



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



MONOGRAFIA DO TRABALHO DE
CONCLUSÃO DE CURSO

ESTUDO DA GEOFÍSICA E DO ARCABOUÇO ESTRUTURAL DA REGIÃO SUL DA
MINA DE FAZENDÃO, CATAS ALTAS, MG

Letícia Pereira Araujo

Ouro Preto, Julho de 2018

**ESTUDO DA GEOFÍSICA E DO ARCABOUÇO ESTRUTURAL
DA REGIÃO SUL DA MINA DE FAZENDÃO, CATAS ALTAS,
MG**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

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

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof.^a Dr.^a Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. Issamu Endo

Vice-Diretor

Prof. Hernani Mota de Lima

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Dr. Marco Antônio Fonseca

MONOGRAFIA

Nº 284

ESTUDO DA GEOFÍSICA E DO ARCABOUÇO ESTRUTURAL DA REGIÃO SUL DA MINA DE FAZENDÃO, CATAS ALTAS, MG

Letícia Pereira Araujo

Orientador

Prof. Dr. Issamu Endo

Co-Orientadora

Prof.^a Dr.^a Maria Silvia 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 400, ano 2018/1.

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: Issamu Endo

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

A663e Araujo, Leticia Pereira.
Estudo da geofísica e do arcabouço estrutural da região sul da Mina de
Fazendão, Catas Altas, MG [manuscrito] / Leticia Pereira Araujo. - 2018.

108f.: il.: color; grafis; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Issamu Endo.
Coorientador: Profa. Dra. Maria Silvia Carvalho Barbosa.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de
Minas. Departamento de Geologia.

1. Geofísica. 2. Geologia estrutural. 3. Quadrilátero Ferrífero (MG). I.
Endo, Issamu. II. Barbosa, Maria Silvia Carvalho. III. Universidade Federal de
Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 551.243:550.3

Catálogo: ficha@sisbin.ufop.br

Ficha de Aprovação

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Estudo da Geofísica e do Arcabouço Estrutural da Região Sul da Mina de Fazendão, Catas Altas, MG

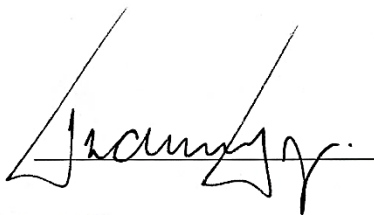
AUTORA: LETÍCIA PEREIRA ARAUJO

ORIENTADOR: Prof. Dr. Issamu Endo

Aprovada em: 17 de julho de 2018

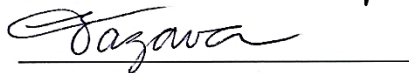
BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Issamu Endo



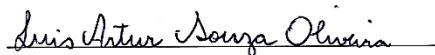
DEGEO/UFOP

Prof. MSc. Edison Tazava



DEGEO/UFOP

Luis Artur Souza Oliveira



DEGEO/UFOP

Ouro Preto, 17/07/2018

Agradecimentos

Agradeço à minha amada família por todo apoio durante toda a minha graduação, em especial aos meus pais, que são minha fonte de amor, força e por terem se abdicado dos seus sonhos para transformar o meu em realidade. À minha amada irmã Débora que sempre foi meu guia e exemplo de pessoa e profissional, que sempre me apoiou e ajudou, e que junto dos meus pais é responsável pela pessoa que me tornei. Aos meus sobrinhos Bruno, Bruna, Clara, Valentina e Nicolas, que são o meu manto de carinho e inspiração. A todos os meus familiares Bete, Ariane e Filipe pelo apoio incondicional.

Ao meu grande amor Roberto, que durante toda a minha graduação esteve ao meu lado me apoiando com tanto amor e dedicação. A essa pessoa que me ajuda, me dá conselhos e sempre participa de todos os momentos da minha vida e que durante o tempo do TCC não foi diferente, com toda paciência e carinho esteve ao meu lado.

Aos amigos de Juiz de Fora, Deliane, Rose e Katia. Aos meus amigos da geologia, de Ouro Preto, do Aikido, em especial ao Ronan, Marquinhos, Alessandra e Rafael por todo apoio durante o meu trabalho e também por toda amizade e companheirismo durante todo o curso.

À minha família República Seleta, seus atuais moradores, ex-alunos e homenageados, que me receberam como uma família e com tanto carinho fazem parte da minha vida, e me mostraram que ser Seleta é um sentimento sem igual

À professora Maria Sílvia, pelos ensinamentos, orientação e dedicação e, principalmente, pela sua grandiosidade como ser humano e profissional. Ao professor Issamu pelos ensinamentos e orientação durante o desenvolvimento do meu trabalho.

Aos integrantes da minha banca de TCC, professor Tazava e ao mestrando Luis Artur, por dedicarem seu tempo na correção do meu trabalho, tornando-o ainda melhor.

A todos da Vale, que contribuíram cada um de alguma forma para o meu crescimento pessoal e profissional, em especial aos geólogos Guilherme, Adilson e Gleisson.

Por fim, agradeço ao Departamento de Geologia, à Escola de Minas, à Universidade Federal de Ouro Preto e à Fundação Gorceix, por terem me proporcionado um ensino público superior de qualidade durante toda a minha graduação.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	LOCALIZAÇÃO	1
1.2	OBJETIVOS	2
1.3	JUSTIFICATIVA.....	3
1.4	METODOLOGIA	4
1.4.1	Levantamento Litoestrutural e Tratamentos dos Dados de Campo.....	4
1.4.2	Análise Geofísica.....	4
2	GEOLOGIA REGIONAL	1
2.1	ESTRATIGRAFIA	1
2.2	ARCABOUÇO ESTRUTURAL E CONTEXTO GEOTECTÔNICO.....	5
3	GEOLOGIA LOCAL	1
3.1	INTRODUÇÃO	1
3.2	BREVE HISTÓRICO	2
3.3	LINEAMENTOS MORFOESTRUTURAIS	4
3.4	ESTRATIGRAFIA	6
3.4.1	Supergrupo Rio das Velhas	7
3.4.2	Supergrupo Minas.....	7
3.5	PERFIS GEOLÓGICOS	12
4	MÉTODOS GEOFÍSICOS	1
4.1	MAGNETOMETRIA.....	1
4.1.1	Campo Magnético da Terra.....	2
4.1.2	Magnetização das Rochas	2
4.1.3	Anomalias Magnéticas.....	3
4.1.4	Aerolevantamento.....	3
4.1.5	Deconvolução de Euler	5
4.2	RADIOMETRIA.....	6
5	ANÁLISE QUALITATIVA	1
5.1	BANCO DE DADOS	1
5.2	METODOLOGIA	4
5.3	ANÁLISE MAGNETOMÉTRICA.....	5

5.4 ANÁLISE RADIOMÉTRICA.....	10
5.5 INTEGRAÇÃO GEOLÓGICA-GEOFÍSICA	15
5.5.1 MAGNETOMETRIA	15
5.5.2 RADIOMETRIA	17
6 ANÁLISE QUANTITATIVA	1
6.1 METODOLOGIA	1
6.2 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	3
6.3 VISUALIZAÇÃO EM 3D	6
7 DISCUSSÕES.....	1
7.1 -DISCUSSÃO DOS DADOS DE CAMPO	1
7.1.1 -Lineamentos morfoestruturais	1
7.1.2 Análise Estrutural	1
7.1.3 Análise Geofísica.....	3
7.3- INTEGRAÇÃO GEOLÓGICA-GEOFÍSICA.....	5
8 CONCLUSÕES.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	3
ANEXOS.....	7

INDÍCE DE FIGURAS

Figura 1.1- Localização da Mina de Fazendão com suas vias de acesso.	2
Figura 1.2- Localização da Mina de Fazendão: São Luiz, Tamanduá e Almas.....	3
Figura 2.1 - Mapa com a posição geotectônica do QFe na porção meridional do cráton São Francisco	2
Figura 2.2 - Coluna estratigráfica da região do Quadrilátero Ferrífero, com indicação das idades de cristalização (rochas ígneas) e dos zircões detríticos mais jovens (unidades clásticas).	4
Figura 3.1- Mapa geológico do segmento centro-sul da borda leste do Quadrilátero Ferrífero (.....	2
Figura 3.2- Mapa geológico esquemático do Sinclinal Santa Rita	3
Figura 3.3- Lineamentos morfoestruturais adjacentes a Mina de Fazendão na Serra do Caraça (A) Lineamentos das fraturas ao norte. (B) Lineamentos das fraturas ao sul.	5
Figura 3.4 - (A) Roseta referente aos lineamentos da porção norte e (B) Roseta referente aos lineamentos da porção sul.	5
Figura 3.5 - Mapa litológico e estrutural com a área da Mina de Fazendão.....	6
Figura 3.6- Seção geológica vertical típica da Mina de Fazendão Sul	11
Figura 3.7 - Foto original e foto com a interpretação da dobra no banco 970 norte.	12
Figura 3.8- Localização dos perfis 1, 2, 3 e 4 na área da mina.....	13
Figura 3.9 - Perfil 1 esquemático representativo do banco 940 m.....	14
Figura 3.10 - Os estereogramas apresentam (A) a direção preferencial do acamamento, (B) direção preferencial da xistosidade e (C) direção preferencial de todas as feições (acamamento-círculos maiores, xistosidade- círculos menores) e a interação desta com a lineação mineral da rocha (x).	15
Figura 3.11 - (A) Foto da hematita aluminosa (HAL) e o dobramento que ocorre em sua estrutura. (B) Foto do itabirito friável (IF) com um eixo de dobra (com caimento evidenciado pela seta vermelha) e suas estruturas dobradas.	16
Figura 3.12 - Perfil 2 esquemático representativo do banco 930m (itabiritos e hematititos da Formação Cauê, Grupo Piracicaba). As dobras e a zona de charneira estão representadas no perfil esquemático.	17
Figura 3.13 - Os estereogramas apresentam (A) a direção preferencial das feições primárias S0, (B) direção preferencial das feições secundária S1 e (C) direção preferencial de todas as feições (acamamento-círculos maiores, xistosidade- círculos menores) e a interação desta com a lineação mineral (losangos) da rocha.	18
Figura 3.14 - (A) Nessa figura observa-se a zona de charneira da hematita goethítica (HGO) e (B) A presença de estruturas em lápis na hematita goethítica (HGO).....	19
Figura 3.15 - Perfil 3 esquemático do banco 970m (itabiritos e hematititos da Formação Cauê, Grupo Piracicaba). As litologias apresentam-se bem dobradas, com uma zona de charneira na canga, veios de quartzo no itabirito rico (IFR), uma dobra bem marcada no itabirito goethítico (IGO) e o filito da Formação Batatal (FB). As direções e sentidos do caimento dos eixos são respectivamente: (1) 80/30 e (2) 90/25.....	20
Figura 3.16 - Os estereogramas apresentam (A) a direção preferencial das feições primárias S0, (B) direção preferencial das feições secundária S1 e (C) direção preferencial de todas as feições (acamamento-círculos maiores, xistosidade- círculos menores) e a interação desta com a lineação mineral (losangos) da rocha.	21
Figura 3.17 - (A) A canga está com a sua estrutura bem dobradas e possui uma zona de charneira evidenciada na foto, (B) Veios de quartzo no itabirito rico (IFR), (C) O itabirito goethítico (IGO) possui uma dobra bem marcada, (D) O filito da Formação Batatal (FB) com cor arroxeadada (E) O filito da Formação Batatal (FB) com cor amarelada, devido a alteração.	22
Figura 3.18 - Perfil 4 esquemático do banco 970 m (itabiritos e hematititos da Formação Cauê, Grupo Piracicaba).	23
Figura 3.19 - Os estereogramas apresentam (A) a direção preferencial das feições primárias S0, (B) direção preferencial das feições secundária S1 e (C) direção preferencial de todas as feições (acamamento-círculos maiores, xistosidade- círculos menores) e a interação desta com a lineação mineral (losangos) da rocha.	24
Figura 3.20- (A) A hematita aluminosa com o seu acamamento em evidência, (B) Hematita finamente foliada com intercalações argilosas com eixos subverticais, indicando a proximidade da zona de charneira e (C) A canga marcada por uma dobra com eixo verticalizado.	25
Figura 5.1 - Mapa litológico	2
Figura 5.2 - Mapa de localização dos aerolevantamentos	3
Figura 5.3 - Imagem esquemática da descrição da metodologia	5

Figura 5.4 - Fluxograma representativo da produção dos mapas temáticos campo anômalo, d	6
Figura 5.5 - Mapa de Magnetofácies sobreposta ao mapa Amplitude do Sinal Analítico.	8
Figura 5.6 - A) Mapa de lineamentos magnetométricos sobreposto ao mapa de Amplitude do Sinal Analítico da área de estudo; e B) Roseta dos lineamentos magnetométricos.....	10
Figura 5.7 - Mapas temáticos radiométricos e Imagem Ternária.....	11
Figura 5.8 - Mapa de radiofácies sobreposta à imagem do canal de tório.....	12
Figura 5.9 - A) Mapa de lineamentos radiométricos sobreposto ao mapa do canal de tório da área de estudo; e B) Roseta dos lineamentos radiométricos.	14
Figura 5.10 - Mapa de magnetofácies sobreposto ao mapa geológico (com trinta por cento de transparência). ...	16
Figura 5.11 - Mapa de radiofácies sobreposto ao mapa geológico (com trinta por cento de transparência).	18
Figura 6.1 - Mapa de Amplitude do Sinal Analítico, com os perfis de direção WE (A) 26 perfis da geofísica regional e (B) 23 perfis da geofísica da área da Mina de Fazendaõ.....	2
Figura 6.2 - Deconvolução de Euler no Perfil 7	3
Figura 6.3 - Deconvolução de Euler no Perfil 12	4
Figura 6.4 - Deconvolução de Euler no Perfil 19	5
Figura 6.5 - Deconvolução de Euler no Perfil 18.1	6
Figura 6.6 - Modelo 3D da área geofísica regional gerado a partir da interpolação (krigagem)	7
Figura 6.7 - Modelo 3D da área geofísica regional gerado a partir da interpolação (krigagem)	7
Figura 6.8 - Modelo 3D da área da região da Mina de Fazedão com o mapa geológico, foi gerado a partir da interpolação (krigagem).....	8
Figura 6.9 - Modelo 3D da área da região da Mina de Fazedão com o mapa geológico, foi gerado a partir da interpolação (krigagem).....	8
Figura 7.1 - (A) O estereograma do acamamento (círculos maiores), xistosidade (círculos menores) e as lineações minerais (x) do perfil 1 e (B) O estereograma do acamamento (círculos maiores), xistosidade (círculos menores) e as lineações minerais (losangos) do perfil 2.	2
Figura 7.2 - (A) O estereograma do acamamento (círculos maiores), xistosidade (círculos menores) e as lineações minerais (losangos) do perfil 3 e (B) O esterograma do acamamento (círculos maiores), xistosidade (círculos menores) e as lineações minerais (losangos) do perfil 4.	2
Figura 7.3 - (A) Imagem da geofísica regional 3D (B) Imagem da geofísica regional 3D mostrando os lineamentos preferenciais nas direções NW, NE, NS e EW.....	4
Figura 7.4 - (1) O mapa de Amplitude do Sinal Analítico e (2) O mapa de Amplitude do Sinal Analítico mostrando a estrutura de duas falhas “A” e “B” em profundidade, as quais não afloram em superfície.	4
Figura 7.5 - (1) Mapa geológico com mapa 3D da mina de Fazendaõ e (2) Mapa geológico com mapa 3D da mina de Fazendaõ com a estrutura.....	5

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1- Filtros de Fourier com respectivas finalidades geofísicas	4
Tabela 4.2- Relação entre índice estrutural e modelos físico e geológico para dados de magnetometria..	6
Tabela 4.3- Conteúdo radioativo das principais rochas ígneas	7
Tabela 4.4- Minerais radioativos	8
Tabela 5.1- Concentrações relativas de Th, U e K das radiofácies interpretadas da área de estudo	13
Tabela 5.2- Correlação entre as magnetofácies e suas unidades geológicas correspondentes	17
Tabela 5.3- Correlação entre as radiofácies e suas unidades geológicas correspondentes	20

Resumo

O Quadrilátero Ferrífero (QFe) é uma região localizada na porção sudeste do Cráton São Francisco e é composto por rochas do embasamento cristalino e três unidades de rochas supracrustais e metassedimentares, presentes no supergrupo Rio das Velhas, supergrupo Minas e grupo Itacolomi. A região estudada foi a mina de Fazendão que está localizada na borda leste do QFe e no flanco oeste da Sinclinal Santa Rita, região central de Minas Gerais. O trabalho foi desenvolvido, mais especificamente, na porção sul da mina onde se encontra um itabirito mais goethítico, hidratado e um hematítico, os quais foram estudados para se entender os motivos da hidratação excessiva desse material. O trabalho iniciou com análise geofísica qualitativa da região, através dos métodos magnetométrico e radiométrico (banco de dados aerolevantados Área 2 da Codemig), os quais possibilitou o entendimento de subsuperfície das falhas que influenciaram a estrutural da área. Posteriormente, estudou-se o arcabouço estrutural da porção norte do sinclinal Santa Rita, através do mapeamento detalhado e da produção de mapas litoestruturais, no intuito de posicionar as unidades geológicas presentes e, assim, contribuir para a sua gênese. Essas etapas, geofísica e geológica, foram integradas e a estruturação da área foi melhor compreendida com a análise quantitativa magnetométrica (deconvolução de Euler). Essa análise permitiu gerar um modelo 3D em subsuperfície da área. Assim, fez-se o estudo da estruturação da Mina de Fazendão e com isso verificou-se a sua contribuição na hidratação excessiva presente na região sul da mina de Fazendão.

Palavras chave: geofísica, geologia estrutural, Quadrilátero ferrífero e Mina de Fazendão.

Abstract

The Quadrilátero Ferrífero is a region located at the Southeastern portion of the São Francisco Craton and it is composed by rocks of crystalline basement and three units of supracrustal and metasedimentary rocks. These rocks are found in the Velhas River and Minas super groups, and also in the Itacolomi group. The region to be studied is the mine of Fazendão, situated in the eastern flank of the Quadrilátero Ferrífero and in the western flank of synclinal Santa Rita, at the central part of Minas Gerais State. This work will be developed more specifically on the southern portion of the mine where there is a more goethytic and hydrated itabirite, and a hematite, which will be studied in order to understand the reasons for excessive hydration of this material. This work will start with a qualitative geophysical analysis of the region using the magnetometric and radiometric methods (aero-lifted database Area 2 and Codemig), which will lead to understand the subsurface of the failures that can influence the area structure. Subsequently, the structural framework of the northern portion of synclinal Santa Rita will be studied by detailed mapping and production of lithostructural maps, intending to position the present geological units and then to contribute to their genesis. Those geophysical and geological steps will be integrated and the structuration of the area will be better comprehended with the quantitative magnetometric analysis (Euler's deconvolution). Such analysis will enable to generate a 3D model in the area subsurface. Therefore, it is expected to understand the structuration of the mine of Fazendão, and then to verify its contribution in the excessive hydration present in the southern part of such mine.

Key words: Geophysics, Structural Geology, Quadrilátero Ferrífero, Fazendão Mine

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

A região estudada se situa na borda leste do Quadrilátero Ferrífero (QFe), na porção sudeste do Cráton São Francisco, no fechamento setentrional da estrutura da Sinclinal de Santa Rita (Dorr 1969). O Quadrilátero Ferrífero é composto por rochas do embasamento cristalino (idade arqueana) e três unidades de rochas supracrustais e metassedimentares, presentes no supergrupo Rio das Velhas (idade arqueana), supergrupo Minas e grupo Itacolomi (ambos com idades Paleoproterozoicas).

Neste estudo pretende-se fazer uma interpretação geológica-estrutural mais detalhada da mina de Fazendão, representada pelas áreas de São Luiz ao sul, Almas na porção central e tamandúá no extremo norte. A mina de Fazendão está posicionada no flanco normal da Sinclinal Santa Rita, associada ao mesmo flanco da mina de Alegria, e já a mina de Fábrica Nova se situa no seu flanco inverso a leste (Relatório Interno).

No presente trabalho será também desenvolvida uma análise geofísica com os métodos magnetométrico e radiométrico, através do banco de dados aerolevantados Área 2 da Codemig (Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais – Área 2 - Pitangui/São João del Rei/Ipatinga, da Secretaria de Estado de Minas e Energia do Governo de Minas Gerais, e realizado pela Lasa Engenharia e Prospecções S.A., entre os anos de 2000 e 2001), os quais irão possibilitar o entendimento de subsuperfície das falhas que podem influenciar a estrutural da área.

1.1 LOCALIZAÇÃO

No complexo de Alegria é onde se situa a mina de Fazendão, área de estudo, além das minas de Alegria, Fábrica Nova e Timbopeba. O complexo está localizado no estado de Minas Gerais, entre os municípios de Ouro Preto, Mariana e Catas Altas, onde a principal via de acesso é pela MG 129 que liga Mariana a Santa Barbara, e está a aproximadamente a 157km da capital Belo Horizonte, cujo os acessos podem ser realizados pela rodovia BR-040, depois se segue pela a rodovia dos Inconfidentes (BR-356) e após passar pelo município de Mariana segue-se pela MG-129 que da acesso até a entrada da mina (Figura 1).

Araujo, L. P. 2018. Estudo da geofísica e do arcabouço estrutural da região sul da Mina de Fazendão, Catas Altas, MG.

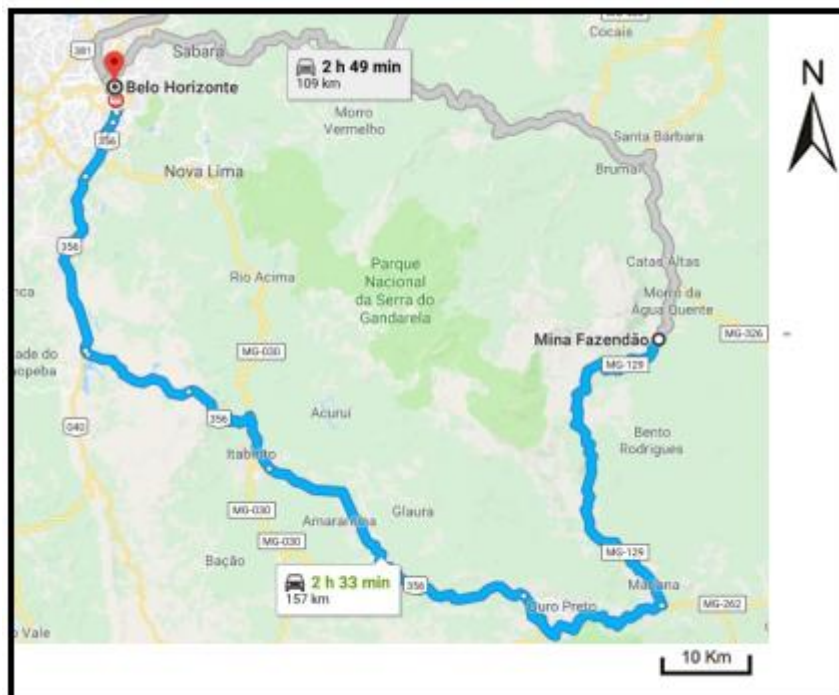


Figura 1.1- Localização da Mina de Fazendão com suas vias de acesso. (Modificado de <https://www.google.com.br/>, acessado em 20/06/18)

1.2 OBJETIVOS

O trabalho proposto tem como objetivo estudar a geofísica-estrutural da porção sul da mina de Fazendão. Esta mina é representada pelas áreas de São Luiz ao sul, Tamanduá na porção central e Almas no extremo norte (Figura 1.2), sendo que o estudo foi realizado, mais especificamente na porção sul da cava de São Luiz, onde se encontra um itabirito mais goethítico e hidratado, e um hematitito, os quais serão estudados com a finalidade de compreender a hidratação excessiva desse material.



Figura 1.2- Localização da Mina de Fazendão: São Luiz, Tamanduá e Almas. (Modificado de <https://www.google.com.br/earth>, acessado em 17/07/18).

Além disso, tem-se como objetivos específicos realizar a confecção de mapas radiométricos e magnetométricos temáticos para a localidade e fazer a análise qualitativa e quantitativa, a fim de contribuir para o aprimoramento do mapeamento geológico e compreensão do arcabouço estrutural da região.

1.3 JUSTIFICATIVA

A justificativa do trabalho está relacionada primeiramente a um maior detalhamento do arcabouço estrutural da porção sul da mina de Fazendão e, conseqüentemente, um maior detalhamento da porção norte da Sinclinal Santa Rita. O estudo contribuirá para um maior entendimento das litologias e estruturas geológicas ali presentes.

Além disso, o estudo geofísico da área ajudará a entender melhor as falhas regionais e as falhas locais, como a falha da Água Quente, que interferem nas feições estruturais presentes na área. Junto com o mapeamento da área que contribuirá com um melhor detalhamento das feições

Araujo, L. P. 2018. Estudo da geofísica e do arcabouço estrutural da região sul da Mina de Fazendão, Catas Altas, MG.

estruturais, presença de dobramentos, litologias e possível gênese de rochas. Assim, haverá uma maior compreensão do arcabouço estrutural da geologia da região.

1.4 METODOLOGIA

A área de estudo foi selecionada devido a presença de um itabirito goethítico e um hematítico com uma hidratação excessiva na porção sul da cava de São Luis, Mina de Fazendão. Com a finalidade de se entender o motivo dessa hidratação excessiva, fez-se um levantamento da bibliografia (com artigos, livros e relatórios internos da empresa Vale S.A.), no intuito de contextualizar a região em função das litologias e estruturas, além de compreender a ocorrência e gênese do depósito.

1.4.1 Levantamento Litoestrutural e Tratamentos dos Dados de Campo

O trabalho desenvolveu-se com o mapeamento de detalhe, na escala de 1:2000, da região sul da mina de Fazendão, além de ter mapeado o banco 970 na região norte e a região sul abaixo mina (conhecida como Mina Canga) na tentativa de compreender melhor os dobramentos existentes na mina. O levantamento das litologias e estruturas do depósito foram realizados para caracterização das rochas presentes na mina e os respectivos contatos.

Nesta etapa foi realizado um mapeamento de detalhe, o qual envolveu a medição de direção de acamamento (S0), com as suas respectivas coordenadas, e quando presente as estruturas secundárias (S1), lineação de intersecção, eixo de dobras, crenulação e veios de quartzo.

No tratamento dos dados de campo foram utilizados os *softwares* Vulcan e ArcGIS para a produção do mapa geológico-estrutural e da seção geológica, o OpenStero versão 0.1.2 para a produção dos estereogramas e rosetas.

Os lineamentos morfoestruturais foram realizados com a imagem do *Google Earth* e com auxílio software *GM4D* foram traçados 107 lineamentos com suas respectivas direções, para, por último, tratar os dados *OpenStero* versão 0.1.2 para a produção dos estereograma.

1.4.2 Análise Geofísica

Na análise geofísica realizou-se por meio do levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais – Área 2, para colher os dados magnetométricos e gamaespectométricos. Após esta etapa, se faz a análise qualitativa para a interpretação dos mapas temáticos das anomalias magnetométricas e radiométricas, sendo que nesta fase é possível concluir se há presença de falhas ou dobras capazes de afetar diretamente na deformação da área.

Na integração Geológica-geofísica relaciona-se os dados geológicos da área, baseado no trabalho realizado pelo Governo de Estado, CODEMIG e UFMG (2005), com os dados interpretados

nos mapas temáticos magnetométricos e radiométrico. E, por fim, é realizada a análise quantitativa com a Deconvolução de Euler, no *software* Euler (versão 1.00), onde se constrói perfis magnetométricos, a fim de se interpretar os dados quantitativos e integrar aos geológicos e para se visualizar em profundidade (visualização 3D) as estruturas presentes.

CAPITULO 2

GEOLOGIA REGIONAL

O Quadrilátero Ferrífero (QFe) está localizado na porção central do estado de Minas Gerais, cobre uma área de aproximadamente 7190km² e está delimitada pelas latitudes de 19°45'S e 20°30'S e pelas longitudes 43°22'30''W e 44°7'30'' (Dorr 1969). A região possui o seu contorno delimitado pelos municípios de Sabará, Itabira, Mariana e Congonhas, com um formato praticamente retangular em mapa.

O nome QFe foi dado por se tratar de uma área com abundância de formações ferríferas e jazidas de minério de ferro, apesar de conter concentrações econômicas de ouro, manganês, alumínio e topázio entre outros. Essa região situa-se na porção meridional do cráton São Francisco (Almeida 1977), o qual é uma unidade geotectônica de idade Brasiliana cercada por cinturões orogenéticos de mesma idade vergentes para o seu interior (Figura 2.1)

A área em estudo é a mina de Fazendão que está localizada na borda leste do Quadrilátero Ferrífero, na porção sudeste do Cráton São Francisco e está posicionada no fechamento setentrional da estrutura da Sinclinal de Santa Rita (Dorr 1969).

2.1 ESTRATIGRAFIA

O QFe apresenta uma sequência litoestratigráfica composta por rochas do Neo-arqueano constituídas por *greenstone belts*, envolvidas por gnaisses de idade superior e encontra-se sotoposto por rochas metassedimentares Paleoproterozóicas e em algumas regiões coberturas Fanerozóicas (Figura 2.1), as quais são associadas a ambientes de bacias interiores compostas por cascalhos, cangas e *mudstones* (Endo 1997).

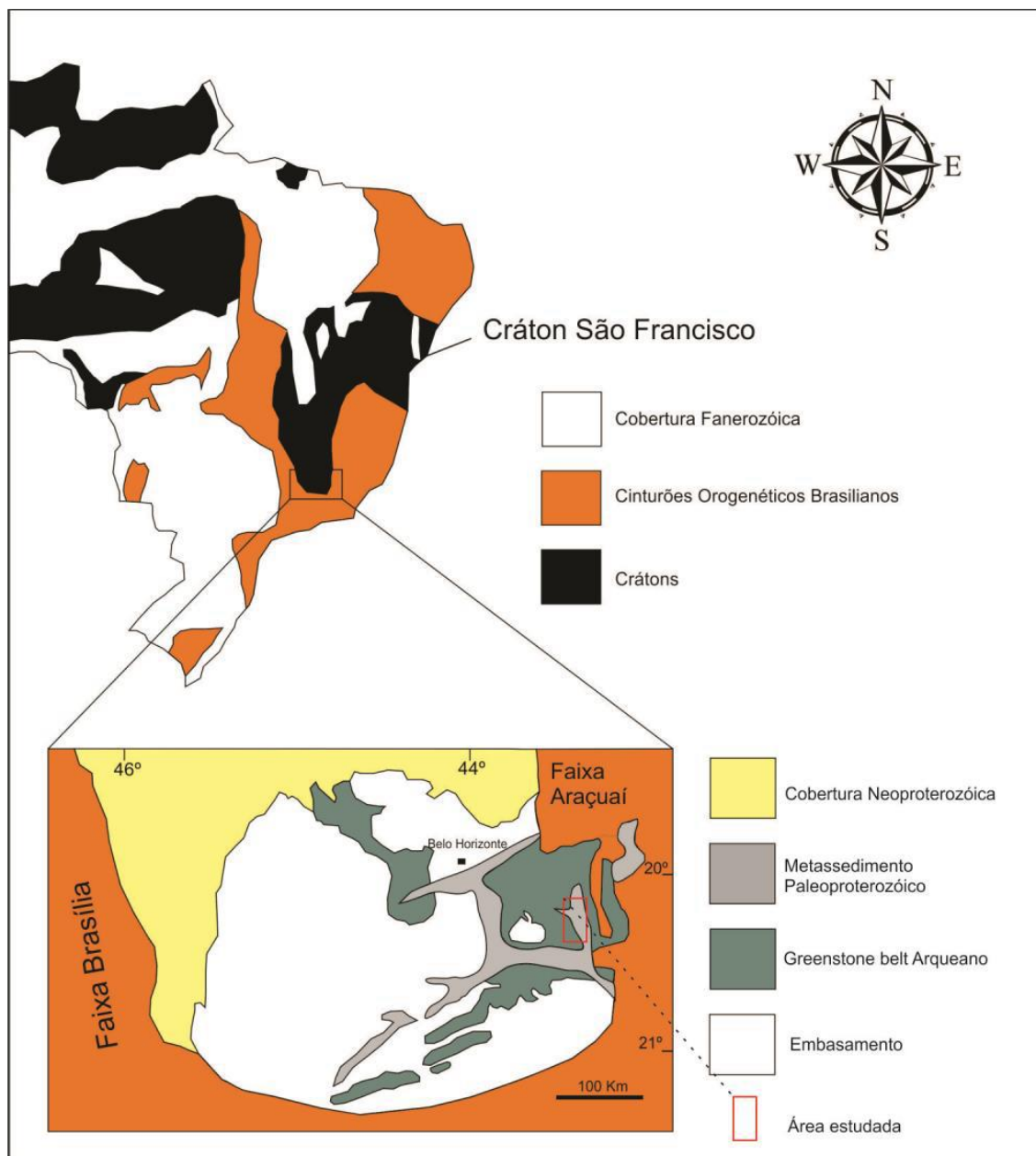


Figura 2.1 - Mapa com a posição geotectônica do QFe na porção meridional do cráton São Francisco (Alkmim e Marshak 1998).

As rochas da região estão agrupadas de acordo com as características comuns, em três grandes unidades: os complexos granito-gnáissicos (Noce 1995), o Supergrupo Rio das Velhas com uma sucessão tipo *greenstone belts* de idade arqueana (Carneiro *et al.* 1998) e o Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi com supracrustais do Paleoproterozóico (Dorr 1969, Machado *et al.* 1996, Alkmim & Marshak 1998), de acordo com a figura 2.2.

- i. O complexo metamórfico é formado por rochas de idade Arqueana, que englobam estruturas dômicas e são constituídos por gnaisses e migmatitos polideformados de composição tonalítica a granítica (Herz 1970, Cordani *et al.* 1980, Carneiro 1992).
- ii. O Supergrupo Rio das Velhas com composição de uma sequência *greenstone belt*, constituído por uma assembleia vulcano-sedimentar de baixo a médio grau metamórfico. Este supergrupo é subdividido em Grupos Quebra-ossos, Nova Lima e Maquiné, sendo que o primeiro é composto por komatiítos, basaltos, vulcanoclástica e lavas riolíticas; o segundo grupo por filitos, clorita-xistos e sericita-xisto e o último é composto por rochas sedimentares clásticas, quartzitos sericíticos e maciços e conglomerados na base (Alkmim & Marshak 1998).
- iii. O Supergrupo Minas é constituído por rochas metassedimentares paleoproterozóicas, sobreposto e em contato discordante ao Supergrupo Rio das Velhas. A base desse supergrupo é formado pelo Grupo Caraça, com as Formações Moeda (na base) e Batatal, sendo a primeira formação composta por quartzitos, metaconglomerados e filitos e a segunda possui filitos sericíticos e metacherts. Sobreposto a esse grupo está o Grupo Itabira composto pela Formação Cauê (na base) com itabiritos dolomíticos e anfibolíticos e do tipo Lago Superior, além de filitos e dolomitos, já a Formação Gandarela (no topo) contém rochas carbonáticas, e as vezes a ocorrência de itabiritos, filitos e filitos dolomíticos (Dorr 1958).

Sobreposto às unidades anteriores tem-se o Grupo Piracicaba (Dorr *et al* 1957) com eventos transgressivos com as formações, da base para o topo: Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro. A Formação Cercadinho está em contato discordante e levemente erosivo com a Formação Gandarela, e é composta por quartzitos puros e ferruginosos, filitos e xistos (em lentes ou camadas) e é a formação com maior extensão em área. A Formação Fecho do Funil possui filitos dolomíticos, dolomitos impuros, filitos (rosa, cinza e amarelo). A Formação Taboões é descrita com ortoquartzitos (granulometria areia fina) e de coloração cinza a verde acinzentado. A última é a Formação Barreiro com filitos grafitosos (pretos a cinza escuro), filitos e xistos rosados associados a quartzitos pretos.

O Grupo Sabará é a última unidade do Supergrupo Minas, o qual é caracterizado por turbiditos, tufos, vulcanoclásticas, conglomerados, diamictitos e clorita-xistos.

- iv. O Grupo Itacolomi se sobrepõe em discordância angular ao Supergrupo Minas e restrito a porção sul do QFe, onde são encontrados quartzitos, filitos quartzosos e conglomerados com seixos de itabiritos.

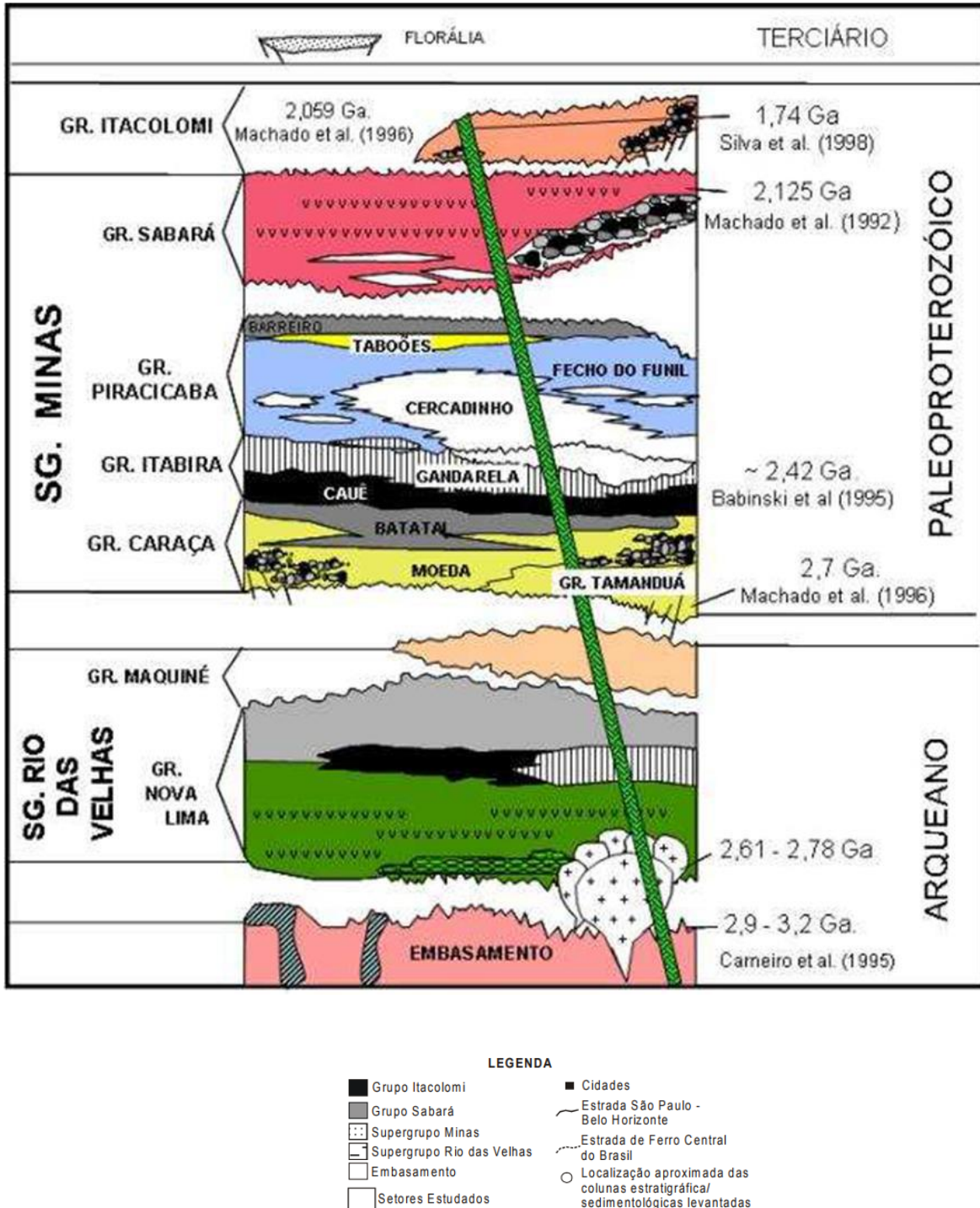


Figura 2.2 - Coluna estratigráfica da região do Quadrilátero Ferrífero, com indicação das idades de cristalização (rochas ígneas) e dos zircões detríticos mais jovens (unidades clásticas). (Modificada de Alkmim & Marshak 1998).

2.2 ARCABOUÇO ESTRUTURAL E CONTEXTO GEOTECTÔNICO

O QFe possui uma estruturação muito complexa que vem sendo estudada por vários autores, desde a década de 60 com o trabalho de cartografia do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) do Brasil, juntamente com a *United States Geological Survey* – USGS na tentativa de compreender a evolução estrutural da região.

Para Dorr (1969), o qual sugere três eventos tectônicos, sendo que a primeira atuou sobre as rochas do Supergrupo Rio das Velhas com uma deformação proveniente de Oeste ou Sudoeste, de forma que essa fase de deformação é anterior à deposição do Supergrupo Minas. A segunda fase ocorreu após a deposição do Supergrupo Minas e a terceira se dá, principalmente, no Grupo Itacolomi, gerando alinhamentos sistemáticos de sinclinais e anticlinais.

Chemale *et al.* (1991) sugeriu a ocorrência de dois grandes eventos deformacionais após a deposição do Supergrupo Minas, sendo o primeiro de caráter extensional, com idade entre 2.1 a 1.7 Ga e o segundo compressional com idade entre 0.6 a 0.5 Ga. O evento extensional (transamazônico) seria responsável pela geração de estruturas NE-SW. O evento compressional (brasiliano) apresentaria um campo de encurtamento E-W, formando um cinturão de dobramentos e empurrões (*fold and thrust belt*).

Para Endo (1997) ocorreu primeiro um evento de deformação conhecido como evento tectono-termal pré-Rio das Velhas, sendo este um regime dúctil transcorrente sinistral registrado nos complexos metamórficos Bonfim e Bação, datado no intervalo de 2.780 e 2.555 Ma (Endo e Carneiro 1996; Endo 1997). Este evento representa uma sucessão de eventos Neo-arqueanos que geraram a maior parte dos complexos metamórficos, dos terrenos vulcanossedimentares, intrusões graníticas, o qual é responsável pelo retrabalhamento da crosta continental (Carneiro *et al.* 1998; Teixeira *et al.* 2000).

A orogênese Transamazônica que ocorreu no Paleoproterozóico, datada entre 2.250 e 1.900 Ma (Endo & Machado 1997), foi caracterizada como uma reativação tectônica constituída de dois megaeventos tectônicos progressivos, sendo dois eventos compressionais e dois extensionais alternados entre si (Endo 1997). O primeiro megaevento, conhecido como orogênese Minas, foi responsável pela inversão tectônica da Bacia Minas com esforços regionais orientados NE/SW, pela formação de megassinclinais, de domos gnáissicos e pela deposição dos sedimentos do Itacolomi. Já o segundo megaevento, que é a orogênese Itacolomi, foi responsável inversão da Bacia Itacolomi, implantação do seu sistema de falhas e empurrões com vergência para NW.

A orogênese Brasileira foi caracterizada por dois eventos compressionais sucessivos, sendo o primeiro (600 Ma) responsável pela geração de dobramentos e cavalgamentos com vergência para NW

Araujo, L. P. 2018. Estudo da geofísica e do arcabouço estrutural da região sul da Mina de Fazendão, Catas Altas, MG.

(porção norte) e vergência para W (porção sul), inversão do sinclinal Moeda e geração de falhas de empurrão locais. Já o segundo evento foi responsável pelas dobras suaves e clivagens de crenulação de direção E-W (Endo 1997).

Por fim, o último evento registrado é o Sul-Atlântico que na região do QFe é responsável por diversos falhamentos de caráter frágil (Endo 1997).

Diferentemente, Alkmim e Marshak (1998) propõem estruturas de serras e vales que seriam mais bem explicadas como um modelo de domos e quilhas. Essa teoria explica a evolução a partir de uma margem passiva pré-transamazônica na qual se depositou o Supergrupo Minas na porção de plataforma continental. No evento Transamazônico, a colisão com o arco vulcânico e corpos acrescionários continentais deformou o Supergrupo Minas colocando-o sobre o cráton São Francisco, gerando dobramentos e empurrões com vergência para NW. Posteriormente, durante o colapso transamazônico houve aquecimento da crosta com soerguimento do embasamento formando uma estrutura de domos e quilhas. As rochas supracrustais afundaram nas recém formadas quilhas entre os domos do embasamento assumindo a forma atual de falsos sinclinais e anticlinais.

CAPITULO 3

GEOLOGIA LOCAL

A Geologia Local aborda sobre a estratigrafia e as estruturas que estão presentes na área da Mina de Fazendão, e também analisa os lineamentos morfoestruturais presentes na Serra do Caraça e na região da área de estudo, pois estas estruturas tem uma influencia direta na área de Fazendão.

3.1 INTRODUÇÃO

A Mina de Fazendão está localizada na borda leste do Quadrilátero Ferrífero, porção sudeste do cráton de São Francisco, e está situada no fechamento setentrional da estrutura da Sinclinal de Santa Rita como mostra a figura 3.1 (Rossi 2014). A mina é constituída pelas áreas de São Luiz (área de estudo) ao Sul, Tamanduá na porção central e Almas no extremo norte (Figura 1.2), todas posicionadas flanco normal da sinclinal Santa Rita como à mina de Alegria.

A geometria da Sinclinal Santa Rita na sua concepção original de um sinforme normal inverso redobrado de orientação axial submeridiana (Dorr 1969, Maxwell 1960 e 1972, Ferreira Filho e Fonseca 2001) passa a constituir um sinforme reclinado de atitude axial com caimento para E, cuja charneira localiza-se nos domínios setentrionais da mina do Fazendão (Endo 1997 e Rossi 2010).

Especificamente na Mina de Fazendão, na região da porção Sul da cava de São Luiz, objeto deste estudo, será feita uma abordagem estrutural nessa porção setentrional da sinclinal que poderá contribuir para uma melhor compreensão do arcabouço estrutural e estratigráfico desta área (Figura 3.1)

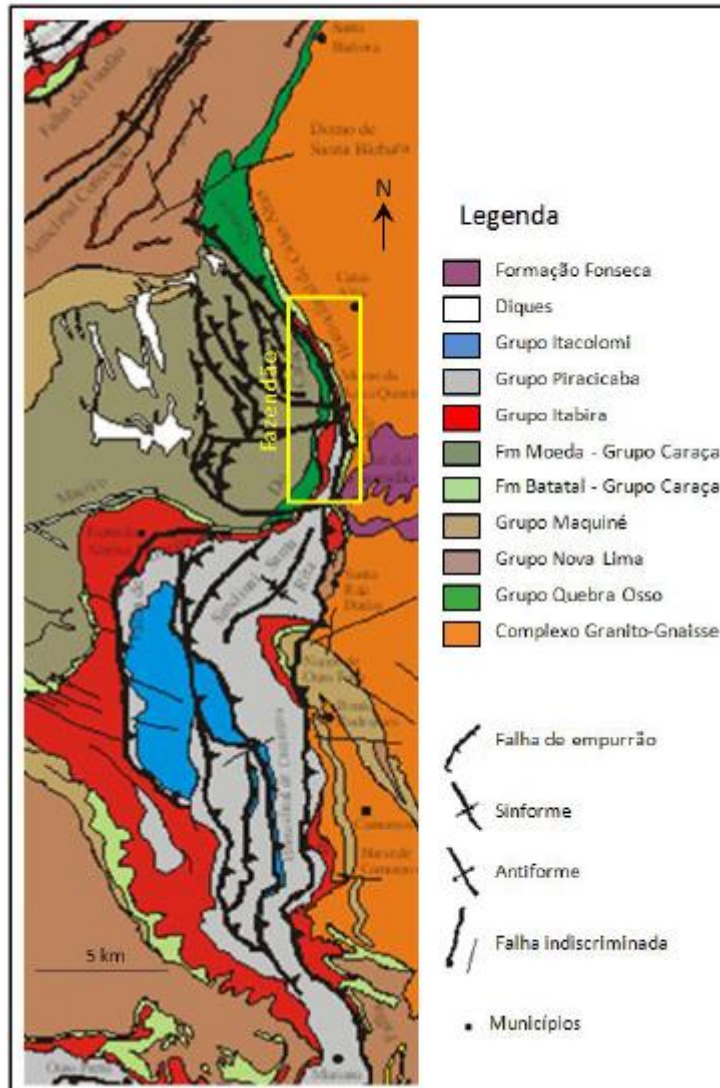


Figura 3.1-Mapa geológico do segmento centro-sul da borda leste do Quadrilátero Ferrífero (Adaptado de Dorr1969, segundo Ferreira Filho 1999)

3.2 BREVE HISTÓRICO

De acordo com Henwood (1871) no fim do século XIX foram descritas as primeiras mineralizações auríferas em itabirito, conhecido como ouro jacutinga, na região da localidade de Santa Rita Durão.

Depois, no início do século XX novos estudos foram realizados na região, bordejando o maciço do Caraça a procura de corpos de minério de ferro. O modelo estrutural da região era interpretado como um sinclinal seccionado por falhas reversas que justapunha, lado a lado, as rochas do embasamento cristalino e rochas supracrustais do Rio das Velhas e Minas (Harder e Chamberlin 1915).

Maxwell (1960 e 1972) caracterizou a sinclinal como um sinforme assimétrico de eixo norte-nordeste e norte-sul e caimento sub-horizontal, sendo este aberto na porção sul e estrangulado na porção setentrional. Maxwell percebeu que a sinclinal é cortada por várias falhas de empurrão, sintectônicas ao maciço do Caraça e possui flancos subparalelos, sendo que o flanco inverso é cortado pela falha de Água Quente (Figura 3.2)

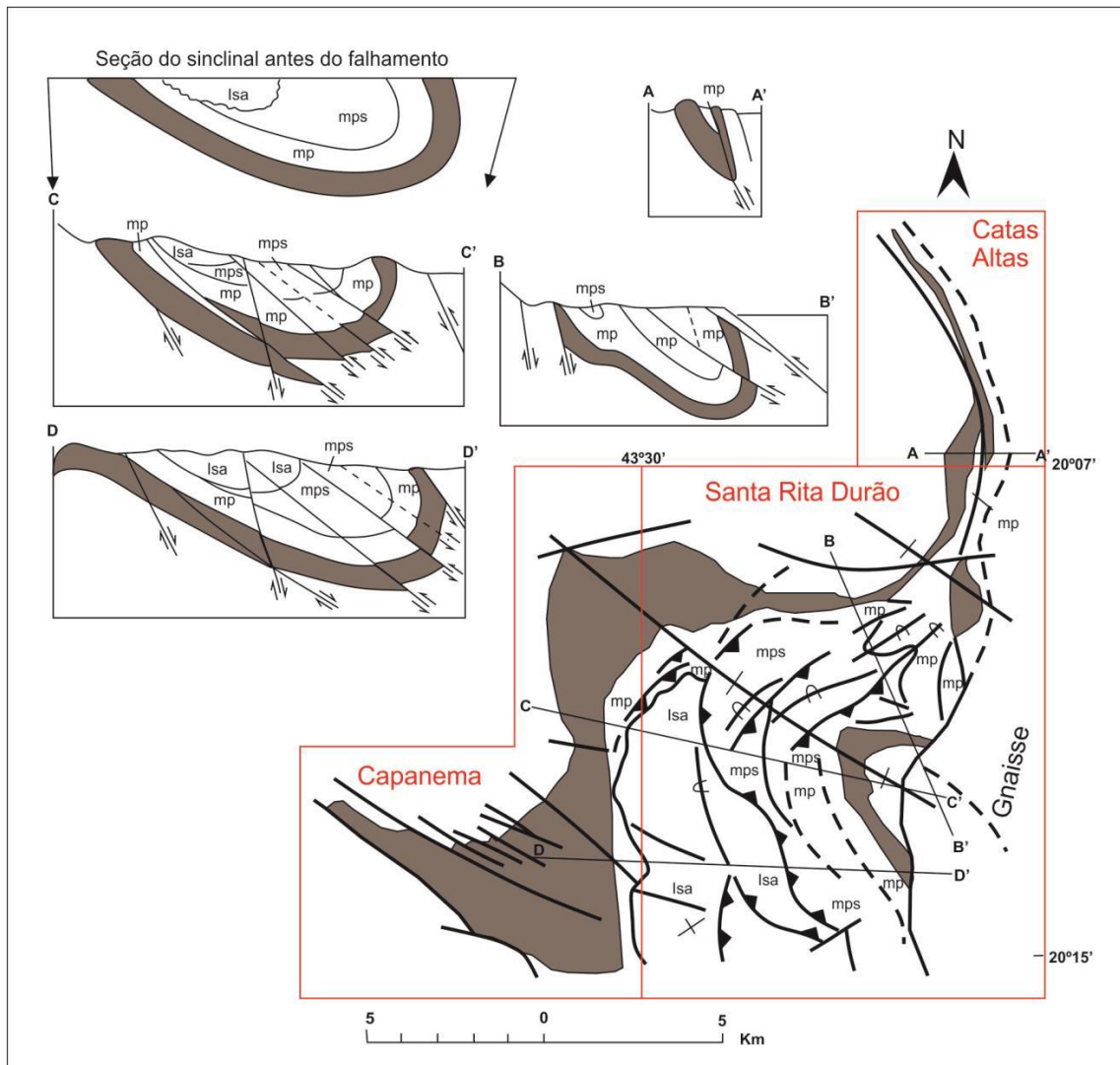


Figura 3.2- Mapa geológico esquemático do Sinclinal Santa Rita proposto por Maxwell (1972) e modificado por Rossi D. Q. (2014) mostrando a relação das falhas e o traço axial da dobra. Em vermelho a articulação de domínios das quadriculas Capanema, Santa Rita Durão e Catas Altas, de escala 1:25.000. Os perfis A, B, C e D indicam a posição do eixo N-S e a geometria do sinclinal sugerida pelo autor. A área colorida em marrom representa o Grupo Itabira e as outras unidades são, mp - Grupo Piracicaba indiviso; mps - Grupo Sabará; Isa - Grupo Itacolomi, Facies Santo Antônio.

Araujo, L. P. 2018. Estudo da geofísica e do arcabouço estrutural da região sul da Mina de Fazendão, Catas Altas, MG.

Estudos mais recentes de Rossi (2014) classificaram a sinclinal como uma dobra reclinada de escala sub-regional de atitude axial com caimento para ESSE e vergente para SSW. O flanco leste invertido é seccionado pela Falha de Água Quente na altura da zona periclinal do anticlinal de Mariana. A formação dessa sinclinal ocorreu a partir do redobramento (F2) do flanco normal da Nappe Ouro Preto (F1). A zona de charneira encontra-se na região das minas de Tamanduá e Almas com eixo ESE de moderado a alto e os flancos são subparalelos.

O Sistema de Falhas de Água Quente foi estudado primeiro por Ferreira Filho (1999) que caracterizou as falhas como várias falhas de empurrão que sobrepõe o embasamento a leste e as supracrustais a oeste, as quais estão correlacionadas com a tectônica contracional que atuou na borda leste do QFe. Já o trabalho de Rossi (2014) mostra que a falha possui uma cinemática direcional dextral aparente sendo superposta por uma fase sinistral, a qual exibe um movimento de cavalgamento de norte para sul.

3.3 LINEAMENTOS MORFOESTRUTURAIS

Observado o padrão de lineamentos morfoestruturais da região no entorno da Mina de Fazendão, mais especificamente nos quartzitos da Serra do Caraça (Figura 3.3), onde o padrão dos lineamentos se mantém semelhante ao daqueles que cortam a mina. Estes lineamentos representam os traços de planos de fraturas, os quais estão concordantes com os planos preferencias da mina.

Foram traçados 107 lineamentos (Figura 3.4) em imagem obtida a partir do programa *Google Earth*, e trabalhadas com o auxílio *software GM4D*, este fornece a direção de cada lineamento.

O padrão dos lineamentos da porção norte da área possui direção 122° e os da porção sul da área é de 88° .

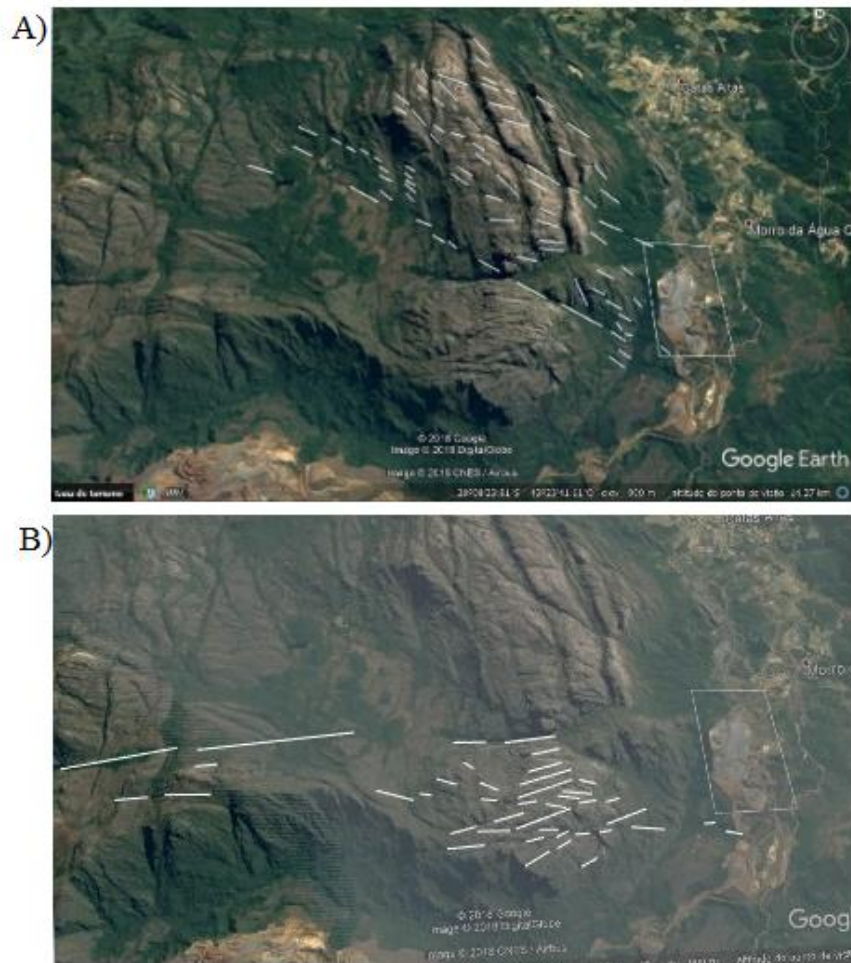


Figura 3.3- Lineamentos morfoestruturais adjacentes a Mina de Fazendão na Serra do Caraça traçados em imagem Google Earth. (A) Lineamentos das fraturas ao norte. (B) Lineamentos das fraturas ao sul.

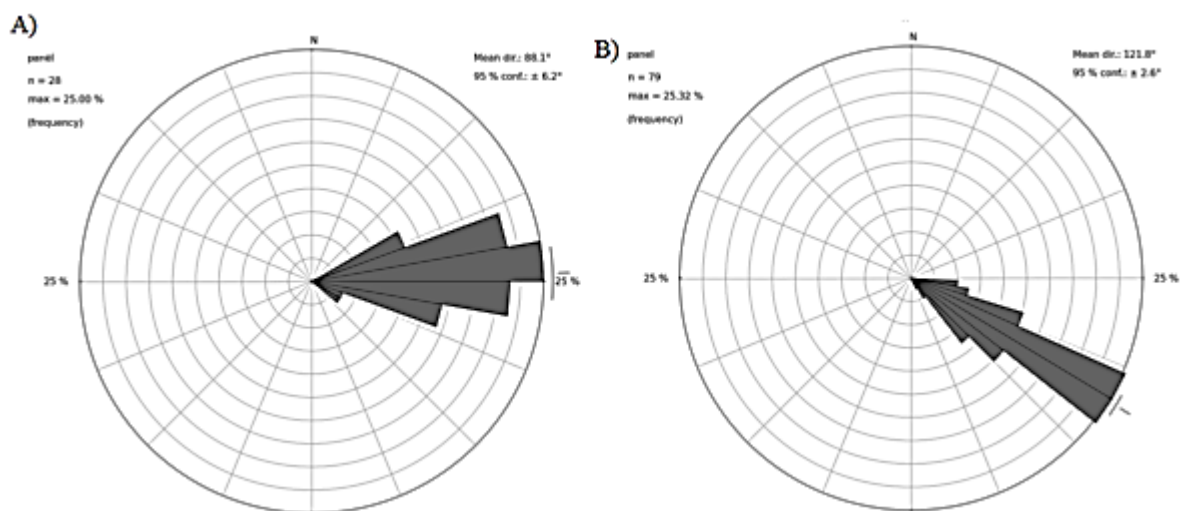


Figura 3.4 - (A) Roseta referente aos lineamentos da porção norte e (B) Roseta referente aos lineamentos da porção sul.

3.4 ESTRATIGRAFIA

As principais unidades estratigráficas presentes no entorno da Mina de Fazendão correspondem aos grupos Caraça, Itabira e Piracicaba do Supergrupo Minas. Unidades do Supergrupo Rio das Velhas afloram ao norte da Serra do Caraça (Figura 3.5 e Anexos).

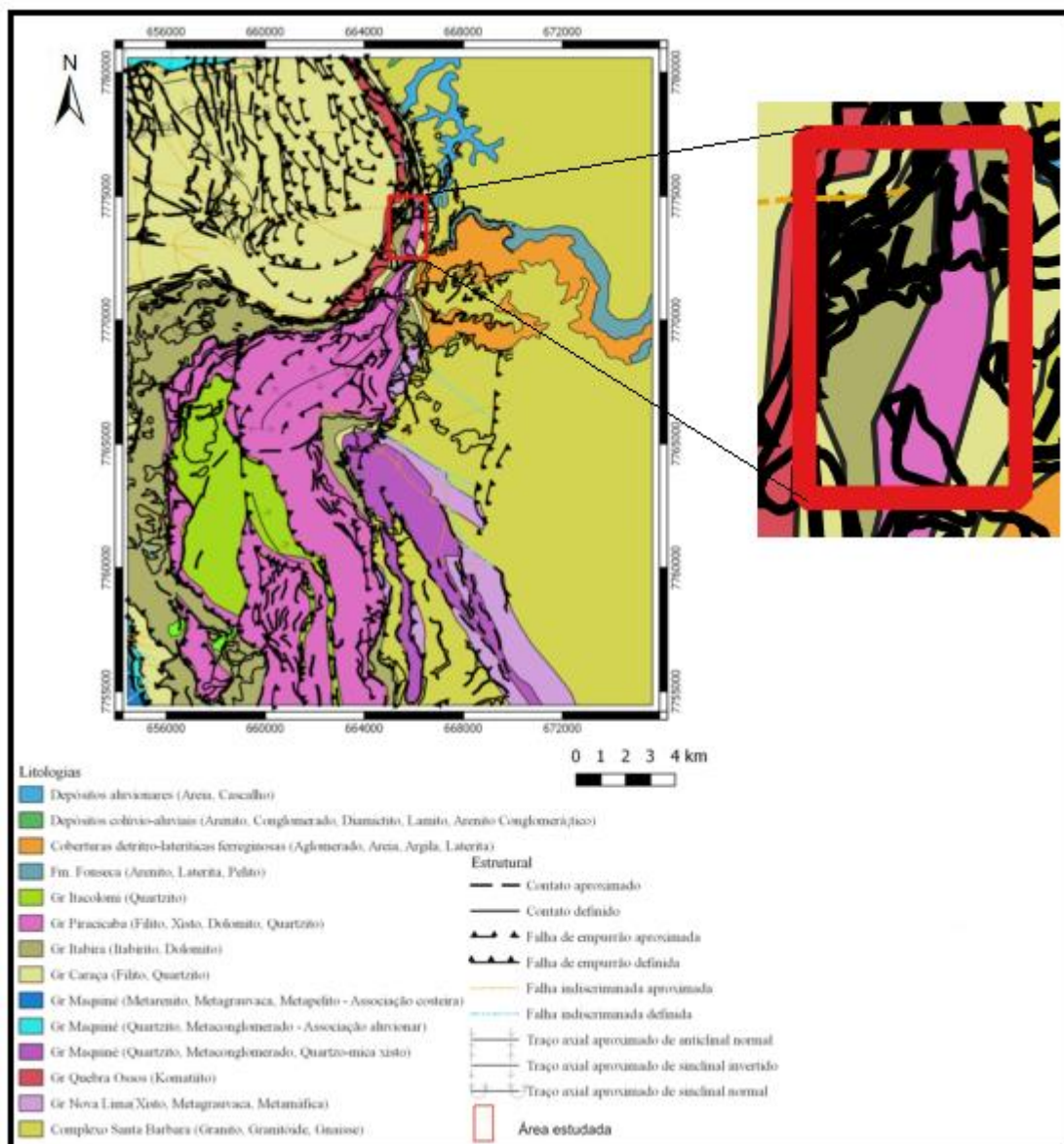


Figura 3.5 - Mapa litológico e estrutural com a área da Mina de Fazendão, modificado dos projetos Integração e Correção Cartográfica em SIG, pelo convênio com o Governo de Estado, CODEMIG e UFMG (2005).

3.4.1 Supergrupo Rio das Velhas

O Supergrupo Rio das Velhas é uma sequência vulcanossedimentar de idade arqueana e constitui-se dos grupos Nova Lima, Quebra Osso e Maquiné. No contexto desse estudo, apenas o Grupo Quebra Osso ocorre na região da mina de Fazendão (Figura 3.5).

3.4.1.1 Grupo Quebra Osso

O Grupo Quebra Osso é formado por uma associação vulcânico-plutônica máfica-ultramáfica sendo constituído por metakomatiitos peridotíticos, metakomatiito, serpentinito, formação ferrífera, metachert, turmalinito e filito carbonoso.

3.4.2 Supergrupo Minas

O Supergrupo Minas é constituído por unidades metassedimentares e apresenta contato discordante com o Supergrupo Rio das Velhas. As rochas supracrustais pertencentes ao Supergrupo Minas estão representadas pelas formações Moeda, Batatal, Cauê, Gandarela, Cercadinho e Barreiro e pelo Grupo Sabará.

3.4.2.1 Grupo Caraça

Na base do Supergrupo Minas encontra-se o Grupo Caraça, o qual engloba as Formações Moeda e Batatal, sendo a primeira na base e a segunda sotoposta. A Formação Batatal aflora na porção sudoeste (área de estudo) e nordeste da cava de São Luiz.

Na porção sudoeste da Mina encontra-se a Formação Batatal, esta unidade aflora em uma faixa mais estreita, com uma direção 170/60 e estende-se longitudinalmente na mina, no entanto sofre um adelgaçamento na porção central. Entretanto, a Formação Moeda não aflora em nenhuma parte da área de estudo.

A Formação Batatal (FB) não ultrapassa 50 metros de espessura e é representada por filitos sericíticos, cinza claro a escuro, por vezes com uma coloração amarelada (Figura 4.10) a arroxeadada quando alterados. Apresenta uma foliação típica dos filitos e, por vezes, um aspecto ardosiano.

3.4.2.2 Grupo Itabira

O Grupo Itabira é formado pelas Formações Cauê e Gandarela. A primeira formação está presente em toda a área da mina, no entanto a segunda não foi observada na região onde foi desenvolvido o trabalho.

A Formação Cauê é a principal litologia da Mina e está presente ao longo do flanco normal na porção do fechamento setentrional da sinclinal de Santa Rita. O mapa geológico mostra ainda que na

Araujo, L. P. 2018. Estudo da geofísica e do arcabouço estrutural da região sul da Mina de Fazendão, Catas Altas, MG.

região da cava de São Luiz o Grupo Itabira teve um espessamento (Figura 3.5) nessa região, e este grupo chega a atingir 700 metros espessura.

Na região sul da cava (região objeto desse estudo), a Formação Cauê apresenta-se com as suas estruturas dobradas, e de acordo com o que foi observado possui mais de uma fase de deformação, o que, possivelmente, poderia explicar o espessamento do material. No entanto, essas dobras não são encontradas apenas nessa região, elas estão presentes também na região norte da cava de São Luis como mostra a Figura 4.5. Apesar dessa região norte da mina não ter sido o foco desse estudo, como os dobramentos foram muito persistentes na porção sul, viu-se a necessidade de procurar por essas dobras em outras regiões da mina, logo, contatou-se a presença desse dobramentos no banco 970 norte (coordenadas: 665942/7773986).

A Formação Cauê é formada por formações ferríferas bandadas, rocha sedimentar de origem química, finamente bandada ou laminada, contendo 15% ou mais de ferro de origem sedimentar e, comumente, mas não necessariamente, camadas de chert. São depósitos minerais de precipitação química, do tipo Lago Superior, os quais possuem expressiva extensão lateral, com textura sedimentar tipo granular e oólitos típicos. Essas rochas foram depositadas em águas relativamente rasas, em plataformas continentais próximas às costas, principalmente, em bacias sedimentares plataformais com ou sem vulcanismo do Paleoproterozóico (Dardenne. & Schobbenhaus 2003).

O Complexo de Fazendão possui minérios de ferro formados por enriquecimento supergênico de alto e baixo teor de ferro, com itabiritos e corpos de hematita de variadas dimensões e geometrias. Os litotipos característicos da jazida, para efeito de estimativa de recursos e reservas de minério, de acordo com padrão internacional adotados pelas mineradoras, baseados nas características químicas, granulometria, sua gênese e composição mineralógica, da base para o topo são apresentados:

- 1- Itabirito Compacto (IC): ocorrem em profundidade e constituem a base da formação ferrífera, apesar de serem encontrados corpos pequenos (dimensões métricas). São especularíticos, de coloração cinza, pouco fraturados, com teor médio de ferro global de 40,27%, com baixos contaminantes (Al₂O₃, P e Mn) e apresentam em média 91,67% de massa retida em 8 mm;
- 2- Itabirito Friável (IF): o itabirito friável apresenta teor de Fe geralmente abaixo de 52% e é bastante friável com, em média, 16,98% de material maior que 10 mm. O bandamento de quartzo e hematita é bastante visível. Os teores de elementos contaminantes são baixos e o teor de Fe é, em média, de 45,38%. Ocorre logo abaixo do itabirito friável rico, no perfil de enriquecimento supergênico, com espessuras que podem ultrapassar 100 m. Sua gênese está provavelmente associada à desagregação supergênica de itabiritos compactos, formando pacotes com espessuras superiores a 200 m;

- 3- Itabirito Friável Rico (IFR): o itabirito friável rico apresenta teor de Fe geralmente entre 52 e 60%, e ocorre logo abaixo da hematita no perfil de enriquecimento supergênico, com espessuras variando de poucos metros até mais de 100 m. Apresenta-se bastante friável com 17.14% de material maior que 10 mm em média. O bandamento de quartzo e hematita é visível. Os teores de elementos contaminantes são baixos e o teor de Fe é, em média, de 56.90%;
- 4- Itabirito Goethítico (IGO): itabirito hidratado, rico em goethita, com coloração avermelhada e/ou amarelada. Apresenta em geral teor de Fe bastante variável e abaixo de 60% e de perda ao fogo acima de 5%. Apresenta-se friável a semi-compacto, com cerca de 20.0% de material acima de 10 mm. Sua gênese provavelmente está associada à fase deposicional da bacia de sedimentação e pode representar antigos itabiritos carbonáticos/dolomíticos ou anfibolíticos, já totalmente decompostos pela ação do intemperismo. Ocorre como corpos tabulares concordantes com a estruturação geral, cujas espessuras variam até algumas dezenas de metros;
- 5- Itabirito Argiloso Rico (IAR): apresenta geralmente teores de Fe acima de 52% e teor de alumina superior a 2%. Tem coloração ocre e é constituído basicamente por níveis ferruginosos intercalados com material de granulometria argila de cor ocre e finas laminações de quartzo. Apresenta teores médios de Fe de 58.73%, valores de perda ao fogo em média de 5.48% e granulometria fina, com em média 16.34% de material retido acima de 10 mm. Distingue-se dos tipos goethíticos pela presença de pseudomorfos de anfíbólio e pela coloração ocre típica. Ocorre nos níveis superiores dos corpos de itabirito argiloso (IAL), na forma de bacias deposicionais e ou na zona de contato com o filito por processos metassomáticos;
- 6- Itabirito Argiloso (IAL): apresenta geralmente teores de Fe abaixo de 52% e teor de alumina superior a 2%, O itabirito argiloso é semelhante ao IAR, entretanto tem coloração ocre a acinzentada, devido a maior quantidade de alumina e níveis mais espessos de quartzo;
- 7- Hematita Compacta (HC): as hematitas compactas têm coloração cinza azulada, são caracterizadas por corpos extremamente tenazes, com bandamento definido por níveis milimétricos mais escuros, provavelmente de specularita. Na análise macroscópica não se observa a presença de quartzo. Apresentam teor médio de ferro global de 67,83%, baixos contaminantes (Al_2O_3 , P e Mn) e, em média, 93,32% de massa acima de 8 mm.
- 8- Hematita (HE): a hematita é resultado de processos de enriquecimento supergênico de itabiritos e processos de alteração hidrotermal. A espessura média no perfil de enriquecimento é de 40 m, podendo variar de 10 a 100 m. O teor médio de ferro é de 64.71% e os teores de contaminantes são baixos. Apresenta-se em geral friável com, em média, 20.40% de material

maior que 10 mm. O teor de corte considerando o Fe global para a hematita é geralmente acima de 60% nas minas de Alegria e Fazendão;

9- Hematita Aluminosa (HAL): É uma hematita na maioria das vezes de granulometria fina com alto teor de alumina, superior a 2%, cor amarelada/ocre/azul com brilho sedoso podendo conter injeções de corpos de rochas intrusivas. O teor de Fe é, em média, 62.63%. Na mina de Fazendão, os principais corpos estão localizados na porção sudoeste de São Luís e no limite entre São Luís e Fazendão Sul;

10- Hematita Goethítica (HGO): hematita friável a semi-compacta rica em goethita, com teor de Fe geralmente, acima de 60% e de perda ao fogo acima de 5%. Diferencia-se da HE por sua cor avermelhada. A porcentagem de material maior que 10 mm é em média de 28.0%. Geralmente são observados pseudomorfos de anfibólio radial ou acicular. A hematita goethítica ocorre principalmente nos contatos de base do itabirito goethítico com os itabiritos silicosos (IFR, IF ou IC) ou como resultado do enriquecimento supergênico do itabirito goethítico;

Canga (CG): cobertura de natureza detrítica, gerada pelo intemperismo (erosão, hidratação e lixiviação) da formação ferrífera, e ocorrem na superfície, recobrando a formação ferrífera e laterita (LT) e porções de estéril próximas à formação ferrífera, com espessuras variando de poucos centímetros a metros. A Canga é formada por fragmentos de hematita e itabirito cimentados por goethita.. É reconhecida visualmente, marcada por coloração avermelhada pela presença de goethita, apresentando teor médio de Fe de 59.64% e altos teores de P, PF e Al₂O₃. A granulometria média retida em 8 mm é de 54.29%, com grande variação;

Esses litotipos característicos da jazida são representados no perfil de intemperismo (Figura 3.6) da região sul da mina de Fazendão.

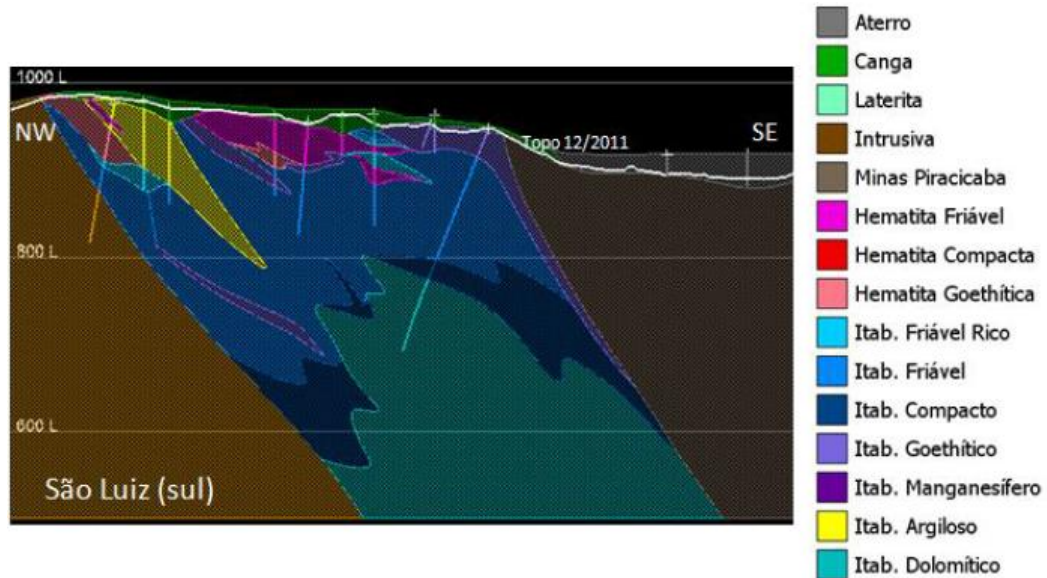


Figura 3.6- Seção geológica vertical típica da Mina de Fazendão Sul- Revisão dos Recursos Modelo de Fazendão- Relatório Interno Vale.

3.4.2.3 Grupo Piracicaba

O mapa geológico (Figura 3.5) mostra que o Grupo Piracicaba a porção centro-leste da mina como um todo, esta unidade apresenta uma espessura que não ultrapassa 500 metros e é composto pelas Formações Cercadinho, Taboões, Fecho do Funil e Barreiro. Entretanto, as Formações Taboões, Fecho do Funil e Barreiro não afloram na área mapeada.

A Formação Cercadinho é encontrada em toda extensão leste da área de estudo, cortando a região centro-leste da mina de Fazendão, em contato com o com o Grupo Itabira. No entanto, o mapeamento específico dessa formação só foi evidenciado no banco 970 (porção norte da cava de São Luis), pois essa região apresenta as suas estruturas muito dobradas, assim como ocorreu na área de estudo (região sul)

A Formação Cercadinho com direção SE-NW, situa-se entra as coordenadas 665972/ 7773996 a SE e 665929/7773861 a NW, sendo que este banco da mina apresenta aproximadamente 140 metros de comprimento, 10 metros de altura e está a 970 metros de altitude. O acamamento com as estruturas S apresentam uma direção preferencial 100/30, a dobra com eixo na direção 090/30 (Figura 3.7), e clivagem de crenulação 00/05.

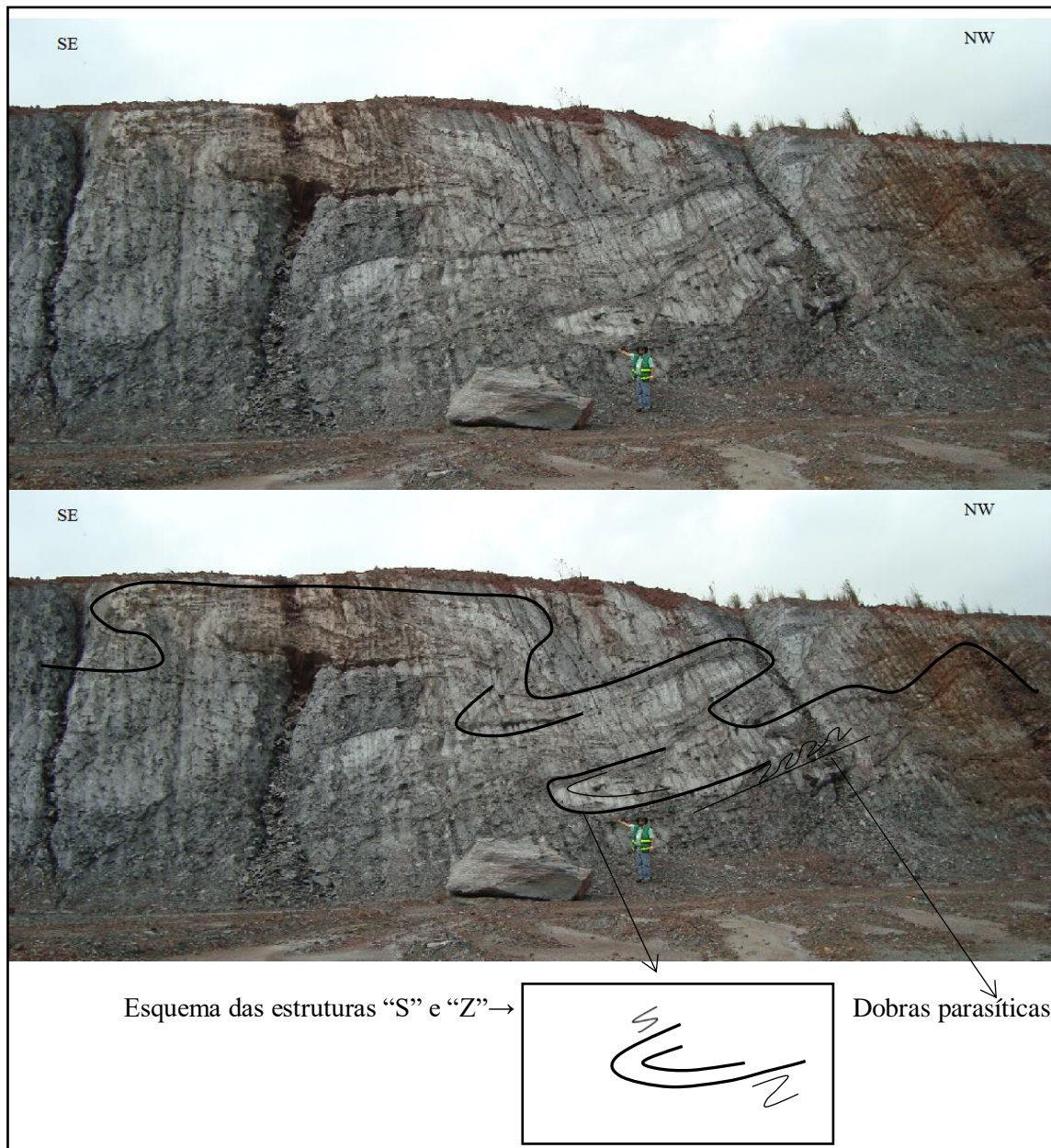


Figura 3.7 - Foto original e foto com a interpretação da dobra no banco 970 norte. O filito do Grupo Piracicaba se encontra dobrado, com estruturas “S” e “Z” nos flancos das dobras como fica evidenciado no esquema da imagem, além de apresentar dobras parasíticas em seus flancos (em evidência no desenho esquemático da imagem).

3.5 PERFIS GEOLÓGICOS

Os perfis geológicos foram sistematicamente levantados (Figura 3.8) no intuito de descrever o arcabouço estrutural com reflexo às predominantes ocorrências de hematitas associadas à hidratação e textura mineral distintas. As litologias descritas nesse trabalho foram baseadas nos critérios de

classificação litológica dos litotipos presentes em Fazendão e o mapa de detalhe com todos os dados de campo encontra-se no anexo.



Figura 3.8- Localização dos perfis 1, 2, 3 e 4 na área da mina, com imagem do *Google Earth*.

PERFIL 1

O perfil 1 (Figura 3.9), com direção SE-NW, situa-se entre as coordenadas 665311/ 7773035 a SE e 665313/ 7773312,46 a NW, sendo que este perfil apresenta aproximadamente 300 metros de comprimento, 10 metros de altura e está a 940 metros de altitude. Este perfil está na região compreendida pela porção Sul da cava de São Luiz.

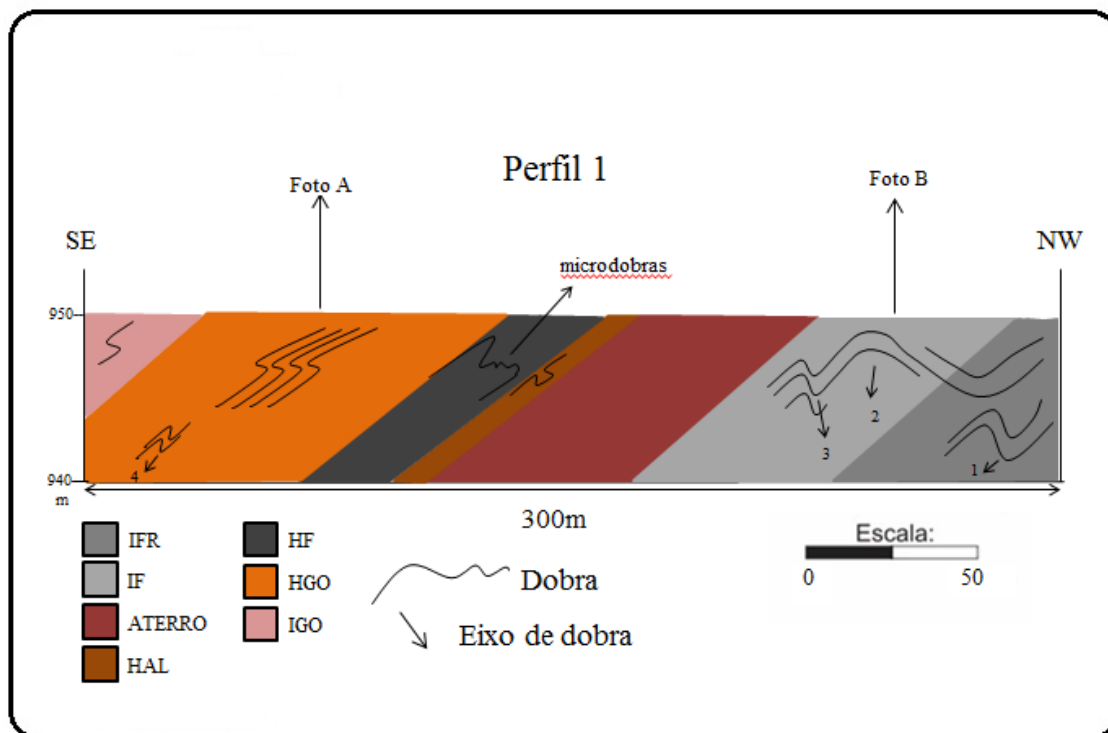


Figura 3.9 - Perfil 1 esquemático representativo do banco 940 m (itabiritos e hematitos da Formação Cauê, Grupo Piracicaba). As direções e sentidos do caimento dos eixos são respectivamente: (1) 90/30, (2) 85/40, (3) 0/10 e (4) 70/25.

Neste perfil predominam os itabiritos e hematitos da Formação Cauê. O acamamento é definido nos itabiritos pelo seu típico bandamento composicional, na alternância entre as lâminas de hematita (ou goethita) e quartzo, o que evidencia a sua estrutura principal com atitude média de 112/44 (Figura 3.10). A estrutura secundária é definida pela xistosidade S_n de direção preferencial 133/50, sendo que a essas duas superfícies planares definem a lineação de interseção de atitude geral 080/40.

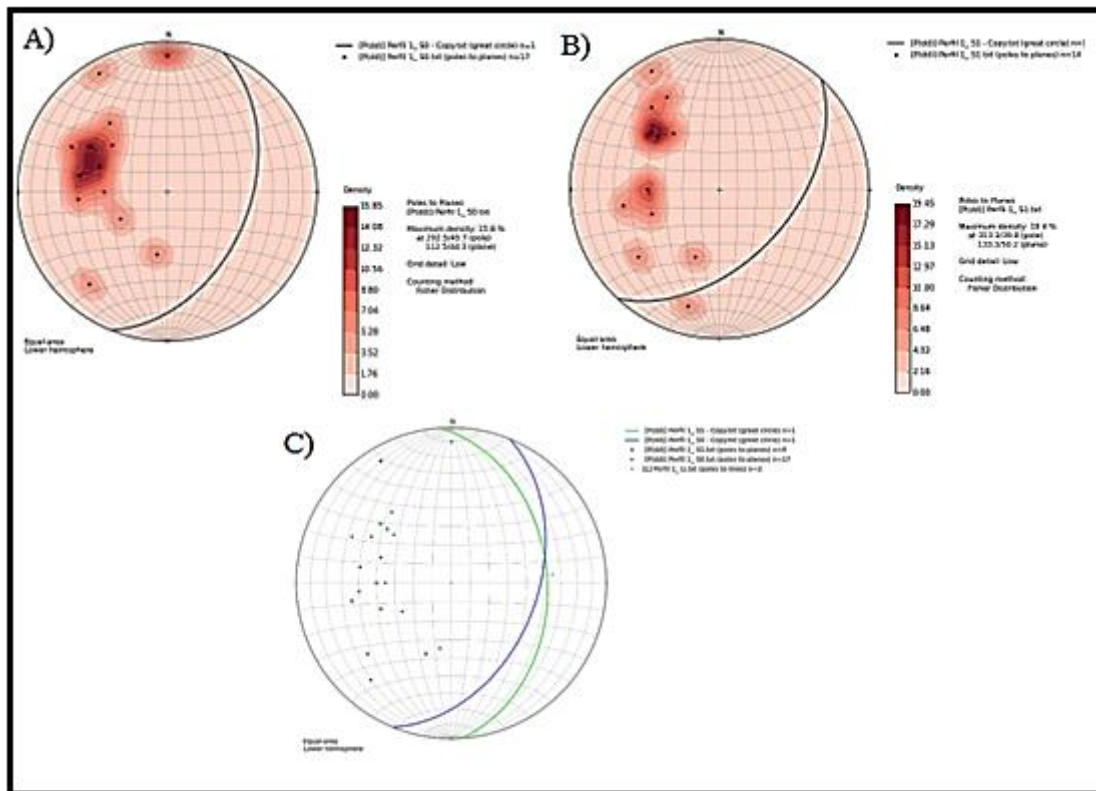


Figura 3.10 - Os estereogramas apresentam (A) a direção preferencial do acamamento, (B) direção preferencial da xistosidade e (C) direção preferencial de todas as feições (acamamento-círculos maiores, xistosidade- círculos menores) e a interação desta com a lineação mineral da rocha (x).

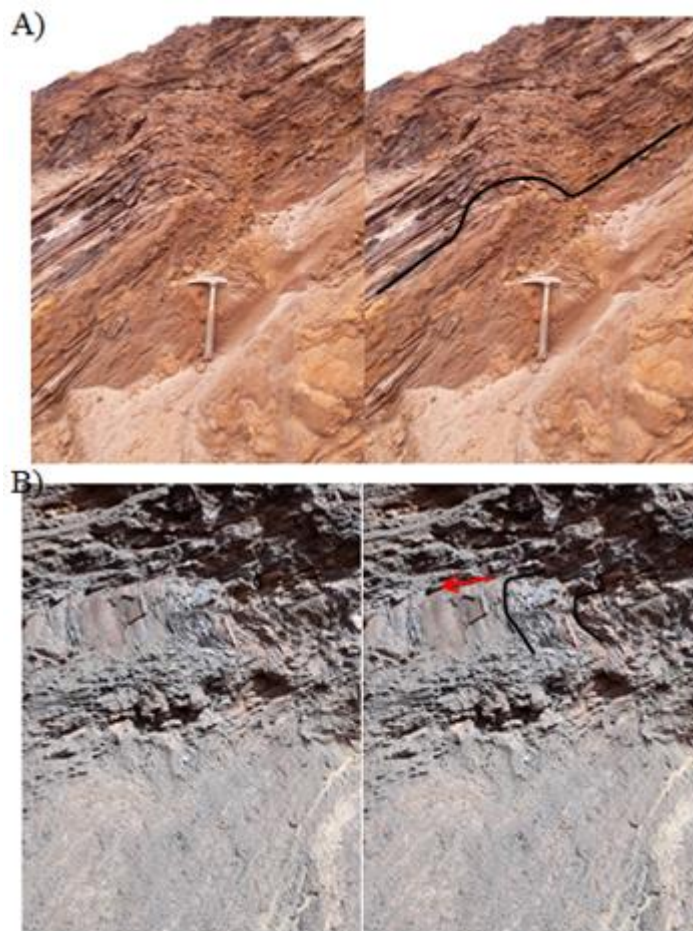


Figura 3.11 - (A) Foto da hematita aluminosa (HAL) e o dobramento que ocorre em sua estrutura. (B) Foto do itabirito friável (IF) com um eixo de dobra (com caimento evidenciado pela seta vermelha) e suas estruturas dobradas.

PERFIL 2

O perfil 2 (Figura 3.12), com direção SW-NE, situa-se entre as coordenadas 665363/7773041,928 a SW e 665409/7773152 a NE, apresenta aproximadamente 120 metros de comprimento com bancos de 10 metros de altura e está a 930 metros de altitude. O perfil está na região compreendida pela porção Sul da cava de São Luiz.

O perfil 2 é formado por itabiritos e hematititos da Formação Cauê. O acamamento é definido nos itabiritos pelo seu típico bandamento, e esse acamamento definem as estruturas S com direção preferencial 90/32, conforme mostra o estereograma (Figura 3.13). As estruturas secundárias estão correlacionadas às superfícies metamórficas S_n com direção preferencial 112/44, sendo que a essas duas superfícies planares definem a lineação de interseção de atitude média 060/34.

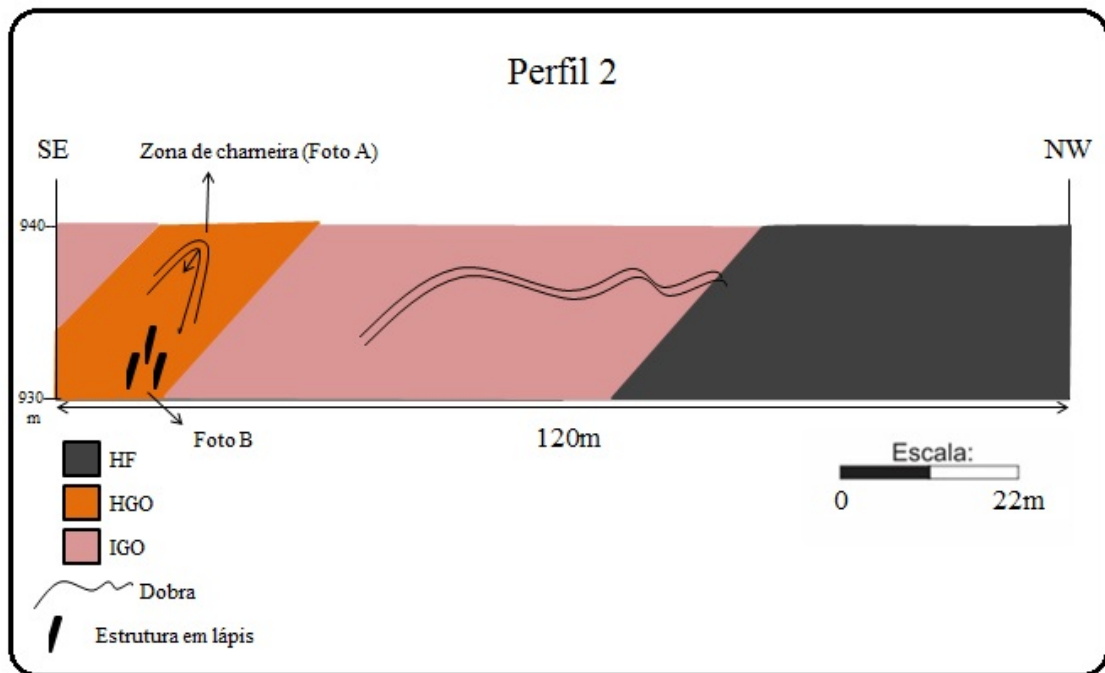


Figura 3.12 - Perfil 2 esquemático representativo do banco 930m (itabiritos e hematitos da Formação Cauê, Grupo Piracicaba). As dobras e a zona de charneira estão representadas no perfil esquemático.

Nesse perfil foram identificados vários dobramentos bem marcados, principalmente pelo seu típico bandamento composicional com alternância entre as lâminas de hematita (ou goethita) e quartzo, com atitudes em torno de 90/30. Além disso, verificou-se na litologia da hematita goethítica (HGO) uma zona de charneira marcada pelas estruturas em lápis.

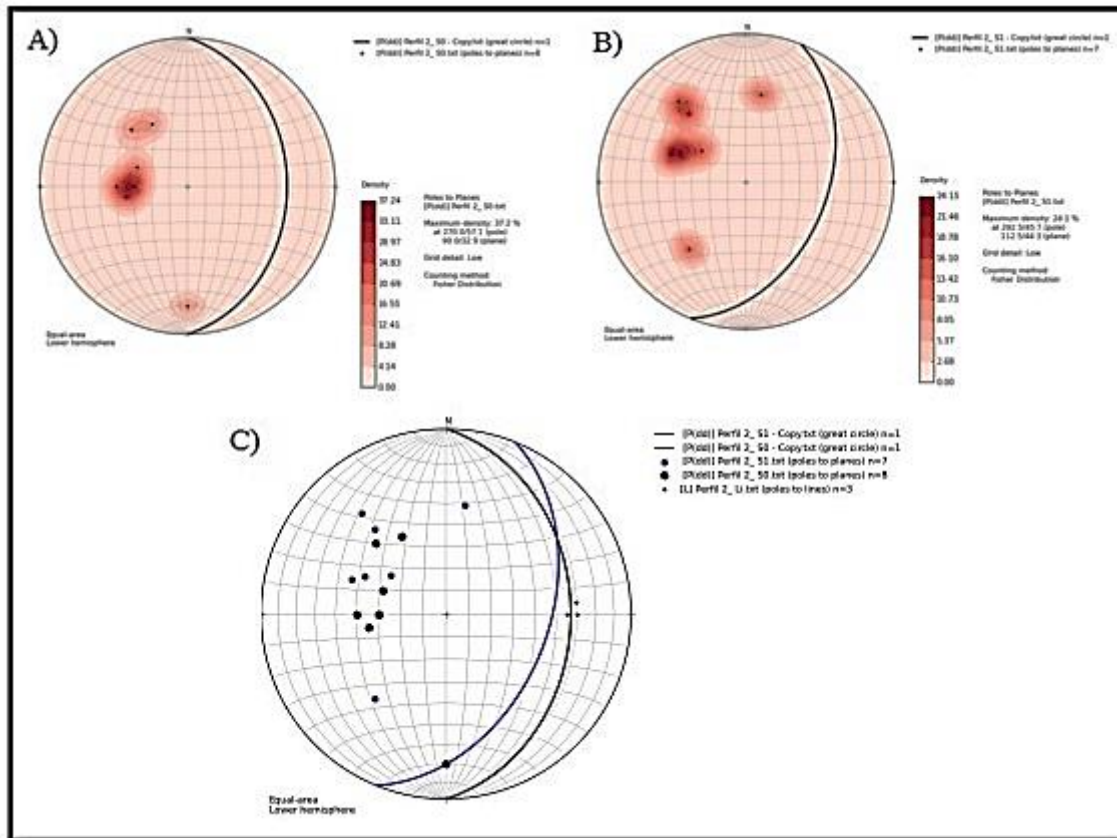


Figura 3.13 - Os estereogramas apresentam (A) a direção preferencial das feições primárias S0, (B) direção preferencial das feições secundária S1 e (C) direção preferencial de todas as feições (acamamento-círculos maiores, xistosidade- círculos menores) e a interação desta com a lineação mineral (losangos) da rocha.



Figura 3.14 - (A) Nessa figura observa-se a zona de charneira da hematita goethítica (HGO) e (B) A presença de estruturas em lápis na hematita goethítica (HGO).

PERFIL 3

O perfil 3 (Figura 3.15), com direção SE-NW, situa-se entre as coordenadas 665335/7772915 a SE e 665110/7773204 a NW, apresenta aproximadamente 375 metros de comprimento com bancos de 10 metros de altura e está a 970 metros de altitude. O perfil está na região compreendida pela porção Sul da cava de São Luiz.

Esse perfil é formado por um material aluminoso, intercalado com os itabiritos e cangas da Formação Cauê, Grupo Piracicaba. No limite NW encontra-se a Formação Batatal, Grupo Caraça, com filitos sericíticos de coloração cinza claro a escuro e, por vezes, com uma coloração amarelada a arroxeada devido à alteração, apresentando uma foliação típica dos filitos.

O acamamento é definido nos itabiritos pelo seu típico bandamento, e esse acamamento definem as estruturas S com direção preferencial 140/69, conforme mostra o estereograma (Figura 3.16). As estruturas secundárias estão correlacionadas às superfícies metamórficas Sn com direção preferencial 150/69, e as duas superfícies planares estão associadas à lineações minerais 118/78. Nesse perfil também foram observados a presença de veios de quartzo com atitude 00/40.

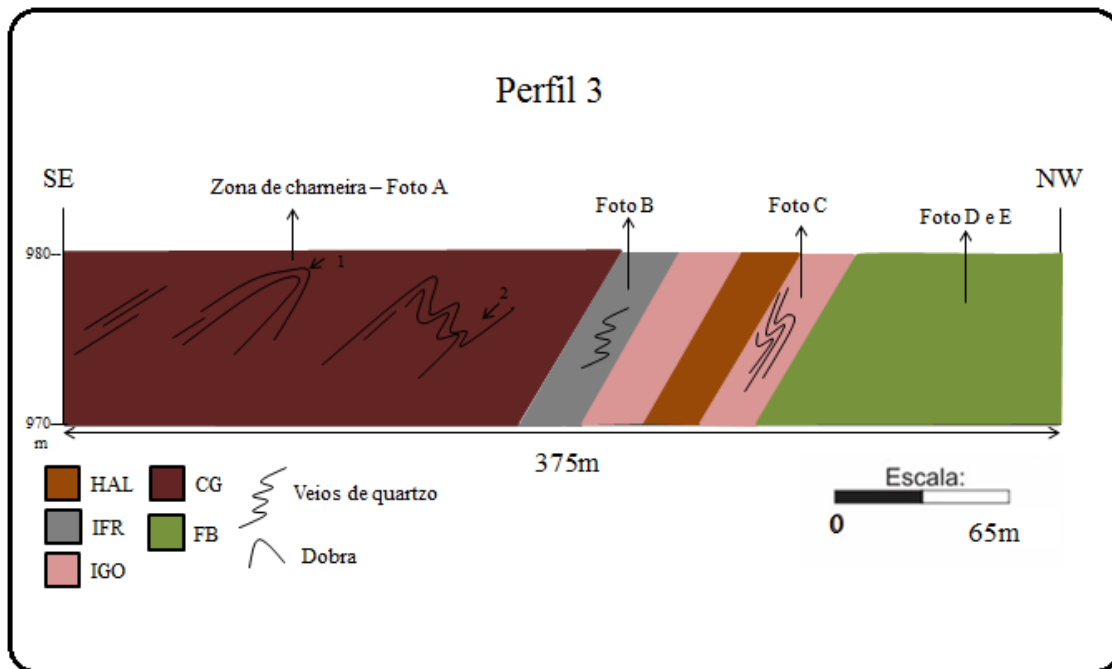


Figura 3.15 - Perfil 3 esquemático do banco 970m (itabiritos e hematititos da Formação Cauê, Grupo Piracicaba). As litologias apresentam-se bem dobradas, com uma zona de charneira na canga, veios de quartzo no itabirito rico (IFR), uma dobra bem marcada no itabirito goethítico (IGO) e o filito da Formação Batatal (FB). As direções e sentidos do caimento dos eixos são respectivamente: (1) 80/30 e (2) 90/25.

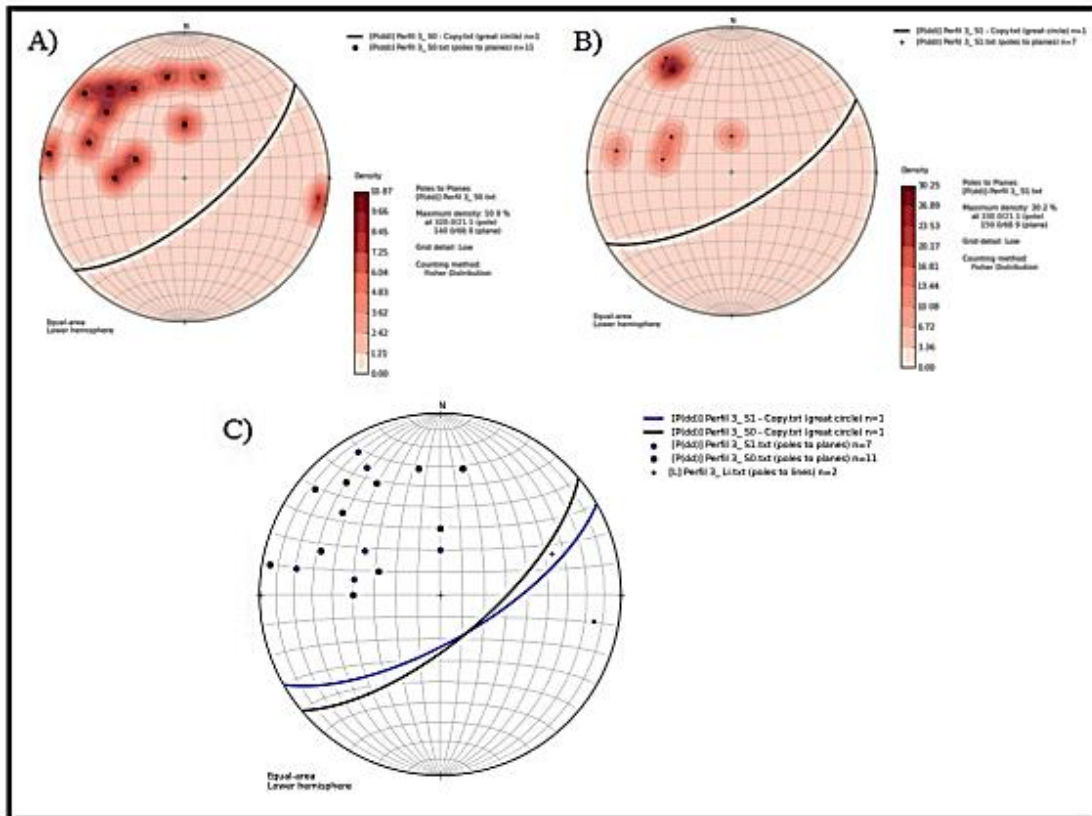


Figura 3.16 - Os estereogramas apresentam (A) a direção preferencial das feições primárias S0, (B) direção preferencial das feições secundária S1 e (C) direção preferencial de todas as feições(acamamento-círculos maiores, xistosidade- círculos menores) e a interação desta com a lineação mineral (losangos) da rocha.

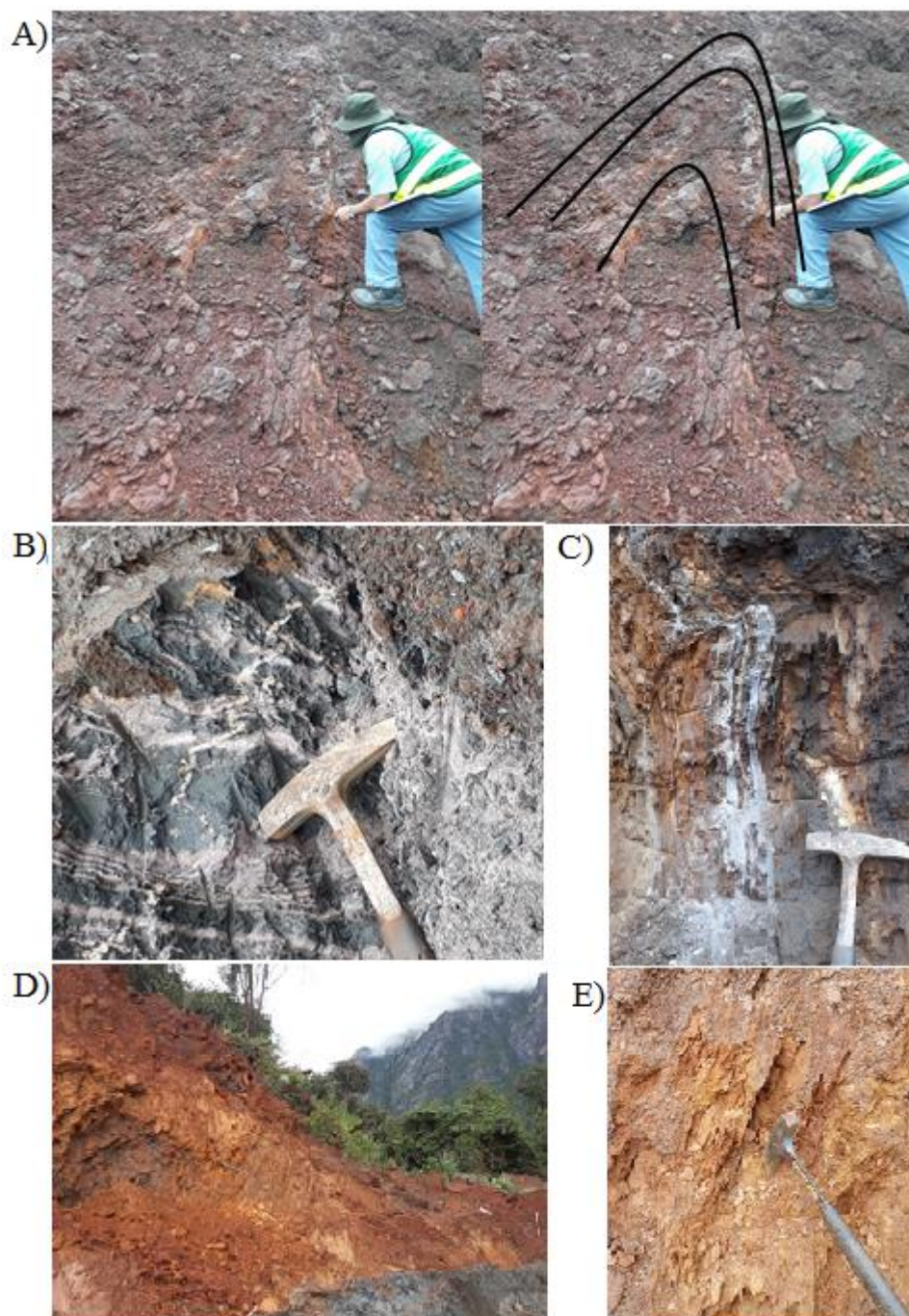


Figura 3.17 - (A) A canga está com a sua estrutura bem dobradas e possui uma zona de charneira evidenciada na foto, (B) Veios de quartzo no itabirito rico (IFR), (C) O itabirito goethítico (IGO) possui uma dobra bem marcada, (D) O filito da Formação Batatal (FB) com cor arroxeadada (E) O filito da Formação Batatal (FB) com cor amarelada, devido a alteração.

PERFIL 4

O perfil 4 (Figura 3.18) possui direção SE-NW, situa-se entre as coordenadas 665363/7773041,928 a SE e 665409/7773152 a NW, apresenta aproximadamente 30 metros de comprimento

com bancos de 10 metros de altura e está a 900 metros de altitude. O perfil está na região compreendida na porção Sul, um pouco abaixo das cavas da mina.

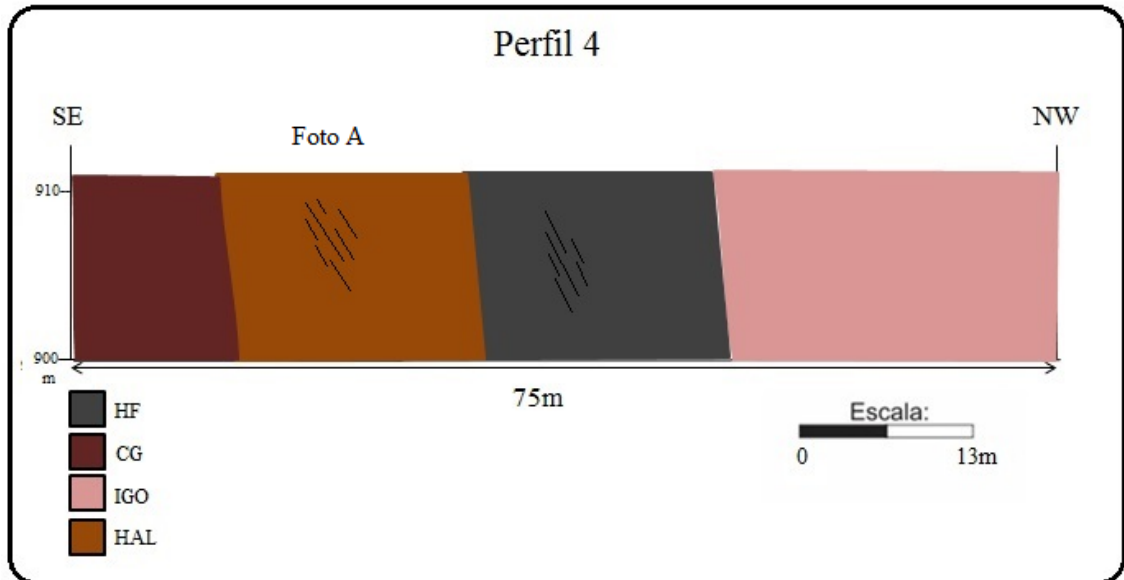


Figura 3.18 - Perfil 4 esquemático do banco 970 m (itabiritos e hematititos da Formação Cauê, Grupo Piracicaba).

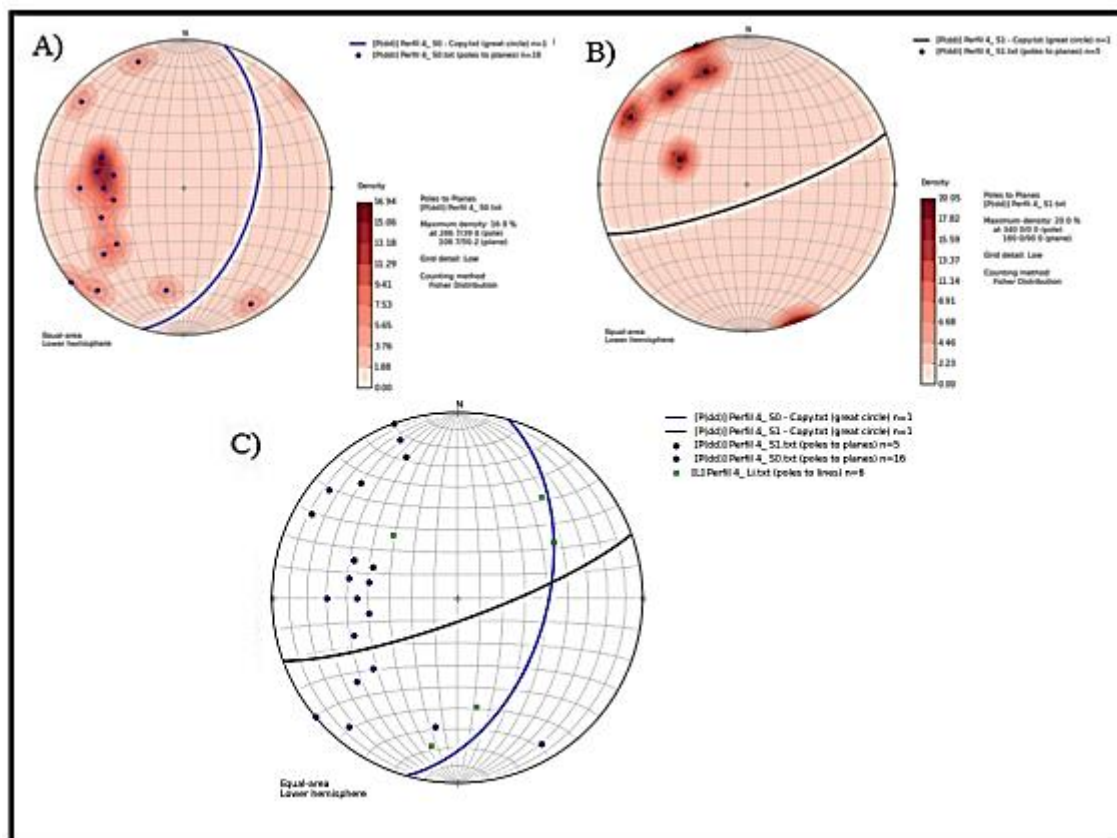


Figura 3.19 - Os estereogramas apresentam (A) a direção preferencial das feições primárias S0, (B) direção preferencial das feições secundária S1 e (C) direção preferencial de todas as feições (acumamento-círculos maiores, xistosidade- círculos menores) e a interação desta com a lineação mineral (losangos) da rocha.

Esse perfil é formado pelas litologias de itabiritos e hematitos da Formação Cauê, no entanto neste perfil as hematitas estão finamente foliadas com intercalações argilosas (Figura 3.20). O acumamento de direção preferencial 107/50 (Figura 3.19). As estruturas secundárias estão correlacionadas às superfícies metamórficas Sn com direção preferencial 160/90, sendo que a essas duas superfícies planares estão associadas a lineação de interseção de atitude geral 084/48.

Essa região da mina é marcada por várias dobras com eixos subverticais a verticais, o que indica a proximidade da zona de chaneira da dobra (Figura 3.20)

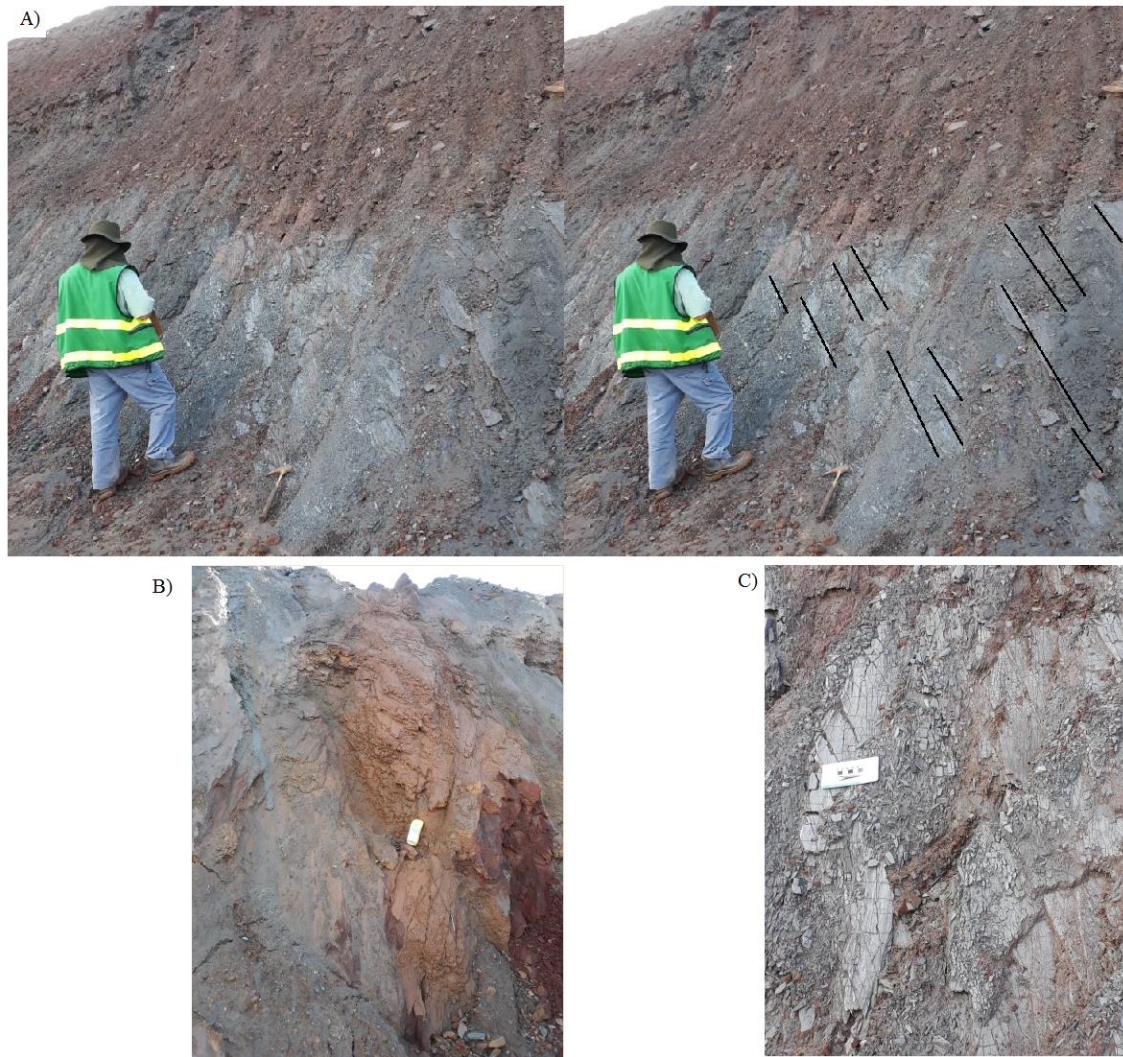


Figura 3.20- (A) A hematita aluminosa com o seu acamamento em evidência, (B) Hematita finamente foliada com intercalações argilosas com eixos subverticais, indicando a proximidade da zona de charneira e (C) A canga marcada por uma dobra com eixo verticalizado.

CAPÍTULO 4

MÉTODOS GEOFÍSICOS

A geofísica é uma ciência que vem sendo muito utilizada para estudos das rochas, principalmente em subsuperfície, para a descoberta de depósitos minerais, como auxílio no mapeamento geológico, no entendimento das estruturas do arcabouço estrutural de subsuperfície, entre outros.

Os estudos das rochas em superfície são realizados através de afloramentos, no entanto as rochas que ocorrem em subsuperfície podem ser inferidas através de estudos das rochas superficiais, mas é necessário um estudo mais detalhado, nesse caso a geofísica de prospecção é muito utilizada para a localização de depósitos minerais com o objetivo de se inferir quais rochas estão localizadas em subsuperfície, de acordo com Luiz & Silva (1995).

A geofísica estuda as propriedades físicas das rochas para diferenciá-las, provocando uma variação no campo físico e na prospecção de ondas que atuam sobre elas, através das seguintes propriedades: densidade, susceptibilidade magnética, condutividade elétrica, radioatividade, elasticidade, condutividade térmica e luminescência, para identificar as litologias em subsuperfície (Luiz & Silva 1995).

Este capítulo aborda os conceitos teóricos dos métodos geofísicos que irão ser abordados no trabalho (magnetometria e radiometria) para a construção dos mapas temáticos da área de estudo. Todas as definições utilizadas estão baseadas nos estudos de Telford *et al.* (1990), Luiz & Silva (1995), Kearey *et al.* (2009), Barbosa (2003 e 2005) e Ussami (2000).

4.1 MAGNETOMETRIA

O método magnético identifica a susceptibilidade magnética da rocha, sendo que cada rocha se magnetiza de acordo com a quantidade e a distribuição dos minerais magnéticos presentes. A concentração desses minerais na rocha produz distorções locais nos elementos (intensidade, declinação e inclinação) do campo magnético terrestre, e é através dessa propriedade que se diferencia as rochas em subsuperfície através desse método (Telford *et al.* 1990 e Luiz & Silva 1995).

Os minerais magnéticos que provocam as distorções no campo magnético da Terra são a magnetita, a pirrotita e a ilmenita. Esses minerais são importantes na prospecção mineral e, geralmente, estão associados a outros minerais economicamente importantes e não magnéticos como: calcopirita, galena, asbesto e calcocita. Além dessas medidas ainda serem usadas na identificação de

Araujo, L. P. 2018. Estudo da geofísica e do arcabouço estrutural da região sul da Mina de Fazendão, Catas Altas, MG.

contatos geológicos e de informações estruturais importantes no reconhecimento de estruturas geológicas (Telford *et al.* 1990 e Luiz & Silva 1995).

Esse método é realizado por instrumentos na superfície do terreno ou transportado por aeronaves e até por embarcações, pois é possível se fazer em áreas cobertas por água. Além das várias superfícies que ele pode ser aplicado, ainda é um método rápido e de baixo custo e, por isso, é muito utilizado na prospecção (Telford *et al.* 1990 e Luiz & Silva 1995).

4.1.1 **Campo Magnético da Terra**

O campo magnético da Terra possui variações na sua intensidade na superfície do planeta e comporta-se como uma grande esfera imantada. O campo magnético é gerado devido ao núcleo externo da Terra ser composto de ferro e níquel em estado de fusão, e este fluido está em constante movimento, o que gera correntes elétricas que circulariam nesse fluido produzindo o campo magnético. Esse é o campo magnético principal e sua explicação é baseada na teoria do Dínamo, que é atualmente a mais aceita (Telford *et al.* 1990 e Luiz & Silva 1995).

Existe ainda o campo magnético externo e variações no campo magnético principal, sendo que o primeiro é gerado pelo vento solar e pela ionosfera, o que representa uma pequena fração do campo geomagnético que varia de maneira rápida, cíclica e aleatória. Já o segundo, é gerado por rochas magnéticas que estão na camada mais superficial da Terra, e correspondem por apenas 10% do magnetismo terrestre, baseado no portal da CPRM e Telford *et al.* (1990).

4.1.2 **Magnetização das Rochas**

A magnetização das rochas ocorre devido à presença de minerais magnéticos na sua composição e/ou minerais ferromagnéticos presentes na rocha. No caso da presença de minerais magnéticos, esses podem ser classificados como magnetização induzida e magnetização remanescente, sendo que a primeira é provocada pelo campo atual da Terra, e a segunda é adquirida ao longo do tempo geológico e pode ser chamado de paleomagnetismo (Luiz & Silva 1995).

O paleomagnetismo pode ser classificado de forma simplificada de acordo com os seus principais processos, baseado em Luiz & Silva (1995):

- magnetização termoremanescente: é um processo importante na formação das rochas ígneas, pois ela ocorre a partir do resfriamento abaixo da temperatura de Curie e os minerais magnéticos alinham-se de acordo com o fluxo magnético da época;
- magnetização isotérmica: ocorre quando um material magnético está submetido a um campo magnético e depois é removido, logo é possível o aparecimento desse tipo de magnetização (residual);

- magnetização química: é um tipo de magnetização remanescente que ocorre a partir de transformações químicas ou crescimento de grãos ferromagnéticos durante a formação de rochas metamórficas ou sedimentares;
- magnetização detrital: desenvolve-se uma magnetização remanescente durante a deposição de sedimentos finos (como em argilas de varvitos);
- magnetização viscosa: ocorre quando se aplica um campo magnético fraco durante um longo período de tempo;
- magnetização piezo-remanescente: é quando a ação conjunta de pressão e campo magnético resultando na magnetização, como ocorre em rochas que foram submetidas a esforços tectônicos.

4.1.3 Anomalias Magnéticas

O conteúdo mineral magnético das rochas próximas à superfície produzem mudanças no campo magnético principal, devido aos principais minerais magnéticos: magnetita, maghemita, pirrotita e ferro nativo ou ligas de Fe – Ni – Co. Esses minerais por terem uma elevada susceptibilidade magnética ou uma alta magnetização remanescente fornecem anomalias magnéticas, sendo que a magnetita é a principal responsável por essas anomalias, apesar de ser um mineral pouco abundante nas rochas (Telford *et al.* 1990).

As anomalias magnéticas das rochas da crosta terrestre provocam uma interferência no campo magnético principal, a qual produz perturbações locais e a partir dessas são construídos relevos magnéticos. Os relevos magnéticos são baseados na concentração dos minerais magnéticos, na sua extensão, comprimento, profundidade, inclinação e latitude do corpo magnético.

Dessa forma, os corpos geológicos que possuem minerais magnéticos produzem variações no campo magnético de acordo com a orientação do corpo em relação ao campo magnético indutor, a forma e o mergulho do corpo e a sua magnetização.

4.1.4 Aerolevanteamento

Os aerolevanteamentos magnéticos são importantes no mapeamento de corpos intrusivos e também na identificação de falhas e fraturas, através da identificação de anomalias magnéticas. Os dados aeromagnéticos em regiões cobertas por vegetação, solo, sedimentos ou derrames vulcânicos necessita de um tratamento quantitativo de detecção de corpos de diferentes magnetizações, dimensões e profundidades (Schwarz *et al.* 1987).

A interpretação dos dados é dificultada devido às variações de susceptibilidade magnética da área, com isso os dados magnéticos depois de coletados passam por um processo de tratamento para fazer as correções necessárias. A primeira correção feita é eliminar as variações não geológicas, como

Araujo, L. P. 2018. Estudo da geofísica e do arcabouço estrutural da região sul da Mina de Fazendão, Catas Altas, MG.

a variação diurna e desnível de pontos de amostragem. E a outra é passar por filtros para eliminar os efeitos geológicos indesejáveis.

Os principais filtros utilizados foram: a derivada horizontal em X, o que evidencia os dados na direção X (N-S); a derivada vertical em Y, o que evidencia os dados na direção Y (E-W); a primeira derivada vertical que vai destacar as estruturas superficiais e a segunda derivada vertical (também chamada de mapa residual) vai destacar as anomalias locais, removendo as regionais, conforme mostra a tabela 4.1.

Tabela 4.1- Filtros de Fourier com respectivas finalidades geofísicas (Telford et al. 1990).

	Filtros de Fourier	Finalidade Geofísica
Frequência	Passa Banda	Retirar as anomalias relacionadas a um determinado intervalo de frequência.
	Passa Alta	Retirar baixas frequências e evidenciar informações de fontes mais rasas.
	Passa Baixa	Retirar altas frequências evidenciando informações de fontes mais profundas.
Continuação	Continuação para baixo	Fornecer informações acerca de anomalias mais rasas (filtro altamente estável – geralmente não utilizado).
	Continuação para cima	Filtra altas frequências retirando as anomalias mais rasas e evidenciando as anomalias mais profundas.
Derivada	Gradiente residual	Remove anomalias regionais e evidencia as anomalias locais.
	Gradiente horizontal em X	Evidencia as estruturas N-S.
	Gradiente horizontal em Y	Evidencia as estruturas E-W.
	Gradiente vertical	Evidencia as fontes rasas.
	Amplitude do Sinal Analítico	Projeta, em superfície, as anomalias em profundidade.

A interpretação dos dados magnetométricos é um processo de maior complexidade, devido ao caráter dipolar do campo magnético em contraste com o campo monopolar gravitacional, assim, uma determinada fonte produz anomalias diferentes quando localizadas em diferentes latitudes. Desta maneira, a magnetização remanescente, principalmente quando ela é de grande intensidade, e não está

alinhada com a magnetização induzida, isso torna o processo ainda mais complexo. Portanto, presença de remanência pode modificar a forma da anomalia observada.

A fim de simplificar a interpretação, aplicou-se a Amplitude do Sinal Analítico (ASA), que centraliza a anomalia dipolar simetricamente em relação à fonte (Cordani & Shukowsky 2009). Este método fornece uma análise das fontes das anomalias magnéticas em profundidade.

4.1.5 Deconvolução de Euler

Uma outra maneira de pesquisar as anomalias magnéticas em profundidade é utilizando os modelos geométricos 2D ou 3D, para isso se faz- o uso da técnica de Deconvolução de Euler, que faz a inversão de campos potenciais, nesse caso em específico dos dados magnetométricos. Essa técnica foi desenvolvida após vários estudos com a equação homogênea de Euler (Equação 4.1), que correlaciona à distribuição de densidade e/ou heterogeneidade de susceptibilidade magnética das fontes geradoras com sua geometria em profundidade (Reid *et al.* 1990).

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

Equação 4.1

Onde (x_0, y_0, z_0) é a localização da fonte magnética, (x, y, z) é o ponto de levantamento, T é a anomalia de campo total, B é o campo regional e N é uma medida de taxa de variação que depende da fonte magnética (Kearey *et al.* 2009).

Esse método é aplicado utilizando um programa de computador (ArcScene®), o qual fornece o perfil de profundidade da área demarcada. O processamento dos dados ocorre por meio da inversão dos mínimos quadrados calculados a partir de equações de Euler. Nesse programa de computador são inseridos os seguintes dados: valores das anomalias do perfil, índice estrutural (representa a geometria dos corpos – Tabela 4.2), profundidade máxima e tamanho da janela (define a área de influência – quanto maior o seu valor, menos pontos serão registrados para a representação do perfil).

4.1.5.1 Índice Estrutural

Os corpos geológicos podem produzir diferentes geometrias de acordo com os diferentes campos potenciais gerados, as suas diferentes posições espaciais, latitudes, profundidades e, assim, geram diferentes anomalias no campo potencial terrestre e magnetométrico.

O índice estrutural se baseia em modelos de corpos simplificados para interpretar e dar uma homogeneização aos corpos, de acordo com a tabela 4.2. Mesmo com o uso desse índice é necessário o se fazer uma interpretação geológica da área.

Araujo, L. P. 2018. Estudo da geofísica e do arcabouço estrutural da região sul da Mina de Fazendão, Catas Altas, MG.

Tabela 4.2- Relação entre índice estrutural e modelos físico e geológico para dados de magnetometria. (Reid *et al.* 1990).

Método	Modelo	Índice Estrutural
Magnetometria	Contatos geológicos	1
	Diques finos e soleiras	1.5
	Corpos cilíndricos e diques	2
	Kimberlitos e lamproítos	2.5
	Corpos esféricos e diápiros	3
Derivada	Falhas e fraturas	0
	Corpos cilíndricos	1
	Corpos esféricos	2

4.2 RADIOMETRIA

O método radiométrico, também conhecido como gamaespectrométrico, faz um estudo da distribuição dos elementos radioativos na forma de raios α , β e γ ou neutrons nas rochas e solos, levando em consideração a radiação emitida no momento da sua desintegração. Esse método é muito utilizado como apoio para o mapeamento geológico e a pesquisa mineral. Além disso, a radiometria tem sido muito utilizada para identificar áreas com evidências de hidrotermalismo e explorar os possíveis processos de mineralizações em vários ambientes geológicos, baseado em Luiz & Silva (1995) e Telford *et al.* (1990).

Os principais radioelementos que possuem uma radioatividade natural nas rochas são o potássio (^{40}K), o urânio (^{238}U) e o tório (^{232}Th). Estes radioelementos são todos litófilos e estão concentrados principalmente em rochas ígneas, em relação às intermediárias, básicas e ultrabásicas. (Vasconcellos *et al.* 1994).

A abundância que esses três elementos (U, K e Th) aparecem nas rochas são diferentes dependendo do tipo de rocha. Esses elementos são muito mais abundantes em rochas graníticas do que em rochas basálticas e ainda menos em ultrabásica, como mostra a tabela 4.1 (Uyeda *et al.* 1970). Esses elementos são medidos nas rochas por cintilômetros (contagem de gama total) ou por

espectrômetros (vários canais) e essas medidas são feitas em contagem por segundo convertidas em concentrações de K (em porcentagem %), eU (equivalência de urânio em ppm) e eTh (equivalência de tório em ppm).

Tabela 4.3- Conteúdo radioativo das principais rochas ígneas (Uyeda et al. 1970).

Tipos de rochas	U (ppm)	Th (ppm)	K(%)
Rochas graníticas	4	13	4,1
Rochas basálticas	0,6	2	1,5
Rochas ultrabásicas	0,02	0,06	0,02

É possível detectar a presença desses radioelementos em minerais, e quando isso ocorre compara-se a ocorrência desses minerais nas rochas, como mostra a Tabela 4.3. O potássio ocorre principalmente nos minerais: ortoclásio, microclina, muscovita, alunita e carnalita (Tabela 4.4). Já o tório ocorre principalmente na monazita, torianita, torita e uranorita (Tabela 4.4). E por fim, o urânio ocorre na uraninita, carnotita e gummita (Tabela 4.4).

Neste trabalho foram elaborados mapas temáticos radiométricos (contagem total dos isótopos, imagem ternária, concentração absoluta, razões Th/K, U/K, U/Th, parâmetro F) com o objetivo de visualizar os tipos de rochas, os *trends* estruturais, os contatos geológicos e a distribuição dos teores dos radioelementos.

Os mapas de contagem total dos isótopos foram confeccionados para obter a medida da radioatividade total, abrangendo todo o espectro; os mapas da concentração absoluta do canal U, Th e K e os mapas da imagem ternária representam as variações das concentrações dos três isótopos e, com isso, é possível observar as mudanças de litologia e, conseqüentemente, os contatos geológicos, sendo que essas informações serão comparadas com os dados do mapeamento geológico.

Os mapas das razões Th/K e U/Th foram utilizados na identificação do grau de intemperismo, pois os minerais primários contendo tório são mais resistentes ao intemperismo do que os minerais primários dos outros dois elementos e, assim, caracterizar os processos secundários de lixiviação e alteração supergênica. E o mapa da razão U/K e a imagem ternária são importantes para destacar as variações de U e K na composição das rochas.

Tabela 4.4- Minerais radioativos (modificado de Telford et al. 1990).

Potássio	
Mineral	<ul style="list-style-type: none"> (i) Ortoclásio e microclina [$KAlSi_3O_8$] (ii) Moscovita [$H_2KAl(SiO_4)_3$] (iii) Alunita [$K_2Al_6(OH)_{12}SiO_4$] (iv) Sylvita, carnalita [$KCl, MgCl_2, 6H_2O$]
Ocorrência	<ul style="list-style-type: none"> (i) Principais constituintes em rochas ígneas ácidas e pegmatitos (ii) Principais constituintes em rochas ígneas ácidas e pegmatitos (iii) Alteração em vulcânicas ácidas (iv) Depósitos de salinas em sedimentos
Tório	
Mineral	<ul style="list-style-type: none"> (i) Monazita [ThO_2 + raro fosfato terrígeno] (ii) Torianita [(Th. U)O_2] (iii) Torita, uranotorita [$ThSiO_4$ + U]
Ocorrência	<ul style="list-style-type: none"> (i) Granitos, pegmatitos, gnaisses (ii) Granitos, pegmatitos, pláceres
Urânio	
Mineral	<ul style="list-style-type: none"> (i) Uraninita [óxido de U, Pb, Ra + Th, terras raras] (ii) Carnotita [$K_2O, UO_3, V_2O_5, 2H_2O$] (iii) Gummite [alteração da uraninita]
Ocorrência	<ul style="list-style-type: none"> (i) Granitos, pegmatitos e/com depósitos em veios de Ag, Pb, Cu, etc. (ii) Arenitos (iii) Associado à uraninita

No mapa do parâmetro F analisa-se de forma conjunta o radioelemento K e a razão U/Th, sendo que este mapa geralmente é utilizado para indicar zonas de alterações hidrotermais (por se tratar de áreas com alta concentração de K, devido ao seu poder de migração), concentrações variadas de U e muito baixas de Th (pois o Th não é removido por completo das rochas hidrotermais ou em processo supergênico), de acordo com Ostrovskiy (1975).

O método gamaespectrométrico é capaz de detectar a presença dos elementos urânio, tório e potássio na superfície terrestre. Esses dados podem fornecer importantes informações sobre o subsolo, como: as mudanças nas concentrações dos três elementos vão indicar uma mudança na litologia; variações nas concentrações dos radioelementos podem indicar processos geológicos primários (soluções mineralizantes ou metamorfismo) e/ou secundários (alteração supergênica e lixiviação); mostram a presença de urânio e podem ser aplicados na exploração de diamantes, depósitos de cobre pórfiro e ouro (associados Au-V) e auréolas radioativas para depósitos de hidrocarbonetos.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE QUALITATIVA

Nesse capítulo, realiza-se uma análise qualitativa da área com a geração e interpretação dos mapas temáticos magnetométricos e radiométricos. Na interpretação desses mapas, geram-se os principais lineamentos da área, verificando as tendências estruturais. Por fim, correlacionam-se os dados dos mapas geológicos com os geofísicos com a finalidade de integrar esses dados.

5.1 BANCO DE DADOS

Os dados geológicos deste trabalho foram obtidos da base de dados geológicos, na escala 1:100.000, do Quadrilátero Ferrífero (2005) – Integração e Correção Cartográfica em SIG, resultante do mapa geológico integrado do Quadrilátero Ferrífero, a partir dos mapas 1:25.000 dos projetos USGS/DNPM e DNPM/CPRM. O projeto segue a articulação 1:50.000 do IBGE e foi realizado pela CODEMIG, Governo do Estado e UFMG (Figura 5.1)

A base de dados para o estudo geofísico consiste dos resultados do Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais – Área 2 - Pitangui/São João del Rei/Ipatinga, da Secretaria de Estado de Minas e Energia do Governo de Minas Gerais (SEME) e realizado pela Lasa Engenharia e Prospecções S.A., entre os anos de 2000 e 2001, no qual foram obtidos e processados os dados aeromagnetométricos e aerogamaespectométricos. Neste levantamento foram utilizadas duas aeronaves Cessna, modelo 404 – Titan, equipadas com magnetômetro de bombeamento ótico de vapor de césio da Geometrics, modelo G-822A, gamaespectômetro Exploranium, modelo GR-820, e sistema de navegação GPS Sercel NR-103 de 10 canais (Lasa Engenharia e Prospecções S.A. 2001).

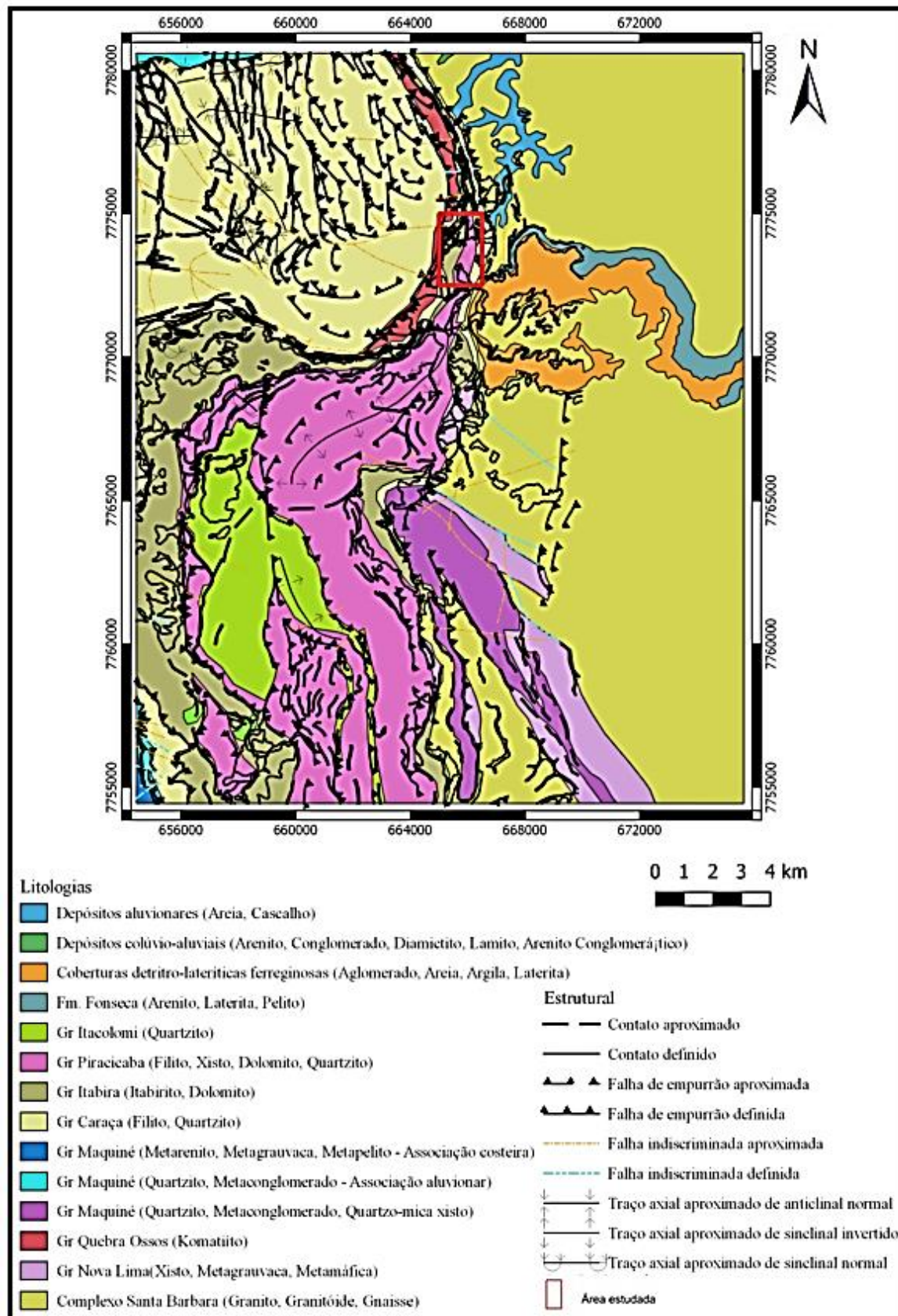


Figura 5.1 - Mapa litológico dos projetos Integração e Correção Cartográfica em SIG, pelo convênio com o Governo de Estado, CODEMIG e UFMG (2005).

A Área 2 da Codemig (Figura 5.2) foi dividida em dois blocos (oeste e leste) para a realização do levantamento. O bloco oeste contempla uma região de 21564km² e teve como direção de linhas de produção N30E e linhas de controle N60W. Já o bloco leste contempla uma região de 13611km² e teve como direção de linhas de produção N30W e linhas de controle N60E. Os aviões sobrevoaram a área com uma altitude de 100m, utilizou-se um espaçamento de 250m entre as linhas de produção e as de controle foram de 2500m.

O levantamento foi realizado com o sensor de dados magnetométricos possui precisão e 0,001nT, e opera na faixa de 20000 – 95000nT, com amostragem de 10 medidas/s. O gamaespectrômetro que foi utilizado possui 256 canais espectrais com amostragem de medida/s, sendo que cada um dos cristais detectores é analisado individualmente para uma melhor determinação dos fotópicos (dos elementos urânio, tório e potássio).

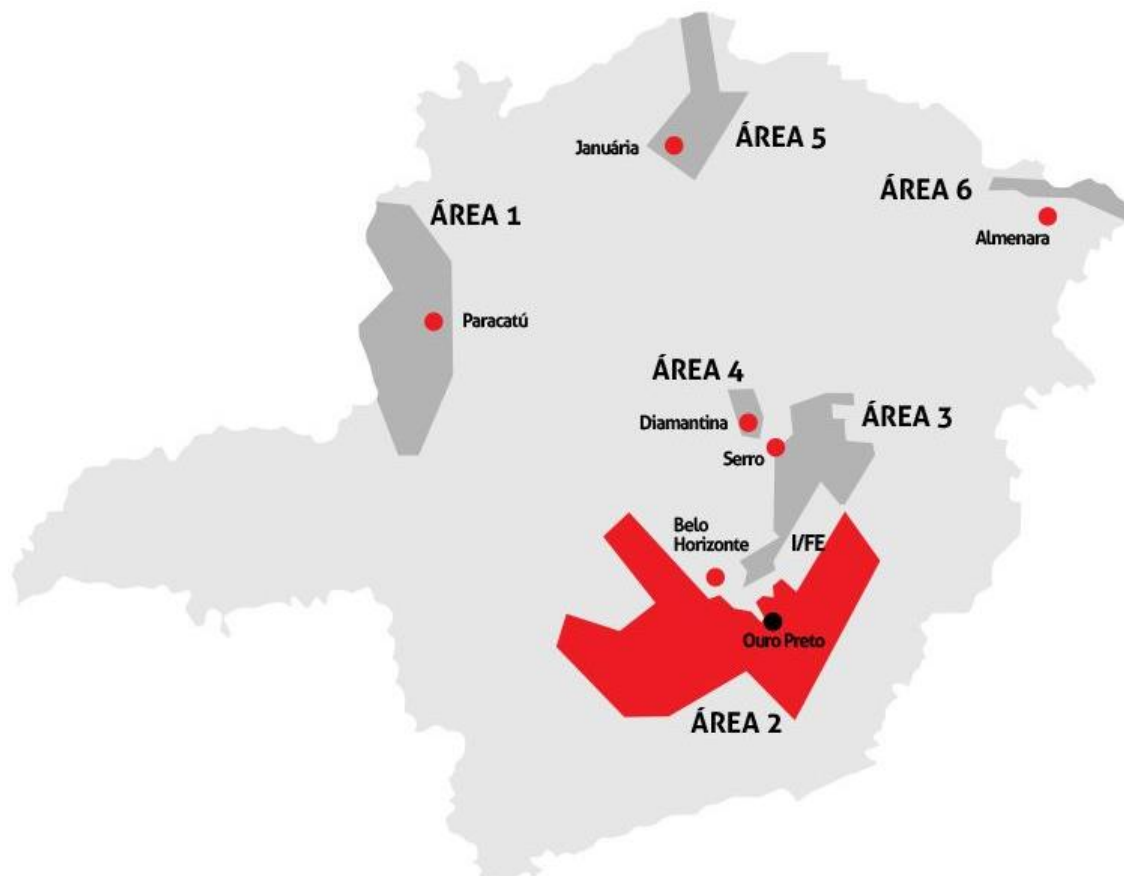


Figura 5.2 - Mapa de localização dos aerolevantamentos da CODEMIG, em evidência a Área 2 (acessado em 21/03/2018 de <http://www.codemig.com.br/atuacao/mineracao/levantamento-aerogeofisico/programa-2001/>).

5.2 METODOLOGIA

A análise geofísica da área de estudo foi realizada com a confecção de mapas colorpéticos confeccionados a partir dos dados citados anteriormente. Os mapas foram elaborados no software Oasis Montaj 7.0.1, no qual se inseriu os dados em formato .gdb para depois processar os dados específicos da área pela utilização da rotina WINXY do *software* acima. Em seguida, com a rotina *Griding and Image*, fez-se a interpolação (*Interpolation*) dos dados pelo método de mínima curvatura e se estabeleceu o tamanho das células de interpolação de 300m, produzindo os arquivos em .grd.

Dessa forma, foram confeccionados os mapas magnetométricos temáticos com a aplicação de derivações e filtragens (Campo Magnético Anômalo; Gradiente Vertical de Primeira e Segunda Ordem; Gradientes Horizontais em X e Y; Amplitude do Sinal Analítico), e depois os mapas radiométricos (Canais de K, Th, U e Contagem Total; Razões Th/K, U/K, U/TH; Imagem Ternária; Parâmetro F). E por fim, todos esses mapas foram georreferenciados e integrados com os dados geológicos da área em ambiente SIG, a fim de se interpretar os dados qualitativos (Figura 5.3).

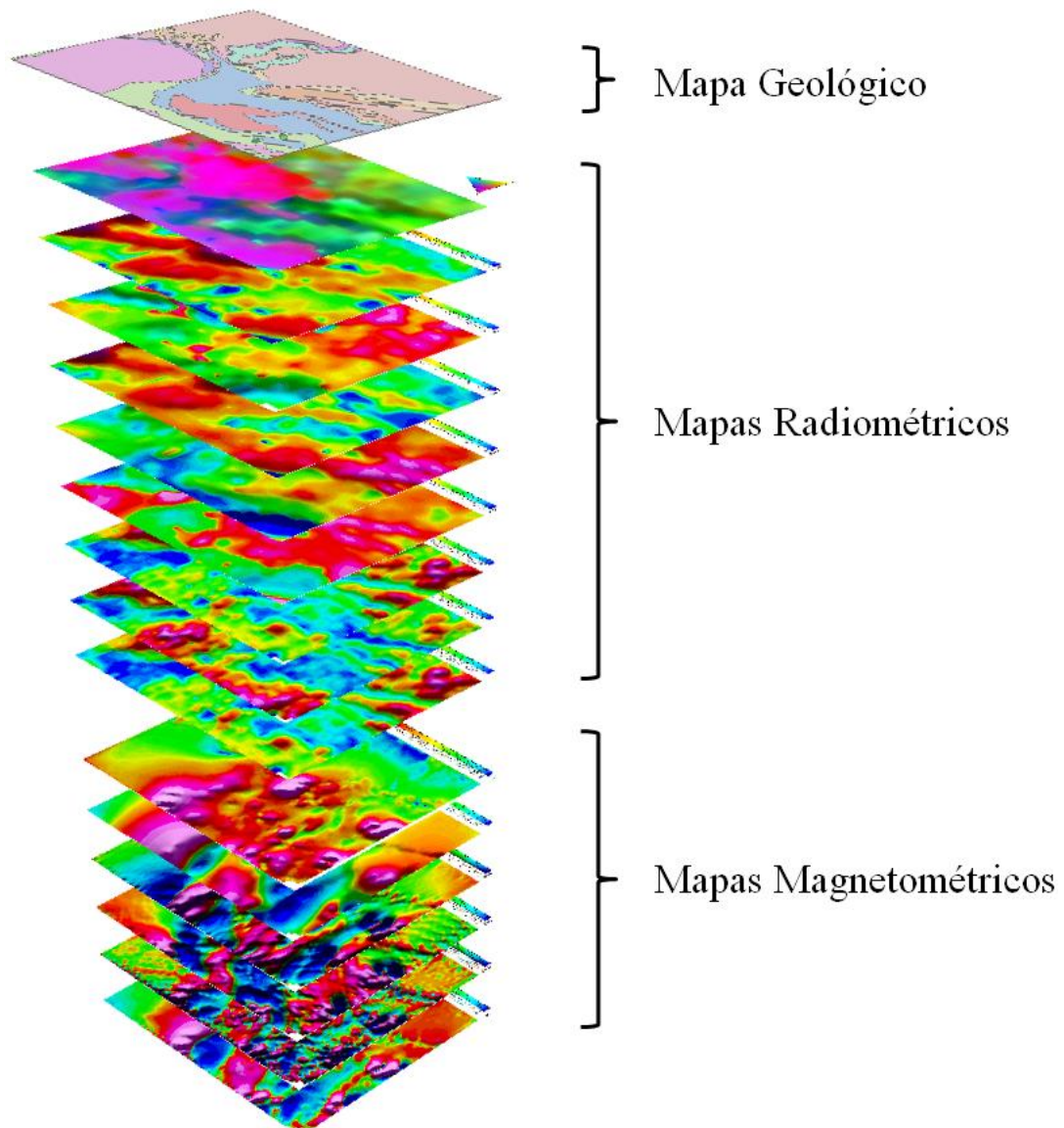


Figura 5.3 - Imagem esquemática da descrição da metodologia empregada em ambiente SIG.

5.3 ANÁLISE MAGNETOMÉTRICA

A magnetometria auxilia na produção de imagens que identifica estruturas e as rochas que estão em maior profundidade, logo essa análise ajuda a determinar a presença ou não de corpos que contêm minerais ferromagnéticos.

Os mapas são produzidos com base no método magnético e faz-se necessário a produção de vários mapas temáticos por meio de uma sequência de derivações e filtragens (Figura 5.4). Neste método foram gerados mapas a partir do mapa magnético corrigido do *Internacional Geomagnetic Reference Field* (IGRF), com base no processamento de dados do campo anômalo, da amplitude do sinal analítico, derivada da amplitude do sinal analítico, derivada vertical em Z, derivada horizontal

Araujo, L. P. 2018. Estudo da geofísica e do arcabouço estrutural da região sul da Mina de Fazendão, Catas Altas, MG.

em Y e em X e a residual (Figura 5.4). Assim, fez-se a interpretação qualitativa dos mapas temáticos, além da identificação de lineamentos, reconhecimento das estruturas presentes e a descrição das magnetofácies.

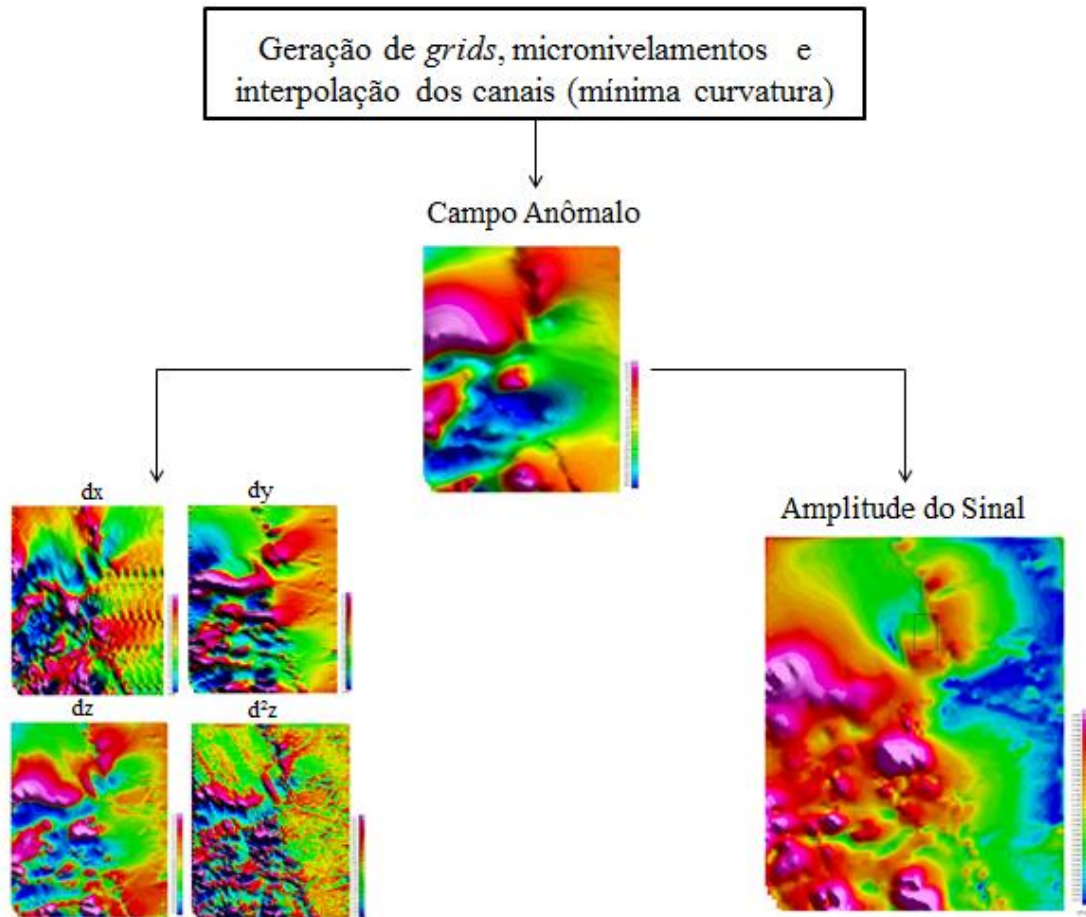


Figura 5.4 - Fluxograma representativo da produção dos mapas temáticos campo anômalo, dx (gradiente horizontal em X), dy (gradiente horizontal em Y), dz (gradiente vertical de 1ª ordem), d²z (gradiente vertical de 2ª ordem) e amplitude do sinal analítico, a partir dos dados aeromagnetométricos da área de estudo no *software* OASIS MONTAJ 7.0.1.

Os mapas temáticos magnetométricos são elaborados por meio de vários filtros específicos sob uma malha regular, com o intuito de realçar ou atenuar e até eliminar anomalias enfatizando algumas feições lineares ou planares. As derivações horizontais (dx e dy) são empregadas com o propósito de destacar estruturas importantes norte-sul e leste-oeste, respectivamente. Assim como os mapas de gradiente vertical de primeira e segunda ordem em Z são importantes para salientar as estruturas mais superficiais, e até mesmo retirar as anomalias mais profundas, respectivamente, como demonstrado na Figura 5.4.

A análise magnetométrica qualitativa é feita com base no mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA), devido à característica monopolar, por não depender dos parâmetros do campo magnético e da direção da fonte (Roest *et al.* 1992). O estudo das anomalias magnéticas da área foi baseado no mapa ASA correlacionando as fácies magnéticas com características semelhantes. Assim, as magnetofácies foram divididas em três de acordo com os seus respectivos valores de amplitude e de comprimento de onda de suas anomalias (Figura 5.5).

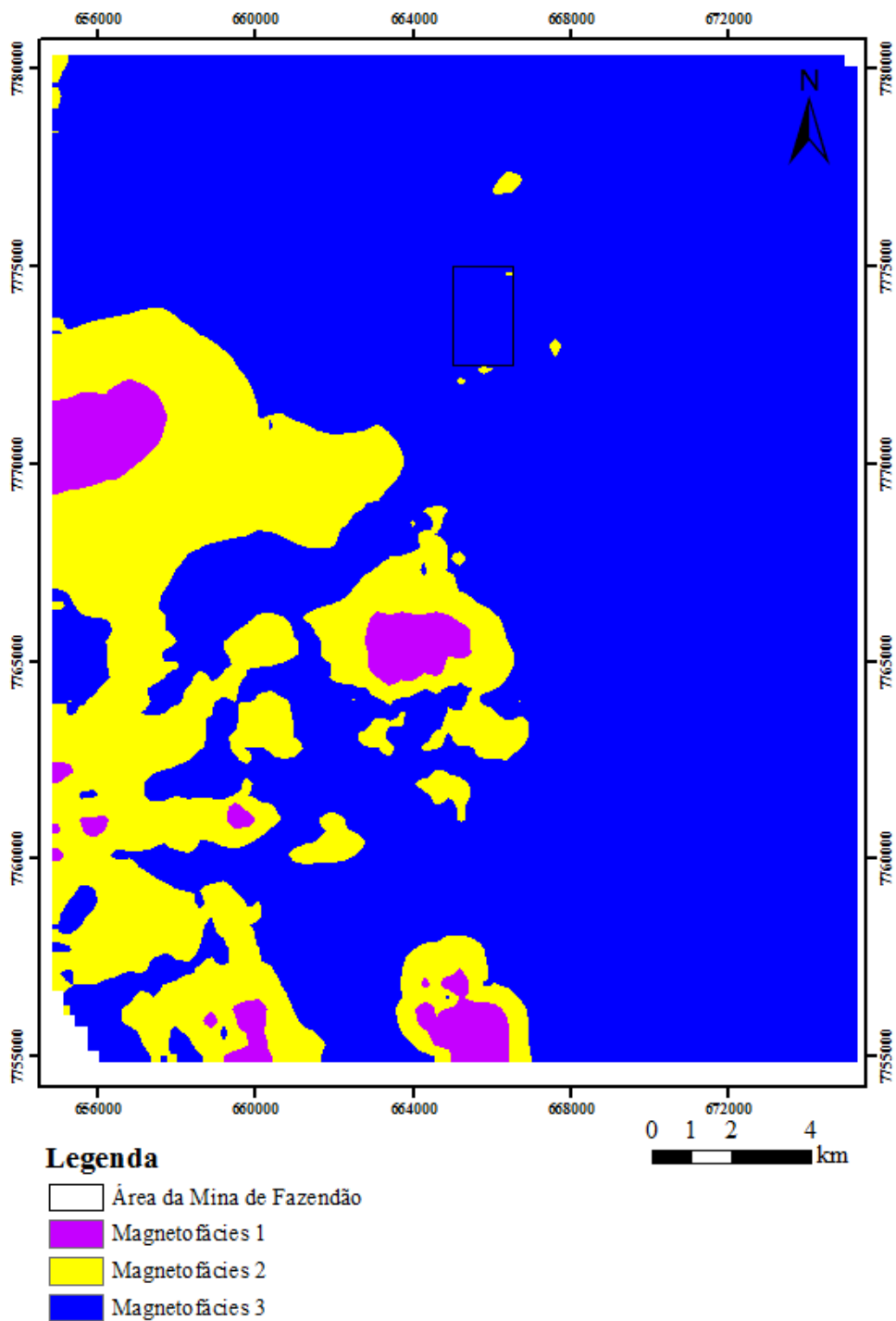


Figura 5.5 - Mapa de Magnetofácies sobreposta ao mapa Amplitude do Sinal Analítico.

A Magnetofácies 1 apresenta os valores mais altos de magnetização (altas amplitudes), entre 0,909 e 2,768nT/m, e baixos comprimentos de onda, o que caracteriza uma elevada susceptibilidade magnética. Esta magnetofácies é observada em maior proporção na porção central, leste e sul da área.

A Magnetofácies 2 possui valores intermediários de amplitude, entre 0,289 e 0,909nT/m, e comprimento de onda. Esta magnetofácies circunda a Magnetofácies 1 e predomina na região leste e sudeste da área.

A Magnetofácies 3 caracteriza-se por valores de magnetização baixos (baixas amplitudes), entre 0,0063 e 0,289nT/m, e por e altos comprimentos de onda. Esta magnetofácies ocupa a maior parte da área e indica rochas com menores concentrações de material magnético, logo são rochas de menor susceptibilidade magnética ou encontra-se em maior profundidade.

Na área da Mina de Fazendão a Magnetofácies predominante é a 3, que são os valores de magnetização baixos, o que mostra que em maior profundidade a geologia da área não possui litologias com concentrações altas em material magnético. Entretanto, isso não descarta a possibilidade de haver rochas ricas em hematitas, as quais não possuirão um alto teor magnético.

Apresenta-se na Figura 5.6A o mapa de lineamentos magnetométricos, o qual foi construído baseado nos mapas de Amplitude do Sinal Analítico e interpretaram-se os lineamentos presentes na área de estudo. A partir desta interpretação foram assinalados 633 lineamentos, com uma direção principal de 344,8°, isto é, direção preferencial NW, entretanto, evidenciam-se na roseta as direções N-S e E-W como preferencial também. Já na área da Mina de Fazendão, percebe-se uma direção principal E-W e NE, como ilustra a Figura 5.6B elaborada no *software* Open Stereo 0.1.2.

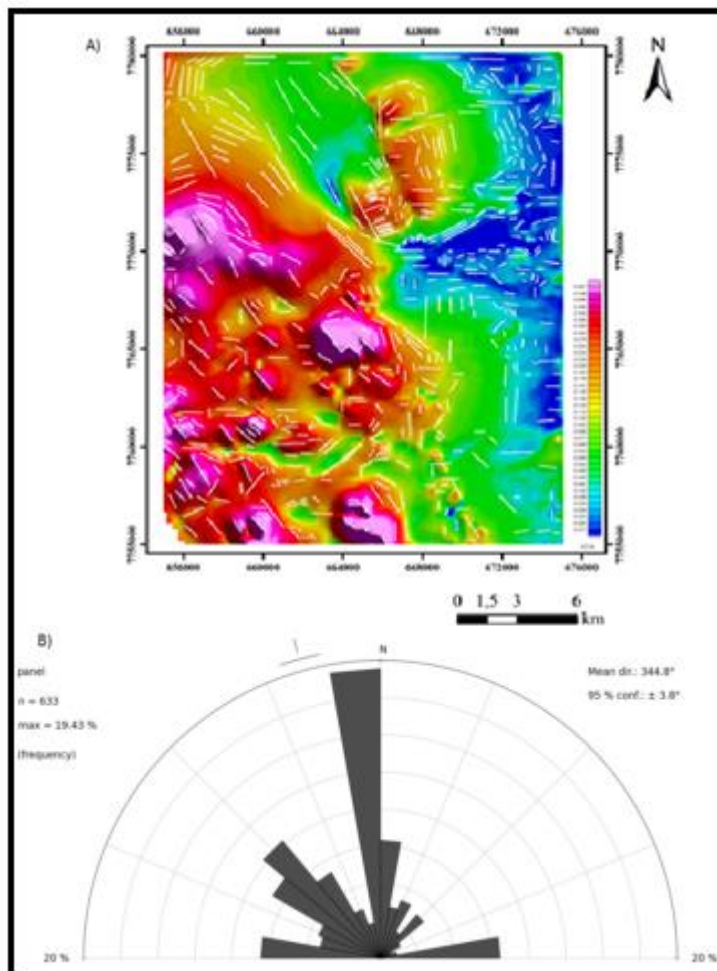


Figura 5.6 - A) Mapa de lineamentos magnetométricos sobreposto ao mapa de Amplitude do Sinal Analítico da área de estudo; e B) Roseta dos lineamentos magnetométricos.

5.4 ANÁLISE RADIOMÉTRICA

Os métodos radiométricos são muito utilizados para identificação das feições litológicas em superfície através de sua correlação com as assinaturas radiométricas dos diferentes níveis de tório (^{232}Th), urânio (^{238}U), potássio (^{40}K). Essa identificação das feições é possível, pois este método possui uma baixa penetrabilidade o que permite refletir as rochas que se encontram na superfície ou na subsuperfície, assim há uma grande importância nos trabalhos de mapeamento geológico.

Os dados radiométricos foram trabalhados no *software* Oasis Montaj, o qual propiciou a elaboração dos mapas e a geração dos grids e efetuaram-se o micronivelamento e a interpolação dos dados por meio dos métodos matemáticos por mínima curvatura. Assim, foi possível produzir os mapas temáticos apresentados na Figura 5.7.

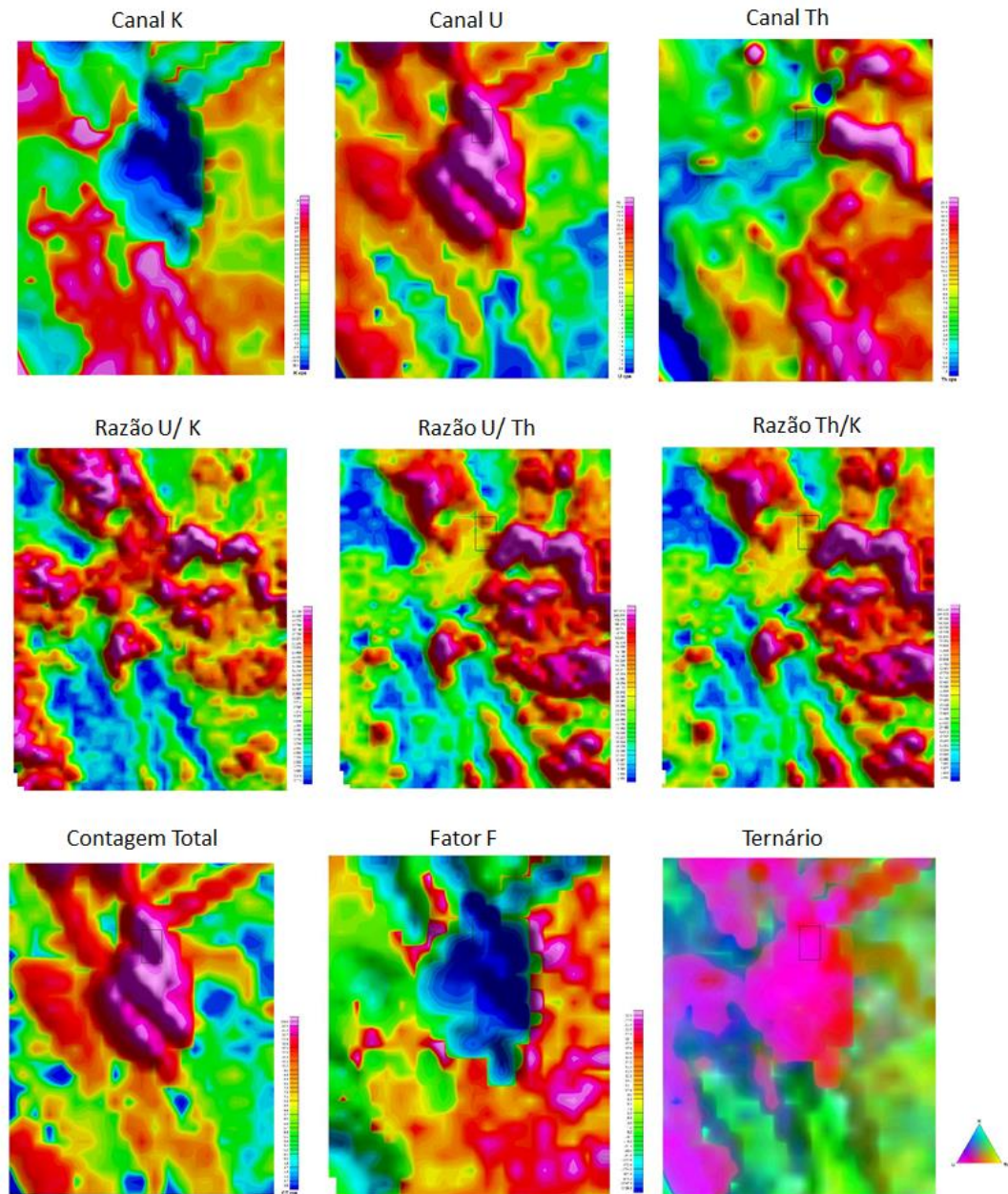


Figura 5.7 - Mapas temáticos radiométricos e Imagem Ternária gerados a partir do software Oasis Montaj 7.0.1.

Os elementos urânio, tório e potássio foram utilizados para a confecção dos mapas de canal dos respectivos elementos e os outros mapas de Contagem Total, Imagem Ternária, Parâmetro F, razão U/Th, razão U/K e razão Th/K são confeccionados a partir da associação entre esses três elementos.

A análise radiométrica qualitativa foi feita com base nos mapas de canal dos elementos urânio, tório e potássio e utilizou-se predominantemente o mapa de tório, pois a energia deste canal é maior em relação aos demais (U e K), apesar de ter o auxílio dos demais mapas temáticos radiométricos. A

Araujo, L. P. 2018. Estudo da geofísica e do arcabouço estrutural da região sul da Mina de Fazendão, Catas Altas, MG.

partir da análise desses mapas delimitaram-se radiofácies de acordo com seus respectivos valores das anomalias e construiu-se o mapa da Figura 5.8.

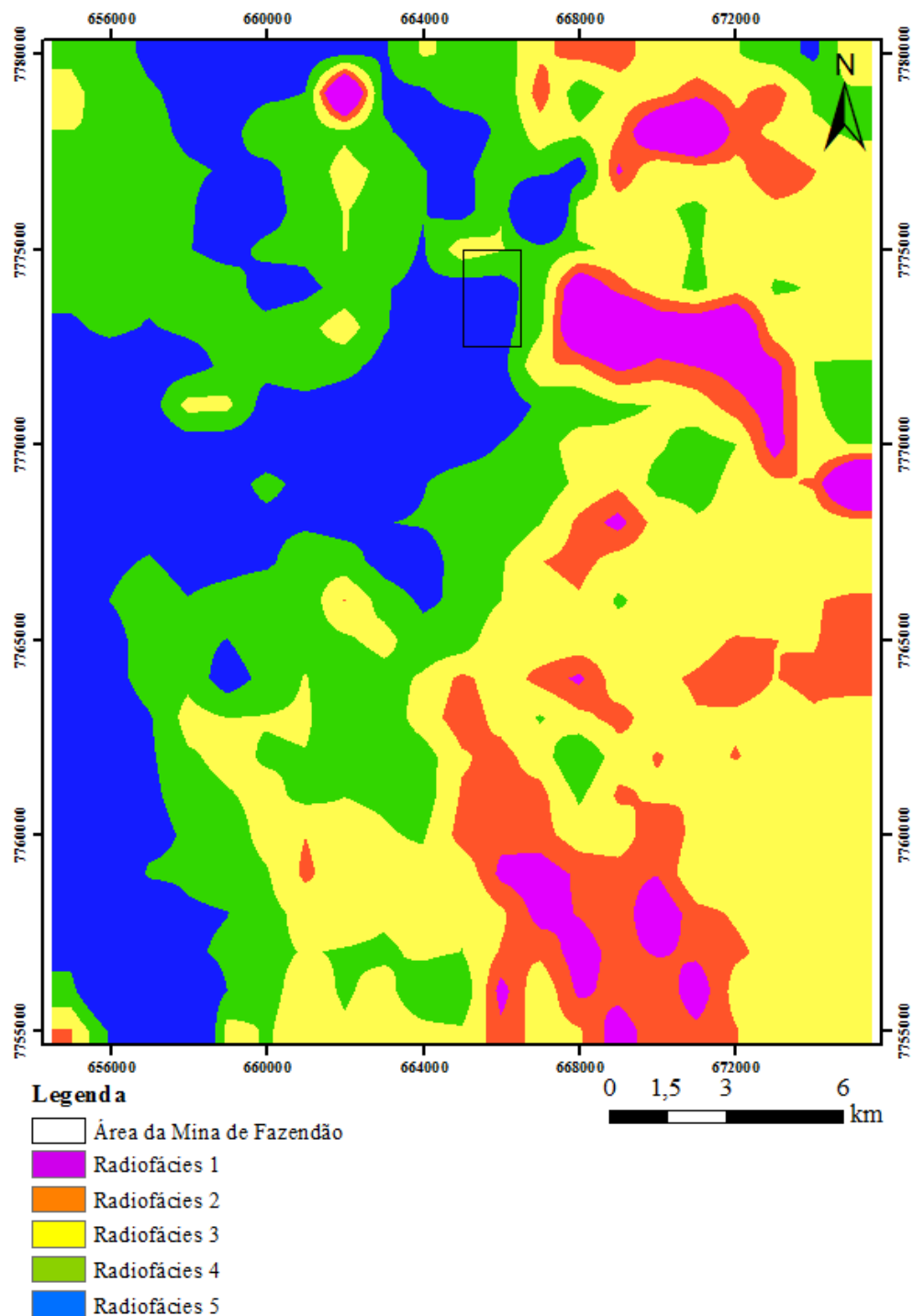


Figura 5.8 - Mapa de radiofácies sobreposta à imagem do canal de tório.

As radiofácies foram caracterizadas de acordo com seus respectivos teores relativos de tório (Th), potássio (K) e urânio (U) e quantificadas em muito alto, alto, intermediário, baixo e muito baixo,

e assim, correlacionar às concentrações de cada um dos isótopos nas litologias da área, como indicadas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1- Concentrações relativas de Th, U e K das radiofácies interpretadas da área de estudo

Radiofácies	Teor de Th	Teor de U	Teor de K
1	Alto	Intermediário	Intermediário
2	Médio a alto	Baixo	Baixo
3	Intermediário	Muito baixo	Alto
4	Baixo	Alto	Alto
5	Muito baixo	Muito alto	Baixo

A Radiofácie 1 apresenta um alto teor de tório em contraste com os teores de urânio e potássio, os quais possuem concentrações intermediárias. No mapa ternário na porção nordeste, onde há a maior área da rádiofacie 1, esta área apresenta teores intermediários de Th e U, e apenas no sul há valores intermediários entre Th e K.

A Radiofácies 2 possui teor de médio a alto de tório e baixos de urânio e potássio. O mapa ternário nas porções centro e sul do mapa tem valores intermediários de K e Th na maior parte dessa radiofácies, no entanto, a porção central e norte possui valores mais altos de Th e U e ao norte há os teores mais altos de U nessa região.

A Radiofácies 3 mostra teores intermediários de tório, baixo de urânio e altos de potássio, o que é confirmado pelo ternário pois neste mapa a região dessa radiofácies é praticamente toda esverdeada.

A Radiofácies 4 tem teores mais baixos de tório e altos de urânio e potássio. O mapa ternário também confirma essa análise, por mostrar valor intermediário entre U e K em sua maior parte do mapa que contém essa radiofácies e um valor bem alto de U na porção central.

A Radiofácies 5 possui teores muito baixos de tório, baixo de potássio e muito alto de urânio, o que se evidencia no mapa ternário que mostra a porção central do mapa com valores muito altos de U.

Na região da Mina de Fazendão predomina a Radiofácies 5 com baixos teores de tório, baixo de potássio e muito alto de urânio. E na porção mais ao norte da área possui uma porção considerável da Radiofácies 4 tem teores mais baixos de tório e altos de urânio e potássio.

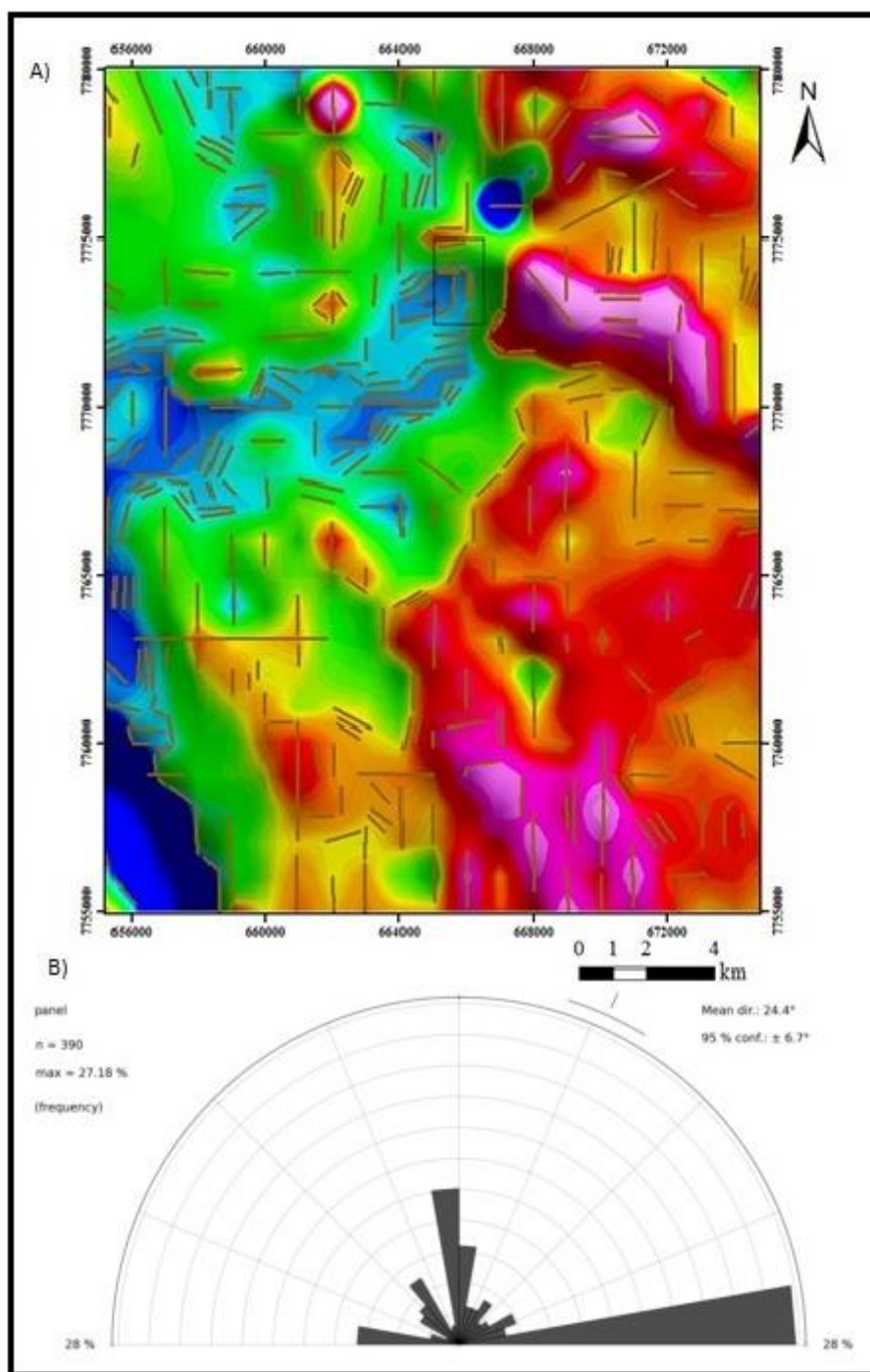


Figura 5.9 - A) Mapa de lineamentos radiométricos sobreposto ao mapa do canal de tório da área de estudo; e B) Roseta dos lineamentos radiométricos.

A Figura 5.9 A mostra o mapa de lineamentos radiométricos, o qual foi construído baseado nos demais mapas radiométricos e interpretaram-se os lineamentos presentes na área de estudo. A partir desta interpretação foram assinalados 390 lineamentos, com uma direção principal de $24,4^\circ$, isto

é, direção preferencial NE, entretanto ficam evidentes na roseta as direções N-S e E-W como preferencial também. Na região da Mina de Fazendão predomina as direções N-S e E-W, como ilustra a Figura 5.9 B elaborada no *software* Open Stereo 0.1.2.

5.5 INTEGRAÇÃO GEOLÓGICA-GEOFÍSICA

A integração Geológica-Geofísica tem como objetivo relacionar os dados geológicos da área, baseado no trabalho realizado pelo Governo de Estado, CODEMIG e UFMG (2005), com os dados interpretados nos mapas temáticos magnetométricos e radiométrico. A correlação entre esses mapas é realizada com o *Software ArcGis* e sua respectiva extensão, o ArcScene, com a técnica de sobreposição entre os mapas temáticos geofísicos e o mapa geológico da CODEMIG 2012.

5.5.1 MAGNETOMETRIA

A integração dos dados magnetométricos nem sempre é possível, visto que essas informações geofísicas estão em profundidade, já as informações do mapa geológico mostram as unidades aflorantes na área. Assim, nem sempre haverá correspondência entre as unidades aflorantes e as que estão em profundidade. No caso do presente trabalho foi possível fazer uma correspondência entre as litologias da superfície com as que estão em profundidade, como mostra a figura 5.10.

Analisando a integração magnetométrica e as unidades litológicas regionais observa-se que a Magnetofácies 1, onde estão as regiões com os valores mais altos de magnetização, afloram as unidades do Grupo Itabira com os itabiritos e dolomitos, o que confirma esta maior magnetização na área, pois os itabiritos geralmente possuem a magnetita em sua composição.

A Magnetofácies 2 (com valores intermediários de magnetização) circunda a Magnetofácies 1, logo afloram nesta região as unidades do Grupo Itabira com os Itabiritos e Dolomitos e os filitos dos Grupos Piracicaba e Itacolomi.

A Magnetofácies 3 (com os valores mais baixos de magnetização) está relacionada principalmente filitos e quartzitos do Grupos Caraça e do Complexo Santa Bárbara. Apesar de uma participação menor, essa magnetofácies está relacionada também com os filitos do Grupo Piracicaba; com os komatiítos do Grupo Quebra Ossos; Depósitos aluvionares; Formação Fonseca com arenitos, lateritas e pelitos; coberturas dentrito-lateríticas ferruginosas com aglomerado, areia, argila e laterita; Grupo Nova Lima com formação ferrífera bandada e quartzitos e Grupo Maquiné com quartzitos, metaconglomerados e quartzo-mica-xisto.

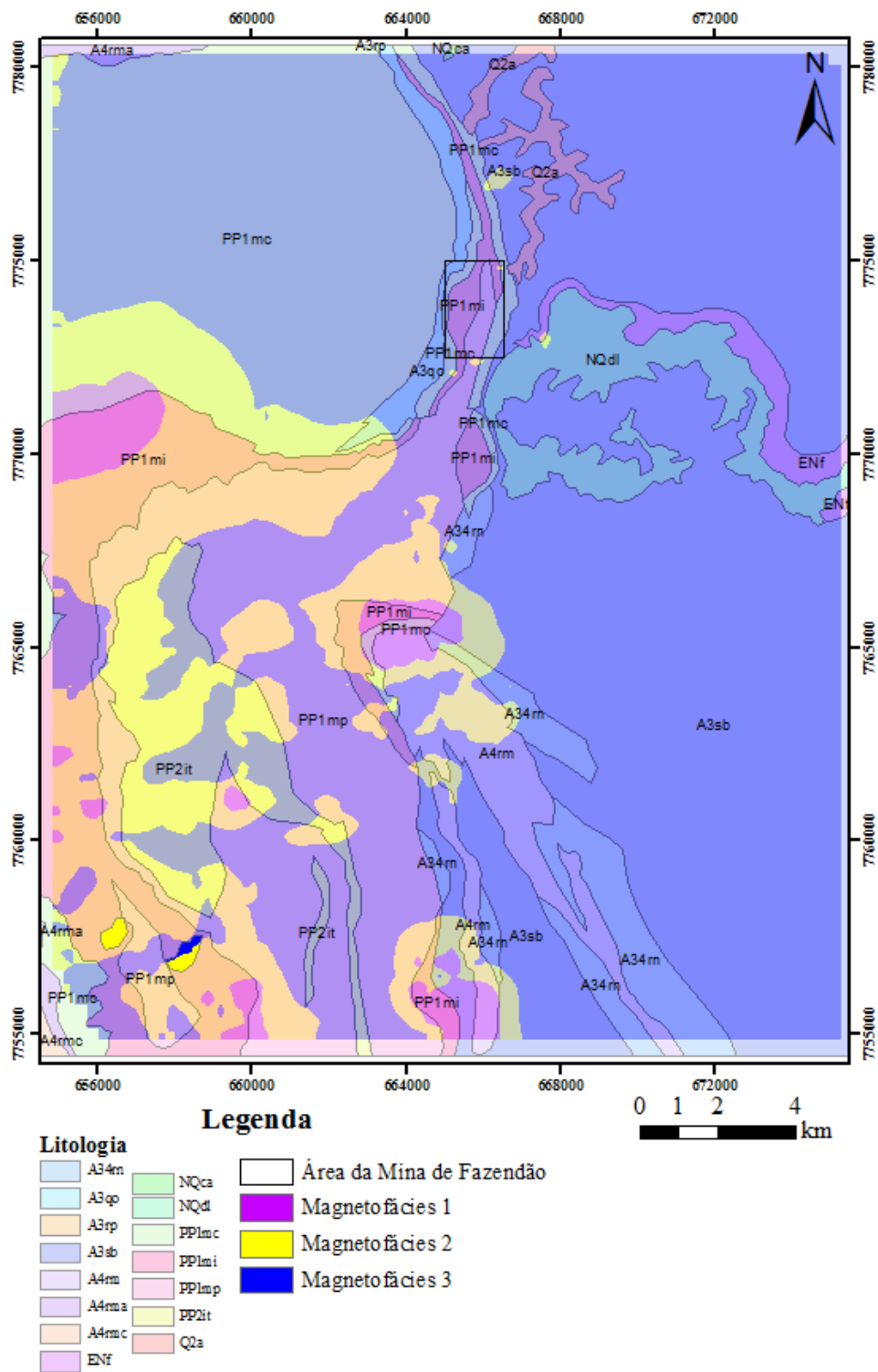


Figura 5.10 - Mapa de magnetofácies sobreposto ao mapa geológico (com trinta por cento de transparência).

Na área da Mina de Fazendão predomina a Magnetofácies 3 com os filitos do Grupo Piracicaba.

Todas as magnetofácies apesar de aparecer em mais de uma unidade geológica, cada uma delas possui uma unidade mais preponderante. Dessa forma, a tabela 5.2 mostra as unidades geológicas com que cada radiofácies está correlacionada.

Tabela 5.2- Correlação entre as magnetofácies e suas unidades geológicas correspondentes

Magnetofácies	Característica Geofísica	Unidade Geológica
1	Associada a estrutura com forte resposta magnetométrica	Itabiritos do Grupo Itabira
2	Associada a estrutura com resposta magnetométrica intermediária	Filitos e quartzitos das Formações Piracicaba e Grupo Itacolomi
3	Associada a estrutura com resposta magnetométrica moderada a baixa	Filitos e quartzitos do Grupo Caraça, Complexo Santa Bárbara e Grupo Piracicaba

5.5.2 RADIOMETRIA

A integração dos dados radiométricos com os dados geológicos geralmente se assemelham bastante, visto que os mapas temáticos radiométricos apresentam baixa penetrabilidade e os isótopos litófilos, assim os valores aferidos são das rochas que estão presentes na superfície. Dessa forma, espera-se que os mapas radiométricos se assemelhem bastante aos mapas da geologia local, pois os mapas geológicos são as observações das descrições das rochas da superfície, como mostra a Figura 5.11. Assim, esse método é de fundamental importância para os trabalhos de mapeamento geológico.

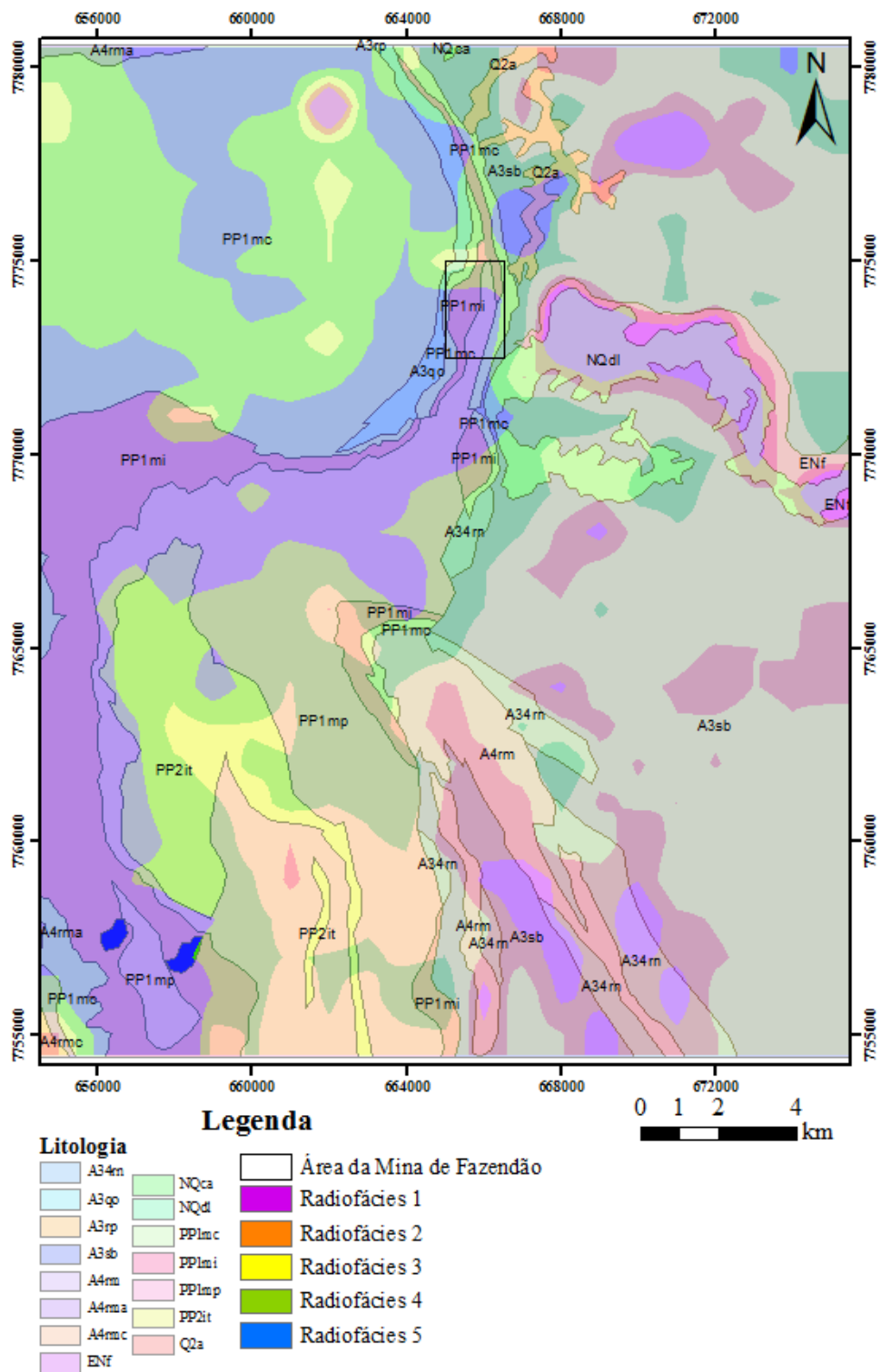


Figura 5.11 - Mapa de radiofácies sobreposto ao mapa geológico (com trinta por cento de transparência).

A Radiofácies 1 está sempre circundada pela Radiofácies 2, logo essas duas estão relacionadas com as mesmas unidades litológicas ou com unidades relacionadas e predomina nessas fácies as coberturas detrítico-lateríticas ferruginosas com aglomerado, areia, argila e laterita; Grupo Maquiné com

quartzitos, metaconglomerados e quartzo- mica-xisto e Grupo Nova Lima com xisto, metagrauvaca e metamáfica (na região sul do mapa) e em uma menor proporção está o Complexo Santa Bárbara com os granitos, granitoides e gnaisses e também está o Grupos Caraça (na porção norte do mapa) com seus filitos e quartzitos.

A Radiofácies 3 compõe-se em sua maior parte pelo Complexo Santa Bárbara com os granitos, granitoides e gnaisses. Em menor proporção está o Grupo Piracicaba com os filitos, xistos, dolomito e quartzitos; o Grupo Itacolomi com os quartzitos; o Grupo Maquiné com quartzitos, metaconglomerados e quartzo-mica-xisto; Grupo Nova Lima com xisto, metagrauvaca e metamáfica e o Grupos Caraça (na porção norte do mapa) com seus filitos e quartzitos.

Na Radiofácies 4 é predominante a presença do Grupo Piracicaba com os filitos, xistos, dolomito e quartzitos; Grupo Itacolomi com os quartzitos e o Grupos Caraça (na porção norte do mapa) com seus filitos e quartzitos. E em menor proporção está o Complexo Santa Bárbara com os granitos, granitoides e gnaisses e o Grupo Itabira com os itabiritos e dolomitos.

Na Radiofácies 5 é predominante a presença do Grupo Itabira com os itabiritos e dolomitos; o Grupos Caraça (na porção norte do mapa) com seus filitos e quartzitos e o Grupo Quebra Ossos com komatiíto. Em uma participação bem menor está o Complexo Santa Bárbara com os granitos, granitoides e gnaisses; depósitos aluvionares com areia e cascalho e o Grupo Piracicaba com os filitos, xistos, dolomito e quartzitos.

A Mina de Fazendão é composta principalmente pela radiofácies 5 com os filitos e itabiritos dos Grupos Itabira e Caraça. Apesar de na porção norte estar presente a radiofácies 4 com os filitos e quartzitos dos mesmos grupos. Na porção da mina onde predomina a radiofácies 5 mostra que os minérios, realmente, possuem gênese supergênica, pois o alto teor de urânio, baixo de tório e potássio, deixa evidente que houve uma grande percolação de fluidos.

Todas as radiofácies apesar de aparecer em mais de uma unidade geológica, cada uma delas possui uma unidade preponderante. Dessa forma, a tabela 5.3 mostra as unidades geológicas com que cada radiofácies está correlacionada.

Tabela 5.3- Correlação entre as radiofácies e suas unidades geológicas correspondentes

Radiofácies	Concentrações relativas de Th, U e K	Unidades Geológicas
1	Th _a , U _i e K _i	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa
2	Th _a , U _b e K _b	Micaxistos do Grupo Nova Lima e os filitos e quartzitos do Grupo Maquiné
3	Th _i , U _b e K _a	Granitos do Complexo Santa Bárbara
4	Th _b , U _a e K _a	Metapelitos e quartzitos do Grupo Piracicaba, quartzitos do Grupo Itacolomi e quartzitos do Grupo Caraça
5	Th _b , U _a e K _b	Itabiritos e dolomitos do Grupo Itabira, komatiitos do Grupo Quebra Ossos e quartzitos do Grupo Caraça

CAPÍTULO 6

ANÁLISE QUANTITATIVA

Nesse capítulo, realiza-se uma análise quantitativa dos dados magnetométricos da área com a visualização em profundidade das estruturas que estão em destaque no trabalho. Além disso, esse capítulo terá como objetivo estimar as profundidades das fontes causadoras das anomalias magnéticas, suas geometrias e suas feições estruturais.

6.1 METODOLOGIA

A realização desse trabalho iniciou com a análise regional no *software* ArcMap do mapa temático Amplitude do Sinal Analítico, a fim de se definir a direção preferencial das estruturas existentes na área a serem processadas. Neste caso, as principais feições magnéticas predominavam no sentido NNW, então a direção dos perfis que foram invertidos é E/W.

Dessa forma, foram traçados 26 perfis regionais na direção WE, equidistantes de 1km, na região de estudo (aproximadamente 20,5 x 25km - 512km²) e mais 23 perfis na porção local da Mina de Fazenda também de direção WE, equidistantes de 100m (aproximadamente 2 x 2,3km - 4,6km²), totalizando 579km lineares de perfis (Figura 6.1).

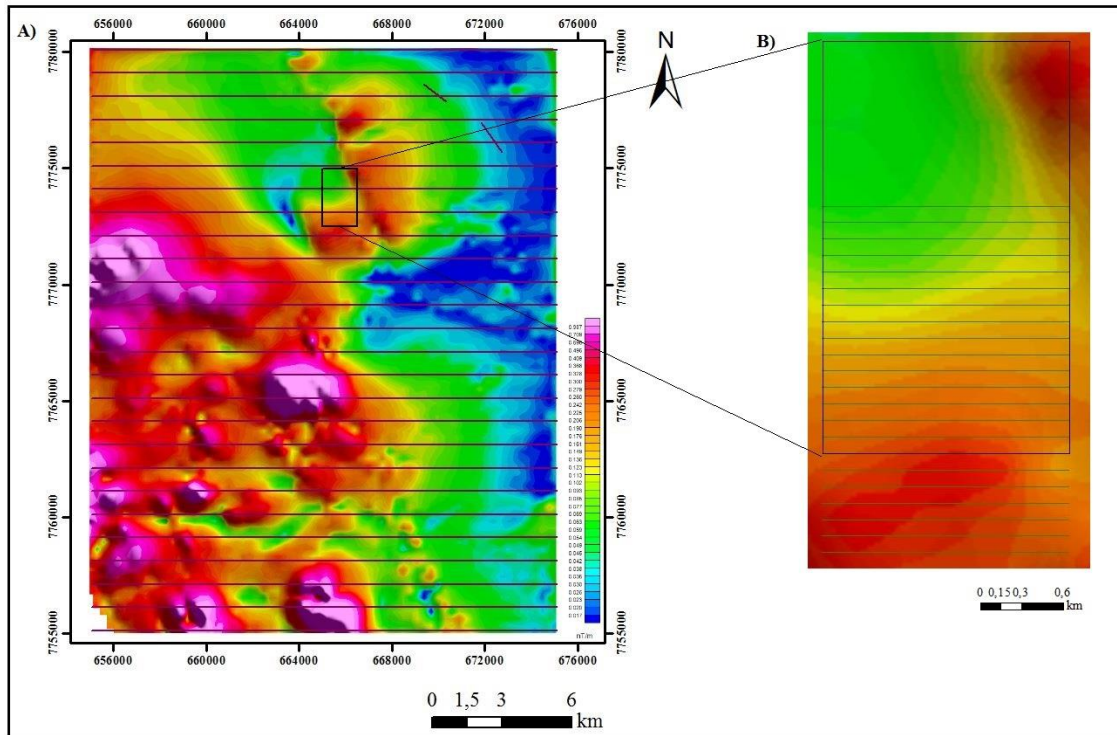


Figura 6.1 - Mapa de Amplitude do Sinal Analítico, com os perfis de direção WE (A) 26 perfis da geofísica regional e (B) 23 perfis da geofísica da área da Mina de Fazendão.

Depois, fizeram-se as inversões dos dados geofísicos realizados pelo programa Euler 1.0, desenvolvido por G.R.J. Cooper da School of Geosciences of University of the Witwatersrand. O *software* soluciona a equação de Euler com a inversão de dados pelos mínimos quadrados, e também com os valores do campo magnético anômalo e de um índice estrutural escolhido, geram soluções da profundidade e da posição geográfica das diversas fontes magnéticas existentes na área.

Na realidade, os dados dos lineamentos foram extraídos de oeste para leste e exportadas no formato .csv e convertidos para .dta. No *software* Euler 1.0, abre-se o arquivo com as informações dos perfis e selecionam-se as opções para trabalho com dados magnéticos da amplitude de sinal analítico, além de informar a altura do voo do aerolevanteamento. Com isso, faz-se o processamento dos dados, informando o índice estrutural, o tamanho da janela e a profundidade máxima desejada, que nesse caso utilizou-se índice estrutural igual a 1, o tamanho da janela igual a 13 e a profundidade máxima de 2000m (Figura 6.2, 6.3 e 6.4).

Ao fim desse processo, os dados foram importados para o ArcMap, de forma que todos os perfis fossem reunidos através da rotina merge, o qual transforma várias *shapes* em uma única *shapefile*. Essa única *shapefile*, interpolou os dados (krigagem), gerando assim, um modelo tridimensional no *software* ArcScene.

6.2 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A análise regional foi realizada a partir da interpretação dos vinte e seis perfis gerados, todos no sentido de W-E, e constataram-se resultados magnéticos em profundidade representativos em toda a extensão da área em estudo. Na área da Mina de Fazendão foram realizados vinte e três perfis, no entanto, verificou-se um resultado mais expressivo somente em oito perfis.

Como ocorreram bons resultados em toda a área da geofísica regional, escolheram-se os perfis 7, 12 e 19 (Figuras 6.2, 6.3 e 6.4, respectivamente) para representar o comportamento das estruturas em subsuperfície na área de estudo.

O perfil 7 localiza-se na porção centro-sul (Figura 6.2D) da área e possibilita a visualização de diferentes feições estruturais, as quais atingem em média 600 metros de profundidade (Figura 6.2C). No entanto, observa-se uma estrutura no extremo leste do perfil que atinge uma profundidade superior a 600m, com características geométricas de uma falha, uma vez que o índice estrutural escolhido para essa inversão é igual à 1, ou seja, estrutura planar. Salienta-se também a observância de uma anomalia de alto gradiente vertical e horizontal (Figura 6.2B) na região oeste, com geometria em “U” assimétrica, em menor profundidade (em torno de 500 metros), sugerindo uma dobra, com vergência para leste.

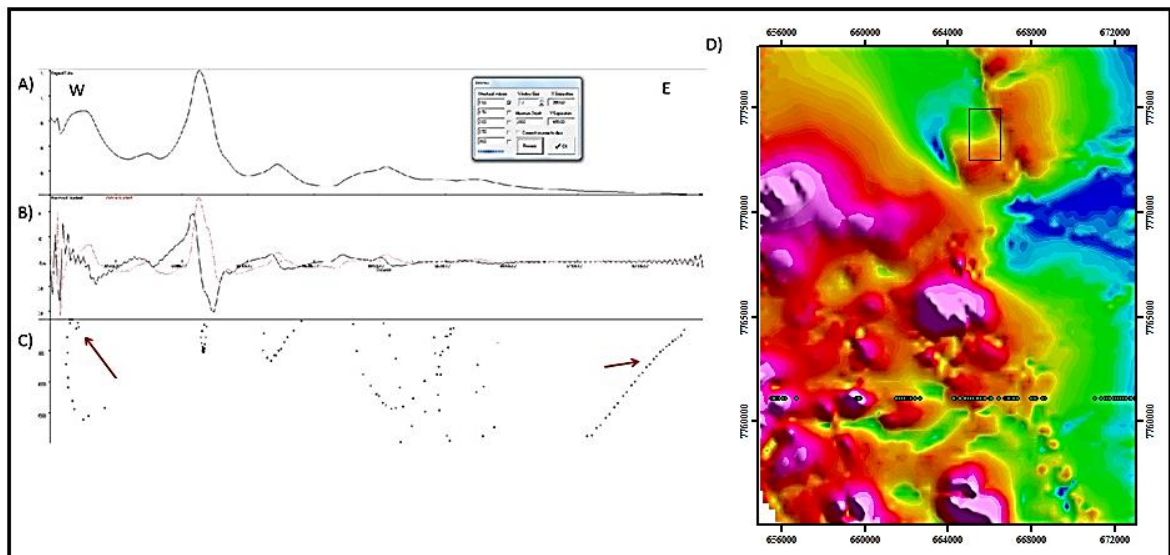


Figura 6.2 - Deconvolução de Euler no Perfil 7 realizado no *software* Euler 1.0; (A) dado magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico; (B) gradiente vertical e horizontal (vermelho) do dado magnetométrico; (C) estimativa da profundidade média do corpo que gerou a anomalia e (D) Mapa Magnetométrico ASA com a localização do perfil 7. Em evidência as estruturas descritas no texto.

O perfil 12 localiza-se na porção central da área (Figura 6.3D) e, análogo ao perfil 7, possui estruturas em torno de 600 metros de profundidade (Figura 6.3C). Observa-se uma grande variação nos gradientes verticais e horizontais (Figura 6.3B) na região central, aonde se verifica uma separação de domínios tectônicos, a oeste mais estruturado e a leste sem estruturas magnéticas. Ressalta-se ainda a vergência para leste das estruturas, aparentemente, dobradas.

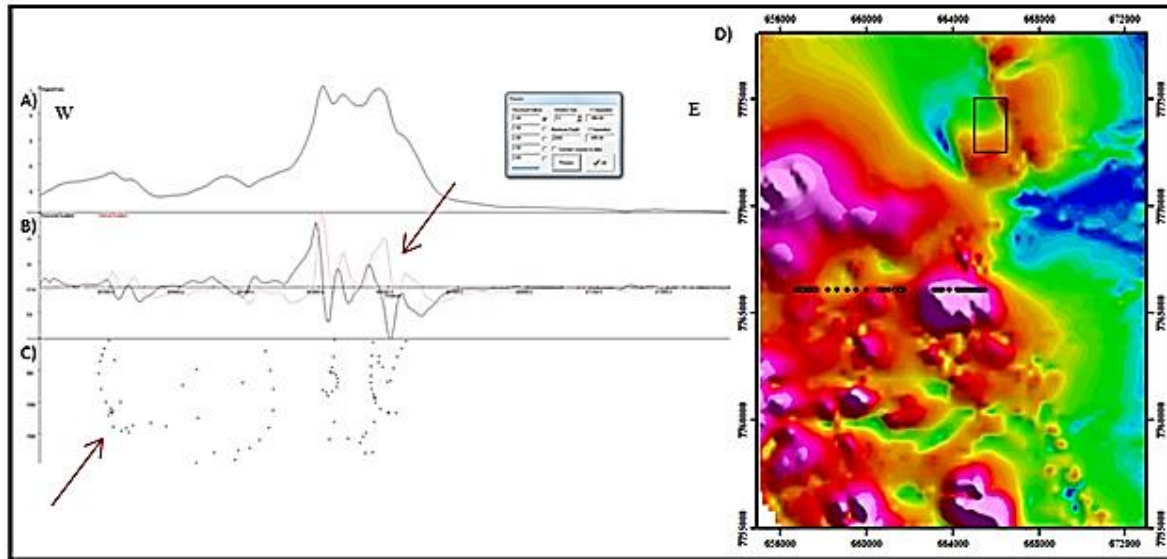


Figura 6.3 - Deconvolução de Euler no Perfil 12 realizado no *software* Euler 1.0; (A) dado magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico; (B) gradiente vertical e horizontal (vermelho) do dado magnetométrico; (C) estimativa da profundidade média do corpo que gerou a anomalia e (D) Mapa Magnetométrico ASA com a localização do perfil 12. Em evidência as estruturas descritas no texto.

O perfil 19, localizado na região norte da área (Figura 6.4D), apresenta as mesmas estruturas dobradas observadas nos perfis 7 e 12 descritos. Observa-se na porção central do perfil, na região a leste da área de requerimento da Mina de Fazendão, um lineamento (Figura 6.4D) onde a inversão sugere uma falha sem aflorar na superfície. Ressalta-se ainda que, na porção sul da área de estudo da Mina de Fazendão, há uma dobra, onde não se observa a vergência, uma vez que a estrutura está verticalizada (seta em verde na Figura 6.4C).

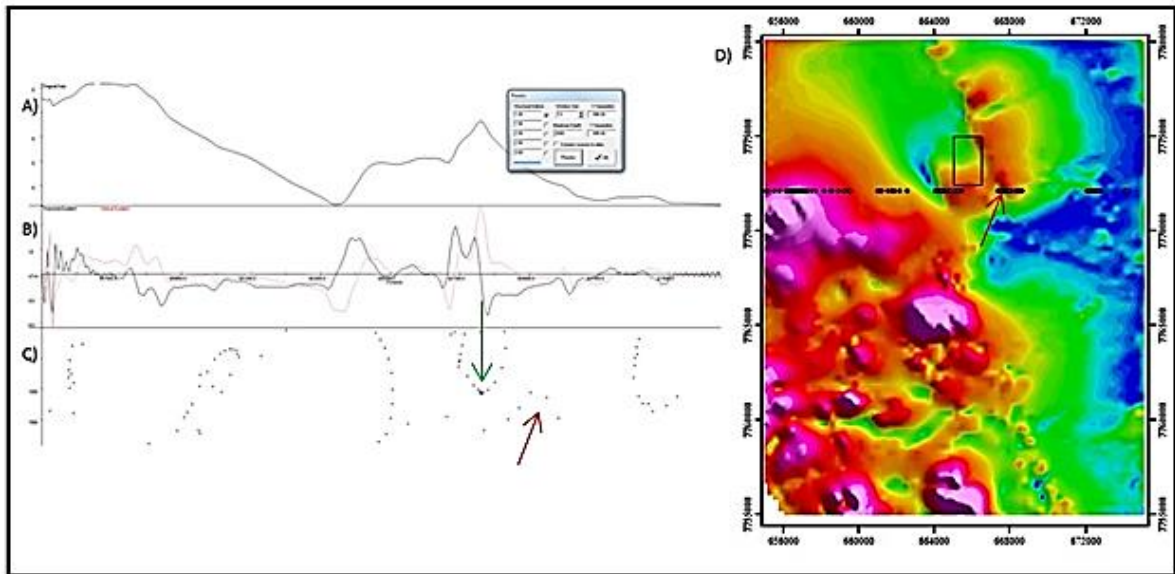


Figura 6.4- Deconvolução de Euler no Perfil 19 realizado no *software* Euler 1.0; (A) dado magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico; (B) gradiente vertical e horizontal (vermelho) do dado magnetométrico; (C) estimativa da profundidade média do corpo que gerou a anomalia e (D) Mapa Magnetométrico ASA com a localização do perfil 19. Em evidência as estruturas descritas no texto.

Dada a importância dessa estrutura verticalizada na região sul da Mina Fazendão descrita no perfil 19 (Figura 6.4), realizaram-se na porção sul da Mina 23 perfis de direção W-E, comprimento 1500m, equidistantes de 100m, no intuito de melhor caracterizar essa estrutural. Escolheu-se o perfil 18.1 (Figura 6.5) por ser o mais representativo das estruturas observadas.

Analisando a inversão do perfil 18.1 (Figura 6.5C), verifica-se que na região a sul da Mina realmente possui uma estrutura, com geometria que se assemelha a uma dobra. Essa estrutura é de grande importância na região da Mina, pois pode evidenciar na zona de charneira um enriquecimento do minério.

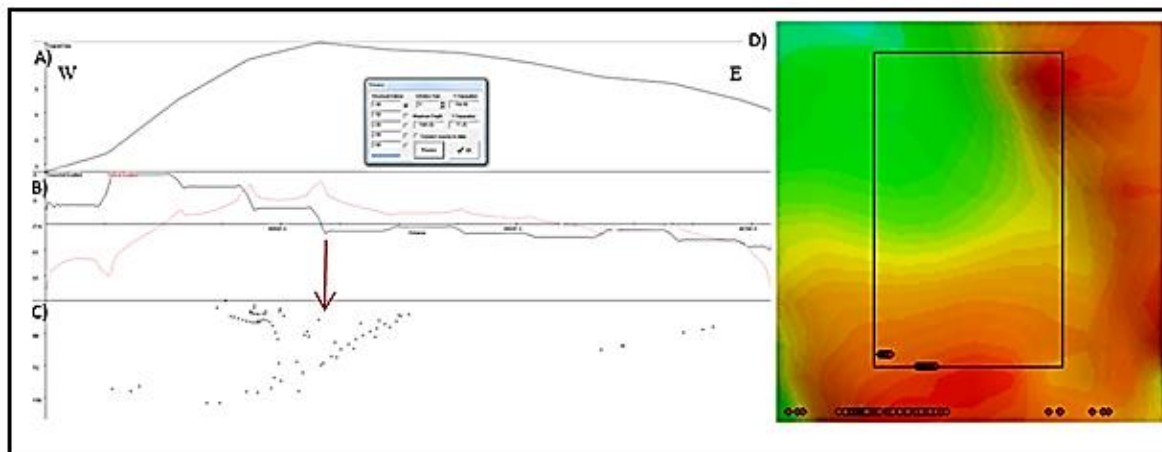


Figura 6.5- Deconvolução de Euler no Perfil 18.1 realizado no *software* Euler 1.0; (A) dado magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico; (B) gradiente vertical e horizontal (vermelho) do dado magnetométrico; (C) estimativa da profundidade média do corpo que gerou a anomalia e (D) Mapa Magnetométrico ASA com a localização do perfil 18.1. Em evidência as estruturas descritas no texto.

6.3 VISUALIZAÇÃO EM 3D

A visualização em 3D foi realizada após a deconvolução dos 26 perfis da área geofísica regional e dos 8 perfis mais expressivos da área da mina. Com isso, realizou-se a interpolação dos dados obtidos a partir do método de krigagem no *software* ArcScene 9.3 e, assim, gerar o modelo em 3D da área de estudo (Figuras 6.6 e 6.7) e da área a sul da Mina (Figuras 6.8 e 6.9). Com este modelo é possível visualizar os lineamentos e anomalias magnéticas em profundidade, além de produzir um modelo com uma topografia média das rochas que possuem susceptibilidade magnética em profundidade.

A análise do modelo tridimensional mostra anomalias que apresentaram uma topografia máxima de 1800m na geofísica regional e 940m na área a sul da Mina de Fazendão, embora essa topografia apresente uma grande variação nas regiões. As maiores anomalias magnéticas estão concentradas na porção sudoeste do mapa, apesar da região da Mina (porção centro-norte do mapa) também ter uma anomalia de alta amplitude (0.409nT/m) e comprimento de onda relativamente pequeno (1600m).

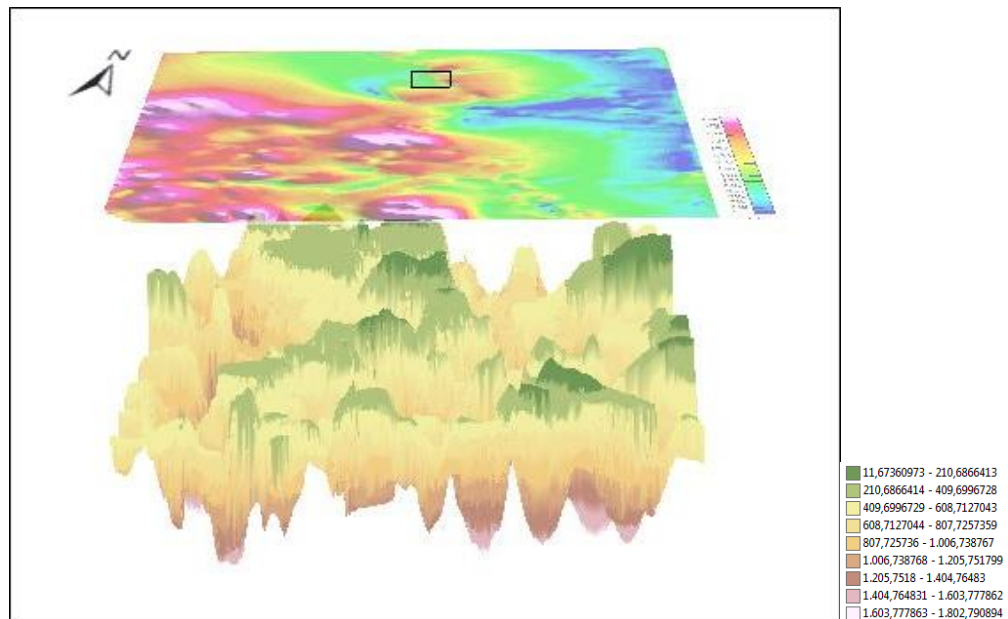


Figura 6.6- Modelo 3D da área geofísica regional gerado a partir da interpolação (krigagem) no *software* ArcScene 9.3 destacando os lineamentos.

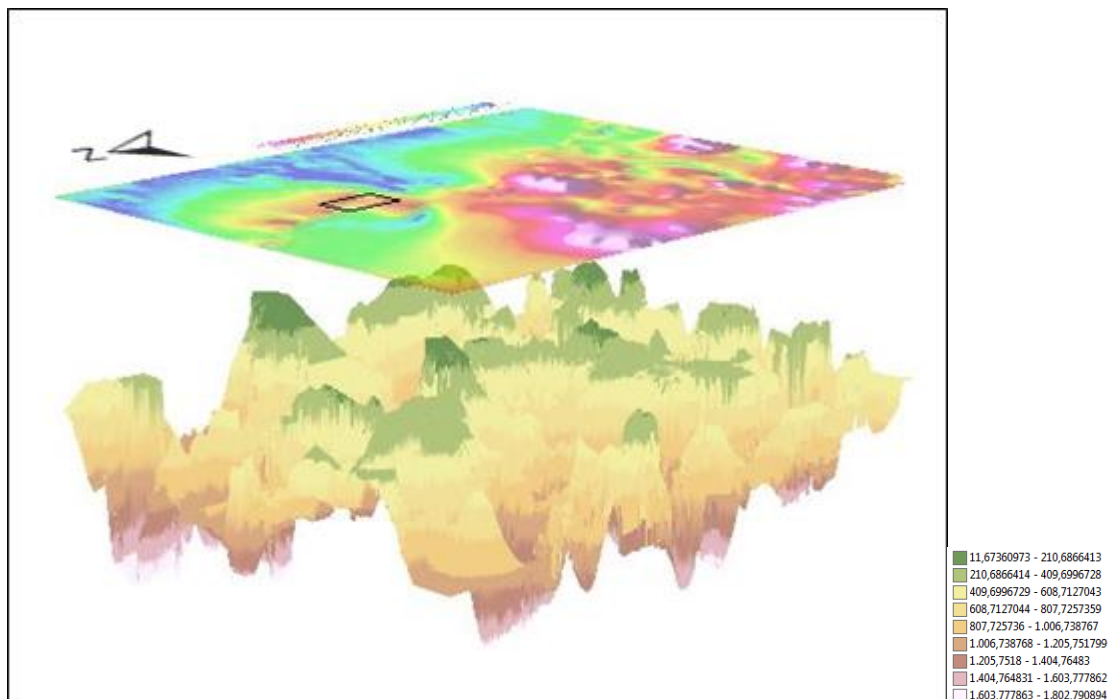


Figura 6.7- Modelo 3D da área geofísica regional gerado a partir da interpolação (krigagem) no *software* ArcScene 9.3, com visualização superior e inferior, destacando a topografia e a possível dobra na região da Mina de Fazendaão.

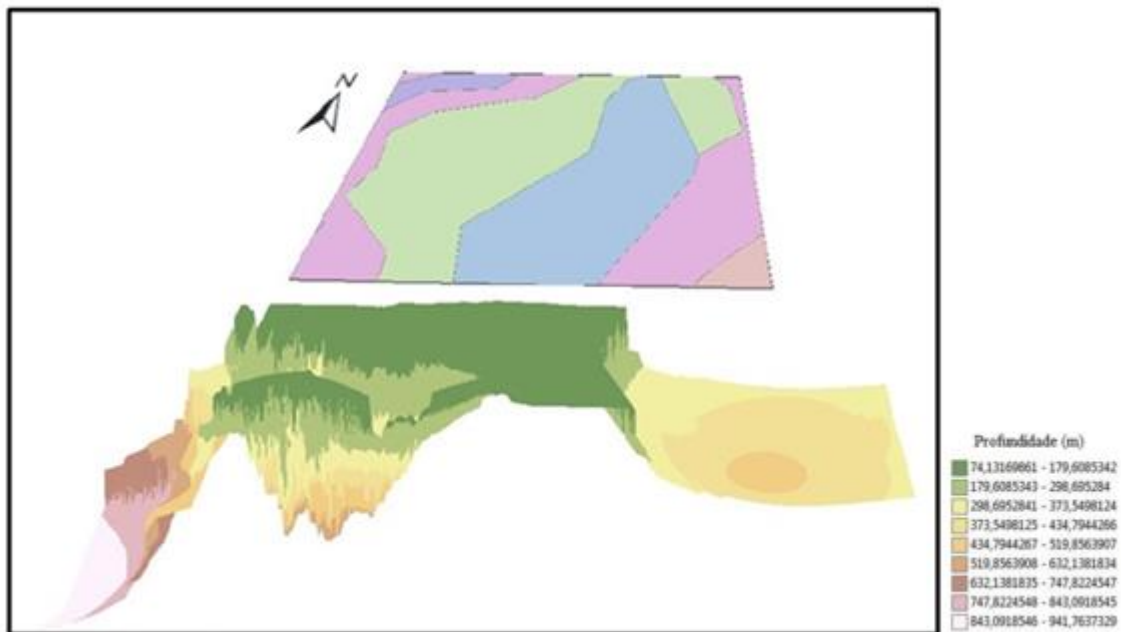


Figura 6.8- Modelo 3D da área da região da Mina de Fazedão com o mapa geológico, foi gerado a partir da interpolação (krigagem) no *software* ArcScene 9.3, destacando com uma maior escala em vista superior a possível dobra na região da mina.

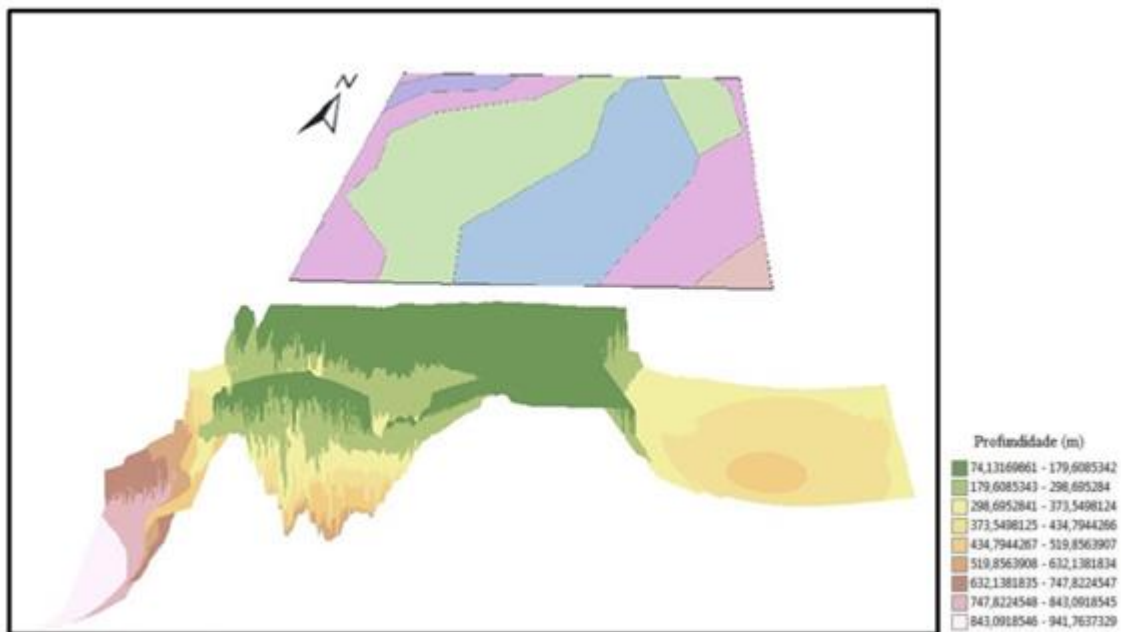


Figura 6.9- Modelo 3D da área da região da Mina de Fazedão com o mapa geológico, foi gerado a partir da interpolação (krigagem) no *software* ArcScene 9.3, com vista frontal para destacar a profundidade e a vista da dobra.

O modelo 3D gerado da geofísica regional (destaque para a Figura 6.6) mostra de forma mais clara os lineamentos com destaque para os NW e os NE, devido à topografia gerada por esse modelo.

Ao analisar o modelo 3D da área da região da Mina de Fazendão (Figuras 6.7, 6.8 e 6.9) é possível ver uma dobra na porção sul da mina, principalmente ao analisar os dados de inversão 3D.

CAPITULO 7

DISCUSSÕES

O estudo de detalhe realizado na área da mina de Fazendão consistiu na coleta e na análise dos dados estruturais, e posteriormente, integraram-se os dados de campo e da análise regional (morfoestruturais e geofísicos), de forma que essa análise em diferentes escalas foi complementar e evidenciou os eventos deformacionais sofridos na região.

7.1 -DISCUSSÃO DOS DADOS DE CAMPO

Discutem-se os dados obtidos pela análise regional e os coletados em campo, por meio da análise dos lineamentos morfoestruturais e do mapeamento de detalhe realizado na Mina de Fazendão.

7.1.1 -Lineamentos morfoestruturais

A análise estrutural da área de estudo se deu por meio do mapeamento de detalhe da porção sul da cava de São Luiz, onde se verificou a presença de um itabirito mais goethítico e um hematitito, ambos com hidratação maior que o normal. Diante disso, elaborou-se um estudo dos lineamentos morfoestruturais ao redor da Mina de Fazendão, mais especificamente nos quartzitos da Serra do Caraça, pois essa serra está posicionada paralelamente e com uma estrutura de alinhamento norte-sul em relação à mina.

Os lineamentos seguem um padrão de fraturas nos quartzitos que se assemelham ao modelo Andersoniano (Fossen, 2012), sendo compostos por falhas conjugadas transcorrentes no plano W/E e os planos conjugados variam entre si de 34° , estando os lineamentos da porção norte na direção 121° e da sul 88° .

Desta maneira, acredita-se que o modelo Andersoniano (Fossen *op cit.*) presente no Maciço do Caraça indica a existência de uma rede de drenagem da região, com caimento para a porção sul da cava de São Luis, principalmente, quando se observa a topografia da região. Esse fato explicaria o excesso de umidade nas litologias daquela porção da mina, pois possivelmente há uma rede de fluxo subterrânea que drena para lá.

Além disso, esses lineamentos indicam uma direção preferencial NW/SE da porção norte da Serra do Caraça e uma direção EW da porção sul. Os lineamentos também podem ser associados ao evento tectônico Brasileiro, o que levou a formação dessas falhas como uma deformação tardia.

7.1.2 Análise Estrutural

Na porção sul da cava de São Luiz, onde foi realizado o mapeamento de detalhe, constatou-se que nos perfis 1 e 2 (vide figuras 4.4 e 4.7) o acamamento possuem uma direção preferencial NE-SW com mergulho para E ao analisar os estereogramas (Figura 7.1).

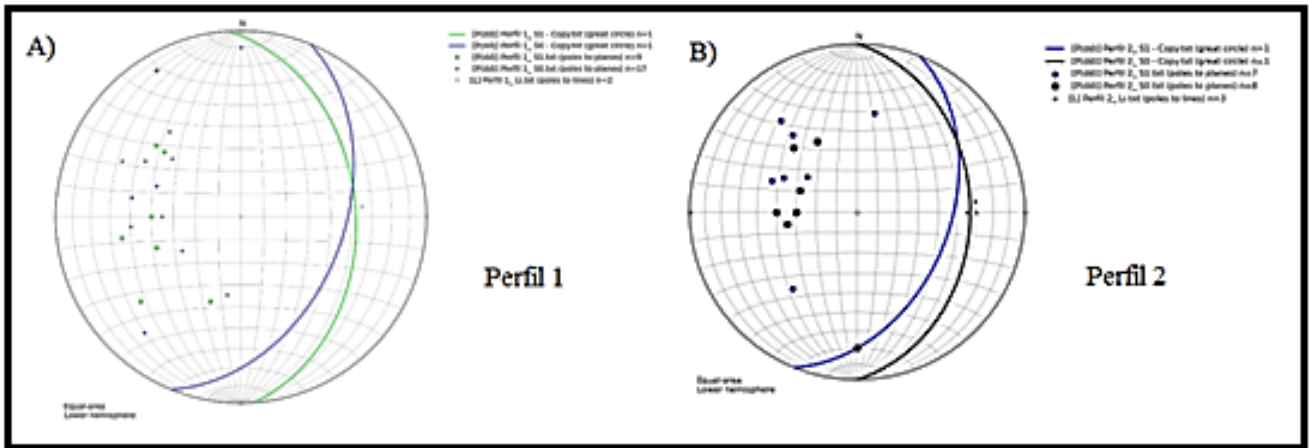


Figura 7.1- (A) O estereograma do acamamento (círculos maiores), xistosidade (círculos menores) e as lineações minerais (x) do perfil 1 e (B) O estereograma do acamamento (círculos maiores), xistosidade (círculos menores) e as lineações minerais (losangos) do perfil 2.

Já o perfis 3 (vide figuras 4.10), que está na porção mais sudoeste da mina, tem uma direção preferencial NW-SE com mergulho também para E, e o perfil 4 (vide figuras 4.13) tem direção E-W com mergulho para E (Figura 7.2).

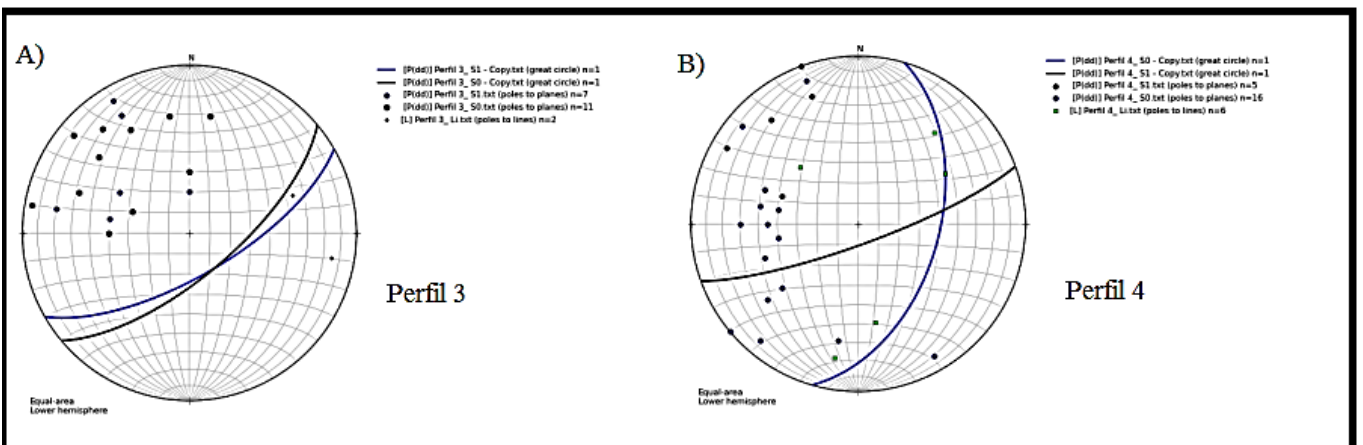


Figura 7.2- (A) O estereograma do acamamento (círculos maiores), xistosidade (círculos menores) e as lineações minerais (losangos) do perfil 3 e (B) O estereograma do acamamento (círculos maiores), xistosidade (círculos menores) e as lineações minerais (losangos) do perfil 4.

Os perfis supracitados possuem direções em concordância com as direções verificadas nos lineamentos morfoestruturais da Serra do Caraça, o que evidencia que o Modelo Andersoniano também se aplica à porção sul da cava de São Luis. Dessa forma, esse fato corrobora com a hipótese da existência dessa rede de fluxo subterrânea passando por essa região. Assim, a predominância de minérios mais hidratados, principalmente itabirito e hematita goethíticos, na porção sul de Fazendão pode ser explicada por uma rede de fluxo hidrogeológico nessa área e, conseqüentemente, hidratação do minério.

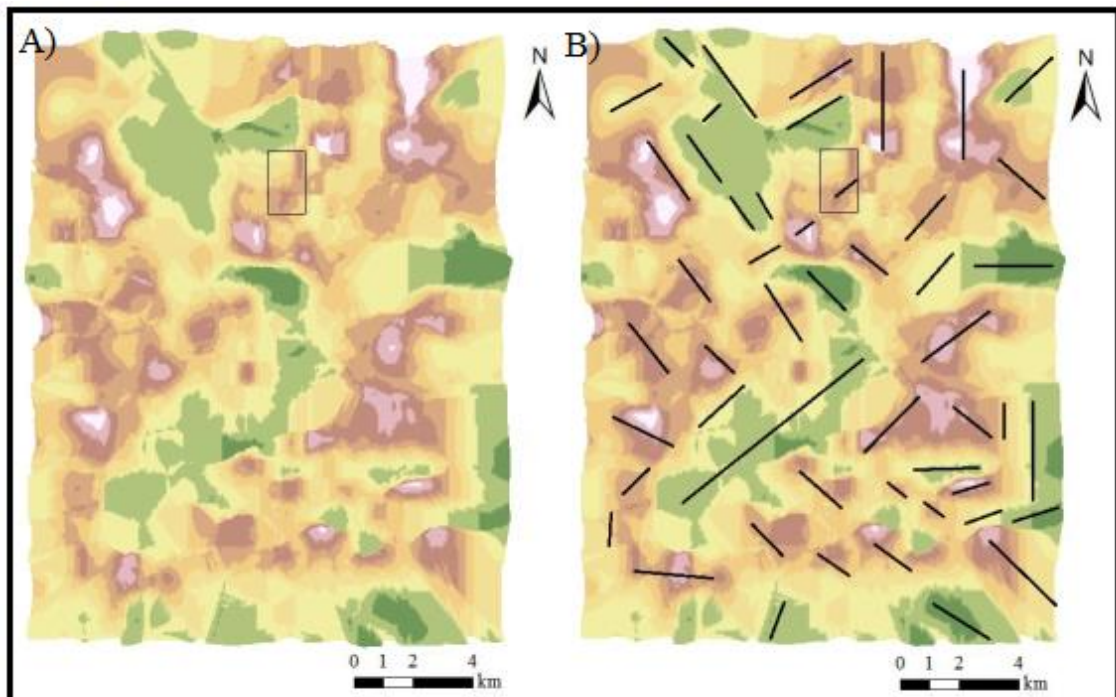
A análise conjunta dos perfis 1 e 2 (direção preferencial NE-SW) e do perfil 4 (direção E-W) induz à hipótese que a orogênese Brasileira que gerou uma estruturação N-S. A este evento atribui-se um episódio tardio que gerou dobras e clivagens de crenulação de direção E-W (Endo 1997).

O perfil 3 tem as suas estruturas com direção preferencial NW-SE, portanto remete à primeira fase do ciclo transamazônico, que ocorreu no Paleoproterozoico, e foi responsável por deformações com vergência NW (Endo *op cit.*).

7.1.3 Análise Geofísica

A análise regional dos lineamentos geofísicos evidenciou direções preferenciais diferentes nos dados magnetométricos e radiométricos, inerentes às profundidades dos métodos. Os lineamentos magnetométricos representam a estruturação em profundidade e mostraram uma direção preferencial em NW (Figura 5.6); os radiométricos apresentaram em menores profundidades uma direção preferencial em NE (Figura 5.9). Desta forma, pode-se concluir que as estruturas com direcionamento NW são mais antigas e as NE seriam mais recentes.

Analogamente, observou-se no modelo 3D gerado da magnetometria regional, (Figura 7.3 e Figura 6.6 vista em profundidade) mostra de forma mais clara os lineamentos com destaque para os NW e os NE, devido à topografia gerada por esse modelo. Esses lineamentos sugerem também duas fases tectônicas bem marcadas, sendo a primeira gerando as estruturas NW e, uma posterior, que deformou a primeira e gerou as estruturas NE.



Araujo, L. P. 2018. Estudo da geofísica e do arcabouço estrutural da região sul da Mina de Fazendão, Catas Altas, MG.

Figura 7.3- (A) Imagem da geofísica regional 3D (B) Imagem da geofísica regional 3D mostrando os lineamentos preferenciais nas direções NW, NE, NS e EW.

Tanto no modelo 3D quanto nos lineamentos dos mapas magnetométricos e radiométricos evidenciaram outra fase de deformação de direção NS e EW (Figura 7.3). Assim, houve uma primeira fase de deformação que determinou a direção preferencial NW, em um momento posterior houve a segunda fase de deformação que gerou as estruturas NE, sendo que esta última fase gerou estruturas secundárias NS e EW.

A análise do mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) (Figura 7.4) evidencia duas falhas que passam bem próximo a região demarcada da mina, sendo que uma falha situa-se na parte nordeste da mina (Figura 7.4-2, estrutura A) e é uma estrutura longa e bem marcada. A outra falha situa-se na região sudeste da mina e esta é evidente tanto no mapa ASA quanto no mapa 3D (Figura 7.4-2, estrutura A).

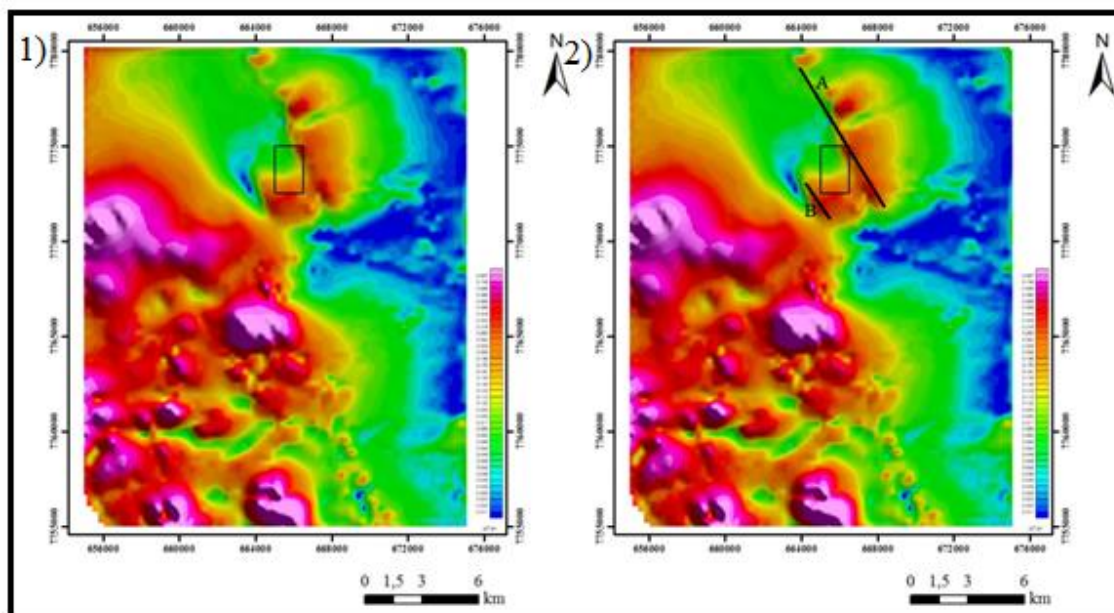


Figura 7.4- (1) O mapa de Amplitude do Sinal Analítico e (2) O mapa de Amplitude do Sinal Analítico mostrando a estrutura de duas falhas “A” e “B” em profundidade, as quais não afloram em superfície.

No modelo 3D da mina de Fazendão (Figuras 6.8, 6.9 e 7.5) observa-se que na região ao sul da cava de São Luis há presença de um sinforme com eixo EW (Figura 7.5-2, estrutura B), esse sinforme foi identificado também pelos dados de campo, pois essa região, que corresponde ao perfil 4 (Figura 5.13), onde foram identificadas estruturas verticalizadas com o eixo da dobra 90/90, o que ficou comprovada a existência dessa estrutura com a geofísica.

Nessa região, passa também uma falha ao lado do sinforme (Figura 7.4-2, estrutura B e Figura 7.5-2, estrutura A), o que também é comprovado em campo, pois nessa região há presença de rochas

máfica-ultramáficas do Grupo Quebra Osso, que provavelmente foram posicionadas por esse falhamento.

O modelo 3D também mostra uma mudança brusca de litologia (Figura 7.5-2, estrutura C) na porção sudeste da área da mina, onde se observou um baixo topográfico devido à mudança na profundidade da unidade litológica ferromagnética. Assim, a resposta de diferentes profundidades deve-se à mudança brusca na litologia, a qual tem um itabirito do Grupo Itabira (litologia com alta magnetização - litologia na porção central do mapa) para um filito do Grupo Piracicaba (litologia com baixa magnetização- litologia na região SE do mapa).

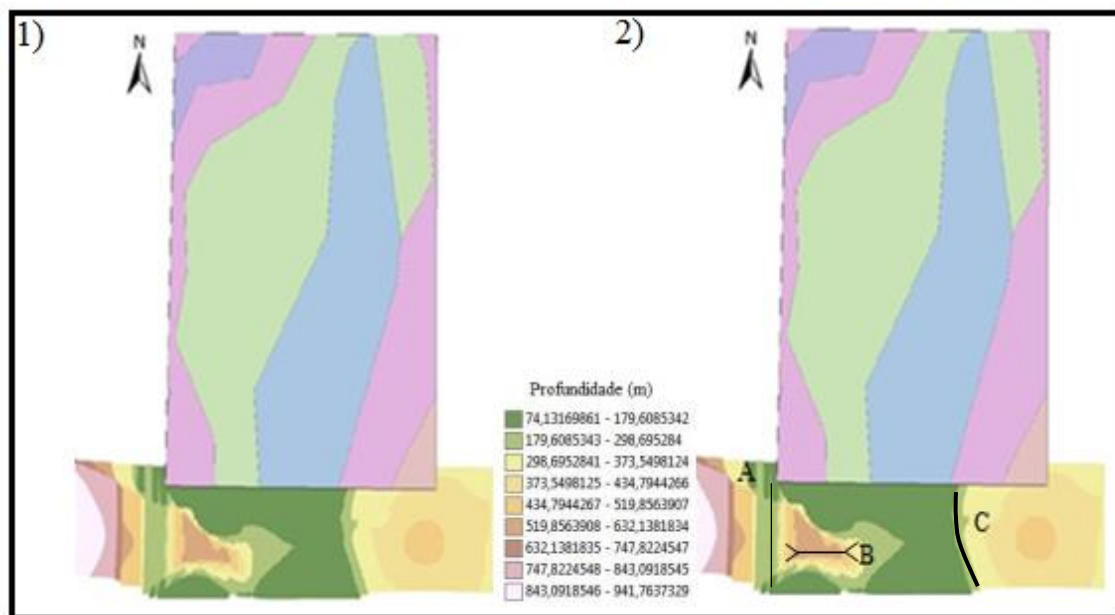


Figura 7.5- (1) Mapa geológico com mapa 3D da mina de Fazendão e (2) Mapa geológico com mapa 3D da mina de Fazendão com a estrutura “A” que corresponde a plano de falha que passa em profundidade, a “B” mostra um sinforme presente na região com eixo EW e “C” na porção sudeste da área onde parece ter um baixo topográfico, mas na realidade essa diferença ocorreu devido a mudança de litologia.

7.3- INTEGRAÇÃO GEOLÓGICA-GEOFÍSICA

A análise e interpretação dos perfis, dos lineamentos morfoestruturais e dos dados geofísicos trazem resultados coerentes em relação direções preferenciais das estruturas encontradas.

Os lineamentos morfoestruturais seguem um padrão de fraturas nos quartzitos da Serra do Caraça que correspondem a drenagens, fundos de vales e cristas alinhadas que constituem a atual configuração do relevo, a qual está susceptível à erosão diferenciada de acordo com a litologia e as estruturas locais. Os perfis possuem direções em concordância com as direções verificadas nos lineamentos morfoestruturais.

Araujo, L. P. 2018. Estudo da geofísica e do arcabouço estrutural da região sul da Mina de Fazendão, Catas Altas, MG.

Os lineamentos geofísicos na área regional evidenciaram direções preferenciais diferentes nos mapas magnetométricos e radiométricos, sendo que o primeiro mostra as estruturas presentes em profundidade e estas são resultado de um esforço anterior ao segundo, que evidencia as estruturas em subsuperfície.

Assim, a primeira fase de deformação (D_1) diz respeito às direções preferenciais NW presente nos mapas magnetométricos, as quais estão em concordância com as estruturas presentes nos lineamentos morfoestruturais da porção norte do Caraça e também com os perfis 1, 2 e 4. Esta primeira fase está correlacionada com a orogênese Transamazônica que possui deformações com vergência NW (Endo 1997).

Uma segunda fase de deformação (D_2) refere-se às direções preferenciais NE presente nos mapas radiométricos, os quais possuem a mesma direção preferencial das estruturas da parte sul dos lineamentos morfoestruturais do Caraça. Esta segunda fase se relaciona com a orogênese Brasileira. A esta mesma orogênese, no entanto relacionada a uma deformação secundária com estruturas secundárias com direção NS e EW, que foi responsável também por dobras suaves e clivagens de crenulação de direção E-W, estaria relacionadas com o perfil 3 e as estruturas NS e EW em subsuperfície da geofísica regional.

CAPITULO 8

CONCLUSÕES

O trabalho realizou a análise estrutural e geológica-geofísica da região sul da cava de São Luís, Mina de Fazendão, onde se encontra um itabirito mais goethítico e hidratado, e um hematítico, os quais tinham como características uma hidratação excessiva. Diante desse fato, fez-se um estudo da geologia estrutural dessa região da mina por meio de um mapeamento de detalhe e também a integração entre os dados geofísicos de magnetometria e radiometria aerolevantados da CODEMIG (Área 2).

A análise dos lineamentos morfoestruturais mostrou um padrão de fraturas presentes nos quartzitos da Serra do Caraça, que foi comparado ao modelo Andersoniano, por se tratar de falhas conjugadas transcorrentes no plano WE e os planos conjugados variando em um ângulo de até 40°. Com esse estudo, observou-se que esse modelo se aplicava não só a Serra do Caraça, como também a região sul da mina. Assim, acredita-se em uma possível rede de fluxo subterrânea nessa região, o que causou uma hidratação excessiva nesses minérios. No entanto, é necessário que se faça um estudo hidrogeológico mais detalhado para a melhor compreensão do problema.

O estudo geofísico foi realizado com base na análise qualitativa, onde foram verificadas as respostas magnéticas e radiométricas das litologias presentes na região. O estudo magnetométrico realizado no mapa regional delimitou as porções centrais e sudoeste com magnetização de média a alta. Na área da Mina de Fazendão observaram-se valores de magnetização baixos, mostrando que em maior profundidade a mina não possui litologias com altas concentrações de material magnético. Os lineamentos magnetométricos exibiram uma direção preferencial NW na análise regional e EW na área da mina.

O estudo radiométrico mostrou-se bem eficiente na integração geológica-geofísica, pois, apesar das radiofácies aparecerem em mais de uma unidade geológica, cada uma delas possui uma unidade preponderante. Os lineamentos radiométricos foram interpretados com direção preferencial NE na área regional, e na região da Mina de Fazendão predomina as direções N-S e E-W.

A deconvolução de Euler foi um método utilizado no trabalho para realizar a deconvolução dos 26 perfis da área geofísica regional e dos 23 perfis da área da mina. A análise do modelo tridimensional possibilitou visualizar que as maiores anomalias magnéticas estão concentradas na porção sudoeste do mapa (regional). No entanto, na área da mina também havia uma anomalia de alta amplitude e comprimento de onda pequeno.

Araujo, L. P. 2018. Estudo da geofísica e do arcabouço estrutural da região sul da Mina de Fazendão, Catas Altas, MG.

O modelo 3D da geofísica regional mostrou, de forma mais clara, os lineamentos NW e NE, e na região da Mina de Fazendão observou-se duas falhas: uma na porção sul e outra na nordeste, sendo que ao lado da primeira há um sinforme, o qual ficou evidente ao analisar os dados de inversão 3D.

A integração dos dados geológicos-geofísicos mostrou duas fases de deformação nas áreas regionais e na Mina de Fazendão, pois tanto os dados de campo e lineamentos morfoestruturais como a geofísica mostraram orientações preferenciais parecidas e concordantes. O estudo mostrou uma primeira fase de deformação (D_1) que está correlacionada à orogênese Transamazônica com deformações com vergência NW. E uma segunda fase de deformação (D_2) que está relacionada à orogênese Brasileira, com direções preferenciais NE, estando essas fases de deformação concordantes com a literatura (Endo 1997). Entretanto, nessa mesma fase D_2 houve uma deformação secundária com estruturas secundárias com direções NS e EW.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkmim F. F. & Marshak S. 1998. Transamazonian Orogeny in Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brasil: Evidence for Paleoproterozoic Collision and Colapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90: 29-58.
- Almeida, F. F. M., 1977. O cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7: 349-364.
- 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. *Rev. Bras. Geof.* 23(3): 243-250.
- Cordani U. G., Kawashita K., Muller G., Quade H.; Reimer V., Roeser H., 1980a. Interpretação tectônica e petrológica de dados geogronológicos do embasamento na borda sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG. *Academia Brasileira De Ciências*, 52(4): 785-799.
- Carneiro, M.A. (1992) O Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional (Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais): Litoestratigrafia e Evolução Geológica de um Segmento de Crosta Continental do Arqueano. São Paulo, 233p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Carneiro M. A., Carvalho Jr. I. M., Teixeira W. 1998. Petrologia, Geoquímica e Geocronologia dos diques máficos do Complexo Bonfim Setentrional (Quadrilátero Ferrífero) e suas implicações na evolução crustal do Cráton São Francisco Meridional. *Rev. Bras. Geoc.*, 28(1):29-44.
- Chemale H. Jr., Rosiére, C. A., Endo, I. 1991. Evolução tectônica do quadrilátero ferrífero – um modelo. *Pesquisas*, 18(2): 104-127
- Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG) Projeto Quadrilátero Ferrífero (2005), convênio com CODEMIG, Governo do Estado e UFMG
- Cordani R., Shukowsky W. 2009. Magnetização remanescente: um parâmetro para a interpretação e modelamento de anomalias magnéticas em território brasileiro. *Rev. Bras. Geof.*, 27(4):659-667.

- Araujo, L. P. 2018. Estudo da geofísica e do arcabouço estrutural da região sul da Mina de Fazendão, Catas Altas, MG.
- Cordani U. G., Kawashita K., Muller G., Quade H.; Reimer V., Roeser H., 1980a. Interpretação tectônica e petrológica de dados geogronológicos do embasamento na borda sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG. *Academia Brasileira De Ciências*, 52(4): 785-799.
- Dardenne, M.A. & Schobbenhaus, 2003. Depósitos Minerais no Tempo Geológico e Épocas Metalogenéticas. In: *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil* L. A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R. M. Vidotti e J. H. Gonçalves (eds.) CPRM, Brasília, 2003.
- Dorr II, J.V., Gair, J.E., Pomerene, J.B., Rynearson, G.A., 1957. Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero, Brasil. Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Fomento da Produção Mineral, Avulso, vol. 81. 31 pp.
- Dorr J.V.N. 1958. The Gandarela Formation. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 7: 63-64
- Dorr, J.V.N. 1969. Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. USGS. Prof. Pap. 641 - A, 110 páginas, Washington.
- DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. 1974. Retrospectivas das atividades de convênio Brasil- Alemanha e trabalhos do centro de Geofísica Aplicada. Brasília, DNPM (boletim das Minas e Energias).
- Endo I., Carneiro, M. A. 1996. O regime tectônico do Neo-Arqueano no Quadrilátero Ferrífero: Um modelo Transpressional. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 39. Salvador, Anais, 1:414-416.
- Endo, I. 1997. Regimes Tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e Áreas Adjacentes, Minas Gerais – São Paulo. *Int. de Geociências*, Universidade de São Paulo, São Paulo, 243p.
- Endo I. & Machado R. 1997. Regimes tectônicos no segmento meridional do Cráton do São Francisco: região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: SBG, Simp. Geol. Minas Gerais, 9, Ouro Preto, / Núcleo MG, Anais, Boletim 14, p. 58-59.
- Ferreira Fº F. A. & Fonseca M. A. 2001. Partição da Deformação em Regimes Contracionais de Antepaís: Exemplo do Sistema de Falhas Água Quente. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(3):267-278.

- Ferreira Fº F. A. 1999. Análise Estrutural Qualitativa do Sistema de Falhas de Água Quente, Borda Leste do Quadrilátero Ferrífero, MG. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. 162p.
- Fossen, H. 2012. Geologia Estrutural. São Paulo: Oficina de textos, 2012.
- Hasui Y., Carneiro C.D.R., Almeida F.F.M.de, Bartorelli A. eds. 2012. Geologia do Brasil. São Paulo: Ed. Beca. 900p.
- Harder E. C. & Chamberlin R. T. 1915. The geology of central Minas Gerais, Brazil. Jour. Geol., 23(4): 341-378.
- Henwood W.J. 1871. Observations on metalliferous depositis on the gold mines of Minas Geraes in Brazil. Royal Geol. Soc. Cornwall, 8 (1): 168-370.
- Herz, N. Metamorphic rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. In: Geological Survey Professional Paper 641-C: 1-81, 1978.
- Herz N. 1970. Gneissic and igneous rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil . USGS/DNPM. Professional Paper 641-B. 57p.
- Kearey, P., Brooks M., Hill I. 2009. Geofísica de exploração. Oficina de Textos, São Paulo, 438 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.
- Luiz J. G. & Silva, L. M. C. 1995. Geofísica de Prospecção. CEJUP, Belém, 311p.
- Machado N., Schrank A. Noce C.M., Gauthier G. 1996. Ages of detrital zircon from Archean-Paleoproterozoic sequences: implications for greenstone belt setting and evolution of a transamazonian foreland basin in Quadrilitero Ferrifero, Southeast Brazil. Earth and Planetary Science Letters. 141 (1996) 259-276.
- Marshak S.; Alkmim F.F. 1989. Proterozoic Contractional Extension Tectonics of the Southern São Francisco Region, Minas Gerais, Brazil. *Tectonics*, 8(3):555-571.
- Maxwell C. H. 1972. Geology and ore deposits of the Alegria district, Brazil. Washington, USGS/DNPM. Professional Paper 341J. 72p.

Araujo, L. P. 2018. Estudo da geofísica e do arcabouço estrutural da região sul da Mina de Fazendão, Catas Altas, MG.

Maxwell C. H. 1960. Mapa Geológico da Quadrícula Capanema, Minas Gerais. Washington, USGS/DNPM. Prof. Paper 341J, 73 p.

M., Salvador E. D., Lopes R. C., Silva M. G. M., Valente C. R., Lacerda Filho J. V., Drumond J. B. V. 2003. CODEMIG - Mapa geológico do Estado de Minas Gerais, Escala 1: 1.000.000 CD ROM.

Noce C. M. 1995. Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. São Paulo. 128p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo).

Ostrovskiy E.Ya. 1975. Antagonism of radioactive elements in wallrock alterations fields and its use in aerogamma spectrometric prospecting. *International Geol. Review*, 17(4): 461- 468.

Rossi G. 2010. Quartzitos e Metaconglomerados Auríferos da Sequência da Serra da Boa Vista, Boeda leste do Quadrilátero ferrífero, MG, Brasil. USP, São Paulo. Dissertação de mestrado, 283p.

Rossi G. 2014. Estratigrafia e arcabouço estrutural da região de Fábrica Nova, Quadrilátero Ferrífero, Minas.105p. Programa de pós-graduação em evolução crustal e recursos naturais. Universidade Federal de Ouro Preto.

Área de Concentração: Geologia Estrutural/Tectônica

Teixeira W., Sabaté P., Barbosa J., Noce C. M., Carneiro M. A. 2000. Archean and paleoproterozoic tectonic evolution of the São Francisco Cráton, Brazil. *Tectonic Evolution of South America*. Ed. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro. p101-137.

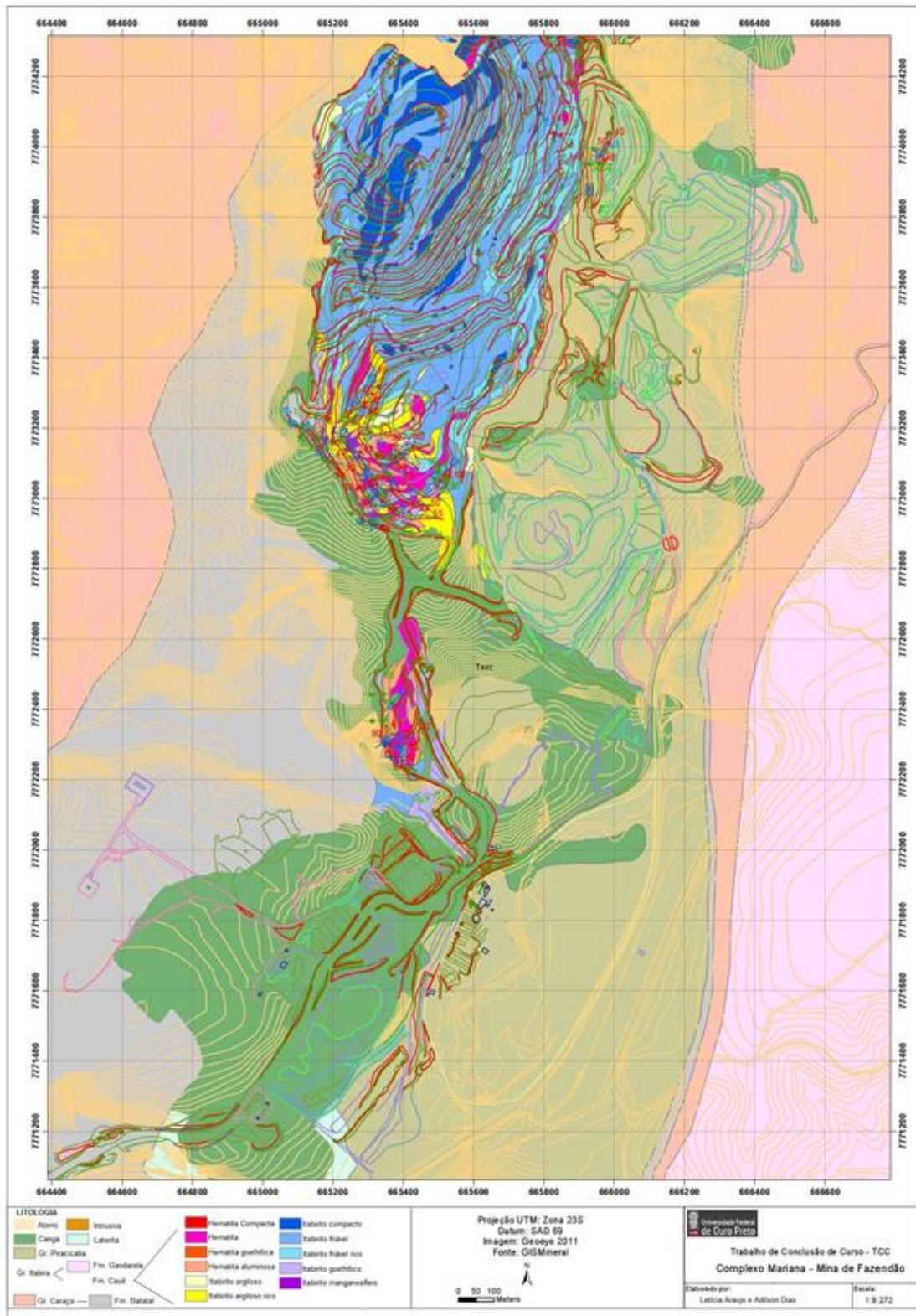
Teixeira, W. & Figueiredo, M.C.H. 1991. An outline of early Proterozoic crustal evolution in the São Francisco craton, Brazil. *Precambr. Res.*, 53:1-22.

Telford W. M., Geldart L. P., Sheriff R. E., Keys D. A. 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University. 770p.

Uyeda, S. & Watanabe, T. 1970. Preliminary report of terrestrial heat flow study in the South American continent, distribution of geothermal gradients. *Tectonophysics*, 10(1-3):235-242.

Vasconcelos, R.M.; Metelo, M.J.; Motta, A.C.; Gomes, R.D. - 1994 - *Geofísica em Levantamentos Geológicos no Brasil*. CPRM, Rio de Janeiro.

ANEXOS



Mapa litológico e estrutural da Mina de Fazendão, produzido no *software* ArcGis.