



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



**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

SERRA DO ITACOLOMI REVISITADA: ESTRATIGRAFIA, ARCABOUÇO  
ESTRUTURAL E APLICAÇÃO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS, QUADRILÁTERO FERRÍFERO,  
MINAS GERAIS

Leo Henrique do Carmo Barbosa

**MONOGRAFIA n° 298**

Ouro Preto, novembro de 2018



**SERRA DO ITACOLOMI REVISITADA: ESTRATIGRAFIA,  
ARCABOUÇO ESTRUTURAL E APLICAÇÃO DE MÉTODOS  
GEOFÍSICOS, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS  
GERAIS**

---





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

### **Reitora**

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

### **Vice-Reitor**

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

### **Pró-Reitora de Graduação**

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

### **ESCOLA DE MINAS**

#### *Diretor*

Prof. Dr. Issamu Endo

#### *Vice-Diretor*

Prof. Dr. Hernani Mota de Lima

### **DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

#### *Chefe*

Prof. Dr. Marco Antonio Fonseca



# **MONOGRAFIA**

**Nº 298**

## **SERRA DO ITACOLOMI REVISITADA: ESTRATIGRAFIA, ARCABOUÇO ESTRUTURAL E APLICAÇÃO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS**

**Leo Henrique do Carmo Barbosa**

*Orientador*

**Prof. Dr. Issamu Endo**

*Co-Orientadora*

**Profa. Dra. 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 2018/2.

**OURO PRETO**

**2018**

---

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: Leo Henrique do Carmo Barbosa

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

B238s      Barbosa, Leo Henrique do Carmo.  
Serra do Itacolomi revisitada [manuscrito]: estratigrafia, arcabouço estrutural  
e aplicação de métodos geofísicos / Leo Henrique do Carmo Barbosa. - 2018.  
  
117f.: il.: color; grafis; tabs; mapas.  
  
Orientador: Prof. Dr. Issamu Endo.  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Sílvia Carvalho Barbosa.  
  
Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de  
Minas. Departamento de Geologia.  
  
1. Geologia estratigráfica. 2. Geologia estrutural. 3. Geofísica. 4.  
Quadrilátero Ferrífero (MG). I. Endo, Issamu. II. Barbosa, Maria Sílvia  
Carvalho. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.  
  
CDU: 551.7(815.1)

Catálogo: [ficha.sisbin@ufop.edu.br](mailto:ficha.sisbin@ufop.edu.br)

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

## Ficha de Aprovação

---

### TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**TÍTULO:** SERRA DO ITACOLOMI REVISITADA: ESTRATIGRAFIA, ARCABOUÇO ESTRUTURAL E APLICAÇÃO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS

**AUTOR:** LEO HENRIQUE DO CARMO BARBOSA

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Issamu Endo

**Aprovada em:** 27 de novembro de 2018

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof. Dr. Issamu Endo

 DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Paulo de Tarso Amorim Castro

 DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Leonardo Eustáquio da Silva Gonçalves

 DEGEO/UFOP

**Ouro Preto, 27/11/2018**





**UFOP**

Universidade Federal  
de Ouro Preto

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**

**ESCOLA DE MINAS**

**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**



## DECLARAÇÃO

Ouro Preto, 07 de janeiro de 2019.

Certifico que o aluno Leo Henrique do Carmo Barbosa, autor do trabalho de conclusão de curso intitulado Serra do Itacolomi Revisitada: Estratigrafia, Arcabouço Estrutural e Aplicação de Métodos Geofísicos, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.

---

Professor Dr. Issamu Endo - Orientador



## AGRADECIMENTOS

---

Imensa gratidão e amor ao meu núcleo familiar Soninha (in memorian), Marcão, Mária, Iarina (in memorian) e Daniel. Às minhas madrinhas tia Valéria (de batismo) e primas Juliana (da geologia) e Mariana (de Ouro Preto e da vida) pela atenção, cuidado e por serem fortemente presentes. A toda família Carmo e Barbosa, em especial meu primo Lucas Mourão Vieira Montese e tios Rusuco, Lincão e Rui por fazerem sempre questão.

Agradeço à Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, à Escola de Minas – EM e ao Departamento de Geologia – DEGEO/UFOP. Sou muito grato à Sociedade Excursionista e Espeleológica – SEE pelo apoio institucional e por ter me mostrado os caminhos do Itacolomi desde minha chegada a Ouro Preto.

Um agradecimento especial aos meus orientadores Issamu Endo e Maria Sílvia pela orientação diferenciada, obrigado pelo aprendizado e pelo exemplo.

A todos os professores que tive contato e contribuíram para a minha formação como Engenheiro Geólogo. Aqueles que me incentivaram e abriram portas para mim: Glaucia Nascimento Queiroga, Leonardo Martins Graça, Paulo Cyro Baptista Scudino, Maximiliano de Souza Martins, Isaac Daniel Rudnitzki e Paulo Henrique Ferreira Galvão.

À turma de análise estrutural 17.1.

Ao pessoal que deu uma força imensa nos campos Hélio de Almeida Moreira, Pedro Henrique Assunção, Bruno Fernandes Aguiar, Syro Lacerda, André Endo, Marcos Saraiva Pimenta, Bruno César Barbosa, Paulo Eduardo Santos Lima, Lucas Machado, Gabriel Lourenço, Gabriel Amora, Debora Lara Pereira, Ícaro Assis Cruz, André Luiz Araujo, Luis Arthur Souza Oliveira, Victor Lunardi, Marco Aurélio Attela Barbosa e Marco Antônio Bragante-Filho pela parceria de longa data desbravando a serra do Itacolomi.

Ao Thiago Madeira.

Ao Igor Pereira Calhau pela contínua motivação em ir além dos próprios limites.

À Clara pelo companheirismo, paciência e carinho.

À instituição república Saudade da Mamãe por todo apoio e irmandade, principalmente nessa reta final, aos moradores e ex-alunos minha sincera gratidão.

“Graças ao ar que respiramos, graças a água, a terra, ao sol. Graças as mãos que fazem, graças a Deus, graças a nós, graças a todos os dias do ano” Domingos Pellegrini



# SUMÁRIO

---

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>xi</b>
<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>xxi</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xxv</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 NATUREZA DO TRABALHO .....	1
1.2 RELEVÂNCIA .....	1
1.3 OBJETIVOS.....	2
1.4 LOCALIZAÇÃO E ACESSO .....	2
1.5 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS .....	4
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>5</b>
2.1 GEOFÍSICA .....	6
2.1.1 Banco de dados aerogeofísico .....	6
2.2 MAPEAMENTO GEOLÓGICO LITOESTRUTURAL.....	7
2.3 LEVANTAMENTO ESTRATIGRÁFICO .....	9
2.3.1 Cálculo de Espessura de Camada.....	9
Terminologia .....	9
Seção de Mergulho .....	9
Seção Oblíqua.....	10
Dados de Campo.....	10
Planilha de Dados de Campo.....	10
<b>3 CONTEXTO GEOLÓGICO</b> .....	<b>11</b>
3.1 ESTRATIGRAFIA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO (QFe).....	12
3.1.1 Grupo Piracicaba .....	13
3.1.2 Grupo Sabará.....	13
3.1.3 Grupo Itacolomi .....	14
3.2 ARCABOUÇO ESTRUTURAL .....	15
<b>4 EMBASAMENTO TEÓRICO GEOFÍSICO</b> .....	<b>19</b>
4.1 MAGNETOMETRIA.....	19
4.1.1 Anomalias Magnéticas .....	19
4.1.2 Correções e filtragem dos dados .....	20
Correção da Variação Diurna .....	20
IGRF – Correção Geomagnética .....	20

Filtros .....	20
4.1.3 Deconvolução de Euler.....	21
4.2 RADIOMETRIA .....	22
4.2.1 Radioatividade natural.....	22
4.2.2 Radioatividade das rochas e minerais.....	22
4.2.3 Interpretação .....	23
<b>5 ANÁLISES GEOFÍSICAS .....</b>	<b>25</b>
5.1 ANÁLISE QUALITATIVA .....	25
5.1.1 Processamento dos Dados Aerogeofísicos .....	25
5.1.2 ANÁLISE MAGNETOMÉTRICA .....	28
5.1.3 ANÁLISE RADIOMÉTRICA .....	32
5.2 ANÁLISE QUANTITATIVA .....	35
5.2.1 Processamento de Dados Aerogeofísicos para Análise Quantitativa .....	35
5.2.2 Resultados Quantitativos .....	38
Vizualização em 3D .....	41
<b>6 ESTRATIGRAFIA.....</b>	<b>43</b>
6.1 UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS MAPEADAS .....	43
6.1.1 Grupo Piracicaba .....	43
Formação Cercadinho .....	44
Formação Barreiro .....	45
Formação Taboões .....	46
6.1.2 Grupo Sabará.....	46
6.1.3 Grupo Itacolomi.....	48
Conjunto Litológico A .....	48
Conjunto Litológico B .....	48
Conjunto Litológico C .....	49
Conjunto Litológico D .....	49
Conjunto Litológico E.....	49
Conjunto Litológico F.....	49
6.1.4 Rochas Intrusivas.....	50
6.2 Relações Estratigráficas.....	51
6.2.1 Perfis estratigráficos no norte da área de estudo .....	51
Perfil FI-1 .....	51
Perfil FI-2.....	52
Perfil FI-3.....	53
Perfil FI-4.....	54

Perfil FI-5 .....	54
6.2.2 Perfil Colunar Estratigráfico L.....	55
6.2.3 Perfil Colunar Estratigráfico B.....	56
6.3 As Unidades Estratigráficas que Compõem o Grupo Itacolomi.....	56
<b>7 ARCABOUÇO ESTRUTURAL .....</b>	<b>61</b>
7.1 ACAMAMENTO .....	61
7.2 XISTOSIDADE.....	63
7.3 RELAÇÕES DE VORTICIDADE.....	66
7.4 LINEAÇÃO DE INTERSEÇÃO .....	67
7.5 LINEAÇÃO DE ESTIRAMENTO MINERAL .....	68
7.6 LINEAÇÃO DE CRENULAÇÃO .....	69
7.7 DOBRAS.....	69
7.8 LINEAMENTOS ESTRUTURAIS.....	71
7.9 FALHAS E ZONAS DE CISALHAMENTO .....	74
7.10 FRATURAS E VEIOS .....	75
7.11 A FALHA ITACOLOMI .....	76
7.12 MODELO DE EVOLUÇÃO ESTRUTURAL.....	78
<b>8 DISCUSSÕES.....</b>	<b>83</b>
8.1 GEOFÍSICA .....	83
8.2 ESTRATIGRAFIA.....	84
8.3 ARCABOUÇO ESTRUTURAL.....	87
<b>9 CONCLUSÕES.....</b>	<b>91</b>
9.1 ESTRATIGRAFIA.....	91
9.2 ARCABOUÇO ESTRUTURAL .....	91
9.3 APLICAÇÃO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS.....	91
<b>Referências bibliográficas.....</b>	<b>93</b>
<b>Anexo I – Pôster: A Falha Itacolomi - Geosudeste 2017 .....</b>	<b>99</b>
<b>Apêndice I - Mapa Geológico .....</b>	<b>101</b>
<b>Apêndice II – Perfil Geológico .....</b>	<b>103</b>
<b>Apêndice III – Perfil Colunar Estratigráfico L .....</b>	<b>105</b>
<b>Apêndice IV – Perfil Colunar Estratigráfico B .....</b>	<b>107</b>
<b>Apêndice V – Tabela de Mapeamento Litoestrutural.....</b>	<b>109</b>
<b>Apêndice VI – Tabela do Levantamento Estratigráfico .....</b>	<b>111</b>
<b>Apêndice VII – Mapa de Pontos .....</b>	<b>113</b>



## INDÍCE DE FIGURAS

---

<b>Figura 1.1:</b> Mapa de localização da área de estudos. ....	3
<b>Figura 1.2:</b> A) Modelo de elevação digital; B) Principais drenagens da área de estudo. ....	4
<b>Figura 1.3:</b> Plantas típicas da serra do Itacolomi. A) Candeia; B) Canela de Ema. ....	4
<b>Figura 2.1:</b> Mapa de pontos realizados durante as campanhas de mapeamento e levantamento estratigráfico. ....	5
<b>Figura 2.2:</b> Contorno do estado de Minas Gerais com a disposição das áreas alvo do levantamento aerogeofísico de 2001. ....	6
<b>Figura 2.3:</b> Mapa de Amplitude de Sinal Analítico da Área 2 do Levantamento Aerogeofísico 2001 da Codemig com a localização da área de estudo em foco. ....	7
<b>Figura 2.4:</b> Divisão da área de estudos em domínios estruturais 1 (a, b e c) e 2, outras informações no texto. ....	9
<b>Figura 2.5:</b> Modelo para cálculo da espessura real da camada a partir da espessura aparente, o rumo da seção, a inclinação do terreno e o ângulo do mergulho da camada. ....	10
<b>Figura 3.1:</b> Localização do Quadrilátero Ferrífero na porção sul do cráton São Francisco (modificado de Alkmin & Marshak 1998, por Dutra 2015). ....	11
<b>Figura 3.2:</b> Localização da área de estudo no mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero. ....	12
<b>Figura 3.3:</b> Seção geológica da Estrada Real e síntese dos elementos estruturais ....	17
<b>Figura 4.1:</b> Diagrama ternário com a concentração relativa de elementos radioativos e seus litotipos associados (Kearey <i>et al.</i> 2009). ....	23
<b>Figura 5.1:</b> Técnicas de filtragens são utilizadas na geração dos mapas temáticos magnetométricos. ....	26
<b>Figura 5.2:</b> Os mapas temáticos radiométricos. ....	27
<b>Figura 5.3:</b> Mapa de amplitude do sinal analítico (ASA) ....	29
<b>Figura 5.4:</b> A) Mapa de ASA; B) Mapa de ASA com as magnetofácies ....	30
<b>Figura 5.5:</b> A) Mapa de ASA com os lineamentos regionais plotados. ....	31
<b>Figura 5.6:</b> Mapas de Continuação para Cima e lineamentos interpretados. ....	32
<b>Figura 5.7:</b> A) Mapa Ternário; B) Mapa Ternário com as radiofácies sobrepostas. ....	33
<b>Figura 5.8:</b> A) Mapa do canal de tório; B) Mapa do canal de tório ....	35

<b>Figura 5.9:</b> Perfis N-S para a Deconvolução de Euler.....	36
<b>Figura 5.10:</b> Interface do <i>software</i> Euler 1.0, com os dados magnéticos.....	37
<b>Figura 5.11:</b> Fluxograma simplificado na geração do modelo em 3D. ....	38
<b>Figura 5.12:</b> Interface do <i>software</i> Euler 1.0 com os dados do Perfil 7. (A) Dados.....	39
<b>Figura 5.13:</b> Interface do <i>software</i> Euler 1.0 com os dados do Perfil 9. (A) Dados.....	40
<b>Figura 5.14:</b> Interface do <i>software</i> Euler 1.0 com os dados do Perfil 13. (A) Dados.....	41
<b>Figura 5.15:</b> Modelo 3D em diferentes perspectivas.....	42
<b>Figura 5.16:</b> Modelo 3D da área gerado através método de krigagem.....	42
<b>Figura 6.1:</b> Mapa com os perfis realizados na porção norte da área.....	43
<b>Figura 6.2:</b> Formação Cercadinho: (A) Ponto K37. ....	44
<b>Figura 6.3:</b> No ponto K55 observa-se os filitos abaixo dos quartzitos, ambos da Formação Cercadinho: (A) Foto com az. de visada 20°, porção filítica intemperizada. ....	44
<b>Figura 6.4:</b> Fm. Cercadinho. (A) Ponto K64.....	45
<b>Figura 6.5:</b> (A) Ponto K55, az. de visada da foto 355°, filito preto.....	45
<b>Figura 6.6:</b> (A) Ponto K37 az. de visada da foto 30°. ....	46
<b>Figura 6.7:</b> A) Ponto K76 do perfil FI-4, afloramento de rocha xistosa.....	47
<b>Figura 6.8:</b> Quartzitos da Formação Estrada Real, ponto K62. A) Clasto de granulação bloco, estirado, L <sub>e</sub> 100/05, abaixo de nível centimétrico cianítico; B) Bloco estirado.....	47
<b>Figura 6.9:</b> Estratos cruzados de pequeno porte exibindo truncamentos.....	50
<b>Figura 6.10:</b> Imagens dos afloramentos e amostras de mão do dique máfico. (A), (B) e (C) ponto K82; (D) e (E) ponto L40. ....	51
<b>Figura 6.11:</b> Perfil FI-1 no setor NE da área de estudo, com a descrição do empilhamento litológico e as relações de vorticidade dos elementos estruturais.....	52
<b>Figura 6.12:</b> Perfil FI-2.....	53
<b>Figura 6.13:</b> Perfil FI-3.....	53
<b>Figura 6.14:</b> Perfil FI-4.....	54
<b>Figura 6.15:</b> Perfil FI-5.....	55
<b>Figura 6.16:</b> Modelo estratigráfico esquemático.....	58

<b>Figura 6.17:</b> Perfil esquemático W-E do levantamento estratigráfico B.....	59
<b>Figura 7.1:</b> A) Variação granulométrica com nível metaconglomerático abaixo de nível quartzítico marcando o acamamento; B) Estratificação cruzada acanalada, critério geopetal.....	61
<b>Figura 7.2:</b> A) Estereograma com todas as medidas de acamamento realizadas durante os campos; B) Diagrama de Woodcock referente ao acamamento sedimentar. ....	62
<b>Figura 7.3:</b> A) Estereograma as medidas de acamamento realizadas no domínio 1, lapa da falha Itacolomi; B) Diagrama de Woodcock referente ao acamamento sedimentar do domínio 1.....	63
<b>Figura 7.4:</b> A) Estereograma as medidas de acamamento realizadas no domínio 2, capa da falha Itacolomi; B) Diagrama de Woodcock referente ao acamamento sedimentar do domínio 2.....	63
<b>Figura 7.5:</b> Xistosidade oblíqua ao acamamento. A) Ponto K68 Az° da foto 160° .....	64
<b>Figura 7.6:</b> A) Estereograma com todas as medidas de xistosidade realizadas durante o campo; B) Diagrama de Woodcock referente as medidas de xistosidade.....	64
<b>Figura 7.7:</b> A) Estereograma apresentando a xistosidade do domínio 1; B) Diagrama de Woodcock referente a xistosidade do domínio 1. ....	65
<b>Figura 7.8:</b> A) Estereograma apresentando a xistosidade do domínio 2; B) Diagrama de Woodcock referente a xistosidade do domínio 2. ....	66
<b>Figura 7.9:</b> Análise de vorticidade a partir dos máximos de densidade dos estereogramas....	66
<b>Figura 7.10:</b> Vorticidade anti-horária. A) ponto K20.....	67
<b>Figura 7.11:</b> Vorticidade horária. A) ponto K74.....	67
<b>Figura 7.12:</b> Foliação SC e xistosidades com vorticidades opostas (Perfil FI-1). A) Ponto K39 az. de visada da foto 180°, C 180/40, S 200/40 e C' 150/45; B) Ponto K39 .....	67
<b>Figura 7.13:</b> Lineação de interseção entre $S_0$ e $S_n$ . A) ponto K99, az. de visada da foto 120°; B) ponto, K48az° da foto 115°-Quartzito ferruginoso. ....	68
<b>Figura 7.14:</b> Estereograma com as medidas de lineação de interseção.....	68
<b>Figura 7.15:</b> Estereograma com as medidas de lineação de estiramento mineral. ....	68
<b>Figura 7.16:</b> A) Ponto K97 az. de visada° da foto 120°, estiramento de grãos paralelos a lineação de interseção.....	69
<b>Figura 7.17:</b> Lineação de crenulação; A) Em filito alterado; B) Em nível fino no quartzito..	69
<b>Figura 7.18:</b> Estereograma com as medidas de lineação de crenulação.....	69
<b>Figura 7.19:</b> Dobras assimétricas vergentes para SSW com eixo para ESE. ....	70

<b>Figura 7.20:</b> Dobras centimétricas. A) Ponto K76 .....	71
<b>Figura 7.21:</b> Dobras macroscópicas, abertas, suaves, assimétricas. ....	71
<b>Figura 7.22:</b> Mapa de lineamentos estruturais e diagrama de rosas com as principais direções, n=829, máximo entre 140° e 150°. ....	72
<b>Figura 7.23:</b> Análise de ocorrência do dique. (A) imagem SRTM.....	73
<b>Figura 7.24:</b> A) Falha normal regional com componente sinistral .....	74
<b>Figura 7.25:</b> Zonas de cisalhamento dúcteis. A) Ponto K32 .....	74
<b>Figura 7.26:</b> Fraturas ao longo da serra indicadas pelas linhas pretas.....	75
<b>Figura 7.27:</b> A) Blocos com fraturas rúpteis com plano de mergulho para N.....	75
<b>Figura 7.28:</b> A) Ponto K23 veio preenchendo fratura; B) Ponto K27 .....	76
<b>Figura 7.29:</b> Incongruência topológica caracterizada pela análise de vorticidade e pelo critério geopetal.....	77
<b>Figura 7.30:</b> A) Mapa de derivada vertical (dz); B) Imagem <i>hillshade</i> .....	78
<b>Figura 7.31:</b> (A) Croqui esquemático em planta da serra do Itacolomi. ....	79
<b>Figura 7.32:</b> Modelo de evolução estrutural da serra do Itacolomi. A) F <sub>1</sub> <i>nappe</i> Ouro Preto; B) F <sub>2</sub> redobramento coaxial.....	80
<b>Figura 7.33:</b> Modelo esquemático da interação das falhas de Água Quente e Itacolomi. A) Croqui do sinclinal Santa Rita, falha de Água Quente e falha Itacolomi; B) Croqui.....	81
<b>Figura 7.34:</b> (A) Figura esquemática em planta do sinclinal Santa Rita (SSR), falha de Água Quente (FAQ) e a falha Itacolomi (FIT) .....	82
<b>Figura 8.1:</b> Contatos transicionais entre os quartzitos da unidade Ribeirão Belchior (na base), os xistos da unidade Rio Mainart (intermediários) e os quartzitos.....	84
<b>Figura 8.2:</b> No primeiro plano da figura o domínio dos quartzitos com camadas com mergulho para E .....	85

## ÍNDICE DE TABELAS

---

<b>Tabela 3.1:</b> Coluna litoestratigráfica do Quadrilátero Ferrífero .....	13
<b>Tabela 4.1:</b> Filtros de Fourier com suas finalidades de aplicação .....	21
<b>Tabela 4.2:</b> Relação do índice estrutural com os modelos físico e geológico. ....	21
<b>Tabela 5.1:</b> Síntese dos teores de cada elementos nas radiofácies delimitadas. ....	33
<b>Tabela 8.1:</b> Resumo da descrição das unidades definidas por formações. ....	87
<b>Tabela 8.2:</b> Tabela resumo com proposta de cronologia dos eventos tectônicos. ....	90



## RESUMO

---

No topo das sequências metassedimentares da região do Quadrilátero Ferrífero ocorrem rochas do Grupo Itacolomi. Considerado por muitos autores como um terreno alóctone, sua evolução tectônica e posição estratigráfica são temas bastante discutidos na literatura. Estudos geocronológicos e estratigráficos recentes, nas regiões de Furquim e Chapada/Lavras Novas, respectivamente, modificaram a compreensão sobre a distribuição das rochas do Grupo Itacolomi e suas relações de contato. Este projeto propõe um estudo estratigráfico, estrutural e geofísico alinhado com a visão atual sobre o Grupo Itacolomi em sua localidade tipo, a serra do Itacolomi. Está inserido na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC-402) com carga horária obrigatória no currículo do curso de graduação de engenharia geológica da Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP. Teve como objetivos investigar e caracterizar o arcabouço litoestrutural e geofísico da Serra do Itacolomi através da realização de mapeamento geológico litoestrutural, levantamento estratigráfico e aplicação de métodos geofísicos. Como produto obteve-se um mapa geológico com escala 1:10.000, perfis geológicos, perfis colunares com o empilhamento e espessura das rochas da serra do Itacolomi, mapas geofísicos magnetométricos e radiométricos e, por fim, a descrição, análise e interpretação dos produtos. Como resultado obteve-se uma reorganização tectônica dos blocos estruturais da serra do Itacolomi, separados pela falha homônima que justapôs flancos de diferentes posicionamentos estruturais, a caracterização de contatos gradacionais predominantes, antes tido por falha e de outras estruturas que compõem o arcabouço geológico do local. Estratigraficamente propõe-se que o grupo em questão seja formado por quatro unidades, três quartzíticas nomeadas de Morro do Cachorro, Ribeirão Belchior e Pico do Itacolomi e uma composta por xistos e filitos nomeada de Rio Mainart. Discute-se também uma possível contextualização deposicional das rochas da serra do Itacolomi com variação lateral com o Grupo Sabará.

**Palavras chave:** estratigrafia, geologia estrutural, geofísica, Quadrilátero Ferrífero, Grupo Itacolomi



## ABSTRACT

---

At the top of the metasedimentary sequences of the Quadrilátero Ferrífero region outcrop rocks of the Itacolomi Group. Considered by many authors as an allochthonous terrain, its tectonic evolution and stratigraphic position are topics often discussed in literature. Recent geochronological and stratigraphic studies in the Furquim and Chapada / Lavras Novas regions, respectively, modified the understanding of the distribution and contact relationships of the Itacolomi Group. This project proposes a stratigraphic, structural, and geophysical study aligned with the current view on the Itacolomi Group in its typical locality, the Itacolomi mountain range or Serra do Itacolomi. It is a monography project included in the compulsory workload for the undergraduate coursework of geological engineering at the Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP. Its objectives were to investigate and characterize the lithostructural and geophysical framework of Serra do Itacolomi by performing geological mapping, a stratigraphic survey, and by applying geophysical methods. As a product, a geological map with a scale of 1: 10,000, geological profiles, columnar profiles with the stacking of Itacolomi mountain rocks, magnetometric and radiometric geophysical maps and, finally, the description, analysis and interpretation of the obtained products. As a result, a tectonic reorganization of the structural blocks of the Itacolomi mountain range is proposed, separated by the homonymous fault that juxtaposed flanks of different structural positions, the characterization of predominant gradational contacts, formerly due to failure, and other structures that make up the geological framework of the site. It is also proposed that the group in question be made up of four units, three composed by quartzites named Morro do Cachorro, Ribeirão Belchior and Pico do Itacolomi, and one composed of schists and phyllites, named Rio Mainart. At last, it is discussed a depositional contextualization of the rocks of the Serra da Itacolomi with lateral variation with the Sabará Group.

**Key words:** stratigraphy, structural geology, geophysics, Quadrilátero Ferrífero, Itacolomi Group



# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

---

O Grupo Itacolomi é caracterizado por possuir vários maciços quartzíticos distribuídos ao longo das bordas sul e leste do Quadrilátero Ferrífero (QFe) (Dorr 1969). Ele apresenta intensidades e estilos variados de deformação e elevado grau de complexidade. Este fato tem dificultado os estudos de correlação com as unidades formalmente definidas no QFe. A serra do Itacolomi é considerada a seção tipo do grupo supracitado e está localizada nos municípios de Mariana e Ouro Preto – Minas Gerais.

Com base em dados obtidos pelo mapeamento geológico, levantamento estratigráfico e aplicação de métodos geofísicos é proposta uma revisão litoestratigráfica do Grupo Itacolomi no local tipo. Sugere-se uma nova expressão da organização estrutural dos blocos tectônicos que englobam a serra, um modelo estratigráfico realizado através da descrição da sua sucessão litológica e de como as respostas geofísicas auxiliaram na interpretação de tais fatores.

A área de estudo abrange porções das quadriculas de Mariana/Rio das Bandeiras e Ouro Preto/Santa Rita de Ouro Preto, elaborada em escala 1:25.000 pelo convênio USGS-DNPM (1946-1964). Outras megaestruturas do QFe também interagem de forma expressiva na região, como o flanco inverso do sinclinal Santa Rita e o sistema de falhas Água Quente.

### 1.1 NATUREZA DO TRABALHO

Este estudo está inserido na carga horária obrigatória do curso de Engenharia Geológica, como parte das disciplinas oferecidas pelo Departamento de Geologia, da Escola de Minas, da Universidade Federal de Ouro Preto. Consiste no Trabalho de Conclusão de Curso (TCC 402) do autor e foi realizado sobre orientação dos professores Issamu Endo e Maria Silvia Carvalho Barbosa da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Foi desenvolvido em parceria com a monografia de conclusão de curso intitulada “Caracterização dos condicionantes geológicos de formação de cavidades em quartzitos do Grupo Itacolomi: estudo de caso da Gruta Kiva”, desenvolvida por Marco Antonio Bragante Filho, aluno da UFOP e também sobre orientação do professor Issamu Endo.

### 1.2 RELEVÂNCIA

O Grupo Itacolomi é descrito como um terreno alóctone (*e.g.* Brajnikov 1949; Glockner 1981; Alckmin 1985; Renger *et al* 1994; Jordt-Evangelista *et al.* 2015), cuja natureza tem sido objeto de dúvidas referentes à sua formação, ao seu posicionamento na coluna estratigráfica, sua definição como grupo, sua relação com as rochas adjacentes e as relações estratigráficas das unidades que o compõe.

O mapeamento geológico litoestrutural em escala 1:10.000, as seções estratigráficas e a aplicação dos métodos geofísicos, visa contribuir com as discussões sobre a geologia da serra do Itacolomi, nos quesitos das falhas e dobras presentes, das vergências tectônicas, das principais direções de lineamentos regionais e das relações de vortividade entre elementos estruturais com implicações na compartimentação estrutural e estratigráfica da serra do Itacolomi.

### **1.3 OBJETIVOS**

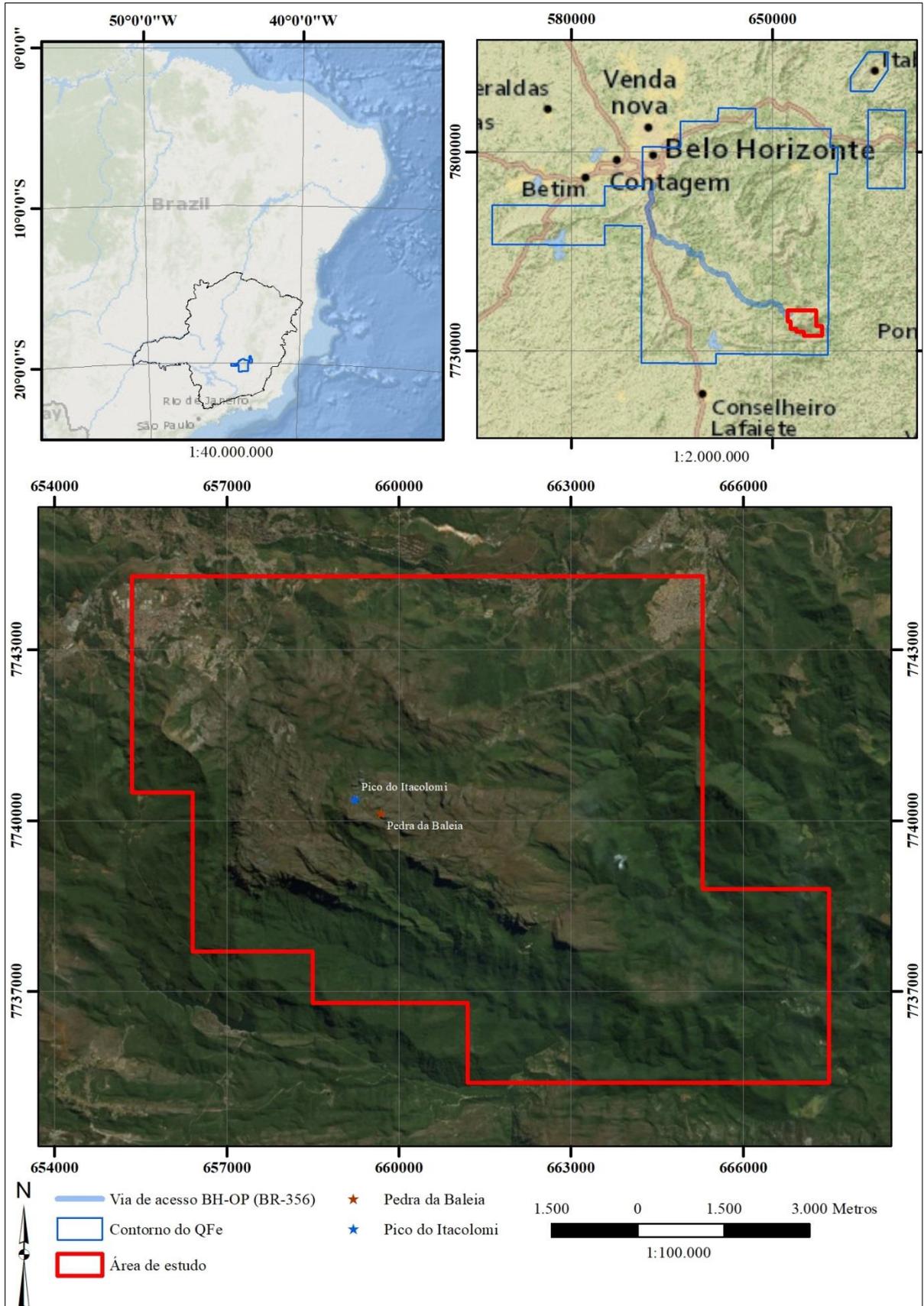
Revisitou-se a serra do Itacolomi com o intuito de contribuir para o entendimento do arcabouço-geológico estrutural e estratigráfico da região e de seu entorno, envolvendo os quartzitos do Grupo Itacolomi e as rochas em seu entorno. Este projeto tem como objetivos os seguintes:

- (i) Realizar o mapeamento geológico-estrutural em escala 1:10.000 envolvendo a região do Pico do Itacolomi e adjacências;
- (ii) Caracterizar a sucessão litológica por meio do levantamento de seções estratigráficas, com descrição macroscópica dos principais litotipos;
- (iii) Aplicar métodos geofísicos magnetométricos e radiométricos para investigar o arcabouço litoestrutural da área de estudo na delimitação de feições estruturais e discriminação litológica.
- (iv) Contribuir para o desenvolvimento do novo modelo de evolução tectônica para o Quadrilátero Ferrífero de Endo (no prelo).

### **1.4 LOCALIZAÇÃO E ACESSO**

A área de estudo está localizada nos municípios de Ouro Preto e Mariana, região centro sul do estado de Minas Gerais (Fig. 1.1). O acesso à área, a partir da cidade de Belo Horizonte, é feito pela BR-356, o trajeto tem cerca de 121 km.

Os vértices do polígono de estudo possui coordenadas UTM WGS 1984: 667.500E/7.735.400N; 661.200E/7.735.400S; 661.200E/7.736.800S; 658.500E/7.736.800S; 658.500E/7.737.700S; 656.400E/7.737.700S; 656.400E/7.740.500S; 655.350E/7.740.500S; 655.350E/7.744.300S; 665.300E/7.744.300S; 665.300E/7.738.800S; 667.500E/7.738.800S.



**Figura 1.1:** Mapa de localização da área de estudos. Área total 82,07 km<sup>2</sup>, perímetro total 42,1 km. O Pico do Itacolomi e a Pedra da Baleia são marcos geomorfológicos importantes da serra do Itacolomi.

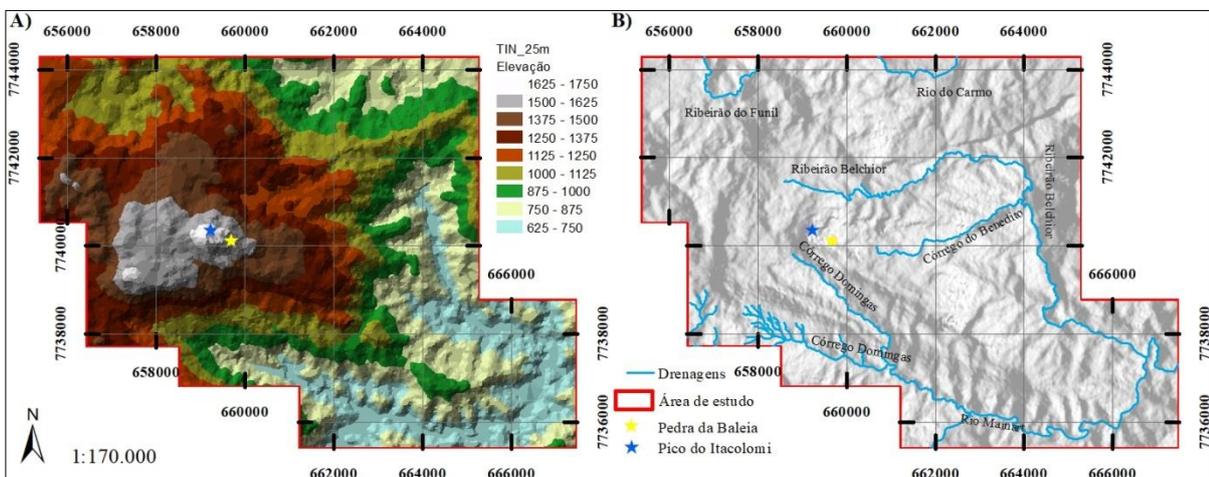
## 1.5 ASPECTOS FISIOGRAFICOS

A região em estudo está situada em uma área de clima tropical de altitude, possui duas estações bem definidas, sendo uma seca (de maio a setembro) e a outra chuvosa (de outubro a abril) (IEF 2007).

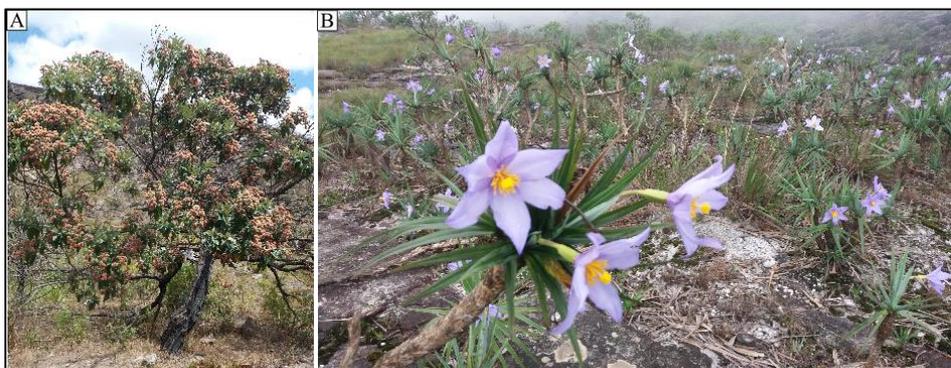
A serra do Itacolomi abriga diversas nascentes que compõem córregos e ribeirões (Fig. 1.2B) componentes das sub-bacias do alto do rio Doce. Destacam-se o córrego do Benedito, o ribeirão Belchior, os córregos dos Prazeres e Domingas e o rio Mainart, afluentes do rio Gualaxo do Sul que é afluente do rio Doce (IEF 2007).

A vegetação (Fig. 1.3) é caracterizada como pertencente a uma zona de transição entre os domínios da Mata Atlântica e do Cerrado. As fitofisionomias predominantes são os campos rupestres e a floresta estacional semidecidual montana (IEF 2007).

O relevo chama a atenção pelo aspecto ruiforme, exibido pelos quartzitos que resistem a erosão e sustenta as altitudes acima de 1700m no Pico do Itacolomi (Fig. 1.2A). Ferreira Filho & Lazzarin (1993) argumentam que a estruturação do relevo é resultante de fatores estruturais e da ação intempérica, consequentes da complexa história geológica do QFe.



**Figura 1.2:** A) Modelo de elevação digital; B) Principais drenagens da área de estudo.



**Figura 1.3:** Plantas típicas da serra do Itacolomi. A) Candeia; B) Canela de Ema.

## CAPÍTULO 2

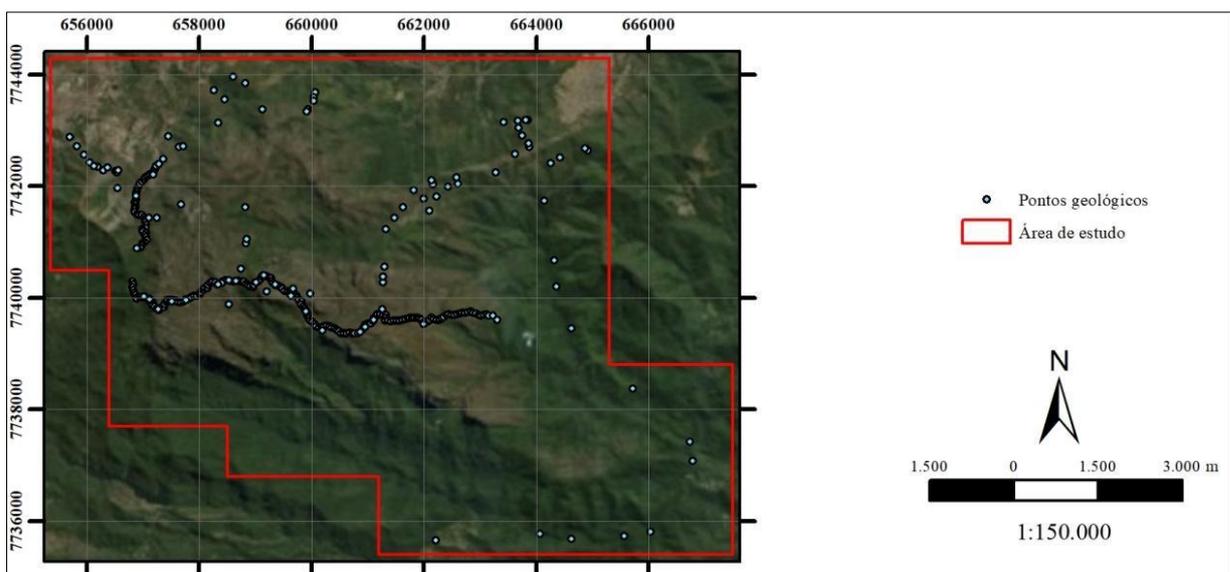
### MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo apresenta os métodos utilizados para cada produto gerado no trabalho. Ele é subdividido em um texto introdutivo e em itens específicos relacionados à geofísica, mapeamento geológico litoestrutural e do levantamento estratigráfico.

O estudo preliminar consistiu na divisão e delimitação da área de estudo e análises morfoestruturais por meio de imagens de satélite. A confecção dos mapas da base cartográfica utilizada em campo em escala 1:10.000 foi realizada pelos softwares *Google Earth Pro* e *ArcGIS 10.3*.

Na etapa de campo foram descritas feições geológicas macroscópicas presentes nas rochas metassedimentares. Estes dados foram coletados de forma a contemplar o entendimento estratigráfico e estrutural do arcabouço geológico da área de estudo. Todas as feições geológicas, planares e lineares, foram medidas no sistema de notação trama (*dip direction/dip*, p. ex. 040/35). Ainda, fotografias orientadas das estruturas descritas foram tomadas ponto a ponto.

Devido às dificuldades de acesso e topografia desfavorável da área de estudo, o caminhamento e aquisição de dados para a confecção do mapa geológico (Apêndice I) e colunas estratigráficas, realizou-se preferencialmente seguindo trilhas e estradas preexistentes, buscando a cobertura de pelo menos um ponto geológico por Km<sup>2</sup>. Foram produzidas seções geológicas com o auxílio do método Busk (Busk 1929) de construção de camadas dobradas em escala 1:10.000 (Apêndice II). Foram confeccionados perfis estratigráficos pelo método da trena com correção de inclinação (Apêndices III e IV). Os trabalhos de campo contemplaram, ao todo, 313 pontos (Fig. 2.1 e Apêndice VII) em 24 dias de campo.



**Figura 2.1:** Mapa de pontos realizados durante as campanhas de mapeamento e levantamento estratigráfico.

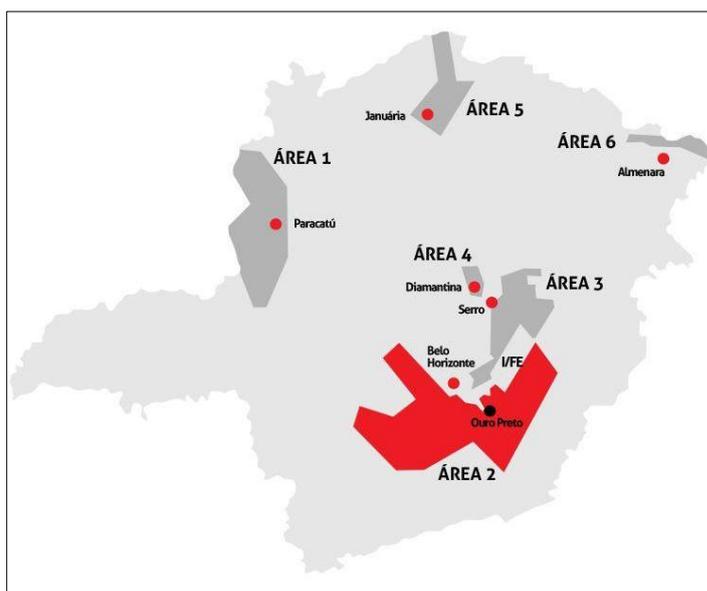
No tratamento dos dados utilizaram-se os softwares: Autocad e Sedlog para as colunas estratigráficas; Inkscape e Coreldraw para a digitalização de croquis; Geosoft para a geração dos mapas geofísicos (Apêndice I e II); Euler.exe para a realização das deconvoluções; ArcGIS10.3 na distribuição dos dados georreferenciados e layout dos mapas e croquis; *Openstereo*, na confecção dos estereogramas estruturais. Microsoft Excel, na organização dos dados e Microsoft Word na dissertação dos relatórios parcial e final.

O mapa geológico final em escala 1:10.000 (Apêndice I) e os mapas temáticos regionais do relatório foram confeccionados mediante plataforma *ArcGIS10.3*. Utilizou-se dos mapas base do *ArcGIS* para a obtenção das imagens de satélite e os mapas rodoviários. Os dados tridimensionais do tipo TIN e as curvas de nível foram gerados a partir de imagens SRTM, com resolução de trinta metros, obtidas no site da USGS <https://earthexplorer.usgs.gov>. Os demais arquivos *Shape File* referentes à malha rodoviária brasileira e as drenagens foram obtidos na Forest Gis.com através do site <http://forest-gis.com/2009/04/base-de-dados-shapefile-do-brasil-todo.html/>.

## 2.1 GEOFÍSICA

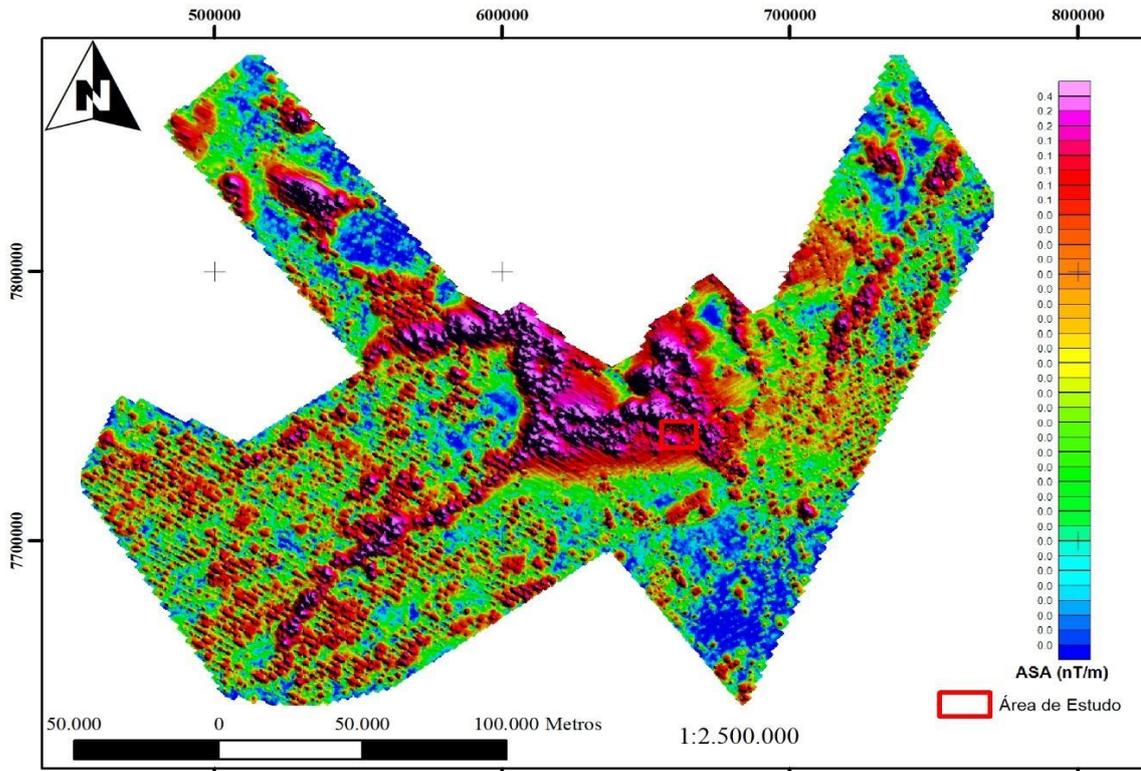
### 2.1.1 Banco de dados aerogeofísico

A Companhia de Desenvolvimento Energético de Minas Gerais (CODEMIG) realizou em 2001 levantamentos aerogeofísicos com os métodos magnetométrico e gamaespectrométrico em seis regiões alvo do Estado que apresentam potencial mineral. A área de estudo deste trabalho está inserida na Área 2 desse levantamento, e sua base de dados geofísicos é fornecida pelo site da CODEMIG (Fig. 2.2).



**Figura 2.2:** Contorno do estado de Minas Gerais com a disposição das áreas alvo do levantamento aerogeofísico de 2001. Outras informações no texto (Fonte: Site da CODEMIG - Acesso em 30/04/2018 - <http://www.codemig.com.br/atuacao/mineracao/levantamento-aerogeofisico/programa-2001/>).

O banco de dados da Área 2 Pitangui/São João Del-Rei/Ipatinga foi dividida em dois blocos: o bloco oeste abrange uma área de 21.564 Km<sup>2</sup>, que teve como direção de linhas de produção N30E e linhas de controle N60W, o bloco leste apresenta uma área de cobertura de 13.611 Km<sup>2</sup> e as direções das linhas de produção N30W e linhas de controle N60E. A área de interesse neste trabalho está inserida no bloco leste (Fig. 2.3).



**Figura 2.3:** Mapa de Amplitude de Sinal Analítico da Área 2 do Levantamento Aerogeofísico 2001 da CODEMIG com a localização da área de estudo em foco.

A altitude de voo dos aviões durante o levantamento foi de 100 metros, velocidade aproximada de 280 Km/h, as linhas de produção tiveram espaçamento de 250 metros e as de controle 2500 metros.

Utilizou-se no levantamento dos dados duas aeronaves Cessna, modelo 404 – Titan, equipadas com magnetômetro de bombeamento ótico de vapor de césio da Geometrics, modelo G-822A que opera na faixa de 2000-95000 nT, gamaespectrômetro Exploranium, modelo GR-820 com 256 espectrais, e sistema de navegação GPS Sercel NR-103 de 10 canais (Lasa 2001).

O sensor magnetométrico possui precisão de 0,001 nT, com medidas registradas a cada 0,1 segundo, ou seja, a cada 8 metros aproximadamente de acordo com a velocidade da aeronave. As leituras do gamaespectrômetro são realizadas a cada segundo, gerando medidas a cada 80 metros aproximadamente.

## 2.2 MAPEAMENTO GEOLÓGICO LITOESTRUTURAL

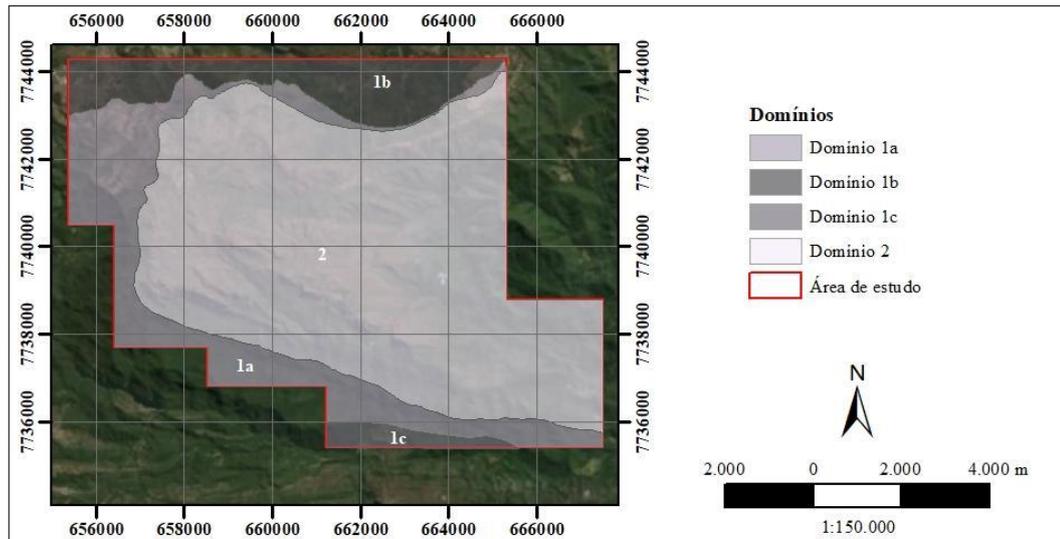
A metodologia de abordagem estrutural dos afloramentos geológicos fundamentou-se, principalmente, na determinação das relações geométricas entre o acamamento ( $S_0$ ), a xistosidade

plano-axial ( $S_n$ ), as lineações, mineral ( $L_m$ ) e de interseção ( $L_i$ ), e a foliação S/C interestratal em sistemas dobrados no plano de simetria ou perfil da estrutura (*e.g.* Ramsay 1967, Marshak & Mitra 1988, Xypolias 2010). O reconhecimento desses elementos permite definir o perfil das estruturas observadas, para assim estabelecer as relações de assimetria entre essas estruturas (Passchier & Williams 1996; Xypolias 2009 e 2010). Essas relações, aliada a análise de vorticidade e a análise de indicadores geopetais, são fundamentais para reconhecer, em campo, os diferentes domínios estruturais, o posicionamento em flancos e charneiras, a precisar as geometrias das dobras e estabelecer o sentido de transporte tectônico.

Para a obtenção das atitudes dos elementos estruturais, utilizaram-se uma bússola Brunton e uma prancheta estrutural auxiliar que permite vincular dois elementos estruturais em diferentes cortes do afloramento, aumentando a precisão e coerência geométrica das informações auferidas. Para a descrição petrográfica, bem como a observação das xistosidades e foliações, duas lupas com aumento de 10 e 30 vezes foram utilizadas.

Os dados descritivos litológicos e as atitudes estruturais por ponto geológico realizado foram organizados em tabelas do Excel (Apêndice V).

Para interpretação dos estereogramas separou-se a área de estudos em quatro domínios estruturais distintos, a ver na figura 2.4, a discriminação ocorreu em função do contexto litoestrutural em que esses ocorrem e pelas relações de vorticidade entre o acamamento e a xistosidade, bem como pela foliação S/C. O domínio 1 (a, b e c) compreendem o bloco da lapa da falha Itacolomi (item 7.11) e o domínio 2, a capa da falha supracitada. A porção norte da área está inserida no flanco inverso do sinclinal Santa Rita (item 7.12) e foi nominado como Domínio 1b, afloram as rochas do Grupo Piracicaba em sequência invertida, grupos Sabará e Itacolomi; o domínio ao extremo sul da área, domínio 1c, está compreendido na região de Santo Antônio do Salto, pertence à Formação Estrada Real do Grupo Sabará por Almeida (2005). Os outros dois domínios centrais, 1a e 2, fazem parte, principalmente, das rochas dos grupos Sabará e Itacolomi e localizam-se de leste a oeste da área entre os outros domínios descritos.



**Figura 2.4:** Divisão da área de estudos em domínios estruturais 1 (a, b e c) e 2, os domínios foram separados devido a características estruturais que os distinguem e serão discutidas ao longo do texto.

## 2.3 LEVANTAMENTO ESTRATIGRÁFICO

Os dados para a produção dos perfis colunares estratigráficos foram levantados em campo pelo método da trena com correção de inclinação (Loczy & Ladeira 1976) (Fig. 2.5). Os dados foram organizados em tabelas do Excel e a espessura real calculada a partir das medidas obtidas em campo (Apêndice VI).

A fim de se obter o correto empilhamento estratigráfico, os levantamentos foram realizados perpendicularmente a direção das camadas.

### 2.3.1 Cálculo de Espessura de Camada

#### *Terminologia*

- $E_r$  = espessura real da camada;
- $E_a$  = espessura aparente da camada medida sobre o terreno;
- $\theta$  = mergulho da camada;
- $\beta$  = inclinação do terreno;
- $\varphi$  = rumo da seção;
- $\delta$  = ângulo entre a direção da seção geológica e o rumo do mergulho da camada;

#### *Seção de Mergulho*

- com superfície topográfica inclinada no mesmo sentido do mergulho da camada:  
quando  $\beta < \theta$ :  $E_r = E_a \text{ sen } (\theta - \beta)$ ; quando  $\theta < \beta$ :  $E_r = E_a \text{ sen } (\beta - \theta)$
- com superfície topográfica inclinada no sentido contrário ao mergulho da camada:



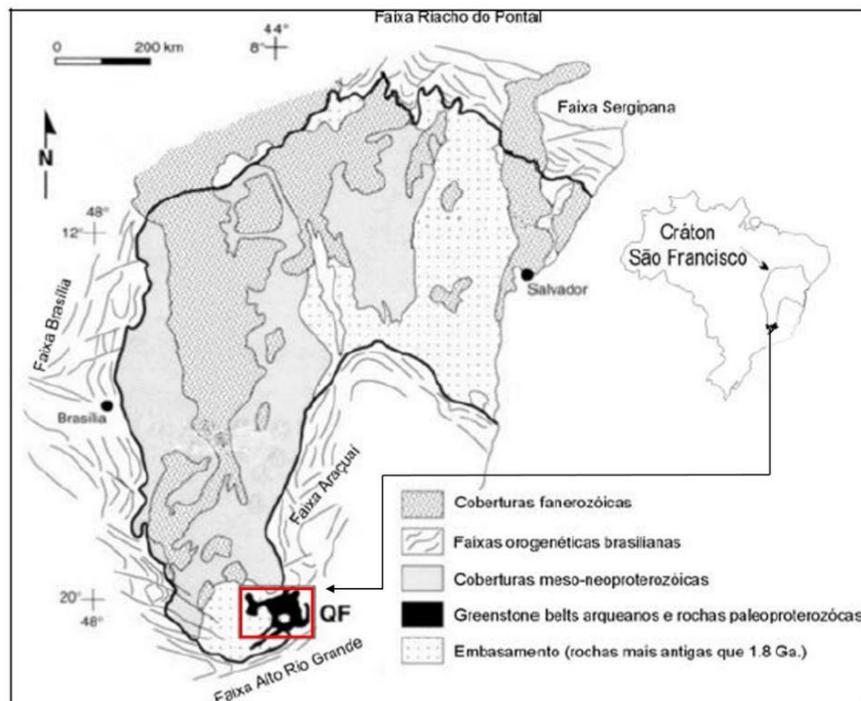
## CAPÍTULO 3

### CONTEXTO GEOLÓGICO

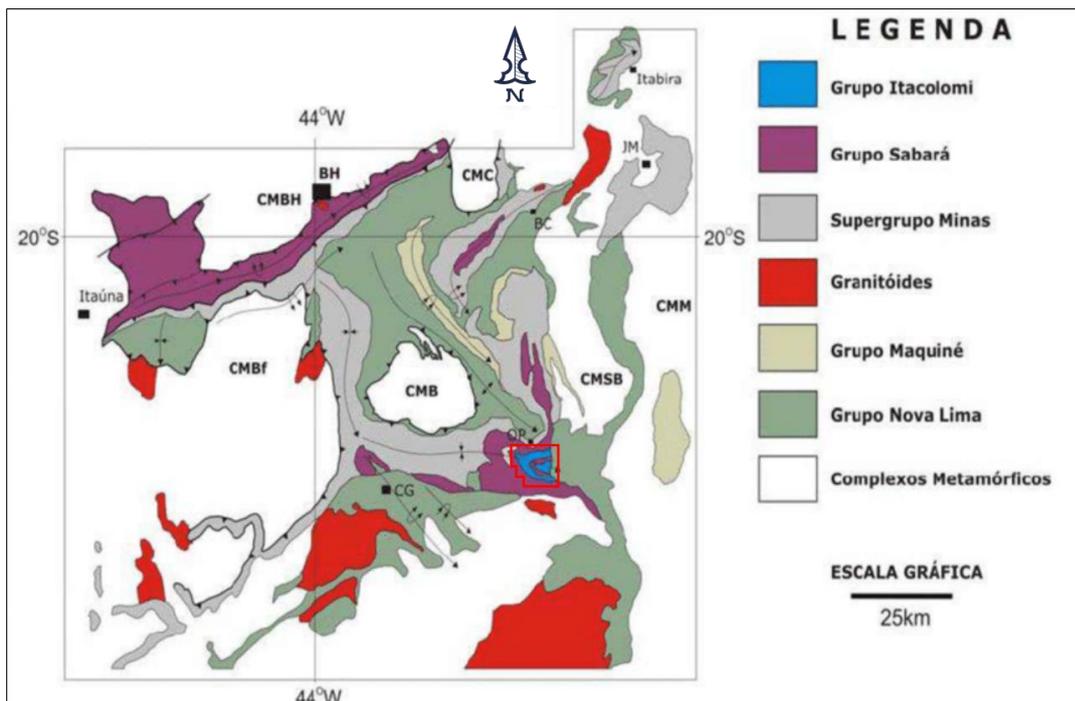
Ouro Preto está localizado na região conhecida como Quadrilátero Ferrífero (QFe). Trata-se de um terreno clássico pré-Cambriano, sendo considerado um distrito de relevância geológica mundial (Dorr, 1969). É uma importante província mineral do Estado de Minas Gerais, possuindo uma produção mineral diversificada.

O QFe encontra-se inserido no extremo sul do Cráton do São Francisco (Fig. 3.1), uma unidade tectônica que se estende da região nordeste ao sudeste do Brasil, e ocupa porções dos Estados do Sergipe, Pernambuco, Goiás, Bahia e Minas Gerais. O Cráton é delimitado por faixas de dobramentos Brasilianas (Almeida 1977).

A serra do Itacolomi encontra-se na borda sudeste do QFe no domínio leste do sinclinal Dom Bosco (Fig. 3.2).



**Figura 3.1:** Localização do Quadrilátero Ferrífero na porção sul do cráton São Francisco (modificado de Alkmin & Marshak 1998, por Dutra 2015).



**Figura 3.2:** Localização da área de estudo no mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero (modificado de Dorr 1969, Endo et al. 2005). Complexo Metamórficos do Bação - CMB, Bonfim - CMBf, Belo Horizonte - CMBH, Caeté - CMC, Santa Bárbara - CMSB, Mantiqueira - CMM. JM - João Monlevade, BC - Barão de Cocais, OP - Ouro Preto, BH - Belo Horizonte, CG - Congonhas.

### 3.1 ESTRATIGRAFIA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO (QFe)

As unidades litoestratigráficas pré-Cambrianas que compreendem a região do QFe segundo Alkmim & Marshak (1998) são: o embasamento cristalino de idade Arqueana composto de Complexos Metamórficos, a sequência metavulcanosedimentar do tipo *greenstone belt* nominada de Supergrupo Rio das Velhas, sobrepostas à estas estão as rochas de idade Paleoproterozóicas do Supergrupo Minas e do Grupo Itacolomi (Tabela 3.1).

Os complexos metamórficos abrangem principalmente terrenos granito-gnáissicos. O Supergrupo Rio das Velhas aflora em grande extensão no QFe; é constituído pelos Grupos Quebra Osso, Nova Lima e Maquiné; e foi descrito por Dorr (1969) como uma sequência de rochas metavulcânicas e metassedimentares de idade Arqueana do tipo *greenstone belt*. O Supergrupo (SG) Minas é uma sequência metassedimentar (Alkmin & Marshak 1998) de idade Paleoproterozóica (Machado *et al.* 1992; Babinski *et al.* 1995). Segundo Dorr (1969), o Supergrupo Minas compõe-se de cinco grupos: Tamanduá, Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará.

A sequência estratigráfica dentro dos limites da área de estudo se inicia no Grupo Piracicaba.

**Tabela 3.1:** Coluna litoestratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (mod. Simmons *et al.* 1961; Dorr II 1969; Ladeira 1980; Renger *et al.* 1994; Endo 2003; Almeida *et al.* 2005; Angeli 2016). (\*) Unidade sem nome da porção superior do Grupo Tamanduá, identificada por Dorr (1969) e Simmons (1961), denominada informalmente por Endo (2003) como Formação Morro Grande.

Idade	Supergrupo	Grupo	Formação	Litotipos
Paleoproterozóico	Minas	Itacolomi	Indiviso	Ortoquartzitos, quartzitos (matriz ferruginosa), filitos quartzosos filitos e metaconglomerados com seixos de itabirito
		Sabará	Estrada Real	Quartzitos, metaconglomerados, metadiamicritos e itabiritos
			Saramenha	Clorita-xistos, metatufos, metadiamicritos, metaturbiditos, metapelitos, metarritmitos, metarenitos, xistos e filitos negros
		Piracicaba	Barreiro	Filitos e filitos grafitosos
			Tabões	Ortoquartzitos
			Fecho do Funil	Filitos, filito dolomítico e dolomito silicoso
		Itabira	Cercadinho	Quartzito ferruginoso, quartzitos, filitos ferruginosos e dolomitos
			Gandarela	Dolomitos, filito dolomítico e calcário
		Cauê	Itabirito	Itabirito, itabirito dolomítico, hematita, lentes de xistos e filitos
			Batatal	Filitos e filitos grafitosos, metachert e formação ferrífera
		Caraça	Moeda	Metaconglomerado, quartzitos e filitos
			Tamanduá	Morro Grande*
		Cambotas		Quartzitos e metaconglomerados
		Arqueano	Rio das Velhas	Maquiné
Palmital	Metapelitos, xistos e filitos			
Nova Lima	Indiviso			Filitos, xistos, formações ferríferas, dolomitos, quartzitos, metacherts, rochas máficas e metaultramáficas
Quebra Ossos	Indiviso			Komatiitos, formações ferríferas e metacherts
Complexos Matamórficos	Indiviso		Indiviso	Gnaisses bandados, gnaisses migmatíticos, augen-gnaisses e granitos

### 3.1.1 Grupo Piracicaba

De acordo com Alkmin & Marshak (1998), sobre a Fm Gandarela ocorre o Gr Piracicaba, composto por rochas clásticas com características de ambiente marinho raso e estratos deltaicos. O grupo é composto pelas formações, da base para o todo, Cercadinho (quartzitos, quartzitos ferruginosos, filitos prateados e ferruginosos), Fecho do Funil (filitos, filitos dolomíticos e dolomitos impuros), Tabões (ortoquartzitos equigranulares) e Barreiro (filitos e filitos grafitosos). Dorr (1969) e Pericon e Quemeneur (1982) explicam que no quadrângulo do Dom Bosco, as unidades desse grupo ocorrem em forma de lentes descontínuas sendo de difícil separação.

### 3.1.2 Grupo Sabará

Sobreposto ao Gr Piracicaba, diretamente sobre as suas formações, em contatos concordantes abruptos, erosivos e localmente transicionais, têm-se o Gr Sabará. O Gr Sabará constitui-se de sequências compostas por clorita e biotita xistos, metagrauvas, rochas vulcanoclásticas, itabiritos, metaconglomerados e metadiamicritos, relacionados a sequências tipo *flysh* (Barbosa 1968; Dorr

1969), segundo Noce (1995) a idade máxima de deposição obtida por Machado *et al.* (1992) para o grupo Sabará corroboram para essa classificação. Dentre as discussões de posicionamento estratigráfico do Grupo Sabará, os estudos sobre o ambiente de sedimentação de Costa (1961), sugerem que a Formação Sabará estaria mais bem posicionada na base do Grupo Itacolomi. E assim não seria possível separar, qualitativamente, o ambiente de sedimentação destas duas unidades.

A Formação Saramenha foi definida por Barbosa (1968) e corresponde à Formação Sabará de Glair (1958). Os trabalhos de Almeida *et al.* (2002), Almeida (2004) e Almeida *et al.* (2005) propõem uma revisão litoestratigráfica do Grupo Sabará na região de Ouro Preto que resulta que o grupo seja composto das formações Saramenha e Estrada Real. Nas demais localidades onde o Grupo Sabará aflora e ainda não foi discriminado, é considerado indiviso.

A Formação Saramenha é caracterizada por intercalações de metadiamicritos, metapelitos, metarritmitos, metarenitos, xistos e filitos negros. Os xistos são a litologia de maior espessura e distribuição, predominando clorita xisto, ocorrendo também sericita xisto, sericita-clorita xisto, quartzo-sericita-clorita xisto e sericita-quartzo-feldspato xisto.

A Formação Estrada Real corresponde a quartzitos, metaconglomerados, metadiamicritos e lentes de formações ferríferas aflorantes na região de Chapada-Lavras Novas, distritos de Ouro Preto, anteriormente considerados como pertencentes ao Grupo Itacolomi. Almeida *et al.* (2005) também correlaciona as unidades quartzíticas da serra do Pires, Pico do Frazão e da serra de Ouro Branco à Formação Estrada Real, baseada nas relações de contato e da semelhança do acervo estrutural encontrado nessas localidades. Almeida *et al.* (2005) sugere que o Grupo Itacolomi fique restrito à sua localidade tipo.

### 3.1.3 Grupo Itacolomi

Recobrando o SG Minas, em discordância erosiva e angular (Guimarães 1931), ocorre o Gr Itacolomi (Alkmim e Marshak 1998). Em termos regionais, o Gr Itacolomi (*e.g.* Harder & Chamberlin 1915; Guimarães 1931; Lacourt 1935; Dorr *et al.* 1961; Dorr 1969) é constituído de dois conjuntos rochosos cartografáveis: um quartzítico, denominado de tipo Itacolomi, e outro filítico, designado de Santo Antônio. O conjunto quartzítico é constituído predominantemente de quartzitos, quartzitos conglomeráticos, quartzitos ferruginosos de aspecto semelhante ao itabirito e filito. Os seixos são de quartzo, hematita, itabirito, quartzito, filito e granito. A hematita e martita são constituintes intersticiais frequentemente encontrados na matriz. É comum a ocorrência de camada rica em ferro na porção basal dos estratos. O conjunto rochoso Santo Antônio foi descrita por Barbosa (1949) na região de Congonhas do Campo. O conjunto é composto de filitos, filitos quartzíticos, metaconglomerados, quartzitos e quartzitos ferruginosos muito similares ao itabirito.

Em sua localidade-tipo, na região a sul de Ouro Preto, o Gr Itacolomi repousa em discordância angular máxima de 12° sobre unidades dos grupos Sabará e Piracicaba (Dorr 1969; Glockner 1981). Uma camada de filito e quartzo-sericita-clorita xisto que ocorre entre as camadas de quartzito na região do Pico do Itacolomi é considerada como parte integrante do Gr Itacolomi por Lacourt (1935), como uma unidade subjacente pertencente ao Gr Sabará por Dorr *et al.* (1961) e Dorr (1969), como uma unidade do Gr Nova Lima por Glöckner (1981) e Ferreira-Filho & Lazarin (1993) e ainda como pertencente ao Gr. Piracicaba por Farina *et al.* (2016).

Os estudos de maior detalhe na região do Pico do Itacolomi foram realizados por Glöckner (1981) e Ferreira-Filho & Lazarin (1993). Os últimos autores descrevem três litotipos para os quartzitos: conglomerático, arenoso estruturado e ferruginoso, sendo a ocorrência deste último restrito à região de Passagem de Mariana. Estruturas sedimentares como estratificações cruzadas acanaladas tipo festão e tangenciais de pequeno a médio porte são comuns nesses litotipos. Estas estruturas corroboram a uma sucessão estratigráfica em posição normal (Ferreira-Filho & Lazarin 1993). Um dique de rocha máfica, constituído por anfibólio e plagioclásio, apresenta direção ESE-WNW e se estende por mais de 3 km (Silva 1995).

Barbosa (1968) sugere que a deposição do Grupo Itacolomi teria se iniciado na ocasião da sedimentação do Grupo Sabará, comparando-o a uma sedimentação molássica, em contrapartida com a sequência do tipo *flysh* do Grupo Sabará. Noce (1995) afirma que as análises geocronológicas do Grupo Itacolomi apresentam padrão de distribuição semelhante aos obtidos para o Grupo Sabará, o que corrobora a interpretação da sedimentação do tipo *flysh* sucedida pela sedimentação do tipo molassa, para os grupos Sabará e Itacolomi respectivamente.

Alkmim (1987) descreve a sequência de litotipos do Grupo Itacolomi com rápidas mudanças entre as fácies sedimentares e associa a deposição das rochas em um sistema de leques deltaicos (*fan-deltas*), com ambientes de leques aluviais e fluvial entrelaçado com transição para planície de maré.

Estudos recentes de Alvarenga (2013) dataram os quartzitos Furquim e obtiveram idades próximas das datações de Machado *et al.* (1996) e Hartmann *et al.* (2006) para as rochas do Grupo Itacolomi. O estudo conclui que as rochas antes tidas como Arqueanas do Supergrupo Rio das velhas (Dorr 1969) seriam, na verdade, cronocorrelatas ao Grupo Itacolomi, modificando assim, o entendimento sobre sua distribuição e ocorrência a leste da sua localidade tipo, a serra do Itacolomi.

### **3.2 ARCABOUÇO ESTRUTURAL**

O arcabouço estrutural do Quadrilátero Ferrífero é caracterizado por diferentes fases de eventos tectônicos que geraram dobras de várias gerações (*e.g.* Dorr 1969; Endo 1997; Almeida *et al.* 2001; Almeida *et al.* 2002; Almeida 2004; Almeida *et al.* 2005).

O sinclinal Dom Bosco, descrito primordialmente por Dorr (1969), se encontra na borda sul do QFe e é uma estrutura de orientação E-W que se estende por cerca de 80km. Segundo este autor, o sinclinal pode ser dividido em duas partes que diferem pela expressividade de falhas de cavalgamento nucleadas em seu interior. Neste contexto a área de estudo localiza-se em sua parte oriental, na qual as falhas de empurrão e de rasgamento intercalam rochas do Grupo Itacolomi e seu embasamento. Segundo Dorr (1969) o sistema de falhas Dom Bosco começa no extremo leste do sinclinal com a falha de empurrão de Água Quente. Esta falha supostamente sobreporia o Grupo Nova Lima ao Grupo Itacolomi. Ribeiro & Alkmim (1997), Ferreira-Filho & Lazarin (1993) e Chemale Jr. *et al.* (1991) descrevem o sistema de falhas Dom Bosco como um sistema de empurrões associados a falha do Engenho, nucleado no interior da dobra pré-existente, com traços extremamente curvos e assimétricos, rampas laterais muito extensas com as do sul mais desenvolvidas que as do norte. O principal indicador cinemático em que se apoiam esses autores consiste no estiramento mineral do tipo “a”, com caimento em torno de 25° para ESE, e que aponta transporte tectônico de ESE para WNW. Neste contexto, Ferreira-Filho & Lazarin (1993) descrevem que os quartzitos da serra do Itacolomi encontram-se dobrados com direção axial em torno de 115/15 e xistosidade paralela ao acamamento. Subsidiariamente, ocorrem dobras abertas com clivagem associada e sistema de fraturamento subvertical.

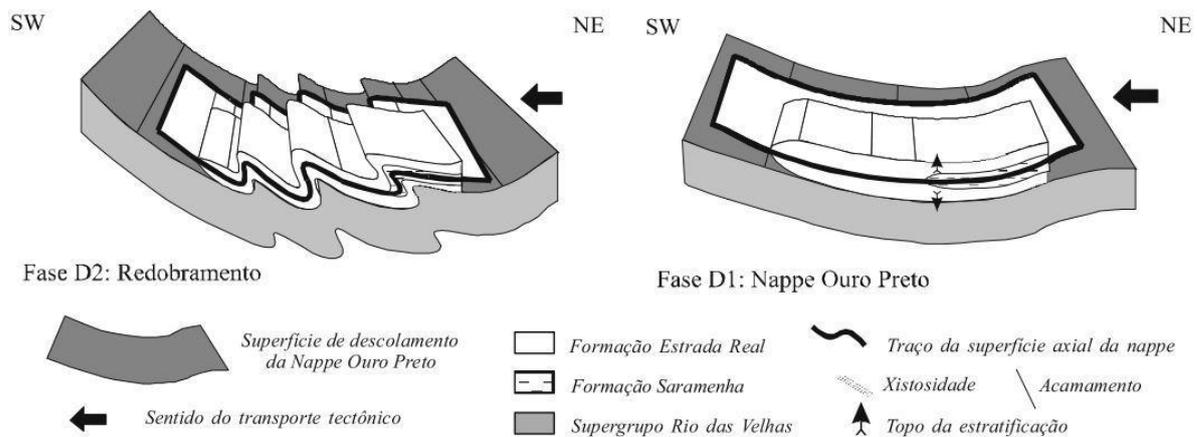
Estudos atuais, desenvolvidos por Endo (no prelo), apontam a existência de uma xistosidade oblíqua ao acamamento que resulta em uma lineação de interseção com caimento de 25° para ESE. A lineação de interseção  $S_0 \times S_n$  estaria então relacionada ao eixo dos megadobramentos regionais. O paralelismo existente entre as lineações minerais descritas por Dorr II (1969) e Ribeiro & Alkmim (1997) e as lineações de interseção da xistosidade oblíqua ao acamamento de Endo (no prelo) permitem classificar as lineações minerais como sendo do tipo “b”. Essa classificação difere do modelo de falhas de cavalgamento de Dorr II (1969) e Ribeiro & Alkmim (1997) descritas para a área de estudo.

A oeste da área de estudo, Almeida *et al.* (2005) descreve o arcabouço estrutural do Supergrupo Minas no sinclinal Dom Bosco com uma fase pré-nucleação do sinclinal caracterizada por duas fases sequentes de dobramentos coaxiais, vergentes para SSW. A primeira fase, nominada de D1, é representada pela *nappe* Ouro Preto, tendo como registro a xistosidade  $S_1$  penetrativa e plano-paralela ao acamamento. A *nappe* aflora na porção meridional do sinclinal Dom Bosco, onde afloram seções invertidas dos grupos Itabira, Piracicaba e Sabará. O redobramento da *nappe* Ouro Preto caracteriza a segunda fase de deformação D2, responsável pela geração da xistosidade  $S_2$  de direção NW/SE com mergulho para NE, penetrativa e plano-axial das dobras oriundas desse evento. Sua relação com o acamamento é responsável pela lineação de interseção com caimento para ESE, paralela às lineações

minerais e de estiramentos (Pericon & Quémeneur 1982; Barbosa 1949; Almeida *et al* 2001). A figura 3.3 ilustra o modelo das fases D1 e D2 da *nappe* Ouro Preto.

Outra importante estrutura localizada a leste do QFe e a norte da área de estudo desse trabalho é o sinclinal Santa Rita. Maxwell (1960; 1972) o descreve como um sinforme assimétrico com flancos redobrados e subparalelos, sendo que o flanco inverso é seccionado pela falha de Água Quente. Massa (2017) estudou o setor meridional do sinclinal Santa Rita e descreve um sistema de dobras da lapa (*footwall folds*) da falha de Água Quente em posição de rampa e com transporte tectônico para SSW, envolvendo de forma expressiva todas as unidades no flanco inverso do setor meridional do sinclinal Santa Rita.

O sistema de falhas de Água Quente foi caracterizado por inúmeras falhas de empurrão que promove o cavalgamento do embasamento sobre as supracrustais do SG Minas a leste do QFe. Foram desenvolvidas pela superposição de fases deformacionais durante as orogêneses do Transamazônico e do Brasiliano (Dorr 1969; Maxwell 1972; Ferreira Filho 1999).



**Figura 3.3:** Seção geológica da Estrada Real e síntese dos elementos estruturais das fases de deformação D1 e D2 por Almeida *et al.* (2005).



## CAPÍTULO 4

### EMBASAMENTO TEÓRICO GEOFÍSICO

---

A geofísica é um método indireto que analisa os contrastes das propriedades geológicas de subsuperfície da crosta, através da resposta física dos materiais heterogêneos que a compõe (Kearey *et al.* 2009).

A utilização de métodos geofísicos fez parte das atividades desse trabalho, na investigação em superfície e subsuperfície e posteriormente, na integração com os dados de campo. Foram utilizados a magnetometria, para análise das feições estruturais, e a radiometria, com enfoque analítico litológico.

Neste capítulo serão descritos os fundamentos dos métodos geofísicos utilizados: magnetometria e radiometria. O primeiro mede as variações espaciais da força do campo geomagnético por meio da susceptibilidade magnética das rochas, já o segundo, trabalha com parâmetros de elementos radioativos componentes das litologias.

#### 4.1 MAGNETOMETRIA

A magnetometria tem por objetivo investigar a geologia de subsuperfície através de anomalias na intensidade do campo magnético terrestre, resultantes de concentrações heterogêneas de minerais magnéticos na crosta, como a magnetita, ilmenita, pirrotita entre outros. A utilização da magnetometria é vantajosa pela sua versatilidade. O método pode ser aplicado, por exemplo, na identificação de estruturas geológicas regionais ou na delimitação de corpos de minério em escalas locais, o levantamento pode ser terrestre, marinho ou aéreo, o que o torna atrativo e amplamente empregado (Kearey *et al.* 2009; Telford *et al.* 1990).

Dentre as propriedades magnéticas a susceptibilidade é o principal fator que dá origem às anomalias geofísicas. Trata-se de um campo magnético secundário gerado pelo campo geomagnético sobre as rochas e depende unicamente da quantidade de minerais ferrimagnéticos presentes (Telford *et al.* 1990). Rochas sedimentares possuem baixos valores médios de susceptibilidade magnética, a menos que contenham uma quantidade significativa de magnetita na fração de minerais pesados, já as ígneas básicas são as que apresentam os mais altos valores médios (Kearey *et al.* 2009).

##### 4.1.1 Anomalias Magnéticas

Segundo Telford *et al.* (1990) anomalias magnéticas locais decorrem da variação do teor de minerais magnéticos nas rochas de superfície e subsuperfície (contraste de susceptibilidade). Nesse contexto, todas as anomalias são superpostas ao campo geomagnético (Kearey *et al.* 2009). A fonte dessas anomalias não pode ser muito profunda, pois o gradiente geotérmico abaixo de 40 km pode

alcançar a temperatura de Curie (~550°C) que suprime o magnetismo da rocha. Portanto, anomalias locais devem estar aliadas a características da crosta superior (Telford *et al.* 1990).

#### **4.1.2 Correções e filtragem dos dados**

Os dados geofísicos devem ser tratados, processados e corrigidos antes de interpretados. Em síntese, esse processo consiste em isolar o “sinal” do “ruído”, e a partir do sinal interpretar o terreno (Kearey *et al.* 2009).

##### ***Correção da Variação Diurna***

A variação diurna é um fenômeno que ocorre pela interação da ionosfera e os ventos solares. A incidência de raios- $\gamma$ , -X e ultravioleta promove a ionização de moléculas de nitrogênio e oxigênio na atmosfera superior, ionosfera, em altitudes entre 50 e 1500 km (Lowrie 2007). As cinco camadas que formam a ionosfera variam sua espessura e grau de ionização, sendo este mais forte durante o dia.

A gravidade do sol, juntamente com a radiação emitida por ele, causam marés atmosféricas. A movimentação das moléculas ionizadas formam intensas correntes elétricas que interagem com o campo geomagnético, agindo como fonte de campos magnéticos externos, que podem ser detectados em superfície. A medida que a Terra rotaciona, o campo magnético externo varia de intensidade, a isso se chama de variação diurna. Sua magnitude também depende da latitude de onde está sendo observada e da estação do ano (Lowrie 2007; Telford *et al.* 1990). Por esses motivos, nos levantamentos magnetométricos, deve-se corrigir as medidas realizadas em campo.

##### ***IGRF – Correção Geomagnética***

Segundo Kearey *et al.* (2009) e Milsom (2003) os dados obtidos em levantamentos magnetométricos devem ser corrigidos, removendo-se o valor do campo magnético terrestre (IGRF) para se obter o campo residual, referente às anomalias locais causadas pelas rochas. O Campo Geomagnético de Referência Internacional-IGRF é o valor teórico, obtido através de equações complexas, do campo geomagnético interno, ou seja, sem perturbações externas, em um dado ponto da superfície do planeta.

##### ***Filtros***

Para a geração e interpretação dos mapas temáticos utilizam-se as técnicas de filtragens. Tais técnicas consistem em selecionar determinadas faixas de frequência, manipulando o sinal para visualizar feições de diferentes direções e profundidades (Silva 2015). A Tabela 4.1 apresenta os filtros utilizados.

**Tabela 4.1:** Filtros de Fourier com suas finalidades de aplicação (Silva 2015).

<b>Tipo</b>	<b>Filtro</b>	<b>Finalidade</b>
Frequência	Passa Baixa	Retira altas frequências obtendo informações de fontes profundas
	Passa Alta	Retira baixas frequências obtendo informações de fontes rasas
	Passa Banda	Evidencia as anomalias do intervalo de frequência desejado
Continuação	Para Baixo	Elabora respostas de anomalias rasas (filtro altamente instável, geralmente não utilizado)
	Para Cima	Filtra as altas frequências, retirando as anomalias mais superficiais
Derivada	Gradiente Vertical	Evidencia as fontes rasas
	Gradiente Horiz. em X	Evidencia as estruturas N-S
	Gradiente Horiz. em Y	Evidencia as estruturas E-W
	Residual	Remove as anomalias regionais

### 4.1.3 Deconvolução de Euler

A deconvolução de Euler é um método baseado nas relações de homogeneidade de Euler e permite estimar profundidades de maneira rápida e eficiente a partir de uma grande quantidade de dados magnéticos (Thompson 1982). O mesmo autor afirma que a principal aplicação dos dados magnéticos está em determinar a profundidade do topo de fontes magnéticas, seja para fins da mineração na estimativa da profundidade de corpos de minérios ou na determinação da espessura de pacotes sedimentares na exploração de hidrocarbonetos.

Segundo Thompson (1982), o trabalho de Peters em 1949 foi o pioneiro em descrever essa técnica que parte das equações de Euler para estimar profundidades de uma variedade de estruturas geológicas, tais como falhas, contatos tectonizados, diques e outros, através da derivação de índices estruturais juntamente com outros parâmetros (Tabela 4.2).

**Tabela 4.2:** Relação do índice estrutural com os modelos físico e geológico (Reid et al. 1990).

<b>Índice Estrutural</b>	<b>Modelo Físico</b>	<b>Modelo Geológico</b>
1,0	Monopolo	Contato
1,5	Dipolo	Dique Fino
2,0	Prisma	Dique
2,5	Cilindro	Pipe
3,0	Esfera	Diápiro

O pioneirismo da técnica está relacionado ao fato da possibilidade de aplicá-la diretamente sobre dados magnéticos mapeados e gridados. Porém, apesar da aplicabilidade flexível em variadas situações, o método pode ser ambíguo e depende do conhecimento geológico do interprete e de seu entendimento da área em estudo.

## **4.2 RADIOMETRIA**

A aplicação de levantamentos radiométricos no mapeamento geológico é relativamente recente e se desenvolveu principalmente nas últimas décadas (Kearey *et al.* 2009) devido aos avanços tecnológicos científicos, principalmente na área da computação, com a qual a geofísica caminha em conjunto (Silva 2015). O método é aplicado principalmente na perfilagem de poços, porém tem sido cada vez mais empregado em mapeamento de solos e rochas. A radiometria tem a característica de obter informações superficiais, por ter baixa penetrabilidade raramente ultrapassa um metro de profundidade. Pode ser utilizado em levantamentos aéreos ou terrestres. Os levantamentos aéreos são moderadamente baratos e eficientes na detecção de raios gama  $\gamma$ , sendo esta, a faixa do espectro eletromagnético utilizada na radiometria.

De acordo com Telford *et al.* (1990), apesar da variedade de elementos radioativos existentes na natureza apenas os isótopos de urânio ( $^{238}\text{U}$ ), do tório ( $^{232}\text{Th}$ ) e do potássio ( $^{40}\text{K}$ ) são os de interesse para a radiometria de exploração, pois são litófilos, ou seja, apresentam afinidade litológica. A identificação dos diferentes litotipos através desses isótopos é feita por associação ao seu conteúdo radioativo, o que implica que as rochas apresentam assinaturas isotópicas que auxiliam na sua classificação (Fig. 4.1).

### **4.2.1 Radioatividade natural**

A radiação é uma propriedade nuclear dos átomos e ocorre naturalmente pelo decaimento espontâneo de elementos radioativos resultando em três tipos:  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  (Telford *et al.* 1990). A radiação gama é formada por ondas eletromagnéticas de alta energia, sua emissão ocorre naturalmente com o decaimento dos elementos radioativos (Milson 2003). A radioatividade das rochas é medida por cintilômetros de raios gama e por espectrômetros (Kearey *et al.* 2009).

### **4.2.2 Radioatividade das rochas e minerais**

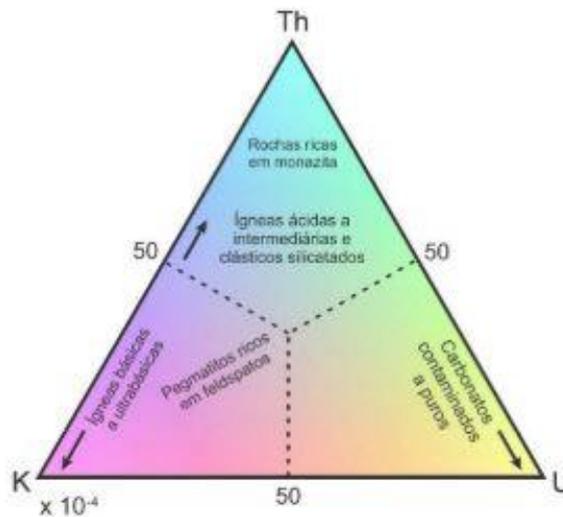
Exceto pelas rochas ígneas ácidas, as rochas sedimentares e metassedimentares possuem maior concentração de isótopos radioativos quando comparadas às ígneas e metamórficas (Telford *et al.* 1990). Averigua-se que nas sequências (meta) siliciclásticas os (meta) pelitos apresentam maior concentração de isótopos radioativos, portanto mais radiação, em comparação aos (meta) psamitos, o que concede uma relação de proporcionalidade direta do aumento do teor de argila com o aumento da

concentração de isótopos radioativos. Para as rochas (meta) ígneas ácidas, o aumento da concentração de sílica refere-se ao aumento da concentração dos isótopos.

Os minerais de potássio são encontrados principalmente nas rochas graníticas e pegmatíticas, eles estão presentes nos feldspatos alcalinos como o ortoclásio e a microclina. Sua presença também pode indicar hidrotermalismo. As rochas evaporíticas também são fonte de potássio, presente nos minerais silvita e carnalita (Telford *et al.* 1990).

As principais ocorrências de urânio são nos minerais uraninita, presente em granitos, pegmatitos e veios hidrotermais, a carnotoíta, em arenitos e a gummita, que ocorre pela alteração da uraninita, em folhelhos negros carbonosos e em rochas sedimentares carbonáticas. O urânio primário é encontrado em minerais à base de óxido e em silicatos (Telford *et al.* 1990).

O tório é encontrado nos minerais monazita e zircão, presentes em granitos, gnaisses e pegmatitos. Processos intempéricos são responsáveis pela liberação do tório, que se concentra em minerais hidratados ou oxidados de ferro ou titânio e em argilominerais (Telford *et al.* 1990).



**Figura 4.1:** Diagrama ternário com a concentração relativa de elementos radioativos e seus litotipos associados (Kearey *et al.* 2009).

### 4.2.3 Interpretação

A interpretação dos dados de levantamentos radiométricos é principalmente qualitativa (Telford *et al.* 1990). Devido à baixa profundidade de penetração do método, inerente a natureza dos raios  $\gamma$ , as rochas devem aflorar para se obter uma resposta radiométrica.

O processamento dos dados geram diversos mapas temáticos que permitem interpretar a área de estudo. A partir do mapa de contagem total geram-se os mapas dos canais de K, U e Th, que delimita radiofácies segundo a variação da concentração do elemento, fornecendo indicativos sobre processos geológicos. Os mapas de razão entre os isótopos permitem correlacionar suas concentrações,

informações relevantes do ponto de vista dinâmico evolutivo geológico nos aspectos do metamorfismo, metassomatismo e reabertura do sistema com a entrada de soluções mineralizantes. Os mapas que combinam os parâmetros dos isótopos são os mapas ternário e o parâmetro F. O primeiro é baseado na composição ternária dos três isótopos e exibe tonalidades de cores que variam expressando concentrações altas, intermediárias e baixas dos elementos radioativos. Já o segundo é empregado principalmente na análise de zonas hidrotermalizadas, ele analisa o antagonismo do potássio que pode ser natural das rochas ou ter entrado no sistema por hidrotermalismo. Há migração dos isótopos em processos hidrotermais, o potássio por exemplo é altamente mobilizado nesses ambientes, enquanto o urânio não é remobilizado durante esses processos (Barbosa 2003).

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISES GEOFÍSICAS

---

As análises geofísicas constituíram-se pela análise qualitativa sobre os mapas temáticos colorpédicos magnetométricos e radiométricos e pela análise quantitativa na aplicação da deconvolução de Euler para estimar a profundidade de topo dos corpos anômalos.

#### 5.1 ANÁLISE QUALITATIVA

O presente subcapítulo exhibe os resultados do processamento das informações geofísicas, responsáveis pela obtenção dos mapas temáticos magnetométricos e radiométricos (Apêndice I e II) e as interpretações alcançadas pela análise qualitativa dos mesmos.

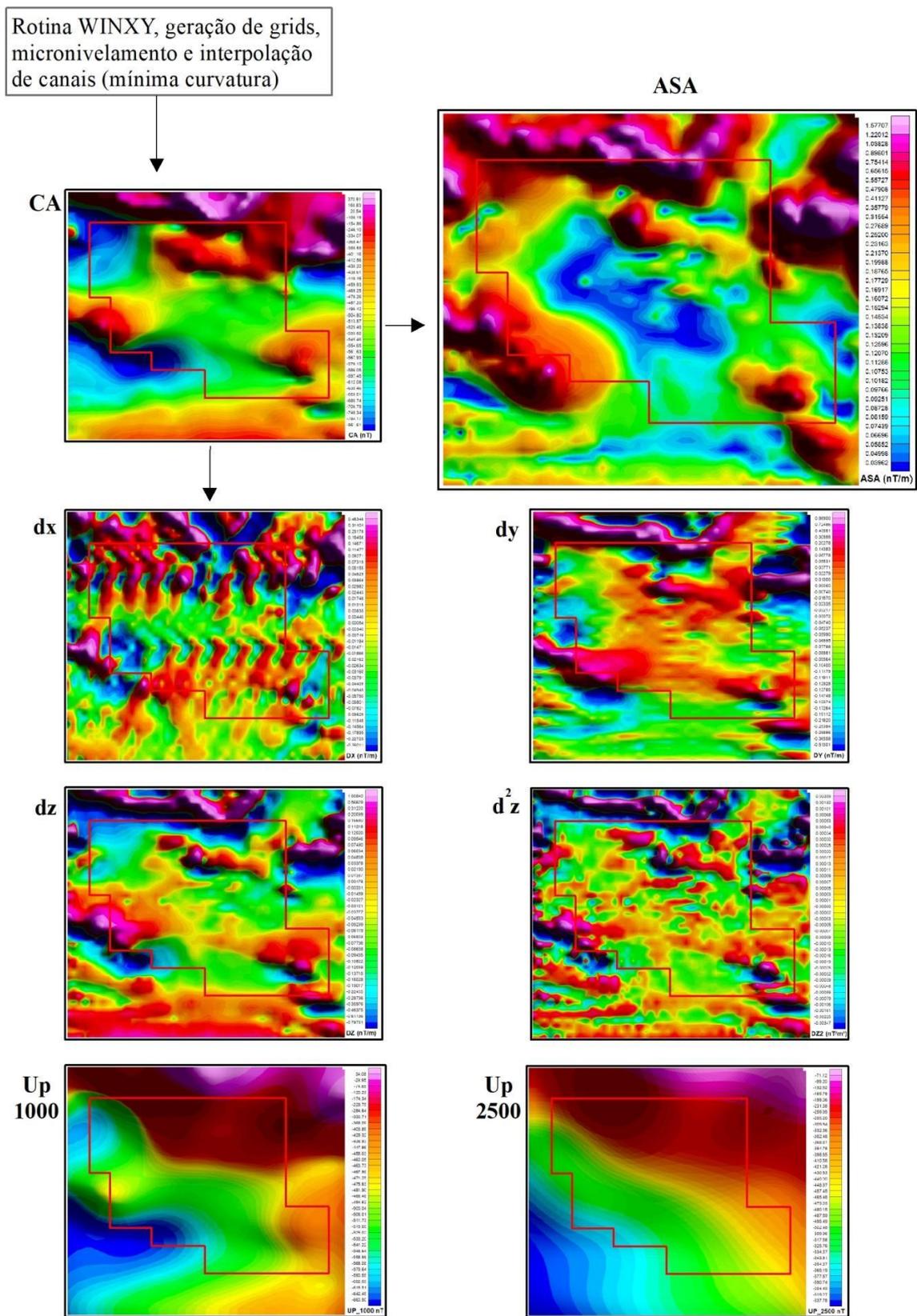
##### 5.1.1 Processamento dos Dados Aerogeofísicos

O processamento de dados antecipa a análise qualitativa, pois fornece o objeto de interpretação. Sendo assim, para o processamento do banco de dados e confecção dos mapas temáticos utilizou-se o *software* Geosoft Oasis Montaj (versão 8.4). O *software* importa o arquivo ASCII e a partir dele cria-se o arquivo gbd. Em seguida os dados podem ser processados através da rotina WINXY, quando restringe-se o banco de dados à sua área de estudo. Então, geram-se os *grids* e os dados são interpolados pelo processo da mínima curvatura e finalmente os mapas temáticos são confeccionados com tamanho das células de interpolação em malha regular (*grid*) de 300 metros. Para efeito de análise, os mapas radiométricos de potássio (K), urânio (U), tório (Th) e o ternário foram gerados com malha de 500 metros.

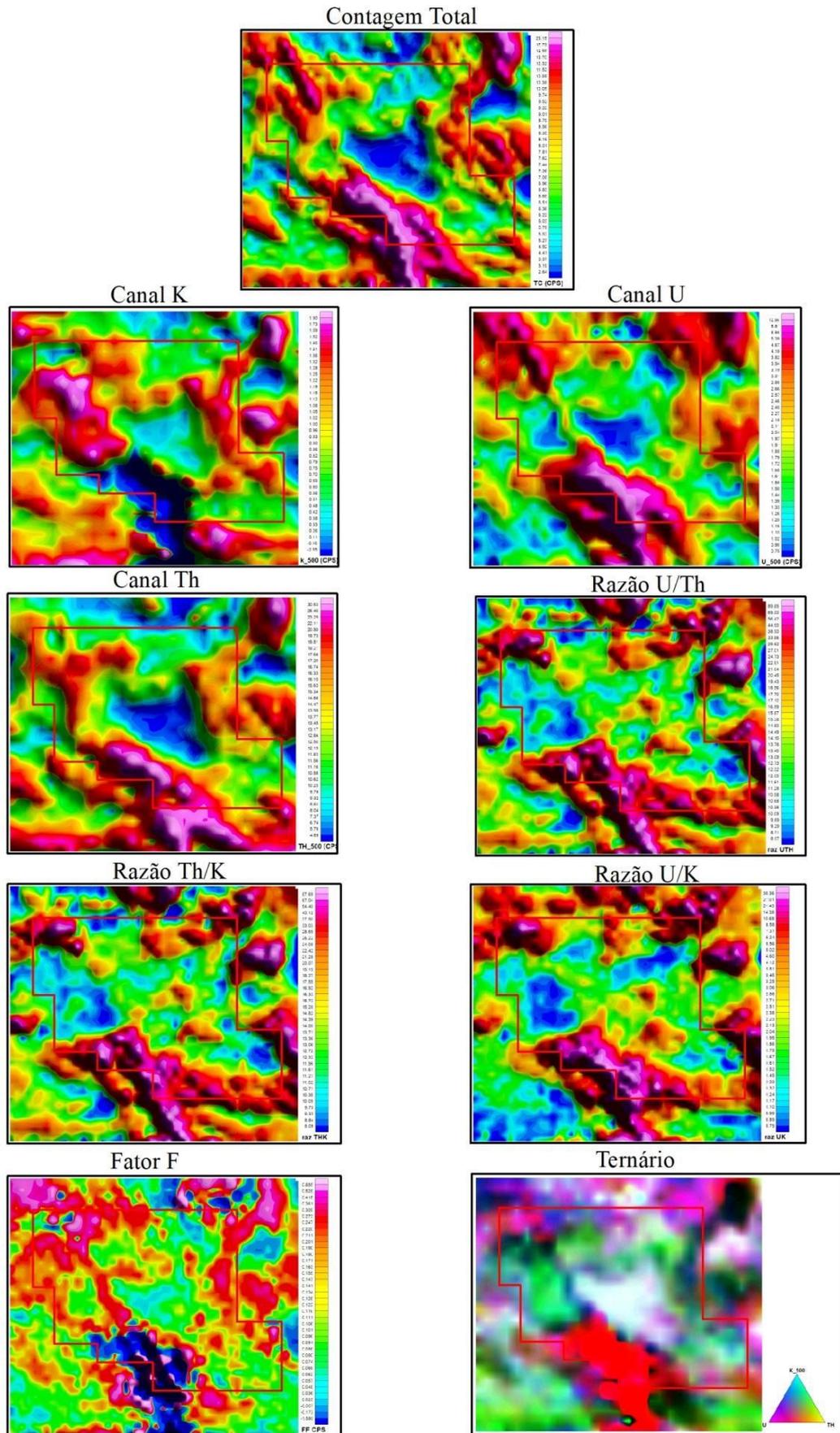
Os mapas temáticos magnetométricos (Fig. 5.1) são gerados a partir dos dados corrigidos do IGRF através da rotina MAGMAP, uma sequência de processos de derivações e filtragens que objetiva realçar ou atenuar anomalias em diferentes direções e profundidades. Os mapas produzidos foram o de Campo Magnético Anômalo (CA), Amplitude do Sinal Analítico (ASA), Gradiente Vertical de Primeira (dz) e Segunda Ordem ( $d^2z$  ou residual), Gradientes Horizontais em X e Y (dx e dy) e os mapas de continuação pra cima (Up1000 e Up2500).

Os mapas temáticos radiométricos (Fig. 5.2) são gerados a partir dos dados de diferentes canais, por processos semelhantes aos magnetométricos, alterando-se os canais de *gridding* foram concebidos os mapas de Contagem Total (CT), canais de K, U e Th, o de Razões Th/K, U/K, U/Th, Imagem Ternária e Parâmetro F. Na sequência, a integração dos mapas georreferenciados se realizou pelo *software* ArcGis (versão 10.3), objetivando-se uma interpretação qualitativa dos dados.

Extrapolaram-se os limites da área de estudo na geração dos mapas temáticos, a fim de inibir os efeitos de borda e ampliar as análises considerando a configuração dos elementos geológicos ao redor.



**Figura 5.1:** Técnicas de filtragens são utilizadas na geração dos mapas temáticos magnetométricos, para selecionar determinadas faixas de frequência, manipulando o sinal para visualizar feições de diferentes direções e profundidades. O significado das siglas se encontra no texto acima. O polígono vermelho indica a área de estudo.



**Figura 5.2:** Os mapas temáticos radiométricos apresentam diferentes parâmetros dos elementos radioativos componentes das rochas. A área de estudo é representada pelo polígono vermelho.

### 5.1.2 ANÁLISE MAGNETOMÉTRICA

A resposta visual do processamento do banco de dados são os mapas geofísicos. Eles representam, através de diferentes cores, os contrastes das anomalias em termos de amplitude: altas- tons magenta e vermelho; intermediárias- tons laranja, amarelo e verde; e baixas- tons azuis. O presente item demonstra a análise realizada sobre os mapas magnetométricos, constitui-se da delimitação de magnetofácies e de lineamentos e seus significados geofísicos.

A análise qualitativa magnetométrica se deu principalmente pelo mapa temático de Amplitude do Sinal Analítico (ASA), devido ao seu caráter monopolar. Além disso, o mapa de ASA é eficiente na definição de parâmetros geométricos da fonte magnética, seus limites geológicos, sua estruturação e profundidade da interface embasamento/supracrustais (análise quantitativa).

As anomalias magnéticas são o foco do estudo sobre os mapas temáticos. Os altos magnéticos, representados pelas cores mais quentes no mapa, se relacionam com altas concentrações de minerais ferromagnéticos ou a baixas profundidades dos corpos. Os baixos magnéticos, equivalentes as cores mais frias no mapa, estão atreladas a baixas concentrações dos minerais ferromagnéticos ou a grandes profundidades de alocação das fontes geradores das anomalias, há também os valores intermediários. Deve-se levar em consideração esse caráter ambíguo ao interpretar as feições.

Em função da variação da intensidade de magnetização das rochas foram definidas quatro magnetofácies (Fig. 5.3), fundamentadas nos valores de amplitude e comprimento de onda das anomalias.

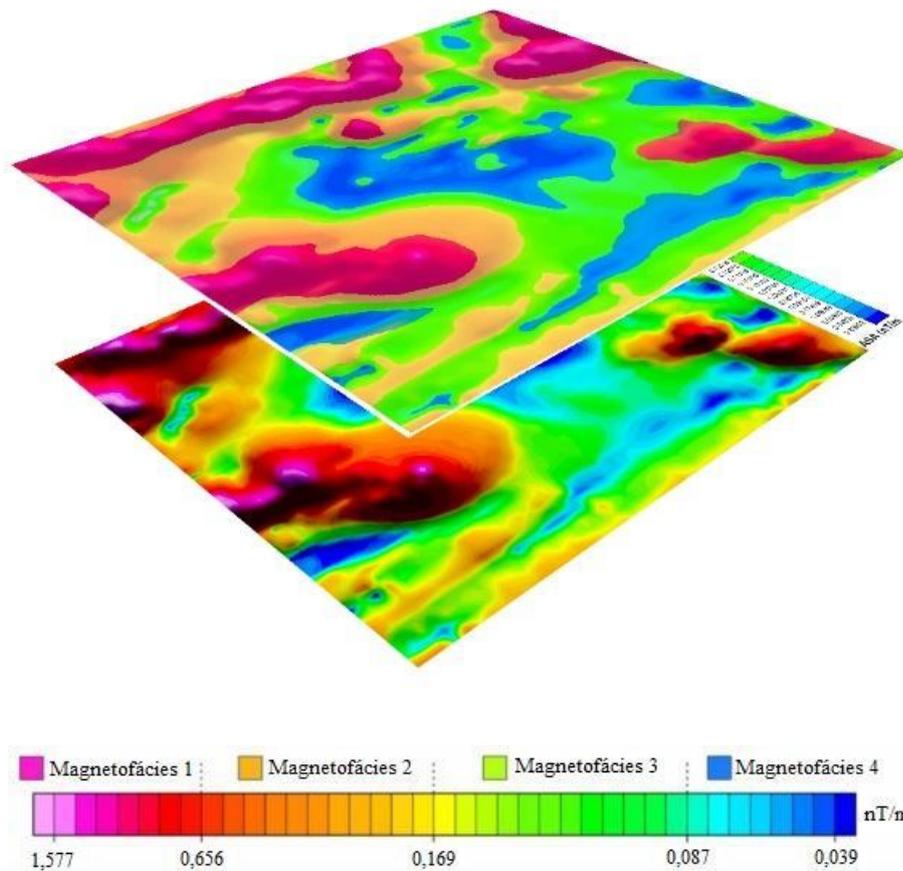
A Magnetofácies 1 caracteriza-se pelos maiores valores de magnetização, ou seja, alta susceptibilidade magnética, entre 1,577 e 0,656 nT/m. As anomalias apresentam altas amplitudes e baixos comprimentos de onda, representadas no mapa de ASA pelas cores magenta, rosa e vermelho. Distribui-se em mapa principalmente na região Norte/Noroeste, com ocorrência relevante também a Nordeste, Sudoeste e Sudeste, porém de forma menos extensa. A anomalia a N/NW chama atenção por sua continuidade que alonga-se por quase todo setor Norte, sendo que as demais ocorrem de forma mais localizada em geometrias elipsoidais.

A Magnetofácies 2 apresenta magnetização, e susceptibilidade magnética, intermediária a alta, com valores entre 0,656 e 0,169 nT/m. Identifica-se pelas cores em tons alaranjados e amarelos. Posiciona-se em torno a Magnetofácies 1, ocorre de forma alongada com direção Leste-Oeste na região Sul e Sudeste do mapa e aparece de forma pontual em outras localidades.

A Magnetofácies 3 expressa valores intermediários a baixos de magnetização, de 0,169 a 0,087 nT/m. Exibe cores em tons principalmente esverdeados, e tons amarelo claro e azul claro,

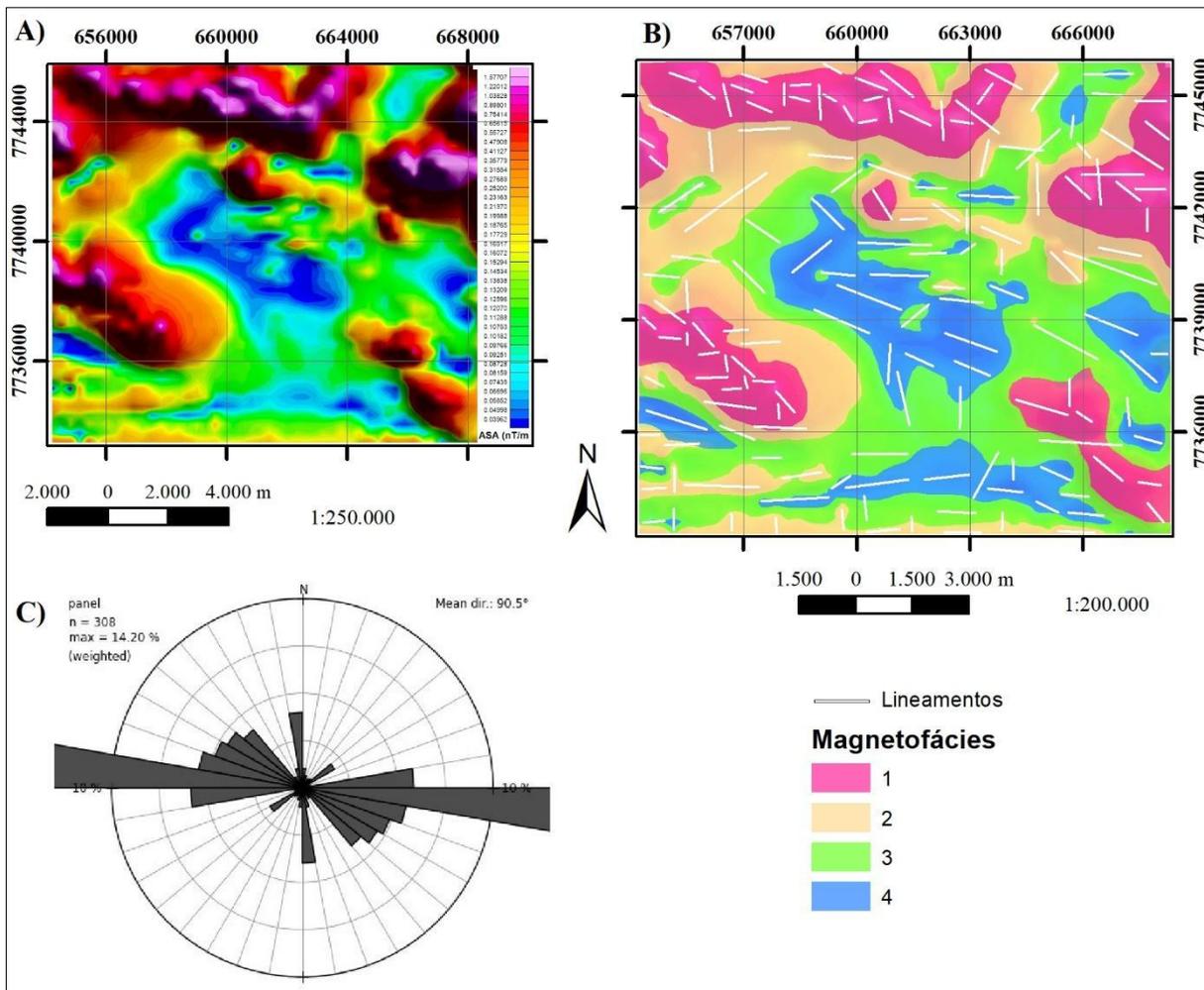
correspondentes às interfaces com o amarelo e azul. No mapa, distribui-se por quase toda a área e bordejando as demais magnetofácies, contudo, é mais expressiva nas porções Sul e Leste.

A Magnetofácies 4 abrange os menores valores de magnetização e susceptibilidade magnética, entre 0,087 e 0,039 nT/m, com baixas amplitudes e altos comprimentos de onda. Exibe cores em tons azuis. Sua ocorrência principal é na porção central do mapa, de forma secundária a Sul, de forma alongada com direção E/W, ocorre a Oeste e Leste de maneira menos expressiva e pontualmente a Nordeste.



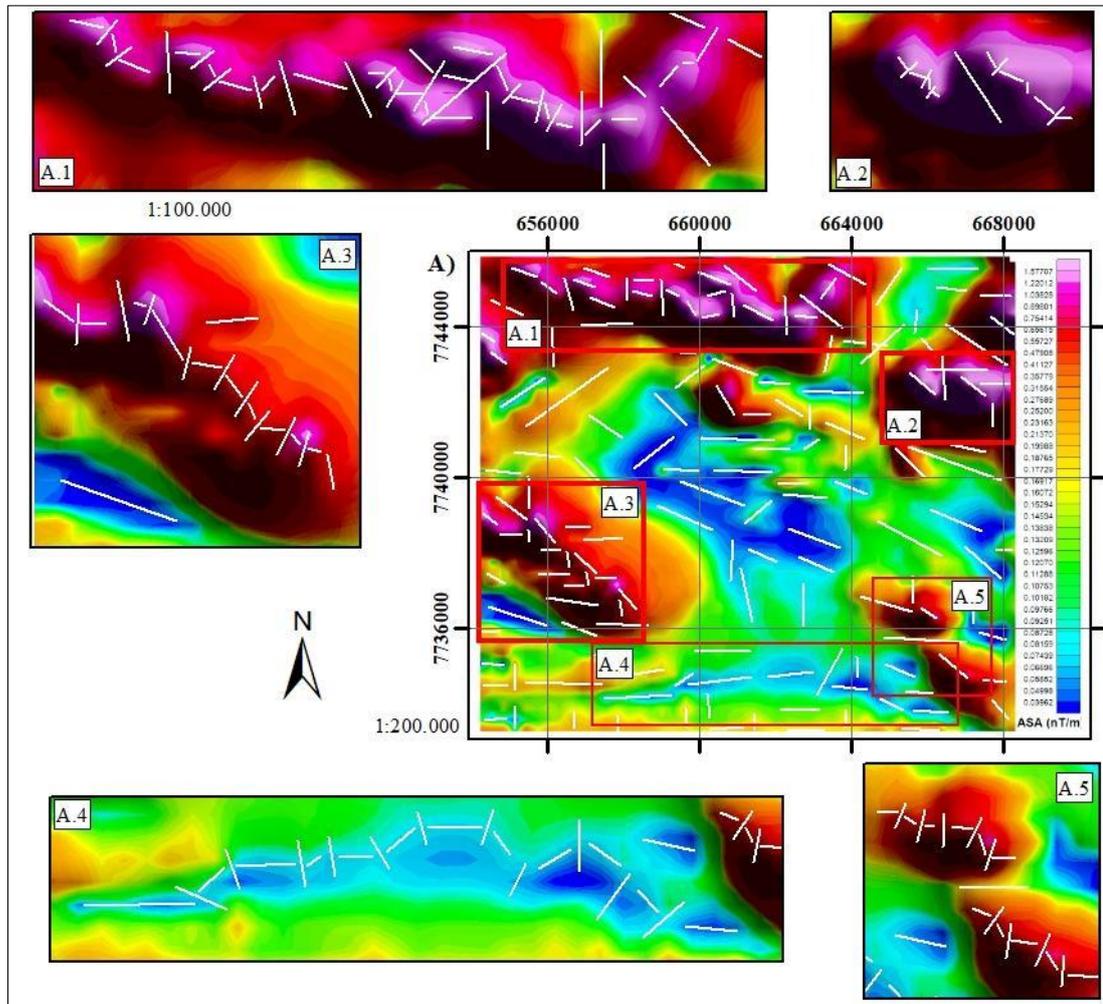
**Figura 5.3:** Mapa de amplitude do sinal analítico (ASA) com a delimitação das magnetofácies em seus respectivos intervalos de valores anômalos.

A figura 5.4 apresenta o mapa de ASA, o mapa de magnetofácies com os lineamentos traçados sobre os mapas magnetométricos e seu respectivo diagrama de rosa. Foram delineados 154 lineamentos sobre o mapa de ASA com o auxílio dos demais mapas temáticos. O tratamento na geração do diagrama de rosa mostra o predomínio da direção E-W entre os lineamentos, com máximo para  $90,5^\circ$  (14,20%), secundariamente, as direções N-S e NW-SE aparecem com relativa importância.



**Figura 5.4:** A) Mapa de ASA; B) Mapa de ASA com as magnetofácies sobrepostas e os traços dos lineamentos interpretados; C) Diagrama de Rosa com as direções e comprimentos totais dos lineamentos.

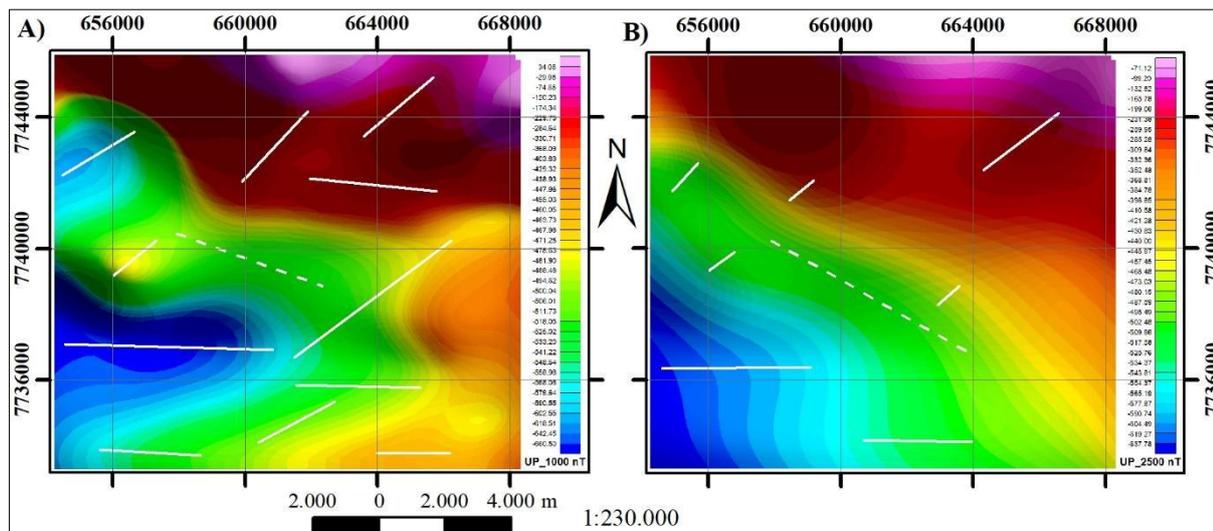
Na porção magenta, a norte da área, devido a ambiguidade dos métodos magnetométricos estaria associada a fontes anômalas em profundidade ou com maior teor de minerais magnéticos, percebe-se lineamentos de direção N-S deslocando os de direções E-W/ESE-WNW, nas anomalias a NE, SE e NW do mapa também é perceptível essa relação de interferência entre as direções (Fig. 5.5).



**Figura 5.5:** A) Mapa de ASA com os lineamentos regionais plotados em escala 1:200.000; A.1. A.2, A.3, A.4 e A.5 com seus respectivos lineamentos em detalhe, das áreas seleccionadas por polígonos vermelhos em escala 1:100.000.

Para assessorar a hierarquização dos lineamentos utilizaram-se os mapas de Continuação Para Cima com filtros de 1000 e 2500 metros (Fig. 5.6), pois estes ilustram a continuidade das anomalias em maiores profundidades, retirando as respostas próximas à superfície, fornecendo assim, prováveis informações sobre o embasamento da região.

No mapa com filtro de 1000m é perceptível a direção NE-SW deslocando a direção E-W/ESE-WNW em alta profundidade, corroborando a interpretação de que a direção E-W seja anterior às demais. No mapa com filtro de 2500m a interferência das direções é mais sutil, devido a maior profundidade. A direção N-S não aparece em profundidade, sendo posterior e supostamente a última a se instaurar.



**Figura 5.6:** Mapas de Continuação para Cima e lineamentos interpretados. Os lineamentos pontilhados são possivelmente devido a variação composicional no teor de minerais magnéticos e não necessariamente relacionado à estrutura: A) Filtro de 1000 metros; B) Filtro de 2500 metros.

Ao analisarmos as anomalias magnéticas em paralelo com a folha de Mariana realizada pelo convênio USGS/DNPM (Barbosa 1969b), percebe-se correspondência com tais altos valores anômalos. A anomalia magnética, a Norte da área, é a mais marcante e persistente em continuidade e profundidade, estando presente em quase todos os mapas. Ela está associada ao flanco sul, do anticlinal de Mariana, e sua reposta de alta frequência é devido às formações ferríferas da Formação Cauê. A alta anomalia logo abaixo do anticlinal de Mariana, na porção central do mapa de ASA, foi mapeada como membro quartzítico ferruginoso do Grupo Itacolomi (Barbosa 1968). A anomalia a NW da área foi associada a quartzitos ferruginosos/formações ferríferas pertencentes ao Grupo Sabará. As anomalias a SW e SE estão relacionadas a rochas alumino ferruginosas também pertencentes ao Grupo Sabará.

### 5.1.3 ANÁLISE RADIOMÉTRICA

Como parte da interpretação qualitativa dos dados radiométricos delimitou-se as radiofácies e delinear-se os lineamentos. O mapa ternário no modelo de cor RGB (red-green-blue) foi a base para a elaboração do mapa de radiofácies (Fig. 5.7), contudo, a delimitação das radiofácies ocorreu em conjunto com os demais mapas temáticos, a partir da variação dos valores das anomalias radiométricas. Os lineamentos são apresentados sobre o mapa do canal de tório (Fig. 5.8), porém os outros mapas também auxiliaram na identificação dos lineamentos.

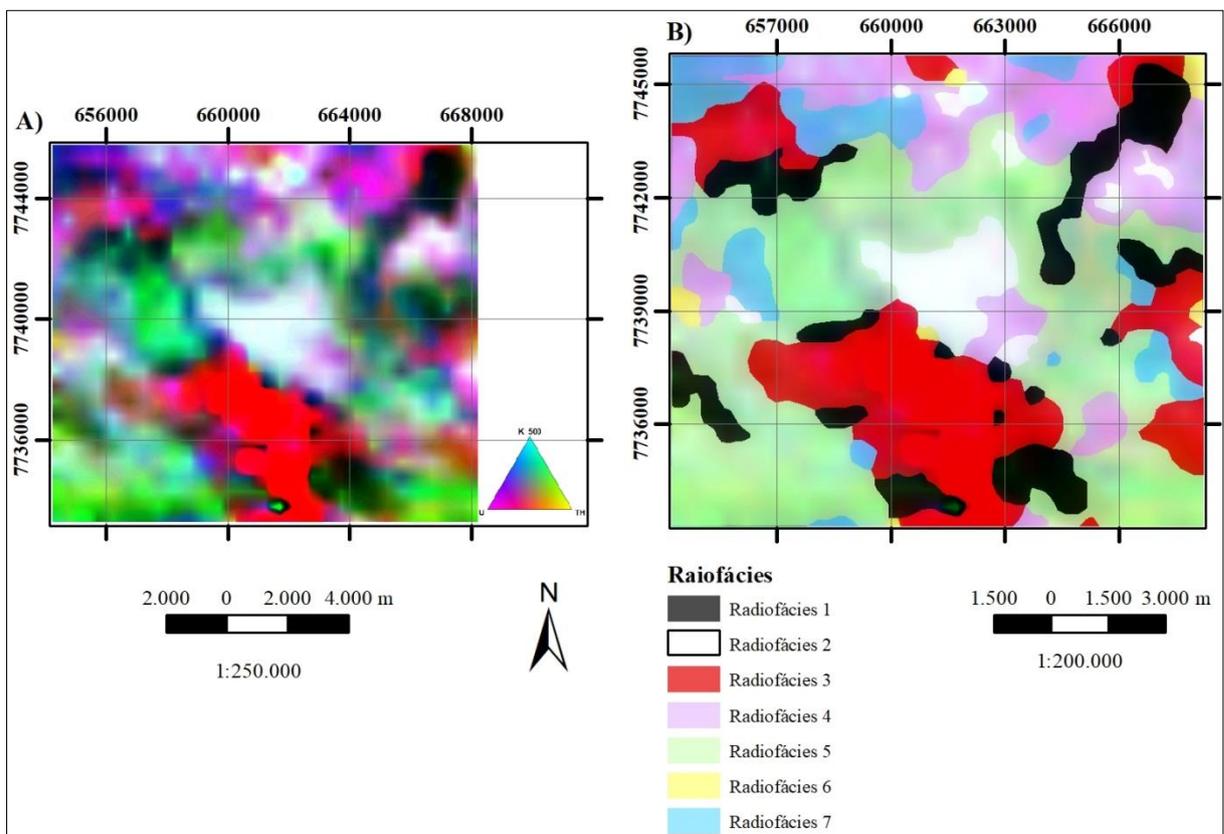
A delimitação das radiofácies se deu pelo seu conteúdo relativo de cada elemento (K, U e Th), ou seja, se suas concentrações são altas, intermediárias ou baixas. Sendo assim, sete fácies foram delimitadas. A Tabela 5.1 sintetiza essa análise.

A radiofácies 1, de coloração preta, apresenta a característica de ter altas concentrações dos três isótopos, em porcentagens semelhantes. Ao se analisar separadamente os mapas de canais de K, U e Th, percebe-se que, de fato, nas regiões pretas do mapa ternário, há anomalias positivas dos três elementos.

A radiofácies 2, de cor branca, ao contrário da anterior, apresenta baixas concentrações dos três isótopos, também perceptível ao analisar o mapa de cada canal separadamente. Sua principal ocorrência é na porção central da área de estudo.

**Tabela 5.1:** Síntese dos teores de cada elementos nas radiofácies delimitadas.

Radiofácies	Teor de K	Teor de U	Teor de Th
1	Alto	Alto	Alto
2	Baixo	Baixo	Baixo
3	Baixo	Intermediário	Intermediário
4	Baixo	Alto	Baixo
5	Intermediário	Baixo	Intermediário
6	Baixo	Baixo	Alto
7	Intermediário	Intermediário	Baixo



**Figura 5.7:** A) Mapa Ternário; B) Mapa Ternário com as radiofácies sobrepostas.

A radiofácies 3 apresenta os menores valores de potássio, representadas pela cor vermelha, e valores intermediários de urânio e tório. Na porção centro-sul da área de estudo ocorre a principal anomalia dessa fácies, apesar de ela apresentar os menores valores de K, ao analisar os mapas dos

canais individuais de cada elemento observa-se que nessa porção os teores de U e Th são altos, em anomalias positivas. As regiões com altos valores de potássio não ocorrem de forma individualizada no mapa ternário, onde a concentração de outros elementos a sobrepõe.

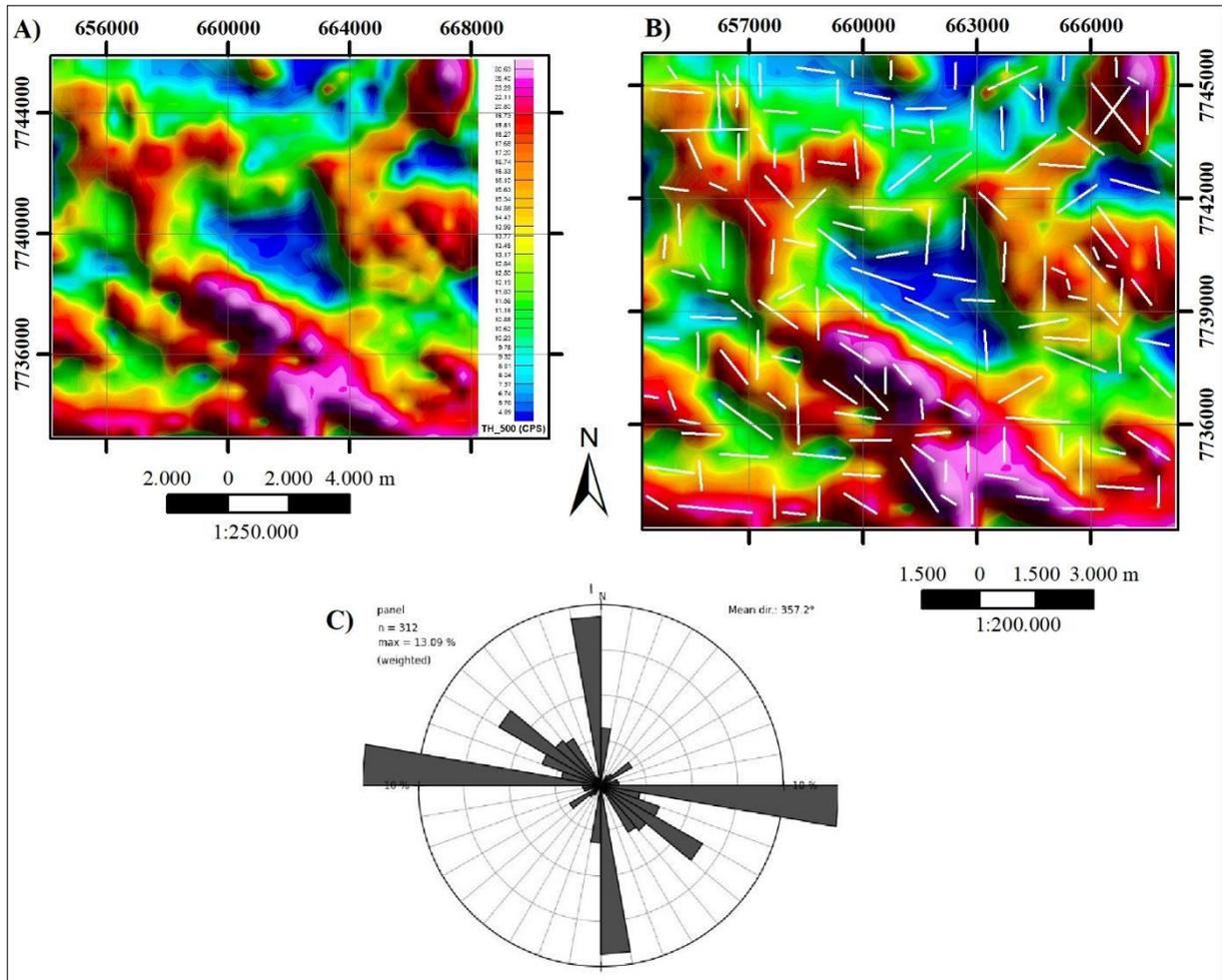
A radiofácies 4 é característica dos altos teores de urânio, de coloração roxa, possui valores intermediários a baixos de K e Th. Localiza-se em mapa principalmente nas regiões NW e NE.

A radiofácies 5 de cor verde, possui baixos valores de urânio, e valores principalmente intermediários de K e Th. No mapa ternário é a fácies de maior distribuição e sobrepõe as anomalias dos outros elementos nos locais onde ela ocorre.

A radiofácies 6 apresenta os altos teores de tório. Em mapa está na cor amarela e distribui-se pontualmente. Os valores dos demais isótopos são intermediários.

A radiofácies 7 tem como característica os baixos valores do elemento tório, representada pela cor azul, apresenta valores intermediários de K e U. Concentra-se principalmente a NW da área de estudo.

A figura 5.8 exibe o mapa do canal de tório e os lineamentos confeccionados sobre os mapas temáticos da radiometria. Por fim, foi gerado o diagrama de rosas para análise gráfica das principais direções. Foram traçados 156 lineamentos e as principais direções reveladas pelas pétalas do diagrama são E-W (13,09%) e N-S (9,5%), e secundariamente, ainda com expressividade, a direção NW-SE.



**Figura 5.8:** A) Mapa do canal de tório; B) Mapa do canal de tório com o traço dos lineamentos interpretados; C) Diagrama de Rosa com as direções e comprimentos totais dos lineamentos.

## 5.2 ANÁLISE QUANTITATIVA

A Deconvolução de Euler é um método para rápidas estimativas de profundidade do topo de fontes magnéticas a partir de grandes quantidades de dados magnéticos. A operação baseia-se na equação de homogeneidade de Euler (Thompson 1982).

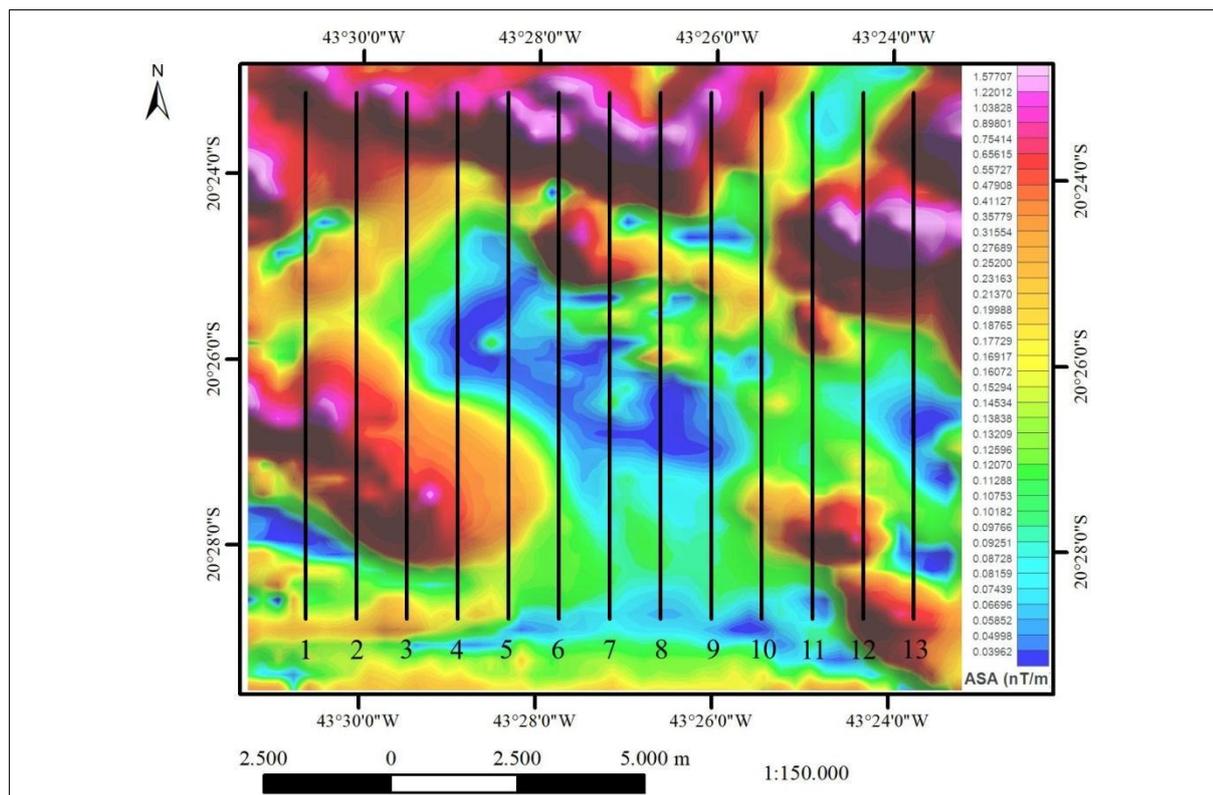
O presente capítulo tem como objetivo utilizar a Deconvolução de Euler (2D) para calcular e estimar profundidades das fontes causadoras de anomalias magnéticas e suas geometrias relacionadas a feições estruturais. A partir do processamento gera-se como resultado um modelo 3D da área de estudo.

### 5.2.1 Processamento de Dados Aerogeofísicos para Análise Quantitativa

A execução da modelagem tridimensional 3D é realizada pelas etapas descritas a seguir, que consistem na geração das linhas de perfis pelo *software* ArcMap versão 10.3, a extração dos dados dos perfis pelo *software* Geosoft Oasis Montaj 8.4., a inversão dos dados pela Deconvolução de Euler pelo *software* Euler 1.0, desenvolvido por G.R.J. Cooper da *School of Geosciences of the University of*

*Witwatersrand*, a unificação dos dados exportados do Euler 1.0 pelo ArcMap 10.3 e por fim a geração do modelo 3D pelo *software* ArcScene 10.3 pelo método de *krigagem*.

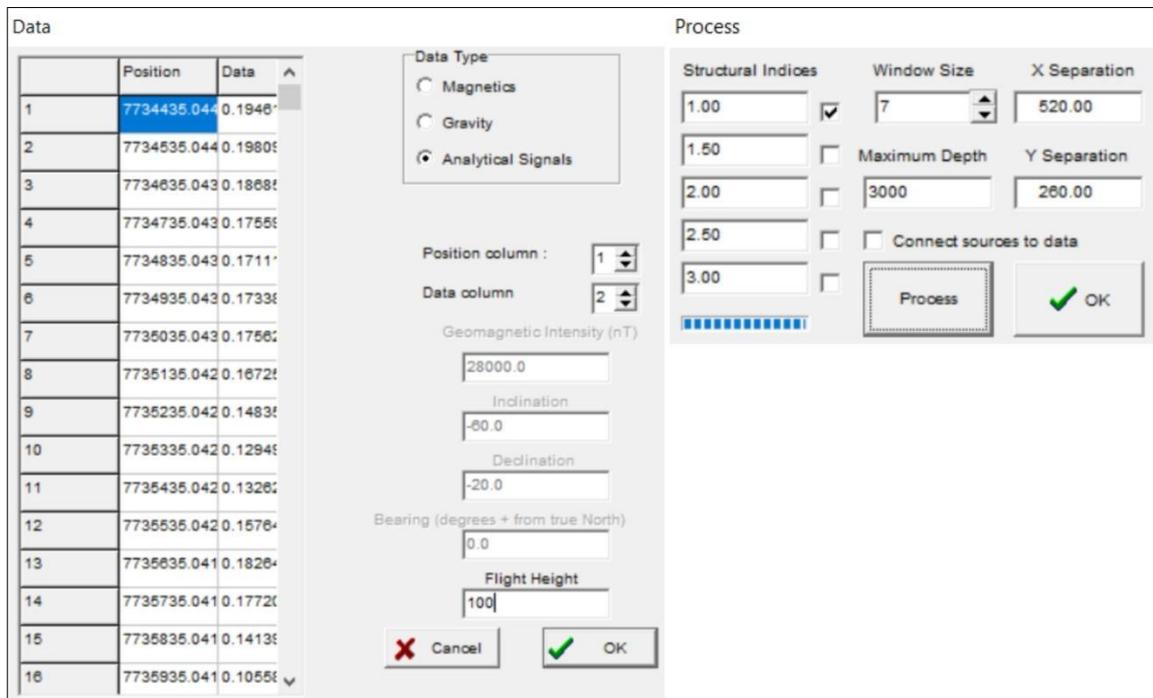
Primeiramente, traçou-se as linhas dos perfis no *software* ArcMap 10.3 sobre o mapa de Amplitude de Sinal Analítico. As linhas dos perfis foram realizadas na direção N-S, perpendiculares à direção preferencial das estruturas da região de estudo, a análise dos lineamentos no capítulo de Análise Qualitativa definiu a direção predominante E-W. Foram traçados 13 linhas de perfil equidistantes em 1km com ~10,5km de comprimento cobrindo uma área de ~125,5km<sup>2</sup> (Fig. 5.9).



**Figura 5.9:** Perfis N-S para a Deconvolução de Euler sobre o mapa de Amplitude do Sinal Analítico. As 13 linhas (da esquerda para a direita) são equidistantes entre si em 1km e possuem cerca de 10,5km de comprimento.

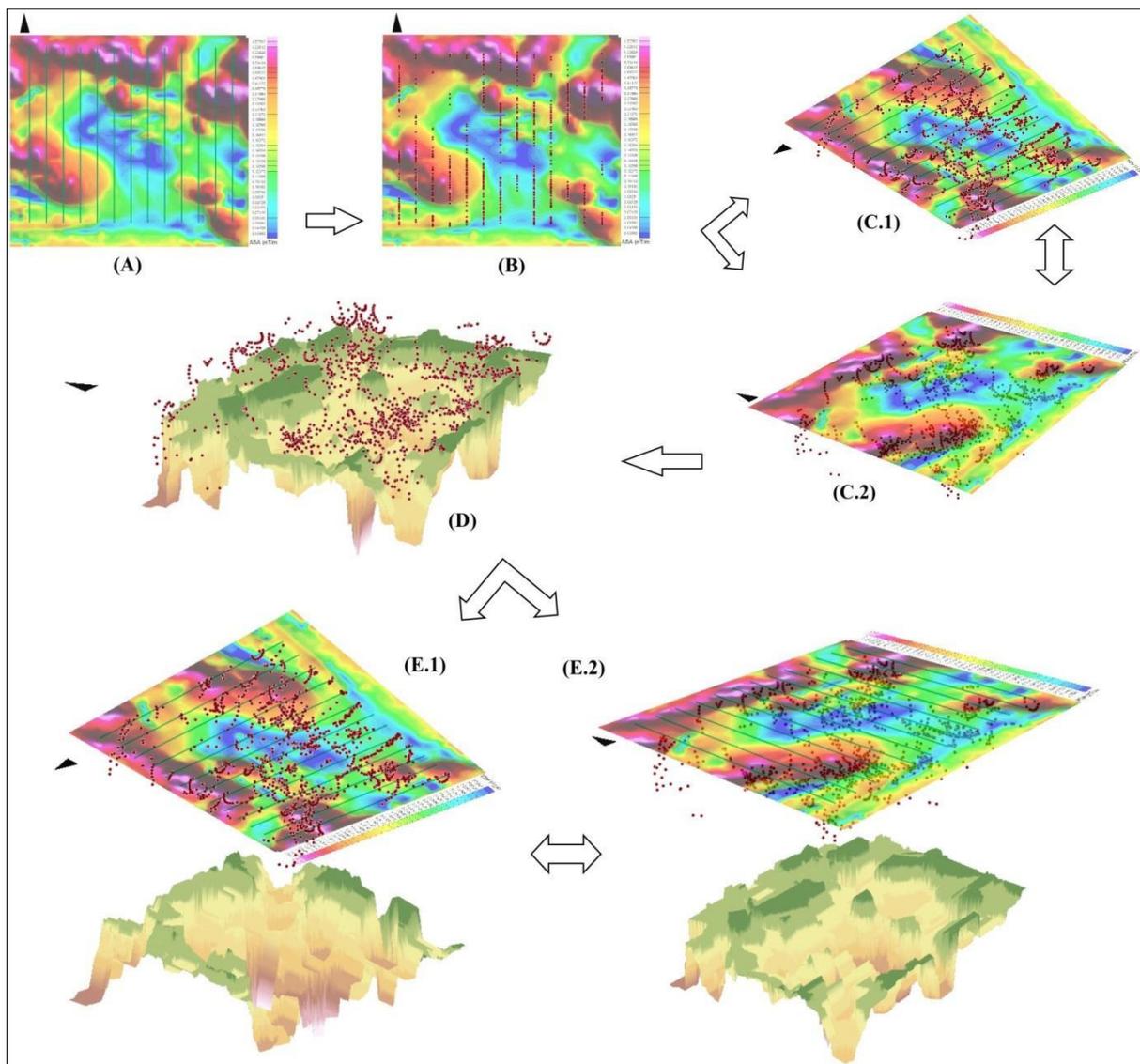
Os perfis foram então importados para o *software* Geosoft Oasis Montaj 8.4 para executar a rotina *grid profile* com o intuito de extrair os dados magnéticos de cada linha sobre o mapa de ASA, utilizou 100m como intervalo de amostragem magnética. O processo gerou um novo banco de dados com as linhas de perfis, que são, em seguida, exportados no formato .csv e convertidos para .dta, formato compatível com *software* Euler 1.0. Na sequência, os arquivos são processados pelo *software* Euler 1.0. Selecionaram-se como parâmetros as opções para trabalho com o mapa ASA e a altura de voo do aerolevante de 100 metros. O índice estrutural escolhido foi igual a 1, o tamanho da janela de 7 e a profundidade máxima das respostas de 3000m (Fig. 5.10). Esses últimos valores variam de acordo com cada caso e devem ser adequados para se obter respostas visuais coerentes segundo a

feição geológica analisada, a escala e o objetivo do trabalho. Segundo Thompson (1982) índices estruturais mais baixos são melhores para estimativa de profundidades.



**Figura 5.10:** Interface do *software* Euler 1.0, com os dados magnéticos de uma linha de perfil. Os parâmetros utilizados: sinal analítico e altura de voo 100m, à esquerda na aba *Data*, e a direita na aba *Process*, o índice estrutural 1.0, o tamanho da janela 7 e a profundidade máxima 3000m.

Posterior ao processamento dos dados no Euler 1.0, importa-se os mesmos para o *ArcMap* para aplicação da ferramenta *merge*, o qual une as várias *shapes* em um mesmo arquivo. Em seguida, sobre a *shapefile* unificada, é aplicado o método de *krigagem* para interpolação dos dados. O produto final é um modelo tridimensional no *software* *ArcScene* com estimativas de profundidade e da posição das diversas fontes magnéticas existentes na área de levantamento (Fig. 5.11).

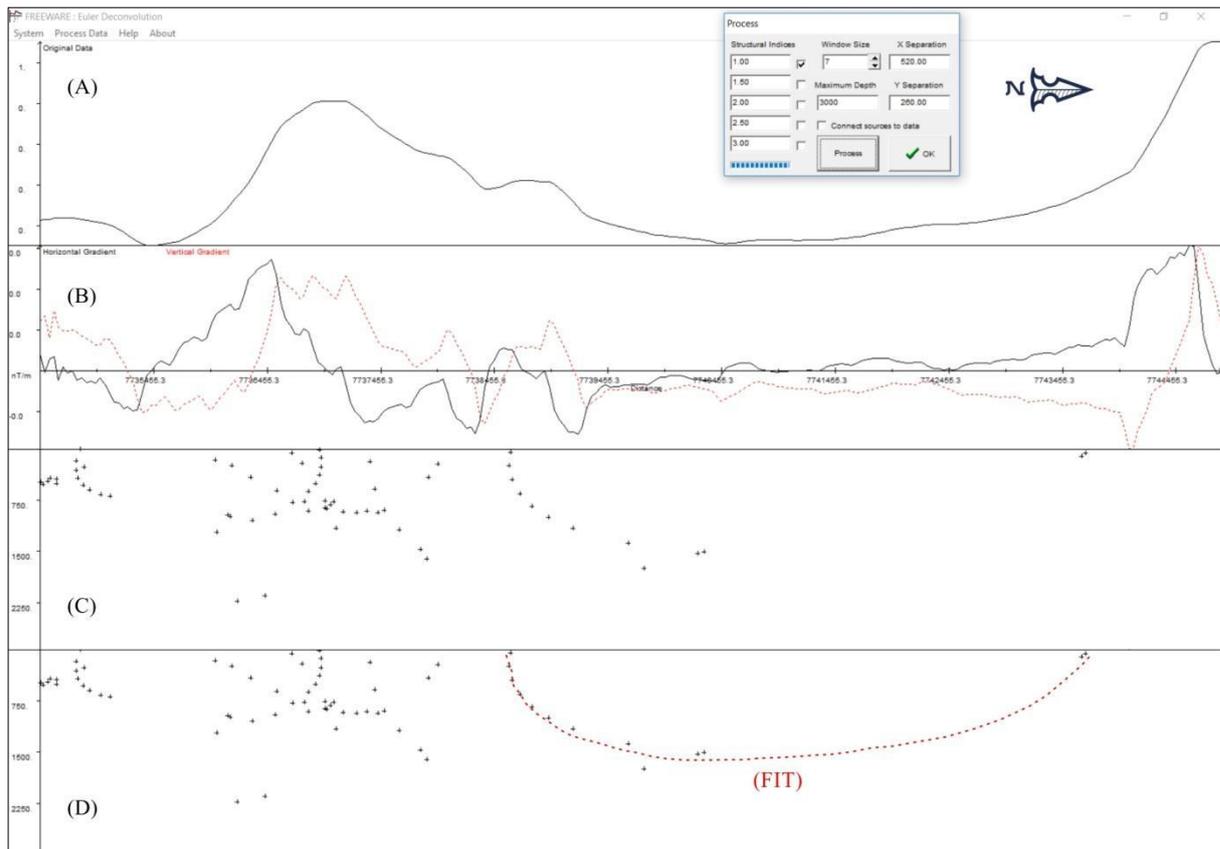


**Figura 5.11:** Fluxograma simplificado na geração do modelo em 3D.

### 5.2.2 Resultados Quantitativos

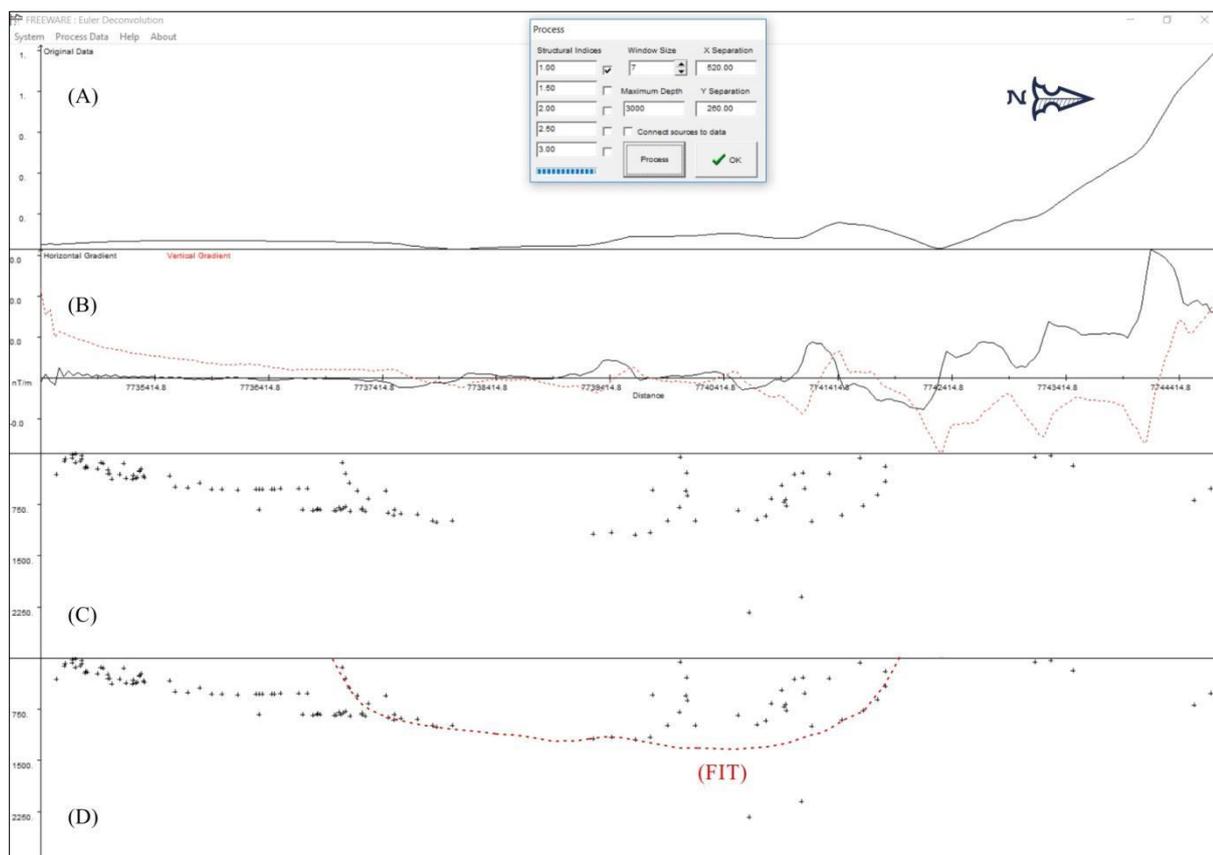
A fim de ilustrar as respostas magnéticas anômalas em profundidade, três perfis dentre os treze foram selecionados para interpretação. A figura 5.12, figura 5.13 e figura 5.14 apresentam os perfis 7, 9 e 13 respectivamente.

Localizado na porção oeste do mapa, o perfil 7 (Fig. 5.12), possibilita a visualização de respostas magnéticas anômalas. Ao sul do perfil obtêm-se feições com profundidade de até de 2250m. Quando confrontadas com o mapa geológico (Barbosa 1969b), tais anomalias parecem estar associadas ao contato entre rochas do Grupo Itacolomi ao sul da área com membros alumino-ferruginosos do Grupo Sabará. Em seguida, anomalias com profundidades pouco menores, interpretou-se a resposta de uma falha, com transporte dirigido para sul, referente à falha Itacolomi (FIT).



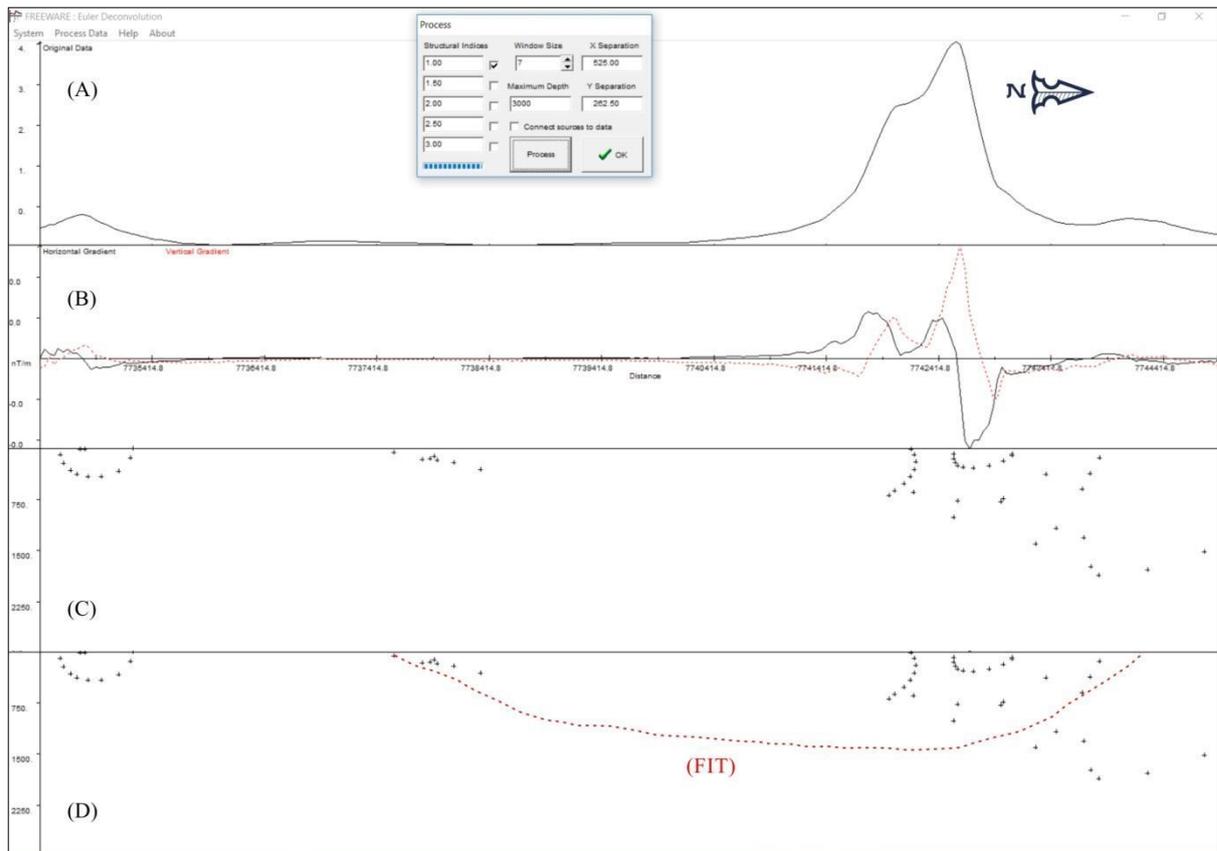
**Figura 5.12:** Interface do *software* Euler 1.0 com os dados do Perfil 7. (A) Dados retirados de Amplitude do Sinal Analítico do Perfil; (B) Gradiente vertical e horizontal dos dados; (C) Estimativas de subsuperfície; (D) Interpretação sobre as estimativas de subsuperfície.

O perfil 9, localizado na porção centro-leste do mapa (Fig. 5.13), apresenta anomalias ao sul, no centro e ao norte. Ao sul obtêm-se feições com profundidades máximas de cerca de 1200m. Essas feições foram interpretadas como zonas de contato do Grupo Itacolomi com o membro alumino-ferruginosos ao sul da área, pertencente ao Grupo Sabará. As anomalias ao centro do perfil foram interpretadas como a resposta da falha Itacolomi (FIT). A norte, com profundidades de até 1400m, obtêm-se falhamentos relacionados à falha Itacolomi caracterizando sua zona de influência. Essas corroboram a alocação do traço em mapa da falha Itacolomi. Em seguida, mais a norte do perfil, com profundidade de cerca de 1200m, a resposta anômala foi associada ao anticlinal de Mariana. Sua geometria é linear, se encontra nos domínios das formações ferríferas Cauê.



**Figura 5.13:** Interface do *software* Euler 1.0 com os dados do Perfil 9. (A) Dados retirados de Amplitude do Sinal Analítico do Perfil; (B) Gradiente vertical e horizontal dos dados; (C) Estimativas de subsuperfície; (D) Interpretação sobre as estimativas de subsuperfície.

Na porção leste, o perfil 13 (Fig. 5.14) apresenta anomalias com profundidades inferiores a 2000m. Foi possível interpretar a resposta da falha Itacolomi (FIT), confrontando seu traçado em mapa estipulado durante o mapeamento geológico.



**Figura 5.14:** Interface do *software* Euler 1.0 com os dados do Perfil 13. (A) Dados retirados de Amplitude do Sinal Analítico do Perfil; (B) Gradiente vertical e horizontal dos dados; (C) Estimativas de subsuperfície; (D) Interpretação sobre as estimativas de subsuperfície.

Todos os perfis mostrados apresentam anomalias de alta susceptibilidade magnética, as respostas obtidas representam a profundidade estimada do topo das fontes magnéticas e suas geometrias.

### ***Vizualização em 3D***

O modelo em 3D gerado ilustra a topografia magnética do topo das fontes geradoras. A figura 5.15 apresenta o mapa de Amplitude de Sinal Analítico, os 13 perfis executados para a deconvolução, o *shapefile* com os dados deconvoluídos em profundidade e o modelo em 3D gerado pela interpolação dos dados pela ferramenta de krigagem, bem como sua visualização W-E e N-S.

Na figura 5.16, é possível observar que as porções em tons esverdeados são oriundas de fontes mais superficiais, e foram associadas a Norte com os itabiritos da Formação Cauê, a Leste, Sul e Oeste aos quartzitos ferruginosos do Grupo Sabará e Itacolomi. As regiões em tons de amarelos, laranjas, marrons e brancos caracterizam valores mais baixos de susceptibilidade magnética e, em seus setores mais profundos, coincidem com a localidade onde afloram os quartzitos da serra do Itacolomi. Os materiais arenosos possuem baixas respostas magnéticas, ou seja, o modelo 3D indica que nessas profundidades está a interface do embasamento com as rochas supracrustais citadas. Na porção central do mapa ocorrem as maiores profundidades ultrapassando os 1900m.

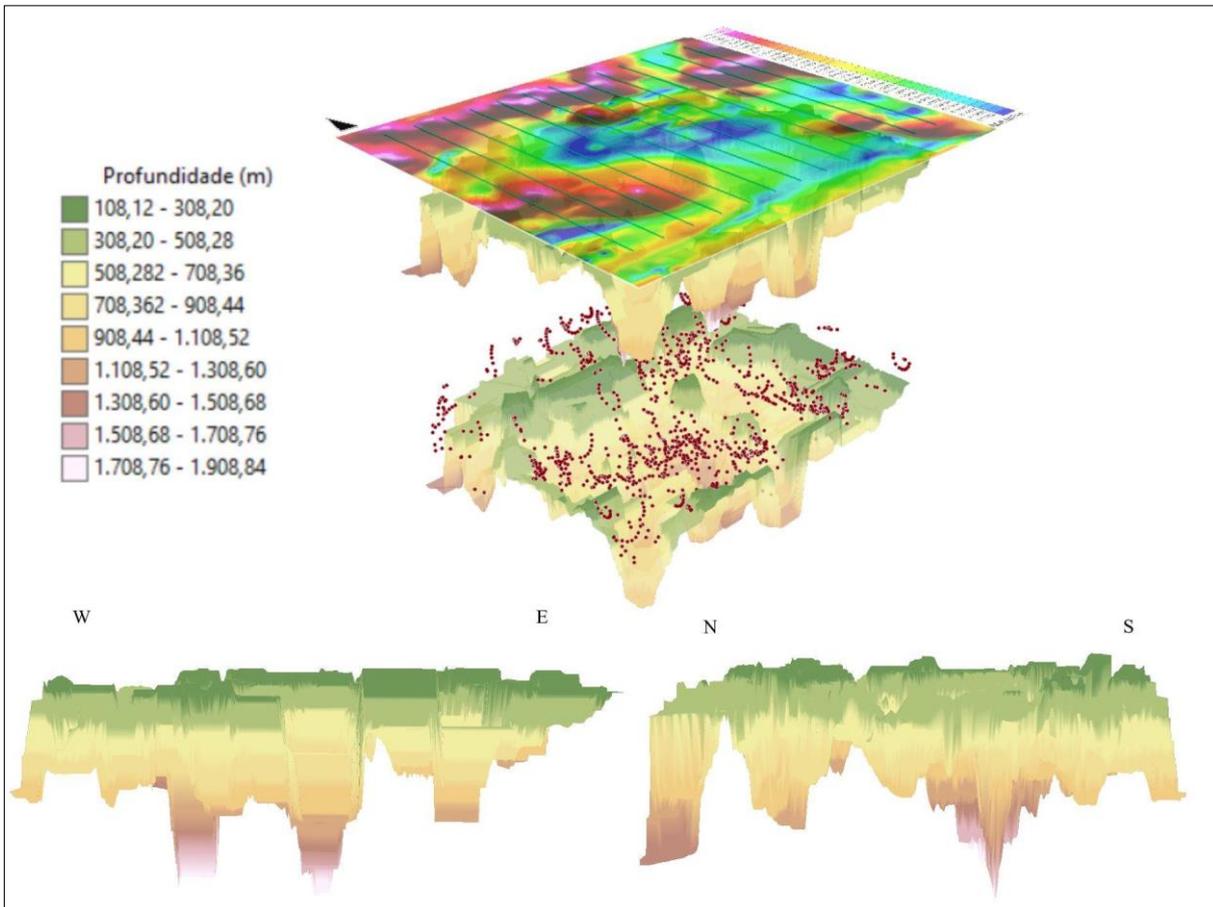


Figura 5.15: Modelo 3D em diferentes perspectivas gerado através método de krigagem no *software* ArcScene 10.3

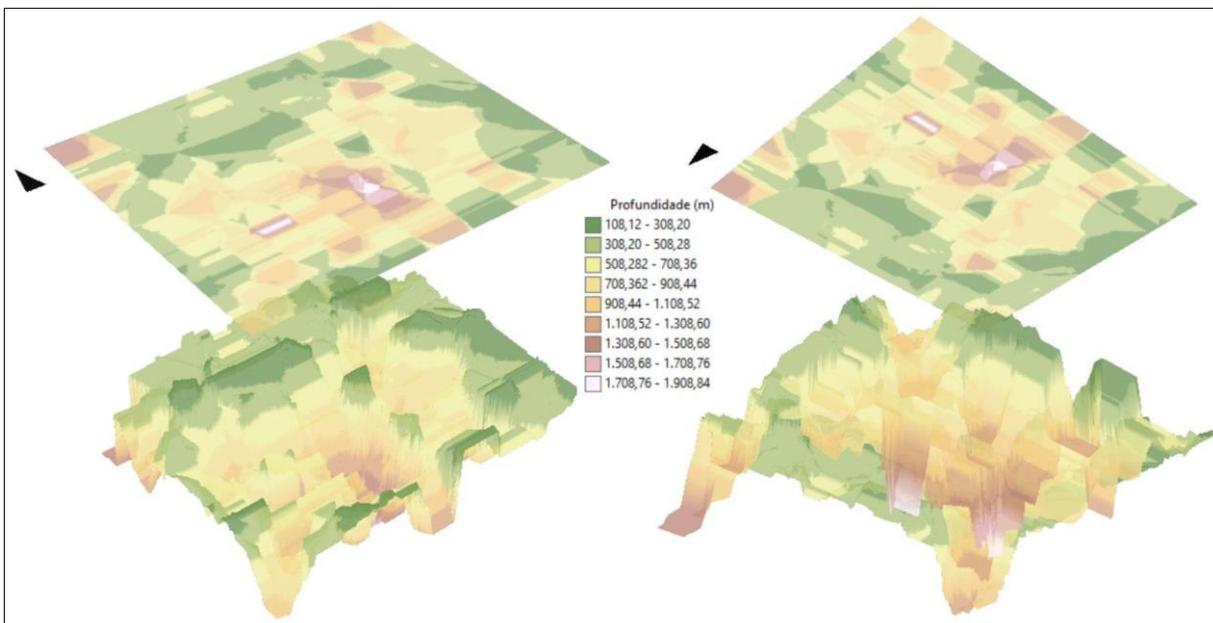
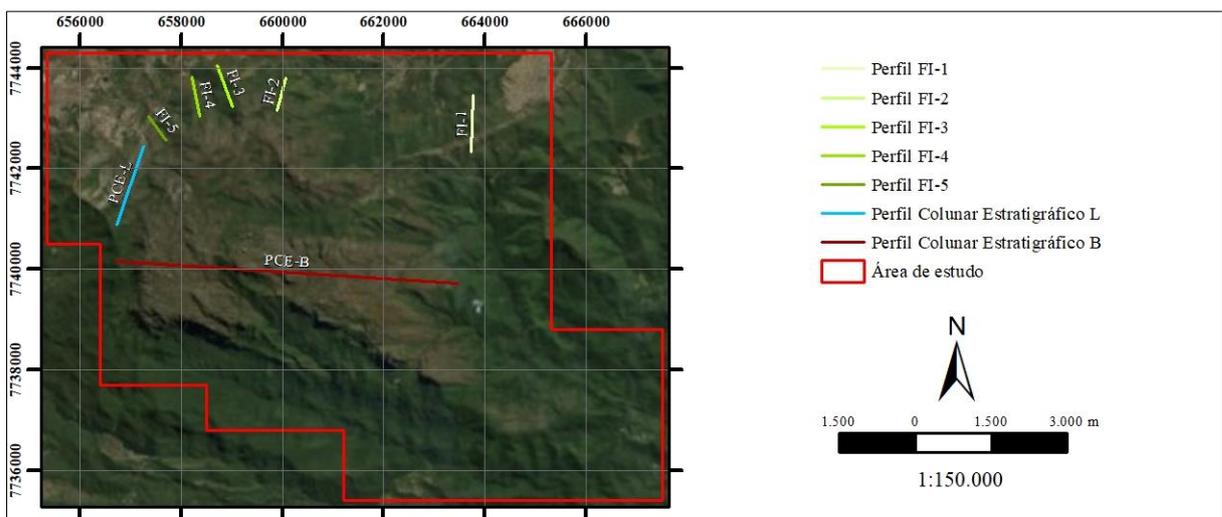


Figura 5.16: Modelo 3D da área gerado através método de krigagem no *software* ArcScene 10.3, com visualização superior e inferior.

## CAPÍTULO 6

### ESTRATIGRAFIA

Este capítulo apresenta os resultados estratigráficos obtidos durante as etapas de campo. Com o intuito de delimitar os blocos estruturais identificados na fase inicial do mapeamento, seccionados pela falha Itacolomi, e de estabelecer as relações de contato entre as rochas dos grupos Piracicaba, Sabará e Itacolomi, realizaram-se cinco perfis na porção norte da área. Para caracterizar a sucessão estratigráfica composta de xistos e quartzitos da serra do Itacolomi foi realizado um levantamento estratigráfico de detalhe pelo método da trena com correção de inclinação que resultou em dois perfis colunares (Apêndices III e IV) com a caracterização de seis conjuntos rochosos (A, B, C, D, E e F) e de suas relações de contato. O empilhamento da sucessão litológica permitiu estimar a espessura do pacote rochoso da serra do Itacolomi e apresentar uma proposta de modelo estratigráfico. Durante todos os caminhamentos (Fig. 6.1) buscou-se determinar a relação de vorticidade entre o acamamento e a xistosidade, observar os critérios geopetais e demais aspectos estratigráficos, sedimentológicos, petrográficos e estruturais.



**Figura 6.1:** Mapa com os perfis realizados na porção norte da área, em tons verdes, os perfis do levantamento estratigráfico L, em azul, e B, em vermelho.

#### 6.1 UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS MAPEADAS

As rochas mapeadas pertencem às sequências superiores do Supergrupo Minas, os grupos Piracicaba e Sabará e o Grupo Itacolomi.

##### 6.1.1 Grupo Piracicaba

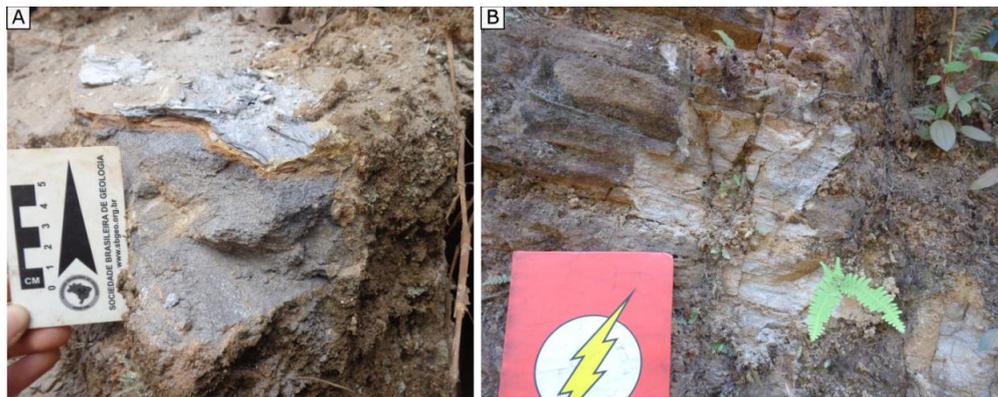
As rochas do Grupo Piracicaba afloram na porção noroeste (NW), norte (N) e nordeste (NE) da área, na região de Passagem de Mariana e nas proximidades de Ouro Preto pela BR-356. Ocorrem em contato com as rochas sobrejacente do Grupo Sabará, Formação Saramenha (*e.g.* Almeida *et al.* 2005). Verificou-se que durante os caminhamentos que o Grupo Piracicaba aflora em sequência

invertida e se encontra, tectonicamente, no domínio do flanco inverso do sinclinal Santa Rita (item 7.12).

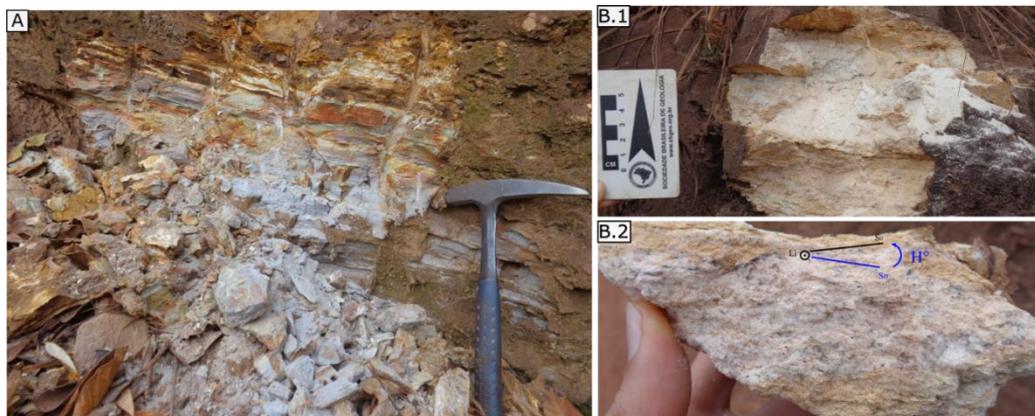
### ***Formação Cercadinho***

A Formação Cercadinho é constituída por quartzitos esbranquiçados, quartzitos ferruginosos intercalados com filitos sericíticos. Os quartzitos são bandados, níveis centimétricos com sílica em abundância, intercalados com níveis ricos em óxidos de ferro, são moderadamente a bem selecionados, granulacão predominante média, presença de estratificação cruzada tabular e plano-paralela. Os filitos, quando não alterados, são prateados, possuem brilho ceroso e textura sedosa ao toque.

As figuras 6.2 e 6.3 ilustram os quartzitos bandados e os filitos da Formação Cercadinho na porção NE da área de estudo (perfil FI-1, item 6.2.1), as medidas de acamamento possuem direção NE-SW com mergulho para SE. Observa-se a relação de vorticidade horária ( $vH^\circ$ ) entre xistosidade ( $S_n$ ) e acamamento ( $S_0$ ) e a lineação de interseção ( $L_i$ ).



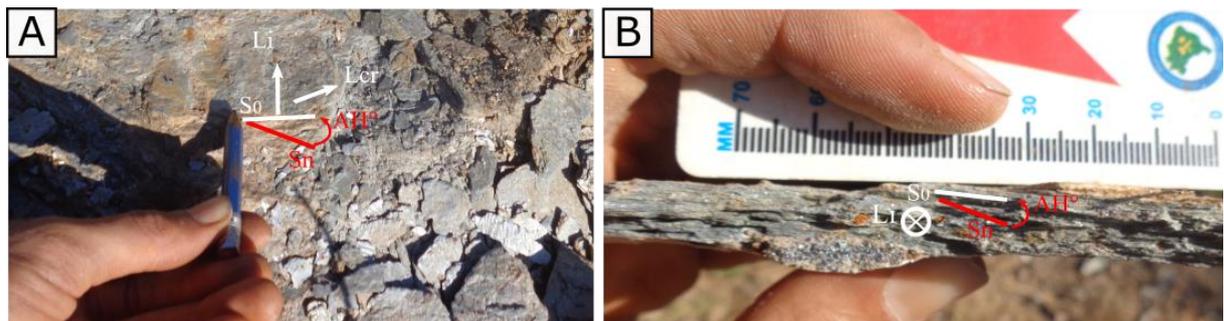
**Figura 6.2:** Formação Cercadinho: (A) Ponto K37, foto com az. de visada  $310^\circ$ , filito prateado acima de quartzito ferruginoso,  $L_i$  130/20,  $S_0$  160/20 e  $S_n$  115/22,  $vH^\circ$ ; (B) Ponto K37, foto com az. de visada  $50^\circ$ , detalhe do afloramento. Quartzito bandado, níveis silicosos intercalados com ferruginosos, estratificação plano paralela, grãos médios e equigranulares,  $S_0$  110/18.



**Figura 6.3:** No ponto K55 observa-se os filitos abaixo dos quartzitos, ambos da Formação Cercadinho: (A) Foto com az. de visada  $20^\circ$ , porção filítica intemperizada; (B.1) Az. de visada da foto  $110^\circ$ , detalhe para o afloramento de quartzito sobre os filitos; (B.2) Amostra de mão, quartzito médio a grosso, sericítico. Análise observando contra o caimento da  $L_i$ , portanto a vorticidade é  $H^\circ$ .  $L_i$  110/10,  $S_0$  140/15 e  $S_n$  120/10,  $vH^\circ$ .

No NNE da área de estudo, perfil FI-2 (item 6.2.1), descreveu-se as rochas da Formação Cercadinho com a direção do acamamento para WNW-ESE e mergulho para SSW, a relação de vorticidade nesse ponto apresentou-se como anti-horária.

As imagens abaixo (Fig. 6.4) representam a formação supracitada à norte da área de estudo (perfil FI-3 item 6.2.1), filitos intercalados com quartzito ferruginoso. O acamamento de direção NE-SW e mergulha para SE. As medidas de  $S_0$ ,  $S_n$  e  $L_i$  indicam relação de vorticidade anti-horária (vAH°), uma segunda xistosidade foi medida nesse ponto com vorticidade horária ( $S_n$  60/25).



**Figura 6.4:** Fm. Cercadinho. (A) Ponto K64 az. de visada da foto 110°, detalhe para  $L_i$  105/14,  $S_0$  140/22,  $S_n$  180/20 vAH°.  $L_{cr}$  180/09; (B) Amostra de mão de filito com quartzito ferruginoso e a relação de vAH° entre  $S_0$  e  $S_n$  observando a favor do caimento da  $L_i$ .

### ***Formação Barreiro***

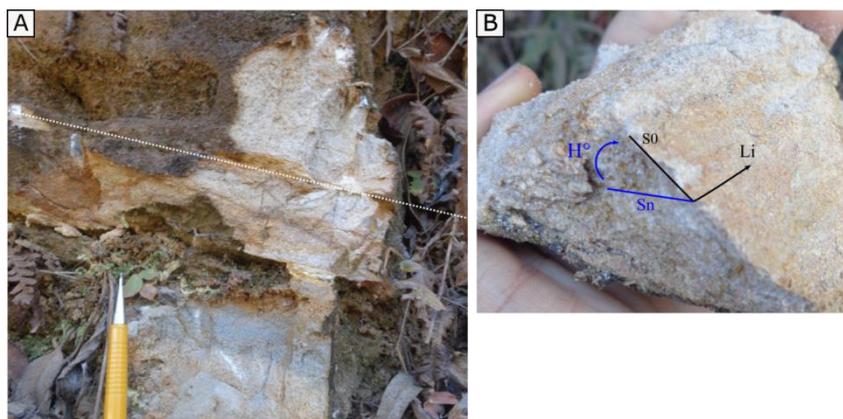
A Formação Barreiro (Fig. 6.5) foi descrita como filitos pretos nos perfis realizados a NE (perfil FI-1) e N (perfil FI-3) da área de estudo. No perfil FI-1, ela ocorre entre quartzitos e filitos da Fm Cercadinho. No perfil FI-3 ela ocorre em sequência invertida, abaixo dos quartzitos ferruginosos da Fm Cercadinho.



**Figura 6.5:** (A) Ponto K55, az. de visada da foto 355°, filito preto, estratigraficamente ocorre abaixo do filito e acima do quartzito ferruginoso, magnetita milimétrica ocorre na composição; (B.1) Ponto K63, Az da foto 50°, afloramento da Fm Barreiro, filito preto.  $L_i$  110/25,  $S_0$  150/31 e  $S_n$  165/40 vAH°,  $L_{cr}$  195/23; (B.2) Ponto K63, granadas na composição da rocha indicadas pelas setas.

### **Formação Taboões**

Foi verificada em campo a ocorrência de uma camada com poucos metros de espessura de ortoquartzito com textura sacaroidal em contato abrupto sobreposto à Formação Cercadinho (Fig. 6.6A) na região NE da área de estudo (perfil FI-1). A litologia foi descrita como pertencente à Formação Taboões. O acamamento apresenta direção NE-SW com mergulho para SE e vorticidade horária em relação à xistosidade (Fig. 6.6B).

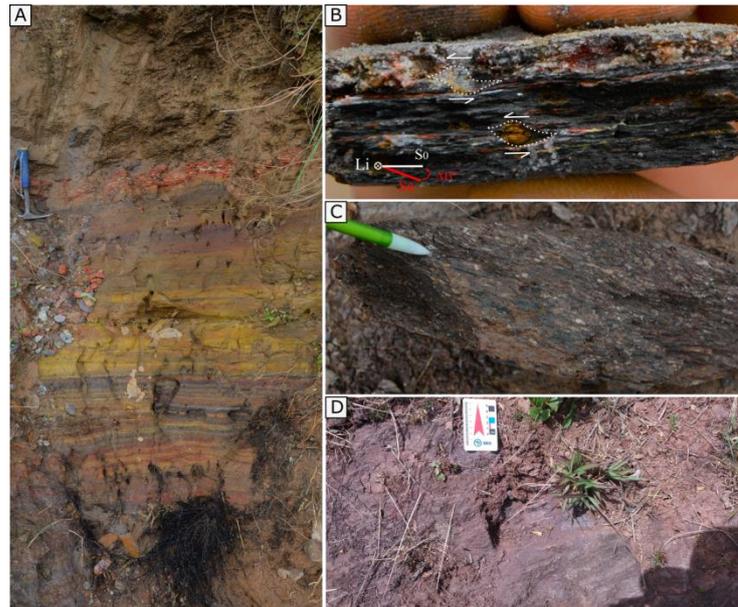


**Figura 6.6:** (A) Ponto K37 az. de visada da foto 30°, a linha pontilhada branca indica o contato abrupto concordante, acima da linha ortoquartzito equigranular com textura sacaroidal da Fm Taboões, abaixo, quartzito bandado da Fm Cercadinho; (B) Ponto K37, amostra de mão da Fm Taboões com a relação entre  $L_i$ ,  $S_0$  e  $S_n$  evidenciando a vorticidade horária ( $vH^\circ$ ).  $L_i$  120/15,  $S_0$  130/20 e  $S_n$  115/18.

### **6.1.2 Grupo Sabará**

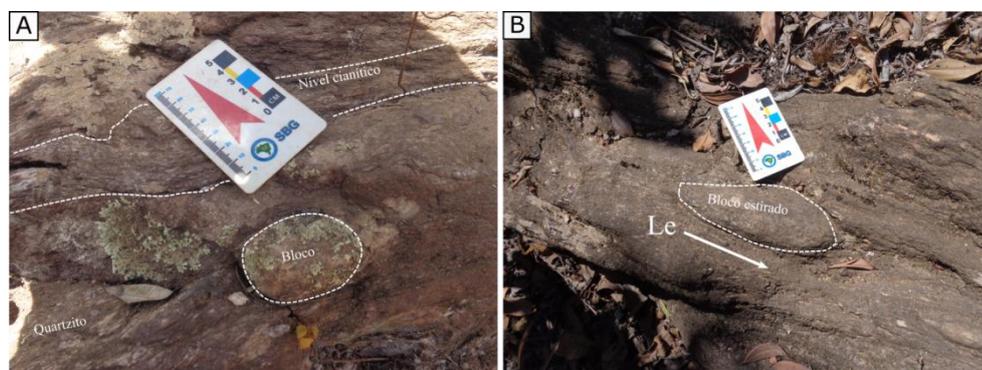
A Formação Saramenha do Grupo Sabará (*e.g.* Almeida *et al.* 2005), aflora amplamente na região mapeada. Ocorre a norte da área sobreposta às rochas do Grupo Piracicaba em contato concordante. Nas demais localidades, ocorre subjacente e em contato tectônico por meio da falha Itacolomi com a unidade Rio Mainart, nomeada neste trabalho.

Os litotipos da Formação Saramenha (Fig. 6.7) mapeados na região de estudo compreendem xistos, filitos e metadiamicritos, sua composição mineralógica é principalmente quartzo, sericita e muscovita, ocorrendo clorita, caulim e outros minerais acessórios como granada e magnetita. Em grande parte os afloramentos estão intemperizados com cores variadas, roxo, ocre, marrom, vermelho, laranja, devido a alteração dos minerais presentes nas rochas. Os metadiamicritos exibem clastos prolatos centimétricos de filito e quartzo caracterizando uma estrutura do tipo L-tectonito.



**Figura 6.7:** A) Ponto K76 do perfil FI-4, afloramento de rocha xistosa com variedade de cores e aspecto intemperizados; B) Ponto K76 do perfil FI-4, amostra de mão de quartzo-mica xisto com  $vAH^{\circ}$  e grãos rotacionados com sombra de pressão; C) Ponto K78 do perfil FI-4, metadiamicitito foliado com grãos estirados e sombra de pressão; D) Ponto K66, afloramento de xisto da Formação Saramenha, devido a suas propriedades litológicas e reológicas a rocha registra múltiplos planos de clivagem.

A Formação Estrada Real (*e.g.* Almeida *et al.* 2005) é correlata ao Grupo Itacolomi, aflora no extremo sul/sudeste da área de estudo na região de Santo Antônio do Salto e foi descrita em apenas um afloramento durante a campanha de mapeamento (Fig. 6.8). Litologicamente, são quartzitos sericíticos esbranquiçados com tons esverdeados, mal selecionados, com granulação variando de silte até areia grossa, com clastos de grânulos a blocos estirados e esparsos. Localmente há a presença de cianita. Estruturalmente, verificou-se que o acamamento mergulha para NE e possui xistosidade oblíqua com vorticidade anti-horária, dobras centimétricas estão presentes, ocorre cisalhamento interstratal com foliação S/C, a lineação de interseção é subparalela à de estiramento mineral e caem para sudeste, os afloramentos apresentam lineação de crenulação com direção N/S.



**Figura 6.8:** Quartzitos da Formação Estrada Real, ponto K62. A) Clasto de granulação bloco, estirado,  $L_c$  100/05, abaixo de nível centimétrico cianítico; B) Bloco estirado e lineação mineral de estiramento  $L_c$  110/08.

### 6.1.3 Grupo Itacolomi

Litologicamente, o Grupo Itacolomi é composto predominantemente por quartzitos sericíticos, sericita-quartzo xistos, metaconglomerados e localmente quartzitos ferruginosos. Os quartzitos apresentam granulação variada, de silte a areia muito grossa, intercalado com metaconglomerado de grânulos, os níveis de metaconglomerado de seixos ocorrem localmente em meio aos quartzitos. Estratificações cruzadas são comuns assim como a granodecrescência ascendente internamente nos sets, embora granocrescência ascendente também ocorra. Os perfis colunares estratigráficos realizados pelo método da trena tiveram o intuito de descrever os litotipos presentes na serra do Itacolomi e, a partir dos conjuntos litológicos estipulados, definir unidades componentes do Grupo Itacolomi. Descrevem-se abaixo os conjuntos litológicos relacionados e os litotipos identificados na cartografia estratigráfica. Os litotipos foram representados gráfica e fotograficamente nos apêndices III e IV.

#### *Conjunto Litológico A*

Caracteriza-se por rochas metapelítica com filitos e xistos com notáveis graus de alteração, apresentando cores variadas: laranja, cinza, verde, bege, os tons arroxeados, avermelhados e amarronzados predominam. A composição geral da rocha abrange os minerais clorita, sericita e quartzo. Em certas localidades observa-se também biotita, feldspatos foram identificados na forma de caulim em pequeno volume. Magnetita euédrica milimétrica ocorre de maneira esparsa compondo o arcabouço da rocha, em certos locais ocorrem granadas e cianitas. O acamamento é plano paralelo, frequentemente observam-se lentes quartzosas de granulação fina e silte em acamamento lenticular e *wavy*.

Macroscopicamente, classificaram-se os litotipos como quartzo-sericita xistos, cianita-quartzo-sericita xistos, quartzo-clorita-sericita xistos, sericita-biotita-quartzo xisto, granada-quartzo-clorita-sericita xistos, filitos prateados, filitos negros e filitos granatíferos.

#### *Conjunto Litológico B*

Observa-se um expressivo aumento de sílica no conteúdo das rochas em relação ao conjunto A, apesar de ainda apresentar relativa contribuição pelítica. É caracterizada pela intercalação de lentes areníticas com lentes lutíticas, percebem-se estruturas de acamamento em *wave-linsing*. Laminação plano-paralela de porte milimétrico a centimétrico marca a variação granulométrica e composicional do conjunto B. São sericita-quartzo xistos, quartzo-sericita xistos e quartzitos finos.

### ***Conjunto Litológico C***

De uma forma geral a composição mineralógica tem o predomínio de quartzo, sericita é abundante, feldspato e óxidos de ferro ocorrem em baixa porcentagem, o primeiro é identificado macroscopicamente pela presença de caulim, o segundo ocorre marcando a base dos estratos ou em grãos subédricos esparsos, de origem metamórfica.

O conjunto C representa quartzitos com seleção pobre a moderada, níveis de granulação predominantemente média a fina intercalam-se com níveis de grãos grossos a muito grossos, os grãos são subarredondados a subangulosos, são comuns estratificações cruzadas acanaladas de pequeno porte, estratificações cruzadas tabulares e plano paralelas também ocorrem. Observam-se níveis de areia fina a silte, com acamamento em estrutura *flaser*. Grânulos ocorrem esparsos no arcabouço da rocha.

### ***Conjunto Litológico D***

O conjunto litológico D é metaconglomerático, com composição mineralógica semelhante ao Conjunto C, a granulação foi fator fundamental para sua diferenciação. Apresenta quartzitos mal selecionados, de matriz areia média a muito grossa, o arcabouço é composto por grânulos e seixos, subarredondados a subangulosos, por vezes ocorrem calhaus. Os clastos são de quartzo, quartzito, quartzito ferruginoso e filito. A concentração dos clastos é variável podendo ser matriz suportado ou clasto suportado. As camadas são de espessura decimétrica a métrica e comumente encontra-se estratificado com cruzadas acanaladas, estratificações tabulares e plano paralelas também estão presentes. De uma forma geral a maturidade textural é baixa e, quando intemperizada, a presença dos clastos dá um aspecto rugoso à rocha.

### ***Conjunto Litológico E***

Assemelha-se descritivamente ao conjunto B, sendo uma zona de gradação que apresenta um enriquecimento progressivo em silte e argila e redução da fração areia, tanto na vertical como na horizontal, em contato interdigitado. Litologicamente, são sericita-quartzo xistos, quartzo-sericita xistos e quartzitos finos de granulação silte a areia média. Ocorrem intercalações plano paralelas de lentes lutíticas com psamíticas. Estruturas em *wave-linsing* são observadas.

### ***Conjunto Litológico F***

Apresenta a maior espessura do levantamento e caracteriza-se por quartzitos sericíticos finos a médios, com predomínio dos últimos, de seleção predominantemente moderada, os grãos são arredondados a subangulosos, ocorrem estratos cruzados acanalados de pequeno e médio porte, com superfícies de reativação no topo dos estratos cruzados e *mud drapes*. Observa-se festons de acordo com o corte do afloramento, em certos locais possuem geometria sigmoidal. Truncamentos ocorrem de

forma expressiva e variada. A hematita marca a base e as estruturas internas dos estratos. Estratificações plano paralelas e cruzadas tabulares também ocorrem. São comuns lentes lutíticas em meio ao quartzito em acamamento *flaser*.

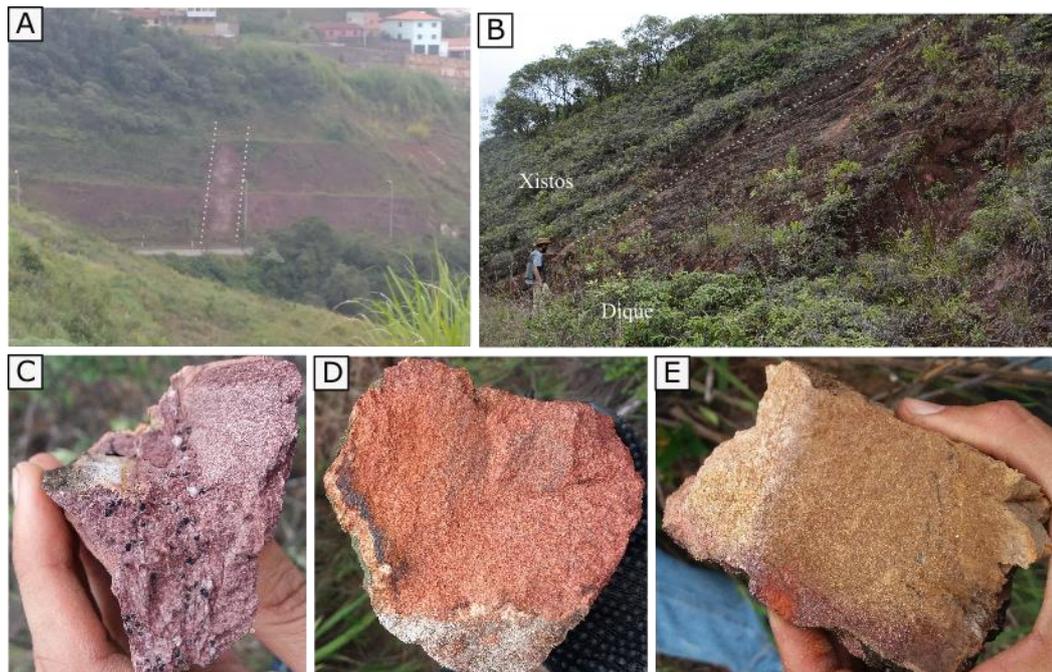
A figura abaixo ilustra a variedade dos estratos truncados encontrados nestes litotipos.



**Figura 6.9:** Estratos cruzados de pequeno porte exibindo truncamentos.

#### 6.1.4 Rochas Intrusivas

Um dique máfico de direção NW-SE corta a serra do Itacolomi. Silva *et al.* (1995) datou dique máficos de direção NW-SE no QFe e obteve idades em torno de 1,75 Ga (U/Pbadeleíta -Ibirité Gabbro e K-ArRT -xistos). O dique nem sempre é aflorante, mas a continuidade e persistência do lineamento sugere sua continuação em subsuperfície. O dique se encontra bastante intemperizado (Fig. 6.10). Devido a diferença de resistência à erosão entre o quartzito e o dique máfico observa-se em alguns locais do lineamento que contém o dique que o mesmo foi erodido e o local preenchido por vegetação.



**Figura 6.10:** Imagens dos afloramentos e amostras de mão do dique máfico. (A), (B) e (C) ponto K82; (D) e (E) ponto L40.

## 6.2 Relações Estratigráficas

Este subcapítulo descreve as relações de contato dos perfis realizados ao longo da porção norte da área de estudo, bem como, as relações estratigráficas entre as unidades descritas anteriormente através da análise dos perfis colunares (Apêndices III e IV) produzidos, das relações de contato entre estas unidades e suas relações de vorticidade.

### 6.2.1 Perfis estratigráficos no norte da área de estudo

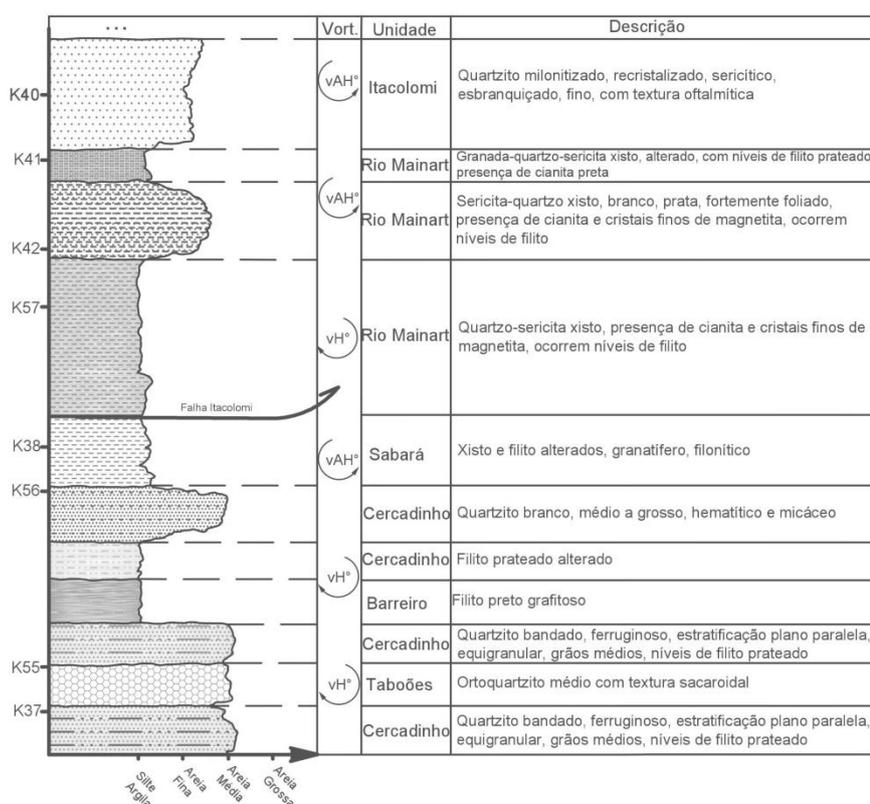
A fim de estabelecer as relações de contato entre as unidades e precisar os limites da falha Itacolomi (Subcapítulo 7.11), perfis foram realizados no setor norte da área de estudo. As figuras abaixo mostram o empilhamento das litologias de cada caminhamento com a relação de vorticidade mapeada. Os perfis FI-1, FI-2, FI-3, FI-4 e FI-5 estão dispostos de NE para NW, da região de Passagem de Mariana ao SEMAE (Serviço Municipal de Água e Esgoto de Ouro Preto) na região de Saramenha de Ouro Preto. Os caminhamentos foram prioritariamente de N para S. A descrição litológica das unidades mapeadas foi contemplada no item 6.1. Aqui pretende-se descrever as relações de contato e de vorticidade.

#### *Perfil FI-1*

O perfil FI-1 (Fig. 6.11) foi concebido na região de Passagem de Mariana, setor NE da área de estudo. Na base do perfil foram mapeadas rochas do Grupo Piracicaba, suas formações ocorrem em níveis descontínuos de espessura métrica, a Formação Cercadinho encontra-se em contato concordante com o Grupo Sabará, portanto haveria apenas uma discordância temporal. Durante o caminhamento

percebeu-se uma mudança nas relações geométricas entre o acamamento e a xistosidade, a relação de vorticidade horária (vH°), presente desde o início do perfil, é substituída pela relação anti-horária (vAH°) que permanece na sequência do perfil, percebe-se ainda uma zona de transição onde foi possível medir a atitude das relações de ambas as vorticidades. O contato dos xistos e filitos acima da falha é concordante com os quartzitos do Grupo Itacolomi.

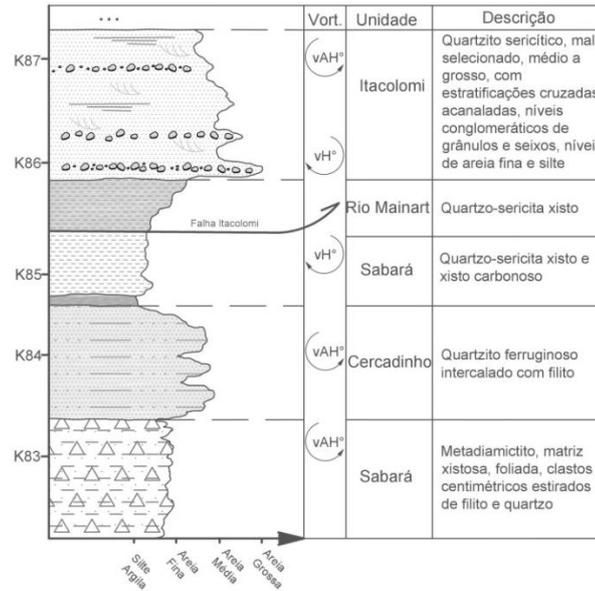
O controle da vorticidade entre os elementos estruturais (acamamento, xistosidade e foliação SC) permitiu estabelecer o limite entre dois blocos estruturais e um contato tectônico pela falha Itacolomi, que secciona o Grupo Sabará.



**Figura 6.11:** Perfil FI-1 no setor NE da área de estudo, com a descrição do empilhamento litológico e as relações de vorticidade dos elementos estruturais.

### *Perfil FI-2*

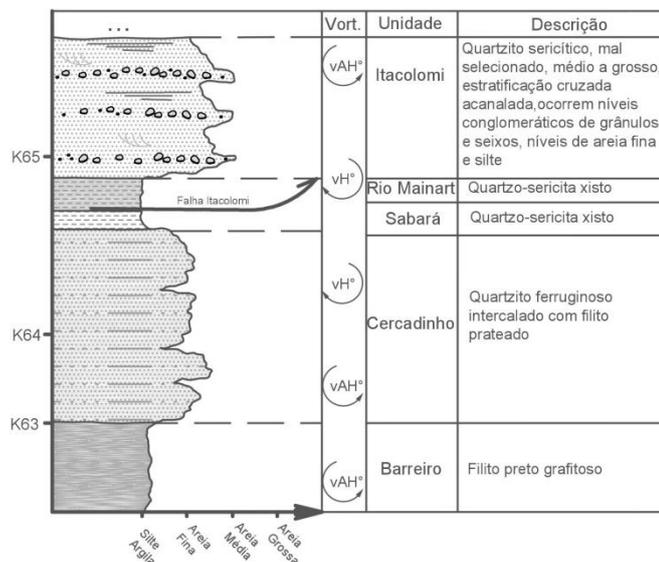
O perfil FI-2 (Fig. 6.12) foi realizado na porção NNE da área de estudo. As litologias encontradas no caminhamento foram as dos grupos Piracicaba, Sabará e Itacolomi. O contato entre as unidades é concordante. A vorticidade da relação entre o acamamento e a xistosidade é predominantemente anti-horária. Nos xistos intermediários do perfil, foi possível observar uma segunda xistosidade com vorticidade horária, caracterizando uma zona tectônica com deformação mais intensa e a zona de influência da falha Itacolomi.



**Figura 6.12:** Perfil FI-2 no setor NNE da área de estudo, com a descrição do empilhamento litológico e as relações de vorticidade dos elementos estruturais.

### Perfil FI-3

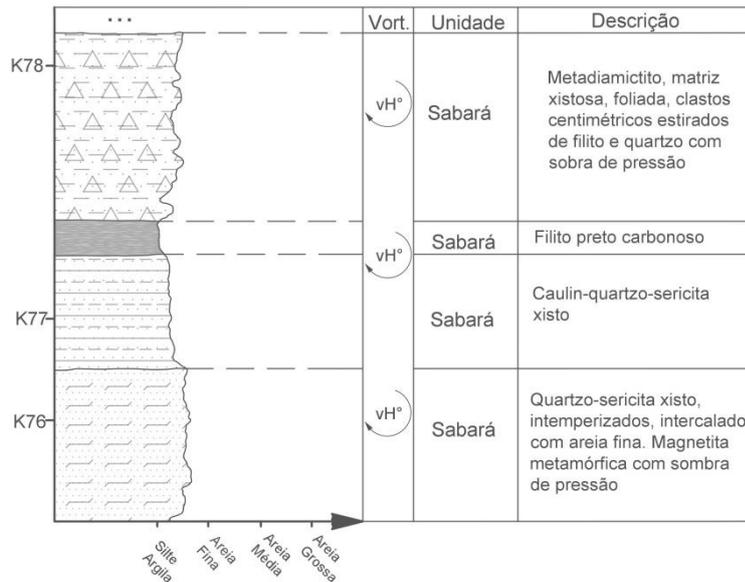
O perfil FI-3 (Fig. 6.13) foi executado a norte da região de estudo. As litologias mapeadas foram as dos grupos Piracicaba, Sabará e Itacolomi. O contato entre as litologias foi caracterizado como concordantes. As unidades do Grupo Piracicaba encontram-se em sequência invertida, a Formação Cercadinho sobrepõe a Formação Barreiro e a vorticidade identificada é anti-horária. Verificou-se uma zona com uma segunda xistosidade com relação de vorticidade horária, que se estendeu do topo da Fm Cercadinho à base dos quartzitos Itacolomi. Definiu-se, assim, a zona de influência da falha e o contato tectônico que secciona os xistos sotopostos aos quartzitos no topo do perfil.



**Figura 6.13:** Perfil FI-3 no setor N da área de estudo, com a descrição do empilhamento litológico e as relações de vorticidade dos elementos estruturais.

**Perfil FI-4**

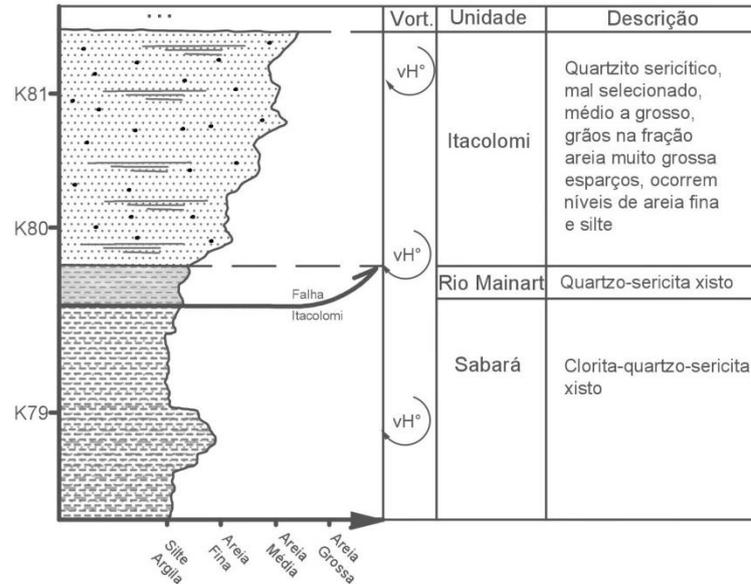
O perfil FI-4 (Fig. 6.14) foi realizado na porção NNW e englobou litologias do Grupo Sabará. As relações de vorticidade horária permaneceram constantes ao longo deste perfil, a relação  $vH^\circ$  é característica do bloco da lapa da falha Itacolomi, portanto, a falha não foi contemplada nesse caminamento, não obstante, os cisalhamentos identificados nas rochas indicam que a zona de interferência da falha possui influência nesse setor.



**Figura 6.14:** Perfil FI-4 no setor NNW da área de estudo, com a descrição do empilhamento litológico e as relações de vorticidade dos elementos estruturais.

**Perfil FI-5**

O perfil FI-5 (Fig. 6.15) foi executado a NW da área de estudo, nas imediações do SEMAE. As rochas mapeadas foram dos Grupos Sabará e Itacolomi. Caracterizaram-se como horária as relações de vorticidade, correspondentes à lapa da falha Itacolomi.



**Figura 6.15:** Perfil FI-5 no setor NW da área de estudo, com a descrição do empilhamento litológico e as relações de vorticidade dos elementos estruturais.

### 6.2.2 Perfil Colunar Estratigráfico L

O levantamento estratigráfico L (Apêndice III) foi realizado no bloco da lapa da falha Itacolomi (Subcapítulo 7.11), as camadas nesse setor possuem direção NW-SE com mergulho para NE (atitude com máximo de densidade N42°W/27°NE - Fig. 7.3), portanto, o levantamento foi concebido na direção SW-NE. O levantamento se iniciou nos xistos basais da serra do Itacolomi e seguiu-se para NE indo terminar quando as camadas passaram a mergulhar para SE, adentrando o flanco norte do sinforme Itacolomi (inserido no sinclinal Dom Bosco) onde as camadas passariam a se repetir. A metragem levantada nesse setor foi de 1985m e a espessura real obtida foi de 485m.

Dos litotipos descritos nos itens 6.1.2 e 6.1.3 o perfil-L englobou os conjuntos litológicos A, B, C e D. O controle das relações estruturais entre o acamamento, xistosidade e a lineação de interseção demonstrou a vorticidade horária como sendo característica ao bloco da lapa da falha do Itacolomi, as estruturas geopetais indicaram sucessão estratigráfica normal.

O conjunto A é o de granulação mais fina desse levantamento, o aumento progressivo do teor de silte e areia caracteriza o conjunto B, sendo esta uma zona de transição granulométrica e composicional para o conjunto C. Portanto o contato entre os xistos basais do conjunto A para os quartzitos sobrejacentes do conjunto C é gradacional. O conjunto C, de maior espessura no perfil-L, intercala-se com o conjunto D, sendo que este ocorre em níveis decimétricos a métricos em meio ao conjunto C, marcando pulsos de deposição de maior energia. A transição do conjunto A para o C, conjunto B, representa uma regressão com progradação dos sedimentos arenosos dos conjuntos C e D sobre os pelíticos do conjunto A. O perfil colunar L se encerra ao adentrar o flanco norte do sinforme Itacolomi, onde as camadas passariam a se repetir, limitando assim a continuidade do levantamento. O bloco rochoso onde esse levantamento foi realizado é ainda, parcialmente delimitado pela

descontinuidade tectônica nomeada de falha Itacolomi, o que impossibilita a descrição da seção completa dessa unidade.

### **6.2.3 Perfil Colunar Estratigráfico B**

O levantamento estratigráfico B (Apêndice IV) foi realizado no bloco da capa da falha Itacolomi (Subcapítulo 7.11), as camadas nesse setor possuem direção NNE-SSW com mergulho para ESE (atitude com máximo de densidade N15°E/22°SE - Fig. 7.4), sendo assim, o levantamento foi concebido na direção E-W. O levantamento se iniciou no km 02 da trilha Manso-Pico, nos xistos basais e seguiu-se para E, o levantamento se encerra após o contato dos quartzitos com os xistos a leste da área. O perfil-B contemplou os conjuntos litológicos A, B, C, D, E e F descritos no item 6.1.3. A metragem levantada nesse setor foi de 8578m e a espessura real obtida foi de 2420m.

As relações estratigráficas (A-B, B-C e C-D) descritas no perfil-L são semelhantes no perfil-B. Porém há uma peculiaridade em relação ao conjunto A. Neste levantamento observou-se que o conjunto A é seccionado pela falha Itacolomi caracterizando um contato tectônico de justaposição de duas unidades distintas, porém com características descritivas semelhantes. Portanto o levantamento se iniciou na lapa, com vorticidade horária entre as estruturas mapeadas e, a partir da falha Itacolomi, a vorticidade anti-horária passa a se manifestar, caracterizando a relação estrutural ao longo do perfil-B. A sucessão estratigráfica é normal em todo o levantamento, não foi identificadas estruturas geopetais invertidas.

Então, o empilhamento se inicia no conjunto litológico A, passa para o conjunto transicional B, caracterizada pelo aumento granulométrico na composição da rocha evidenciando o caráter gradacional com o conjunto C, que se intercala com o conjunto D. O conjunto B, transição do conjunto A para o C, evidencia uma regressão com progradação dos sedimentos arenosos do conjunto C e D sobre os pelíticos do conjunto A. O conjunto B se repete no topo do conjunto C e marca uma superfície de inundação que grada do conjunto C para o B e na sequência para o conjunto A, também em contato gradacional, representando uma transgressão com retrogradação dos sedimentos metapsamíticos, encerrando o primeiro ciclo de regressão-transgressão do levantamento B.

O conjunto E, assim como o conjunto B tem o caráter de transição, ocorre na base e no topo do conjunto F. Na base, marca uma regressão com progradação do conjunto F sobre o A, no topo, uma superfície de inundação de uma transgressão com retrogradação, fechando o segundo ciclo regressivo-transgressivo. Esse conjunto litológico encerra o levantamento a leste da área de estudo.

## **6.3 As Unidades Estratigráficas que Compõem o Grupo Itacolomi**

Propõe-se nesse subcapítulo uma constituição do Grupo Itacolomi em unidades baseadas nas descrições dos litotipos, das suas associações e das relações dos contatos transicionais e tectônicos. As

definições seguiram a nomenclatura do Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica (Petri *et al.* 1986).

O conjunto A foi denominada neste trabalho de unidade Rio Mainart, devido ao rio que corta essa unidade a sul da serra do Itacolomi. Encontra-se limitado na base por uma descontinuidade tectônica, sobreposta à Formação Saramenha do Grupo Sabará, sendo este o motivo de sua diferenciação, logo, apresenta características descritivas semelhantes à Formação Saramenha, sendo possivelmente cronocorrelata da mesma. A falha Itacolomi representa uma descontinuidade regional devido a sua extensão e, segundo o parágrafo quarto (§4º) do artigo B.2 do Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica (Petri *et al.* 1986), em casos como este, deve-se definir unidades diferentes mesmo que haja pequenas diferenças litológicas. A unidade Rio Mainart foi descrita em diferentes posicionamentos estratigráficos. Ela se interconecta lateralmente, envolvendo as unidades quartzíticas da capa da falha do Itacolomi, em contato interdigitado. As repetições de um mesmo litotipo em níveis diferentes de uma dada seção podem indicar que houve oscilações nas condições deposicionais.

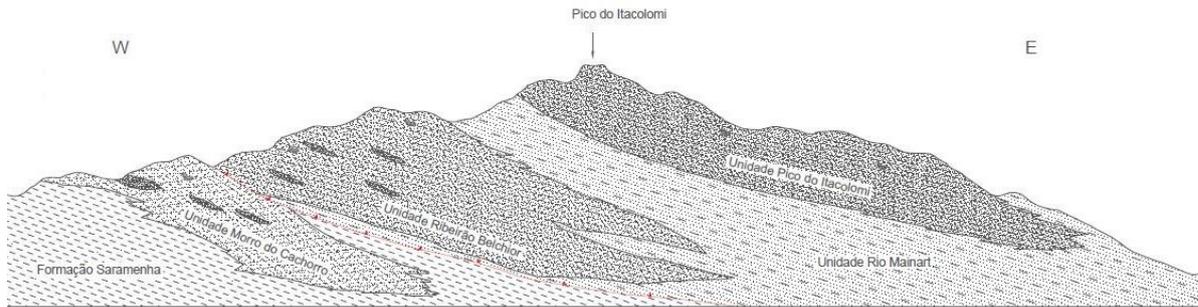
O conjunto litológico B, transicional entre os conjuntos A e C, não possui espessura suficiente para caracterizar uma unidade na escala do mapa (1:10.000), contudo, ela representa um critério prático para estabelecer os limites e definir o contato no nível da mudança litológica - §1º e §5º do artigo B.2 do Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica (Petri *et al.* 1986). O conjunto E se encaixa no mesmo caso, representa a transição entre os conjuntos A-F e F-A na base e no topo, respectivamente, do segundo ciclo regressivo-transgressivo do levantamento PCE-B.

Não foi possível separar os conjuntos litológicos C e D na escala 1:10.000 do mapa, pois os mesmos ocorrem associados, portanto eles foram agrupados na unidade nomeada de Morro do Cachorro e na unidade Ribeirão Belchior. Ambas unidades apresentam intercalações dos conjuntos C e D, contudo elas se encontram em contato tectônico pela falha Itacolomi, logo, foram separadas pelos mesmos motivos no qual o conjunto A foi diferenciado da Formação Saramenha. É possível que essas unidades sejam correlacionadas, embora não foi possível estabelecer essa correlação estratigráfica.

O conjunto F foi designado de unidade Pico Itacolomi, representa a maior espessura do levantamento, tem relações de contato transicionais interdigitado lateralmente, na base e no topo com a unidade Rio Mainart.

Os perfis colunares estratigráficos identificaram dois ciclos regressivos-transgressivos, segundo Reineck & Singh (1980), Walker (1992) e Mendes (1984), esses ciclos se dão pela progradação arenosa sobre o material silteco/argiloso numa sucessão com padrão granocrescente, ou seja, com diminuição da argilosidade para cima (transições da base de cada ciclo entre os conjuntos litológicos A-B-C e A-E-F). Posteriormente na sucessão ocorre o inverso, com transições transgressivas, registrando a retrogradação dos sedimentos arenosos (transições do topo de cada ciclo,





**Figura 6.17:** Perfil esquemático W-E do levantamento estratigráfico B, com a alocação da falha Itacolomi, representada pela linha vermelha dentilhada. Os festões foram representados para indicar o topo pra cima das estruturas sedimentares geopetais em sequência normal.



# CAPÍTULO 7

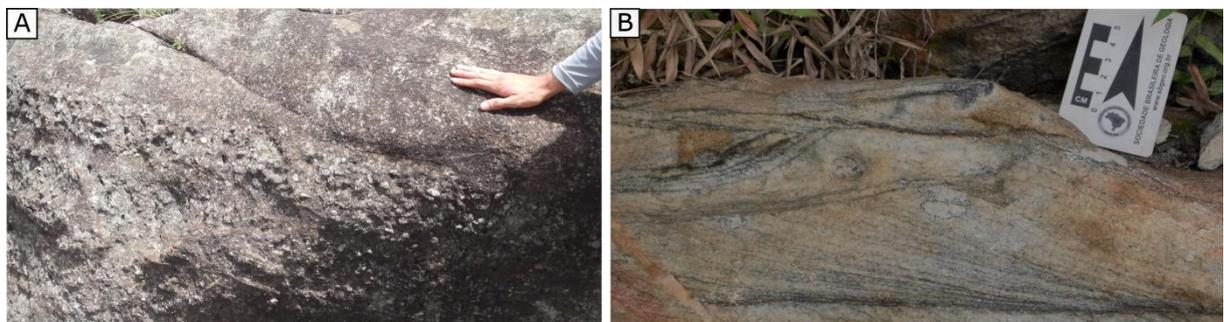
## ARCABOUÇO ESTRUTURAL

Pretende-se neste capítulo descrever os principais elementos estruturais identificados em campo e na análise de imagens aéreas, SRTM e geofísicas. Os dados foram obtidos tanto pelo mapeamento quanto pelos levantamentos estratigráficos.

O acamamento sedimentar ( $S_0$ ) foi o elemento mais medido em campo, sua configuração em relação a xistosidade ( $S_n$ ) permitiu identificar dobramentos e as posições estruturais ao longo da dobra. A xistosidade é penetrativa, plano axial de dobras e se apresenta sempre oblíqua ao  $S_0$ . As lineações se manifestam de maneiras distintas tais como eixos de dobramentos, alinhamento de cristas em planos de acamamento (lineação de interseção- $L_i$ ), em grãos alongados de tamanhos diversos (lineação de estiramento- $L_e$ ), na orientação preferencial de pequenos minerais (lineação mineral- $L_m$ ) ou no eixo de microdobramentos nos planos de xistosidade (lineação de crenulação- $L_c$ ). As lineações de interseção, de estiramento e a mineral são constantes quanto ao rumo e caimento, apresentam um paralelismo em torno de ESE (120/20). Diferenças nas relações de vorticidade foram fundamentais para delimitar diferentes domínios estruturais (Fig. 2.4) e alocar estruturas como a falha Itacolomi.

### 7.1 ACAMAMENTO

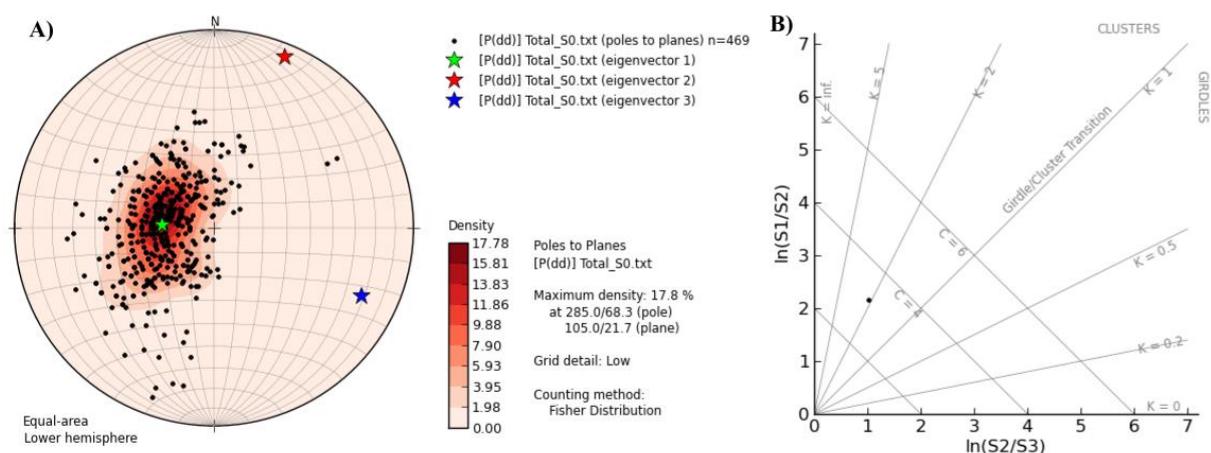
O acamamento (Fig. 7.1) é identificado por suas estruturas sedimentares como estratificações plano paralelas, cruzadas acanaladas e tabulares, granodecrescência ascendente para o topo dos sets e variação granulométrica em níveis intercalados. As estratificações cruzadas são comuns, são principalmente de pequeno porte, porém de médio porte também são encontradas. Frequentemente minerais opacos marcam a base e as lâminas internas das estratificações cruzadas. As estruturas sedimentares descritas são critérios geopetais e durante todo o mapeamento as estruturas indicaram topo pra cima em seqüência estratigráfica normal.



**Figura 7.1:** A) Variação granulométrica com nível metaconglomerático abaixo de nível quartzítico marcando o acamamento; B) Estratificação cruzada acanalada, critério geopetal, com trilhas de óxido de ferro marcando a base e as estruturas internas da estratificação, truncamentos são evidentes.

O acamamento sedimentar  $S_0$  ( $n=469$ ) possui máximo de densidade (17,8%) em 105/22 (Fig. 7.2A), os mergulhos das camadas predominam para E. Os autovetores (eigenvector –  $e_1$ ,  $e_2$  e  $e_3$ )

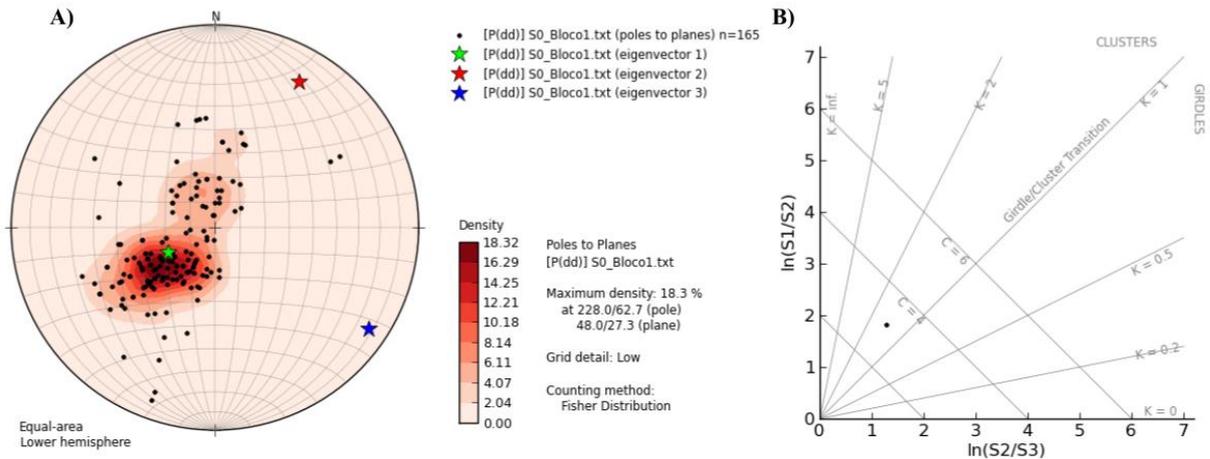
apresentam valores  $e_1$ : 272/68,  $e_2$ : 22/07 e  $e_3$ : 115/20. A configuração de  $S_0$  demonstra padrão de distribuição axial quando plotado no diagrama de Woodcock, com  $K=2,13$  e  $C=3,17$  (Fig. 7.2B).



**Figura 7.2:** A) Estereograma com todas as medidas de acamamento realizadas durante os campos; B) Diagrama de Woodcock referente ao acamamento sedimentar.

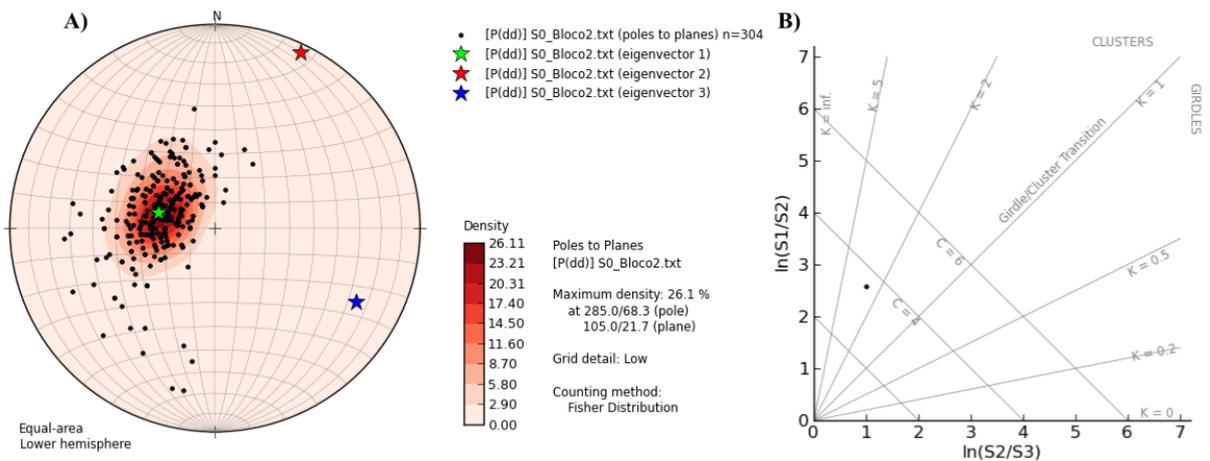
Durante o mapeamento foi possível identificar blocos com características estruturais distintas. Verificou-se que o domínio da serra do Itacolomi, como um todo, encontra-se segmentado por uma estrutura significativa descrita no subcapítulo 7.11, a falha Itacolomi. Em relação ao acamamento, o bloco da lapa da falha possui acamamento com mergulho preferencial para NE. Já o bloco da capa da falha apresenta mergulhos predominantemente para ESE.

No domínio 1, o acamamento sedimentar  $S_0$  ( $n=165$ ) possui máximo de densidade (18,3%) em 48/27 (Fig. 7.3A), mergulho das camadas predominam para NE. Os autovetores (eigenvector –  $e_1$ ,  $e_2$  e  $e_3$ ) apresentam valores  $e_1$ : 241/69,  $e_2$ : 30/18 e  $e_3$ : 123/10. A configuração de  $S_0$  demonstra padrão de distribuição axial quando plotado no diagrama de Woodcock, com  $K=1,43$  e  $C=3,09$  (Fig. 7.3B). As medidas com mergulho para SE foram obtidas a norte do domínio 1, no flanco norte do sinforme Itacolomi, inserido no contexto do sinclinal Dom Bosco.



**Figura 7.3:** A) Estereograma com as medidas de acamamento realizadas no domínio 1, lapa da falha Itacolomi; B) Diagrama de Woodcock referente ao acamamento sedimentar do domínio 1.

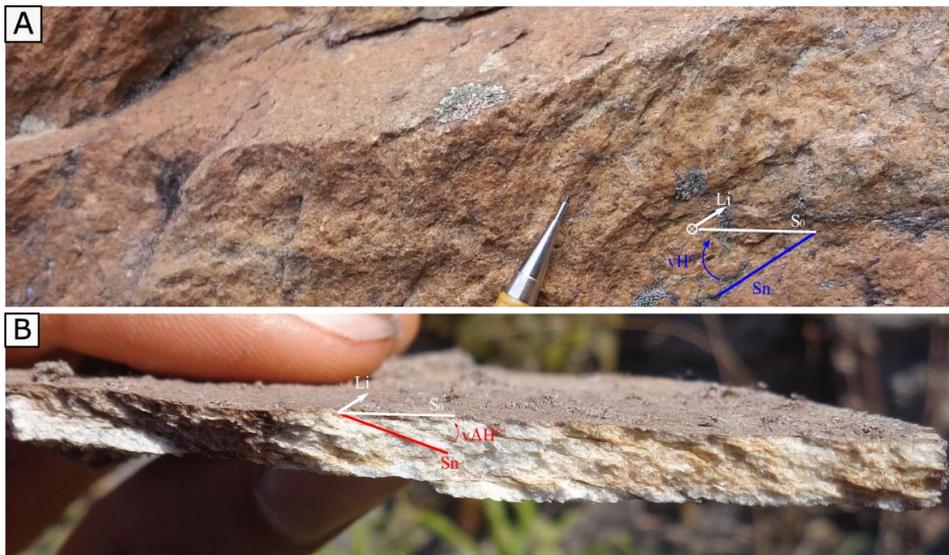
No domínio 2, o acamamento sedimentar  $S_0$  (n=304) possui máximo de densidade (26,1%) em 105/22 (Fig. 7.4A), mergulhando prioritariamente para ESE. Os autovetores (eigenvector – e1, e2 e e3) apresentam valores e1:285/66, e2: 26/5 e e3: 118/23. A configuração de  $S_0$  demonstra padrão de distribuição axial quando plotado no diagrama de Woodcock, com K 2,57 e C=3,58 (Fig. 7.4B).



**Figura 7.4:** A) Estereograma com as medidas de acamamento realizadas no domínio 2, capa da falha Itacolomi; B) Diagrama de Woodcock referente ao acamamento sedimentar do domínio 2.

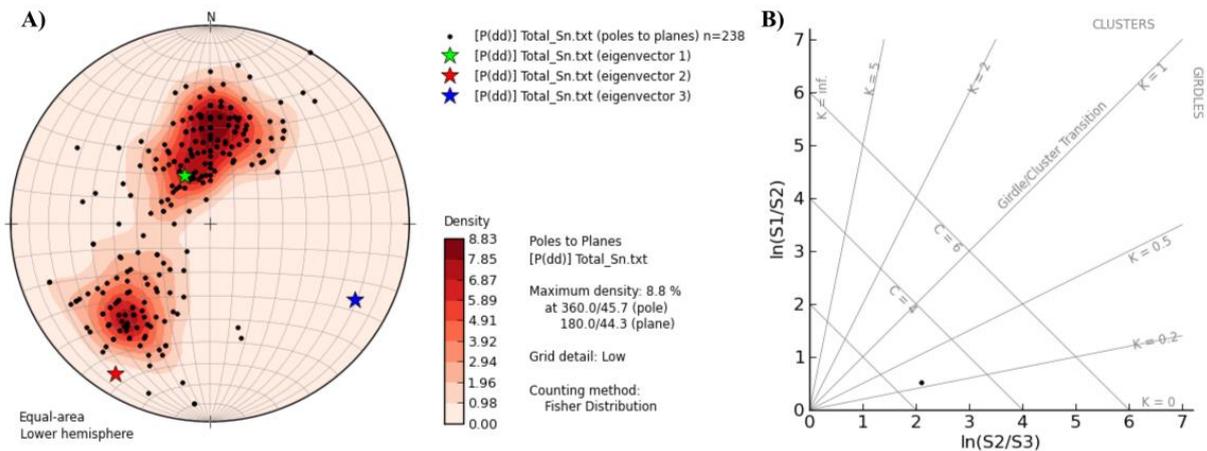
## 7.2 XISTOSIDADE

A xistosidade (Fig. 7.5) é identificada pelos planos de filossilicatos formados principalmente pela sericita, ocorre essencialmente oblíqua ao acamamento variando em ângulos baixos a quase perpendicularidade em alguns pontos. Em certas localidades apresenta-se perturbada, anastomosada, em outras regiões foram identificadas mais de uma xistosidade por razões a serem discutidas durante esse capítulo, mas que representam diferentes fases de deformação.



**Figura 7.5:** Xistosidade oblíqua ao acamamento. A) Ponto K68 Az<sup>o</sup> da foto160°, relação de vorticidade de S<sub>0</sub> e S<sub>n</sub> vAH°; B) Ponto K43, amostra de mão com a relação de vorticidade entre S<sub>0</sub> e S<sub>n</sub>. L<sub>i</sub> 125/20, S<sub>0</sub> 125/25, S<sub>n</sub> 135/20, vAH°.

A xistosidade S<sub>n</sub> (n=238) possui um máximo de densidade (8,8%) em 180/44 (Fig. 7.6A), com mergulho dominante para S e uma segunda concentração de pólos com mergulhos para NE. Os autovetores (eigenvector – e1, e2 e e3) apresentam valores e1: 332/68, e2: 212/12 e e3: 118/19. A configuração de S<sub>n</sub> demonstra padrão de distribuição em guirlanda quando plotado no diagrama de Woodcock, com K=0,25 e C=2,60 (Fig. 7.6B).

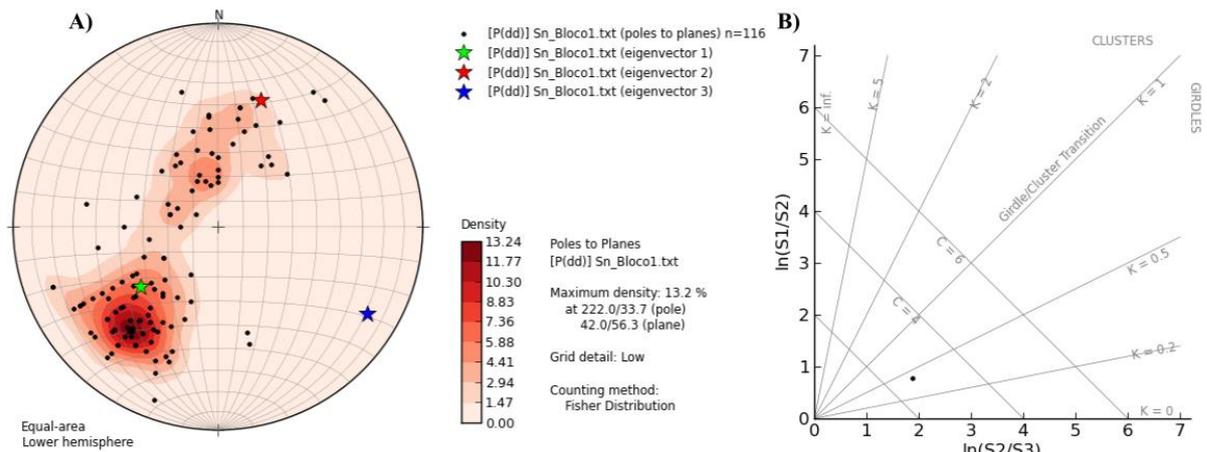


**Figura 7.6:** A) Estereograma com todas as medidas de xistosidade realizadas durante o campo; B) Diagrama de Woodcock referente as medidas de xistosidade.

O padrão de distribuição em guirlanda é observado, nesse caso, devido a eventos deformacionais posteriores a geração dessa xistosidade (ver itens 7.7, 7.11 e 7.12). Percebe-se a ocorrência da xistosidade com vorticidades opostas em relação ao acamamento, características de posicionamento estrutural em diferentes flancos de um dobramento. O bloco da lapa apresenta plano de xistosidade com mergulhos preferencialmente para NE com relação de vorticidade horária (vH°)

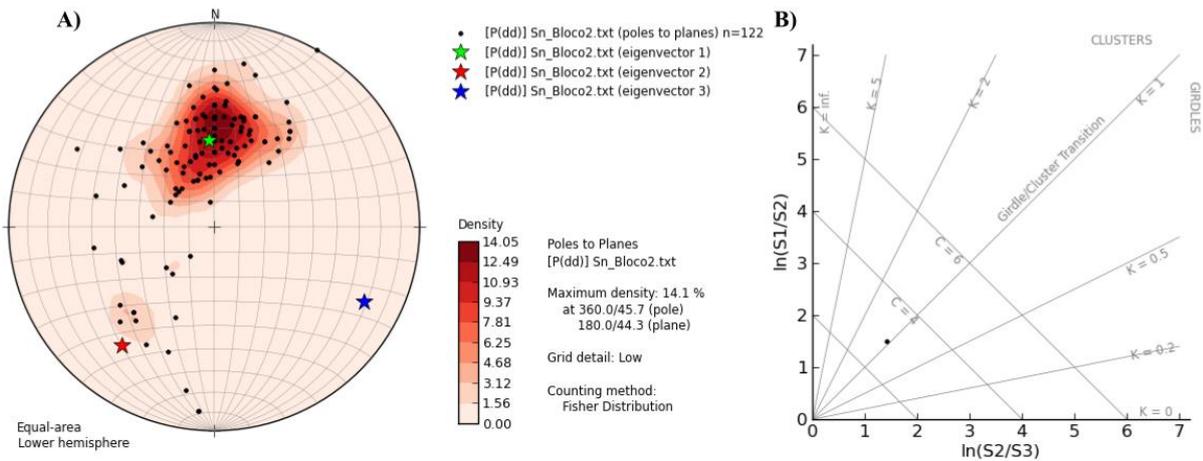
com o acamamento, já o bloco da capa apresenta xistosidade com mergulhos para S e relação de vorticidade anti-horária ( $vAH^\circ$ ) com o acamamento. No bloco da capa, a vorticidade anti-horária ( $vAH^\circ$ ) é característica e portanto associada ao arcabouço desse domínio. A vorticidade horária ( $vH^\circ$ ) presente nesse domínio ocorre localmente e está ligada à movimentação entre os dois blocos geológicos que criaram uma descontinuidade topológica nas rochas do Grupo Itacolomi, essa descontinuidade foi chamada de falha Itacolomi e justifica a discriminação entre os domínios estruturais 1 e 2.

Abaixo o estereograma do domínio 1, lapa da falha, a xistosidade Sn ( $n=116$ ) possui um máximo de densidade (13,2%) em 42/56 (Fig. 7.7A), com mergulho dominante para NE. Os autovetores (eigenvector – e1, e2 e e3) apresentam valores e1: 232/50, e2: 18/35 e e3: 120/17. A configuração de Sn demonstra padrão de distribuição em guirlanda quando plotado no diagrama de Woodcock, com  $K=0,42$  e  $C=2,67$  (Fig. 7.7B). Na região norte do domínio 1, a nucleação do sinclinal Dom Bosco rotacionou a xistosidade que passa a apresentar mergulhos para S, porém, a vorticidade continua sendo horária.



**Figura 7.7:** A) Estereograma apresentando a xistosidade do domínio 1; B) Diagrama de Woodcock referente a xistosidade do domínio 1.

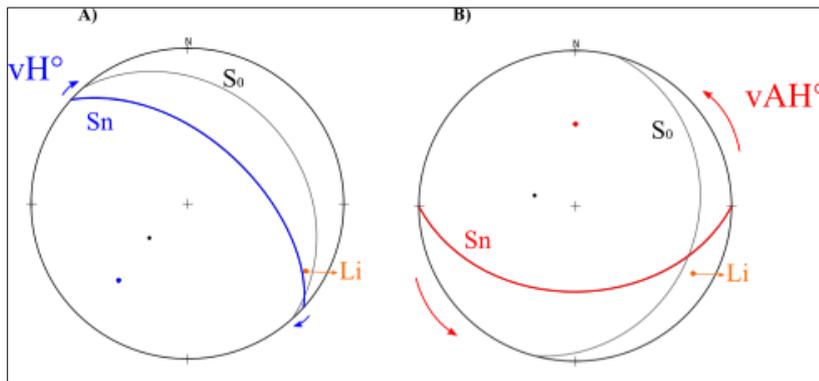
No Domínio 2, a xistosidade Sn ( $n=122$ ) possui um máximo de densidade (14,1%) em 195/44 (Fig. 7.8A), com mergulho dominante para S/SSW. Os autovetores (eigenvector – e1, e2 e e3) apresentam valores e1: 356/55, e2: 218/28 e e3: 117/20. A configuração de Sn demonstra padrão de distribuição em guirlanda quando plotado no diagrama de Woodcock, com  $K=1,07$  e  $C=2,92$  (Fig. 7.8B). O padrão de distribuição em guirlanda acontece, pois, nas proximidades da falha ocorre sua zona de interferência, portanto, ao adentrar o domínio 2 de  $vAH^\circ$  ainda observa-se a xistosidade gerada pela cinemática horária da falha Itacolomi. Esta xistosidade  $vAH^\circ$  do domínio 2 também foi rotacionada pelo efeito da nucleação do sinclinal Dom Bosco/sinforme Itacolomi.



**Figura 7.8:** A) Estereograma apresentando a xistosidade do domínio 2; B) Diagrama de Woodcock referente a xistosidade do domínio 2.

### 7.3 RELAÇÕES DE VORTICIDADE

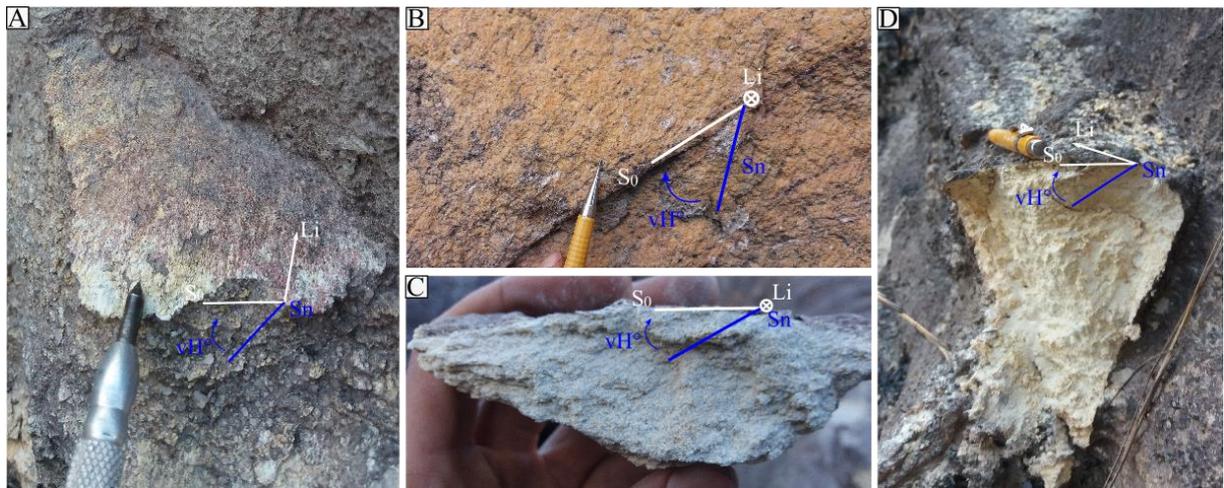
Os estereogramas possibilitaram obter os máximos de concentração para os elementos estruturais: acamamento (item 7.1), xistosidade (item 7.2) e lineação de interseção (item 7.4), subparalela a lineação mineral e de estiramento (item 7.5), caracterizando-as como lineações do tipo “b”. Ao analisar os autovetores percebe-se a paralelismo entre as atitudes dos autovetores 3 (e3) entre os estereogramas de  $S_0$  e  $S_n$  com valores próximos a concentração de  $L_i$ . Foram analisadas, então, as vorticidades individualmente, para a lapa e capa (Figs. 7.9A e 7.9B). As figuras 7.10, 7.11 e 7.12 ilustram as relações de vorticidade encontradas em campo para os dois blocos.



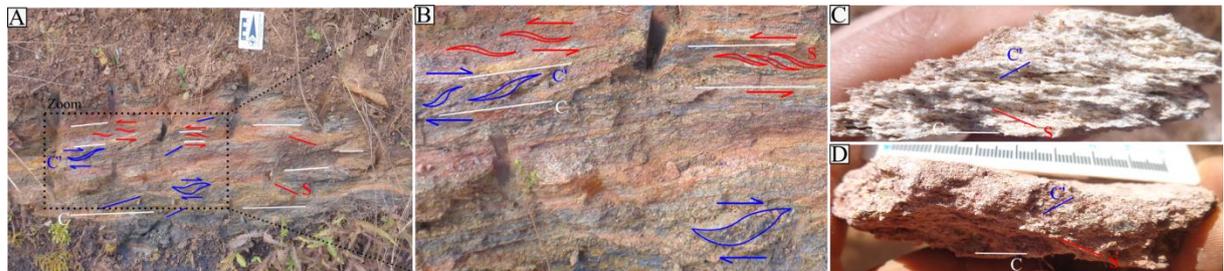
**Figura 7.9:** Análise de vorticidade a partir dos máximos de densidade dos estereogramas de lineação de interseção ( $L_i$ ), acamamento ( $S_0$ ) e xistosidade ( $S_n$ ). A)  $S_0$  e  $S_n$  do bloco 1, lapa da falha Itacolomi, com vorticidade horária; B)  $S_0$  e  $S_n$  do bloco 2, capa da falha Itacolomi, com vorticidade anti-horária.



**Figura 7.10:** Vorticidade anti-horária. A) Ponto K20, az. de visada da foto 120°,  $S_0$  95/26,  $S_n$  193/46 e  $L_i$  115/15; B) Ponto K12, az. de visada 84°,  $S_0$  60/25,  $S_n$  40/15,  $L_i$  84/16,  $L_c$  354/16 e  $S_{n+1}$  69/40; C) Ponto K03, az. de visada 115°,  $L_i/L_m$  115/13,  $S_0$  180/24 e  $S_n$  195/42; D) Ponto K21, az. de visada 305°,  $L_i$  125/15,  $S_0$  150/15 e  $S_n$  210/40, visada contra o caimento da  $L_i$ .



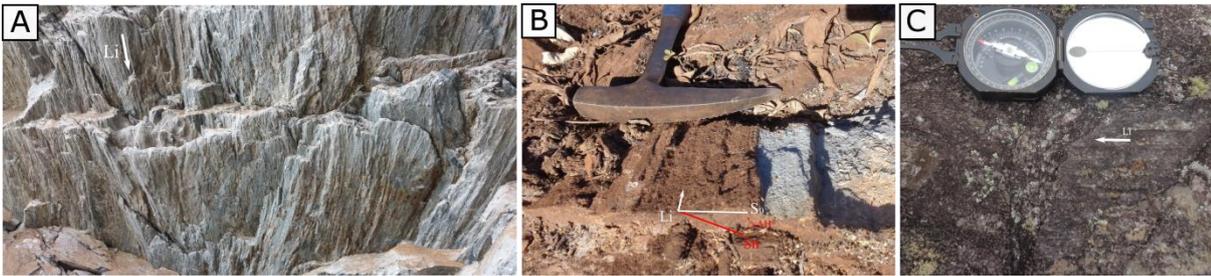
**Figura 7.11:** Vorticidade horária. A) Ponto K74, az. de visada da foto 110°,  $L_i$  110/20,  $S_0$  051/35 e  $S_n$  035/60; B) Ponto K67, az. de visada 110°,  $S_0$  80/30 e  $S_n$  30/45; C) Ponto L06,  $S_0$  51/35,  $S_n$  35/60 e  $L_i$  110/20; D) Ponto K75 az. de visada 100°,  $L_i$  095/37,  $S_0$  060/40 e  $S_n$  042/56.



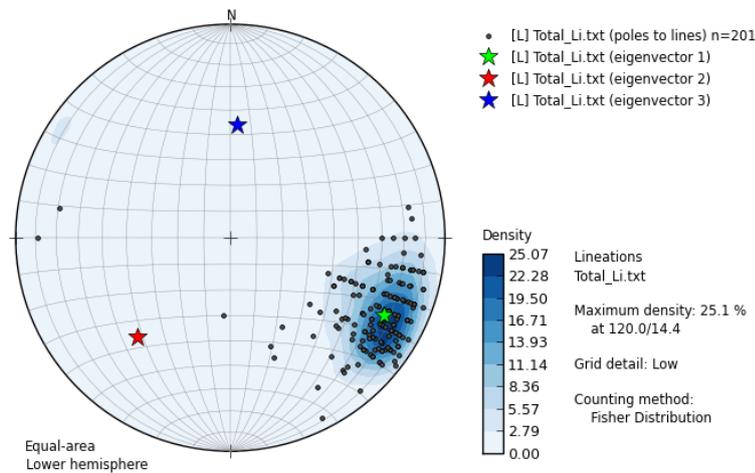
**Figura 7.12:** Foliação SC e xistosidades com vorticidades opostas (Perfil FI-1). A) Ponto K39 az. de visada da foto 180°,  $C$  180/40,  $S$  200/40 e  $C'$  150/45; B) Ponto K39, detalhe do afloramento; C) Ponto K40, quartzito sericítico, fino, milonitizado.  $L_i/L_m$  110/20,  $C$  120/00,  $S$  130/28,  $C'$  100/30; D) Ponto K60, amostra com superposição cinemática  $C$  270/12,  $S$  310/25,  $C'$  230/15 e  $L_i$  270/11.

## 7.4 LINEAÇÃO DE INTERSEÇÃO

A lineação de interseção, figura 7.13,  $L_i$  ( $n = 201$ ) possui máximo de densidade (25,1%) em 120/14 (Fig. 7.14), com os caimentos predominando para SE.



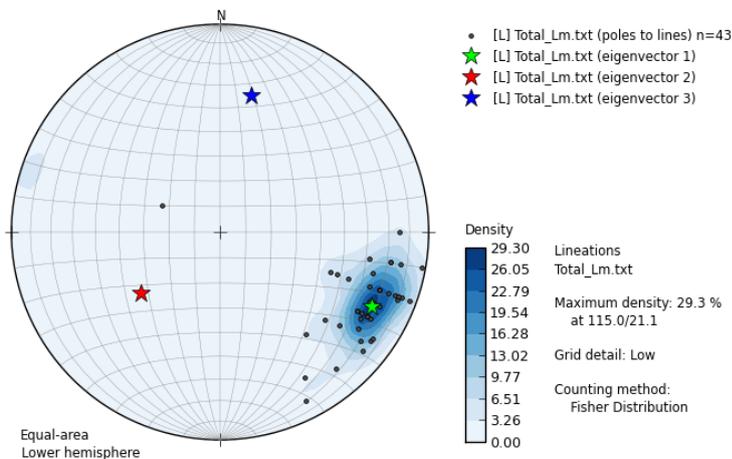
**Figura 7.13:** Lineação de interseção entre  $S_0$  e  $S_n$ . A) Ponto K99, az. de visada da foto 120°; B) ponto, K48, az° da foto 115°, quartzito ferruginoso, detalhe para  $L_i$  118/20,  $S_0$  90/30,  $S_n$  130/38 vAH°; C) Ponto K21,  $L_i$  125/15.



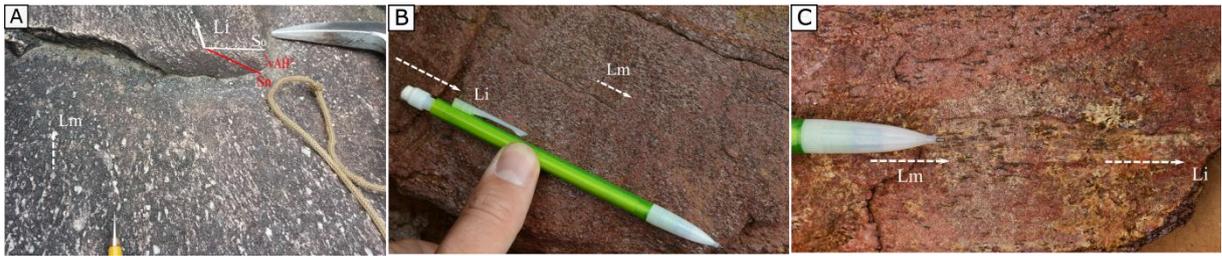
**Figura 7.14:** Estereograma com as medidas de lineação de interseção.

## 7.5 LINEAÇÃO DE ESTIRAMENTO MINERAL

A lineação de estiramento mineral (Fig. 7.16)  $L_m$  (n= 43) possui máximo de densidade (29,3%) em 115/21 (Fig. 7.15), com os caimentos predominando para SE, percebe-se a paralelismo entre a lineação de interseção e a mineral.



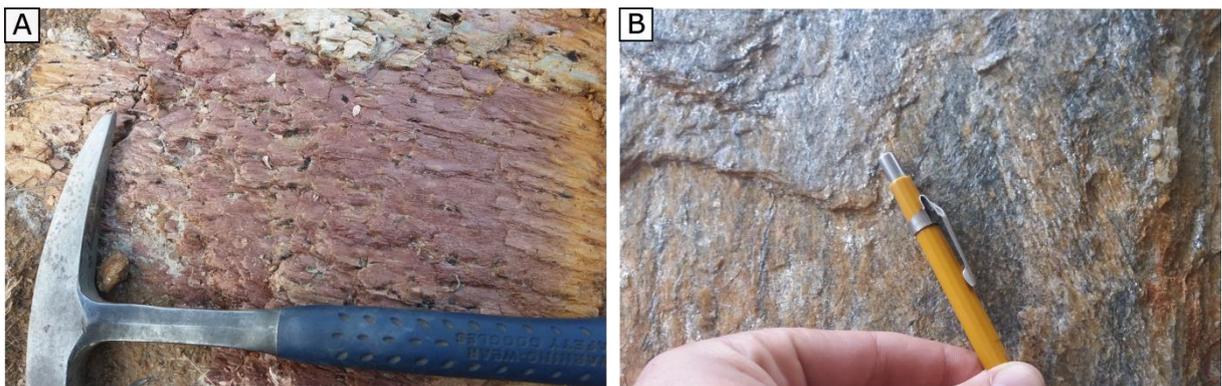
**Figura 7.15:** Estereograma com as medidas de lineação de estiramento mineral.



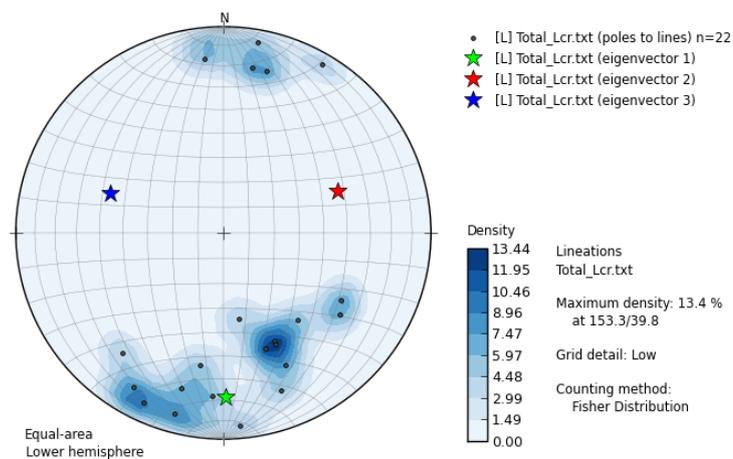
**Figura 7.16:** A) Ponto K97, az. de visada<sup>o</sup> da foto 120<sup>o</sup>, estiramento de grãos paralelos a lineação de interseção  $L_i // L_m$  126/12,  $S_0$  120/20,  $S_n$  175/45 vAH<sup>o</sup>; B) Ponto K76, do perfil FI-4, orientação mineral paralela a lineação de interseção  $L_m // L_i$  110/12; C) Ponto K76, do perfil FI-4,  $L_i$  120/15,  $L_m$  110/12.

## 7.6 LINEAÇÃO DE CRENUAÇÃO

A lineação de crenulação, ilustrada na figura 7.17,  $L_i$  ( $n=22$ ), possui máximo de densidade (13,4%) em 153/40 (Fig. 7.18), com os caimentos variando entorno de S e N. A lineação de crenulação, associada a uma clivagem de crenulação ( $C_c$ ) com mergulho para E, ocorre principalmente nos planos de xistosidade dos metapelitos, xistos e filitos, nos quartzitos, acontecem apenas nas lentes finas que ocorrem em meio à massa quartzítica.



**Figura 7.17:** Lineação de crenulação; A) Em filito alterado; B) Em nível fino no quartzito.

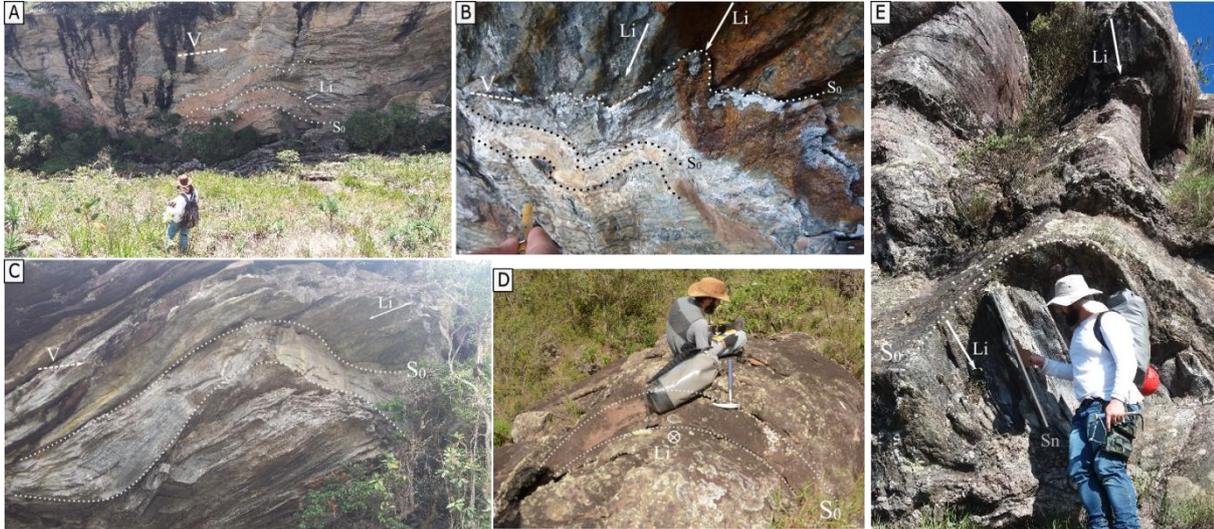


**Figura 7.18:** Estereograma com as medidas de lineação de crenulação.

## 7.7 DOBRAS

As dobras ocorrem em diferentes escalas (Figs. 7.19 e 7.20), de uma forma geral elas são vergentes para SSW, com eixo em torno de 120/14, próximo ao paralelismo com as lineações de

interseção, de estiramento e mineral, o que as caracteriza como lineações do tipo “b” (Ramsay e Huber 1987). As dobras foram identificadas através do controle sistemático das relações de vorticidade entre acamamento, xistosidade e lineação de interseção.

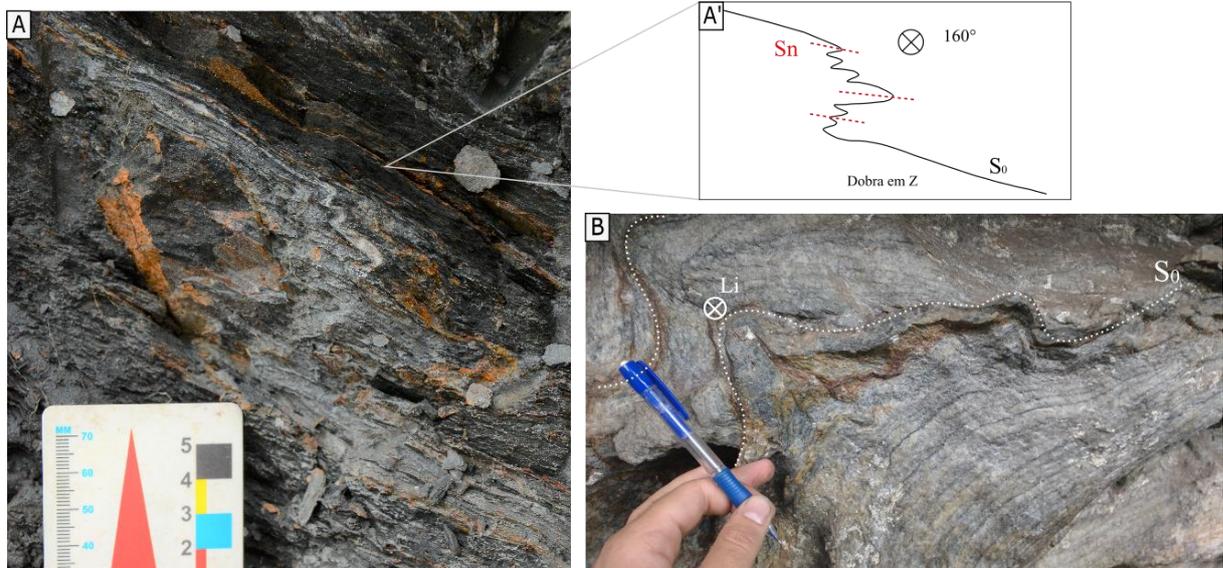


**Figura 7.19:** Dobras assimétricas vergentes para SSW com eixo para ESE. A) Ponto K99, dobras métricas, atitude dos flancos  $S_0$  150/40 e 90/45,  $S_n$  180/66,  $L_i$  110/35,  $L_c$  160/40,  $C_c$  90/26; B) Ponto K99, dobras centimétricas; C) Ponto K99, detalhe para dobra métrica com espessamento na zona de charneira; D) Ponto B148, dobra em escala de afloramento; E) Ponto B63, acamamento dobrado com plano de xistosidade evidente,  $S_0$  70/15 e 116/35,  $S_n$  180/58 e  $E_d$  125/25.

No domínio 1, a relação de vorticidade é horária, com sucessão estratigráfica normal, o que infere posição estrutural em flanco normal de um antiforme com fechamento para SSW, o acamamento e a xistosidade apresentam mergulhos para NE. Na região norte da área as atitudes passam a apresentar mergulhos para SE, mantendo a relação de vorticidade horária. Essa variação ocorre devido ao dobramento posterior do sinclinal Dom Bosco e caracteriza o sinforme Itacolomi.

No domínio 2, as relações de vorticidade são anti-horárias em sucessão estratigráfica normal, o que compreende posição estrutural em flanco inverso redobrado, de mesma geração ao domínio 1, e também apresenta fechamento para SSW. Esse domínio se encontra em posicionamento estrutural em flanco de dobra distinto do domínio 1. O sistema descrito acima foi englobado em um dobramento posterior que deu a configuração do sinforme Itacolomi, provavelmente relacionado à nucleação do sinclinal Dom Bosco.

Dobramentos macroscópicos vergentes para W (Fig. 7.21) também foram observados nos quartzitos e xistos, a lineação de crenulação N/S estão relacionadas, assim como clivagens com mergulho para E.



**Figura 7.20:** Dobras centimétricas. A) Ponto K76, az. de visada da foto 160°, dobra em “Z”,  $S_0$  195/40,  $S_n$  175/40 e  $L_i$  160/45; B) Ponto K23, flanco em “S” e charneira de dobra, diferença de competência entre quartzito e nível hematítico que se apresenta mais dobrado.  $S_0$  150/10, plano axial  $S_n$  200/40 e  $E_d$  120/05.



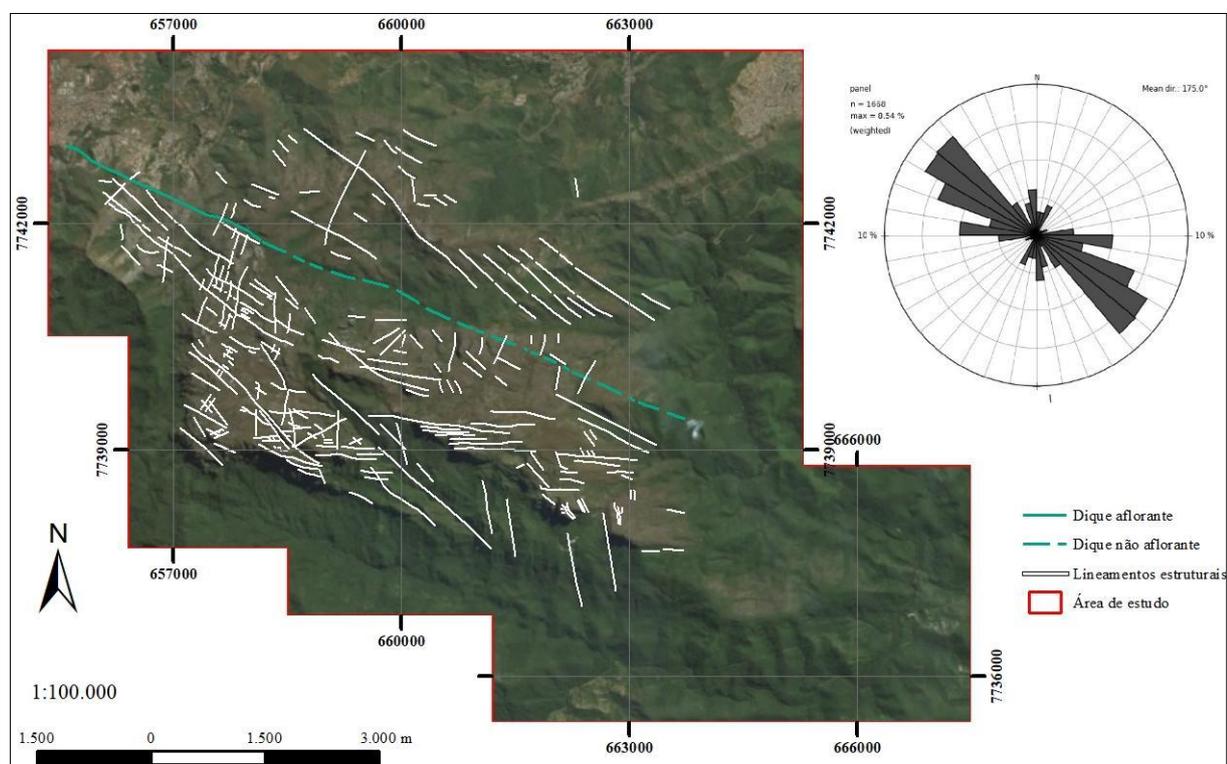
**Figura 7.21:** Dobras macroscópicas, abertas, suaves, assimétricas, levemente inclinadas para N, com vergência para W. A) Ponto K91,  $S_0$  93/10,  $S_n$  200/48,  $L_i/L_m$  113/10,  $L_e$  111/10,  $E_d$  20/06  $C_c$  plano axial da dobra 120/66; B) Ponto K90 no ribeirão Belchior região da cachoeira da Serrinha,  $C_c$  plano axial 105/48,  $E_d$  15/07,  $S_0$  125/36,  $S_n$  175/54 e  $L_i$  110/35.

## 7.8 LINEAMENTOS ESTRUTURAIS

Os lineamentos estruturais foram fotointerpretados e durante os campos foi possível verificar a natureza de alguns. Eles representam principalmente falhas e fraturas, esses elementos interagem com outras estruturas, como acamamento e xistosidade, e possuem uma ação relevante na conformação atual do relevo. A figura 7.22 ilustra esses lineamentos e o diagrama de rosa com as principais direções. Os lineamentos também foram incorporados no mapa geológico final (Apêndice I). O diagrama de rosas (n=829) dos lineamentos possui máximos principais NW-SE, 8% em 150°, 8% em 140°, 6,5% em 120° e 5% E-W.

Em comparação com os diagramas de rosa gerados pelas análises geofísicas (itens 5.1.2 e 5.1.3) nos quais mostram o predomínio da direção E-W entre os lineamentos, com máximo para 90,5° (14,20%) e secundariamente as direções N-S e NW-SE, na análise magnetométrica. Na análise radiométrica as principais direções são E-W (13,09%) e N-S (9,5%), e secundariamente, ainda com

expressividade, a direção NW-SE. Portanto, percebe-se que as direções maioritárias expressadas pelas três rosas são E-W e NW-SE



**Figura 7.22:** Mapa de lineamentos estruturais e diagrama de rosas com as principais direções, n=829, máximo entre 140° e 150°.

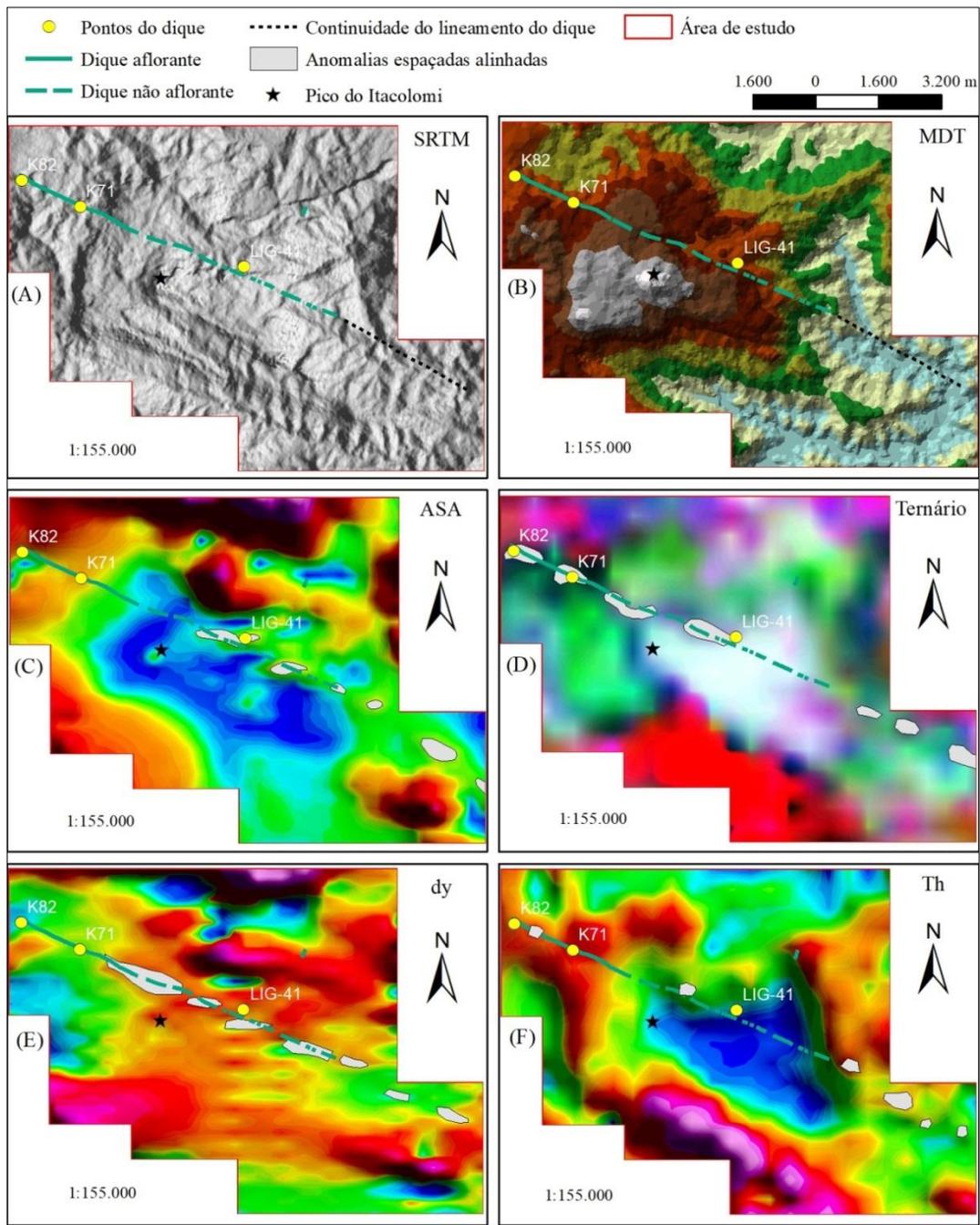
Um dique de rocha máfica de direção NW-SE corta a serra do Itacolomi, durante a campanha de mapeamento verificou-se que o mesmo é aflorante em dois pontos (K82 e K71). Ostanello (2012) verificou a ocorrência de uma rocha máfica no ponto LIG-41 (Fig. 7.23) e considerou a possibilidade de ser a continuação do dique na região.

O dique em questão foi mapeado anteriormente e consta nos mapas geológicos das quadrículas de Ouro Preto/Santa Rita de Ouro Preto e na quadrícula de Mariana /Rio das Bandeiras (Barbosa 1969a; Barbosa 1969b), com extensão de pouco mais de 3 km, o dique vai das coordenadas (UTM WGS84) 655529/7743133 a 658334/7741705. Através da análise de imagens aéreas da área, SRTM e geofísicas percebe-se a continuação do lineamento que abriga o dique para além da extensão em que ele foi mapeado (fig. 7.22), seu traçado alinhado sugere uma provável orientação subvertical (ostanello 2012).

Gudmundsson (1990) ao estudar a colocação de diques na crosta argumenta que essas intrusões variam em largura, comprimento e altura de acordo com a profundidade que elas ocorrem. O mesmo autor enuncia que a propagação do dique ao subir pela crosta pode ocorrer também de forma

lateral ao se deparar com barreiras litológicas, esse processo influencia a colocação do dique, gerando uma morfologia irregular em diferentes profundidades da crosta.

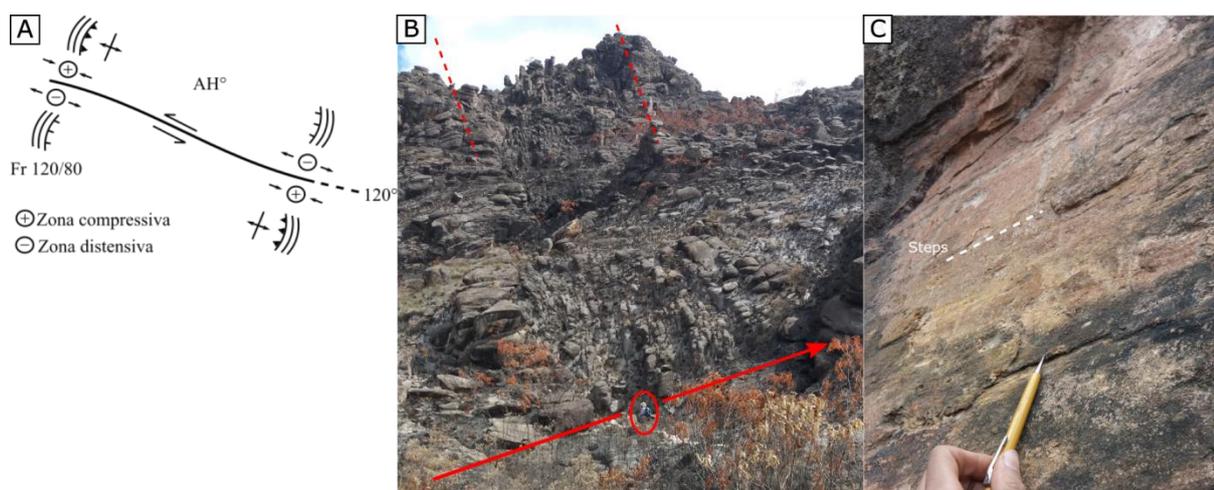
Anomalias geofísicas espaçadas (Fig. 7.23) e alinhadas com a direção do lineamento do dique inferem que a intrusão provavelmente é variável em altura/profundidade, gerando porções aflorantes e não aflorantes, interpreta-se que a massa quartzítica da serra do Itacolomi pode ter atuado como uma barreira à subida do dique, fazendo com que o mesmo não seja aflorante por todo lineamento em que está contido, mas ocorrendo em profundidade.



**Figura 7.23:** Análise de ocorrência do dique. (A) imagem SRTM; (B) Modelo digital de terreno; (C) Mapa de amplitude do sinal analítico; (D) Mapa ternário; (E) Mapa de primeira derivada em z que analisa anomalias em profundidade; (F) Mapa do canal de tório.

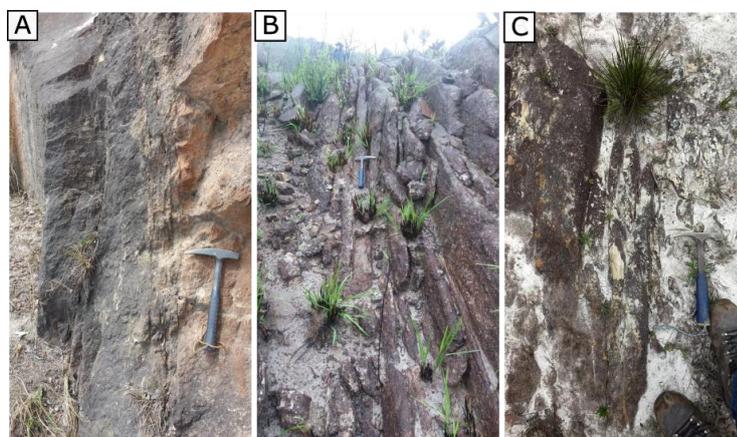
## 7.9 FALHAS E ZONAS DE CISALHAMENTO

As direções preferências de falhas são NW-SE com componente cinemático normal e sinistral. Ocorrem por toda a área de estudo com extensões variadas, de poucos a dezenas de metros. Sistemas de falhas normais de direção NE-SW ocorrem associadas nas zonas próximas as terminações das falhas supracitadas (Fig. 7.24).



**Figura 7.24:** A) Falha normal regional com componente sinistral (AH°) de direção 120° gera, próximo as suas terminações, zonas de compressão e decompressão de menor persistência e direção N30°E (modificado de Homberg *et al.* 1997); B) Zona de falhas normais de atitude 120/80, indicadas pelas linhas tracejadas, formadas nas terminações da falha regional de direção 120°, linha contínua vermelha, o círculo vermelho indica a escala humana da foto; C) Plano de falha normal atitude 40/75 com *steps* de falha;

Zonas de cisalhamento (ZC) (Fig. 7.25) ocorrem distribuídas pela área de estudo, foi possível identificá-las em diversos setores da serra. Nas zonas de interferência próximas a falha Itacolomi, cisalhamentos, foliações S/C, clastos com sombra de pressão e milonitização são perceptíveis. Nas litologias menos competentes, a exemplo dos xistos, cisalhamentos interestratais também são identificados.



**Figura 7.25:** Zonas de cisalhamento dúcteis. A) Ponto K32, az. de visada da foto 90°, zona de falha 200/80; B) Ponto L31, az. de visada da foto 120°, família de fraturas em ZC recorrentes na serra do Itacolomi, C 210/76, S 225/66, vAH°; C) Ponto B78 az. de visada da foto 270°, conjunto de fraturas em ZC associadas ao Pico.

## 7.10 FRATURAS E VEIOS

As fraturas (Figs. 7.26 e 7.27) são abundantes na serra do Itacolomi, desempenhando papel fundamental na evolução do relevo atual. Fraturas de regime rúptil cortam o maciço em fraturas abertas formando diaclases e cânions, Bragante-Filho (no prelo) postula que as fraturas, juntamente com as falhas, são responsáveis pela abertura de espaços que geraram as cavernas, as dolinas e outros aspectos geomorfológicos presentes na serra. As fraturas ocorrem de formas variadas, fechadas, abertas, cisalhadas e também preenchidas por veios. A ocorrência do último tipo citado infere fraturamento em profundidades elevadas.

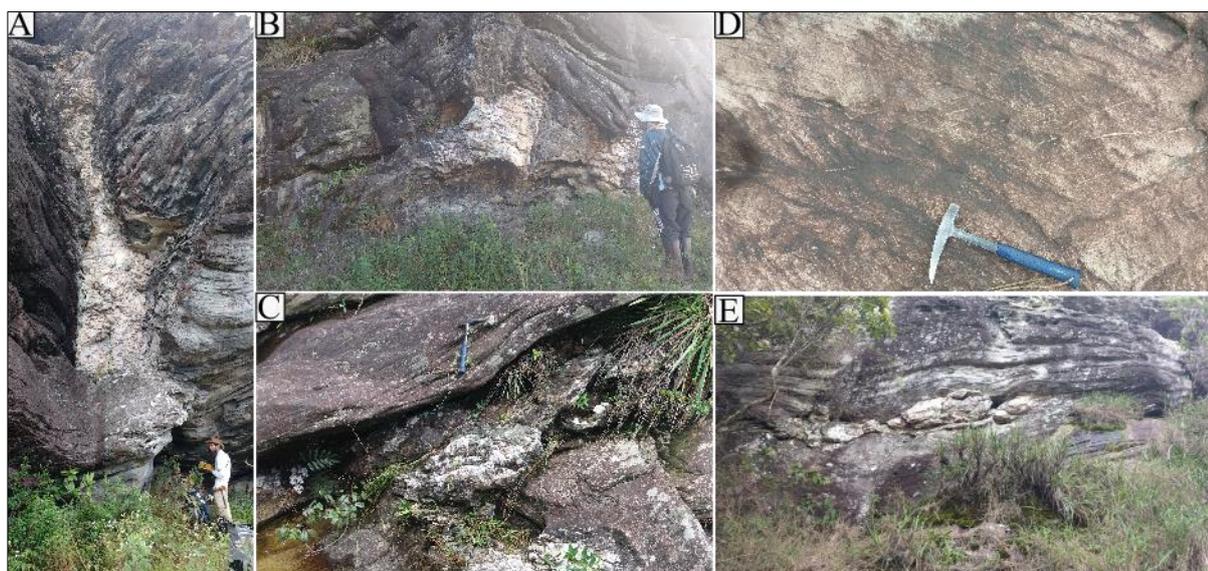
Os veios são abundantes, acontecem encaixados no acamamento, preenchendo fraturas, boudinados, na charneira de dobras métricas e na forma de *tension gashes* (Fig. 7.28).



**Figura 7.26:** Fraturas ao longo da serra indicadas pelas linhas pretas.



**Figura 7.27:** A) Blocos com fraturas rúpteis com plano de mergulho para N; B) Fraturas conjugadas com interseção para 120°; C) Tombamento oriundo da interceptação de planos de fraturas com o acamamento indicado pelas linhas tracejadas, as setas indicam aberturas de espaço na rocha; D) Fratura aberta métrica no Pico do Itacolomi, ao fundo vista para a cidade de Mariana.



**Figura 7.28:** A) Ponto K23 veio preenchendo fratura; B) Ponto K27, veio em charneira de dobra; C) Ponto B144, veio concordante ao acamamento; D) *Tension gashes*, na região da serrinha; E) Ponto B102 az. de visada da foto 210°, *boudins* encaixados no  $S_0$  98.25, *swell* do meio de 1,5m, cinemática anti-horária de E para W (120° para 300°).

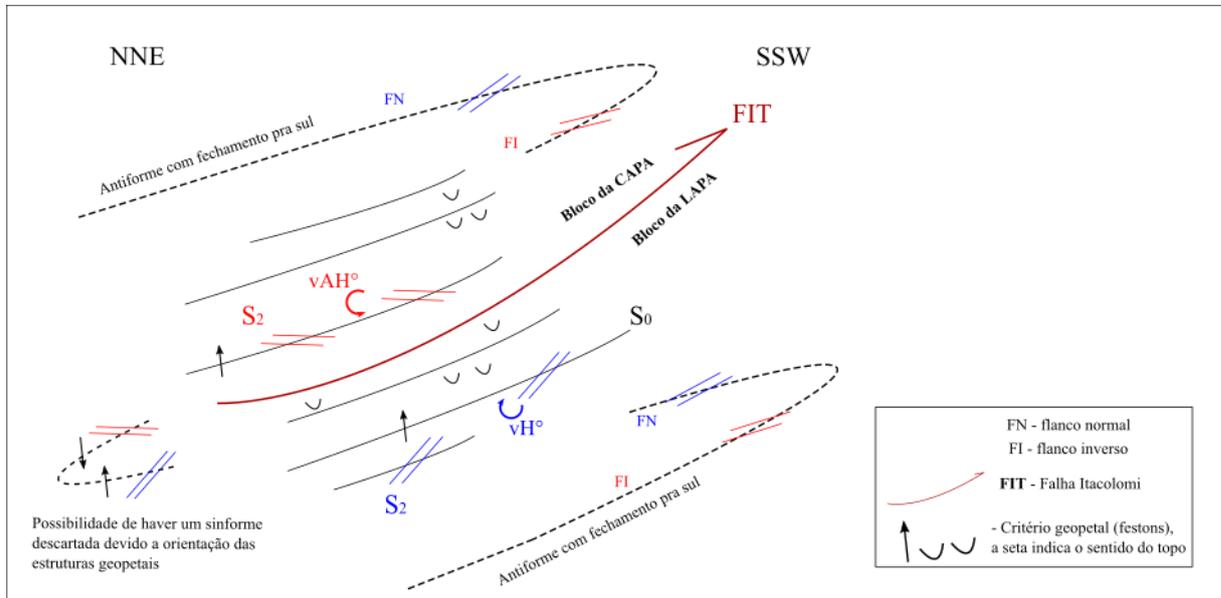
## 7.11 A FALHA ITACOLOMI

A falha Itacolomi (Barbosa *et al.* 2017) foi caracterizada a partir do mapeamento geológico litoestrutural e da análise estrutural topológica para terrenos polideformados. Os principais critérios nas análises dos afloramentos foram: o estudo da relação de vorticidade entre o acamamento ( $S_0$ ) e a xistosidade ( $S_n$ ) com a observação convencionalmente feita a favor do caimento da lineação de interseção ( $L_i$ ) e o estudo das relações estratigráficas de topo e base, através de estruturas de caráter geopetal.

Durante as campanhas de mapeamento na porção basal dos quartzitos da serra do Itacolomi foi possível identificar dois blocos com relações estruturais distintas e topologicamente incongruentes (Itens 7.1 e 7.2). Os blocos são separados pela falha Itacolomi, uma falha de empurrão, caracterizada por uma cinemática com movimento de topo dirigido de NNE para SSW. No decorrer do perfil, as estruturas sedimentares de caráter geoptal inferem sequência estratigráfica normal nos dois blocos (ver Itens 6.2.2 e 6.2.3 e Apêndices III e IV). No bloco inferior ou lapa, domínio 1, as relações estruturais entre o acamamento e a xistosidade apresentam vorticidade horária ( $vH^\circ$ ), o que sugere o flanco normal de um antiforme. Já o bloco superior, capa, apresenta vorticidade anti-horária ( $vAH^\circ$ ) entre o acamamento e a xistosidade, o que caracteriza o flanco inverso de um antiforme, ambos indicando fechamento para Sul.

A incongruência topológica (Fig. 7.29) entre os blocos rochosos aliados ao balanceamento de massa da seção corroboram para a alocação da falha Itacolomi no contato entre os dois blocos, de forma que não seria possível a existência de um sinforme entre eles devido a orientação das estruturas

geopetais que, juntamente com a determinação das vorticidades, indicou um posicionamento estrutural de redobramento Z [Z] para a lapa (bloco 1) e S [S] para a capa da falha Itacolomi (bloco 2). Esta falha forma um arranjo compatível com as estruturas ao norte da área de estudo, tratando-se de uma falha de colapso da capa ou falha fora de sequência, da falha de Água Quente.



**Figura 7.29:** Incongruência topológica caracterizada pela análise de vorticidade e pelo critério geopetal. A existência do sinforme foi descartada pois as estruturas geopetais no bloco da capa apresentam sucessão normal, apesar da  $vAH^\circ$ , o que infere redobramento do flanco inverso do antiforme.

Imagens geofísicas e SRTM também auxiliaram a alocar o traço da falha em mapa, a exemplo das figuras a baixo, a expressão da geologia nas imagens contribui para traçar a falha em setores não cobertos pelo mapeamento. A figura 7.30A, é uma imagem geofísica com filtro em 1ª derivada vertical (dz), percebe-se que a falha acompanha os contrastes anômalos, as variações de anomalias altas/baixas variam segundo a susceptibilidade magnéticas e da profundidade das fontes anômalas. A figura 7.30B, é uma imagem SRTM, de relevo sombreado com azimuth de iluminação  $90^\circ$  e inclinação de  $45^\circ$ , observa-se que a falha percorre discontinuidades morfológicas.

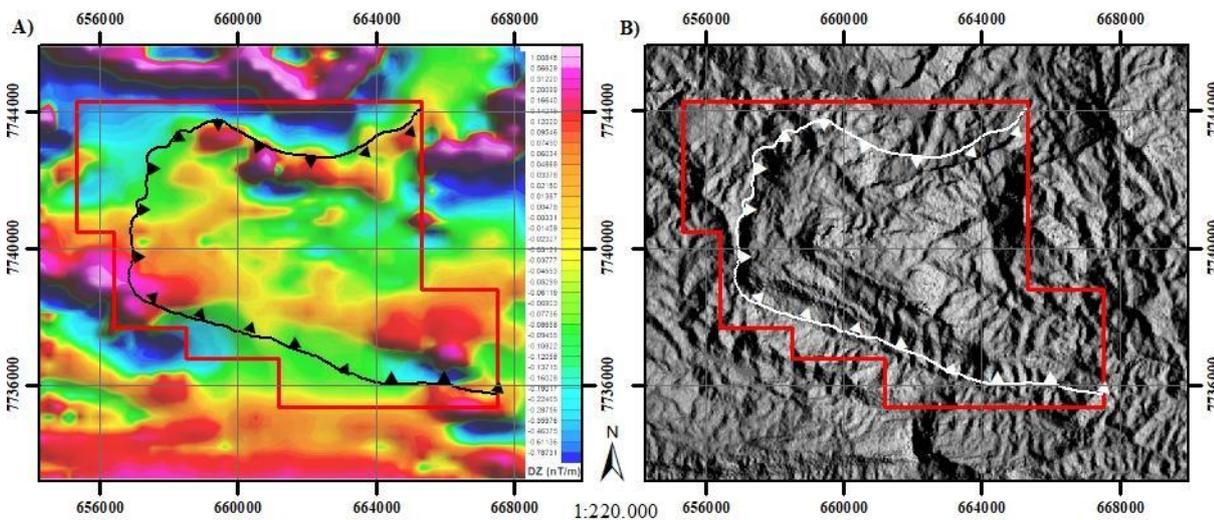


Figura 7.30: A) Mapa de derivada vertical (dz); B) Imagem *hillshade*.

## 7.12 MODELO DE EVOLUÇÃO ESTRUTURAL

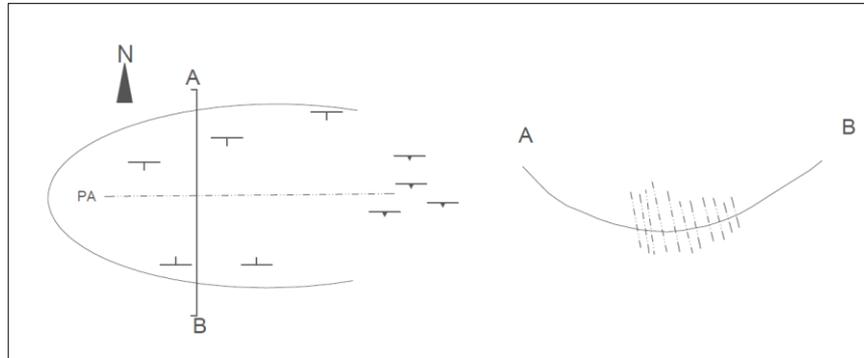
A partir das informações litoestruturais coletadas propõe-se um modelo geológico para a região da serra do Itacolomi. O modelo e a conformação atual do sinforme Itacolomi resultaram da superposição de pelo menos seis fases deformacionais.

A primeira ( $F_1$ ) e a segunda fase ( $F_2$ ) estão relacionadas com as fases D1 e D2 de Almeida *et al.* (2002) e Almeida (2004). A autora caracterizou a primeira fase pela *nappe* Ouro Preto por dobras isoclinais com vergência para SSW e eixo para ESE, a trama relacionada a esta fase ( $S_1$ ) é penetrativa, plano axial e paralela ao acamamento, é reliquiar e em grande parte foi obliterada pelas fases de deformação subsequentes, não tendo sido observada em campo nesse trabalho. Gonçalves & Costa (2007) estudando a região a leste da serra de Ouro Branco identificaram evidências que corroboram essa mega estrutural. Rossi (2014) e Massa (2017) caracterizam essa fase na região inserida na quadrícula de Antônio Pereira, especificamente no sinclinal Santa Rita, região a norte da área de estudo em foco nesse trabalho.

A segunda fase está relacionada ao redobramento coaxial da *nappe* gerando dobras assimétricas com mesma vergência e eixo. A xistosidade ( $S_2$ ) foi identificada em campo, como penetrativa, plano axial e oblíqua ao acamamento, sua relação de vorticidade permitiu a identificação dos blocos da lapa e capa da falha Itacolomi. A falha Itacolomi está associada à fase D2, apresentando a cinemática horária e movimento direcional semelhante ao redobramento  $F_2$ , de NNE para SSW. A falha seccionou o flanco de conformação de redobramento “S sobre S” ou S[S] e o justapôs ao flanco de conformação “Z sobre Z” ou Z[Z].

A terceira fase ( $F_3$ ) foi relacionada à nucleação do sinclinal Dom Bosco. Corresponde a um redobramento por uma compressão N-S, responsável pela geração de dobras suaves com eixos W-E.

Essa fase foi responsável pela conformação sinformal da serra do Itacolomi, redobrando o acamamento, a xistosidade  $S_2$  e o eixo  $L_2$  (Fig. 7.31). O sistema de falhas na porção oriental do sinclinal Dom Bosco provavelmente é anterior a sua formação e foram redobrados na época de sua nucleação.



**Figura 7.31:** (A) Croqui esquemático em planta da serra do Itacolomi com as variações de sentido de mergulho do acamamento e clivagem relacionada a  $F_3$  com mergulho para sul. PA- plano axial do dobramento regional do sinclinal Dom Bosco, que envolve a área de estudo; (B) Perfil esquemático AB ilustrando ao acamamento e a clivagem da  $F_3$ .

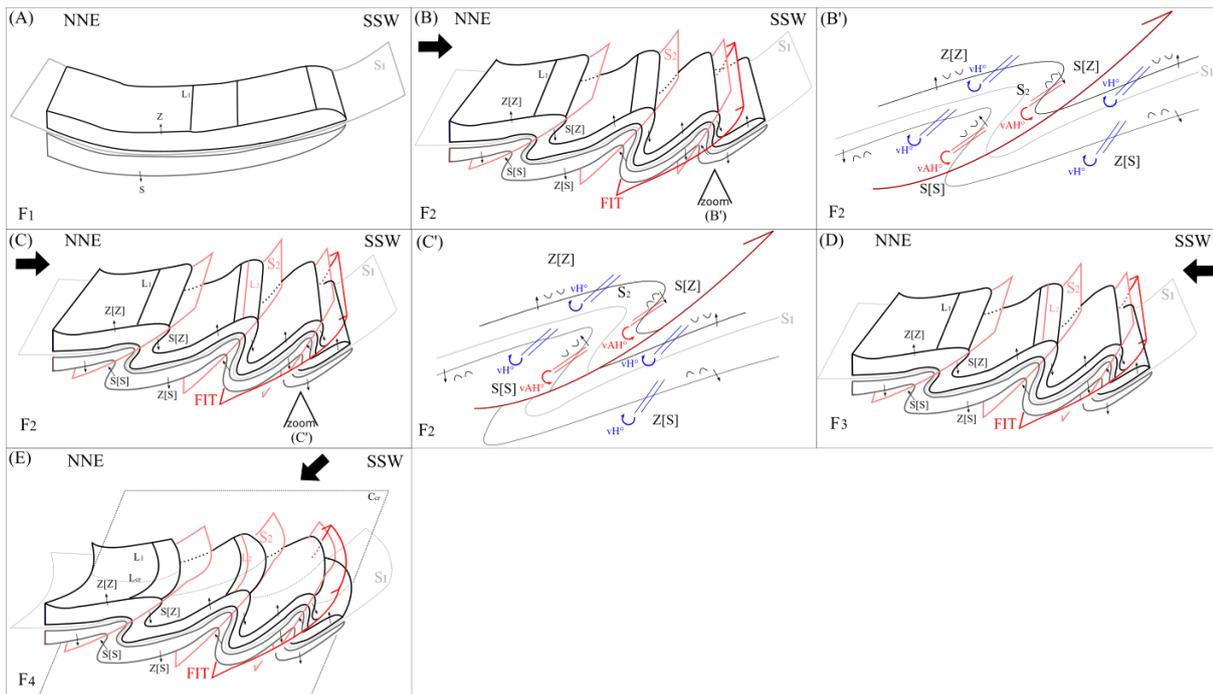
Haveria ainda uma fase ( $E_1$ ) com componente extensional, que teria permitido a intrusão do dique de direção NW-SE que corta a serra do Itacolomi. Provavelmente instalou-se entre a  $F_2$  e  $F_3$ .

A quarta fase de deformação ( $F_4$ ) se caracteriza por um encurtamento crustal com vergência de E para W, foi identificada por dobras assimétricas abertas, lineações de crenulações com rumo N-S, que se manifestam principalmente nas camadas e lentes menos competentes e planos de clivagem com mergulho para E. Essa fase rotacionou as estruturas pré-existentes em um basculamento para leste.

A última fase ( $F_5$ ), foi interpretada como uma fase tardia, responsável pelos fraturamentos rúpteis presentes que caracterizam o relevo atual da serra do Itacolomi.

A profunda erosão atuou nesta região em período posterior de relativa estabilidade tectônica e esculpiu integralmente esta megaestrutura dobrada, restando apenas uma pequena parcela aflorante de seus flancos.

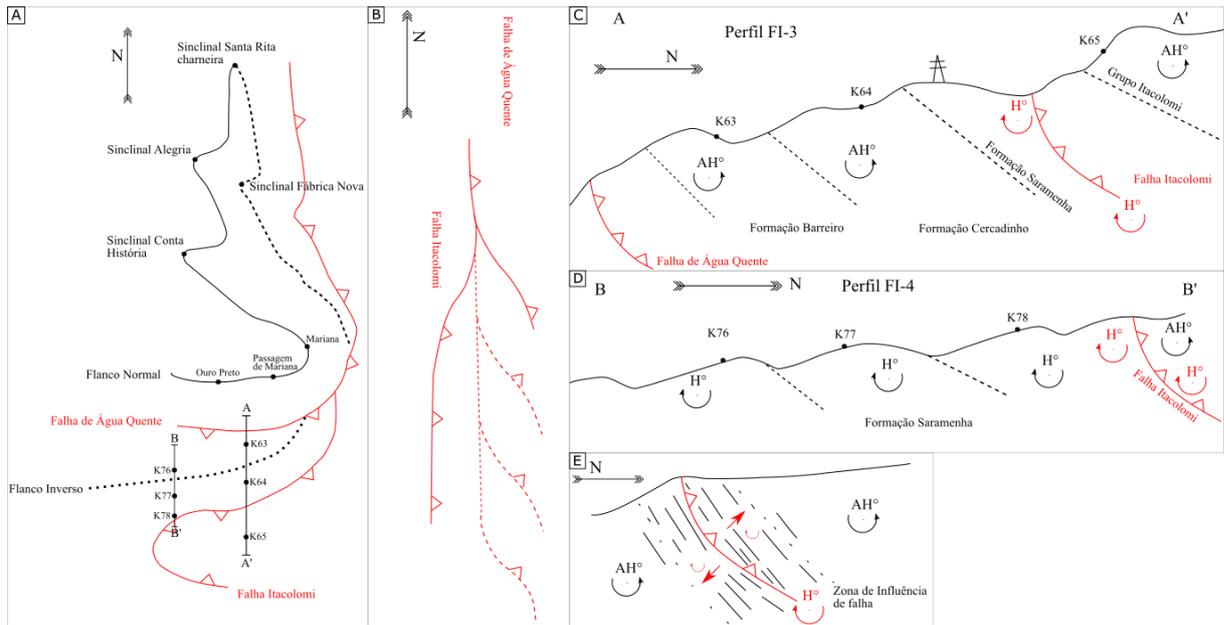
A figura 7.32 apresenta de forma esquemática as fases de deformação  $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$ , que representam os principais dobramentos e a falha Itacolomi.



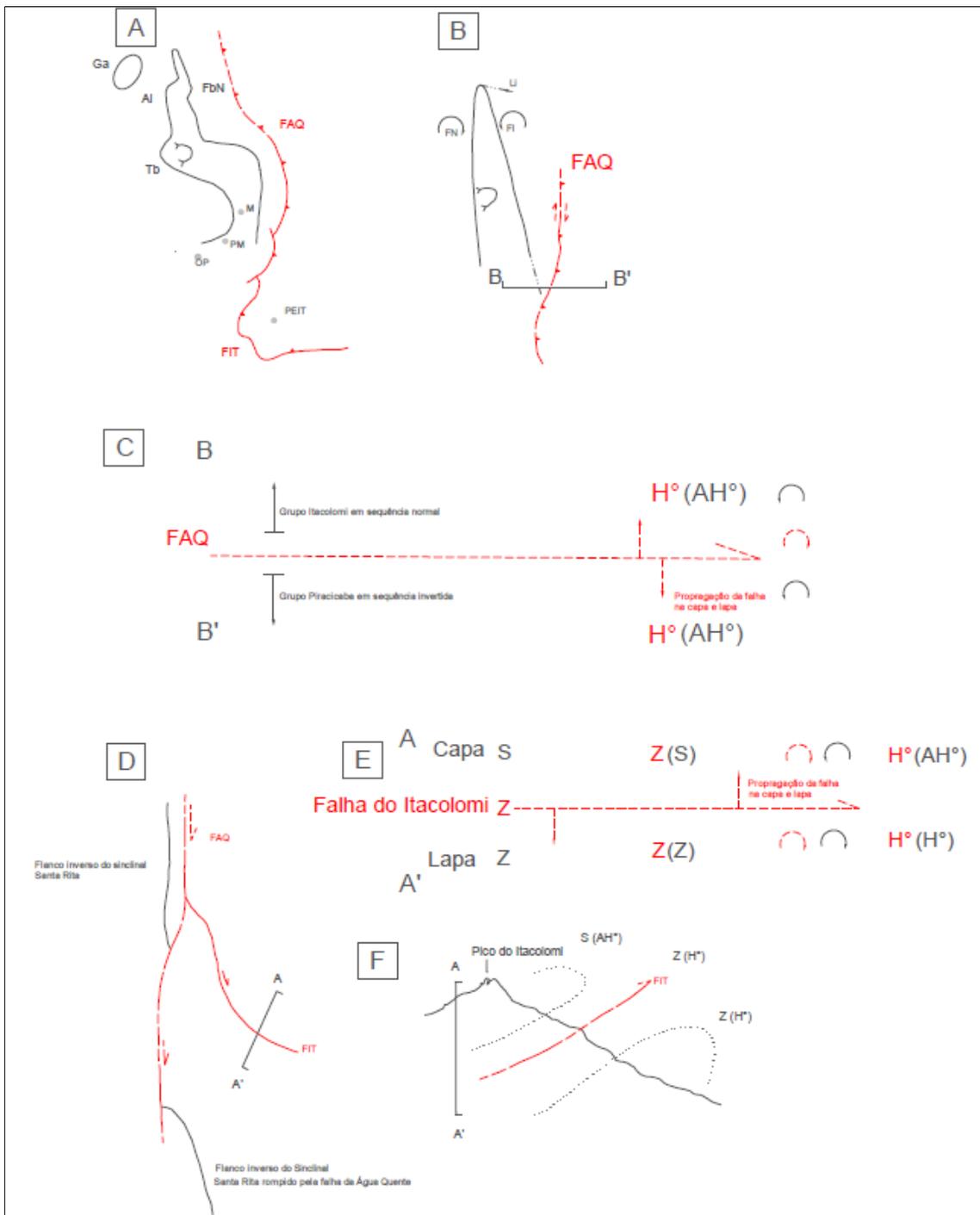
**Figura 7.32:** Modelo de evolução estrutural da serra do Itacolomi. A)  $F_1$  *nappe* Ouro Preto; B)  $F_2$  redobramento coaxial; B') Detalhe para os flancos seccionados pela falha Itacolomi em  $F_2$ ; C)  $F_2$  falha Itacolomi com deslocamento imposto; C') Detalhe para o deslocamento da falha Itacolomi em  $F_2$ ; D)  $F_3$  nucleação do sinforme Itacolomi; E)  $F_4$  evento Compressional de leste para oeste. Modificado de Almeida *et al.* (2005).

No norte da área de estudo aflora o flanco inverso do sinclinal (Fig. 7.33A) Santa Rita com sucessão estratigráfica invertida e vorticidade anti-horária. A falha de Água Quente de movimento dirigido de norte para sul apresenta vorticidade horária dada pela relação da foliação S/C (*e.g.* Rossi 2014), identificada nas rochas do Grupo Piracicaba na base do perfil FI-1. A falha Itacolomi (item 7.11) teve sua origem caracterizada como uma deflexão da falha de Água Quente e também possui movimentação e vorticidade semelhante (Fig. 7.33B). A figura 7.33 (C e D) ilustram os perfis FI (3 e 4) com as litologias e vorticidade. A figura 7.33-E ilustra esquematicamente a zona de influência da falha.

A figura 7.34 ilustra a interação da falha de Água Quente a norte da área de estudo com a falha Itacolomi. A figura 7.34-A ilustra a conformação atual do sinclinal Santa Rita, a figura 7.34-B, para efeito de análise, desfaz a configuração de redobramento que afetou o sinclinal, no intuito de interpretar a zona de influência de movimentação das falhas de Água Quente e Itacolomi segundo as posições estruturais que as relações de vorticidade entre o acamamento e a xistosidade indicam. (Figs. 7.34C, D, E e F).



**Figura 7.33:** Modelo esquemático da interação das falhas de Água Quente e Itacolomi. A) Croqui do sinclinal Santa Rita, falha de Água Quente e falha Itacolomi; B) Croqui representando a falha Itacolomi como um desmembramento da falha de Água Quente; C) Perfil FI-3; D) Perfil FI-4; E) Esquema representando a zona de deformação restrita da falha Itacolomi caracterizando sua zona de influência. Mais detalhes no texto.



**Figura 7.34:** (A) Figura esquemática em planta do sinclinal Santa Rita (SSR), falha de Água Quente (FAQ) e a falha Itacolomi (FIT). Ga-sinclinal Gandarela, AI-sinclinal Alegria, Tb-mina Timbopeba, FbN-mina de Fábrica Nova, PEIT-Parque Estadual do Itacolomi, OP- Ouro Preto, PM- Passagem de Mariana, M-Mariana. (B) Esquema em planta do SSR desfazendo a configuração do evento de redobramento. Li-lineação de interseção, FN- flanco normal com  $vH^\circ$ , FI- flanco inverso com  $vAH^\circ$ . (C) Perfil BB'-relações dos blocos estruturais (lapa e capa) segmentados pela falha e suas respectivas vorticidades que se sobrepõem. (D) Esquema em planta, a FAQ que rompe o FI do SSR. A FAQ deflete e manifesta na FIT. (E) Perfil da FIT, a lapa e a capa e suas relações estruturais de vorticidade. O bloco da lapa apresenta relação horária entre o acamamento e a xistosidade, a FIT, de cinemática horária, segmenta os blocos estruturais. A capa apresenta vorticidade anti-horária, estabelecem-se assim dois blocos estruturais distintos. Todos os croquis esquemáticos estão fora de escala.

## CAPÍTULO 8

### DISCUSSÕES

---

De acordo com os resultados e produtos obtidos neste estudo discutem-se aqui suas implicações em cada frente de trabalho realizada, não obstante, busca-se confrontar os dados com estudos anteriores na região.

#### 8.1 GEOFÍSICA

As análises magnetométricas propiciaram delimitar os contrastes de magnetização nos mapas temáticos da área de estudo, sendo que as respostas foram condizentes com as estruturas mapeadas em campo, como a falha Itacolomi. Litologicamente sinalizou porções quartzíticas com anomalia elevada indicando quartzitos ferruginosos já anteriormente mapeados por Barbosa (1969b), em contrapartida à baixa anomalia associada ao restante do maciço quartzítico. A caracterização dos lineamentos magnéticos, juntamente com os lineamentos fotointerpretados, contribuiu para o entendimento das principais direções que compõem o arcabouço da região em estudo. Essas direções concordam com a direção dos eixos das principais estruturas descritas. Não se obteve respostas contundentes pelos métodos aerogeofísicos em relação ao dique que corta a serra na direção NW-SE, provavelmente devido a sua espessura insuficiente para uma boa resolução dos sensores no levantamento, ou pela sua morfologia vertical irregular. O segundo caso parece ser mais adequado, pois percebem-se anomalias espaçadas nos mapas magnéticos ao longo do lineamento do dique e o mapa ternário apresenta uma resposta na porção aflorante desta intrusão. Ademais, o conjunto dos dados de campo, das imagens aéreas, SRTM e geofísicas expressam a continuidade do lineamento em que a intrusão está contida, nem sempre aflorante, mas provavelmente ocorrendo em profundidade.

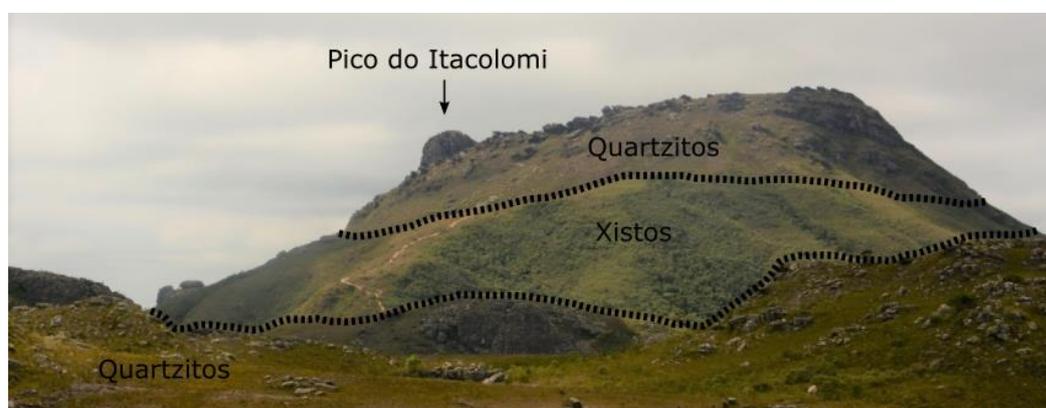
As análises radiométricas contribuíram no nível de mudanças litológicas nos contatos entre diferentes rochas e foi importante na diferenciação da unidade Pico Itacolomi, que apresenta resposta radiométrica distinta dos demais quartzitos da serra, corroborando a diferenciação feita em campo. Em relação as unidades Morro do Cachorro e Ribeirão Belchior, as respostas radiométricas no mapa ternário são ligeiramente distintas, com a unidade Morro do Cachorro apresentando maior teor de potássio em relação à outra, o que reforça a diferenciação das duas unidades.

Nas análises quantitativas, a deconvolução de Euler estimou a profundidade das fontes anômalas magnéticas, caracterizando o relevo magnético da área em estudo e delimitando a orientação espacial de altos e baixos magnéticos. Na região central da área de estudo, obteve-se a maior profundidade de fonte magnética (1900m), por estar exatamente onde afloram os quartzitos de baixo valor anômalo. Assim sendo, interpretou-se este baixo valor devido ao embasamento em profundidade caracterizando sua interface com as supracrustais.

## 8.2 ESTRATIGRAFIA

O levantamento dos litotipos e de sua sucessão caracterizou mudanças litológicas predominantes transicionais entre as rochas da serra do Itacolomi. As zonas de gradação foram associadas aos limites inferiores e superiores de dois ciclos regressivo-transgressivo sucedidos (PCE-B), sem interrupção da sedimentação, e um uma sucessão regressiva no levantamento PCE-L. Em termos sedimentológicos, isso corrobora para a interpretação de uma deposição com variação lateral entre as rochas dos grupos Sabará e Itacolomi em sistemas do tipo *flysh* e molassa respectivamente (Barbosa 1968; Noce 1995). A deformação em que a falha Itacolomi se instalou foi responsável por cavalgar a unidade Ribeirão Belchior sobre a unidade Morro do Cachorro, assim como a unidade Rio Mainart sobre a Formação Saramenha.

Dentre as implicações desse modelo estratigráfico, refere-se aqui à camada de filito e quartzo-sericita-clorita xisto que ocorre entre as camadas de quartzito na região do Pico do Itacolomi (Fig. 8.1). Dorr *et al.* (1961) e Dorr (1969) consideram esta camada como uma unidade subjacente do Grupo Sabará, os dados desse estudo corroboram essa afirmação. No entanto, na folha de Mariana (Barbosa 1969b), foi interpretada uma falha de empurrão na base dessa camada, caracterizando um contato tectônico. Contudo, o controle das relações estruturais levantadas em campo revelou que o arcabouço estrutural permanece o mesmo entre os blocos da suposta falha, portanto, a transição é gradual e a falha nesse local foi desconsiderada.



**Figura 8.1:** Contatos transicionais entre os quartzitos da unidade Ribeirão Belchior (na base), os xistos da unidade Rio Mainart (intermediários) e os quartzitos da unidade Pico do Itacolomi no topo.

Caso semelhante ocorre no extremo leste da área (Fig. 8.2) onde a falha de Água Quente, com direção N-S, supostamente cavalga para W, as unidades do Grupo Nova Lima sobre os quartzitos do Itacolomi (Dorr 1969). Novamente, o controle das relações de vorticidade demonstra equivalência estrutural entre os supostos blocos. Além disso, o levantamento caracterizou o contato como gradacional e interdigitado. Supõe-se que os xistos a leste da serra do Itacolomi seriam na verdade cronocorrelatos ao Grupo Sabará e a falha de Água Quente teria uma outra expressão, não ocorrendo

naquela área. Datações nessa localidade seriam fundamentais para essa comprovação, contudo, os estudos geocronológicos de Alvarenga (2013) e Jordt-Evangelista *et al.* (2015) nos quartzitos Furquim sinalizam uma mudança no entendimento sobre a distribuição e ocorrência das rochas do Grupo Itacolomi a leste da sua localidade tipo. As datações em rochas antes tidas como Arqueanas do SG Rio das Velhas obtiveram idades próximas das datações para as rochas do Grupo Itacolomi de Machado *et al.* (1996) e Hartmann *et al.* (2006).



**Figura 8.2:** No primeiro plano da figura o domínio dos quartzitos com camadas com mergulho para E, no segundo plano, separado pelo traço pontilhado em azul, o domínio dos xistos também apresentam mergulho para E. Estratigraficamente os xistos estão acima dos quartzitos em contato gradacional.

Alkmim (1987) caracteriza a deposição das rochas do Grupo Itacolomi em um sistema de leques aluviais (*fan-deltas*), fluvial entrelaçado com transição para planície de maré.

A interpretação dos ambientes de deposição, por se tratar de terrenos pré-Cambrianos não é evidente, visto que os processos geológicos que atuavam na terra diferiam dos atuais (Eriksson 2001; Alterman 2001), o que dificulta a compreensão dos ambientes sedimentares, acrescentando ainda a evolução tectônica pela qual a área de estudo foi submetida ao longo de sua história geológica (Endo 1997; Almeida *et al.* 2005).

A não existência de vegetação no pré-Cambriano é um fator determinante nas características deposicionais (Eriksson 2001; Alterman 2001). A superfície do planeta provavelmente se assemelhava às áreas áridas da atualidade. A falta da vegetação propiciava maior erodibilidade e menor estabilidade dos sedimentos na área fonte, o que implicaria maior aporte sedimentar. A configuração dos rios era principalmente entrelaçado (Schumm 1968; Davies & Gibling 2010). Leques formados em regiões adjacentes a áreas em soerguimentos, com controle tectônico regional e alta taxa de subsidência resultavam em significantes espessuras de sedimentos (Walker 1992).

É necessário salientar que um levantamento de detalhe discriminando as litofácies e suas associações deve ser futuramente realizado para se obter maiores evidências para uma acurada análise dos sistemas deposicionais. Porém, observações feitas em campo sobre os contatos, as características texturais das litologias e das estruturas sedimentares permitiram fazer certas inferências interpretativas.

A observação de camadas arenosas cascalhosas limitadas por superfícies erosivas entre camadas constituídas por material arenoso mal selecionado e com estruturas unidirecionais formando

ciclos com granodecrescência ascendente, inferem depósitos de canais fluviais. Os ciclos granodecrescentes ascendentes citados estariam associados a uma variação de energia no fluxo do rio, que representa uma desaceleração da corrente da base para o topo (Miall 1977). Essa compartimentação sugere que o sistema fluvial ocorreu em um contexto de planície costeira. A não existência de vegetação no pré-Cambriano, a não ocorrência de depósitos pelíticos de planície de inundação entre a massa arenosa grosseira, juntamente com a geometria dos estratos cruzados são indícios para uma possível interpretação de canais fluviais entrelaçados para as unidades Morro do Cachorro e Ribeirão Belchior.

A presença de camadas com estratificação cruzada sigmoidal representam desaceleração do fluxo de deposição (Battacharya 2010), essa ocorrência é associada à transição relativa de um sistema de alta energia para outro de baixa energia, no caso do presente estudo, sugere-se um sistema fluvial desembocando em um sistema costeiro, indicando uma possibilidade de interpretação para uma associação litológica de frente de *fan-delta* (Orton e Reading 1993) para a unidade Pico Itacolomi. A observação de níveis com estratificação truncada e superfícies de reativação, com *mud drapes* na sua estruturação interna inferem que, apesar dos rios entrelaçados, parece haver alguma influência de marés, em que o topo dos estratos teria sido erodido na maré de menor influência e, sobre os mesmos, novos estratos depositados no ciclo seguinte do fluxo de maré predominante.

Ao término do trabalho estratigráfico, propôs-se uma subdivisão do Grupo Itacolomi em unidades litológicas em sua localidade tipo. As unidades foram definidas seguindo os critérios do Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica (Petri *et al.* 1986). Segue abaixo a descrição das unidades segundo o item 6.3 – As Unidade Estratigráficas que Compõem o Grupo Itacolomi:

- Unidade Morro do Cachorro: quartzitos sericíticos com baixa maturidade textural, a granulação varia de fina a grossa, muitas vezes de forma intercalada em sets centimétricos a decimétricos de grãos finos a médios com grãos grossos espaçados e grãos grossos com grânulos esparsos. Estratificação cruzada acanalada é comum, principalmente de pequeno porte, estratificação plana paralela e tabular também ocorrem. A sucessão apresenta níveis de metaconglomerado com clastos variando de grânulos a seixos, chegando a calhaus em alguns locais. Quartzo-sericita xistos e sericita-quartzo xisto ocorrem na base dessa unidade em contato transicional com a unidade sotoposta, Formação Saramenha.

- Unidade Ribeirão Belchior: litologicamente apresenta características semelhantes à unidade Morro do Cachorro, são quartzitos sericíticos, metaconglomerados, quartzo-sericita xistos e sericita-quartzo xistos em contato transicional na base com a unidade Morro do Cachorro e no topo e lateralmente com os xistos da unidade Rio Mainart. Os quartzitos da unidade Ribeirão Belchior encontram-se em contato tectônico com a unidade Morro do Cachorro pela falha Itacolomi.

- Unidade Rio Mainart: sericita-quartzo xistos, quartzo-sericita xistos, cianita- quartzo-sericita xistos, quartzo-clorita-sericita xistos, granada-quartzo-clorita-sericita xistos, filitos prateados, filitos carbonosos e filitos granatíferos. Esta unidade ocorre em contato tectônico com a Formação Saramenha, sendo este o motivo de sua diferenciação, apresenta características descritivas semelhantes à Formação Saramenha do Grupo Sabará. Essa unidade engloba lateralmente as unidades Ribeirão Belchior e Pico do Itacolomi e encerra o levantamento apresentando continuidade para leste da serra do Itacolomi para além do que foi levantado no perfil colunar estratigráfico B (PCE-B).

- Unidade Pico do Itacolomi: São quartzitos sericíticos de maturidade textural superior quando comparada as demais unidades quartzíticas, o teor de sericita também é maior de uma forma geral. O grau de seleção é moderado a baixo, com granulação predominante média, porém chegando a fina e a grossa. Ocorrem estratificações cruzadas acanaladas, tabulares e plano paralelas, sendo a primeira predominante. Em alguns locais as acanaladas apresentam geometria sigmoidal, os estratos são principalmente de pequeno porte, de médio porte também são observados. Truncamentos nos estratos são constantes. São observadas superfícies de reativação e *mud drapes* no topo das estratificações e também internamente a essas. Esta unidade grada para a un. Rio Mainart no topo do perfil.

Os dados estruturais tiveram influência na subdivisão do grupo, pois certos contatos são tectônicos pela falha Itacolomi. É possível que haja correspondência de caráter litológico entre a unidade Rio Mainart e a Formação Saramenha e entre as unidades Morro do Cachorro e Ribeirão Belchior, contudo, não se sabe ao certo o deslocamento da falha Itacolomi, logo as unidades foram diferenciadas. Sugere-se que as unidades sejam caracterizadas como formações pertencentes ao Grupo Itacolomi (Tabela 8.1).

**Tabela 8.1:** Resumo da descrição das unidades definidas por formações do Grupo Itacolomi.

	Formação	Litotipo	Espessura (m) medida
Grupo Itacolomi	Pico do Itacolomi	Quartzitos finos a médios, moderadamente selecionados, com estratificação cruzada de pequeno a médio porte, estratificação cruzada sigmoidal, superfícies de reativação com <i>mud drapes</i>	485
	Rio Mainart	Xistos moderadamente selecionados com estratificação plano paralela	700
	Ribeirão Belchior	Quartzitos médios a grossos, mal selecionados, níveis com estratificação cruzada normal de pequeno a médio porte, ocorrem níveis de metaconglomerado	670
	Morro do Cachorro	Quartzitos médios a grossos e metaconglomerados, mal selecionados, com estratificação cruzada normal de pequeno a médio porte	1050

### 8.3 ARCABOUÇO ESTRUTURAL

O mapeamento geológico litoestrutural, focado na análise de vorticidade e controle do critério geopetal, com auxílio da análise de mapas geofísicos e imagens de radar, permitiu diferenciar blocos com características estruturais distintas na área de estudo. A porção norte da área está inserida no

contexto estrutural do flanco inverso do sinclinal Santa Rita, percebe-se pela sequência invertida observado em alguns perfis FI e pela vorticidade anti-horária. O flanco inverso do sinclinal Santa Rita foi seccionado pela falha de Água Quente, estrutura a norte, não inserida na área de estudo, que possui vorticidade horária, expressa pela  $vH^\circ$  de sua zona de influência (da FAQ) no perfil FI-1.

No domínio dos quartzitos da serra do Itacolomi, dois blocos são separados pela falha Itacolomi (FIT), foi realizado o levantamento a fim de caracterizar o empilhamento estratigráfico, os produtos foram duas colunas estratigráficas (Apêndices III e IV). A FIT secciona e cavalga a Formação Saramenha, colocando-a em contato tectônico com a unidade sobrejacente e possivelmente cronocorrelata, a unidade Rio Mainart. Contato pela falha Itacolomi também ocorre entre as unidades Morro do Cachorro e Ribeirão Belchior. Nos dois casos citados, apesar da semelhança litológica entre as unidades em contato por falha, não se sabe ao certo suas correlações em termos deposicionais, pois não foi possível precisar, nesse trabalho, o deslocamento/rejeito da falha Itacolomi, sendo necessários estudos de maior detalhe nesse aspecto para estabelecer as correlações. Em função dessa compartimentação estrutural, um levantamento estratigráfico foi realizado no bloco da lapa e outro na capa, a fim de confirmar as relações de vorticidade e a sucessão estratigráfica de cada bloco.

Os dados dos levantamentos estratigráficos e do mapeamento litoestrutural evidenciam uma xistosidade ( $S_2$ ) penetrativa e oblíqua ao acamamento e amplamente verificada em todas as unidades e litologias da região em estudo. Os dados tratados em estereogramas identificam a interseção do acamamento com a xistosidade em uma lineação de interseção de atitude em torno de 120/14, subparalela à lineação mineral e de estiramento de seixos descritas por Ferreira-Filho & Lazzarin (1993) e também analisadas neste trabalho, representando lineações do tipo “b”.

A vorticidade dada pela relação geométrica entre o acamamento e a xistosidade apresenta rotação horária no bloco da lapa da falha Itacolomi (domínio 1) e o topo das estruturas geopetais inferindo sucessão estratigráfica normal. O que relaciona essa região a posição “Z sobre Z” de um mega-redobramento (Endo 1997).

O bloco da capa (domínio 2) da falha Itacolomi apresenta vorticidade anti-horária e a sucessão estratigráfica encontra-se em posição normal, evidenciada pelos critérios de estruturas geopetais. O bloco estaria então, inserido estruturalmente em uma posição “S sobre S” de um mega-redobramento (Endo 1997).

Os blocos estruturais citados fazem parte desse mega-redobramento e foram justapostos pela falha Itacolomi, falha de empurrão com movimento dirigido de NNE para SSW gerador de uma xistosidade localizada em uma zona restrita de deformação, de vorticidade horária que caracteriza a zona de interferência da falha. A FIT é uma estrutura associada a falha de Água Quente, sendo um

desmembramento defletido da mesma. Todo esse sistema descrito foi deformado na nucleação do sinclinal Dom Bosco/sinforme Itacolomi, tal evento deformacional é explicitado graficamente em padrão de guirlanda em todos os estereogramas planares por um auto vetor em torno de 120/20, subparalelo às lineações de interseção e de estiramento mineral.

Em relação ao sistema de falhas de empurrão na porção oriental do sinclinal Dom Bosco (SDB), setor onde a área de estudo está inserida, infere-se, a partir dos dados adquiridos nesse trabalho, que a manifestação das falhas de empurrão está associada à falha de Água Quente e tiveram seu processo de formação semelhante à falha Itacolomi, ou seja, anteriores à nucleação do sinclinal Dom Bosco. O traçado curvo e côncavo para E das diversas falhas é o produto do posterior dobramento, descrito no presente estudo como  $F_3$ . Portanto as falhas se originaram anteriormente ao sinclinal Dom Bosco e foram dobradas na sua nucleação, sendo essa a razão pela qual a falha Itacolomi mergulha para sul na sua porção norte e para norte na sua porção sul. Essa descrição corrobora a interpretação de Alkmim (1985) que sugere que as falhas eram originalmente planas e articuladas à um descolamento basal e foram dobradas na nucleação do SDB. Porém, o autor associa esse descolamento à falha do Engenho, estrutura a sul da serra do Itacolomi, contrapondo-se ao modelo proposto neste estudo, em que o descolamento é associado à falha de Água Quente.

Chemale Jr *et al.* (1991), Ribeiro & Alkmim (1997) e Rolim & Alkmim (2004) interpretam uma lineação mineral do tipo “a” que aponta transporte tectônico de ESE para WNW, como a cinemática responsável pela formação desse sistema de falhas de empurrão em calha sinclinória descrito como “falhas em forma de canoa”. Os dados do presente estudo divergem dessa interpretação. A paralelidade das lineações minerais e de estiramento com a lineação de interseção, infere que as lineações minerais são do tipo “b”, perpendiculares à direção de transporte tectônico, ou seja, a cinemática é, portanto, de NNE para SSW.

Nos termos da evolução geológica apresentados no item 7.12 - modelo de evolução estrutural apresenta-se abaixo a Tabela 8.2, sintetizando a proposta cronológica dos eventos tectônicos que atuaram na região da serra do Itacolomi.

**Tabela 8.2:** Tabela resumo com proposta de cronologia dos eventos tectônicos.

<b>Fases</b>	<b>Regime tectônico</b>	<b>Processos e produtos tectônicos</b>	<b>Possíveis correlações</b>
F <sub>5</sub>	Compressional	Fase de faturamento crustal gerador de fraturas rúpteis	Neocenozóico e/ou neotectônicas
F <sub>4</sub>	Compressional	Evento tectono-metamórfico vergente para W, gerador da clivagem de crenulação S <sub>3</sub> e lineação de crenulação de direção N-S, responsável pelo basculamento das estruturas anteriores para E	Orogênese Brasileira
F <sub>3</sub>	Compressional	Evento tectono-metamórfico com vergência para N, com nucleação do sinforme Itacolomi/Dom Bosco e rotação da xistosidade S <sub>2</sub>	Orogênese Brasileira
E <sub>1</sub>	Extensional	Injeção de diques máficos de direção NW-SE	Tafrogênese Estateriana
F <sub>2</sub>	Compressional	Redobramento dúctil progressivo coaxial da F <sub>1</sub> gerador da xistosidade S <sub>2</sub> . Instauração da falha Itacolomi	Orogênese Transamazônica
F <sub>1</sub>	Compressional	Evento tectono-metamórfico com vergência para SSW com geração da <i>nappe</i> Ouro Preto	Orogênese Transamazônica

## CAPÍTULO 9

### CONCLUSÕES

---

As contribuições desse estudo vieram a partir da escala de trabalho, adentrar-se no detalhe permitiu identificar relações e estruturas não contempladas em escalas regionais.

Os resultados alcançados nesse estudo pelo mapeamento litoestrutural, levantamento estratigráfico e aplicação de métodos geofísicos propõe uma expressão acerca do arcabouço geológico estratigráfico e estrutural da serra do Itacolomi e teve seus objetivos contemplados.

#### 9.1 ESTRATIGRAFIA

A principal contribuição em relação a estratigrafia foram os perfis colunares levantados, que a partir de sua descrição e discriminação dos litotipos permitiu delimitar diferentes unidades litoestratigráficas na serra do Itacolomi, estimar suas espessuras e recharacterizar suas relações de contato como predominantemente gradacionais. As discussões em relação ao modelo estratigráfico do Grupo Itacolomi corroboram a precedente vinculação com Grupo Sabará, com uma possível rediscussão de seu posicionamento na coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero e da caracterização de suas unidades.

#### 9.2 ARCABOUÇO ESTRUTURAL

Acerca do arcabouço estrutural foram identificadas seis fases de deformação. Os dados da análise topológica para terrenos polideformados corroboram a hipótese de que a sucessão estratigráfica de quartzitos e xistos do Grupo Itacolomi na região da serra encontram-se, estruturalmente, em uma megadobra recumbente com fechamento em antiforme situado a sul do Pico, redobrada e seccionada pela falha Itacolomi que justapôs flancos de diferentes posicionamentos estruturais.

Os resultados estruturais possuem implicações estratigráficas, os blocos da lapa e capa da falha Itacolomi apresentam características distintas e o posicionamento estratigráfico de um em relação ao outro não é claro. As quatro unidades para o Grupo Itacolomi foram definidas segundo suas características litofaciológicas, pelos contatos gradacionais e tectônicos pela falha Itacolomi.

#### 9.3 APLICAÇÃO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS

Os dados relacionados à aplicação de métodos geofísicos tiveram contribuição inegável ao mapeamento geológico permitindo observar por outro aspecto o arcabouço litoestrutural. A magnetometria auxiliou a interpretação das grandes estruturas e suas direções, bem como na estimativa da profundidade do embasamento. Litologicamente, pela magnetometria foi possível identificar quartzitos com maior teor de minerais magnéticos e delimitá-los no mapa geológico final. A radiometria obteve respostas contundentes para a diferenciação das unidades do Grupo Itacolomi

determinadas no mapeamento e no levantamento estratigráfico, assim como na demarcação dos contatos.

## Referências bibliográficas

---

- Alkmim F.F. & Marshak S. 1998. Transamazonian orogeny in the Southern Sao Francisco craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, **90**:29-58.
- Alkmim F. F. 1985. *Sedimentologische, lithostratigraphische und tektonische Untersuchungen in der Serra de Ouro Branco, Minas Gerais, Brasilien*. PhD Thesis, Technischen Universität Clausthal, Clausthal, 217p.
- Alkmim F.F. 1987. Modelo deposicional para a seqüência de metassedimentos da Serra de Ouro Branco, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: SBG, Núcleo Minas Gerais, *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, **6**:47-68.
- Almeida F. F. M. 1977. O Cráton de São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*. São Paulo, **7**(4): 349-364.
- Almeida L. G., Castro P.T. A., Endo I., Fonseca M.A. 2005. O Grupo Sabará no sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero: Uma Revisão Estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências* **32**(2):177-186.
- Almeida L. G., Endo I., Fonseca M. A. 2002. Sistema de nappes na porção meridional do Quadrilátero Ferrífero, MG. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 41, João Pessoa, *Anais*, p. 615
- Almeida L. G., Oliveira D. J., Endo I. 2001. O arcabouço estratigráfico estrutural da região de Dom Bosco/Bela Vista, Quadrilátero Ferrífero, como manifestação da orogênese Minas com polaridade tectônica para sudoeste. In: SBG, Simpósio de Geologia de Minas Gerais, Belo Horizonte/ Núcleo Minas Gerais. *Anais*, arquivo eletrônico.
- Almeida L. G. 2004. *Estratigrafia e geologia estrutural da porção central do sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais*. Dissertação de mestrado, Dep. de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto, 109 p.
- Altermann W. & Corcoran P. (Eds.). 2009. *Precambrian sedimentary environments: a modern approach to ancient depositional systems* (Vol. 18). John Wiley & Sons.
- Alvarenga J.P.M. 2013. *Petrografia e geocronologia do quartzito Furquim, uma possível extensão oriental do Grupo Itacolomi na região sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Monografia (Graduação em Engenharia Geológica), Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 38p.
- Angeli G. 2016. *Arcabouço estrutural e contribuição à estratigrafia do Grupo Maquiné, Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais*. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 102p.
- Babinski M., Chemale F. Jr., Schumus W. R. 1995. The Pb/Pb age of the Minas Supergroup carbonate rocks, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Precambrian Research*. **72**:235-245.
- Barbosa A. L. M. 1968. *Contribuições recentes à Geologia do Quadrilátero Ferrífero*. Ouro Preto, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 68p.
- Barbosa A. L. 1969a. *Mapa geológico das quadriculas de Ouro Preto e Santa Rita de Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil*. Washington, USGS/ DNPM. *Professional Paper* 641-A, plate 9
- Barbosa A. L. 1969b. *Mapa geológico das quadriculas de Mariana e Rio de Bandeiras, Minas Gerais, Brazil*. Washington, USGS/DNPM. *Professional Paper* 641-A, plate 10
- Barbosa L. H. C. *et al.* 2017. A falha Itacolomi: uma nova estrutura do Quadrilátero Ferrífero. In: Geosudeste 15, Diamantina, *Anais*.
- Barbosa M. S. C. 2003. Notas de aula de geofísica DEGEO-UFOP.
- Barbosa V.C.F. & Silva J.B.C. 2005. Deconvolução de Euler: passado, presente e futuro – um tutorial. *Revista Brasileira de Geofísica*, **23**(3): 243-250.
- Barbosa O. 1949. Contribuição à geologia do centro de Minas Gerais. *Mineração e Metalurgia*, **14**(79): 3-19.
- Bhattacharya J. P. 2010. Delta. In: James N. P. & Dalrymple R. W. (Eds.), *Facies Models* 4, p. 233-264.
- Bragante-Filho M. A. no prelo. *Caracterização dos condicionantes geológicos de formação de cavidades em quartzitos do Grupo Itacolomi: estudo de caso da Gruta Kiva – Ouro Preto – MG*. Trabalho de Graduação, Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.

- Brajnikov B. 1949. Remarques sur la geologie de la municipalité D'Ouro Preto. *Ver. Escola de Minas*, Anno XIV, Ouro Preto, 6:9-19.
- Busk H. G. 1929. *Earth Flexures*. Cambridge University Press, Cambridge, 106p.
- Chemale Jr. F., Rosière C. A. & Endo I. 1991. Evolução Tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais – Um Modelo. *Pesquisas*, 18(2): 104-127.
- CODEMIG – COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONOMICO DE MINAS GERAIS. 2005. Geologia do Quadrilátero Ferrífero Integração e correção cartográfica em SIG.
- CODEMIG – COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONOMICO DE MINAS GERAIS. <http://www.codemig.com.br/atuacao/mineracao/levantamento-aerogeofisico/programa-2001/> acesso em 30/04/2018
- Costa M.T. 1961. Sedimentação e Orogênese da Série Minas. *Boletim da Sociedade de Intercâmbio Cultural e Estudos Geológicos-SICEG*, 1:55-61.
- Davies N. S. & Gibling M. R. 2010. Cambrian to Devonian evolution of alluvial systems: the sedimentological impact of the earliest land plants. *Earth-Science Reviews*, 98(3-4), 171-200.
- Dorr II J.V.N. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil. Washington, USGS/ DNPM. *Professional Paper*. 641(A):110 p
- Dorr II J.V.N., Herz N., Barbosa A.L.M., Simmons G.C. 1961. Esboço geológico do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais Brasil: Brazil Departamento Nacional de Produção Mineral. Publicação Especial. 120 p.
- Dutra A. P. S. 2015. *Análise geológica-geofísica do depósito Cenozóico Lagoa das Codornas, porção centro-norte do sinclinal Moeda, QFe, MG*. Trabalho de Graduação, Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
- Endo I. 1997. *Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes, Minas Gerais*. PhD Thesis. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 328 p.
- Endo I. 2003. Estratigrafia e arcabouço estrutural da região do Pico do Engenho e adjacências, município de Congonhas, MG. *Projeto Congonhas*. Universidade Federal de Ouro Preto, 37 p.
- Endo I. no prelo. A nova teoria de evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero.
- Endo I, Oliveira A. H., Peres G. G., Guimaraes M. L. V., Lagoeiro L. E., Machado R., Zavaglia. G., Rosas C. F. Melo R. J. 2005. Nappe Curral: Uma megaestrutura alóctone do Quadrilátero Ferrífero e controle da mineralização. *In: X Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos / IV International Symposium on Tectonics*, Curitiba. *Boletim de Resumos Expandidos*, p. 279-282.
- Eriksson P. G. *et al.* 2001. An introduction to Precambrian basins: their characteristics and genesis. *Sedimentary Geology*, 141, 1-35.
- Farina F., Albert C., Dopico C.M., Gil C.A., Moreira H., Hippertt J.P., Cutts K., Alkmim F.F., Lana C. 2016. The Archean – Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Brasil): Current models and open quesitos. *Journal of Sul American Earth Sciences*, 68:4-21.
- Ferreira-Filho F.A. & Lazarin H.A. 1993. Caracterização Litoestrutural e Geomorfológica da Região do Pico do Itacolomi, Ouro Preto. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Trabalho Geológico, 83p
- Ferreira F F. A. 1999. *Análise Estrutural Qualitativa do Sistema de Falhas de Água Quente, Borda Leste do Quadrilátero Ferrífero, MG*. MS Dissertation, Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 162p.
- ForesGis. Banco de dados espaciais de drenagens e rodovias. Disponível em: <http://forest-gis.com/2009/04/base-de-dados-shapefile-do-brasil-todo.html/>. Acesso em 07 de Janeiro de 2018
- Glair J.E. 1958. The Sabará Formation. *In: SBG, Symposium on Stratigraphy of Minas Series in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*, p.68-69.

- Glöckner R.H. 1981. Lithostratigraphie, sedimentologie, tektonik und metamorphose der proterozoischen Itacolomi Serie bei Ouro Preto, Minas Gerais, Brasilien. *Clauth. Geowiss. Diss.*, 10: 221 p.
- Gonçalves L. E. da S. & Costa J. C. M. de O. 2007. *Estratigrafia e geologia estrutural da porção meridional do quadrilátero ferrífero, mg: ortofotocarta 42-18-03 (ESCALA 1:10000)*. Trabalho de Graduação, Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
- Guimarães D. 1931. Contribuição à geologia do estado de Minas Gerais. *Boletim DNPM/SGMB*, **55**: 36p.
- Gudmundsson A. 1990. Emplacement of dikes, sills and crustal magma chambers at divergent plate boundaries. *Tectonophysics*, **176**(3-4), 257-275.
- Harder E.C. & Chamberlain R.T.A. 1915. The geology of central Minas Gerais, Brazil. *Journal of Geology*, **23**(4):341-378.
- Hartmann L.A., Endo I., Suita M.T.F., Santos J.O.S., Frantz J.C., Carneiro M.A., McNaughton N.J., Barley M.E. 2006. Provenance and age delimitation of Quadrilátero Ferrífero sandstones based on zircon U-Pb isotopes. *Jour. South Am. Earth Sci.*
- Homberg C., Hu J. C., Angelier J., Bergerat F., & Lacombe O. 1997. Characterization of stress perturbations near major fault zones: insights from 2-D distinct-element numerical modelling and field studies (Jura mountains). *Journal of Structural Geology*, **19**(5), 703-718.
- IEF 2007. Plano de manejo do Parque Estadual do Itacolomi. Encarte 1 – Diagnóstico do parque. Belo Horizonte, 90p.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Catálogo de Imagens. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acessado em: 11 out 2016.
- Jordt-Evangelista H., Alvarenga J. P. M. & Lana C. 2015. Petrography and geochronology of the Furquim Quartzite, an eastern extension of the Itacolomi Group (Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais). *Rem: Revista Escola de Minas*, **68**(4), 393-399.
- Kearey P., Brooks M., Hill I. 2009. *Geofísica de exploração*. Oficina de Textos, São Paulo, 438 p.
- Lacourt F. 1947. Resumo da geologia da folha de Ouro Preto. *Anais da Escola de Minas*, **28**:103-139.
- Ladeira E. A. 1980. *Metallogenesis of gold at the Morro Velho mine and in the Nova Lima district, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. PhD. thesis, University of Western Ontario, Canadá, Ontario. 272 p.
- Lasa Engenharia e Prospecções S.A. 2001. Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos. Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais, Área 2. Projeto Pitangui-São João Del Rey-Ipatinga. Volume I, *Texto técnico*.
- Loczy L., & Ladeira E. A. 1976. *Geologia estrutural e introdução à geotectônica*. Editora E. Blücher.
- Lowrie W. 2007. *Fundamentals of geophysics*. Cambridge university press.
- Machado N., Noce C. M., Ladeira E. A., & De Oliveira O. B. 1992. U-Pb geochronology of Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco craton, Brazil. *Geological Society of America Bulletin*, **104**(9), 1221-1227.
- Machado N., Schrank A., Noce C.M., Galthier G. 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 Planet. Sci.Lett.*, **141**:259-276.
- Marshak S. & Mitra G. (Eds.). 1988. *Basic methods of structural geology*. Pearson.
- Massa G. F. 2017. *Nappe de maquiné revisitada, quadrilátero ferrífero, minas gerais: uma hipótese sobre a sua estruturação*. Trabalho de Graduação, Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
- Maxwell C. H. 1960. Mapa Geológico da Quadrícula Capanema, Minas Gerais. Washington, USGS/DNPM. *Professional Paper* 341J, 73 p.
- Maxwell C.H. 1972. Geology and ore deposits of the Alegria District, Minas Gerais, Brazil. Antônio dos Santos, Gongo Sôco, and Conceição do Rio Acima quadrangles, Minas Gerais, Brazil. USGS, *Professional Paper* 341-J, 72 p.
- Mendes Josué Camargo. 1984. *Elementos de estratigrafia*. TA Queiroz;

- Miall A. D. 1977. A review of the braided-river depositional environment. *Earth-Science Review*, **13**: 1-62.
- Milsom J. 2007. *Field geophysics* (Vol. 25). John Wiley and Sons.
- Noce C.M. 1995. *Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. PhD thesis, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 128 p.
- Orton G.J. & Reading H.G. 1993. Variability of deltaic processes in terms of sediment supply, with particular emphasis on grain size. *Sedimentology*, **40**: 475–512. In: WALKER, R. G. & JAMES, N. P. (Eds.), *Facies models: response to sea level change*, Canadá, Geological Association of Canada, 409p.
- Ostanello M.C.P. 2012. *Patrimônio geológico do Parque Estadual do Itacolomi (Quadrilátero Ferrífero, MG): inventariação e análise de lugares de interesse geológicos e trilhas geoturísticas*. Dissertation, Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 229p.
- Passchier C. W. & Williams P. R. 1996. Conflicting shear sense indicators in shear zones; the problem of non-ideal sections. *Journal of Structural Geology*, **18**(10), 1281-1284.
- Pericon H.Z. & Quemeneur J.J.G. 1982. Tectônica de Napes e Séries Transgressivas no Quadrilátero Ferrífero. In: *32º Congresso Brasileiro de Geologia*, Salvador. p. 153-167.
- Petri S., Coimbra A. M., Amaral G., Ojeda H. O. Y., Fúlfaro V. J., Ponçano W. L. 1986. Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica. Guia de Nomenclatura Estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências*, **16**(4), 370-415.
- Ramsay J. G. 1967. *Folding and fracturing of rocks*. Mc Graw Hill Book Company, 568 p.
- Ramsay J.G. & Huber M.I. 1987. *The Techniques of Modern Structural Geology. Volume 2: Folds and Fractures*. Elsevier Science, 391 p.
- Reid A. B., Allsop J. M., Granser H., Millet A. J., Somerton I. W. 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics*, **55**: 88-91.
- Reineck H. E., & Singh I. B. 1980. *Depositional Sedimentary Environments, with Reference to Terrigenous Clastics*. Second, revised and updated edition. Berlin, Heidelberg and New York: Springer-Verlag.
- Renger F.E., Noce C.M., Romano A.W., Machado N. 1994. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*, **2**:1-11.
- Ribeiro F.M. & Alkmim F.F. 1997. O sistema de falhas de empurrão do Sinclinal de Dom Bosco, porção sul do Quadrilátero Ferrífero (MG), em modelagens físicas 3D. In: SBG, 9º Simpósio de Geologia de Minas Gerais p.74-76.
- Rolim V. K. & Alkmim F. F. (2004). 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), 295-302.
- Rossi D. Q. 2014. *Estratigrafia e arcabouço estrutural da região de Fábrica Nova, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 105p.
- Schumm, S. A. 1968. Speculations concerning paleohydrologic controls of terrestrial sedimentation. *Geological Society of America Bulletin*, **79**(11), 1573-1588.
- Silva A. M., Chemale Jr F., Kuyumjian R. M., & Heaman L. 1995. Mafic dyke swarms of Quadrilátero Ferrífero and Southern Espinhaço, Minas Gerais, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, **25**(2), 124-137.
- Silva G. M. 2015. *Análise geofísica do distrito diamantífero Abaeté (MG) e de suas possíveis fontes primárias*. Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Tese de doutoramento, 120p.
- Simmons G. C., Branco J. J. R., Maxwell C. H. 1961. Grupo Tamanduá da série Rio das Velhas [portug.]. *Serviço gráf. do Inst. brasileiro de geografia e estatística*.
- Telford W.M., Geldart L.P., Sheriff R.E., Keys D.A. 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, Cambridge, 770 p.

- Thompson D.T. 1982. EULDPH. A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, **47**: 31-37.
- USGS. 2018. Imagem Raster, Disponível em: <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM>. Acesso em 05 de Janeiro de 2018.
- Walker R. G. & James, N. P. 1992. *Facies models: response to sea-level change*. Geological Association of Canada, Geotext, 1, 409.
- Xypolias 2010. Vorticity analysis in shear zones: A review of methods and applications *Journal of Structural Geology*. **32** 2072:2092



**Anexo I – Pôster: A Falha Itacolomi - Geosudeste 2017**

---



## **Apêndice I - Mapa Geológico**

---



## **Apêndice II – Perfil Geológico**

---



## **Apêndice III – Perfil Colunar Estratigráfico L**

---



## **Apêndice IV – Perfil Colunar Estratigráfico B**

---



## **Apêndice V – Tabela de Mapeamento Litoestrutural**

---



## **Apêndice VI – Tabela do Levantamento Estratigráfico**

---



## **Apêndice VII – Mapa de Pontos**

---