



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANÁLISE GEOFÍSICA DAS FONTES PRIMÁRIAS DO DIAMANTE NA REGIÃO DE
OURO PRETO, PORÇÃO SUL DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO – MG

Raíssa Gonçalves Bovolenta

MONOGRAFIA n° 273

Ouro Preto, fevereiro de 2018

**ANÁLISE GEOFÍSICA DAS FONTES PRIMÁRIAS DO
DIAMANTE NA REGIÃO DE OURO PRETO, PORÇÃO SUL
DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO - 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. Dr. José Geraldo Arantes de Azevedo Brito

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Dr. Luís Antônio Rosa Seixas

MONOGRAFIA

Nº 273

ANÁLISE GEOFÍSICA DAS FONTES PRIMÁRIAS DO DIAMANTE NA REGIÃO DE OURO PRETO, PORÇÃO SUL DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO - MG

Raíssa Gonçalves Bovolenta

Orientadora

Prof.^a Dr.^a Maria Sílvia Carvalho Barbosa

Co-Orientador

Luís Artur Souza de Oliveira

Monografia do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2017/2.

OURO PRETO

2018

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

Direitos de tradução e reprodução reservados.

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

Revisão geral:

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

B783a Bovolenta, Raíssa Gonçalves.
Análise geofísica das fontes primárias do diamante na região de Ouro Preto, porção sul do Quadrilátero Ferrífero - MG [manuscrito] / Raíssa Gonçalves Bovolenta. - 2018.

xxi, 63f.: il.: color; tabs.

Orientador: Profa. Dra. Maria Silvia Carvalho Barbosa.

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

1. Geofísica. 2. Magnetometria. 3. Radiometria. I. Barbosa, Maria Silvia Carvalho. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 550.3

Catálogo: ficha@sisbin.ufop.br

Ficha de Aprovação

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Análise Geológica-Geofísica do Diamante na Porção Sul do Quadrilátero Ferrífero – MG.

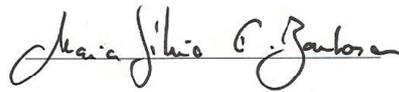
AUTORA: RAÍSSA GONÇALVES BOVOLENTA

ORIENTADORA: Profa. Dra. Maria Sílvia C. Barbosa

Aprovada em: 09 de fevereiro de 2018

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Maria Sílvia C. Barbosa



DEGEO/UFOP

Profa. MSc. Luiza Diniz Vilela de Carvalho



DEGEO/UFOP

Prof. MSc. Edison Tazava



DEGEO/UFOP

Ouro Preto, 09/02/2018

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por proporcionar essa experiência maravilhosa, e por colocar em minha vida uma família linda. Meu pai Nilson, um homem de caráter e simplicidade que me faz ver a vida com outros olhos. À minha mãe por toda sabedoria e amor dedicado a nós. Sua luta diária me ensinou que jamais devemos abrir mão dos nossos sonhos. Hoje estou concluindo com orgulho mais essa etapa que você tanto desejava. À minha irmã Amanda por estar sempre comigo e por ser um exemplo a ser seguido. Você me enche de orgulho.

À toda minha família Bovolenta, vocês são muito especiais, sobretudo à minha tia madrinha Regina que sempre torceu por mim e por ser a minha segunda mãe. Ao Lucas por toda a paciência e carinho.

À UFOP pelo ensino gratuito e de qualidade. Aos amigos da Geologia por toda ajuda e incentivo diário, a caminhada foi muito mais divertida ao lado de vocês. Em especial ao Luís Artur por me ajudar incontáveis vezes. À professora Gláucia exemplo de mestre, no qual todos os professores deveriam se inspirar. À minha impecável orientadora Maria Silvia, por toda a dedicação. Um ser humano bom de coração ao qual não só me ensinou a paixão pela Geofísica, mas também como devemos amar ao próximo.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	APRESENTAÇÃO	1
1.2	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	1
1.3	OBJETIVOS	3
1.4	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO.....	3
1.5	MATERIAIS E MÉTODOS	3
1.5.1	Revisão bibliográfica	4
1.5.2	Levantamento de banco de dados	4
1.5.3	Análise qualitativa.....	4
1.5.4	Interação geológica-geofísica	4
1.5.5	Análise quantitativa.....	4
2	CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	7
2.1	CONTEXTO GEOTECTÔNICO	8
2.2	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS.....	8
2.2.1	Complexo Metamórfico Santo Antônio do Pirapetinga.....	8
2.2.2	Complexo Metamórfico Monsenhor Isidro.....	9
2.2.3	Supergrupo Rio das Velhas.....	9
2.2.4	Supergrupo Minas	9
2.2.5	Grupo Itacolomi	11
2.2.6	Corpo Serra do Carmo	11
3	MÉTODOS GEOFÍSICOS.....	13
3.1	INTRODUÇÃO	13
3.2	MAGNETOMETRIA	13
3.2.1	Introdução	13
3.2.2	O campo magnético terrestre	14
3.2.3	Magnetismo das rochas e minerais	15
3.2.4	Tratamento e filtragem dos dados.....	15
3.2.5	Deconvolução de Euler	17
3.3	RADIOMETRIA	19
3.3.1	Introdução	19

3.3.2	Radioatividade natural	19
3.3.3	Radioatividade das rochas e minerais	20
4	CLÃ KIMBERLÍTICO E LAMPROÍTICO	23
4.1	INTRODUÇÃO	23
4.2	KIMBERLITO/LAMPROÍTO E SUAS ROCHAS PARENTAIS	23
4.2.1	Breve histórico	23
4.2.2	Classificação dos Kimberlitos e Lamproítos	24
4.2.3	Morfologia dos <i>Pipes</i>	25
4.3	HISTÓRIA SOBRE O DIAMANTE NA REGIÃO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO	28
4.4	MÉTODOS GEOFÍSICOS PARA KIMBERLITOS/LAMPROÍTO	29
5	ANÁLISE QUALITATIVA.....	35
5.1	INTRODUÇÃO	35
5.2	BANCO DE DADOS	35
5.3	METODOLOGIA.....	37
5.4	ANÁLISE MAGNETOMÉTRICA	37
5.5	ANÁLISE RADIOMÉTRICA.....	42
5.6	INTEGRAÇÃO GEOLÓGICA-GEOFÍSICA.....	46
5.6.1	Magnetometria	47
5.6.2	Radiometria.....	48
6	ANÁLISE QUANTITATIVA.....	51
6.1	INTRODUÇÃO	51
6.2	METODOLOGIA.....	51
6.3	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	53
6.4	VISUALIZAÇÃO EM 3D.....	58
7	CONCLUSÃO.....	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

INDÍCE DE FIGURAS

Figura 1.1: Localização da área de estudo com seus respectivos posicionamentos nas folhas topográficas do IBGE.....	2
Figura 2.1: Contexto geotectônico da área de estudo	7
Figura 2.2: Coluna litoestratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.....	10
Figura 3.1: Componentes do campo geomagnético e os vetores do campo magnético.....	14
Figura 3.2: Esquema de um material que os dipolos elementares se alinham na direção de um campo externo B, gerado por magnetização induzida.....	26
Figura 3.3: Valores médios e intervalos de susceptibilidade para as rochas mais comuns	27
Figura 3.4: Abundâncias relativas de elementos radioativos em diferentes tipos de rochas	31
Figura 4.1: Clássico modelo kimberlítico sul-africano	39
Figura 4.2: Exemplos bem-sucedidos do modelo kimberlítico sul africano, onde o <i>pipe</i> tem formato similar a uma cenoura	40
Figura 4.3: As descobertas de novas fontes primárias diamantíferas têm mostrado diferentes geometrias para o clã kimberlítico.....	41
Figura 4.4: Seção sísmica em kimberlito siberiano	44
Figura 4.5: Aplicação da aeromagnetometria na identificação de chaminés lamproíticas	45
Figura 5.1 : A) Localização da Área 2 do Programa de Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais B) Blocos oeste e leste do aerolevanteamento,.....	36
Figura 5.2: Mapa litológico dos projetos Integração e Correção Cartográfica em SIG, pelo convênio com CODEMIG,.....	36
Figura 5.3: Fluxograma esquemático da produção dos mapas temáticos de campo anômalo	38
Figura 5.4: A) Mapa Amplitude do Sinal Analítico da área de estudo; e B) Mapa de Magnetofácies	40
Figura 5.5: A) Mapa de lineamentos magnetométricos sobreposto ao mapa de Amplitude do Sinal Analítico da área de estudo B) Rosetas dos lineamentos magnetométricos.....	41
Figura 5.6: A) Mapa magnetométrico Amplitude de sinal Analítico com os lineamentos e as compartimentações B) Rosetas das compartimentações	42
Figura 5.7: Mapas temáticos radiométricos e imagem Ternária gerados através do <i>software</i> OASIS MONTAL 7.0.1.....	43
Figura 5.8: A)Mapa de Radiofacies; B) Imagem Ternária original	44
Figura 5.9: A) Imagem Ternária com os lineamentos radiométricos; B) Imagem Ternária; C) Roseta dos lineamentos radiométricos	46
Figura 5.10: Sobreposição realizada entre os mapas:CODEMIG, Governo do Estado e UFMG (2005), imagem Ternária e ASA.....	47
Figura 5.11: Mapa Magnetométrico Amplitude do Sinal Analítico sobreposto pela magnetofácies e pelo mapa geológico dos projetos Integração e Correção Cartográfica.....	48

Figura 5.12: Mapa geológico dos projetos Integração e Correção Cartográfica em SIG, pelo convênio com CODEMIG,.....	49
Figura 6.1: Mapa de Amplitude do Sinal Analítico, com os 30 perfis de direção SN em branco os perfis 3, 9 e 15 em que se apresentam as deconvoluções em detalhe.	52
Figura 6.2: Deconvolução de Euler no Perfil 3 (localização vide Figura 6.1) realizado no <i>software</i> Euler 1.0; (A) dado magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico.....	54
Figura 6.3: Deconvolução de Euler no Perfil 9 realizado no <i>software</i> Euler 1.0; (A) dado magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico.....	54
Figura 6.4: Deconvolução de Euler no Perfil 15 realizado no <i>software</i> Euler 1.0; (A) dado magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico.....	55
Figura 6.5: Mapa de Amplitude do Sinal Analítico com a localização dos perfis (3 e 15) de detalhe salientados em branco	56
Figura 6.6: Deconvolução de Euler no Perfil 3 de detalhe, (localização vide Figura 6.5), realizado no <i>software</i> Euler 1.0.	57
Figura 6.7: Deconvolução de Euler no Perfil 15 de detalhe, (localização vide Figura 6.5), realizado no <i>software</i> Euler 1.0	57
Figura 6.8: Modelo 3D da área gerado a partir da interpolação (<i>krigagem</i>) no <i>software</i> ArcScene 9.3 destacando a intrusão	58

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1: Filtros de Fourier e suas finalidades geofísicas.....	17
Tabela 3.2: Relação do índice estrutural com os modelos físico e geológico	18
Tabela 3.3: Minerais e ocorrências de potássio.....	21
Tabela 3.4: Minerais e ocorrências de urânio	21
Tabela 3.5: Minerais e ocorrências de tório	22
Tabela 4.1: Diferenças mineralógicas das intrusões magmáticas passíveis de conter diamantes: kimberlitos dos Grupos I e II e lamproítos.....	25
Tabela 4.2: Faixa radioativa dos elementos gamaespectométricos	31
Tabela 5.1: Descrição das magnetofácies presentes na área de trabalho	39
Tabela 5.2: Concentrações relativas de Th, U e K das Radiofácies interpretadas da área de estudo....	45
Tabela 5.3: Concentrações relativas de Th, U e K das Radiofácies interpretadas da área de estudo....	50

Resumo

O Quadrilátero Ferrífero é uma região que historicamente vem sendo estudada com a finalidade de se descobrir novos recursos minerais. As ocorrências de ouro, ferro e manganês vem sendo mineradas ao longo de vários anos. No entanto, relatos que datam do período colonial brasileiro, encontrados no Arquivo Histórico do Museu da Inconfidência de Ouro Preto, reportam a existência de diamante na região. Existe um exemplar de diamante encontrado à montante do ribeirão Maynard, em Santo Antônio do Salto, município de Ouro Preto, exposto no Museu de Ciência e Técnica da Escola de Minas da UFOP. A existência desse mineral-gema desperta a curiosidades de estudiosos. O presente trabalho teve como objetivo principal realizar a análise geológica-geofísica da região da bacia do ribeirão Maynard por meio da integração entre os dados geofísicos de magnetometria e radiometria aerolevados, com foco na compreensão da origem do diamante da região. Por meio da análise radiométrica obteve-se uma integração geológico-geofísica, estabelecendo correlações entre as radiofácies e a geologia da região. A partir da magnetometria foi possível estabelecer uma compartimentação tectônica para a área de estudo. A deconvolução de Euler mostrou-se um método eficiente, pois corroborou com a interpretação estrutural da área e em detalhe observou-se estruturas com características lamproíticas, o que pode explicar a origem primária do mineral em questão. A importância geoeconômica desses resultados geofísicos contribui para aprimorar as técnicas de pesquisa mineral em busca da origem primária de diamante no Brasil.

Palavras chave: geofísica, lamproito, ribeirão Maynard.

1.1 APRESENTAÇÃO

As gemas despertam a paixão do homem há 10.000 anos. Antigamente, as pedras preciosas eram destinadas aos nobres e serviam como símbolo de posição social. Ainda hoje, o diamante continua despertando a cobiça da humanidade e permanecem como investimento de capital. Suas propriedades óticas são excepcionais e por isso ele é considerado o rei das gemas (Schumann 2006, p. 8).

O grupo de produtores de diamantes no mundo é extenso, o Brasil ocupa a sétima posição desse *ranking* de acordo com a Anual Global apesar das fontes diamantíferas serem principalmente classificadas como depósitos secundários. De acordo com dados do KPCS – Anual Global Summary – 2014, nesse ano os maiores produtores de diamantes foram Rússia, Botsuana, República Democrática do Congo, Canadá e Austrália onde a extração ocorre basicamente através de fontes primárias. Diante desse cenário as fontes secundárias, como aluviões e rochas sedimentares, têm sido objeto de estudo. No entanto, os depósitos primários na academia nacional possuem pouca pesquisa, principalmente no que diz respeito aos métodos geofísicos.

O Quadrilátero Ferrífero é uma área que possui ao longo dos anos, uma vastidão de recursos minerais presentes. Em meio a essas ocorrências, algumas são amplamente conhecidas, como é o caso do ouro, ferro, manganês e também alguns minerais gemológicos, como por exemplo o topázio imperial, esmeralda e euclásio. Historicamente, relatos que podem ser encontrados no Arquivo Histórico do Museu da Inconfidência de Ouro Preto, datando do período colonial brasileiro, mencionam a ocorrência de diamantes nos arredores da cidade. Além desses arquivos, um exemplar de diamante encontrado à montante do ribeirão Maynard, em Santo Antônio do Salto, município de Ouro Preto, encontra-se exposto no Museu de Ciência e Técnica da Escola de Minas da UFOP, tendo sido descoberto na mesma época.

Em estudos recentes, (Oliveira 2016), por meio da identificação e caracterização de minerais indicadores, estabeleceu-se 34 fases minerais distintas encontrados na bacia hidrográfica do Ribeirão Maynard. Destacam-se, dentre essas, alguns minerais que podem ser usados como guias de depósitos primários para diamante, como por exemplo piropo, cromita, ilmenita e diopsídio.

1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

Este trabalho tem como objeto de estudo a região da bacia hidrográfica do Ribeirão Maynard, que se localiza na porção sul do Craton São Francisco, englobada pelo Quadrilátero Ferrífero entre as cidades de Ouro Preto, Ouro Branco e o distrito de Santo Antônio do Salto (Figura 1.1).

O distrito encontra-se a 128 km da capital Belo Horizonte e o acesso se dá através da rodovia dos Inconfidentes, BR-356 até Ouro Preto. Logo após, toma-se a estrada de Ouro Branco para o distrito de Chapada chegando, ao destino final em Santo Antônio do Salto.

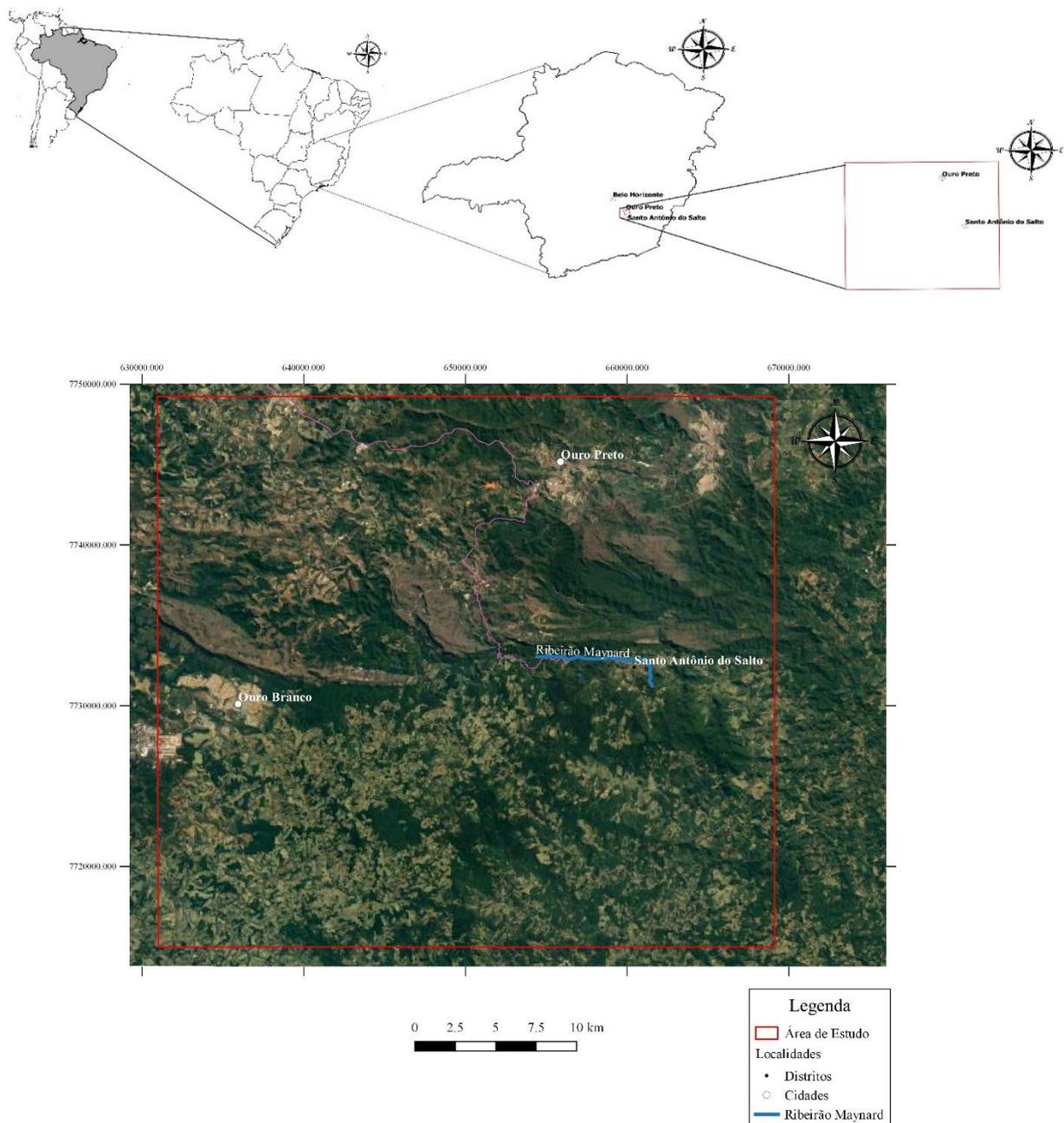


Figura 1.1: Localização da área de estudo, em destaque a imagem de satélite com o distrito de Santo Antônio do Salto e as cidades de Ouro Preto e Ouro Branco. (Imagem: Google Earth Pro).

1.3 OBJETIVOS

O objetivo precípua deste trabalho consiste em delimitar as possíveis fontes primárias dos corpos diamantíferos interligando-os ao conhecimento geológico e gemológico da região em questão. Para esse fim, os métodos geofísicos utilizados foram a magnetometria, para determinar a geometria em profundidade dessas fontes, e a radiometria, que sustenta a cartografia geológica da área.

Além disso, como objetivos específicos, têm-se a elaboração de mapas temáticos para a localidade e ainda verificar o comportamento em profundidade dos corpos kimberlíticos e/ou lamproíticos.

1.4 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO

A partir do século XIX, após relevantes descobertas de corpos kimberlíticos mineralizados na África do Sul, a utilização da geofísica como ferramenta para a pesquisa mineral de diamante tem sido fundamental. No entanto, o Brasil tem pouco investimento voltado para esse tipo de estudo.

Os depósitos diamantíferos brasileiros são associados a rochas sedimentares, com extensa distribuição no tempo e no espaço, variando do Paleoproterozóico ao recente. As dificuldades encontradas na identificação de fontes “primárias” associadas a estes depósitos, devem-se a escassez de registros bem preservados, sobretudo em função dos processos superimpostos de fragmentação e acreção crustal, erosão, transporte, alteração intempérica e recobrimento dos corpos magmáticos por processos sedimentares posteriores (Martins 2006).

De acordo com Pereira & Fuck (2005), a região de estudo possui condicionamento geotectônico evidenciado por um núcleo arqueano estável, como também dados de química mineral de kimberlitos, que caracterizam o Quadrilátero Ferrífero como uma das melhores áreas do Cráton São Francisco para a presença de rochas relacionadas com a mineralização de diamantes.

Dessa forma, o presente trabalho é justificado pela escassez de pesquisas direcionadas às análises geofísica-estruturais dos diamantes dessa região e pela necessidade de aplicação de métodos geofísicos em escala local. Sendo assim, o trabalho pretende compreender a origem desses diamantes.

1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

1.5.1 Revisão bibliográfica

A base para a consulta bibliográfica foi principalmente a dissertação “Caracterização de Minerais Pesados Usados como Indicadores de Depósitos Minerais na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Maynart, Sul do Quadrilátero Ferrífero, MG” de Oliveira (2016). Por possuir um estudo abrangente da geologia regional da região em questão. Com o objetivo do entendimento dos métodos geofísicos a serem utilizados durante a realização da pesquisa, efetuou-se a leitura de textos e artigos relacionados a geofísica aplicada.

1.5.2 Levantamento de banco de dados

Utilizou-se, nesse trabalho, o banco de dados aeromagnetométricos e aeroradiométricos disponibilizados pela Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG). A base de dados desse trabalho corresponde à Área 2, obtida através do Levantamento Aéreo geofísico de Minas Gerais da CODEMIG durante os anos de 2005 e 2006.

1.5.3 Análise qualitativa

Com o suporte do banco de dados geofísicos, foram gerados vários mapas temáticos para cada método geofísico, objetivando a caracterização da área de estudo. Estes mapas foram elaborados através do *software Oasis Montaj 8.4* do sistema *GEOSOFT*. Posteriormente, utilizou-se o *software ArcGis* (versão 10.3), para que os mapas georreferenciados sejam integrados aos dados geológicos em ambiente SIG, com o propósito à interpretação qualitativa dos dados.

1.5.4 Integração geológica-geofísica

Após a realização das análises qualitativas, foi realizada a integração dos dados obtidos em ambos mapas para a realização de interpretação das anomalias geofísicas de acordo com as estruturas e litologias mapeadas na região.

1.5.5 Análise quantitativa

Usufruindo-se da versão livre do *software Euler* (versão 1.00), fez-se a Deconvolução de Euler (2D) dos perfis magnetométricos, desejando a interpretação quantitativa dos dados que,

integrados aos dados geológicos, possibilitaram visualizar, em profundidade, o condicionamento estrutural das prováveis mineralizações da área em questão. Além disso, foi possível estimar as profundidades do topo das anomalias magnetométricas em perfis esquemáticos confeccionados no procedimento de integração. Através da obtenção dos dados da Deconvolução de Euler, foi admissível, a partir do método *krigagem*, elaborar modelos 3D para visualização das estruturas em profundidade.

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO

A área de estudo situa-se na zona limítrofe da porção sul do Cráton São Francisco, (Almeida 1997), com a faixa móvel Araçuaí (Pedrosa-Soares & Wiedemann Leonardos 2000). Nessa região é possível encontrar rochas aflorantes na porção sul da área que pertencem ao Cinturão Mineiro (Teixeira & Figueredo 1991), e na porção norte da área são encontradas as unidades que particularizam o Quadrilátero Ferrífero (Dorr II *et al.* 1957), como pode ser observado na Figura 2.1.

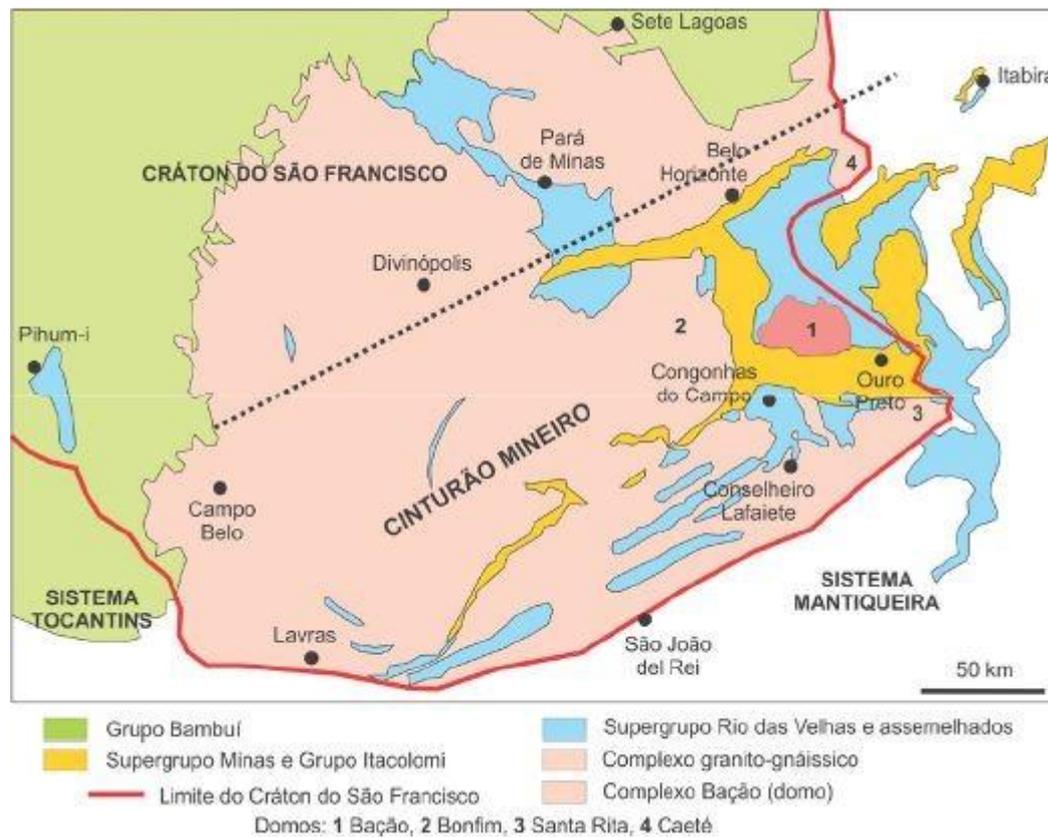


Figura 2.1: Contexto geotectônico da área de estudo (modificado de Alkmim 2004).

O Quadrilátero Ferrífero tem sido bastante estudado ao longo dos anos pois, além da sua importância econômica para exploração de bens minerais trata-se de uma região complexa por ter sofrido diversos eventos deformacionais e metamórficos. A evolução geotectônica da área registra aproximadamente 3.000 Ma de atividade tectônica, iniciando o processo no paleoarqueano (3.500 a 3.200 Ma) formando uma crosta continental que se encontra pouco preservada, mas registra

zircões detríticos de rochas supracrustais de idade paleoarqueana. Os principais eventos magmáticos sofridos por estas são: Rio das Velhas I (2.920 a 2.850 Ma) seguido por Rio das Velhas II (2.800 a 2.760 Ma) e finalmente Mamona (2.760 a 2.680 Ma). Acima dessas rochas depositaram-se sedimentos com 6.000m de espessura datando de 2.600 a 2.000 Ma, esses sedimentos correspondem às rochas do Supergrupo Minas (Farina *et al.* 2015, Moreira *et al.* 2016) e sobrepostos a esses, de idade mesoproterozóica, encontram-se os sedimentos do Grupo Itacolomi (Alkmim & Marshak 1998). A deformação brasileira (900 a 500 Ma) afetou todo esse volume rochoso no neoproterozoico (Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos 2000).

2.2 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

A área de estudo abrange complexos metamórficos de idade arqueana a paleoproterozoico, rochas do tipo *greenstone belt* arqueanas do Supergrupo Rio das Velhas. Pertencentes ao Supergrupo Minas e ao Grupo Itacolomi tem-se metassedimentos paleoproterozóicos e ainda intrusões graníticas também paleoproterozoicas. Na Figura 2.2 podemos visualizar essa distribuição.

2.2.1 Complexo Metamórfico Santo Antônio do Pirapetinga

Toda a porção centro-sul da área de estudo é compreendida pelo Complexo Metamórfico Santo Antônio do Pirapetinga. Definido por Raposo *et al.* (1991) o complexo é caracterizado principalmente por rochas metabásicas e metaultrabásicas, gnaisses, quartzitos e formações ferríferas subordinadas. As rochas metabásicas são individualizadas por anfibolitos, anfibolito com porfiroblasto de plagioclásio e clorita-tremolita-xisto.

As rochas metaultrabásicas apresentam-se em forma de diques e corpos tabulares irregulares. Elas podem ser subdivididas em quatro grupos, de acordo com características singulares (Raposo *et al.* 1991):

- I. maciças: não apresentam xistosidade e foliação perceptível;
- II. serpentinizadas: presença de serpentina em 80% da composição da rocha e não se preserva a olivina;
- III. metaultrabásicas com agregados de talco: agregados centimétricos de talco em finas palhetas distribuídas aleatoriamente pela rocha;
- IV. metaultrabásicas com tremolita: constituída essencialmente por tremolita podendo chegar a 90% da matriz da rocha conferindo cor verde-oliva característica;

Os gnaisses estão relacionados com as rochas metaultrabásicas e possuem afinidade trondhjêmica e tonalítica. De maneira subordinada, também existem nessa unidade quartzitos que exibem estruturas de esforços tectônicos extremamente cisalhados e finos níveis de formações ferríferas.

2.2.2 Complexo Metamórfico Monsenhor Isidro

Considerado como uma extensão sul do Complexo Metamórfico Santo Antônio do Pirapetinga, o Complexo Metamórfico Monsenhor Isidro (Heineck *et al.* 2003) compreende rochas metaultramáficas e metamáficas cortadas por granitoides, de idade paleoproterozoica e apresentam-se extremamente alteradas.

2.2.3 Supergrupo Rio das Velhas

O Supergrupo Rio das Velhas é constituído na base pelo Grupo Nova Lima e em seu topo pelo Grupo Maquiné. O Grupo Nova Lima possui grande importância econômica pois, em sua sequência metavulcanossedimentar, abrigam, os principais depósitos de ouro do Quadrilátero Ferrífero. Essa sequência é constituída por metakomatiitos de textura *spinifex* (Schorscher *et al.* 1982) e metabasaltos tholeiíticos, além de rochas metavulcânicas e metavulcanoclásticas intermediárias a félsicas. O Grupo Maquiné agrupa as formações Palmital e Casa Forte e elas representam a sedimentação clástica do Rio das Velhas, caracterizados por quartzitos micáceos, conglomerados e metarenitos microconglomeráticos (Zucchetti & Baltazar 2000).

2.2.4 Supergrupo Minas

O Supergrupo Minas hospeda também importantes depósitos de ferro do Quadrilátero Ferrífero. A sua sequência é caracterizada por rochas metassedimentares datando do paleoproterozoico em que sua gênese de deposição remonta um ambiente de margem passiva. O Supergrupo Minas é formado pelos grupos Caraça, Itabira e Piracicaba (Dorr II 1969) e ainda pelo Grupo Sabará (Renger *et al.* 1994). O Grupo Caraça compreende a Formação Moeda em sua base e no topo a Formação Batatal. A Formação Moeda é caracterizada por depósitos de ambiente fluvial, composto por quartzitos e conglomerados que hospedam pequenos depósitos de ouro e urânio. Composta por filitos derivados de pelitos depositados em plataforma estável, encontra-se a formação Batatal. Divido pelas formações Cauê e Gandarela, localiza-se o grupo Itabira, representadas pelos grandes depósitos de minério de ferro do Quadrilátero e a outra formação constituída por mármore de ambiente marinho com águas rasas e calmas, respectivamente. Definido por uma sedimentação cíclica entre filitos e quartzitos com lentes de carbonatos

subordinadamente, encontra-se o Grupo Piracicaba, constituído pelas formações Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro. A composição do Grupo Sabará compreende metapelitos, metagrauvacas, metaconglomerados, quartzitos, filitos grafitosos, clorita-xisto e raras formações ferríferas. A interpretação aceita seria a de uma sedimentação do tipo *flysch* (Barbosa 1968, Dorr 1969). Essa deposição do Grupo Sabará marca uma mudança no processo deposicional e também da fonte de sedimentos da unidade mais jovem do Supergrupo Minas.

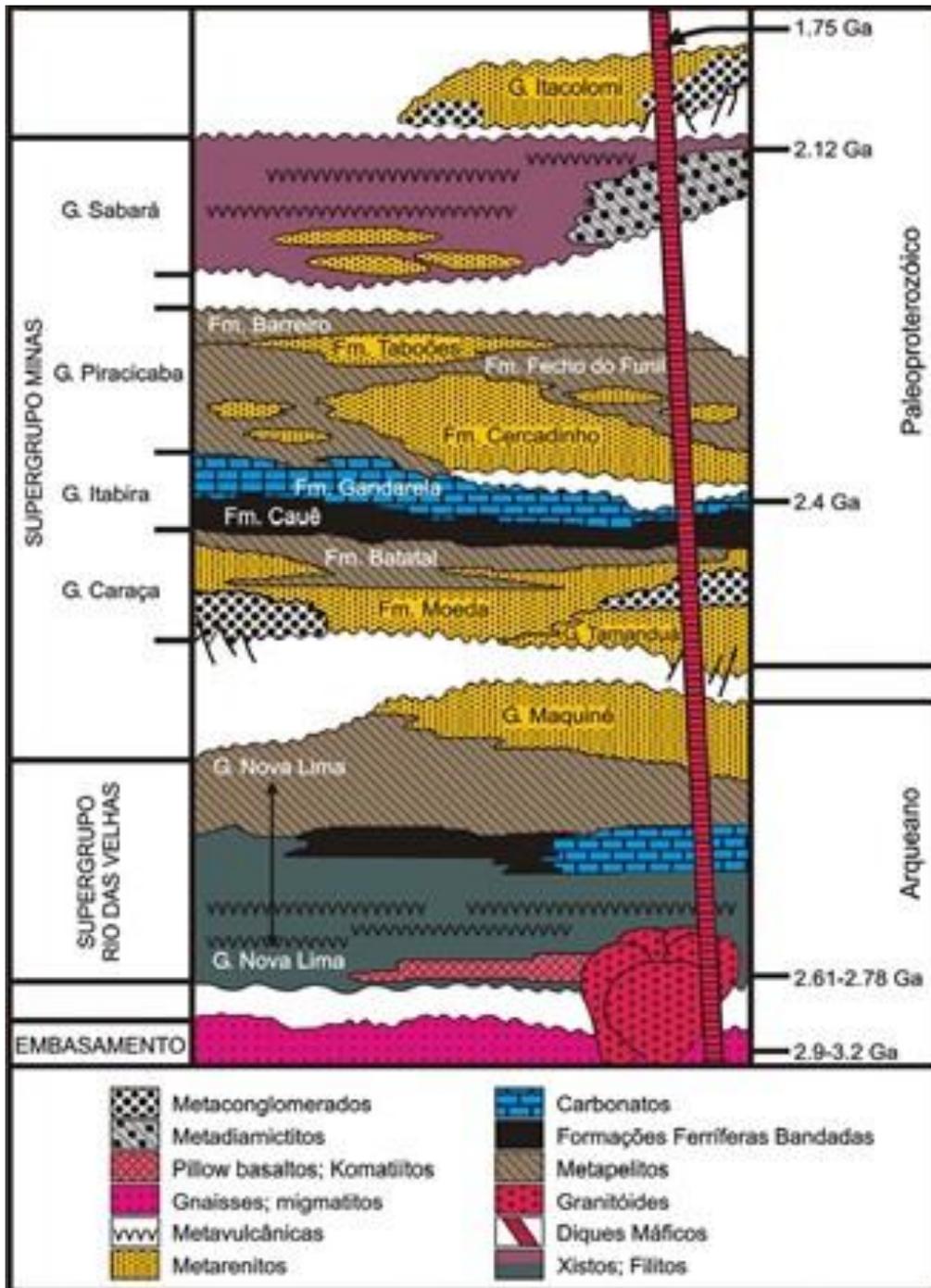


Figura 2.2: Coluna litoestratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (modificada de Alkmim & Marshak 1998).

2.2.5 Grupo Itacolomi

O Grupo Itacolomi se comporta de forma discordante sobre todas as unidades do Supergrupo Minas. Ele é caracterizado por quartzitos impuros e metaconglomerados que datam do Paleoproterozoico (Guimarães 1931).

2.2.6 Corpo Serra do Carmo

Definido por Raposo (1991), o corpo Serra do Carmo é composto por um granitoide com afinidade tonalítica-trondhjemítica. As rochas apresentam-se em coloração branco-leitosas, de granulação média a grossa, constituído por albitas ou albita/oligoclásio e quartzo com predominância de plagioclásio.

CAPÍTULO 3

MÉTODOS GEOFÍSICOS

3.1 INTRODUÇÃO

A geofísica é uma ciência aplicada que investiga diferentes propriedades físicas da Terra visando obter uma resposta que contribua para desvendar a estruturação e composição do interior do planeta. O seu desenvolvimento teve início no século XX, devido à escassez crescente de depósitos minerais aflorantes ou pouco profundos e assim foi possível mapeá-los a partir de fenômenos físicos naturais ou induzidos (Barbosa 2013).

Nesse capítulo, serão salientados os métodos geofísicos utilizados para a elaboração deste trabalho. Existem vários métodos de levantamentos geofísicos, mas, para cada um deles existe uma determinada propriedade física que seja mais sensível. No presente trabalho, utilizaram-se os métodos magnetométrico e radiométrico para o conhecimento das estruturas, rochas e ocorrências minerais da região em questão. Uma correta aplicação de levantamentos geofísicos pode aperfeiçoar a pesquisa de exploração mineral, pois maximiza a taxa de cobertura da área e minimiza a quantidade de perfurações. Porém, vale ressaltar que os métodos geofísicos são vulneráveis a ambiguidades e incertezas, sendo fundamental a utilização de medidas que minimizem estes problemas (Kearey *et al.* 2009).

3.2 MAGNETOMETRIA

3.2.1 Introdução

Um dos objetivos principais da magnetometria é investigar a geologia de uma região com base nas anomalias do campo magnético terrestre, que são o resultado das diferentes propriedades magnéticas das rochas em subsuperfície. A quantidade e o modo de distribuição dos minerais magnéticos presentes em uma rocha alteram a sua susceptibilidade magnética e as tornam magnéticas ou não. Quando ocorre uma concentração desses minerais produz-se uma distorção local no campo magnético da Terra e essas podem ser captadas por equipamentos registrando uma informação da subsuperfície. Ao fornecer esse conhecimento, as anomalias se tornam uma importante fonte para detecção de depósitos de interesse econômico e também para investigações de estruturas regionais. Os levantamentos magnéticos podem ser aéreos, terrestres ou marinhos, podendo ser amplamente empregados. No entanto, os levantamentos aerotransportados

são mais atraentes para a procura de depósitos minerais pois, desenvolvem uma maior velocidade de operação.

3.2.2 O campo magnético terrestre

O campo magnético da Terra pode ser estudado através de três diferentes elementos: um campo principal, um campo menor e as variações espaciais do campo principal. O campo principal varia lentamente, diferentemente do campo menor que se altera com rapidez. As variações do campo principal são geralmente menores que ele, e são relativamente constantes no tempo e espaço. Essas são causadas pelas anomalias magnéticas locais presentes na crosta terrestre. Estes últimos são os alvos durante a prospecção geofísica pelos métodos magnéticos, os quais são gerados principalmente pelos minerais de: magnetita, pirrotita e ilmenita (Telford *et al.* 1990).

A representação do campo magnético terrestre pode ser composta por um vetor no espaço, onde T é o campo magnético total, que é decomposto na componente vetorial horizontal (H) e na vertical (V). O ângulo entre o campo total T e a componente horizontal H é a inclinação magnética (I) e o ângulo que a componente horizontal H faz com o norte geográfico é a declinação magnética (D), como pode-se observar na Figura 3.1

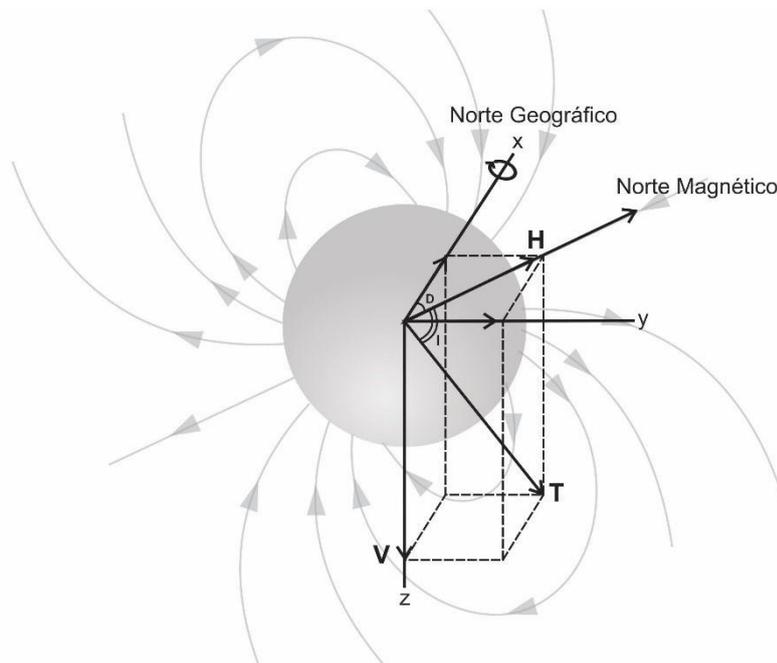


Figura 3.1: Componentes do campo geomagnético e os vetores do campo magnético (modificado de Telford *et al.* 1990)

Como padrão, o campo magnético é positivo no polo Norte e negativo no polo Sul. O campo magnético é vertical apontando para o centro da Terra no polo Norte e no polo Sul o campo é vertical apontando para o espaço. Enquanto que no equador magnético o campo é horizontal

à superfície da Terra. A intensidade do campo magnético em geofísica é medida em Tesla (T), no sistema SI (Telford *et al.* 1990).

A representação teórica, para um dado intervalo de tempo, do campo magnético principal é o IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*). Esta representação é utilizada como referência para a definição das perturbações causadas no campo normal pelas estruturas geológicas e depósitos de minérios, isto é, para a definição de anomalias magnéticas (Luiz & Silva 1995).

3.2.3 Magnetismo das rochas e minerais

Um material exposto a um campo magnético pode adquirir uma magnetização na direção do campo que é perdida quando o material é retirado do campo, sofrendo assim, uma polarização magnética. Esse fenômeno ocorre devido ao alinhamento dos dipolos elementares dentro do material na direção do campo. A consequência desse alinhamento é a aquisição pelo material de polos magnéticos distribuídos por toda a sua superfície, que correspondem às extremidades dos dipolos, como mostra a Figura 3.2 (Kearey *et al.* 2009).

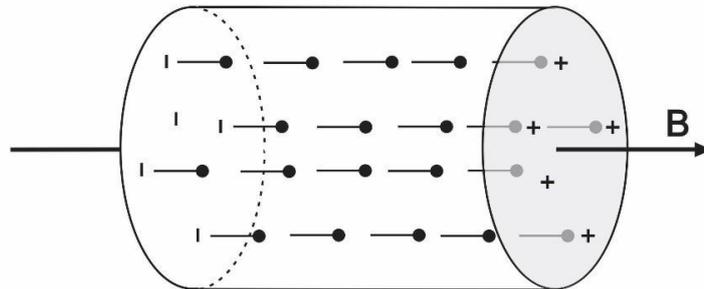


Figura 3.2: Esquema de um material que os dipolos elementares se alinham na direção de um campo externo B, gerado por magnetização induzida (modificado de Kearey *et al.* 2009).

A intensidade de magnetização induzida no corpo é proporcional à sua susceptibilidade magnética e também sofre influência com a estimulação magnética externa ao material. A susceptibilidade magnética relaciona-se ao modo como a magnetização responde a um campo externo aplicado e representa o principal parâmetro magnético utilizado na interpretação geofísica. Essa particularidade varia muito para um mesmo tipo de rocha e é intrínseca ao material, ou melhor, depende principalmente do seu processo de formação e da mineralogia magnética que é proporcional ao conteúdo mineralógico em sua composição, especialmente de magnetita (Telford *et al.* 1990).

De acordo com a física quântica, todas as substâncias são magnéticas numa escala atômica, em que cada átomo age como um dipolo em razão do *spin* de seus elétrons e da trajetória orbital dos elétrons ao redor do núcleo (Kearey *et al.* 2009). Dessa forma, acredita-se na existência de três tipos de material, de acordo com seu comportamento na presença de campos magnéticos externos. Os elementos repelidos são denominados de diamagnéticos, enquanto os que são atraídos recebem o nome de paramagnéticos. Sob certas condições, os paramagnéticos podem apresentar magnetização espontânea, estando associadas aos mais altos valores de susceptibilidade. Passando assim a receber a denominação de substâncias ferromagnéticas (Telford *et al.* 1990).

Uma rocha pode ter dois tipos de magnetização: a magnetização induzida e a magnetização residual. A induzida é ocasionada pelo campo magnético atual da Terra, atuando em minerais paramagnéticos. A magnetização residual ou também conhecida como remanescente ou remanente, é adquirida durante formação da rocha (rochas ígneas e sedimentares) ou durante a sua transformação (rochas metamórficas), geralmente associada a materiais ferrimagnéticos. Uma rocha também pode apresentar diferentes valores de susceptibilidade magnética, mas de maneira geral, as rochas sedimentares, metamórficas e as ígneas ácidas possuem baixos valores de susceptibilidade, enquanto que as rochas ígneas básicas apresentam altos valores, como observa-se na Figura 3.3.

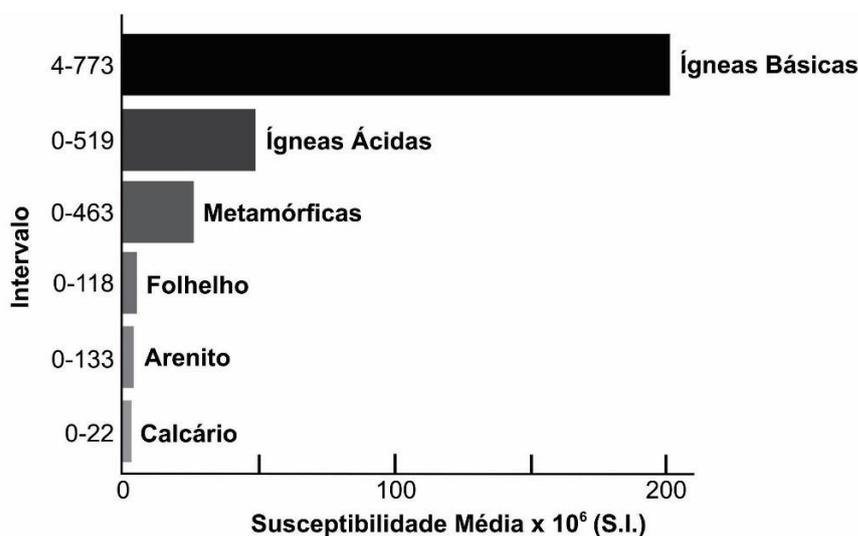


Figura 3.3: Valores médios e intervalos de susceptibilidade para as rochas mais comuns (modificado de Kearey *et al.* 2009).

3.2.4 Tratamento e filtragem dos dados

Os dados magnéticos coletados nos levantamentos são submetidos a operações conhecidas como tratamento, redução ou processamento dos dados. Esses procedimentos tem a

finalidade de remover todas as causas de variações magnéticas, que não são aquelas geradas pelos efeitos magnéticos da subsuperfície, para torná-los mais adequados para a interpretação.

Algumas correções devem ser aplicadas na magnetometria, sendo elas: correção da variação diurna, correção geomagnética ou remoção do IGRF e a correção topográfica. A primeira ocorre devido à interação da ionosfera com os ventos solares e sua correção é feita para verificar a variação sofrida durante o levantamento de dados. A remoção do IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) possibilita identificar as anomalias causadas por corpos magnéticos, ou seja, são aquelas alterações de caráter local. As correções topográficas são necessárias, pois o relevo pode alterar os dados magnetométricos levantados, uma vez que os levantamentos aéreos são realizados a uma altura de voo constante de acordo com o nível do mar. Ao sobrevoar uma região alta, como por exemplo uma serra, o alvo fica mais próximo do aparelho medidor, aumentando a intensidade do alvo o contrário também pode ocorrer.

Além das correções, os dados magnetométricos podem ser filtrados e processados de forma a ressaltar diferentes aspectos das anomalias e retirar ruídos indesejáveis. A filtragem consiste em selecionar faixas de frequência do sinal analítico de acordo com as Transformadas de Fourier (Silva 2015). Cada faixa de frequência corresponde a uma profundidade, sendo que quanto menor a frequência, maior é a profundidade do alvo que a causou, como mostra a Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Filtros de Fourier e suas finalidades geofísicas, modificado de Silva (2015).

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

3.2.5 Deconvolução de Euler

Devido ao caráter dipolar do campo magnético, em contraste com o campo monopolar gravitacional, uma maior complexidade é acrescida na interpretação de dados magnetométricos. Assim, uma determinada fonte produz anomalias diferentes quando localizadas em diferentes latitudes. A presença de magnetização remanescente, especialmente se ela é de grande intensidade

e não está alinhada com a magnetização induzida também torna o processo de interpretação de dados dificultoso. A existência de remanência pode modificar a forma da anomalia observada.

A fim de realizar uma análise das fontes das anomalias magnéticas em profundidade, utilizou-se a técnica conhecida como Deconvolução de Euler, que faz a inversão de campos potenciais, no caso em questão, dos dados magnetométricos. Reid *et al.* (1990) realizaram vários estudos com a equação homogênea de Euler (Eq.: 3.1), que correlaciona a distribuição de densidade e/ou heterogeneidade de susceptibilidade magnética das fontes geradoras com sua geometria em profundidade.

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

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

Para aplicar o método, utiliza-se um programa de computador, que gera, rapidamente, 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. No programa, entra-se com os seguintes dados: valores das anomalias do perfil, índice estrutural (representa a geometria dos corpos – Tabela 3.2), 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).

Tabela 3.2: Relação do índice estrutural com os modelos físico e geológico (Reid *et al.* 1990).

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

A deconvolução de Euler fornece, dessa forma, uma rápida estimativa da profundidade média do topo das fontes anômalas a partir de dados potenciais. Deve-se considerar que o método é matemático e apresenta as melhores soluções para um determinado conjunto de variáveis e não considera nenhum critério geológico. Portanto, para que o método tenha eficácia geológica, é preciso um conhecimento prévio do arcabouço geológico da região em que se deseja estudar, de forma a combinar e identificar as anomalias obtidas com o método.

3.3 RADIOMETRIA

3.3.1 Introdução

Apesar de apresentar baixa penetrabilidade, a radiometria é muito útil no mapeamento geológico de superfície, na prospecção de depósitos associados a elementos radioativos e na identificação de áreas alteradas por hidrotermalismo, uma vez que as variações litológicas podem ser caracterizadas por suas diferentes assinaturas radioativas (Kearey *et al.* 2009). Mais de 50 isótopos radioativos de ocorrência natural podem ser reconhecidos atualmente, porém, os elementos químicos com maior utilização na exploração radiométrica são o urânio (^{238}U), o tório (^{232}Th) e o potássio (^{40}K), devido a seus caracteres litófilos e suas abundâncias na natureza em diferentes tipos de rocha (Figura 3.4).

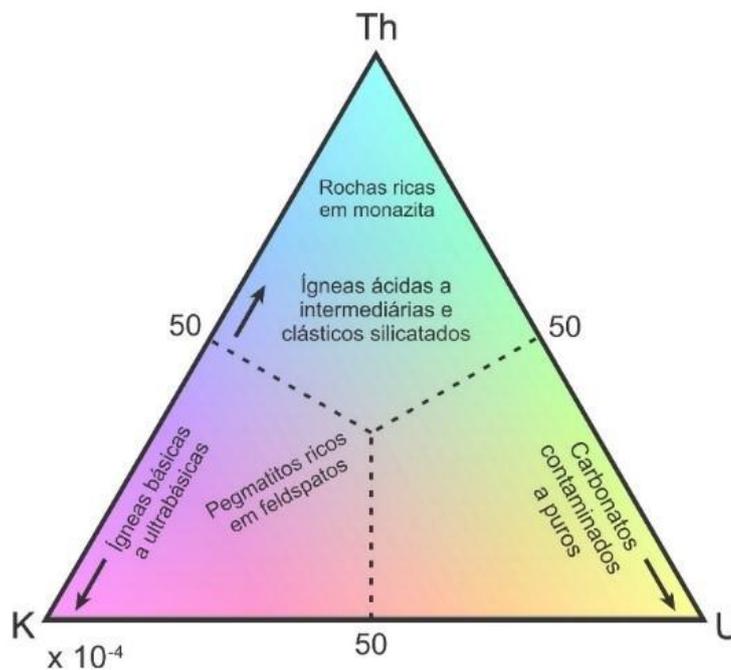


Figura 3.4: Abundâncias relativas de elementos radioativos em diferentes tipos de rochas (modificado de Kearey *et al.* 2009).

3.3.2 Radioatividade natural

Elementos que possuem o mesmo número de prótons e diferentes números de nêutrons em seus núcleos atômicos são denominados isótopos, ou seja, são os átomos de um certo elemento químico com o mesmo número atômico, mas com diferentes pesos atômicos. Alguns isótopos são instáveis e podem se desintegrar para formar outros elementos, ao se desintegrar podem emitir radioatividade de três tipos: partículas alfa (α), partículas beta (β) ou raios gama (γ).

As partículas α são núcleos de hélio que são emitidos do núcleo do átomo durante as desintegrações dos isótopos. As partículas β são elétrons emitidos quando ocorre a separação do

nêutron em um próton e um elétron. Os raios γ são radiações eletromagnéticas liberadas por núcleos excitados pela emissão de uma partícula α ou β . A penetrabilidade dessas emissões radioativas é sensivelmente diferente, das quais as partículas α não conseguem ser detectadas em nenhum levantamento radiométrico e as partículas β , somente são capturadas em levantamentos de solo. Desta maneira, por possuírem frequências mais altas que 10^{16} Hz dentro do espectro e serem mais penetrativos, os raios γ são os mais utilizados nos levantamentos radiométricos aerotransportados (Kearey *et al.* 2009).

3.3.3 Radioatividade das rochas e minerais

De maneira geral, a radioatividade apresenta maior índice nas rochas sedimentares e nos sedimentos metamorfisados, quando comparados as rochas metamórficas e ígneas, com exceção dos granitos ricos em potássio.

Dessa maneira a concentração dos isótopos Th, U e K são maiores em rochas (meta) sedimentares do que nas rochas (meta) ígneas, exceto quando as (meta) ígneas são ácidas. Analisando somente as rochas (meta) sedimentares, verifica-se que a quantidade de argila presente nas rochas acarreta uma maior concentração dos isótopos supracitados. Para as rochas (meta) ígneas, o aumento de concentração dos isótopos está relacionado ao aumento de concentração de sílica.

As principais ocorrências minerais de potássio são em rochas ígneas ácidas como granitos e corpos pegmatíticos, onde encontram-se ortoclásio/microclina (aproximadamente, com 13% de potássio) e moscovita (aproximadamente, 8% de potássio), e em depósitos salinos marinhos, cujos principais minerais de potássio são silvita e carnalita. A presença de potássio também pode ser um indicativo de alteração hidrotermal (Telford *et al.* 1990).

O urânio primário pode ocorrer em minerais a base de óxido e em silicatos, já aquele proveniente de processo intempérico concentra-se em óxidos de ferro autigênicos e argilominerais. Os principais minerais e ocorrências de urânio são: uraninita, encontradas em granitos, pegmatitos e veios hidrotermais; carnotoíta, que pode ocorrer em arenitos; gummita, produto de alteração da uraninita; folhelhos negros carbonosos; rochas sedimentares carbonáticas (Telford *et al.* 1990).

Os principais minerais de tório são: monazita e zircão, encontrados em granito, gnaisses e pegmatitos; torianita, torita e uranotorita, presentes em granito, gnaisses e pláceres. O tório é liberado pela quebra de minerais durante o processo intempérico, podendo concentrar-se em minerais hidratados ou oxidados, à base de ferro ou titânio, e em argilominerais (Telford *et al.* 1990).

Tabela 3.3 - Minerais e ocorrências de Potássio, modificado de (Telford *et al.* 1990).

Potássio	
Minerais	(i) Ortoclásio e microclina [$KAlSi_3O_8$]
	(ii) Moscovita [$H_2KAl(SiO_4)_3$]
	(iii) Alunita [$K_2Al_6(OH)12SiO_4$]
	(iv) Sylvita, carnalita [$KCl, MgC_{12}.6H_2O$]
Ocorrências	(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

Tabela 3.4 - Minerais e ocorrências de Urânio, modificado de (Telford *et al.* 1990).

Urânio	
Minerais	(i) Uraninita [óxido de U, Pb, Ra + Th, terras raras]
	(ii) Carnonita [$K_2O.UO_3.V_2O_5.2H_2O$]
	(iii) Gummita [alteração da uraninita]
Ocorrências	(i) Granitos, pegmatitos e/com depósitos em veios de Ag, Pb, Cu.
	(ii) Arenitos
	(iii) Associado à uraninita

Tabela 3.5 - Minerais e ocorrências de Tório, modificado de (Telford *et al.* 1990).

Tório	
Minerais	(i) Monazita [ThO ₂ + raro fosfato terrígeno]
	(ii) Torianita [(Th,U)O ₂]
	(iii) Torita, Uranotorita [ThSiO ₄ + U]
Ocorrências	(i) Granitos, pegmatitos, Gnaisses
	(ii) Granitos, pegmatitos, pláceres
	(iii) Granitos, pegmatitos, pláceres

CAPÍTULO 4

CLÃ KIMBERLÍTICO E LAMPROÍTICO

4.1 INTRODUÇÃO

A existência de rochas primárias como os kimberlitos e/ou lamproítos está diretamente relacionada à ocorrência de diamantes na crosta. Essas rochas se formam a partir de um manto mineralizado que ascendem a uma alta velocidade e são capazes de preservar o diamante até a superfície (Helmstaedt & Gurney 2005).

Encontra-se neste capítulo uma descrição geológica e, especialmente, geofísica do clã kimberlítico/lamproítico. Os estudos, principalmente em profundidade, dessas intrusões são limitados e no presente trabalho serão abordados os principais tópicos dessas fontes parentais estabelecidos nas geociências.

4.2 KIMBERLITOS/LAMPROÍTOS E SUAS ROCHAS PARENTAIS

O conhecimento existente sobre os kimberlitos e lamproítos, bem como suas rochas correlatas, advém da estreita relação de ocorrência dos diamantes. O presente capítulo é destinado à compreensão geológica e geofísica desse clã.

4.2.1 Breve Histórico

Segundo Costa & Luz (2005) e Pereira (2007), os kimberlitos foram descobertos casualmente na África do Sul no final do século XVIII. De acordo com relatos da época as primeiras chaminés kimberlíticas foram encontradas a partir de drenagens diamantíferas. Os exploradores descobriram os *pipes* Koffiefontein e Jagersfontein orientados pelos cristais de diamante e minerais indicadores de cursos d'água. No entanto, o diamante ainda continua a ser associado às drenagens.

No século XX na década de 70, mais de um século após a descoberta do primeiro kimberlito, quando a pesquisa de fontes primárias em crátons arqueanos parecia estabelecida, uma nova rocha ígnea diamantífera foi encontrada no norte da Austrália, os lamproítos diamantíferos de Ellendale e Argyle. Essa descoberta revolucionou os estudos sobre as fontes primárias, pois estas intrusões não se localizam em crátons e sim em cinturões de dobramentos (Marini *et al.* 2002).

Os bons resultados econômicos impulsionaram os avanços tecnológicos e científicos essenciais para a descoberta e exploração das fontes primárias. Atualmente, praticamente em todos os crátons e adjacências cratônicas do mundo já foram feitas pesquisas sobre intrusões diamantíferas, porém ainda existe muito a se estudar e explorar (Marini *et al.* 2002).

4.2.2 Classificação dos Kimberlitos e Lamproítos

O kimberlitos são originários de plumas mantélicas sob a crosta continental e são encontrados em todo o mundo. Entretanto, sua natureza heterogênea os torna de difícil definição. Essas rochas são diferenciadas em função de diversos fatores como a profundidade, composição do magma, velocidade de ascensão e localização continental. Simplificadamente, kimberlitos são intrusões potássicas, ultrabásicas, com alta concentração de óxido de magnésio (MgO) ricas em voláteis.

Mitchell (1991) destaca que identificar corretamente o clã kimberlítico diamantífero não é algo simples. Os kimberlitos e lamproítos pertencem a grupos petrográficos parecidos, mas a grupos petrológicos diferentes. Mitchell (1986, 1989, 1991) propõe que os kimberlitos são rochas ultrabásicas, ricas em potássio e materiais voláteis. A natureza ultrabásica é indicada pela baixa concentração de SiO₂. Os kimberlitos são pobres em sódio (Na) e a característica alcalina decorre dos altos níveis de potássio (K₂O) na flogopita. Dentre os voláteis, o dióxido de carbono (CO₂) e a água (H₂O) predominam com cerca de 10 e 5% (em peso), respectivamente. As intrusões apresentam textura inequigranular e aspecto porfirítico, devido a macrocristais inseridos em matriz de granulação fina. Na Tabela 4.1 são descritas as principais características mineralógicas dos *pipes* passíveis de portar diamante.

Os kimberlitos dos Grupos I e II são classificados como kimberlitos basálticos (ou não micáceos) e micáceos, respectivamente.

Os lamproítos são rochas híbridas, constituídos de uma mistura de produtos de cristalização magmática com xenólitos e xenocristais do manto. Sendo pobre em sílica, rico em MgO, FeO, K₂O e voláteis. Diferentemente dos kimberlitos, o CO₂ é praticamente ausente.

Os lamproítos são peralcalinos e tipicamente ultrapotássicos (contendo 6% a 8% de K₂O contra 0,6-2% nos kimberlitos do Grupo I e 5% nos kimberlitos do Grupo II). Possuem a razão K₂O/Na₂O cerca de cinco vezes maior que os kimberlitos. As ultrabásicas têm altas concentrações de Cr e Ni e concentrações mais elevadas ainda de Zr, Nb, Sr, Ba e Rb que os kimberlitos. Os lamproítos têm matriz vítrea e a fração relativamente alta de CaCO₃ (Mitchell 1989).

Tabela 4.1: Diferenças mineralógicas das intrusões magmáticas passíveis de conter diamante: kimberlitos dos Grupos I e II e lamproítos (Silva 2015).

		Kimberlitos (Grupo I)	Kimberlitos (Grupo II)	Lamproítos
Olivina	Macrocristais	comum	comum	comum
	Fenocristais	comum	comum	comum
Mica	Macrocr.-Fenocr.	flogopita	flogopita	flogopita a Ti-flogopita
	Matriz	flogopita kinoshilita	tetraferroflogopita	Ti-tetraferroflogopita
	Espinélio	Mg-ulvospinélio	Mg-cromita a Ti-magnetita	Mg-cromita a Ti-magnetita
	Monticelita	encontrado	não encontrado	não encontrado
	Diopsídio	não encontrado	Al- + Ti	Al- + Ti
	Perovskita	Sr- + ETR	Sr- + ETR	Sr- + ETR
	Apatita	Sr- + ETR	Sr- + ETR-rico	Sr- + ETR
	Calcita	Mg-ulvospinélio	comum	não encontrado
	Sanidina	não encontrado	na matriz	fenocristais + matriz
	K-richterita	não encontrado	na matriz	fenocristais + matriz
	K-Ba-titanatos	muito raro	não encontrado	comum
	Zr-silicatos	muito raro	comum	comum
	Mn-ilmenita	raro	comum	muito raro
Leucita	não encontrado	pseudomorfos	fenocristais	

Kimberlitos e lamproítos exibem muitos minerais comuns, dentre eles são citados: olivina, diopsídio, flogopita, apatita, perovskita, ilmenita e espinélio. Entretanto, a presença de anfibólio, leucita, sanidina, wadeíta, priderita e a ausência de monticellita, carbonato e serpentina primários nos lamproítos constituem as mais importantes diferenças entre eles e os kimberlitos (Mitchell 1991, Pereira 2007).

4.2.3 Morfologia dos Pipes

As diferenças entre os tipos de *pipes* indicam diferentes fontes no manto superior. Marini *et al.* (2002) afirmam que os kimberlitos não micáceos (Grupo I), provavelmente, são de origens mais profundas, próximas à astenosfera. Enquanto os micáceos (Grupo II), provavelmente, são de áreas mais próximas à base da litosfera, altamente enriquecidas com elementos incompatíveis.

Os *pipes* são divididos em três partes: cratera, diatrema e zona de raiz. Os kimberlitos sul-africanos foram os primeiros a serem analisados em subsuperfície e é deles o modelo morfológico mais conhecido (Figura 4.1) (Mitchell 1991, Marini *et al.* 2002).

A parte mais superficial da intrusão kimberlítica é a cratera, constituída de material piroclástico geralmente retrabalhado pela água. A zona de cratera pode chegar a alguns quilômetros de diâmetro e algumas centenas de metros de profundidade. O contato com a rocha encaixante não ultrapassa o ângulo de 50°. Após a cratera vem a diatrema; sendo a maior e mais

importante parte das intrusões kimberlíticas, a diatrema tem contatos regulares com as rochas encaixantes de 75 a 85°. No modelo sul-africano clássico, elas são circulares ou elípticas e estreitam com a profundidade (Figura 4.1). De acordo com Mitchell (1991), o comprimento axial depende da profundidade da sua origem, mas normalmente tem entre 300 e 2.000m. Na parte mais inferior do *pipe*, abaixo da diatrema, encontra-se a zona de raiz, que possui formato mais irregular e complexo, geralmente composta por apófises, diques e soleiras.

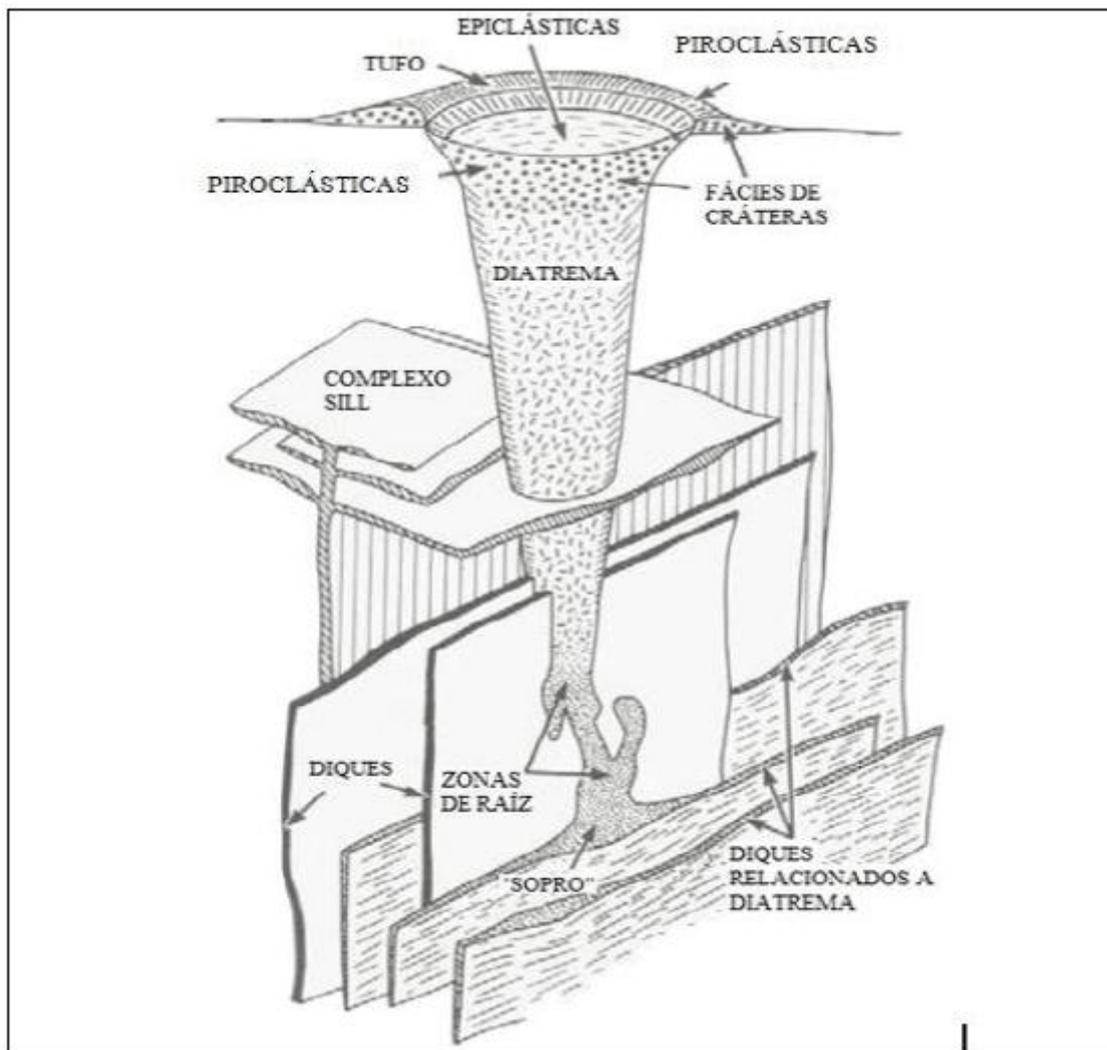


Figura 4.1: Clássico modelo kimberlítico sul-africano (adaptação de Mitchell 1991).

Os geocientistas por muito tempo usaram o clássico modelo kimberlítico sul-africano para todos os tipos de crátons do mundo (Figura 4.2), porém novas descobertas de fontes primárias nos indicam *pipes* de geometrias diferentes (Figura 4.3).

Os lamproítos são os que mais se diferem do modelo sul-africano dentre as fontes primárias. Os *pipes* lamproíticos não possuem fácies de diatrema ou zona de raiz como os kimberlitos dos Grupos I e II. O canal magmático é localizado na fácies de cratera por várias

centenas de metros, tendo um formato semelhante a uma taça (Figura 4.3A). Na figura 4.3B são ilustrados kimberlitos canadenses da Província Slave, Lac de Gras. Algumas dessas intrusões apresentam fácies de cratera, fácies de diatrema e fácies hipabissais semelhantes ao modelo kimberlítico sul-africano. Outros não apresentam a diminuição do diâmetro da diatrema em função da profundidade (típico formato de cenoura), ou são totalmente amorfos. Na Figura 4.3C ilustram-se os formatos anômalos dos *pipes* Saskatchewan (Canadá) após a ascensão e nos níveis atuais de erosão. Nos crátons da Sibéria ocorrem kimberlitos extremamente diferentes dos sul-africanos, o aspecto morfológico dos corpos contém chaminés gêmeas ou múltiplas (Figura 4.3D).

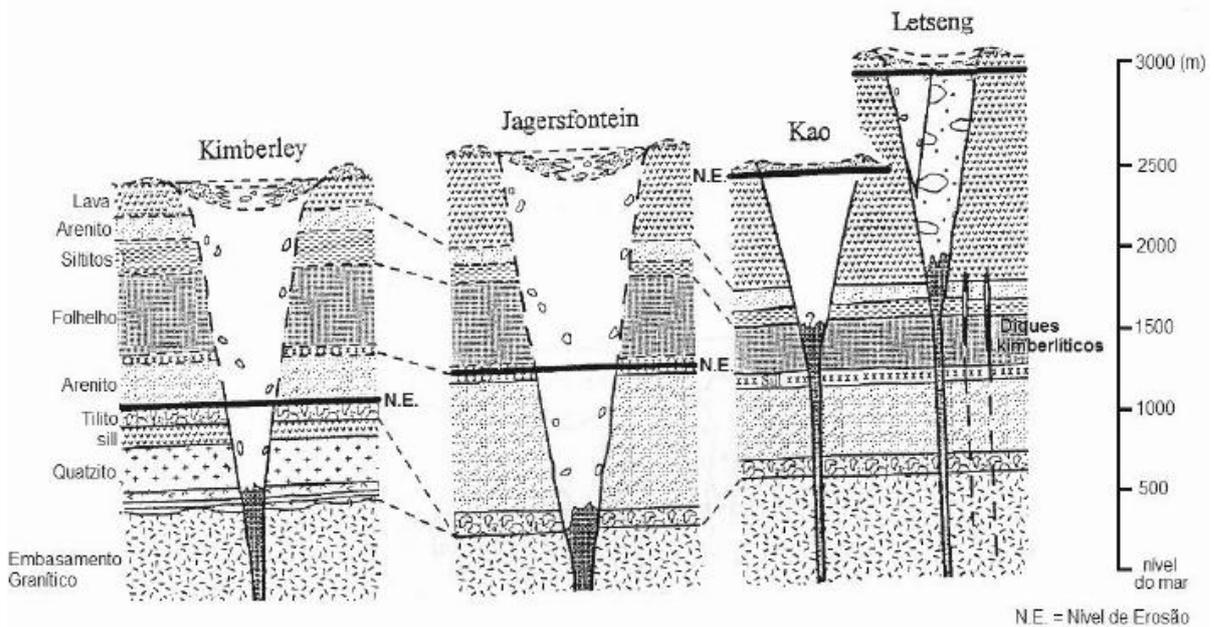


Figura 4.2: Exemplos bem-sucedidos do modelo kimberlítico sul-africano, onde o *pipe* tem formato similar a uma cenoura (adaptação de Marini *et al.* 2002).

Uma província kimberlítica pode possuir um campo (ou *cluster*) que é um conjunto de intrusões (1-20 *pipes*), dentro de um único campo, todas as chaminés tendem a ser diamantíferas ou estéreis. As variações petrográficas podem ser tão fortes que em um mesmo *cluster* existem intrusões economicamente muito diferentes. Dentro de um único *pipe* existem variações regionais do grau diamantífero. A concentração não varia necessariamente em função da profundidade e sim em função das fácies petrográficas do corpo. É comum acreditar que a concentração diamantífera diminui com o aumento da profundidade, porém isso não é uma regra, a variação no teor diamantífero é algo extremamente complexo e não é diretamente definida pela profundidade. Os estudos sobre o comportamento de intrusões kimberlíticas em subsuperfície têm mostrado que a morfologia tem implicações fundamentais nas estratégias de pesquisa dos corpos. Sob este

aspecto, ressalta-se que tais características não são bem conhecidas nas intrusões brasileiras (Costa & Luz 2005).

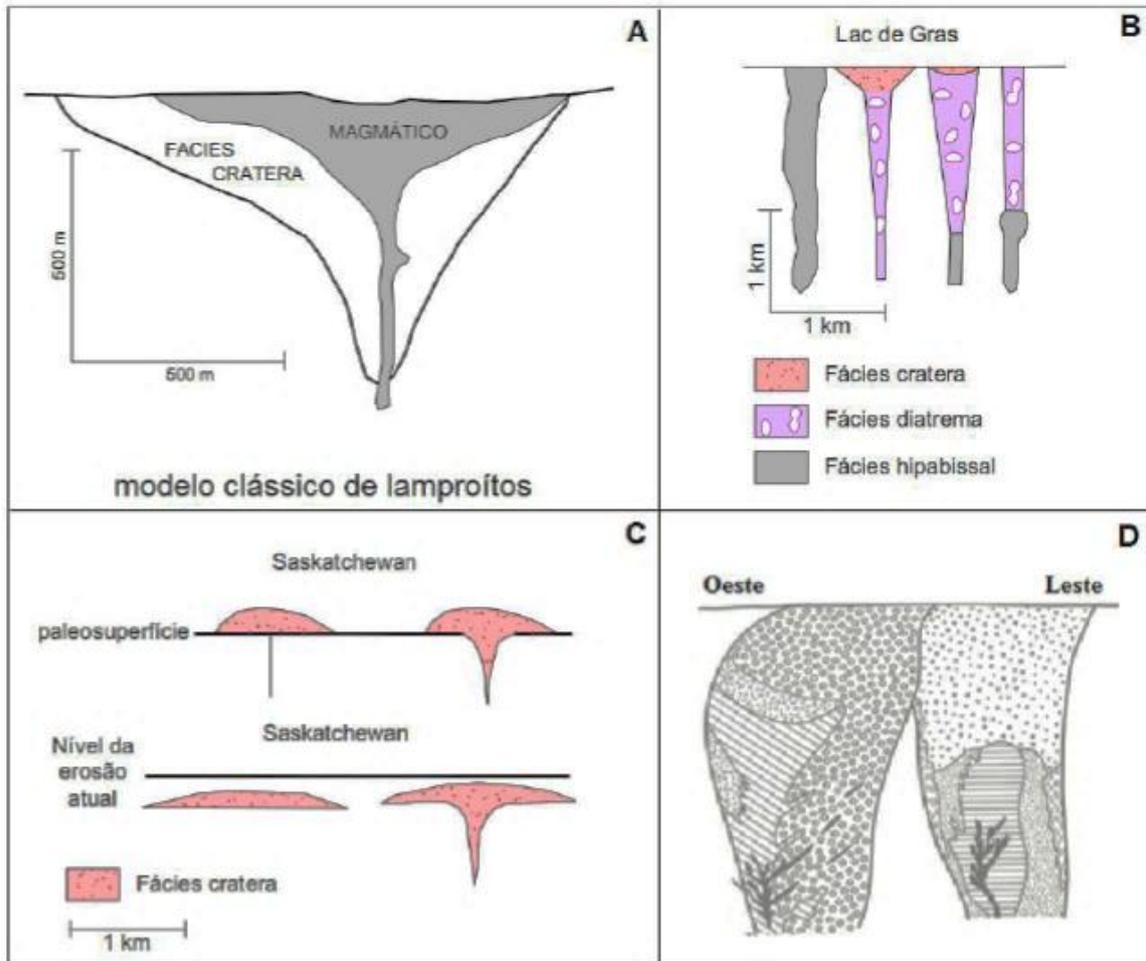


Figura 4.3: A descoberta de novas fontes primárias diamantíferas tem mostrado diferentes geometrias para o clã kimberlítico. (A) Modelo clássico de *pipes* lamprofíticos; (B) diversos formatos e fácies de kimberlitos canadenses; (C) paleosuperfície e feições atuais dos anômalos *pipes* diamantíferos do Canadá; (D) intrusões múltiplas de kimberlitos siberianos (adaptação de Costa & Luz 2005).

4.3 HISTÓRIA SOBRE O DIAMANTE NA REGIÃO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

A ocorrência de diamantes na região de Ouro Preto está registrada em relatos históricos que datam desde o período colonial brasileiro. Tais relatos, conhecidos como “*Devassas Diamantinas*”, encontram-se no Arquivo Histórico do Museu da Inconfidência de Ouro Preto. Essas Devassas foram criadas a mando do governo português para fiscalizar durante os anos de 1780 a 1813 a desconfiança da extração, extravio e comércio de diamantes na cidade. Essa investigação se baseava em declarações de 30 pessoas escolhidas pelo Juiz de Direito da Comarca de Vila Rica. Essas pessoas interrogavam os suspeitos que poderiam estar envolvidos de alguma

forma com a existência da gema. Muitas pessoas foram investigadas na época, mas as Devassas não comprovaram as suspeitas.

No século XX por volta dos anos 30, a pesquisa sobre o diamante na região foi resgatada pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) De acordo com Oliveira (1937) e Oliveira & Barbosa (1938) encontra-se nos relatórios anuais da diretoria do Departamento, o estudo durante quatro anos, a fim de esclarecer as ocorrências na região de Ouro Preto e Mariana. Esses trabalhos constataram a ocorrência de diamantes nos arredores de Ouro Preto, no entanto a rocha fonte diamantífera não pode ser encontrada.

Posteriormente, em meados da década de 1960, Lisboa (1967) publica na Oficina Gráfica da Escola de Minas de Ouro Preto a descoberta de dois exemplares de diamantes encontrados na bacia hidrográfica do ribeirão Maynart. Ainda existem outras ocorrências de diamantes que foram encontrados em garimpos em Saramenha, no córrego do Tripuí, e outro na região de Rodrigo Silva. Vários outros cristais de diamantes foram achados no ribeirão Maynart, mas se encontram com desconhecidos.

4.4 MÉTODOS GEOFÍSICOS PARA KIMBERLITOS/LAMPROÍTOS

Cristais de diamante são xenocristais de rochas kimberlíticas/lamproíticas e não existe nenhuma técnica geofísica que possibilite o encontro desse mineral de forma direta. Os métodos geofísicos são utilizados para localizar *pipes*, fornecer informações geológicas em profundidade e/ou auxiliar na locação de furos de sondagem/trincheiras. Os métodos geofísicos também colaboram para a compreensão das estruturas regionais que permitiram a ascensão kimberlítica (Macnae 1995, Pereira & Fuck 2005).

As rochas do clã kimberlítico/lamproítico apresentam as seguintes propriedades físicas: susceptibilidade magnética, condutividade elétrica, densidade, impedância acústica e radioatividade, diferentemente das suas rochas encaixantes. Dessa forma, a escolha do método de contraste entre o *pipe* e a encaixante é ditada, principalmente, pelo ônus da pesquisa (Macnae 1995, Pereira 2007).

Os métodos sísmicos permitem observar em profundidade, com alta precisão e contraste, as intrusões. Entretanto, é uma técnica com alto custo e não é comumente aplicada em kimberlitos e lamproítos. Na Figura 4.4 tem-se uma seção sísmica bidirecional ilustrando a variação da velocidade de propagação da onda mecânica ao transpassar um kimberlito intrudido em rochas carbonáticas em Yakútia (Sibéria) (Erkhov *et al.* 1993).

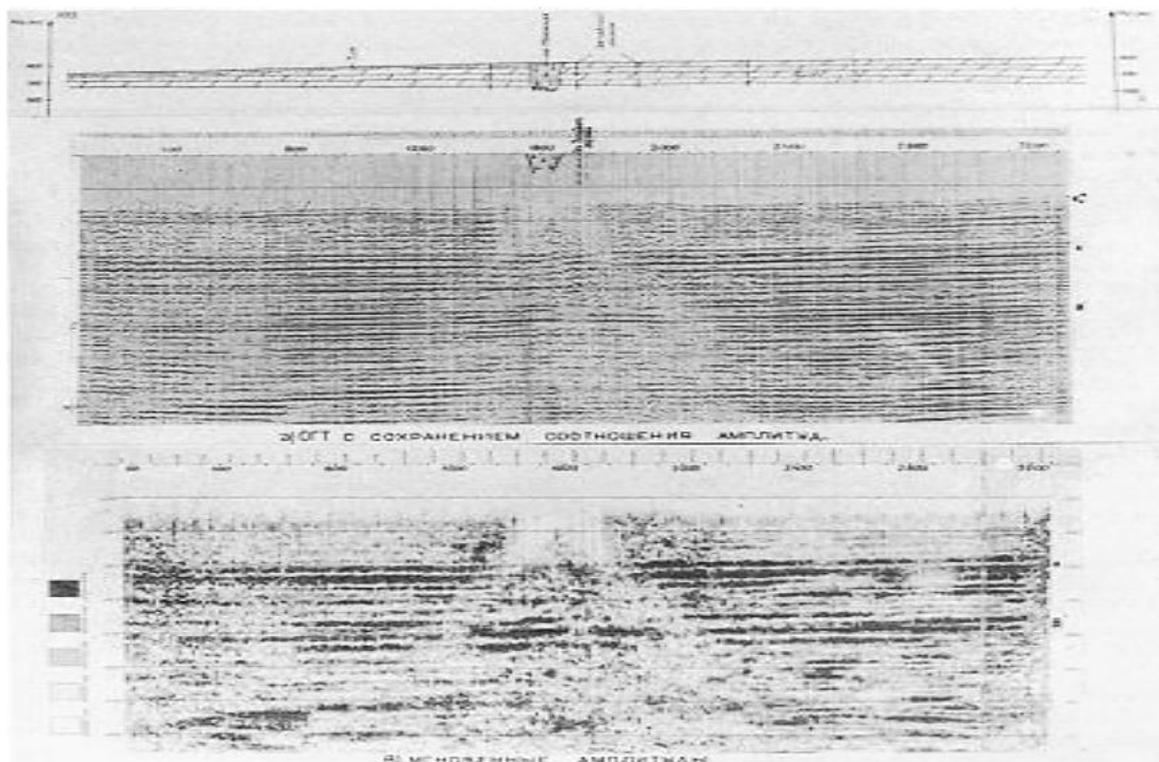


Figura 4.4: Seção sísmica em kimberlito siberiano (Erkhov *et al.* 1993).

Depois da recuperação de minerais indicadores, a magnetometria é a técnica mais utilizada para apontar possíveis kimberlitos e lamproítos e suas rochas correlatas (Pereira 2007). Isso acontece, pois, a susceptibilidade magnética é uma propriedade física de boa resolução e alto contraste na localização de intrusões ígneas.

De acordo com Macnae (1995), todos os *clusters* economicamente diamantíferos foram levantados com magnetometria. Após uma primeira análise regional por levantamentos aéreos, são feitos levantamentos de detalhes terrestres ou aéreos, os aéreos de detalhes são feitos com helicópteros sobrevoando a baixas altitudes (~50 a 100m do solo). A Figura 4.5 ilustra a utilização de aeromagnetometria para encontrar *pipes* no *cluster* Ellendale (Austrália).

Os levantamentos gamaespectrométricos são muito usados junto com os magnetométricos. As medidas da radiação gama dos fotopicos de potássio (K), urânio (U) e tório (Th) são coletados individualmente e a partir da contagem espectral total. As faixas de energia de cada elemento radioativo estão descritas na Tabela 4.2.

O clã kimberlítico é de natureza ultrabásica alcalina e contém mais tório e urânio que as outras rochas ultramáficas, nos kimberlitos as razões Th/K e U/K também são maiores nos kimberlitos. Os kimberlitos do Grupo I apresentam estas razões maiores devido à menor concentração de potássio com relação aos kimberlitos do Grupo II e lamproítos (Haralyi & Svisero 1984). O cálculo de concentração superficial dos elementos atômicos é feito a partir das

séries de decaimento radioativo e fatores naturais dificultam a proporcionalidade ideal entre o átomo e seu isótopo.

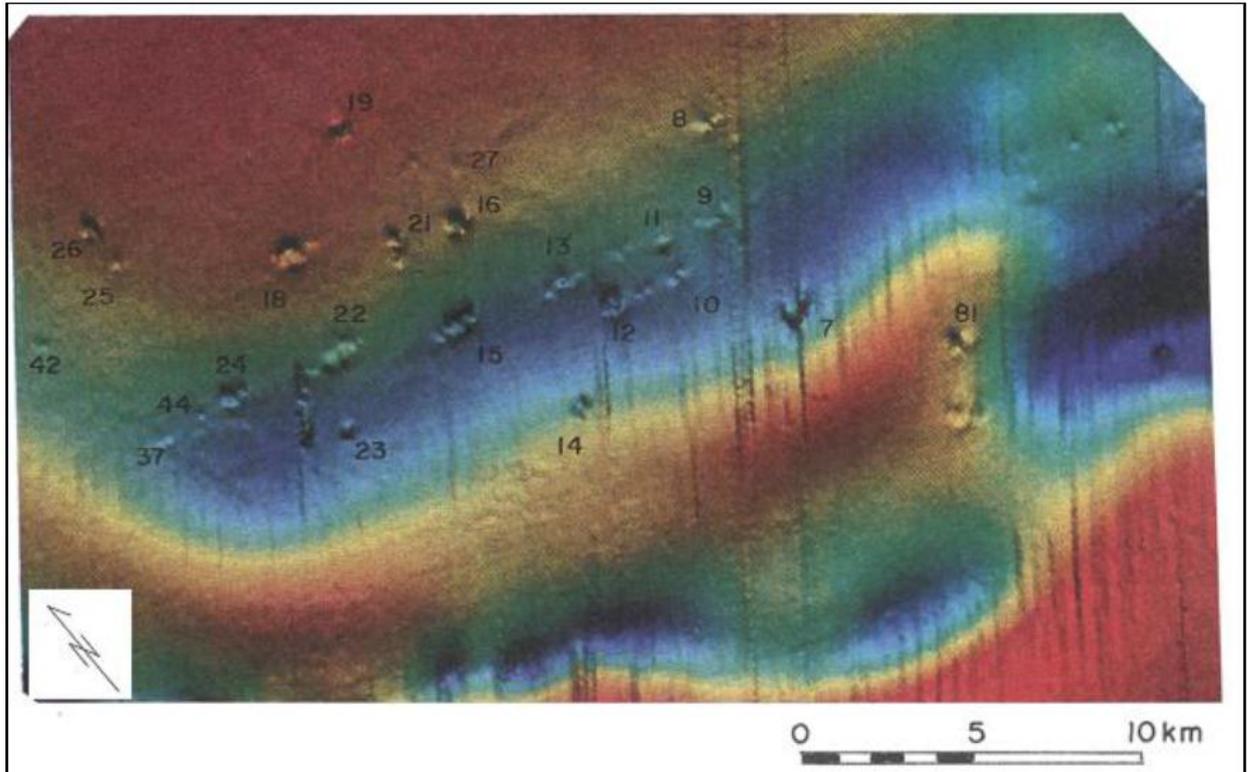


Figura 4.5: Aplicação da aeromagnetometria na identificação de chaminés lamproíticas (Silva 2015).

Tabela 4.2: Faixa radioativa dos elementos gamaespectrométricos (Silva 2015)

Canal Radiométrico	Faixa de Energia (MeV)
Contagem Total	0,41- 2,81
Potássio	1,37- 1,57
Urânio	1,66- 1,86
Tório	2,41- 2,81

A condutividade eletromagnética é outra propriedade física importante na pesquisa de intrusões kimberlíticas/lamproíticas. As variações composicionais dentro da chaminé e os processos intempéricos a que foram submetidos alteram a condutividade. Os fatores externos que mais alteram a resposta geofísica são os argilominerais lixiviados, a água da chuva e a água subterrânea presentes nas fraturas dos *pipes*. As rochas kimberlítica/lamproíticas são mais

Bovolenta, R.G.2018, Análise geofísica das fontes primárias...

resistivas frescas, do que as intemperizadas e, de um modo geral, também são mais resistivas do que as rochas encaixantes.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE QUALITATIVA

5.1 INTRODUÇÃO

Nesse capítulo, apresenta-se a análise geofísica qualitativa da área estudada, fundamentada na geração e interpretação dos mapas temáticos magnetométricos e radiométricos. Os mapas foram confeccionados a partir do banco de dados aerolevantados da CODEMIG (Lasa 2001). Por meio deste banco de dados, elaboraram-se diversos mapas geofísicos temáticos no *software* Geosoft Oasis Montaj (versão 7.0.1). Posteriormente, integraram-se os dados geológicos- geofísicos com auxílio do *software* ArcGIS 10.1.

5.2 BANCO DE DADOS

O banco de dados geofísicos, primordial para a execução do trabalho, é decorrente do Programa de Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais, realizado pela Secretaria de Estado de Minas e Energia do Estado de Minas Gerais (SEME), através da Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG) em parceria com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), onde foram retiradas informações magnetométricas e radiométricas. A denominada “Área 2: Pitangui - São João Del-Rei - Ipatinga” no referido Programa, que compreende a área de estudo deste trabalho, abrange parte da região Sudeste do estado de Minas Gerais. (Figura 5.1).

O dado geológico utilizado no trabalho refere-se à 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 5.2).

A Área 2 (Figura 5.1) foi dividida em blocos oeste e leste para a realização do levantamento. Com uma área de 21564km², o primeiro bloco teve como direção de linhas de produção N30E e linhas de controle N60W. O segundo, com área de 13611km², possui as direções das linhas de produção N30W e linhas de controle N60E. Os espaçamentos entre as linhas de produção foram de 250m, as de controle de 2500m e a altura de vôo sobre o terreno de 100m. O sensor utilizado no levantamento operou na faixa de 20000 – 95000nT, com precisão de 0,001nT. Os 256 canais utilizados no gamaespectômetro tiveram seus cristais detectores individualmente

analisados para uma melhor determinação dos fotópicos, gerados pelos elementos tório, urânio e potássio. A amostragem foi de 10 medidas/s para a magnetometria e de 1 medida/s para a radiometria.

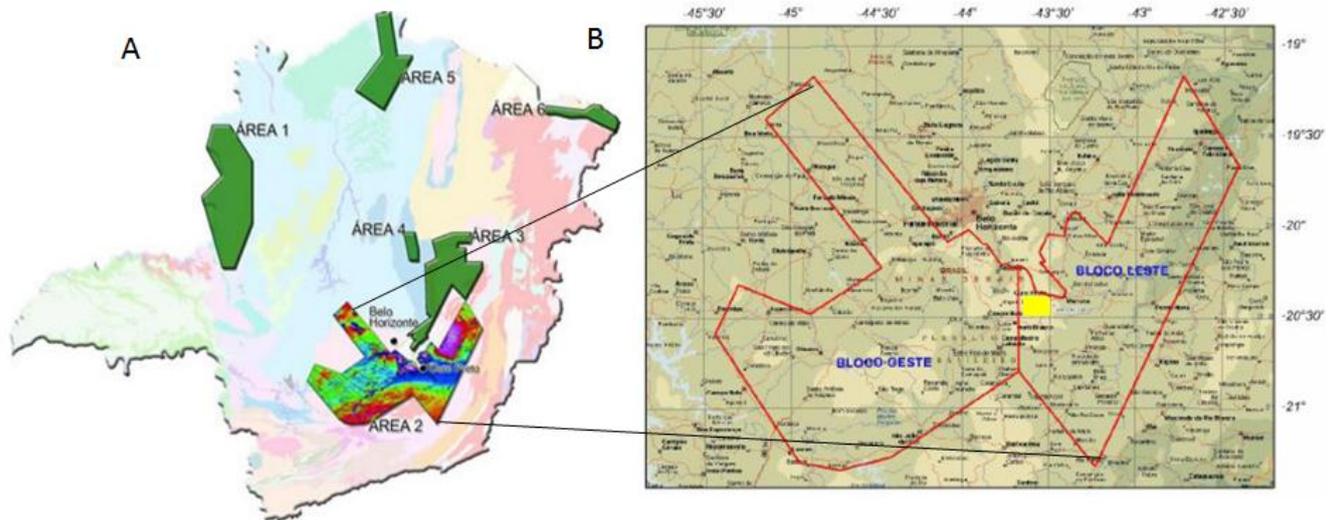


Figura 5.1: A) Localização da Área 2 do Programa de Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais, denominada como: Pitangui - São João Del-Rei - Ipatinga e B) Blocos oeste e leste do aerolevantamento, evidenciando a área de estudo (em amarelo) relativa à Área 2.

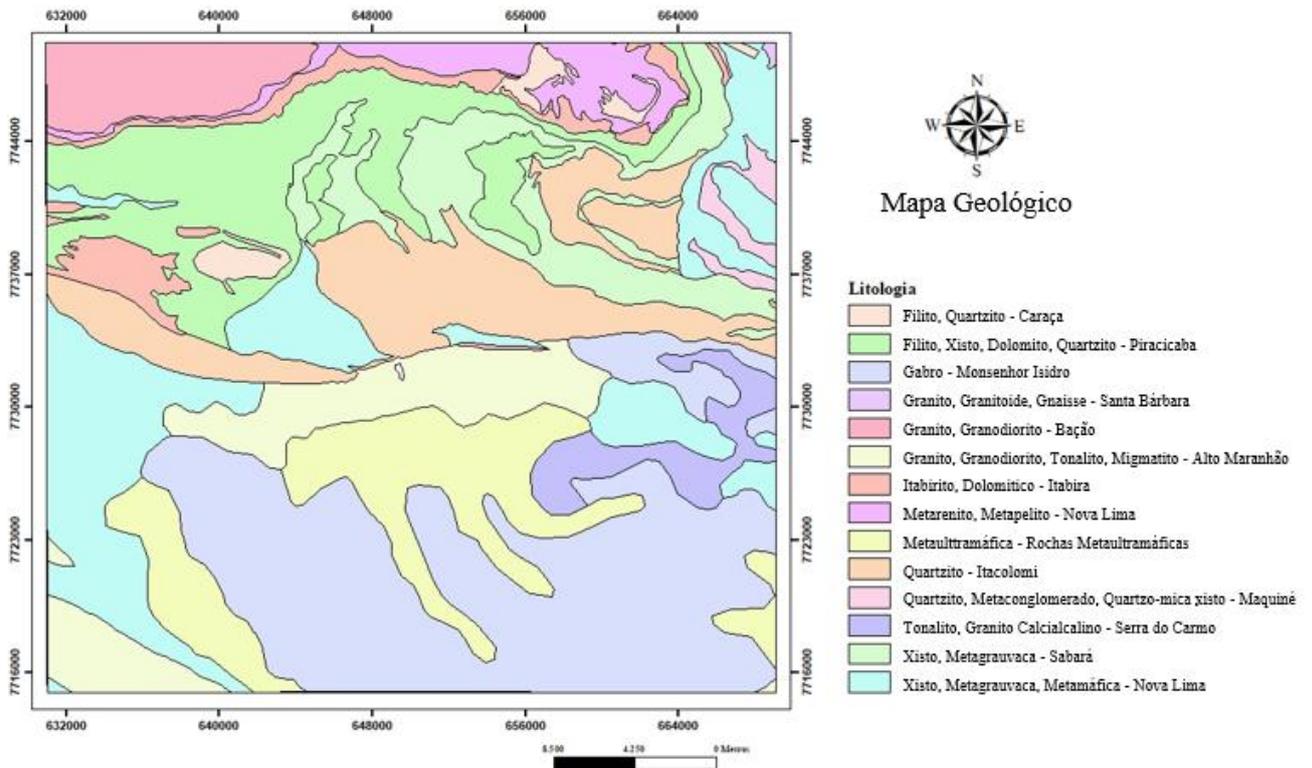


Figura 5.2: Mapa litológico dos projetos Integração e Correção Cartográfica em SIG, pelo convênio com o Governo de Estado, CODEMIG e UFMG (2005).

5.3 METODOLOGIA

A partir do processamento do banco de dados geofísicos supracitados confeccionaram-se os mapas temáticos colorpéticos possibilitando a análise geofísica da área de estudo. O arquivo foi importado para o *software* Oasis Montaj 7.0.1, onde foram inseridos os dados no formato .gdb. O emprego da rotina WINXY deste *software* garantiu-se que apenas os dados da área do trabalho fossem processados. Em seguida, aplicou-se a rotina *gridding and image*, e efetuou-se a chamada *interpolation* (interpolação) pelo método de mínima curvatura, onde se determinou o tamanho das células de *interpolação* de 300m, gerando assim arquivos do tipo .grd. A posteriori, foram confeccionados os diversos mapas temáticos magnetométricos (Campo Magnético Anômalo; Gradiente Vertical de Primeira e Segunda Ordem; Gradientes Horizontais em X e Y; Amplitude do Sinal Analítico), com a aplicação de derivações e filtragens, bem como os mapas radiométricos (Canais de K, Th U e Contagem Total; Razões Th/K, U/K, U/Th; Imagem Ternária; Parâmetro F). Gerados os mapas temáticos, utilizou-se o *software* ArcGis (versão 10.1) para a integração destes com os dados geológicos em ambiente SIG, objetivando-se uma interpretação integrada dos dados.

5.4 ANÁLISE MAGNETOMÉTRICA

A magnetometria auxilia na interpretação e identificação de feições estruturais em profundidade. Desta forma, para efetuar as interpretações, faz-se necessário a elaboração dos mapas temáticos por meio de uma sequência produtiva de derivações e filtragens (Figura 5.3). A partir do mapa magnético corrigido do *Internacional Geomagnetic Reference Field* (IGRF), adequa-se uma sequência de filtros para a geração dos mapas de derivadas e do mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) a partir da rotina MAGMAP.

A principal finalidade das filtragens dos dados magnetométricos é salientar as informações de subsuperfície que se quer observar. Dessa forma, aplicam-se as derivações (vide item 3.2.4) horizontais em x e y para destacar as estruturas importantes. Igualmente, foram gerados mapas de gradiente vertical de primeira e segunda ordem em Z e gradiente horizontal de primeira ordem em X e Y, como pode ser observado na Figura 5.3.

A interpretação magnetométrica qualitativa da área é analisada sobre o mapa de Amplitude do Sinal Analítico, pois este apresenta uma característica monopolar. Esta particularidade é vantajosa para a análise de anomalias magnéticas formadas por assinaturas complexas, dado que seus resultados não dependem dos parâmetros do campo magnético e da direção da magnetização da fonte (Roest *et al.* 1992).

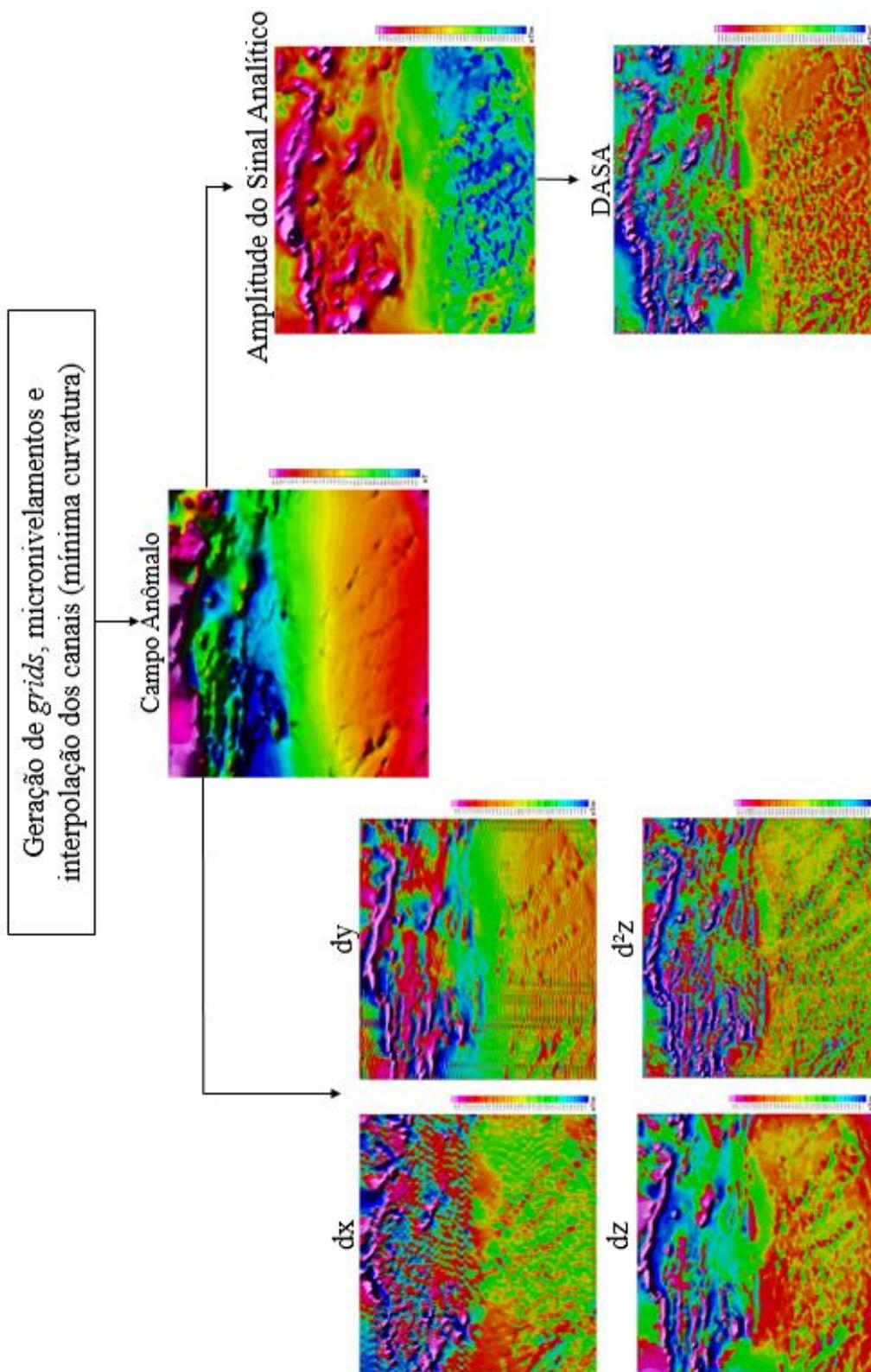


Figura 5.3: Fluxograma esquemático da produção dos mapas temáticos de campo anômalo, dx (gradiente horizontal em X), dy (gradiente horizontal em Y), dz (gradiente vertical de 1ª ordem), d²z (gradiente vertical de 2ª ordem) e amplitude do sinal analítico, a partir dos dados aeromagnetométricos da área de estudo no *software* OASIS MONTAJ 7.0.1.

Assim, as anomalias com difícil ligação com a posição da fonte causadora têm seus picos centrados nas bordas dos corpos anômalos ou nas feições geológicas correspondentes. O estudo das anomalias magnéticas da área foi realizado a partir de fácies magnéticas com características semelhantes, magnetofácies. Como consequência disso, separou-se em 3 magnetofácies distintas, baseadas nos valores de amplitude e comprimento de onda das anomalias (Figura 5.4, Tabela 5.1)

A Magnetofácies 1 corresponde aos mais altos índices de magnetização e encontra-se preferencialmente na região norte da área e secundariamente como anomalias 3D na porção sul. A Magnetofácies 2 compreende valores intermediários de magnetização e localiza-se na porção central interdigitada à Magnetofácies 3, que, por sua vez, apresenta-se com os mais baixos valores de magnetização e encontra-se na porção sul.

Tabela 5.1: Descrição das Magnetofácies presentes na área do trabalho.

Magnetofácies	Descrição
Magnetofácies 1	Associadas com estruturas com forte resposta magnetométricas, isto é, anomalias de altas amplitudes e baixos comprimentos de ondas. Compreende os valores de 0,130 e 1,693nT/m
Magnetofácies 2	Associadas com estruturas com valores intermediários de magnetização e alto comprimento de onda. Compreende os valores de 0,028 a 0,130nT/m
Magnetofácies 3	Apresentam baixos valores de magnetização e caracteriza-se por altos comprimentos de ondas e baixas amplitudes, intervalos de 0,014 e 0,028nT/m.

Com o suporte dos demais mapas temáticos magnetométricos efetuou-se a interpretação dos lineamentos presentes na área de estudo. Baseando-se nessa interpretação, foram assinalados 264 lineamentos (Figura 5.5A), com uma direção principal de 335,8°, ou seja, uma direção preferencial para NW, como é possível ver na roseta da Figura 5.5B, elaborada pelo *software Open Stereo 0.1.2*.

A análise dos lineamentos permite separar a área em duas compartimentações: uma a norte e a outra a sul (Figura 5.6).

A análise dos compartimentos da área permitiu verificar que no domínio norte existe uma menor variação de direção de lineamentos. Interpretaram-se 137 lineamentos (Figura 5.6B) com uma direção principal de 318,5°, ou seja, uma direção preferencial para NW (Figura 5.6B). Na região sul foram assinalados 125 lineamentos (Figura 5.7), com uma direção principal de 359,6°,

ou seja, uma direção preferencial NS (Figura 5.6B). As rosetas foram elaboradas no *software Open Stereo 0.1.2*.

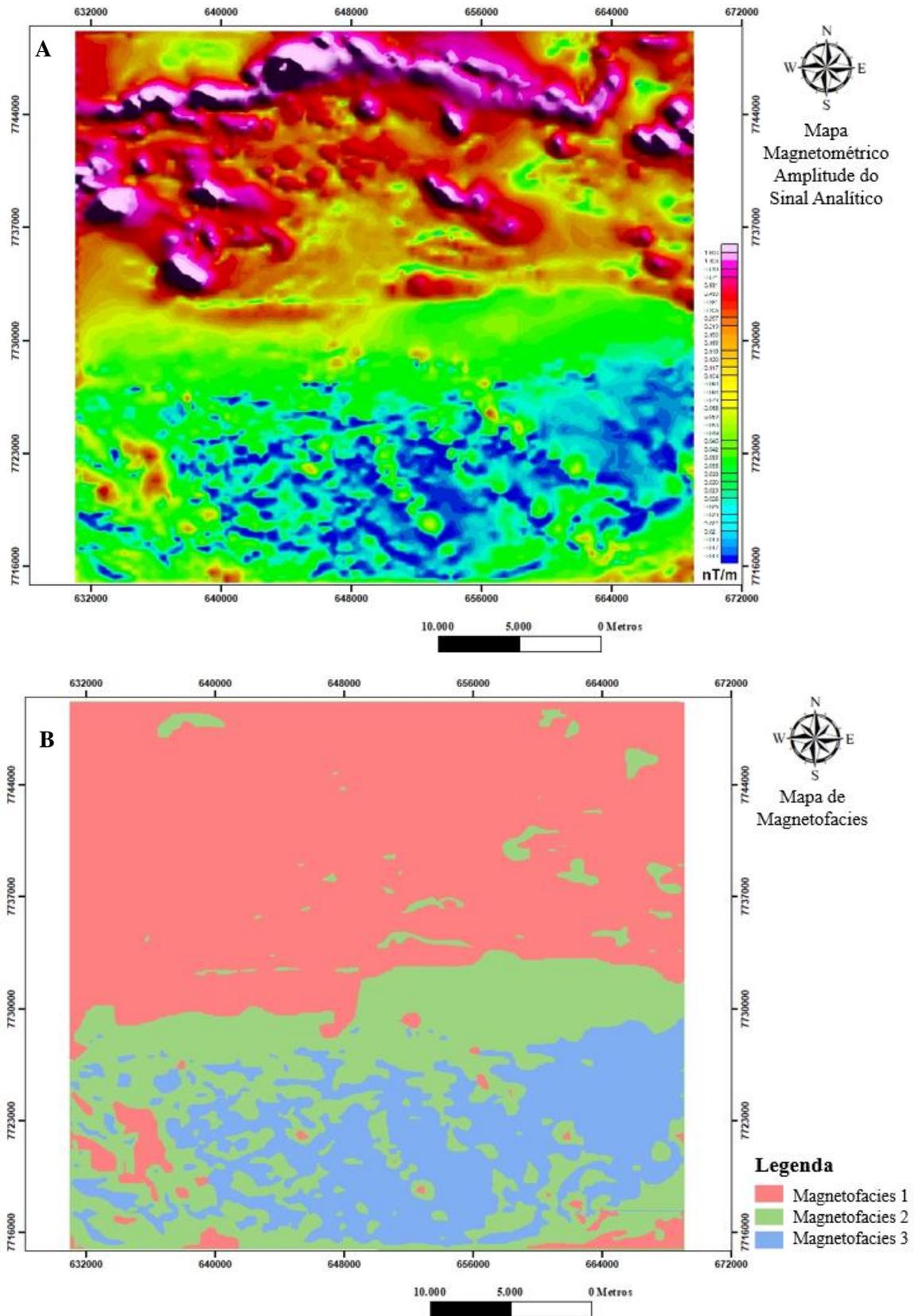


Figura 5.4: A) Mapa Amplitude do Sinal Analítico da área de estudo e B) Mapa de Magnetofacies.

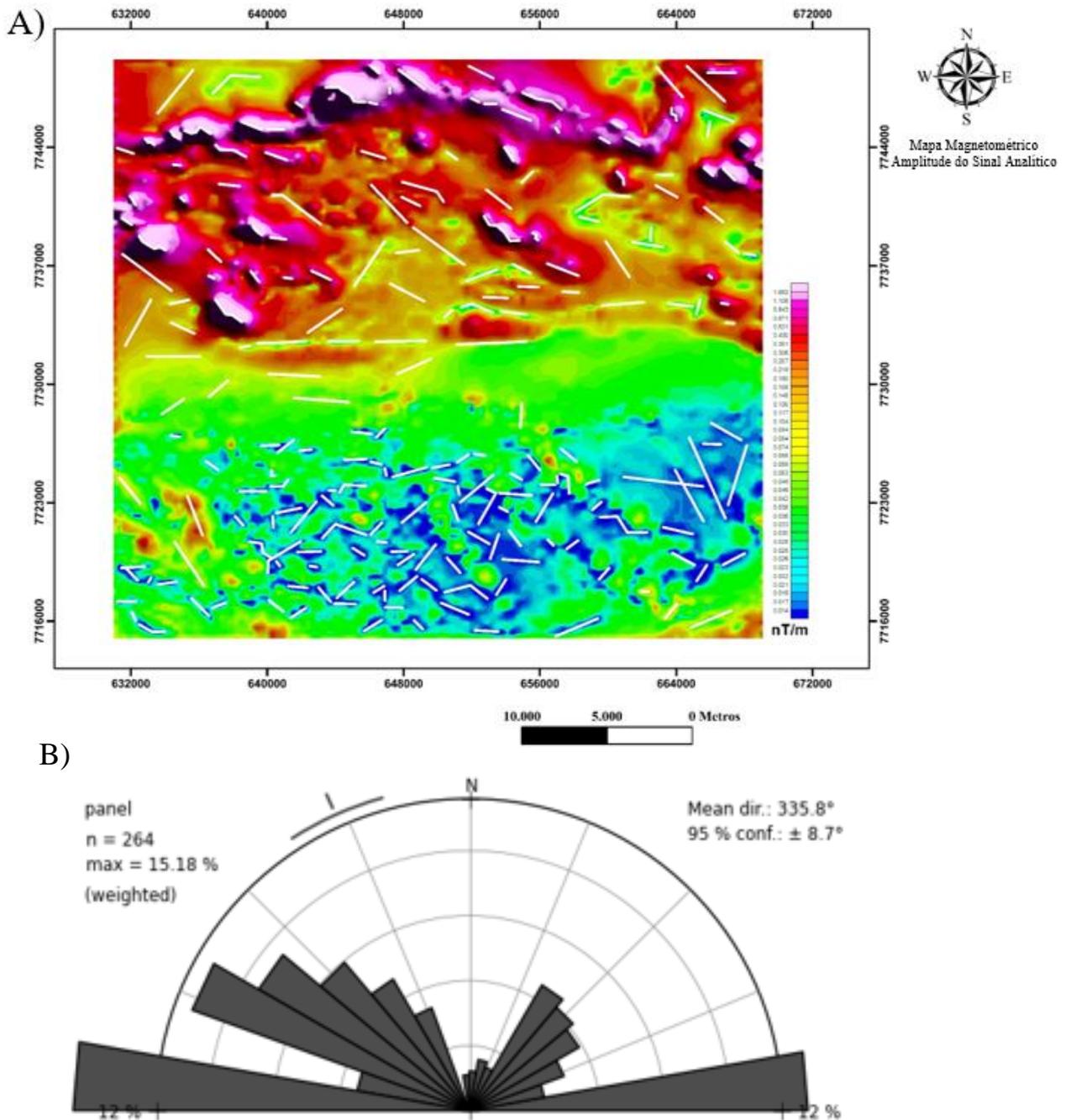


Figura 5.5: A) Mapa de lineamentos magnetométricos sobreposto ao mapa de Amplitude do Sinal Analítico da área de estudo e B) Roseta dos lineamentos magnetométricos.

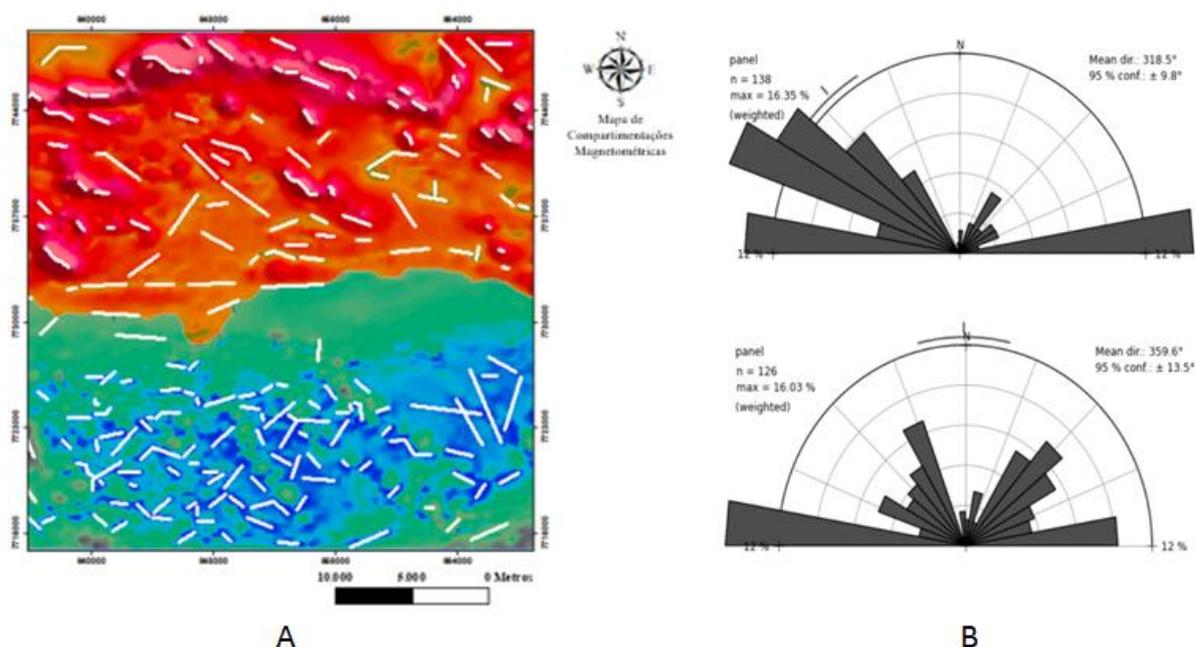


Figura 5.6: A) Mapa magnetométrico de Amplitude de Sinal Analítico com os lineamentos e as compartimentações e B) Rosetas das compartimentações magnéticas Norte e Sul, respectivamente.

5.5 ANÁLISE RADIOMÉTRICA

A radiometria tem sua maior aplicabilidade dirigida para a correlação de suas assinaturas radiométricas com feições litológicas em superfície, fundamentada nos diferentes níveis de radioatividade do tório (^{232}Th), urânio (^{238}U), potássio (^{40}K). Por conta da sua baixa penetrabilidade, os mapas temáticos radiométricos refletem as rochas em superfície ou a poucos centímetros de profundidade, facilitando, desse modo, os trabalhos de mapeamento geológico e os estudos de integração geológica-geofísica. Esses dados foram submetidos à rotina no *software* Oasis Montaj, para a elaboração dos mapas radiométricos realizou-se inicialmente a geração dos *grids*; e produziu-se o micronivelamento e a interpolação dos dados por meio dos métodos matemáticos por mínima curvatura. Em seguida, aplicou-se a rotina de geração de mapas temáticos radiométricos, gerando os mapas ilustrados na Figura 5.7.

Utilizou-se a concentração dos elementos urânio, tório e potássio para a elaboração dos mapas de canal do U, Th e K e os mapas de Contagem Total, Imagem Ternária, Parâmetro F, razão U/Th, razão U/K e razão Th/K a partir da associação dos três elementos.

Para a interpretação qualitativa dos dados radiométricos utilizou-se predominantemente o mapa ternário no modelo de cor *RGB* (*red-green-blue*), com o suporte dos demais mapas temáticos radiométricos. A partir destes, analisou-se os valores das anomalias radiométricas e delimitaram-se as diversas Radiofacies (Figura 5.8).

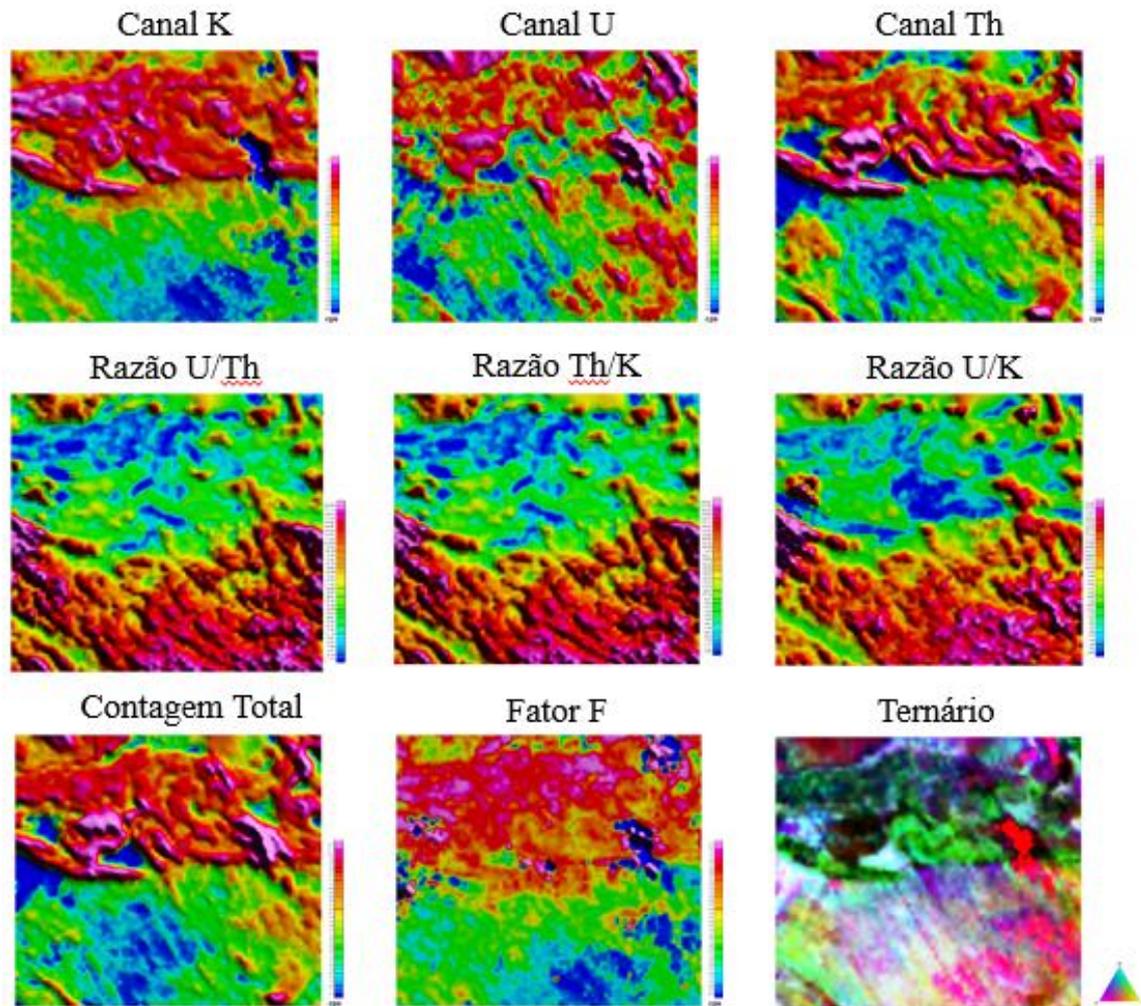


Figura 5.7: Mapas temáticos radiométricos e imagem Ternária gerados a partir do *software* Oasis Montaj 7.0.1.

As radiofacies identificadas na região de estudo foram particularizadas segundo seus respectivos teores relativos de tório (Th), potássio (K) e urânio (U) e quantificadas em alto, intermediário, baixo e muito baixo, para correlacionar assim, às concentrações de cada um dos isótopos nas litologias da área, como indicadas na Tabela 5.2. A Radiofacies 1 apresenta altos teores para todos os isótopos, que no mapa ternário identifica-se por uma coloração verde em algumas porções, mas também preta em outras.

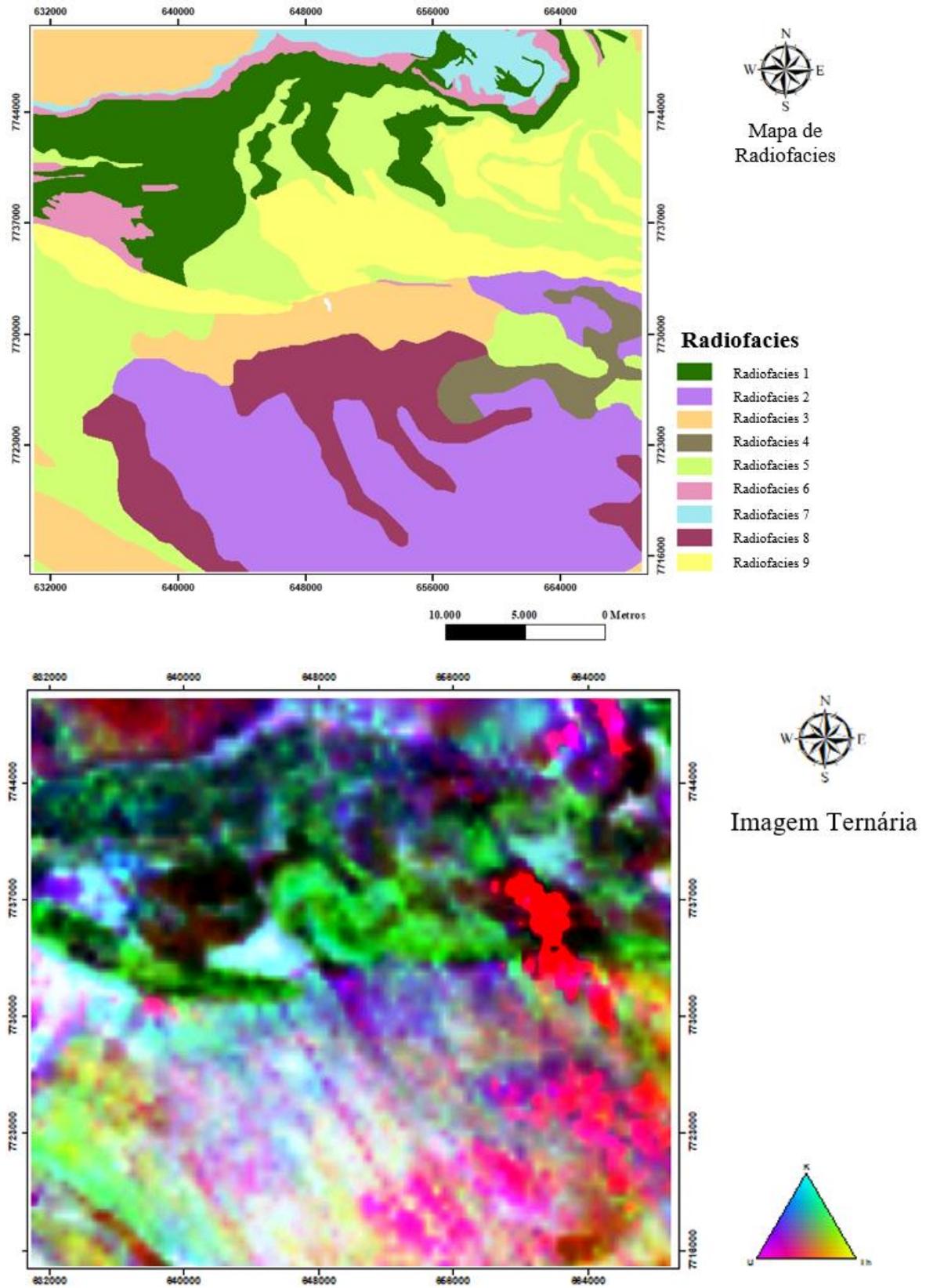


Figura 5.8: A) Mapa de Radiofacies e B) Imagem Ternária original.

A Radiofacies 2 é caracterizada por um teor alto de urânio, conferindo à porção uma coloração rosada, e ainda valores intermediários de potássio contribuindo para uma coloração arroxeadada azulada. A coloração azul esbranquiçada confere à Radiofacies 3 teores intermediários para os isótopos. Apresentando uma coloração azul esverdeada a Radiofacies 4 apresenta teores altos de potássio e em contrapartida teores intermediários de urânio e tório. A Radiofacies 5 acentua-se também por apresentar conteúdos muito baixo de Th, alto de U e intermediário de K, conferindo a esta uma cor azul e um pouco lilás e na porção mais a oeste um magenta marcante.

A Radiofacies 6 evidencia concentrações baixas e muito baixas dos isótopos de U e Th, respectivamente, uma concentração intermediária para K onde nessas porções caracteriza-se por um azul bem acentuado.

Tabela 5.2: Concentrações relativas de Th, U e K das Radiofacies interpretadas da área de estudo.

Radiofacies	Teor de Th	Teor de U	Teor de K
1	Alto	Alto	Alto
2	Baixo	Baixo	Intermediário
3	Intermediário	Intermediário	Intermediário
4	Intermediário	Intermediário	Alto
5	Alto	Baixo	Intermediário
6	Muito baixo	Baixo	Intermediário
7	Baixo	Intermediário	Intermediário
8	Baixo	Intermediário	Intermediário
9	Alto	Intermediário	Alto

As porções ao norte da área, em cor lilás arroxeadada, caracterizam a Radiofacies 7, que possui concentrações intermediárias de urânio e potássio e baixa de tório. A Radiofacies 8 também apresenta em alguns pontos a coloração azul e rosa claros, ou seja, concentrações intermediárias dos isótopos de U e K enquanto o T possui baixo teor. Finalmente, a Radiofacies 9, de coloração verde intensa, apresenta altos valores para tório e potássio e valores intermediário para urânio.

A interpretação dos lineamentos na radiometria resultou na delimitação de 283 traços (Figura 5.9 A), que processados no *software Open Stereo 0.1.2* culminou uma direção principal de 339,5°, ou seja, NW e subordinadamente direções NS e EW (Figura 5.9 C). Apresenta-se esta interpretação na Imagem Ternária (Figura 5.9 A) e sua análise estatística (Figura 5.9 C)

A observação da Imagem Ternária (Figura 5.9 B) permite verificar que na porção sul os lineamentos possuem tendência equidistante de direção NW. Essa tendência é devido à influência

do voo do aerolevantamento, conseqüentemente esses não foram considerados nessa interpretação.

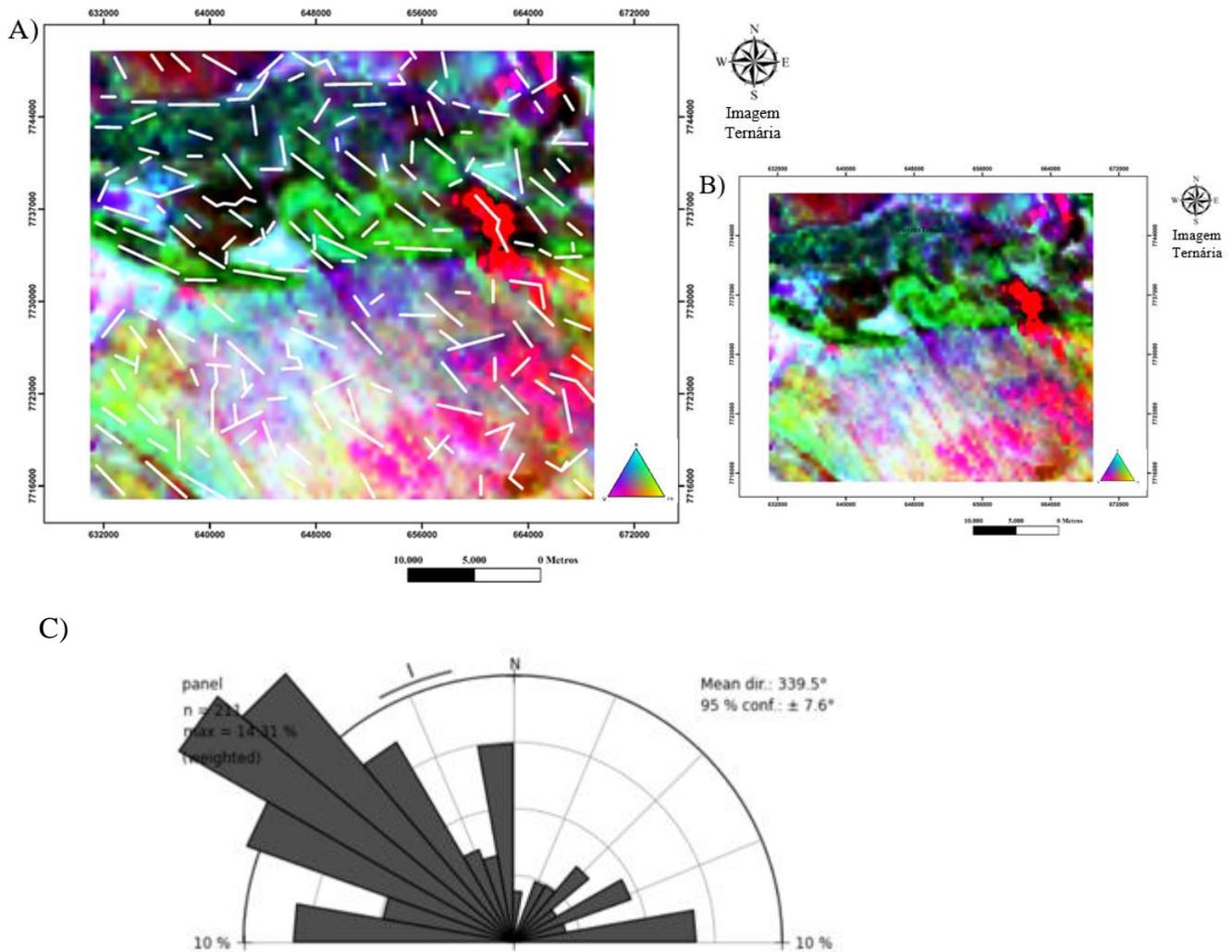


Figura 5.9: A) Imagem Ternária com os lineamentos radiométricos, B) Imagem Ternária e C) Roseta dos lineamentos radiométricos.

5.6 INTEGRAÇÃO GEOLÓGICA-GEOFÍSICA

Um dos objetivos desse trabalho é verificar a existência dos corpos primários do diamante, uma vez que, no trabalho de Oliveira (2016), descreve-se a ocorrência de minerais satélites e diamante aluvionar. Assim, com base na interpretação dos dados geofísicos provenientes do Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais – Área 2, e dos dados geológicos (Figura 5.2), realizou-se essa integração a partir do *Software ArcGis* e sua extensão *ArcScene* utilizando a técnica de sobreposição entre os mapas temáticos geofísicos aqui elaborados e o mapa geológico, realizado pelo Governo de Estado, CODEMIG e UFMG (2005), como pode ser observado na Figura 5.10

Como consequência dessa correlação, foi possível estabelecer os aspectos litoestruturais aflorantes e em subsuperfície e também as relações estruturais existentes.

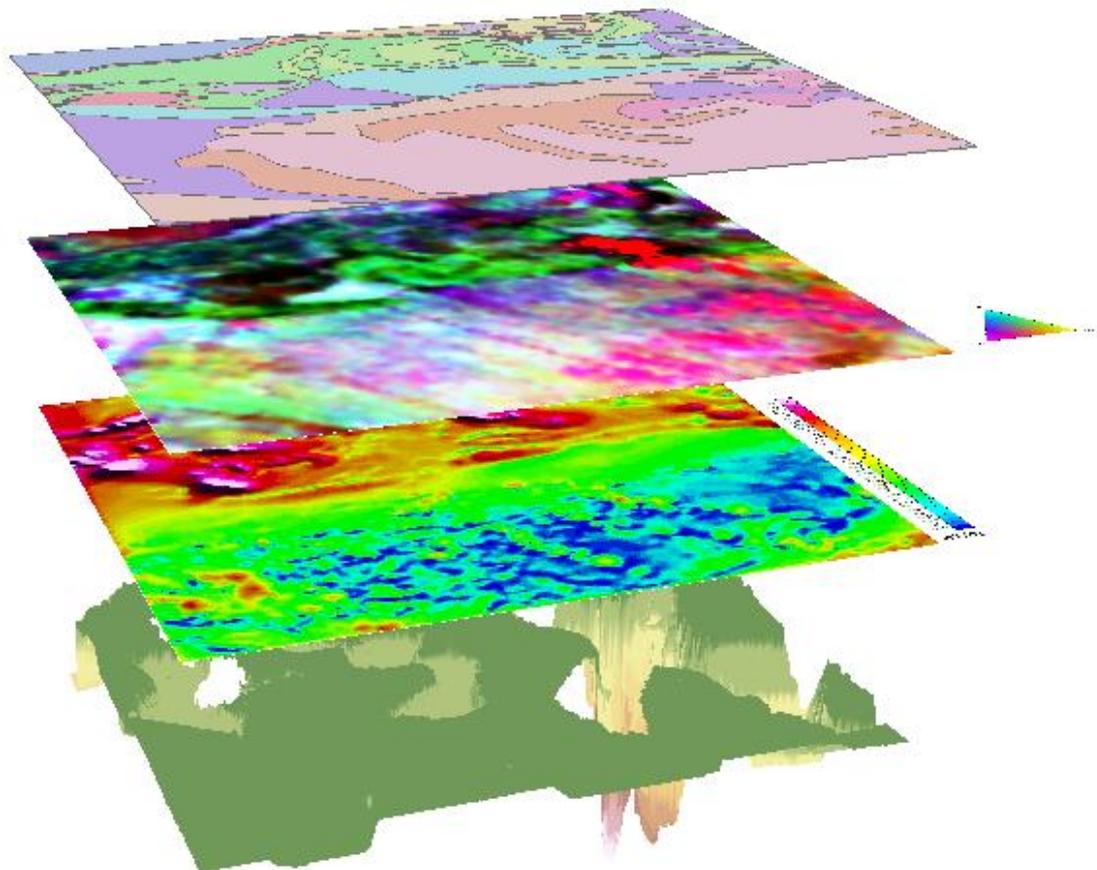


Figura 5.10: Sobreposição realizada entre o mapa geológico dos projetos Integração e Correção Cartográfica em SIG, pelo convênio com CODEMIG, Governo do Estado e UFMG (2005), Imagem Ternária e ASA.

5.6.1 Magnetometria

A magnetometria fornece um somatório de informações em profundidade. Dessa forma, nem sempre é praticável estabelecer relações com dados geológicos superficiais. De acordo com a Figura 5.11, podem-se observar as unidades geológicas aflorantes na área de estudo (CODEMIG, Governo do Estado e UFMG 2005) e as Magnetofácies delimitadas pelo mapa ASA.

Conforme mencionado acima, analisar a integração magnetométrica e as unidades litológicas nem sempre é possível. No entanto, nessa área, observa-se que a Magnetofácies 1 corresponde às sequências supracrustais, enquanto a Magnetofácies 3, a corpos ígneos. Aparentemente, existe uma inversão das respostas magnéticas. Ressalta-se que a apresentação de dados colorpéticos é uma comparação de valores, alto e baixo, magenta e azul, respectivamente. A Magnetofácies 3, corpos ígneos, possuem valores absolutos elevados, porém em comparação à Magnetofácies 1, possuem valores baixos. A análise estrutural da área permite observar que a

porção norte, Magnetofácies 1, é uma área intensamente falhada, descontinuidades essas que permitiram a percolação de minerais ferromagnéticas, resultando no aumento anômalo da magnetização.

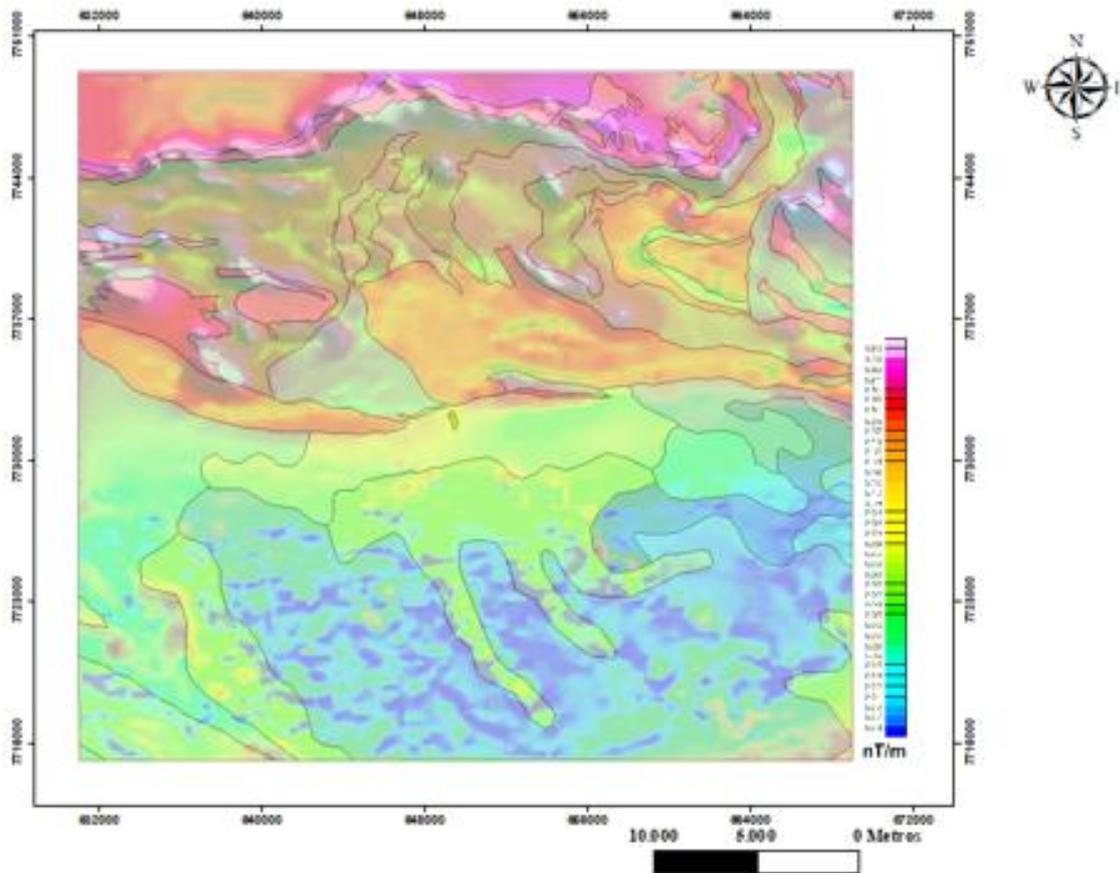


Figura 5.11: Mapa Magnetométrico Amplitude do Sinal Analítico sobreposto pelas magnetofácies e pelo mapa geológico dos projetos Integração e Correção Cartográfica em SIG, pelo convênio com CODEMIG, Governo do Estado e UFMG (2005).

5.6.2 Radiometria

Esse método geofísico apresenta baixa penetrabilidade e exibe isótopos litófilos, permitindo assim, uma visualização muito superficial da área. A radiação na qual é aferida pertence às rochas que se encontram na superfície do terreno, conseqüentemente, espera-se que os mapas radiométricos se assemelhem extremamente com os mapas da geologia local. Portanto, a radiometria se torna de fundamental importância para trabalhos de mapeamento geológico. Esta semelhança pode ser observada a seguir na Figura 5.12.

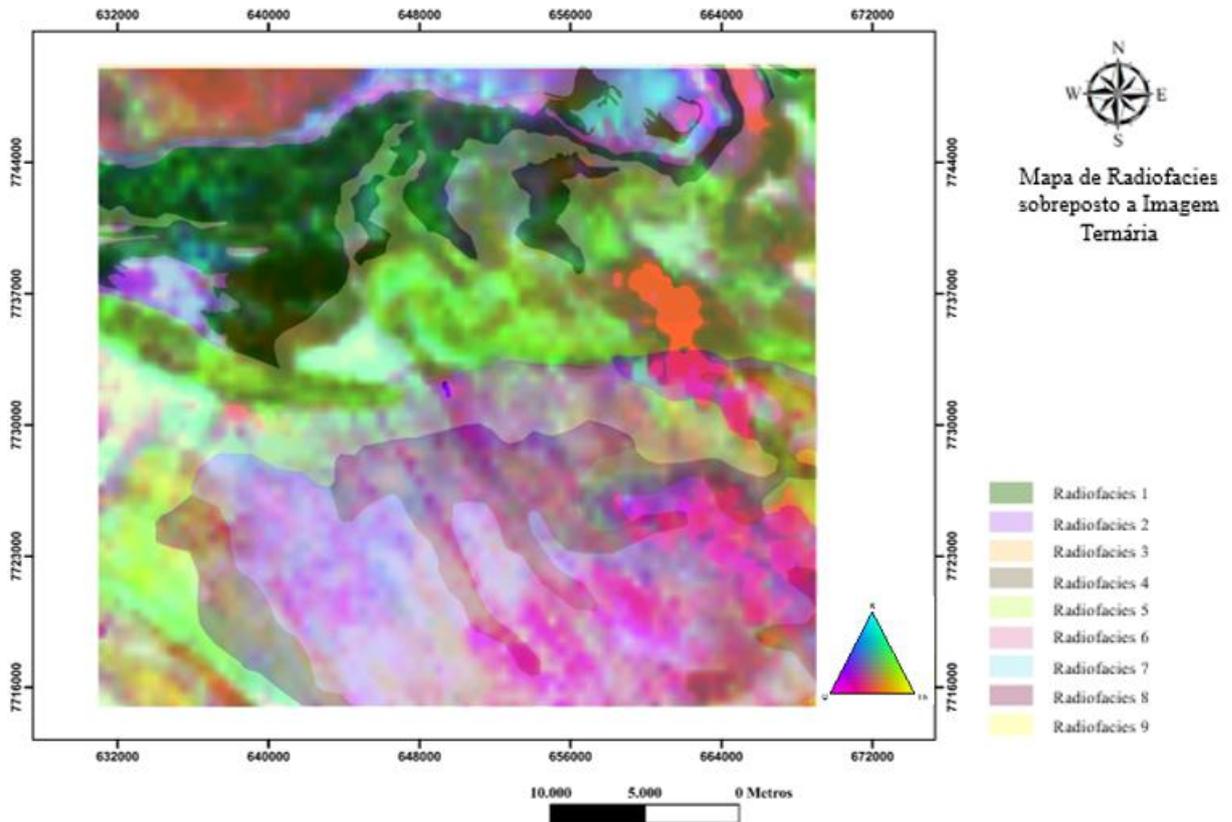


Figura 5.12: Mapa geológico dos projetos Integração e Correção Cartográfica em SIG, pelo convênio com CODEMIG, Governo do Estado e UFMG (2005) simplificado sobreposto ao mapa temático radiométrico ternário.

A Radiofacies 1, é referente a filito, xisto, dolomito e quartzito, compreendendo o grupo Piracicaba. A Radiofacies 2 é referente ao Complexo Metamórfico Monsenhor Isidro onde a rocha característica é o gabro. A Radiofacies 3 engloba as rochas graníticas, granodioríticas, tonalitos e migmatito, representando a Suíte Alto Maranhão e o Complexo Bação. A Radiofacies 4 contém as rochas calcioalcalinas, granitos e tonalitos e se refere ao Corpo Serra do Carmo. A Radiofacies 5 representa o Grupo Nova Lima, com xistos, metagrauvacas e metamáficas. O Grupo Itabira exibido pela Radiofacies 6, possui itabiritos, dolomitos filitos e xistos. A Radiofacies 7 corresponde metapelitos e metarenitos, sendo possível relacioná-los ao Grupo Nova Lima. As Radiofacies 8 dispõe de metaultramáficas e metamórficas. O Grupo Itacolomi, Radiofacies 9, detém rochas de quartzito, filito e metaconglomerados.

Com a finalidade de complementar a integração dos dados geológicos-geofísicos, foi feita uma correlação entre a Tabela 5.1 e as unidades geológicas associadas às mesmas, sendo exibida na Tabela 5.3

Tabela 5.3: Concentrações relativas de U, Th e K das Radiofacies interpretadas da área de estudo, (_a = valores de concentração alto; _i = valores de concentração intermediário; _b = valores de concentração baixo).

Radiofacies	Concentrações relativas de U,Th e K	Unidades Geológicas
1	U _a , Th _a e K _a	Filito, Xisto Dolomito e Quartzito
2	U _b , Th _b e K _i	Gabro
3	U _i , Th _i e K _i	Granito, Granodiorito, Tonalito e Migmatito
4	U _i , Th _i e K _a	Tonalito, Granito e Calcioalcalina
5	U _a , Th _b e K _i	Xisto, Metagrauvaca, Metamáfica
6	U _b , Th _b e K _i	Itabirito, Dolomito, Filito e Xisto
7	U _i , Th _b e K _i	Metapelito e Metarenito
8	U _i , Th _b e K _i	Metaultramáfica e Metamórficas
9	U _i , Th _a e K _a	Quartzito, Filito e Metaconglomerado

CAPÍTULO 6

ANÁLISE QUANTITATIVA

6.1 INTRODUÇÃO

A realização da análise quantitativa se faz necessária para estimar a profundidade e ainda obter uma visualização das estruturas dos corpos em subsuperfície, que estão sendo alvos de investigação neste trabalho.

Dessa forma, esse capítulo tem como objetivo central, estimar as profundidades das fontes causadoras das anomalias magnéticas, suas geometrias e suas feições estruturais. A ferramenta utilizada para executar a metodologia em questão, Deconvolução de Euler (2D), processa operações matemáticas de homogeneização de funções matemáticas em coordenadas cartesianas. Em seguida realizou-se uma *krigagem* no *software* ArcScene, para criar uma modelagem 3D da área de estudo.

6.2 METODOLOGIA

Obteve-se as inversões dos dados geofísicos ao utilizar o programa Euler 1.0, desenvolvido por G.R.J. Cooper da *School of Geosciences of University of the Witwatersrand*. O *software* gera a inversão de dados pelos mínimos quadrados, através dos valores do campo magnético anômalo e de um índice estrutural escolhido, buscando solucionar as equações de Euler. Essas soluções, fornecem as informações necessárias da profundidade e da posição geográfica das várias fontes magnéticas presentes na área.

No entanto, neste trabalho, antes de empregar os dados geofísicos no programa de inversão, foi realizada uma análise a partir do *software* ArcMap e do mapa de Sinal Analítico. Essa avaliação foi primordial para estabelecer a direção dos lineamentos a serem processados; usualmente são escolhidas direções perpendiculares às principais feições magnéticas predominantes. Como nesse trabalho as principais feições estavam tendendo para E/W, os perfis escolhidos foram S/N.

Dessa forma, traçou-se 30 perfis na direção SN, equidistantes de 1km, em uma região de aproximadamente 38x35km (1330km²), totalizando 1050km lineares de perfis (Figura 6.1). Ao importar os mesmos para o *software* Oasis Montaj, foi necessário executar a rotina *grid profile*, que extrai os dados magnetométricos. Para realizar essa rotina se faz necessário selecionar o *grid* que deseja extrair os valores de acordo com a linha do perfil escolhida. Esse procedimento gera

um novo banco de dados com a finalidade de evitar possíveis problemas no banco de dados regional no qual é desenvolvida a interpolação por mínima curvatura.

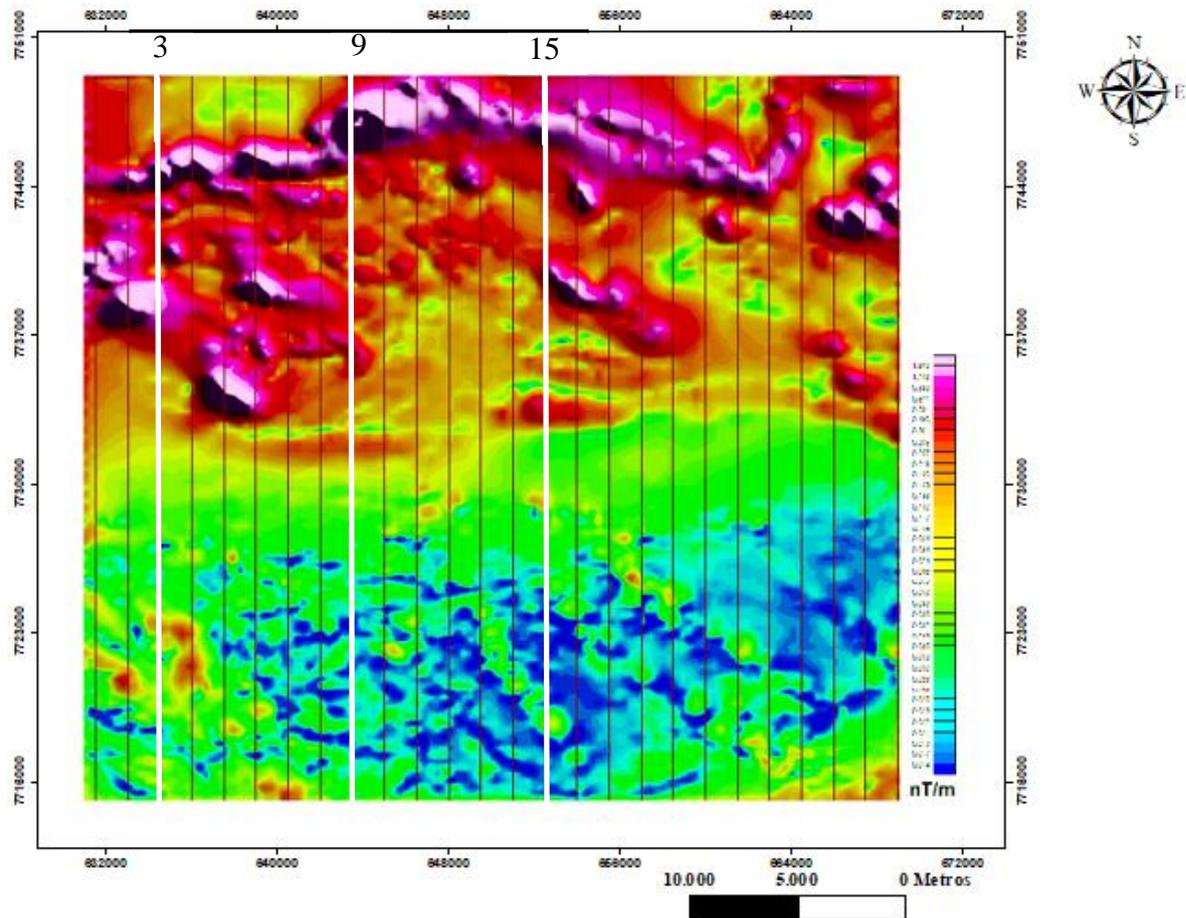


Figura 6.1: Mapa de Amplitude do Sinal Analítico, com os 30 perfis de direção SN, em branco os perfis 3, 9 e 15 em que se apresentam as deconvoluções em detalhe.

Os dados foram extraídos de sul a norte e exportados no formato .csv, e convertidos para .dta, uma vez que essa extensão possui interface com o *software* do passo seguinte. No programa Euler 1.0 inicia-se o arquivo com as informações dos perfis e selecionam-se as opções para trabalho com dados magnéticos da amplitude de sinal analítico. Nessa etapa se faz necessário fornecer a altura do voo do aerolevante. A posteriori, fez-se o processamento dos dados, fornecendo o índice estrutural, igual a 1, o tamanho da janela, igual a 11, e a profundidade máxima de 2000m.

Em seguida, os dados processados foram importados para o *software* ArcMap, para reunir todos os perfis através da rotina *merge*, que converte várias *shapes* em uma única *shapefile*. Com essa *shapefile*, interpola-se os dados (*krigagem*), gerando, por fim, um modelo tridimensional no *software* ArcScene.

6.3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os trinta perfis gerados, foram interpretados e verificaram-se relevantes resultados magnéticos em profundidade por toda a extensão da área em questão. Em virtude da grande quantidade de perfis nessa área extensa, apresentar-se-ão os perfis mais significativos para as feições estruturais presentes na região.

Dessa maneira, selecionaram-se os perfis 3, 9 e 15 para serem explicitados, porque estes facilitam a demonstração da geometria em profundidade que interceptam anomalias de alta susceptibilidade magnética. Os perfis apresentaram claramente dois domínios distintos que serão apresentados nas imagens nas Figuras 6.2 a 6.4.

O perfil 3 localiza-se na porção extremo oeste da região (Figura 6.2). Pode-se dividir o perfil em dois domínios distintos, conforme a variação de magnetização, a porção sul (domínio 1) mais baixa magnetização e porção norte (domínio 2), mais alta. No domínio 1, evidenciado pela seta azul, pode-se observar uma descontinuidade bem marcada. Como esse domínio tem correspondência com a porção sul da área, caracteriza-se pela presença de rochas ígneas. Dessa forma, pode ser interpretada como dique, devido à característica geológica do local. O domínio 2 faz correspondência com a sequência de rochas supracrustais, onde se pode notar a presença de diversas falhas, provavelmente reversas, caracterizando lascas de empurrão observadas pelas setas vermelhas. Essas, apresentam anomalias com profundidade que variam de 500m até 1500m, ou seja, grandes estruturas, que podem representar contatos ou grandes zonas de falhas.

No perfil 9, próximo à porção central da área, pode-se observar diferentes feições estruturais (Figura 6.3). No domínio 1, é possível notar a presença de uma descontinuidade bem definida destacada na figura pela seta em azul. Como discutido anteriormente, essa descontinuidade pode ser relacionada a um dique. As estruturas apontadas por setas em vermelho na Figura 6.3C apresentam formas cônicas bastante semelhantes, dispendo de profundidades bastante elevadas variando de 500m até aproximadamente 1500m. A extensão dessas feições permite interpretar como grandes estruturas regionais caracterizando possíveis zonas de contato tectônico ou ainda zonas de falhas. Salientadas pelas setas em verde (Figura 6.3C), pode-se observar estruturas menores com poucos metros de profundidades e com considerável susceptibilidade magnética. Em mapa, essas estruturas são observadas como anomalias 3D e serão melhor discutidas em seguida.

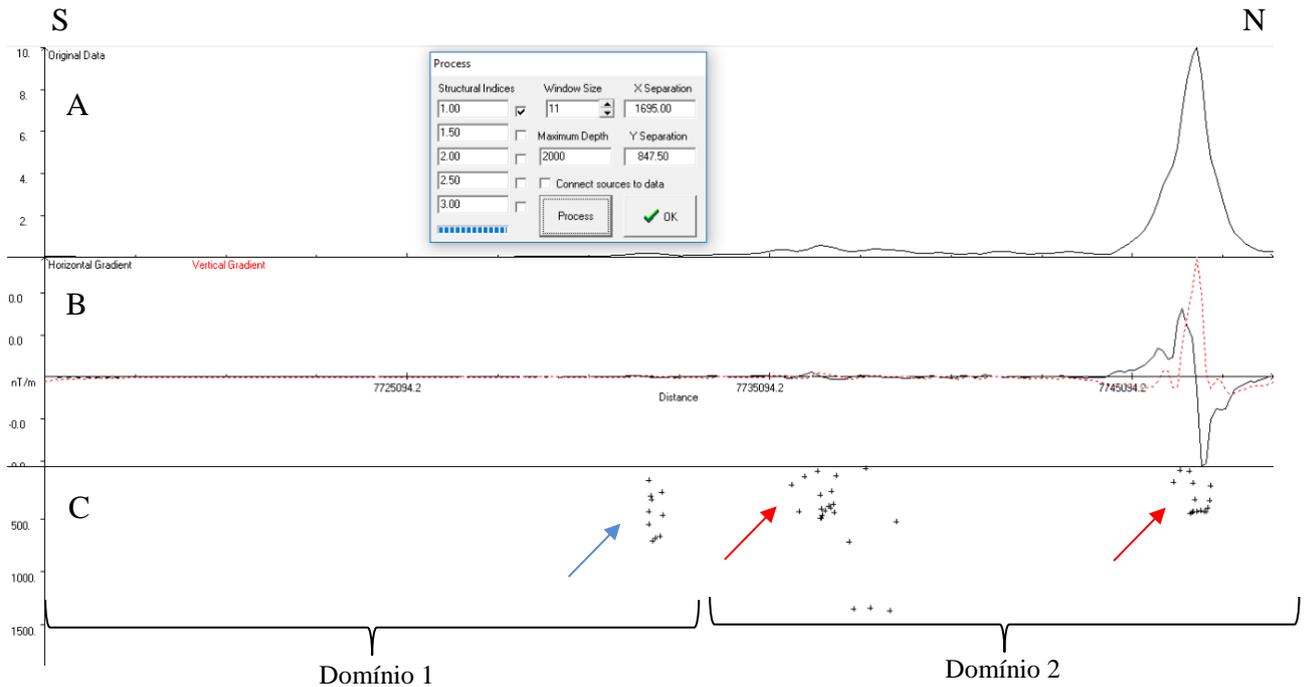


Figura 6.2: Deconvolução de Euler no Perfil 3 realizado no *software* Euler 1.0; (A) dado magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico; (B) gradiente vertical e horizontal (vermelho) do dado magnetométrico; (C) estimativa da profundidade médio do corpo que gerou a anomalia.

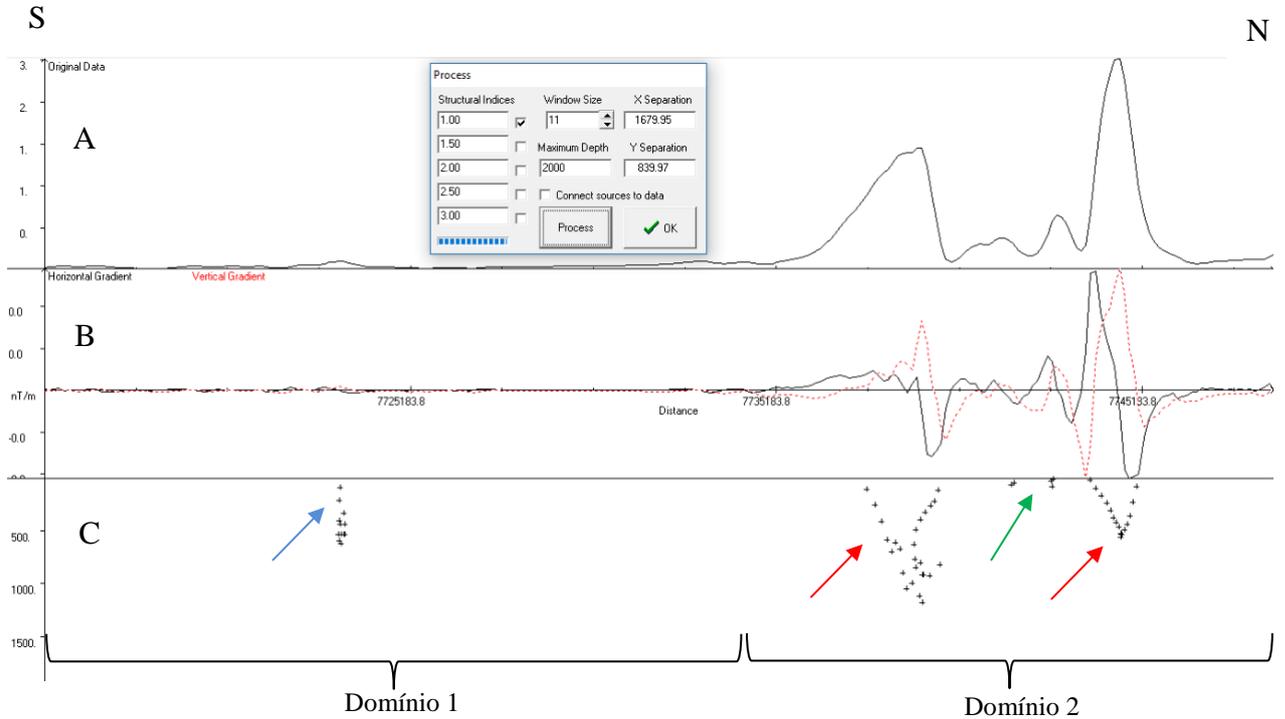


Figura 6.3: Deconvolução de Euler no Perfil 9 (localização vide Figura 6.1) realizado no *software* Euler 1.0; (A) dado magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico; (B) gradiente vertical e horizontal (vermelho) do dado magnetométrico; (C) estimativa da profundidade médio do corpo que gerou a anomalia. Em destaque as principais estruturas observadas.

O perfil 15, ao centro da região (Figura 6.4), apresenta no domínio 1 estruturas que podem caracterizar descontinuidades com profundidades que não ultrapassam 500m. No domínio 2 as estruturas evidenciadas pela seta em azul podem ser interpretadas como regionais, correlacionando a contatos tectônicos e falhas. Nas setas em verde pode-se visualizar estruturas menos profundas que também caracterizam em mapa anomalia 3D.

Objetivando-se uma visão ainda mais detalhada das anomalias 3D, prováveis corpos primários (lamproítos), repetiu-se a inversão de dados apenas sobre a anomalia, com um espaçamento menor entre os dados (30m) e abrangendo apenas a anomalia 3D (Figura 6.5 localizações dos perfis de detalhe em branco). Os parâmetros de deconvolução de Euler utilizados foram o índice estrutural igual a 1, o tamanho da janela igual a 7, e a profundidade máxima de 1260m. A mesma sistemática anterior foi executada e os resultados obtidos encontram-se nas Figuras 6.6 e 6.7.

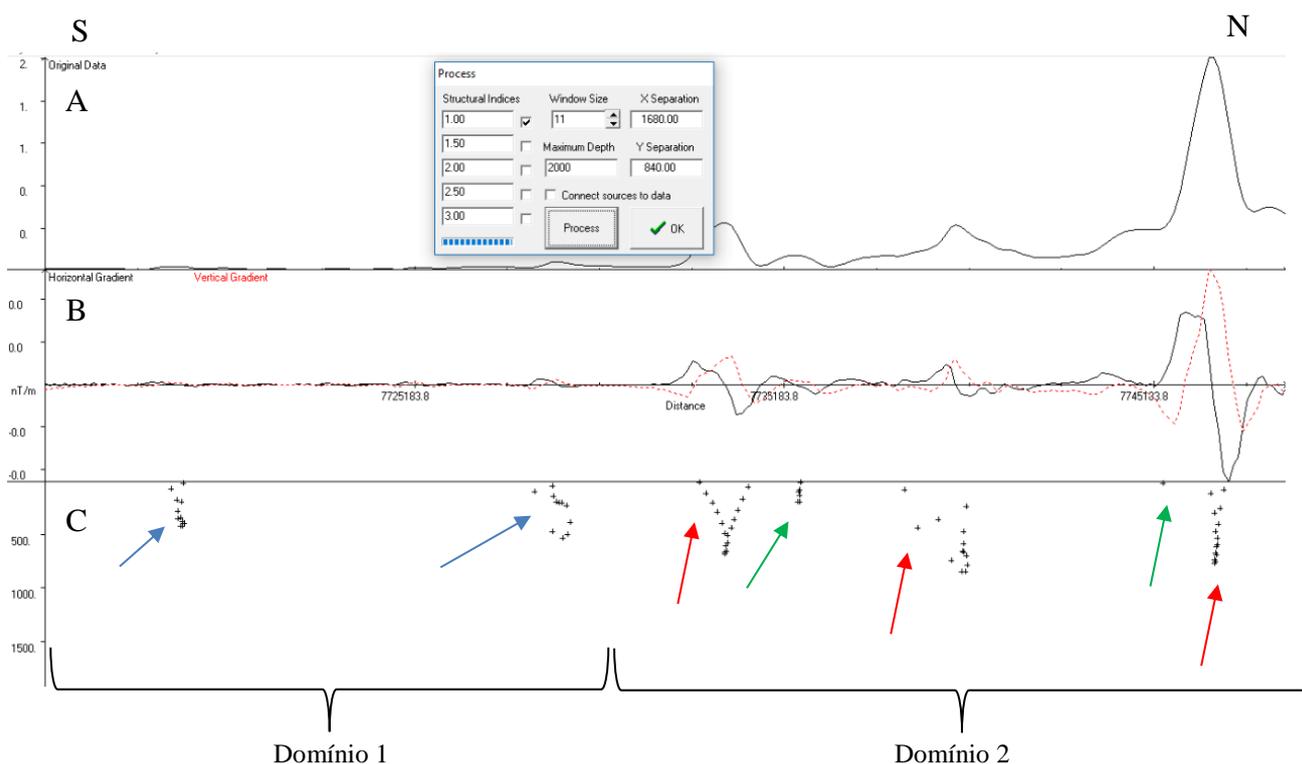


Figura 6.4: Deconvolução de Euler no Perfil 15 realizado no software Euler 1.0; (A) dado magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico; (B) gradiente vertical e horizontal (vermelho) do dado magnetométrico; (C) estimativa da profundidade médio do corpo que gerou a anomalia.

Os perfis (Figura 6.6 e 6.7) apresentam uma geometria em profundidade de estrutura em taça. De acordo com o trabalho de Costa & Luz (2005), a geometria de *pipes* lamproíticos podem

não apresentar a estrutura fixa (cratera, diatrema e raiz) como são observadas nos kimberlitos. Segundo este estudo, o conduto magmático pode se limitar apenas na fácies cratera e se desenvolver por vários metros. Assim, considerando-se a anomalia tipicamente 3D e a inversão com essa estrutura (taça), pode-se supor que essas anomalias decorram de lamproito.

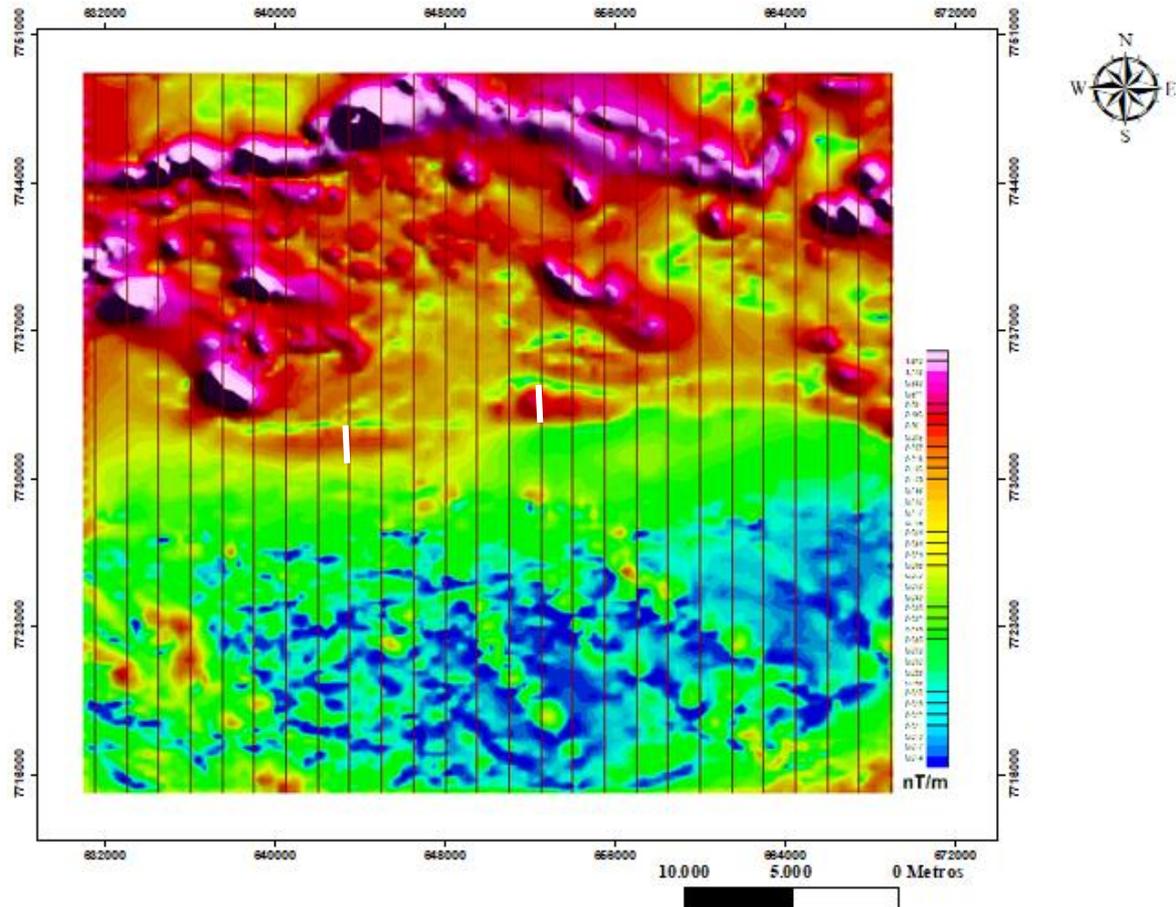


Figura 6.5: Mapa de Amplitude do Sinal Analítico com a localização dos perfis (9 e 15) de detalhe salientados em branco.

Além das características geofísicas dessas anomalias, a área está situada em um ambiente tectonicamente favorável para ocorrência de fontes primárias. De acordo com Harggety (1986), regiões como essa pode conter fontes mineralizadas em diamante, uma vez que, se encontra entre o contato de uma zona cratônica com estabilidade desde o Pré-Cambriano e com a faixa móvel de idade proterozoica. Ademais, o trabalho de Oliveira (2016), descreve minerais satélites às margens do Ribeirão Maynard. Dessa forma, pode-se concluir que essas anomalias 3D, detalhadas nessa inversão, consistem possíveis fontes primárias para o diamante nessa região.

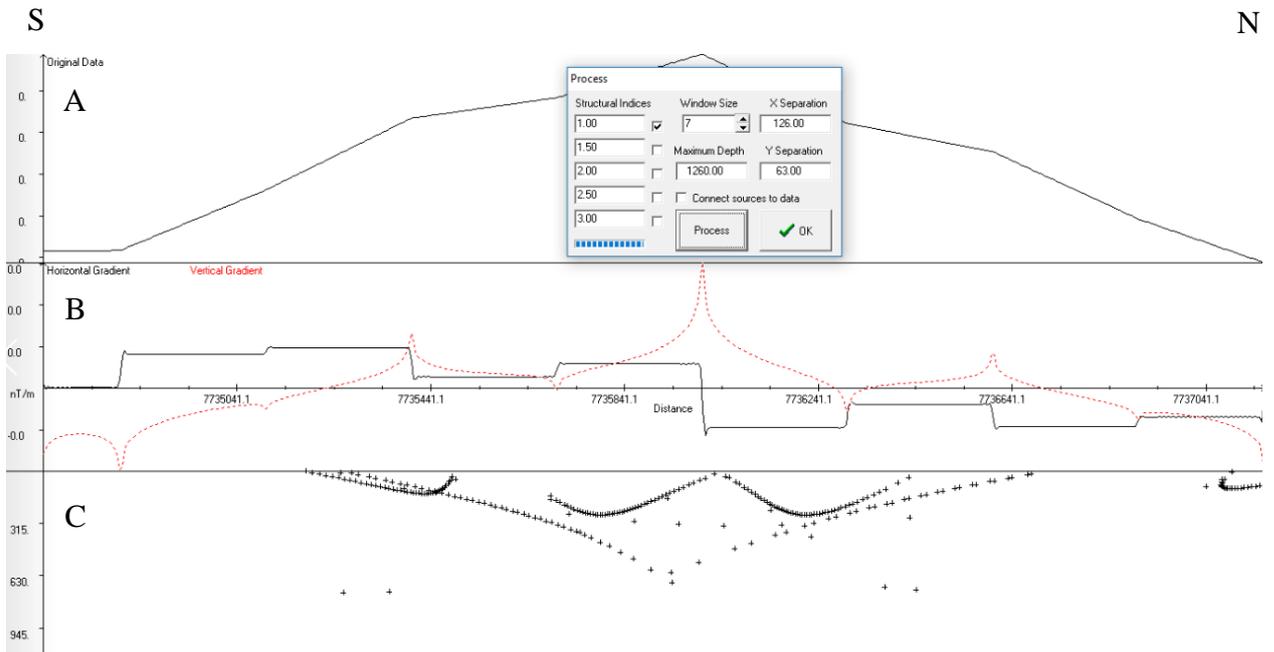


Figura 6.6: Deconvolução de Euler em detalhe do Perfil 9 de detalhe, (localização vide Figura 6.5), realizado no software Euler 1.0; (A) dado magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico; (B) gradiente vertical e horizontal (vermelho) do dado magnetométrico; (C) estimativa da profundidade médio do corpo que gerou a anomalia.

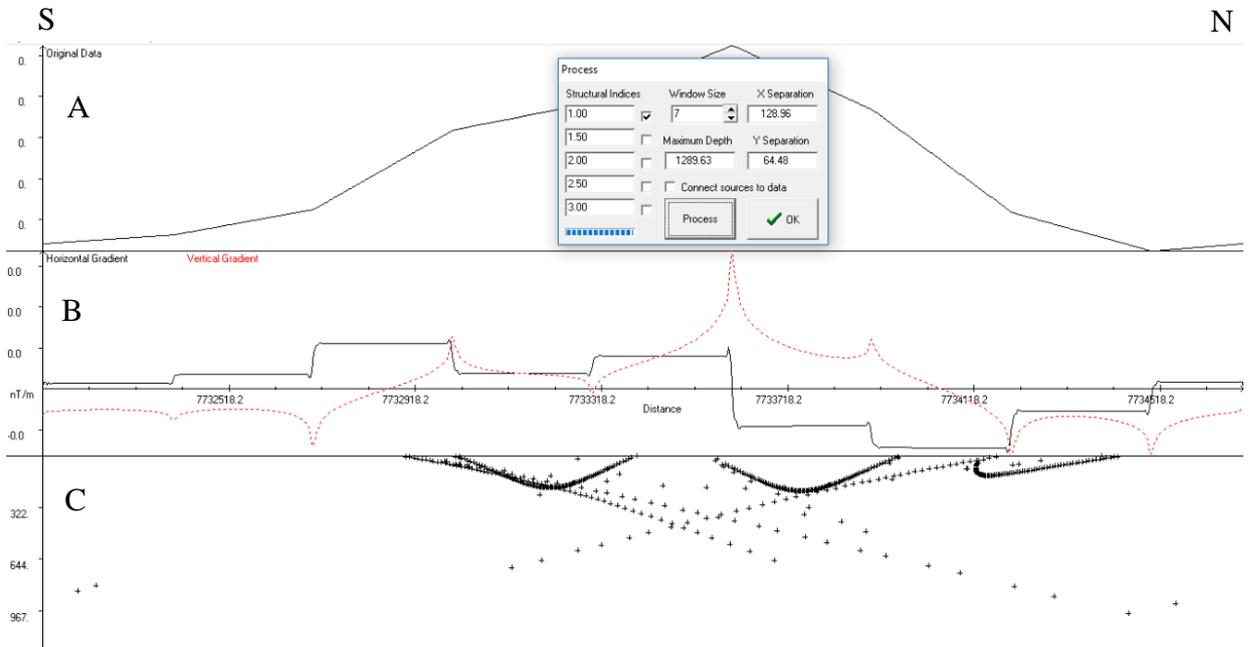


Figura 6.7: Deconvolução de Euler em detalhe do Perfil 15 de detalhe, (localização vide Figura 6.5), realizado no software Euler 1.0; (A) dado magnetométrico, Amplitude do Sinal Analítico; (B) gradiente vertical e horizontal (vermelho) do dado magnetométrico; (C) estimativa da profundidade médio do corpo que gerou a anomalia.

6.4 VISUALIZAÇÃO EM 3D

Posteriormente à Deconvolução de Euler nos 30 perfis, as estimativas das profundidades obtidas passaram por interpolação a partir do método de *krigagem* no *software* ArcScene 9.3 para, finalmente, gerar o modelo tridimensional da área em profundidade (Figura 6.8). Este modelo também contribui positivamente ao reproduzir a topografia média em profundidade das rochas que apresentam susceptibilidade magnética.

A análise do modelo 3D corrobora com a análise obtida em 2D onde a área pode ser dividida em dois domínios. O primeiro com baixa magnetização se comparado ao domínio dois, que apresenta uma área de alta magnetização devido à intensa tectônica, que permitiu a percolação de minerais ferromagnéticos, aumentando assim a sua magnetização.

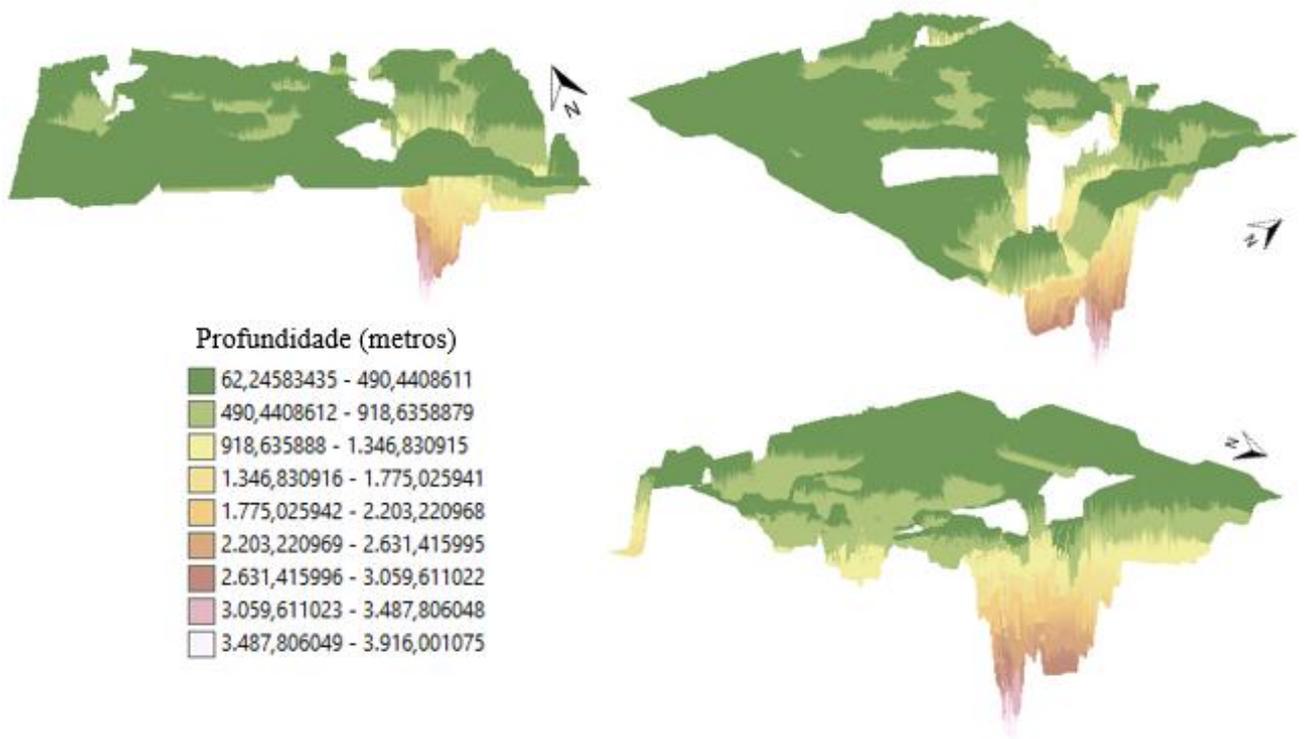


Figura 6.8: Modelo 3D da área gerado a partir da interpolação (*krigagem*) no *software* ArcScene 9.3 destacando a intrusão.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo principal, realizar a análise geológica-geofísica da região sul do Quadrilátero Ferrífero por meio da integração entre os dados geofísicos de magnetometria e radiometria aerolevados da CODEMIG (Área 2) e os dados geológicos presentes na região (CODEMIG, Governo do Estado e UFMG 2005), com foco na compreensão da possível fonte primária do diamante na região.

Com base na análise qualitativa, pode-se verificar as respostas radiométricas e magnéticas das litologias presentes na área. Os mapas radiométricos mostram-se bastante eficientes na integração geológico-geofísica, pois caracterizaram bem a correlação entre as radiofácies e a geologia da região em questão.

O estudo magnetométrico caracterizou uma compartimentação tectônica, diferenciada pela magnetização das unidades presentes. A porção sul apresentou baixa magnetização e conseqüentemente uma tectônica menos proeminente, domínio 1. A porção norte, por sua vez com alta magnetização, possui uma tectônica mais intensa o que permitiu litologias de baixa susceptibilidade apresentarem uma concentração mais elevada de minerais ferromagnéticos e por conseqüência alta magnetização, domínio 2.

A análise dos lineamentos magnetométricos auxiliou na delimitação dos domínios; o domínio 1 possui uma direção preferencialmente EW e o domínio 2, direção NW. Relacionando os lineamentos radiométricos com os magnetométricos, observou-se que na compartimentação sul (Domínio 1) os lineamentos radiométricos possuem uma direção preferencial NW e na porção norte NE (Domínio 2). Assim, pode-se concluir que as estruturas impressas na radiometria diferem em profundidade das observadas na magnetometria, evidenciando diferentes processos diacrônicos.

A inversão dos dados magnetométricos por meios da Deconvolução de Euler em perfis 2d e, posteriormente, interpolados gerou um modelo em profundidade 3D. A análise do modelo corroborou com a compartimentação tectônica até então descrita, além de permitir a delimitação de planos de falhas, diques e uma estruturação de baixa profundidade. Essa estruturação pouco profunda, encontra-se próximo ao Ribeirão Maynard e possui uma anomalia 3D. Exemplificando esse padrão anômalo, fizeram-se perfis de deconvolução de detalhe culminando em uma estruturação em taça. Dessa forma, pode-se concluir que estas anomalias consistem em prováveis corpos lamproíticos.

Portanto, essa sistemática se apresentou eficaz na prospecção de possíveis fontes primárias do diamante.

Desta forma, para se confirmar a natureza destas anomalias recomenda-se um detalhamento geofísico (magnetometria terrestre), e posterior sondagem exploratórias nas mesmas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkmim F. F. 2004. O que faz de um cráton um cráton? O cráton do São Francisco e as revelações Almeidaianas ao delimitá-lo. In: Mantesso Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito-Neves, B.B. (Orgs.), *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Ed. Beca, São Paulo. p.17-35.
- Alkmim, F. F. & Marshak, S. 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern Sao Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precamb. Res.*, 90:29 – 58, 1998
- 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, A. L. M. (1968). Contribuições recentes à geologia do Quadrilátero Ferrífero. Ouro Preto, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 68p.
- Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG) Projeto Quadrilátero Ferrífero (2005), convênio com CODEMIG, Governo do Estado e UFMG
- Costa M. J. & Luz A. B. 2005. *Diamante, Rochas e Minerais Industriais*. São Paulo, Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia/CETEM, 375-397.
- 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 Energia).
- 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 de Produção Mineral, Divisão de Fomento da Produção Mineral, Avulso, 81, 1 – 31
- Dorr II J. V. 1969. Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. United States Geological Survey Professional Paper 614-A. 110 pp.
- Erkov V., Erincheck Y., Dobrynina N., Grib V., Yefimov A., Kalinin O., Kontaovich R., Parasotka B., Cherny S., 1993. Geophysics osshubvertical objects: advanced prospecting technology for kimberlite pipes. *SEG/Moscow*
- Farina F., Albert C., Martínez Dopico C., Aguilar Gil C., Moreira H., Hippert J. P., Cutts K., Alkmim F. F., Lana C. 2015. The Archeane Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Brasil): Current models and open questions. *Journal of South American Earth Sciences*. 1 - 18.
- Guimarães, D. 1931. *Contribuição à geologia do Estado de Minas Geraes*. Boletim 55. Serv. Geol. Min. Do Brasil. 36p.
- Haralyi N. L. E & Svisero D. P. 1984. Metodologia geofísica integrada aplicada à prospecção de kimberlitos da região oeste de Minas Gerais. *Rev. Bras. Geoc.*,14(1):12-22.
- Harggety S.E. 1986. Diamond genesis in a multiply constrained model. *Nature* 320: 34-38.
- Heineck C. A., Leite C. A. S., Silva M. A., Viera V.S. 2003. Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, 1:1.000.000. Belo Horizonte, Belo Horizonte, Convênio COMIG/CPRM.
- Helmstaedt H. H & Gurney J. J. 1995. Geotectonic controls of primary diamond deposits: implications for area selections. *Journal of Geochemical Exploration*, 53, 125-144.
- Keary P., Brooks M., Hill I. 2009. Geofísica de exploração. Tradução: Maria Cristina Moreira Coelho, São Paulo, Oficina de Texto, p.438.

Bovolenta, R.G.2018, Análise geofísica das fontes primárias...

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.

Lisboa M. 1967. Manual de Mineralogia. Oficinas Gráficas da Escola de Minas, 1, 1 - 319.

Luiz J. G. & Silva L. M. C. 1995. Geofísica de Prospecção. Belém, Universidade Federal do Pará/CEJUP. 311p.

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.

Macnae J. 1995. Applications of geophysics for the detection and exploration of kimberlites and lamproites. *Journal of Geochemical Exploration*,53: 213-243.

Marini O. J., Pereira R. S., Ramos B. W., Jost, H. 2002. *Curso de aperfeiçoamento em exploração mineral -EXMIN*. Brasília, Agência para o Desenvolvimento Tecnológico da Indústria Mineral Brasileira - ADIMB.508p.

Martins M.S. 2006 Geologia dos diamantes e carbonados aluvionares da bacia do rio Macaúbas (MG). Tese de doutorado, IGC-UFMG, 210, Belo Horizonte.

Mitchell R.H. 1986. *Kimberlites, Orangeites, and Related rocks*. New York, Plenum Press, 442p.

Mitchell R.H. 1989. Aspects of the petrology of kimberlite and lamproite: some definition and distinction. In: Kimberlites and Related Rocks, J. Ross (ed.) *Geological Society of Australia, Special Publications*. 14:7-45.

Mitchell R.H. 1991. Kimberlites and lamproites: primary sources of diamonds. *Rev. Geoscience Canada*, 18:1-16.

Moreira H., Lana C.,Nalini Jr. H A. 2016. The detrital zircon record of an Archaean convergent basin in the Southern São Francisco Craton, Brazil. *Precambrian Research* 275, 84–99

Oliveira A. I. & Barbosa O. 1938. Relatório da Diretoria. Boletim nº 41. Rio de Janeiro

Oliveira A. I. 1937. Relatório da Diretoria. Boletim nº 31, 69. Rio de Janeiro

Oliveira E. L.C. 2016. Caracterização de minerais pesados usados como indicadores de depósitos minerais na bacia hidrográfica do Ribeirão Maynart, Sul do Quadrilátero Ferrífero, MG.

Pedrosa-Soares A.C. & Wiedemann-Leonardos C.M. 2000. Evolution of the Araçuaí belt and its connection to the Ribeira belt, Eastern Brazil. In Cordani U. (ed.) *Tectonic Evolution of South America*. 31ªIGC, 265-285.

Pereira R. S. & Fuck R. A. 2005. Archean Nucleii and the distribution of kimberlite and related rocks in the São Francisco Craton, Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*,35(3): 93-104.

Pereira R. S. 2007. *Cráton do São Francisco, kimberlitos e diamantes*. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Tese de doutoramento, 200p.

Raposo F. O. 1991. Estratigrafia petrografia e petrologia. In: Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil. Brasília, DF, *Folha Rio Espera*. Parte II, capítulo 2, p.27-88. CPRM/DNPM.

Reid A. B., Zhang. C., Mushayandebvu M. F., Fairhead J. D., Odegard M. E., 1990. Euler deconvolution of gravity tensor gradient data. *Geophysics*. 65(2):512-520.

Renger, F. S., Noce, C. M., Romano, A. W., Machado, N. 1994. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma. de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geonômos*2: 1-11.

Roest W. R, Verhoef, J. Pilkington, M. 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal, *Geophysics*, 57(1):116-125.

Schorscher, H. D., Santana, F. C., Polonia, J. C., Moreira, J. M. P. 1982. Quadrilátero Ferrífero-Minas Gerais State: Rio das Velhas greenstonebelt and Proterozoic rocks. In International Symposium on Archean and Early Proterozoic Evolution and Metallogenesis 1. *Anais...* Salvador: SBG, v. 1, p.43.

Schumann W. Gemas do mundo; [traduzido por Rui Ribeiro Franco, Mario Del Rey].-9. ed. ampl e atual. -São Paulo: Disal, 2006.

Silva G. M. & Barbosa, M. S. C. 2011. Análise e Modelagem Geofísica de Kimberlitos na parte alta do diamantífero Vale do Rio Abaeté- MG. *Revista Brasileira de Geofísica* (no prelo).

Silva G. M. 2015. Análise geofísica do distrito diamantífero de Abaeté (MG) e de suas possíveis fontes primárias. *Dissertação de mestrado*. 57p

Teixeira W., Figueiredo H. M. C. 1991. Na outline of Early Proterozoic crustal evolution in the São Francisco Craton, Brazil, a review. *Precambrian Research*. 53: 1-22.

Telford W. M., Geldart L.P., Sheriff R.E. 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge, Cambridge University Press. 770p. *Contribuições às Ciências da Terra, Série M*, vol. 74, 120p. 119

Zucchetti, M. & Baltazar O. F. 2000. Rio das Velhas Greenstone Belt lithofacies associations, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. 31th International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil, CD-ROM

GOOGLE. Google Earth. Version 7.3.1. ano.2017. Acesso em: agosto 2017.