença de potássio pode ser um indicativo de alteração hidrotermal (Telford *et al.* 1990). Já o urânio, se for primário, pode ocorrer em minerais à base de óxido e em silicatos. O urânio proveniente de processo intempérico, concentra-se em óxidos de ferro autigênicos e argilominerais. Em superfície de ambientes oxidantes, o urânio tende a ser móvel, depositando-se em condições mais redutoras (Telford *et al.* 1990). O tório é liberado pela quebra de minerais durante o processo intempérico, podendo concentrar-se em minerais hidratados ou oxidados, à base de ferro ou titânio, e em argilominerais (Telford *et al.* 1990).

#### 4.2.2 Análise qualitativa dos mapas radiométricos

Dentre os mapas radiométricos gerados tem-se o mapa de contagem total que trata da medida da radioatividade total, o mapa ternário (variações das concentrações dos três isótopos de U, Th e K) e os mapas de concentração absoluta (do canal de U, Th e K). Estes mapas auxiliam na demarcação de contatos entre as rochas e são úteis em trabalhos de mapeamento.

Nos mapas de contagem total (correspondente à medida da radioatividade total, abrangendo todo o espectro), concentração absoluta (do canal U, Th e K) e na imagem ternária (que representa as variações das concentrações dos três isótopos conforme a escala de cor),

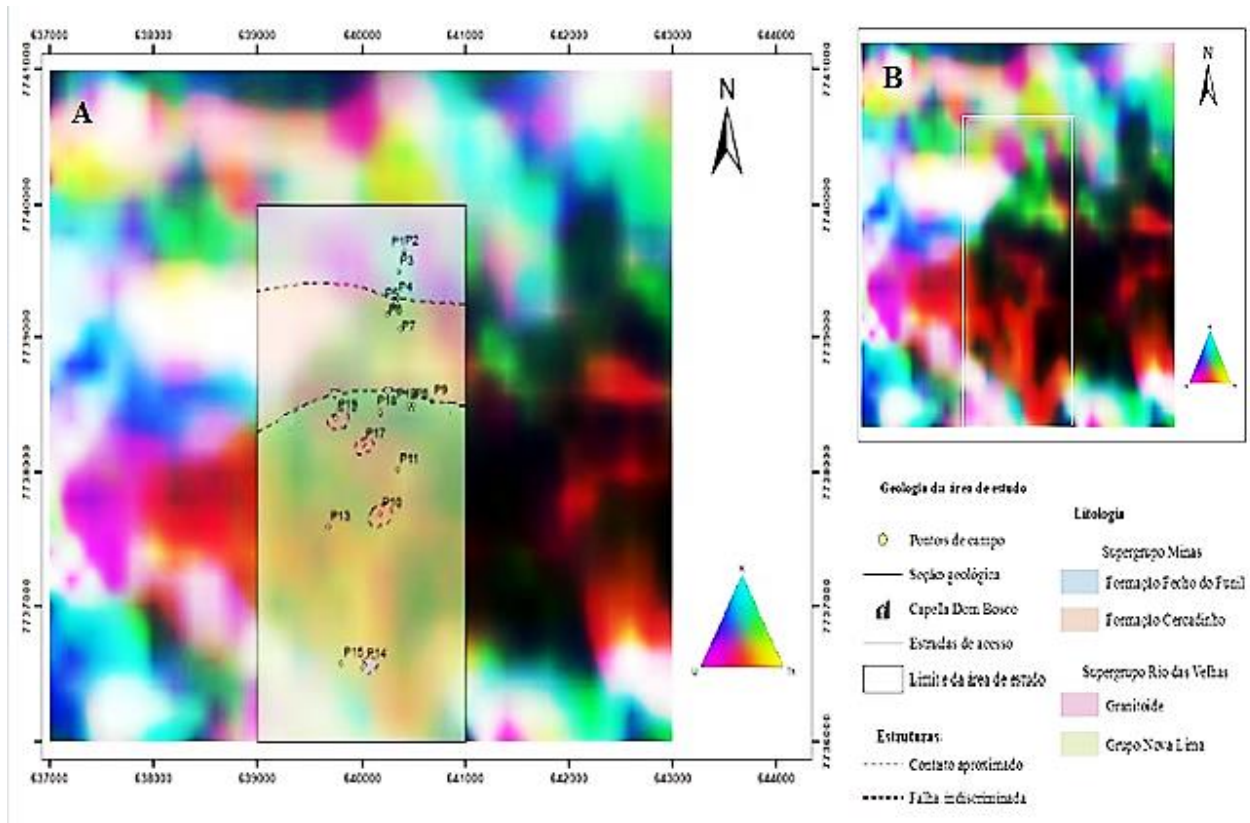
podem-se observar variações de litologia, tendo utilização para identificação de contatos litológicos em trabalhos de mapeamento.

#### 4.2.2.1 Mapa Ternário

O mapa ternário caracteriza as concentrações relativas entre os três elementos radioativos principais, o potássio, urânio e tório através de uma escala de cores (CMY – ciano, magenta, amarelo) em que a cor ciano representa uma composição relevante de potássio, a cor magenta revela a presença de urânio e a cor amarela, a de tório. As variações das cores representam exatamente essa variação desses três elementos em relação à composição dos litotipos.

O mapa ternário (Figura 4.7) evidencia a porção centro-sul concentrando uma cor mais avermelhada, que indica a presença de urânio e tório. Na porção norte é possível identificar uma área em tons de branco, indicando a ausência da concentração dos três elementos. Na porção sudoeste também predomina tons mais claros a branco, porém predomina a cor rosada, o que indica uma presença de urânio. E a porção norte, predominam cores esverdeadas, evidenciando a presença de potássio e tório, e porções magenta, que predomina a presença de urânio.

A partir do mapa ternário pode-se indicar que as porções que apresentam coloração esbranquiçada podem indicar um litotipo diferente dos demais, áreas as quais o acesso não foi possível durante o campo. A porção central onde predomina a cor vermelha pode-se associar aos litotipos do Grupo Nova Lima, pelo provável predomínio de tório e urânio, dado que esta unidade possui composição máfica. E a porção norte, com tons esverdeados, pode-se associar às Formações Cercadinho e Fecho do Funil, visto que essas unidades possuem composição argilosa (potássio). A variação brusca de coloração, de norte (verde) para o centro (vermelha), caracteriza bem tais variações na composição litológica.



**Figura 4.7**–A) Mapa ternário da região, com o mapa geológico realizado superposto e B) Mapa ternário com a área em estudo evidenciada pela poligonal branca.

#### 4.2.2.2 Mapas de Canais de Urânio e Tório

O banco de dados radiométricos foi obtido através das cintilações por segundo (cps), dos elementos radioativos Urânio e Tório, em diferentes canais. Esses mapas de canais (Figura 4.8e Figura 4.9, respectivamente) corroboram a ideia de que a região centro sul da área aflora o Grupo Nova Lima em função da composição mineralógica desta unidade, indicados em tons de vermelho e rosa. A cor azul indica as concentrações mais baixas.

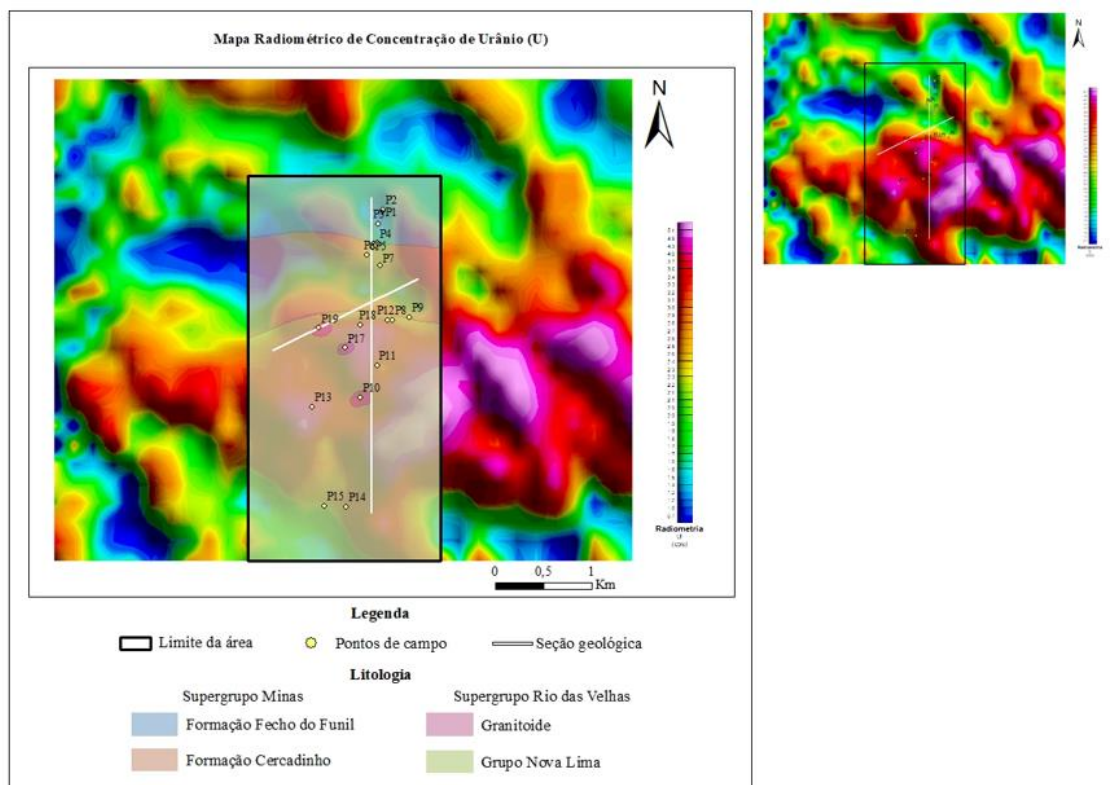


Figura 4.8–Mapa radiométrico, canal Urânio da região em estudo.

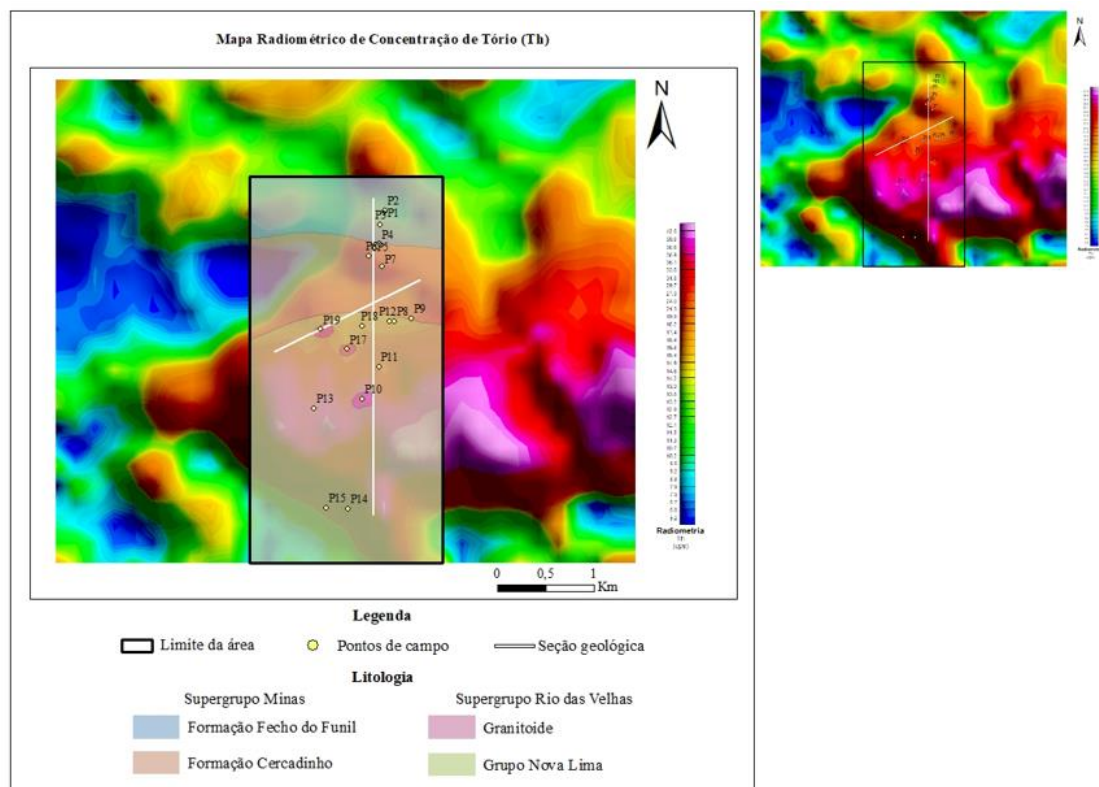
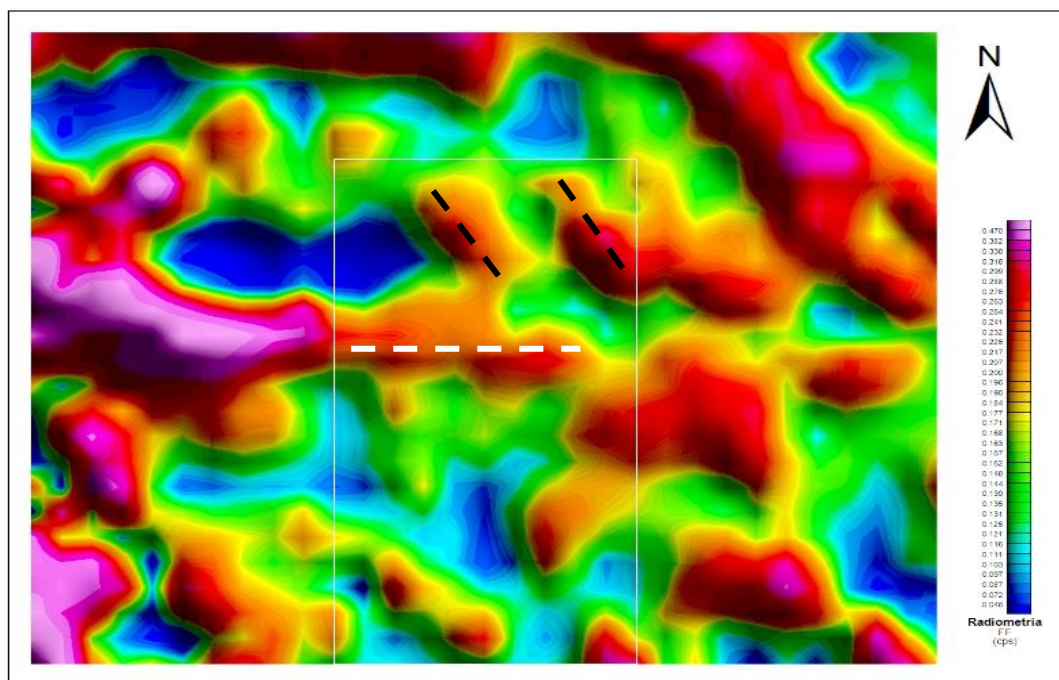


Figura 4.9–Mapa radiométrico, canal Tório da região em estudo.

#### 4.2.2.3 Mapa de parâmetro F

O mapa de parâmetro F, que consiste na análise conjunta entre o radioelemento K e a razão U/Th, é útil para indicar zonas de alteração hidrotermal. Nestas zonas é comum ocorrer alta concentração de K, devido ao seu alto poder de migração, além de concentrações variadas de U e muito baixas de Th, uma vez que este não é removido da rocha em processos hidrotermais ou supergênicos (Ostrovskiy 1975).

A porção central apresenta uma área com a coloração avermelhada, o que é possível sugerir uma associação a uma descontinuidade, visto que regiões com essas estruturas são favoráveis à percolação de fluidos. Essa descontinuidade está posicionada aproximadamente no limite entre a seqüência do Grupo Piracicaba e o Supergrupo Rio das Velhas. Esta zona de contato, que foi evidenciada pela a linha tracejada em branco, será objeto de discussão mais adiante(Figura 4.10). Além disso, a porção a nordeste também sugere a ocorrência de processos de hidrotermalismo, sugerindo possíveis falhas paralelas, demonstradas por linhas tracejadas em preto. A mesma pode ser notada também no mapa de concentração de urânio. Essa estrutura não foi examinada em detalhe, mas a princípio, na superfície, não foram identificadas estruturas que a elas pudessem se relacionar.



**Figura 4.10**– Mapa radiométrico, Fator F da região em estudo.

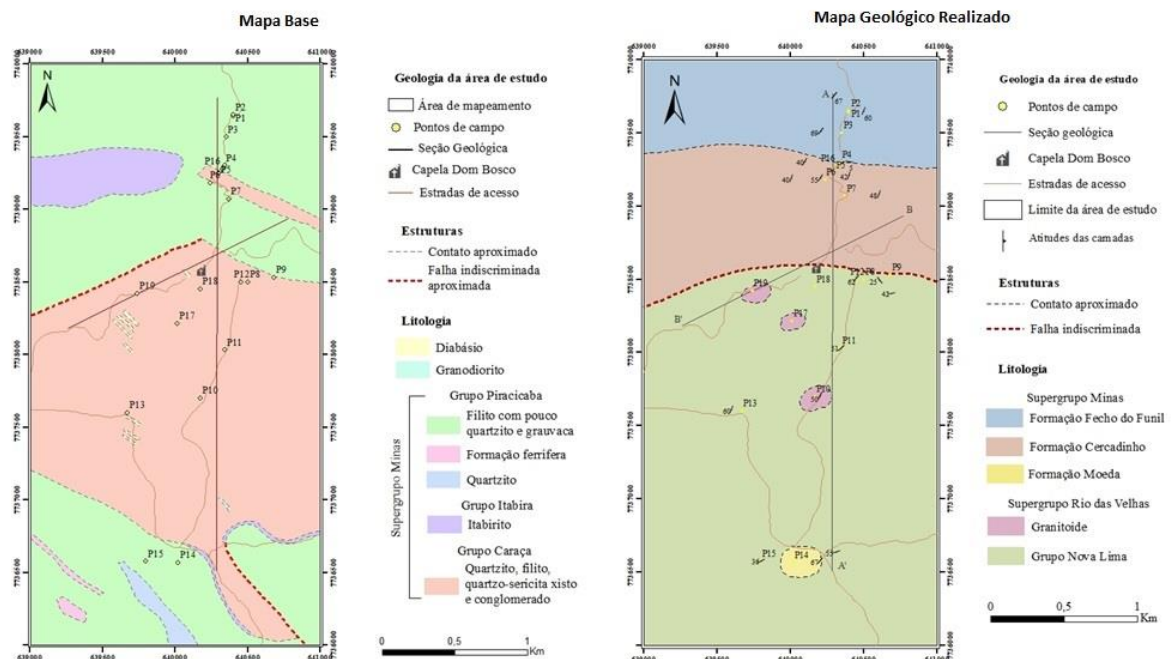




## CAPÍTULO 5

### DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para a análise comparativa dos dados cartográficos, tomou-se por base o mapa apresentado em Baltazar *et al.* (2005) sendo este uma compilação do mapa de Johnson (1962), modificado pelos referidos autores. Nota-se uma grande e considerável discrepância entre esta cartografia e a que é proposta no presente estudo (Figura 5.1).



**Figura 5.1**– Mapa base da região. Fonte: Modificado de Baltazar *et al.* (2005) e mapa geológico realizado em campo.

No domínio sul, o que Baltazar *et al.* (2005) consideram como pertencente ao Grupo Caraça, trata-se na verdade do Grupo Nova Lima, fato devidamente confirmado por correlação litoestratigráfica com base nos litotipos aqui descritos. De fato, ao efetuar tal compilação, os autores apenas ratificaram a cartografia originalmente efetuada por Johnson (1962). Além disso, os autores também não reconheceram, talvez pela escala da compilação

por eles efetuada, a ocorrência dos corpos, seja de sienogranitos, seja dos leucogranitos intrusivos aqui descritos.

Com relação à cartografia apresentada por Pires & Fraga (1985, Figura 3.4), a profusão de corpos gnáissicos que ocorreriam ao sul não foi passível de identificação em campo, a despeito sim, de terem sido verificadas as faixas de xistos atribuídos ao grupo Nova Lima.

A subdivisão cartográfica em dois domínios, além de ser efetivamente comprovável em campo, também é sugerida pelos mapas radiométricos ternário e especialmente dos canais de U e Th, além claro, dos mapas magnéticos (especialmente o de amplitude de sinal)

Para o domínio norte (na seção compreendida entre a estação de Dom Bosco e a Bela Vista), tanto Pires & Fraga (1985) quanto Baltazar *et al.* (2005) optaram por manter o Supergrupo Minas como indiviso, ao contrário do presente estudo. Aqui foi possível se efetuar a divisão do Supergrupo Minas, no caso do Grupo Piracicaba em duas de suas formações mais basais. Uma faixa de formações ferríferas (itabiritos) cartografadas na porção NW por Baltazar *et al.* (2005) e incluída no grupo Piracicaba não foi verificada em campo. No entanto, a presença da mesma parece bem sugerida nos mapas dos canais de U e Th.

Por outro lado, a unidade atribuída ao Grupo Piracicaba por Baltazar *et al.* (2005) e que aflora no extremo sudoeste da área aparece sim bem expressa, em especial os mapas ternário e de canais de Urânio e Tório. No entanto, não foi possível ratificar ou eventualmente retificar a cartografia proposta.

Um litotipo especial merece destaque. Trata-se de diamictitos com matriz filítica e fragmentos na escala de blocos e calhaus. Essa rocha, descrita em apenas um extenso afloramento e infelizmente de difícil cartografia lateral, aparentemente encontra-se, na base da Formação Cercadinho. Sua ocorrência traz consigo um aspecto importante que merece ser abordado, que é sua presença nesta posição estratigráfica. Não é descrita na literatura a ocorrência de diamictitos na base da Formação Cercadinho, isto por conta da própria natureza de seu sistema deposicional. Moraes (1985) caracteriza o sistema deposicional desta unidade como um complexo de leques deltaicos que avançam sobre a sedimentação de plataforma então vigente. Desta forma, os termos mais comuns são arenitos e siltitos e folhelhos que ocorrem de forma intercalada, sendo raros os corpos de conglomerados. Segundo Dorr (1995), os conglomerados basais ocorrem de maneira mais restrita, contendo fragmentos na granulometria seixo, compostos de itabirito, metachert, quartzitos e veios de quartzo.

Rochas de composição similar, na região do Quadrilátero Ferrífero, são encontradas apenas no Grupo Sabará. Dorr (1969) descreveu “tilóides” com calhaus de granito de até 1m de dimensão máxima emersos em matriz de clorita xistos ou filitos na região de Mariana e Ouro Preto.

Por estas questões, esta exposição de diamictitos merece ser estudada com mais detalhe.

Outro aspecto que merece ser abordado aqui, trata-se da natureza do contato entre rochas do Grupo Nova Lima e do Grupo Piracicaba. Em retrospectiva, Johnson (1962), uma vez que considerou as unidades do domínio sul como pertencentes ao grupo Caraça, optou apenas pelo tipo de contato normal. Na compilação apresentada por Baltazar *et al.* (2005 – Figura 5.1), ao atribuírem ao domínio a ocorrência também do Grupo Caraça, estabelecem o contato como normal a leste e por falha indiscriminada a oeste.

Conforme estipulado anteriormente, este contato não pode ser verificado *in locu*, seja pela ausência de afloramentos, por intenso intemperismo que produziu materiais muito alterados, pela cobertura de aluviões do ribeirão Papa Cobra ou ainda pela disposição de rejeitos de mineração de topázio.

A sugestão de importante descontinuidade nesta área é dada tanto pela magnetometria quanto pela radiometria (mapa de amplitude do sinal e fator F).

Neste trabalho optou-se então por atribuir a este contato uma natureza de falhamento indiscriminado, uma vez que, como afirmado, o mesmo não pode ser verificado em observação direta.

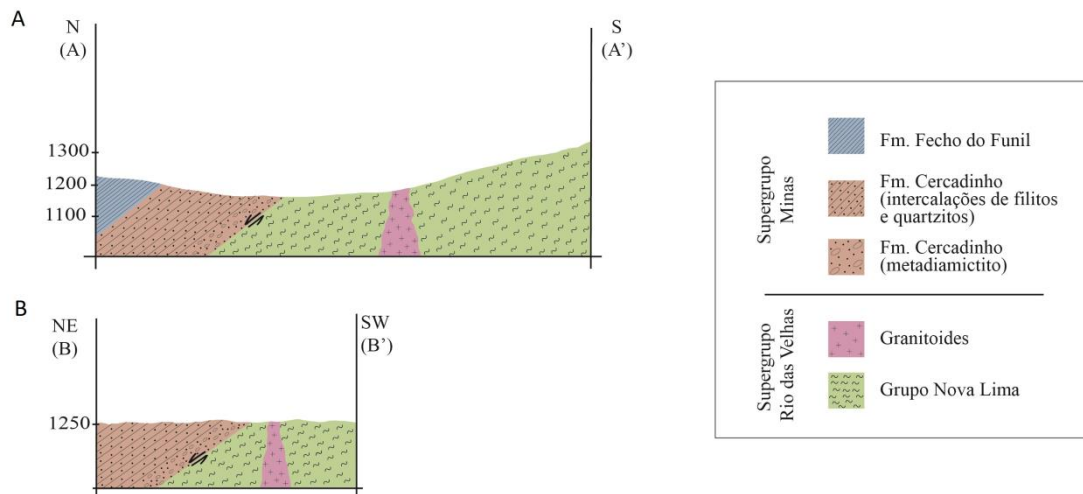
Como estrutura indiscriminada, esta poderia, em tese, representar:

- a. Falhamento normal, com mergulho para norte (Figura 5.2 - A e B)

Esta hipótese é decorrente da omissão dos Grupos Caraça e Itabira no local. E por quais razões esta omissão teria ocorrido?

É interessante aqui se observar o mapa e as seções geológicas das figuras 3.2. e 3.3, que mostram a estruturação do Sinclinal Dom Bosco. Observa-se que a área em estudo se localiza no flanco sul do Sinclinal (no perfil BB', ao sul, na zona de influência do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga). As falhas indicadas nesta seção BB' são sintéticas, de natureza normal, sendo decorrentes do colapso da cadeia Paleoproterozoica e subsequente ascensão do embasamento, gerando a tectônica de domos e quilhas. No caso, ao norte haveria a ascensão do domo de Bação e ao sul o de Santo Antônio de Pirapetinga, formando a calha sinformal de Dom Bosco. Desta forma, a reativação gravitacional das anisotropias

planares, no caso o contato entre o Arqueano e o Paleoproterozoico, por meio de falhas normais sintéticas, poderia então ser a responsável pela omissão de toda a seção basal e intermediária do Supergrupo Minas, ou seja, os grupos Grupo Caraça e Itabira.



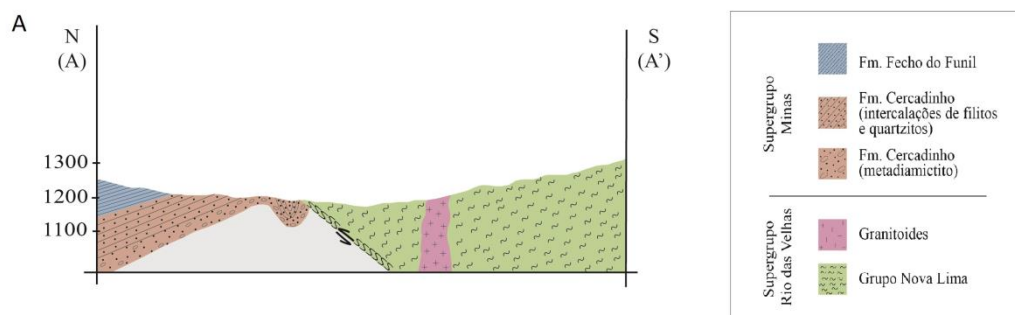
**Figura 5.2**– Representação da hipótese de falhamento normal nas seções A) orientada N-S e B) orientada NE-SW.

b. Falhamento reverso ou de empurrão com mergulho para sul (Figura 5.3)

Uma segunda hipótese surge como decorrência da interpretação dos dados magnetométricos, especialmente a partir do resultado da Deconvolução de Euler. Ela mostra um sistema de falhas com mergulho para sul, com falhas menores se conectam a uma falha maior, mestra provavelmente. A partir desta hipótese, teria-se o alçamento da seqüência arqueana do Grupo Nova Lima sobre as supracrustais do Supergrupo Minas. Este contato, com esta geometria foi exatamente como cartografado por Magalhães e Fonseca (1984).

Por conta da já explicitada dificuldade de verificação *in locu*, opta-se aqui pela segunda hipótese, em função mesmo dos dados geofísicos que não podem ser desconsiderados.

Certo é que, independente da natureza, este contato, na medida em que se constitui em importante anisotropia planar regional, se configurou durante os pulsos contracionais do Paleoproterozoico e do Neoproterozoico bem como muito provavelmente durante o colapso da cadeia Paleoproterozoica.



**Figura 5.3**–Representação da hipótese de falhamento reverso da seção geológica orientada N-S.

A deconvolução de Euler mostrou ainda uma segunda falha de notável extensão em profundidade ao sul. Esta, com mergulhos para o norte. (Figura 5.3). Esta estrutura não foi examinada por estar no limite sul da área de estudo. Ou ainda, pelo menos, não foram notados seus eventuais efeitos em superfície. Portanto trata-se de uma estrutura também como indicação de investigação adicional.

Do ponto de vista estrutural, o acervo descrito em ambos os domínios é composto basicamente por uma única foliação, tipo xistosidade, a qual se associam dobras de primeira fase ( $F_1$ ) com xistosidade ( $S_1$ ) plano axial e lineações minerais postadas neste plano. Outros elementos descritos foram dobras de segunda geração ( $F_2$ ) que ondulam a foliação e possuem escala métrica a dezenas de metros. Planos axiais são subverticais têm direção aproximada E-W. Estruturas que usualmente se associam à última fase deformacional regional (dobras com charneiras NS, clivagens espaçadas e de crenulação), falhas reversas com vergência para oeste, embora muito comuns na porção leste do Sinclinal Dom Bosco, na área estudada são de pouca expressão.



## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÕES

---

Do presente Trabalho de Conclusão de Curso pode-se então apontar as principais conclusões:

O exame da porção centro-sul do Sinclinal Dom Bosco, onde foi descrita a ocorrência de um fragmento crustal do embasamento do Quadrilátero Ferrífero, denominado Complexo Bela Vista, mostrou que ao contrário desta fração do embasamento, ali ocorrem rochas de natureza supracrustal que, por correlação litoestratigráfica, foram atribuídas ao Grupo Nova Lima do Supergrupo Rio das Velhas. A ocorrência de gnaisses miloníticos, antes reportada, não foi registrada no local. Ao contrário, toda esta seqüência supracrustal está truncada por leucogranitos e sienogranitos, cujos aspectos químicos e geocronológicos aguardam por estudos adicionais. Todo este conjunto integra o que foi designado domínio sul da área de estudo. Por esta razão, fica recomendado neste trabalho o abandono da utilização do litodema Complexo Bela Vista

Do ponto de vista cartográfico, esta seqüência do Grupo Nova Lima faz contato diretamente com rochas cartografadas como pertencentes ao Grupo Piracicaba (Formação Cercadinho), as quais ocorrem em associação com a Formação Fecho do Funil (no seu topo) agora no, aqui designado Domínio Norte.

Para auxiliar na cartografia geológica, foram utilizadas ferramentas de métodos geofísicos (radiometria e magnetometria). A análise, seja dos dados radiométricos (canais de U e Th) bem como os magnetométricos (amplitude do sinal analítico), corroborou a divisão nos domínios litológicos propostos a partir dos dados de trabalho de campo.

Cabe destacar que, em especial, junto à base da Formação Cercadinho, foram descritos diamictitos em matriz filítica, contendo blocos e calhaus de quartzitos. Este litotipo se encontra numa posição estratigráfica que não está compatível com a natureza dos sistemas deposicionais já descritos para esta unidade (frentes deltaicas progradantes sobre plataforma). Por isso, investigação adicional estas rochas é indicada.

Em relação ao contato entre os domínios, duas hipóteses foram consideradas: a de falhamento normal, responsável pela omissão da seção basal e intermediária do Supergrupo Minas e por falhamento reverso, que alça o Grupo Nova Lima sobre a seção do Grupo Piracicaba. Esta segunda hipótese, mais plausível, está ancorada em dados magnetométricos, modelados pela deconvolução de Euler.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Alkmim F., Marshak, S. 1968. *Transamazonian Orogeny In The Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: Evidence For Paleoproterozoic Collision And Collapse In The Quadrilátero Ferrífero.* - [S. L.], P 29-58.
- Alkmim F. F. 2004. O Que Faz De Um Cráton Um Cráton? O Cráton Do São Francisco E As Revelações Almeidianas Ao Delimitá-Lo In: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C. D. R., Brito Neves B. B. (Eds.) *Geologia Do Continente Sul-Americano: Evolução Da Obra De Fernando Flávio Marques De Almeida.* São Paulo, Editora Beca, P. 17-34.
- Almeida, F.F.M. 1977. O Cráton Do São Francisco. *Ver. Bras. Geoc.* V. 7. P. 349-364.
- Baltazar, O.F.; Baars F.J.; Lobato, L.M.; Reis, L.B.; Achtschin, A.B.; Berni, G.V.; Silveira, V.D. 2005. Mapa Geológico da Folha Ouro Preto. na Escala 1: 50.000 com Nota Explicativa. In: Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa. Lobato *et al.* CODEMIG. Belo Horizonte
- Barbosa A.L.M. 1969. *Geologic Map of Ouro Preto And Santa Rita De Ouro Preto Quadrangles, Minas Gerais, Brazil.* U.S. Geol. Survey: Prof. Paper, 641-A: Plate 9.
- Barbosa, M.S.C & Oliveira, L.A.S. 2020. Geofísica do Quadrilátero Ferrífero. In: *Quadrilátero Ferrífero: Avanços do conhecimento nos últimos 50 anos.* (Organizadores: Castro, P.T.A., Endo, I., Gandini, A. L.). Editado por 3i Editora. P.122
- Bello, A. M. 2014. Avaliações comparativas de filtros espaciais para mapeamento de contatos geológicos com contrastes de densidades e suscetibilidades magnéticas. Projeto Final de Graduação em Geofísica, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niteroi/RJ.
- Belo De Oliveira, O.A. &Vieira, M.B.H. 1987. Aspectos Da Deformação Dúctil E Progressiva No Quadrilátero Ferrífero. *Anais, 4<sup>o</sup> Simpósio De Geologia Núcleo Minas Gerais, Belo Horizonte, SBG, Boletim 7: 237-253.*
- Carneiro M.A. 1992. O Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional (Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais): Litoestratigrafia E Evolução Geológica De Um Segmento De Crosta Continental Do Arqueano. São Paulo. Tese De Doutorado, Instituto De Geociências Da Universidade De São Paulo. 233 Pp.
- Chemale Jr F., Rosière C.A., Endo, I. 1991. Evolução Tectônica Do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais - Um Modelo. *Pesquisas Em Geociências*, 18 (2): 104-127. Versão Online Disponível Em: <Http://Seer.Ufrgs.Br/Pesquisasemgeociencias/Article/View/21350>. Data De Acesso: 01/11/2019.
- CODEMIG. 2017. Companhia De Desenvolvimento Econômico De Minas Gerais Serviço Geológico Do Brasil. Carta Geológica: Folha Nova Ponte (SF.23-Y-C-I), escala 1:100.000.
- Dentith M. & Mudge S. T. 2014. *Geophysics For The Mineral Exploration Geoscientist.* New York, Cambridge University Press. 438 P.
- Dorr ,J. 1969. *Physiographic, Stratigraphic And Structural Development Of The Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil.* Washington, USGS/DNPM. Prof. Paper641-A, 110p.
- Endo, I. 1997. Regimes Tectônicos Do Arqueano E Proterozoico No Interior Da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero E Áreas Adjacentes, Minas Gerais. São Paulo. Tese De Doutorado, Instituto De Geociências, Universidade De São Paulo.
- Eskola, P.E. 1949, *The Problem Of Mantled Gneiss Domes: Geological Society Of London, Quarterly Journal*, V. 104, P. 461-476.

Farina F., Albert C., Martínez Dopico C., Aguilar Gil C., Moreira H., Hippertt J.P., Cutts K. 2015. The Archean and Paleoproterozoic Evolution Of The Quadrilátero Ferrífero: (Brazil): Current Models And Open Questions. F.F. Alkmim, C. Lana. *Journal Of South American Earth Sciences*.

Fragoso César, A. R. S., et al. 2019. Terrenos suspeitos a sul da placa sanfranciscana (se da plataforma sul-americana). No. 55 (899) CON. Sociedad Uruguaya de Geología Universidad de la República. Facultad de Ciencias. Instituto de Geología y Paleontología, 1998 Gonçalves, Wagner Fernandes. "A Natureza Do Contato Entre O Complexo Do Bação e As Sequências Supracrustais Adjacentes, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. "

Guild, P.W. 1957. *Geology, And Mineral Resources Of The Congonhas District, Minas Gerais, Brazil*. U. S. Geological Survey Professional 290: 90p.

Hartmann L.A., Endo I., Suita M.T.F., Santos J.O.S., Frantz J.C., Carneiro M.A., Naughton N.J., Barley M.E. 2006. *Provenance and age delimitation of Quadrilátero Ferrífero sandstones based on zircon U–Pb isotopes*. *Journal of South American Earth Sciences*, 20, 273–285

Herz, N. 1978. *Metamorphic Rocks Of the quadrilátero ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. *Professional Paper* 641- C

Johnson R.F. 1962. *Geology And Ore Deposits Of The Cachoeira Do Campo, Dom Bosco, And Ouro branco Quadrangles, Minas Gerais, Brazil*. *USGS Prof. Paper*, 341-B.

Kearey P., Brooks M., Hill I. 2002. *An introduction to geophysical exploration*. Wiley blackwell, UK, 272 P.

Kearey, P., Brooks M., Hill I. 2009. *Geofísica De Exploração*. Oficina De Textos, São Paulo, 438 P.

Ladeira, E.A. 1980. *Metallogenesis Of Gold At The Morro Velho Mine And In Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. *Tese(Phd), University Of Western Ontario, London*, 272p.

Lana, C. *Et al*, 2013. *The Ancestry And Magmatic Evolution Of Archean TTG Rocks Of The Quadrilátero Ferrífero Province, Southeast Brazil*. [S. L.], V 231, P. 157-173.

LOURO, V. H. A. 2013. *Procedimentos De Análise Em Magnetometria: Estimativa De Magnetização Remanescente Visando Inversões Para Exploração Mineral*. Tese De Doutorado. Universidade De São Paulo.

Machado, N. *Et al*, 1992. *U-Pb Geochronology Of Archean Magmatism And Proterozoic Metamorphism In The Quadrilátero Ferrífero, Southern São Francisco Craton, Brazil*. [S. L.] Sept. 01.

Machado, N., *Et al*, 1996. "Ages Of Detrital Zircon From Archean-Paleoproterozoic Sequences: Implications For Greenstone Belt Setting And Evolution Of A Transamazonian Foreland Basin In Quadrilátero Ferrífero, Southeast Brazil." *Earth And Planetary Science Letters* 141.1-4:259-276.

Magalhães, L., Fonseca, M. A., 1984. *Relatório Da Área V. Minas Gerais. Trabalho De Conclusão De Curso, Departamento De Geologia Da Universidade Federal De Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil*.

Moraes, M.A.S. 1985. Reconhecimento de Facies Sedimentares em rochas metamórficas da região de Ouro Preto, MG. 3º Simp. Geol. Minas Gerais, bol. 5, SBG-MG. p 84-90

Minty, B. R. S. (1997). *Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry*. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17(2), 39-50.

- Noce, C. M. 1996. Geoquímica De Gnaisses E Granitoides Do Quadrilátero Ferrífero: Aspectos Da Evolução Crustal Arqueana E Paleoproterozoica. Boletim IG-USP. Publicação Especial 18, P. 25-27.
- OLSEN, D. R. 1971. *Origin of topaz deposits near Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil. Economic Geology*, v. 66, n. 4, p. 627-631.
- Ostrovskiy E.Ya. 1975. *Antagonism Of Radioactive Elements In Wallrock Alterations Fields And Its Use In Aerogamma Spectrometric Prospecting. International Geol. Review*, 17(4): 461- 468.
- Pires, F.R.M, Fraga, L.M.B., 1985. Evidências Da Presença De Embasamento Gnáissico - Complexo Bela Vista - Na Estrutura Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: SIMP. GEOL. MINAS GERAIS, 3, Belo Horizonte, 1985. Anais, Belo Horizonte. SBG. Núcleo Minas Gerais Bol. N°5,P.94-99.
- Renger, F. E., Noce, C. M., Romano, A. W. & Machado, N. 1994. Evolução Sedimentar Do Supergrupo Minas: 500Ma. De Registro Geológico No Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*, 2 (1): 1-11.
- Ribeiro, V. B., Mantovani, M. S. M. 2012. Contribuição geofísica ao estudo Do Batólito granítico Santa Helena, Sudoeste Do Cráton Amazônico. *Geologia USP. Série Científica*, V. 12, N. 2, P. 65-82.
- Rolim, V. K., Alkmim F.F., 2016. Geometria 3D De Falhas De Empurrão E Dobras Associadas Como Expressões Da Morfologia Do Descolamento Basal: Resultados De Uma Simulação Computacional. *Revista Brasileira De Geociências* 34.3, P.295-302.
- Telford W. M., Geldart L. P., Sheriff R. E., Keys D. A. 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University. 770p.
- Thomas J. E. 2001. *Fundamentos De Engenharia Do Petróleo*. Editora Interferência, Rio De Janeiro, 271 P

## ANEXO

### ANEXO A – TABELA DE PONTOS VISITADOS EM CAMPO

Ponto	Coordenadas	Classificação Estratigráfica	Atitude
1	640400/7739640	Formação Fecho do Funil	23/60, 39/62, 30/50
2	640400/7739650	Formação Fecho do Funil	40/67, 72/55
3	640350/7739500	Formação Fecho do Funil	50/51, 38/69, 36/65
4	640340/7739300	Formação Fecho do Funil	100/5
5	640340/7739300	Contato	30/40
6	640300/7739250	Formação Cercadinho	9/20, 10/19, 18/42
7	640240/7739180	Formação Cercadinho	21/40, 25/52, 23/48
8	~640240/7739180	Formação Cercadinho	35/55, 40/28
9	640370/7739070	Formação Cercadinho	20/48, 25/52
10	640500/7738500	Transição	142/25, 138/25
11	640680/7738530	Grupo Nova Lima	80/42
12	640170/7737700	Grupo Nova Lima	30/50
13	640340/7738030	Grupo Nova Lima	50/51
14	640450/738500	Grupo Nova Lima	55/72, 39/62
15	639670/7737600	Grupo Nova Lima	38/69, 23/60
17	640279/7736628	Grupo Nova Lima	72/55
18	640020/7763565	Formação Moeda	40/67, 35/55
19	639795/7736574	Grupo Nova Lima	62/36, 51/47