



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANÁLISE GEOFÍSICA DO POTENCIAL PEGMATÍTICO NA REGIÃO DE ATALÉIA
(MG)

André Froede Silva

MONOGRAFIA nº 255

Ouro Preto, outubro de 2017

**ANÁLISE GEOFÍSICA DO POTENCIAL PEGMATÍTICO NA
REGIÃO DE ATALÉIA (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 255

**ANÁLISE GEOFÍSICA DO POTENCIAL PEGMATÍTICO NA
REGIÃO DE ATALÉIA (MG)**

André Froede Silva

Orientadora

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

Co Orientador

MSc. Thiago José Augusto Madeira

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

2017

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: André Froede Silva

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

Froede, André Silva

Análise Geofísica do Potencial Pegmatítico na região de Ataléia (MG) / Froede, André Silva - Ouro Preto: UFOP: 2017

Monografia do Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia.

1. Geofísica. 2. Magnetometria. 3. Radiometria. 4. Pegmatitos. I. Barbosa, Maria Silvia Carvalho. II. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. III. Análise Geofísica do Potencial Pegmatítico na Região de Ataléia (MG)

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

Ficha de Aprovação

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Análise Geofísica do Potencial Pegmatítico na Região de Ataléia (MG)

AUTORA: ANDRÉ FROEDE SILVA

ORIENTADORA: Profa. Dra. Maria Sílvia C. Barbosa

Aprovada em: 05 de dezembro de 2017

BANCA EXAMINADORA:

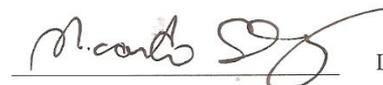
Profa. Dra. Maria Sílvia C. Barbosa

 DEGEO/UFOP

Prof. MSc. Luiz Henrique Cardoso

 DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Ricardo Augusto Scholz Cipriano

 DEGEO/UFOP

Ouro Preto, 05/12/2017

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais Gislene e Antelius pelo incentivo e esforço para meu sucesso. Aos meus irmãos Alex e Alexandre pela amizade e companheirismo.

Agradeço ao Thiago (Kalango) pela orientação, paciência e amizade durante todo desenrolar deste projeto.

A República Cassino, meu lar em Ouro Preto, muito obrigado pelo acolhimento, amizades e histórias. Aos meus amigos de Ouro Preto e a toda Geogalera.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	viii
SUMÁRIO	x
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xiv
RESUMO	xix
INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO.....	2
1.3 OBJETIVOS	4
1.4 JUSTIFICATIVA	4
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS	4
1.5.1 Revisão bibliográfica.....	5
1.5.2 Levantamento de banco de dados e Análise Geomorfológica.....	5
1.5.3 Análise qualitativa	5
1.5.4 Integração geofísica-geológica.....	5
1.5.5 Análise quantitativa	5
2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	7
2.1 ORÓGENO ARAÇUAÍ.....	7
2.2 O PLUTONISMO OROGÊNICO	9
2.2.1 Suíte G1	9
2.2.2 Intrusivas máficas	9
2.2.3 Suíte G3	10
2.2.4 Suíte G4	11
2.2.5 Suíte G5	11
2.3 GEOLOGIA LOCAL.....	11
2.3.1 Granitos sin- a tarditectônicos	13
2.3.2 Granitos pós-Tectônicos	15
2.4 GEOLOGIA ESTRUTURAL LOCAL.....	16
3 GEOLOGIA ECONÔMICA	18
3.1 INTRODUÇÃO	18
3.2 GEMAS DA REGIÃO.....	20
3.2.1 Berilo	20

3.2.2	Ametista	23
3.2.3	Turmalina	24
4	MÉTODOS GEOFÍSICOS	26
4.1	INTRODUÇÃO.....	26
4.2	MAGNOMETRIA.....	26
4.2.1	Campo Magnético Terrestre.....	27
4.2.2	Susceptibilidade Magnética e Magnetização das Rochas	28
4.2.3	Anomalias Magnéticas	29
4.2.4	Filtragem de Dados	30
4.2.5	Deconvolução de Euler	31
4.3	RADIOMETRIA	32
4.3.1	Radioatividade Natural	32
4.3.2	Radioatividade das Rochas e Minerais	33
5	ANÁLISE QUALITATIVA	36
5.1	INTRODUÇÃO.....	36
5.2	BANCO DE DADOS GEOFÍSICOS.....	36
5.3	ANÁLISE MORFOESTRUTURAL.....	37
5.4	METODOLOGIA APLICADA NA GERAÇÃO E ANÁLISE DE MAPAS GEOFÍSICOS.....	38
5.5	ANÁLISE MAGNETOMÉTRICA.....	40
5.6	RADIOMETRIA.....	46
6	ANÁLISE QUANTITATIVA	50
6.1	INTRODUÇÃO.....	50
6.2	METODOLOGIA	50
6.3	RESULTADO DAS INVERSÕES PELA DECONVOLUÇÃO DE EULER.....	52
6.3.1	Visualização em 3D	56
6.4	DISCUSSÃO E RESULTADOS	57
7	CONCLUSÕES	60
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

INDÍCE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Localização da área em escala macro	1
Figura 1.2 - Projeto Leste com o mapa de localização e articulação das folhas (modificado de Tuller 2000)	3
Figura 2.1 - Orógeno Araçuaí e a Faixa Congo Ocidental em relação ao Cráton São Francisco-Congo.	8
Figura 2.2 - Modelo evolutivo do orógeno Araçuaí-Congo Ocidental....	12
Figura 2.3 - Diagrama QAP (Streckeisen, 1976) para o granito Ataléia.....	14
Figura 2.4 - Diagrama QAP (Streckeisen, 1976) para o leucogranito Carlos Chagas	15
Figura 2.5 - Diagrama QAP (Streckeisen, 1976) para o granito Jaceguá.....	16
Figura 2.6 - Foliações e lineações relativas ao leucogranito Carlos Chagas, adaptado de Tuller (2000)	17
Figura 3.1 - Localização da Província Pegmatítica Oriental do Brasil e região estudada.....	19
Figura 3.2 - Folha Ataléia sobreposta pelas shapes de processos abertos para extração mineral, adaptado de DNPM.....	20
Figura 3.3 - A. Esmeralda, Itabira – MG; B. Água-Marinha, Mina de Piteiras, Nova Era – MG	21
Figura 3.4 - Localização das Jazidas de Água-Marinha na Província Pegmatítica Oriental de acordo com a literatura	22
Figura 3.5 - Águas-Marinhas da região de Ataléia (MG), brutas e lapidadas de acervo pessoal	23
Figura 3.6 - Ametista em geodo, e apenas seu cristal. Fonte: http://www.mindat.org , acesso em 27 de agosto de 2017.....	24
Figura 3.7 - Algumas variações de turmalinas encontradas no Brasil: A. Elbaíta, Santa Maria do Suaçuí (MG)	26
Figura 4.1 - A) Elementos do campo geomagnético e os vetores do campo magnético (traduzido de Telford <i>et al.</i> 1990)	28
Figura 4.2 - A Modelo evolutivo do orógeno Araçuaí-Congo Ocidental, segundo a tectônica, “quebra nozes”	30
Figura 4.3 - O gráfico ternário mostrando a abundância relativa de elementos radioativos em diferentes tipos de rochas (modificado de Kearey <i>et al.</i> 2009)..	34
Figura 4.4 - Variação na média do conteúdo de K, eTh, eU para rochas ígneas intrusivas e extrusivas.....	35
Figura 5.1 - Área englobada pelo Projeto Itabira Ferros	37
Figura 5.2 - Imagem TOPODATA original e com lineamentos traçados	38
Figura 5.3 - Mapas magnetométricos gerados através do <i>software</i> OASIS MONTAJ 7.0.1..	40

Figura 5.4 - Mapas radiométricos obtidos através do <i>software</i> OASIS MONTAJ 7.0.1..	41
Figura 5.5 - Mapas magnetométrico Amplitude de Sinal Analítico (ASA), separado em 3 domínios	44
Figura 5.6 - Mapa de ASA com lineamentos traçados e a roseta representando as direções preferenciais dos mesmos	45
Figura 5.7 - Mapa de derivada segunda (Dz^2) com lineamento traçados e suas direções representadas pelo diagrama de roseta.....	47
Figura 5.8 - Mapa Ternário original e em seguida o mesmo editado, separado em cinco domínios de radiofácies	49
Figura 5.9 - Mapa de Fator F com lineamentos traçados e suas direções preferenciais no diagrama de roseta	50
Figura 6.1 - 30 perfis E-W traçados no mapa de Amplitude e Sinal Analítico, enumerados de 1 a 30 como denota a figura	52
Figura 6.2 - Perfis 8, 19 e 25, respectivamente, selecionados para ilustração dos resultados obtidos.....	54
Figura 6.3 - Perfil 8 de Deconvolução realizado através do <i>software</i> Euler 1.0 a partir do mapa de ASA	55
Figura 6.4 - Perfil 19 de Deconvolução realizado através do <i>software</i> Euler 1.0 a partir do mapa de ASA	56
Figura 6.5 - Perfil 12 de Deconvolução realizado através do <i>software</i> Euler 1.0 a partir do mapa de ASA	57
Figura 6.6 - Anomalias 3D obtidas através da deconvolução de Euler em relação ao mapa geofísico ASA.....	58
Figura 6.7 - Imagem 3D das anomalias em relação ao mapa local disponibilizado pela CPRM	59

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 - Domínios e subdomínios estruturais propostos por Bertoldo (1993) para os domínios fisiográficos das serras Geral, Central e Palmas de Monte Alto.	24
Tabela 4.2 - Filtros de Fourier com respectivas finalidades geofísicas (modificado de Kearey <i>et al.</i> 2009).	32
Tabela 4.1. Relação do índice estrutural com os modelos físicos e geológicos.	33
Tabela 4.4 - Principais minerais radioativos e modos de ocorrência (modificado de Telford <i>et al.</i> 1990).	36
Tabela 5.1 - Magnetofácies e suas respectivas características e intensidades.	43
Tabela 5.2 - Radiofácies identificadas e seus respectivos teores de Urânio, Tório e Potássio.	48

Resumo

O orógeno Araçuaí abrange uma vasta área em território brasileiro com diversificados bens minerais. Dentro deste contexto, está a cidade de Ataléia (MG), que possui sua história atrelada a garimpos de água marinha nas proximidades. A área deste estudo está entre o município de Ataléia (MG) e de Ecoporanga (ES), possuindo 100km², encontrando-se em quase totalidade dentro da Folha Ataléia (SE.24-Y-A-II). Utilizando-se dados bibliográficos e dados aerogeofísicos, executaram-se análises quali quantitativa da geofísica, radiometria e magnetometria, e apresenta-se uma interpretação geológica-geofísica do potencial gemológico local. Desta forma, o presente trabalho possui grande importância para o aumento do conhecimento dos pegmatitos e suas possíveis mineralizações locais, e para o contexto geológico do orógeno Araçuaí. Além disso, demonstra-se a partir desse projeto a importância e influência da geofísica, a partir da magnetometria e radiometria, na a resolução de questões geológicas e para a pesquisa mineral.

Palavras chave: geofísica, orógeno Araçuaí, pegmatitos, Ataléia.

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

No universo do conhecimento geológico, os trabalhos de campo são fundamentalmente a chave para o entendimento das estruturas. Entretanto, existem várias ferramentas que auxiliam o geólogo nas análises de campo e que possibilitam o entendimento de questões complexas. Nesse sentido, a geofísica surge como tal, auxiliando o estudo de superfície e subsuperfície.

A área de estudo possui 100km² e está localizada nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, entre as cidades de Ataléia e Ecoporanga (Figura 1.1) e está inserida no contexto geológico do Orógeno Araçuai, numa região conhecida nacionalmente pelo potencial em gemas. A região foi escolhida a partir de relatos da existência de garimpos, que são formas arcaicas de exploração de recursos minerais sem base geológica, de águas marinhas e ametistas no local.

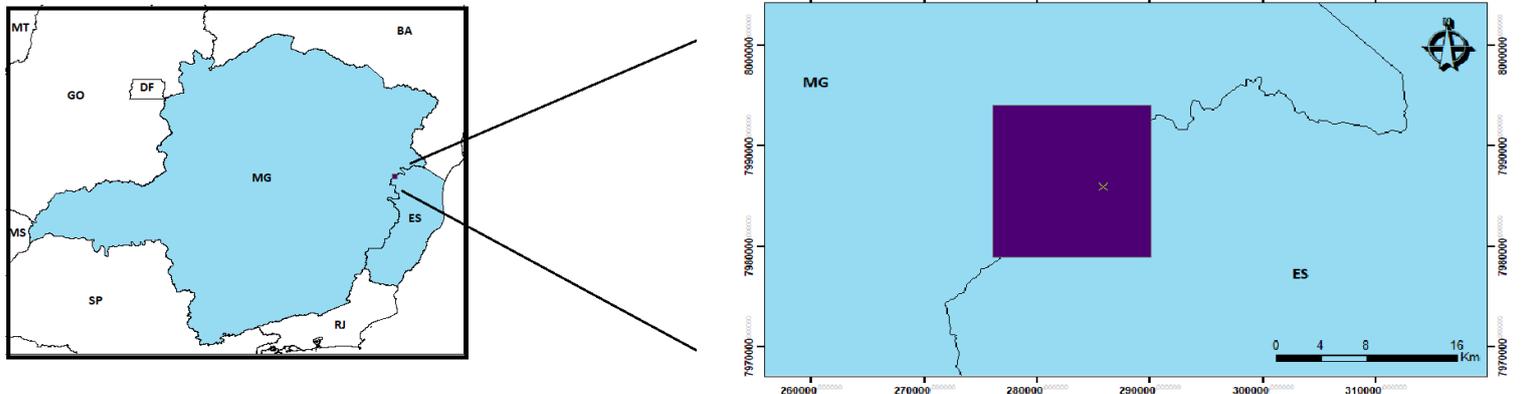


Figura 1.1 – Localização da área em escala macro e local (Fonte: DNPM, <http://www.dnpm.gov.br/>, acessado em 06 de novembro de 2017)

O presente trabalho teve como finalidade a análise geofísica da área no intuito de investigar a superfície e subsuperfície e assim comprovar a existência de corpos pegmatíticos e estimar o potencial gemológico do local a partir das análises obtidas, além de compreender o contexto geológico em que está inserido o corpo pegmatítico.

Froede, A.S. 2017. Análise Geofísica do Potencial Pegmatítico na região de Ataléia (MG).

1.2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área estudada possui 100km², e está entre os municípios de Ataléia (MG) e Ecoporanga (ES), portanto, nos limites entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo. O local do estudo abrange duas folhas topográficas 1:100.000, Ataléia SE.24-Y-A-II e Ecoporanga SE.24-Y-A-III, sendo quase totalidade da área dentro da folha Ataléia (Tuller 2000), e apenas um estreito trecho na folha Ecoporanga (Castañeda *et al.* 2006), mapeadas através do Projeto Leste (Figura 1.2) da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

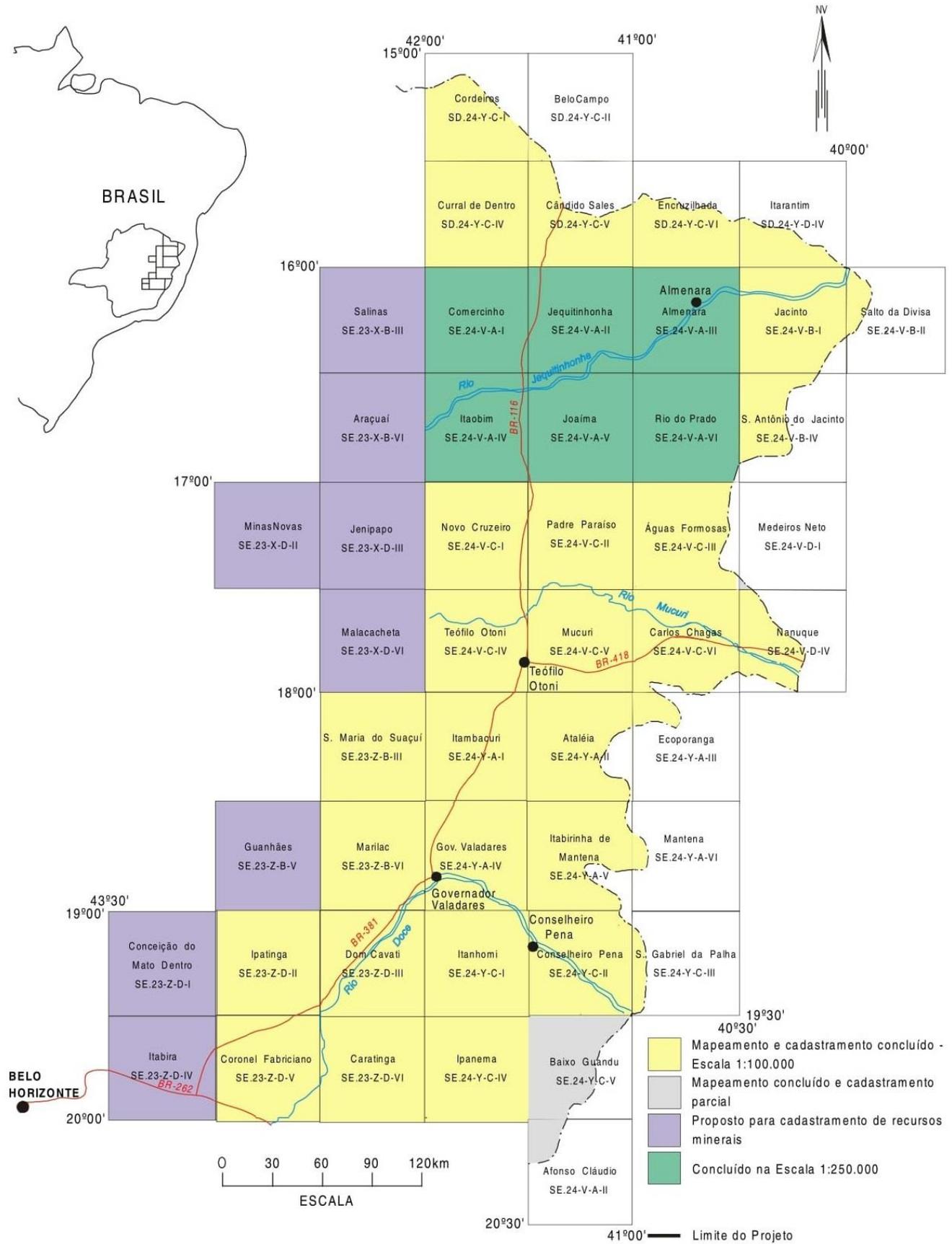


Figura 0.2 –Projeto Leste com o mapa de localização e articulação das folhas (modificado de Tuller 2000).

Froede, A.S. 2017. Análise Geofísica do Potencial Pegmatítico na região de Ataléia (MG).

De acordo com Tuller (2000), o município de Ataléia está limitado pelas coordenadas 18°00' e 18°22' de latitude sul e 41°00' e 41°30' de longitude norte, com cerca de 240 metros de altitude e uma área de aproximadamente 3000km². Partindo de Belo Horizonte (MG), a via acesso asfaltada mais curta se dá pela BR-381 passando por Ipatinga, Governador Valadares, Teófilo Otoni e então a BR-418 (Rodovia do Boi).

1.3 OBJETIVOS

O objetivo central do estudo é caracterizar as condições geológicas de ocorrência de pegmatitos mineralizados. Especificamente com a análise quali quantitativa dos métodos geofísicos aéreos (magnetometria e radiometria).

Objetivam-se ainda estimar a profundidade média do topo de estruturas com susceptibilidade magnética e também de fatores controladores e/ou critérios que definam a mineralização das gemas estudadas na área.

1.4 JUSTIFICATIVA

Historicamente, existe na região um comércio intenso de gemas, derivado em grande parte da exploração realizada nos garimpos em áreas próximas. Como a exploração é realizada de forma artesanal, existe uma carência de estudos geológicos aprofundados em relação á gênese e ao real potencial gemológico da área

Considerando-se tais questões e a disponibilidade de dados geofísicos aerolevantados, SRTM e geológico de escala regional da área de estudo; o processamento, integração e interpretação dos mesmos podem contribuir para a compreensão da ocorrência dos bens minerais existentes e suas características metalogenéticas.

Destaca-se ainda o fato que a região estudada está inserida no Orógeno Araçuaí, cujas mineralizações pegmatíticas estão associadas à Província Pegmatítica Oriental do Brasil. Portanto, um local de muitos estudos marcantes realizados, mas poucos deles com enfoque geofísico. Nesse contexto, o trabalho pode vir a enriquecer ainda mais a literatura deste Orógeno.

1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do trabalho foi realizado segundo os itens a seguir

1.5.1 Revisão bibliográfica

Compilação de trabalhos realizados sobre o Orógeno Araçuaí, com ênfase na descrição dos corpos graníticos da fase sin a tardi tectônicos e pós tectônicos. Para realização das análises geofísicas, se recorreu à compreensão da literatura via artigos e outros meios inerentes aos temas relacionados.

1.5.2 Levantamento de banco de dados e Análise Geomorfológica

Utilizou-se, no presente trabalho, o banco de dados aeromagnetométricos e aeroradiométricos, disponibilizados pela Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG). E as folhas Ataléia SE.24-Y-A-II e Ecoporanga SE.24-Y-A-III disponibilizadas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Através do mapa TOPODATA, foram gerados vários lineamentos e por fim uma roseta apresentando a direção preferencial dos mesmos, afim de compreender melhor as questões estruturais da área.

1.5.3 Análise qualitativa

Utilizando-se do banco de dados aerogeofísicos, geraram-se os vários mapas temáticos para cada método geofísico, magnetometria e radiometria, para a caracterização da área de estudo. Estes mapas foram produzidos através do *software* Oasis Montaj 7.0.1 do sistema GEOSOFT. Em seguida utilizou-se o *software* ArcGis (versão 10.3), os mapas georreferenciados foram integrados aos dados geológicos em ambiente SIG, com vista à interpretação qualitativa dos dados.

1.5.4 Integração geofísica-geológica

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

1.5.5 Análise quantitativa

Com a utilização da versão livre do *software* Euler (versão 1.00), fez-se a Deconvolução de Euler (2D) dos perfis magnetométricos, tendo em vista interpretação quantitativa dos dados que, integrados aos dados geológicos, permitiram visualizar, em profundidade, o condicionamento estrutural das prováveis mineralizações da área de estudo e

Froede, A.S. 2017. Análise Geofísica do Potencial Pegmatítico na região de Ataléia (MG).

estimar profundidades do topo das anomalias magnetométricas em perfis esquemáticos confeccionados no procedimento de integração. A partir da obtenção dos dados da Deconvolução de Euler, foi possível, através do método da krigagem, criar modelos 3D para a visualização das estruturas em profundidade.

CAPÍTULO 2

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 ORÓGENO ARAÇUAÍ

A região de estudo encontra-se no setor oriental do Orógeno Araçuaí, o qual se estende do limite leste do Cráton do São Francisco até a margem atlântica, aproximadamente entre os paralelos 15° e 21° S (Pedrosa-Soares *et al.* 2001, 2008). Este orógeno inclui a Faixa de Dobramentos Araçuaí (Almeida 1977) e a região a leste dela, rica em rochas graníticas e metassedimentares de alto grau (Pedrosa-Soares *et al.* 2007). A contraparte africana do Orógeno Araçuaí é a Faixa Congo Ocidental (Figura 2.1). Este orógeno faz parte do sistema orogênico brasileiro-panafricano, cuja evolução se deu no Neoproterozoico e Cambriano (Brito-Neves *et al.* 1999), representando o setor setentrional da Província Mantiqueira (Heilbron *et al.* 2004).

O Orógeno Araçuaí e a Faixa Congo Ocidental são, em conjunto, um orógeno confinado a uma reentrância do Cráton São Francisco-Congo. A bacia que originou esse orógeno seria um provável golfo, ensialico a norte e oceanizado a sul, que desembocaria em um oceano voltado para onde se encontra atualmente o Orógeno Ribeira (Pedrosa-Soares *et al.* 2001, 2007, 2008, Alkmim *et al.* 2007). Segundo (Alkmim *et al.* 2006, 2007), em seu fechamento, esta bacia teria sido induzida por colisões à distância, contra os crátons do São Francisco e Congo, e seguiria um mecanismo similar a um quebra-nozes. A posição dos remanescentes ofiolíticos em relação ao arco magmático indica que a subducção foi de oeste para leste (Pedrosa-Soares *et al.* 1998), de tal forma que a região de estudo se encontra possivelmente na zona de retroarco do Orógeno Araçuaí (Figura 2.1).



Figura 2.1 – Orógeno Araçuaí e a Faixa Congo Ocidental em relação ao Cráton São Francisco-Congo. FA, Faixa de Dobramentos Araçuaí; ZI, zona de interferência do orógeno com o Aulacógeno do Paramirim. Crátons: SF-C, São Francisco-Congo; A, Amazônico; SL-OA, São Luis-Oeste África; PP-RP, Paraná-Paranapanema-Rio de la Plata; K, Kalahari (Pedrosa-Soares *et al.* 2007).

Os grandes compartimentos tectônicos do Orógeno Araçuaí são os domínios externo e interno (Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos 2000, Pedrosa-Soares *et al.* 2001), embora exista uma subdivisão mais detalhada em domínios estruturais (Alkmim *et al.* 2006). O domínio tectônico externo compreende o cinturão de dobramentos e cavalgamentos que correspondente à Faixa Araçuaí, vergente contra o Cráton do São Francisco. Este domínio circunscreve a margem do Cráton do São Francisco e exibe metamorfismo de fácies xisto verde a anfibolito crescente de oeste para leste e de norte a sul.

A região aqui estudada situa-se no domínio tectônico interno do Orógeno, que corresponde ao núcleo metamórfico-anatético do mesmo, em que estão expostos os volumosos corpos granitoides derivados das diversas etapas evolutivas da Orogenia Brasileira, o metamorfismo atinge a fácies anfibolito alto e granulito, e ocorre transporte tectônico centrífugo sin-cinemático à foliação regional. Entre os paralelos 17° e 19° S, a parte ocidental deste domínio registra vergência para oeste, enquanto na região oriental, em particular no extremo leste de Minas Gerais e norte do Espírito Santo, observa-se transporte tectônico para leste (Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos 2000, Pedrosa-Soares *et*

al. 2001, 2006, Pinto *et al.* 2001, Alkmim *et al.* 2006, Castañeda *et al.* 2006, Vieira, 2007, Baltazar *et al.* 2007).

2.2 O PLUTONISMO OROGÊNICO

O plutonismo orogênico aqui descrito diz respeito às suítes regionais identificadas por Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos (2000), Pedrosa-Soares *et al.* (2001, 2007, 2008) e Campos *et al.* (2004). Estas suítes numeradas de G1 a G5 e discriminadas com base em relações de campo, feições estruturais, assinatura geoquímica e idades UPb têm suas características adiante resumidas. Esse enfoque é dado devido à relação intrínseca dos corpos pegmatitos com tais suítes.

2.2.1 Suíte G1

A suíte do tipo G1, própria do estágio pré-colisional, consiste de granitoides tipo I, metaluminosos e cálcio-alcálicos, representados principalmente por tonalito e granodiorito, ricos em autólitos dioríticos a máficos, foliados e estirados segundo a foliação regional impressa pela deformação brasileira. O ambiente de formação dessa suíte é propriamente uma margem continental ativa no intervalo de ca. 630 a 585Ma (Nalini-Junior *et al.* 2000, 2005, Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos 2000, Pedrosa-Soares *et al.* 2001, 2008, Campos *et al.* 2004, Silva *et al.* 2005). O embasamento ocorre entre as serras Central e Geral da área e possuem idades paleo a mesoarqueanas. Este embasamento, em tese, prolonga-se para norte e para sul sob a denominação de bloco Itacambira – Monte Azul (Crocco *et al.* 1993).

2.2.2 Intrusivas máficas

Em trabalhos anteriores, os granitos da suíte G2 eram incluídos nos complexos granitoide e gnáissico-kinzigítico da Associação Barbacena-Paraíba do Sul (Fontes *et al.* 1978), e nos complexos Medina e Montanha (Silva *et al.* 1987). O granada-biotita granito foliado da região de Montanha foi interpretado como sintectônico (Silva *et al.* 1987).

Os denominados Granito Ataléia e Leucogranito Carlos Chagas foram utilizadas por Pinto *et al.* (2001) para identificar litotipos relacionados à granitogênese sintectônica. A unidade chamada Granito Ataléia é descrita como um conjunto de biotita granito e granada-biotita granito, foliados, de granulação fina a média, cor cinza, ricos em xenólitos e restitos de paragnaisse e rocha calcissilicática. Segundo Tuller (1997), os contatos do Granito Ataléia com o complexo paragnáissico e o Leucogranito Carlos Chagas são transicionais. Localmente, estes contatos são tectônicos (Pedrosa-Soares *et al.* 2006). O termo Leucogranito Carlos Chagas foi utilizado para distinguir rochas graníticas, leucocráticas, de granulação grossa, estrutura augen, foliadas e dobradas (Pinto *et al.* 2001).

Froede, A.S. 2017. Análise Geofísica do Potencial Pegmatítico na região de Ataléia (MG).

O Leucogranito Carlos Chagas mostra contato geralmente tectônico com o complexo paragnáissico, podendo ser localmente transicional (Pinto *et al.* 2001, Pedrosa-Soares *et al.* 2006, Castañeda *et al.* 2006).

Nalini-Junior *et al.* (2000) apresentam estudos detalhados sobre corpos graníticos a duas micas, sincolisionais (Suíte Urucum), que representam intrusões relativamente rasas da suíte G2, na região de Conselheiro Pena.

A suíte G2 engloba os produtos da granitogênese sin-colisional presente no intervalo 585 – 560Ma no Orógeno Araçuaí (Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos 2000, Pedrosa-Soares *et al.* 2001, 2007, 2008, Silva *et al.* 2005). São granitos peraluminosos, tipo-S, que regionalmente foram afetados pela deformação dúctil do estágio sin-colisional do Orógeno Araçuaí, embora localmente os grandes batólitos possam mostrar porções preservadas desta deformação (Pedrosa Soares *et al.* 2006).

Noce *et al.* (2000) apresentaram idade de cristalização magmática de 591 ± 5 Ma (Pb-Pb, evaporação de zircão) para o Granito Ataléia e Silva *et al.* (2002) de 573 ± 5 Ma (zircão, U-Pb SHRIMP) para o Granito Nanuque. Roncato *et al.* (2007) e Vauchez *et al.* (2007) reportam idades U-Pb SHRIMP muito similares, em torno de 576 Ma, para amostras de diferentes partes do Leucogranito Carlos Chagas.

A suíte G2 ocorre amplamente na região abordada por este trabalho, onde as unidades referidas pelas denominações Ataléia, Carlos Chagas são de particular interesse para a presente dissertação.

2.2.3 Suíte G3

O Supergrupo A rocha característica desta suíte é um leucogranito a granada e/ou cordierita, com textura isotrópica, portanto, livre da foliação dúctil regional (Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos 2000, Pedrosa-Soares *et al.* 2001, 2006, 2007). O leucogranito G3 apresenta pouca ou nenhuma biotita. Resíduos granulíticos, na forma de aglomerados compostos por cordierita, granada, sillimanita, monazita e apatita, podem ocorrer associados ao leucogranito G3. Esta suíte ocorre em menor abundância, comumente na forma de veios e bolsões disformes, ou como corpos isolados de pequenas dimensões (Pedrosa-Soares *et al.* 2006, Castañeda *et al.* 2006).

Os contatos entre granitos das suítes G3 e G2 são transicionais, sem relações intrusivas ou qualquer outra feição que evidencie injeção ou movimento significativo, sugerindo o caráter autóctone a para-autóctone da suíte G3. Assim, o cordierita granada leucogranito da suíte G3 parece ser produto

de fusão parcial essencialmente autóctone de granitos da suíte G2, após o evento de deformação regional do estágio sincolisional do Orógeno Araçuai (Pedrosa-Soares *et al.* 2006).

A temperatura e pressão, calculadas por Castañeda *et al.* (em preparação) a partir de análises de micro-sonda eletrônica, indicam que a suíte G3 cristalizou-se em torno de 815°C e a 5kbar. Esta suíte tem idades de cristalização magmática no intervalo de 545– 520Ma (Whittington *et al.* 2001, Silva *et al.* 2005, 2007, Castañeda *et al.* 2006, Pedrosa-Soares *et al.* 2006) e zircões com núcleos herdados de idade entre 630Ma e 850Ma (Silva *et al.* 2007).

2.2.4 Suíte G4

A Suíte G4 engloba intrusões tardias do tipo-S, compostas de granito a duas micas, granito pegmatóide e rara biotita granito. As intrusões graníticas desta suíte são fontes de grandes pegmatitos ricos em turmalina e minerais de lítio (PedrosaSoares & Wiedemann-Leonardos 2000, Pedrosa-Soares *et al.* 1987, 2001). Os corpos da suíte G4 parecem ser diacrônicos (ca. 535-500Ma) em relação à suíte G3 e podem ser considerados como correspondentes alóctones, mais hidratados e cristalizados em nível crustal mais raso, em relação à Suíte.

2.2.5 Suíte G5

A suíte G5 engloba intrusões tardias do tipo-I, muitas vezes zonadas, constituídas por fácies graníticas, charnockíticas, enderbíticas, noríticas e/ou anortosíticas, sem a foliação regional. Enclaves máficos, evidenciando misturas mecânica (*mingling*) e química (*mixing*) de magmas, e xenólitos de encaixantes são comuns. A assinatura cálcio-alcalina de altos K e Fe é característica desses plútons, permitindo-lhes ser a origem de pegmatitos ricos em água-marinha e topázio. As idades disponíveis para a suíte G5, no intervalo 520-500 Ma, indicam que este plutonismo deve ter ocorrido no estágio pós-colisional do Orógeno Araçuai (Wiedemann *et al.* 1993, 1997, 2002, Noce *et al.* 2000, Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos 2000, Pinto *et al.* 2001, Campos *et al.* 2004, Martins *et al.* 2004, Castañeda *et al.* 2006, Pedrosa-Soares *et al.* 2006).

2.3 GEOLOGIA LOCAL

Este tópico apresenta as principais unidades no contexto da folha Ataléia (Figura 2.2 e Anexo) (Tuller 2000). Entretanto, na área estudada as ocorrências existentes de acordo com o mapa abaixo são do granito Jaceguá, granito Ataléia, leucogranito Carlos Chagas, portanto, serão descritos aqui apenas estes.

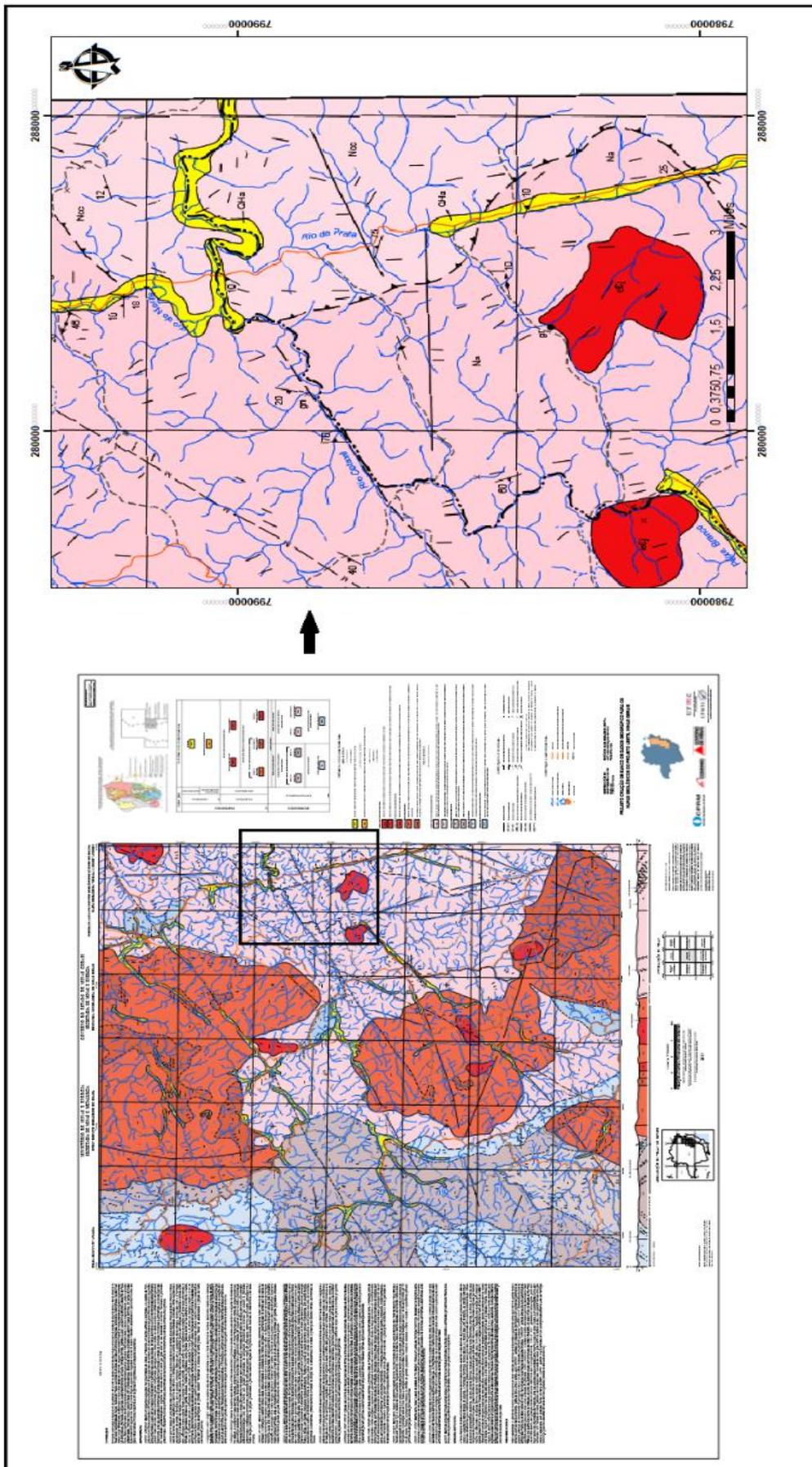


Figura 2.2 - Folha Ataléia mapeada por Tuller (2000) no Projeto Leste da CPRM. Demarcado por uma quadrícula em negro está a área de estudo deste trabalho

2.3.1 Granitos sin- a tarditectônicos

2.3.1.1 Granito Ataléia

Ocorre em uma vasta área sem forma preferencial definida, principalmente no centro leste da folha, ocorrendo nos mesmos corpos graníticos intrusivos, adentrando além da folha Ataléia, as folhas Mucuri, Itabirinha de Mantena e Ecoporanga.

Os corpos desse domínio são bastante variáveis, englobando área de alto grau intempérico até morros ondulados e pães-de-açúcar. O contato com as demais rochas varia entre contatos transicionais (gnaisses kinzigíticos), tectônicos (falha de empurrão) com a Formação Tumiritinga, Tonalito São Vitor e o Leucogranito Carlos Chagas (como pode ser visto na área de estudo) e brusco com os granitos mais jovens (pós e tardi até pós-tectônicos) (Tuller 2000). Segundo Casteñeda (2006), o contato do leucogranito Carlos Chagas com o granito Ataléia é marcado por uma falha de empurrão com indicação do movimento da capa sobre a lapa para direção leste.

A moda da rocha é um granada-biotita tonalito, podendo variar até granodiorito e granito, a granulação é média a grossa, e coloração acinzentada. Comumente apresenta megacristais de feldspato. Na região sudoeste a Ataléia e ao sul de São Miguel observam-se veios monominerálicos (quartzo e/ou feldspato) de espessuras centimétricas, quase sempre concordantes com concentrações de biotita.

A textura do granito varia de hipidiomórfica granular até granoblástica, e a composição é descrita no diagrama QAP (Figura 2.3) variando de tonalítica a granodiorítica, pode chegar ainda a composição granítica (Streckeisen 1976).

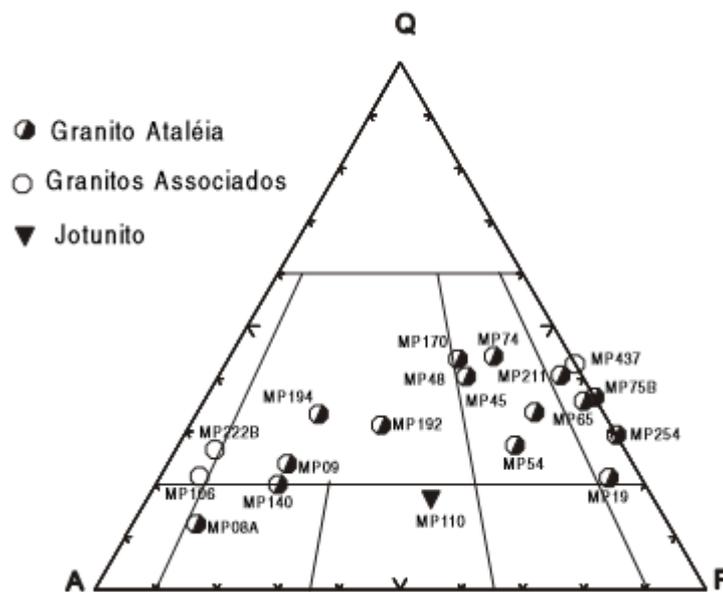


Figura 2.3 - Diagrama QAP (Streckeisen 1976) para o granito

2.3.1.2 Leucogranito Carlos Chagas

De acordo com Tuller (2000), o leucogranito ocorre principalmente no leste da folha até ao sul, adentrando também a Folha Itabirinha de Mantena e a Folha Ecoporanga na porção leste. Apresenta-se com morfologia relativamente plana e baixa, situações nas quais observam-se muitos “murunduns” (áreas formadas por atividades de cupins ou por processos de erosões e sedimentações). O solo desse domínio é bege-claro a branco, arenoso, de baixa fertilidade, vegetação arbustiva, com muitas voçorocas compondo a paisagem e muitas ocorrências de assoreamento de córregos.

O contato com o granito Ataléia ocorre em toda área estudada e é delimitado por uma falha de empurrão, sendo categorizado como contato tectônico; com os granitos mais jovens (suíte intrusiva Aimorés) é brusco.

Segundo Tuller (2000), o litotipo dominante é tipicamente um leucogranito composto de biotita, silimanita e granada, a coloração é esbranquiçada até bege, possui granulação fina a grossa, a textura varia de lepidoblástica até granoblástica, apresenta-se com foliação marcante, é rico em porfiroclastos de quartzo/feldspato estirados de acordo com a foliação. A mineralogia padrão é composta de: quartzo, plagioclásio, microclima, ortoclásio e biotita. O diagrama QAP (Figura 2.4) (Streckeisen 1976) determina a composição como sendo granítica. De acordo com a mineralogia observada, a paragênese metamórfica caracteriza-se como de fácies anfibolito alto.

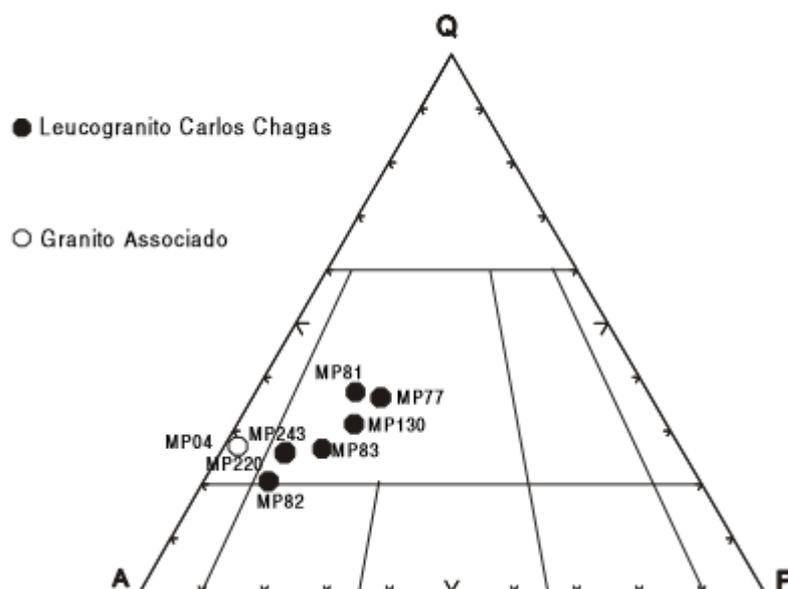


Figura 2.4 - Diagrama QAP (Streckeisen 1976) para o leucogranito Carlos Chagas.

2.3.2 Granitos pós-Tectônicos

2.3.2.1 Granito Jaceguá

A O granito Jaceguá ocorre em formas de diques e “stocks” no quadrante centro-sul e sudeste da folha. Suas intrusões ocorrem nos granitos Ataléia e Caladão, sua morfologia é de morros altos e extensos pães-de-açúcar.

A mineralogia padrão é composta por quartzo, plagioclásio, microclima, biotita e ortoclásio. A textura é hidiomórfica granular porfirítica e de acordo com o diagrama QAP (Streckeisen 1976) (Figura 2.5) varia entre granítica e sienítica. O litotipo dominante é o biotita álcali-feldspato granito, de coloração marro a cinza-claro, e quando mais intemperizado apresenta-se amarelado (Tuller 2000).

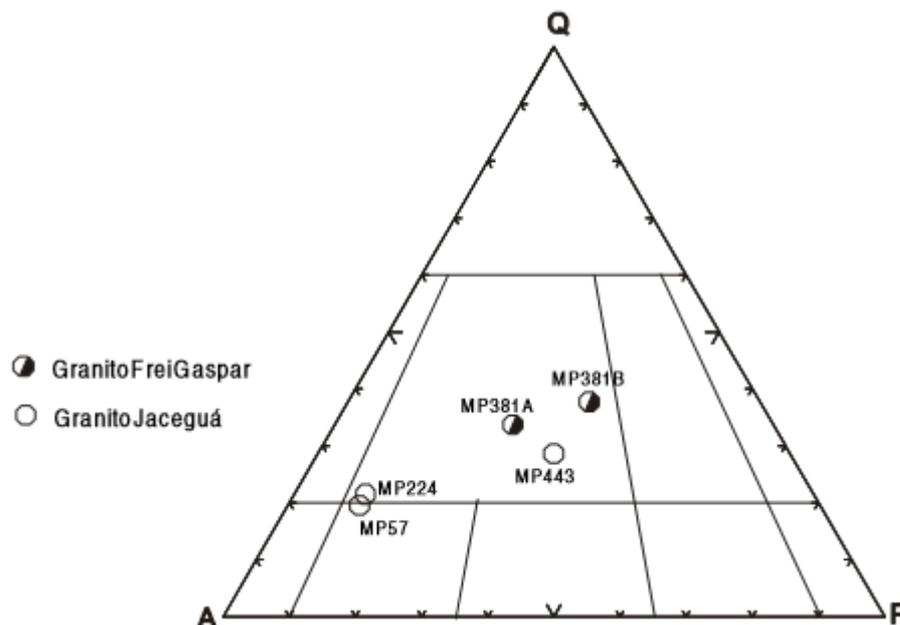


Figura 2.5 - Diagrama QAP (Streckeisen 1976) para o granito Jaceguá.

2.4 GEOLOGIA ESTRUTURAL LOCAL

Segundo Tuller (2000), dividiu-se a folha Ataléia em três domínios estruturais (oriental, ocidental e dos granitos), sendo a porção relativa à área de estudo o domínio oriental, presentes o granito Ataléia, leucogranito Carlos Chagas e granito Jaceguá.

As observações feitas por Tuller (2000) descrevem que o metamorfismo da área é crescente de oeste para leste, assim como a deformação. Predominam mergulhos de baixo ângulo para direção leste (NS/45) (Figura 2.6). As feições observadas durante o mapeamento implicam em feições estruturais (falhas e/ou fraturas) com direções preferenciais NE e NW.

Romeiro (1998), descreve que em uma operação da mina de Cachoeira, no município de Araçuaí, pela Companhia Brasileira de Litio (CBL), os corpos mineralizados do local estão voltados para NW. Este fato é de grande importância para o estudo, vez que os corpos pegmatíticos estudados estão na mesma província pegmatítica.

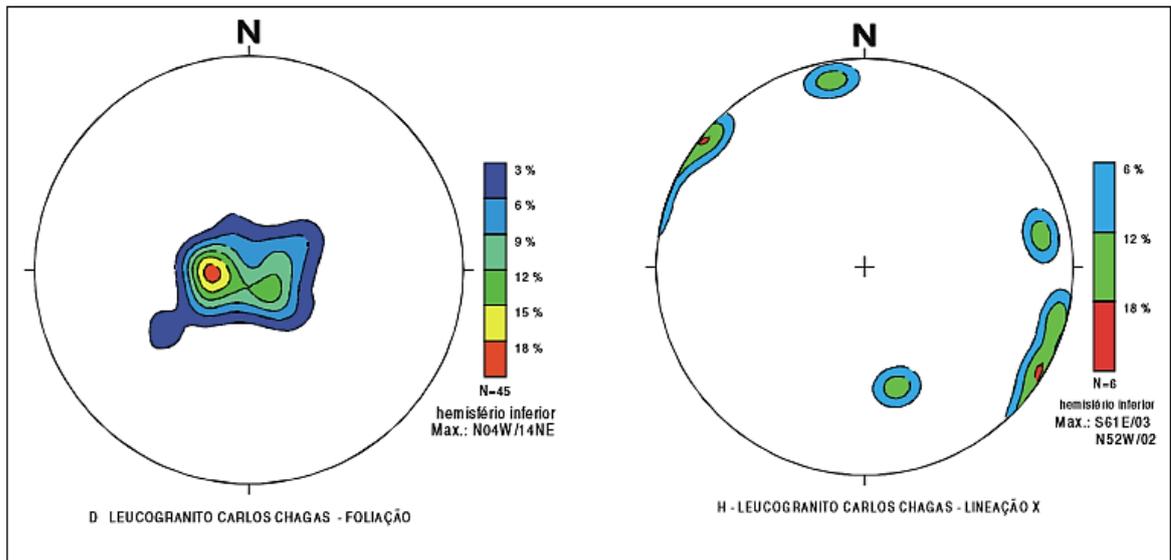


Figura 2.6 - Foliações e lineações relativas ao leucogranito Carlos Chagas, adaptado de Tuller (2000).

CAPÍTULO 3

GEOLOGIA ECONÔMICA

3.1 INTRODUÇÃO

A área estudada faz parte da Província Pegmatítica Oriental (Figura 3.1), sendo esta a maior das províncias conhecidas no país, com cerca de 800km de extensão por 100 a 150km de largura, estendendo-se de NNE para SSW ao longo de Minas Gerais e Bahia (Correia-Neves 1986). O Projeto Lestes cadastrou nessa província 662 pegmatitos, sendo que, a região de estudo está agrupada ao Distrito Ataléia (Campo Pegmatítico Ataléia – Fidelândia) (Netto & Araújo 1997, Netto *et al* 1998). De acordo com Marques de Souza (1999), os minerais mais explorados nessa Província foram as micas, turmalinas (verdelitas, rubelitas e indicolitas), feldspatos (albita, microclina etc), espodumênio, quartzos (hialino, róseo e biterminado), caulins para fins cerâmicos, berilos gemológicos (morganita, água-marinha, heliodoro e berilo azul), berilo industrial, columbita-tantalita e cassiterita.

Pegmatitos, por definição, são rochas holocristalinas, que apresentam como característica marcante a granulação muito grosseira, cujos maiores constituintes são minerais encontrados tipicamente em rochas ígneas comuns, mas com grande variedade no que se refere ao tamanho dos grãos (JAHNS, 1955). São comumente rochas ígneas, principalmente granitóides, e ocorrem em veios/diques ou em massas de contatos irregulares.



Figura 3.1 - Localização da Província Pegmatítica Oriental do Brasil e região estudada pelo presente Trabalho de Conclusão de Curso, modificado de Pedrosa Soares *et al.* (2009).

De acordo com Tuller (1997), os bens de maior interesse econômico na região abrangida pela Folha Ataléia estão relacionados a pegmatitos, como água marinha, quartzo rosáceo e turmalina. Além

desses bens minerais, rocha ornamental, pedra de talhe e brita. A água marinha é extraída por processos de garimpagem de pegmatitos, como exemplo, cita-se o garimpo do Avião na região noroeste de Ataléia, os quartzos rosáceos são extraídos de aluviões do córrego São Fidelis a sul de Ouro Verde de Minas e a turmalina através de lavra subterrânea de pegmatitos próxima a Nova União.

Dentro da área de estudo, cerca de 100km², estão abertos 24 processos para 2 tipos de substâncias diferentes (DNPM 2017), destacando-se a quase totalidade de processos para exploração de granito e apenas um único requerimento para diorito (Figura 3.2).

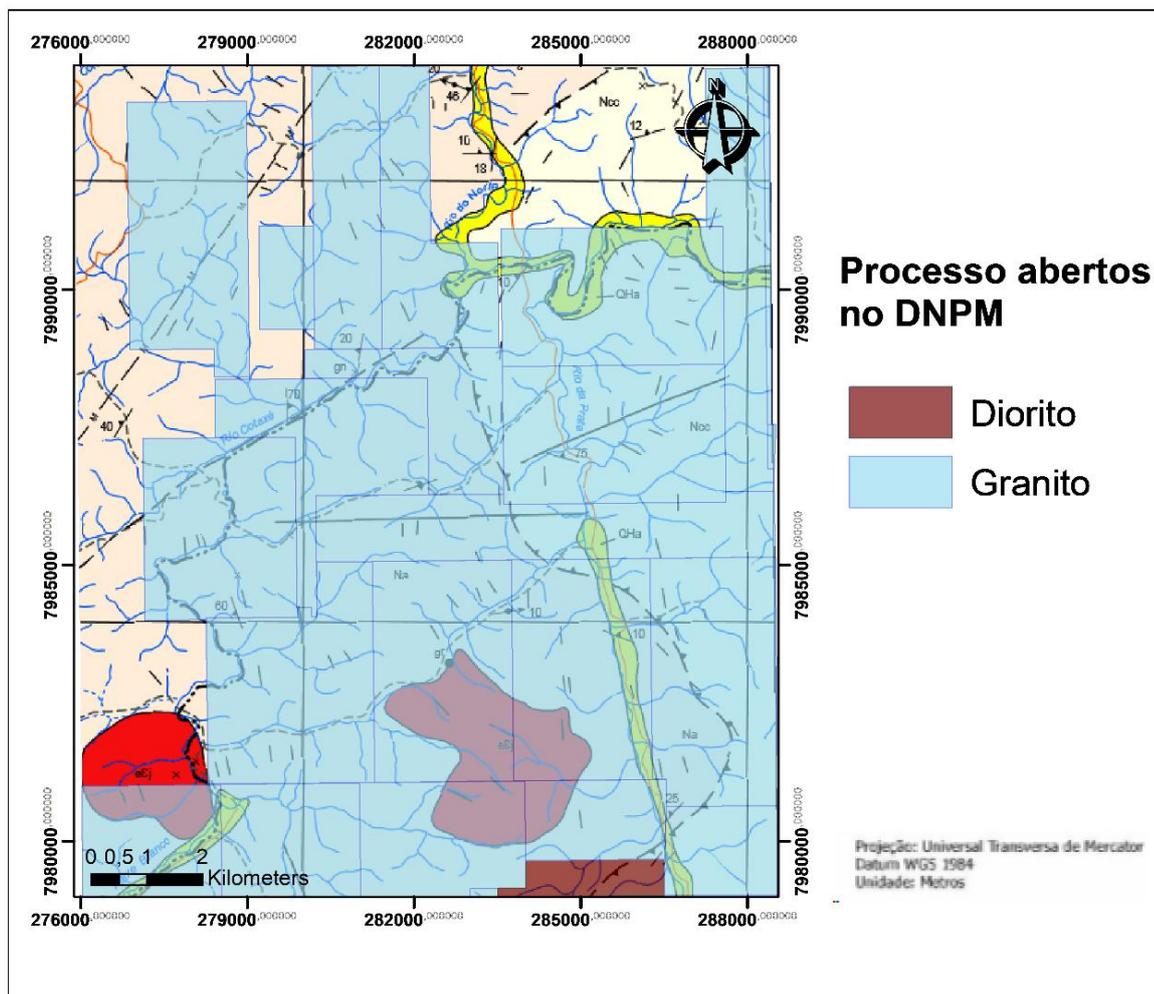


Figura 3.2 –Folha Ataléia sobreposta pelas shapes de processos abertos para extração mineral, adaptado de DNPM (2017).

3.2 GEMAS DA REGIÃO

3.2.1 Berilo

O mineral berilo é conhecido desde a antiguidade, e seu nome vem do latim *beryllus*, palavra aplicada para designar gemas verdes. O mineral é composto quimicamente por um silicato de alumínio e berílio, pode ser utilizado de forma industrial ou como gemas, recebendo diferentes nomes de acordo com a variação de sua cor.

O berilo industrial ocorre nas cores branca, verde pálida ou verde amarelada. Enquanto o berilo gemológico apresenta-se nas seguintes cores e respectivos nomes (Figura 3.3): verde-grama para esmeraldas; azul intenso a azul-esverdeado para água-marinha; amarelo-limão a amarelo-dourado

quando heliodoro ou berilo dourado; rosa-chá a rosa-salmão para morganita/vorobyevita; incolor ou branca para goshenita e variados tons de vermelho para bixbita (Cunningham 2003).

Esse mineral possui ocorrência em diversos locais e ambientes, sendo que o berilo comercializado como gema está associado a pegmatíticos graníticos e algumas vezes pode estar presente em depósitos secundários em aluviões ou eluviões.



Figura 3.3 – A. Esmeralda, Itabira – MG; B. Água-Marinha, Mina de Piteiras, Nova Era – MG; C. Heliodoro, MG; D. Morganita, Galiléia – MG; E. Bixbita, Utah – USA; F. Goshenita, Conselheiro Pena – MG. Fonte: <http://www.mindat.org>, acesso em 26 de agosto de 2017.

3.2.1.1 Água-Marinha

O nome água-marinha deriva do latim *agua marinus*, ou água do mar, sendo esta sua cor característica, pode ainda ocorrer em tons: azul, azul-esverdeado, verde-amarelado e verde-azulado e azul-escuro. As diferentes tonalidades estão associadas aos teores de Fe, em caso especial a cor azul escura, que está relacionada à presença de bário.

A água-marinha é provavelmente a maior contribuinte para a primazia brasileira entre os gemólogos e mineralogistas. O país possui um grande número de jazidas, entretanto são pouco conhecidas (Ferraz 1929, Calmbach 1938, Sinkankas 1981). As jazidas primárias do Brasil são pegmatíticas, sendo as grandes jazidas primárias e secundárias de água marinha concentrando-se entre

gnaiesses. O essencial de jazidas de água-marinha encontra-se na zona mais diferenciada, portanto, no topo ou sobre os flancos íngremes de *inselbergs* em regiões cuja morfologia se caracteriza pela presença marcante de pães-de-açúcar, e principalmente onde as alterações químicas predominaram sobre as alterações físicas.

Um tipo importante de depósito de água-marinha no Brasil são os de *placers* aluviais. Eles se estendem sobre o sul da Bahia até o sul do Espírito Santo, e ainda no sudeste de Minas Gerais. As zonas de produção aluvionar mais conhecidas estão presentes no vale do rio Marambaia e nas proximidades de Catugi. Na região do Vale do Mucuri, por onde corta o rio Mucuri, encontram-se jazidas de menor porte, como Pedra Azul, Medina, e próximo a Ataléia, na lavra do Avião, todos situados em Minas Gerais; no vale do rio Pontes, perto de Domingos Martins, no Espírito Santo, e em Jaquetó e Juerana na Bahia (Cassedanne 1991). Na Figura 3.5, exemplos de águas-marinhas comercializadas em Teófilo Otoni (MG), extraídas da região de Ataléia (MG).



Figura 3.5 –Águas-Marinhas da região de Ataléia (MG), brutas e lapidadas do acervo pessoal.

3.2.2 Ametista

Dentre os minerais da família da sílica, o quartzo violeta, chamado popularmente de ametista (Figura 3.6) é o mais apreciado e comercialmente valorizado, sendo utilizado pelo homem desde os

primórdios da civilização (Frondele 1962, Webster 1983). Segundo O'Donoghue (1987), existem relatos na literatura do uso de ametista na Antiguidade, sendo esta proveniente do Egito, Sudeste Asiático, Montes Urais e Oeste Europeu.



Figura 3.6 – Ametista em geodo, e apenas seu cristal. Fonte: <http://www.mindat.org>, acesso em 27 de agosto de 2017.

A ametista pode ser lapidada para uso em joias, ou os geodos em que estão contidas como peças ornamentais ou de coleção (Juchem *et al.* 1990). É muito usual o tratamento térmico da ametista, provocando alteração de sua cor natural, produzindo cristais amarelos, amarelo-avermelhados a diferentes tons vermelhos, a qual lembra o citrino, sendo comercializada pelo nome popular de “topázio gaúcho”.

No atual cenário mundial, o Brasil é um dos maiores produtores deste mineral, sendo o maior produtor o estado do Rio Grande do Sul. Em Minas Gerais os primeiros veios de quartzo com ametista foram descobertos na década de 40 no município de Felício dos Santos, na Cordilheira do Espinhaço, atualmente a atividade está paralisada (Chaves & Coutinho 1992). Além de jazidas na Cordilheira do Espinhaço, são conhecidas jazidas em: Rio Prado de Minas (Chaves & Coutinho 1992); Serra do Sudário, município de Vermelho Novo (Campos *et al.* 1998); e, por fim, em Viçosa, Ataléia e Itamarandiba (Svisero & Franco 1991).

3.2.3 Turmalina

A origem do nome Turmalina está associada à palavra “turмали”, do cingalês, cujo significado está relacionado com sua capacidade de atrair o pó, devido as suas propriedades piroelétricas, era comumente utilizada pelos holandeses para limpar cachimbos. O nome, assim como o mineral, teve

seus primeiros registros na Holanda, em 1703 sendo as pedras preciosas oriundas do Ceylão, atual Sri Lanka. Este nome foi utilizado por antigos mercadores holandeses para se referir às misturas de gemas de identidades não comprovadas (Dietrich 1985)

A turmalina é um mineral tipicamente de pegmatitos graníticos, filões pneumatolíticos e de alguns granitos, podendo aparecer também em rochas metamórficas, como um produto do metassomatismo do boro e/ou como resultado da recristalização de grãos detríticos, do sedimento original (Deer *et al.* 1962). Em rochas graníticas, as turmalinas pertencem à série “schorlita” – elbaíta e são geralmente ricas em ferro. Alguns pegmatitos e no material da fase final dos filões graníticos, desenvolvem turmalinas de lítio, apresentando comumente uma variação na cor e composição, de acordo com sua posição no pegmatito. Em associações pneumatolíticas eruptivas os minerais associados à turmalina podem ser: topázio, lepidolita, petalita, espodumênio, cassiterita, fluorita, apatita, columbita, etc, (Deer *et al.* 1962).

As turmalinas ricas em Mg são chamadas de dravitas, de cor marrom. As ricas em Fe são os schorl e são pretas, sendo uma variedade muito comum de turmalina. Na série da elbaita existe uma grande variação de cor, desde a rubelita, com Mg e pouco Fe, até uma variação esverdeada, a verdelita, e uma azul, indicolita. Schorl e turmalinas ricas em Li são mais encontradas em granitos e pegmatitos graníticos. Já as dravitas estão comumente restritas a xistos e mármore.

No Brasil podemos encontrar quase todas as variedades de turmalina (Figura 3.7), principalmente em Minas Gerais e na Bahia. Destaca-se ainda a turmalina Paraíba, típica do estado da Paraíba, de alto valor comercial.

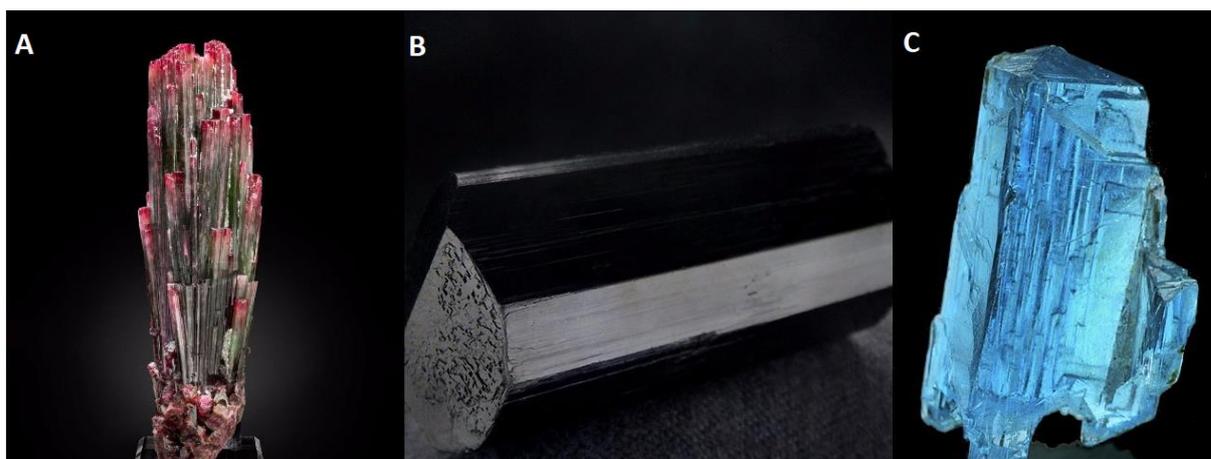


Figura 3.7 – Algumas variações de turmalinas encontradas no Brasil: A. Elbaíta, Santa Maria do Suaçuí (MG); B. Schorl, Galiléia (MG); C. Turmalina Paraíba, São José da Batalha, Salgadinho (PB). Fonte: <http://www.mindat.org>, acesso em 28 de agosto de 2017.

CAPÍTULO 4

MÉTODOS GEOFÍSICOS

4.1 INTRODUÇÃO

A superfície terrestre é composta por rochas de variados tipos, sendo que, cada uma possui suas próprias propriedades físicas, portanto cada litotipo apresentará características únicas. Nesse sentido, a investigação geofísica realizada em superfície e subsuperfície propicia informações sobre a composição e estrutura do interior da Terra. As medidas obtidas são influenciadas de acordo com a distribuição interna das propriedades físicas, e variam vertical e lateralmente

Existem vários métodos geofísicos, cada um é sensível a uma determinada propriedade física (Tabela 4.1) e, devido à ambiguidade e incertezas que são inerentes aos métodos, são necessários tratamentos e correções para minimizar esses efeitos.

Tabela 4.1 - Domínios e subdomínios estruturais propostos por Bertoldo (1993) para os domínios fisiográficos das serras Geral, Central e Palmas de Monte Alto.

Propriedade física	Método geofísico
Densidade	Gravimetria
Susceptibilidade Magnética	Magnetometria
Condutividade Elétrica	Métodos Elétricos ou Eletromagnéticos
Radioatividade	Radiometria
Elasticidade	Sísmica
Condutividade Térmica	Termometria
Luminescência	Método da Luminescência

Neste capítulo serão apresentados e descritos os fundamentos dos métodos geofísicos utilizados no presente trabalho, magnetometria e radiometria.

4.2 MAGNOMETRIA

A magnetometria propõe a investigação da subsuperfície a partir de anomalias do campo magnético terrestre geradas pelas propriedades magnéticas das rochas (Kearey *et al.* 2009). A utilização desse método geofísico teve início no século XX e, atualmente, apresenta-se como uma das técnicas mais importantes para prospecção de bens minerais em subsuperfície e para óleo e gás, devido ao seu relativo baixo custo financeiro e a pouca necessidade de correção de dados.

A magnetização de cada tipo de rocha é dada pela sua susceptibilidade magnética, ou seja, depende da quantidade e do modo de distribuição dos minerais magnéticos - magnetita, ilmenita, pirrotita, etc. - presentes nela. A concentração desses minerais produz distorções locais no campo magnético da Terra, sendo o estudo dessas distorções a base da Magnetometria (Telford *et al.* 1990, Kearey *et al.* 2009).

4.2.1 Campo Magnético Terrestre

O campo magnético terrestre pode ser analisado por três componentes: um campo principal, que varia lentamente; um campo menor, que possui rápida variação; e as variações espaciais do campo principal, que são comumente menores que as do campo principal, relativamente constantes no tempo e espaço e são causadas pelas anomalias magnéticas locais da crosta terrestre. Os últimos são os alvos durante a prospecção geofísica pelos métodos magnéticos, os quais são ocasionados principalmente pela magnetita, pirrotita e ilmenita (Telford *et al.* 1990).

O campo magnético terrestre pode ser representado 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 H é a inclinação magnética (I) e o ângulo que a componente H faz com o norte geográfico é a declinação magnética (D) como ilustra a Figura 4.1. Por convenção, o Campo magnético é positivo no polo Norte e negativo no polo Sul (Telford *et al.* 1990).

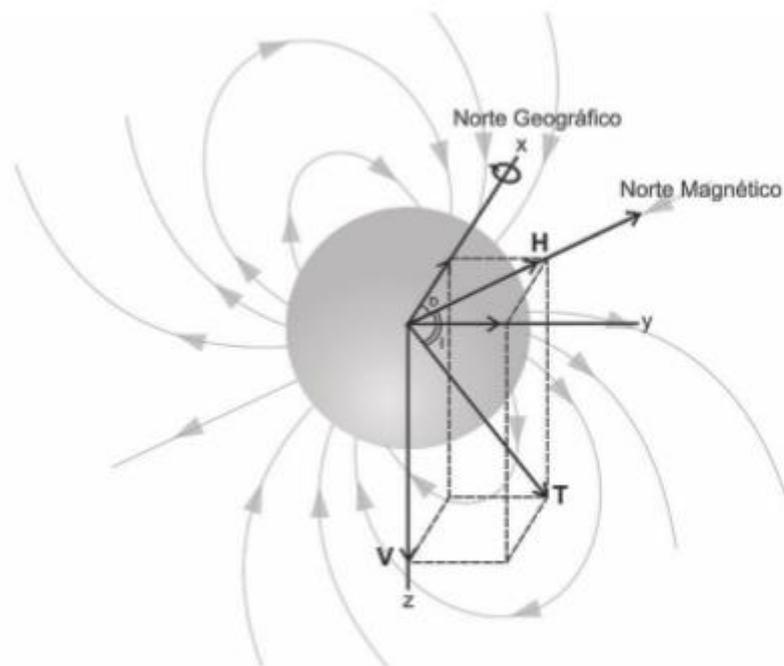


Figura 4.1 - A) Elementos do campo geomagnético e os vetores do campo magnético (traduzido de Telford *et al.* 1990).

Froede, A.S. 2017. Análise Geofísica do Potencial Pegmatítico na região de Ataléia (MG).

De acordo com Kearey *et al.* (2009), o campo magnético produzido por forças internas no planeta sofre interferência de contribuições externas, e a união dos campos produz dois fenômenos que interferem nos dados gerados, portanto, devem ser levados em consideração para análises magnetométricas, são eles: a variação diurna e as tempestades magnéticas.

A variação diurna é caracterizada pela alternância da intensidade do campo magnético no decorrer de 24 horas, resulta em movimentos de aquecimento parcial da ionosfera, deve ser registrado em levantamentos para que as correções adequadas sejam realizadas. O fenômeno das tempestades solares ocorre em consequência da interação entre o campo magnético principal do planeta e as emissões de plasma solar, esse feito impossibilita o levantamento magnetométrico de ser feito devido sua grande intensidade.

4.2.2 Susceptibilidade Magnética e Magnetização das Rochas

A magnetização das rochas é condicionada à quantidade de minerais ferromagnéticos presentes na mesma, assim como a susceptibilidade magnética das mesmas. Devido à pequena quantidade de minerais magnéticos presentes na constituição da maioria das rochas, estas possuem baixa susceptibilidade magnética (Kearey *et al.* 2009).

Para o uso da magnetometria, devem-se conhecer as propriedades magnéticas dos materiais. Segundo Kearey *et al.* (*op cit.*), os materiais magnéticos podem ser classificados como diamagnético, paramagnético e ferromagnético, havendo diferenças nas intensidades de sua magnetização, condicionadas pelo spin e a trajetória dos elétrons no átomo:

Materiais diamagnéticos: adquirem magnetização de intensidade fraca e sentido contrário ao do campo magnético aplicado. A intensidade menor da magnetização deve-se ao fato do pequeno valor de susceptibilidade magnética dessas substâncias, sendo que o sentido contrário ao do campo permite que se atribua um sinal negativo à sua susceptibilidade. Os exemplos de substâncias diamagnéticas são o mármore, o quartzo, a grafita, o feldspato, anidrita, bismuto, cobre, prata, chumbo.

Materiais paramagnéticos: a magnetização desse tipo de material ainda é considerada fraca em detrimento de sua baixa susceptibilidade. Quando se aplica um campo magnético externo, seus elétrons rotacionam e produzem um campo no mesmo sentido daquele aplicado, ocasionando então uma susceptibilidade positiva. Dentre as substâncias paramagnéticas destacam-se: pirita, biotita, piroxênio, dolomita, sienito, olivina, alumínio, magnésio e sulfato de cobre.

Materiais ferromagnéticos: possuem susceptibilidade magnética elevada e positiva, o que lhes confere uma magnetização de alta intensidade no mesmo sentido do campo. A temperatura de Curie é

o ponto limítrofe a partir do qual um material perde a sua característica ferromagnética e passa a se comportar como paramagnética, ou seja, a altas profundidades, as rochas que apresentam minerais com alta susceptibilidade podem perder sua magnetização, devido à alta temperatura. Dentre os minerais ferromagnéticos tem-se: magnetita, pirrotita, titanomagnetita e maghemita. Corpos intrusivos máficos, por vezes com minério em sua composição, são causas comuns de anomalias magnéticas.

Na natureza existem dois tipos de magnetização de rochas, a magnetização induzida e a residual. A magnetização induzida é provocada pelo campo magnético atual da Terra e age nos minerais paramagnéticos. A magnetização residual remanescente é a originada durante a sua formação (rochas ígneas e sedimentares) ou transformação (rochas metamórficas), é normalmente associada a materiais ferrimagnéticos. Cada tipo de rocha pode apresentar diferentes valores de susceptibilidade magnética, mas existe uma tendência das rochas sedimentares, metamórficas e as ígneas ácidas apresentam baixos valores de susceptibilidade e as rochas ígneas básicas apresentam valores mais elevados, como indicado na Figura 4.2.

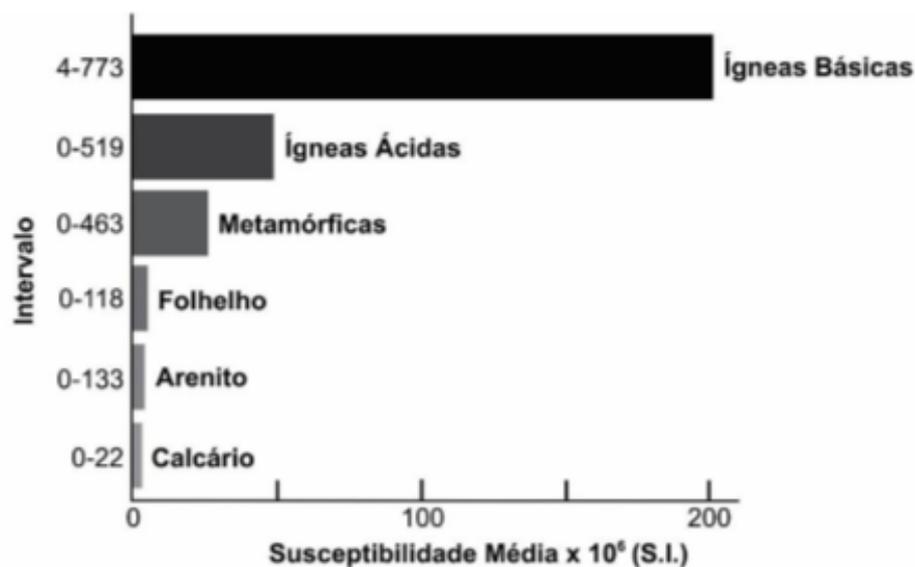


Figura 4.2: Histograma mostrando os valores médios e intervalos de susceptibilidade de tipos de rochas mais comuns. (traduzido de Kearey *et al.* 2009).

4.2.3 Anomalias Magnéticas

Anomalias magnéticas são variações de intensidade, inclinação e declinação que ocorrem no campo magnético total. Tais variações são condicionadas pela composição das rochas e a presença ou não de minerais com propriedades magnéticas. Todas as anomalias magnéticas causadas por rochas causam interferência no campo magnético normal da Terra.

O campo magnético da Terra influencia de maneira diferente os diferentes minerais e elementos químicos que compõe a crosta terrestre, e isto está relacionado diretamente a composição e proporção disponível de cada um. Segundo Kearey *et al.* (2009), o campo magnético da Terra provoca um campo secundário induzido nas rochas que contém mineral magnético. Um corpo colocado num campo magnético \mathbf{H} adquire uma magnetização induzida \mathbf{M} proporcional:

$$\mathbf{M} = \kappa \mathbf{H}, \text{ sendo } \kappa \text{ a susceptibilidade magnética dos minerais.}$$

Nos levantamentos magnetométricos são realizadas medidas do campo magnético total em determinada posição do espaço, sendo que o campo magnético total é o somatório de toda contribuição magnética do meio, incluindo a rocha sobre investigação, o campo geomagnético, variações magnéticas diurnas ou outras variações magnéticas eventuais de origem externa (Kearey *et al.* 2009). Para se delimitar as anomalias magnéticas é necessário fazer correções para eliminar essas contribuições não desejadas.

4.2.4 Filtragem de Dados

Filtragem de dados são técnicas matemáticas que possibilitam realçar ou atenuar feições lineares ou planares, separando o sinal da fonte de interesse daquele sinal produzido pelas fontes indesejáveis, os denominados ruídos. Permite separar também o sinal produzido por heterogeneidades próximas da superfície ou na interferência entre fontes rasas e profundas, assim, fornece reconhecimento das anomalias com melhor qualidade.

A filtragem é realizada utilizando-se a Transformada de Fourier, que manipula os dados no domínio da frequência (Kearey *et al.* 2009). Os principais filtros utilizados são gradiente vertical, gradiente horizontal, passa alta, passa baixa, passa banda, continuação para cima, derivadas em x, y e z, dentre outros (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Filtros de Fourier com respectivas finalidades geofísicas (modificado de Kearey *et al.* 2009).

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

4.2.5 Deconvolução de Euler

A deconvolução de Euler é a técnica que permite estimar a posição e a profundidade de topo das anomalias magnéticas e gravimétricas em subsuperfície, e é baseada na equação homogênea de Euler (Reid *et al.* 1990):

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

Sendo N a medida de taxa de variação que depende da fonte magnética, T (x, y, z) a anomalia de campo total produzida pela fonte pontual tridimensional localizada na coordenada x_0 , y_0 , z_0 de um sistema cartesiano dextral.

A deconvolução de Euler não obedece a um determinado modelo geológico, mas a valores experimentais do índice estrutural. O índice estrutural (Tabela 4.3) é usado para interpretar como se dá a homogeneização de um corpo utilizando modelos simplificados, uma vez que as geometrias dos corpos geológicos, que produzem uma anomalia em um campo potencial, são diferentes e complexas, aparecendo em diferentes latitudes, posições espaciais e profundidades e gerando diferentes tipos de anomalia.

Deve ser lembrado que o método da deconvolução de Euler é matemático e fornece as melhores soluções para um determinado conjunto de variáveis e não avalia critérios geológicos. Portanto, para que o método tenha efetividade geológica, é necessário haver conhecimento prévio do arcabouço geológico da região estudada, de forma a integrar as informações fornecidas pelo método com o conhecimento geológico.

Tabela 4.3. Relação do índice estrutural com os modelos físicos e geológicos (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	Pipe
3,0	Esfera	Diápiro

4.3 RADIOMETRIA

O uso de levantamentos radiométricos são de grande importância no auxílio de mapeamentos geológicos de superfície em que os diferentes tipos de rochas são reconhecidos pelas assinaturas radioativas. Há mais de 50 isótopos radioativos de ocorrência natural, mas a maior parte é rara ou somente muito fracamente radioativa. Os elementos de maior interesse em exploração radiométrica são o equivalente do urânio (^{238}eU), o equivalente do tório (^{232}eTh) e o potássio, (^{40}K). Os isótopos destes elementos químicos desintegram-se espontaneamente e emitem partículas que liberam energia na forma de radiação eletromagnética (Kearey *et al.* 2009).

A interpretação dos dados radiométricos tem como objetivo delimitar áreas com diferentes níveis de radioatividade de elementos equivalentes do urânio, equivalentes do tório e do potássio, elaborando desse modo mapas de unidades radiométricas. Esses mapas indicam de uma forma qualitativa a distribuição dos três radioelementos nos materiais de superfície (Kearey *et al.* 2009).

4.3.1 Radioatividade Natural

Os elementos cujos núcleos atômicos contêm o mesmo número de prótons e diferentes números de nêutrons, são chamados isótopos, são formas de um mesmo elemento químico com diferentes pesos atômicos. Determinados isótopos são instáveis e podem se desintegrar para formar outros elementos.

A desintegração pode relacionar-se com a emissão de 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 durante determinadas desintegrações. Os raios γ são puras radiações eletromagnéticas liberadas por núcleos excitados pela emissão de uma partícula α ou β . Essas emissões radioativas possuem propriedades penetrativas muito diferentes, das quais as partículas α não podem ser detectadas em nenhum levantamento radiométrico e as partículas β , somente em levantamentos de solo. Dessa forma, os raios γ , por possuírem frequências mais altas que 1016Hz dentro do espectro e serem mais penetrativos, são os mais utilizados nos levantamentos radiométricos aerotransportados (Kearey *et al.* 2009).

4.3.2 Radioatividade das Rochas e Minerais

A radioatividade natural das rochas (Figura 4.3) tem origem na presença de elementos químicos, são eles: urânio (U), tório (Th) e potássio (K). Esses elementos são os principais alvos de interesse nos levantamentos radiométricos.

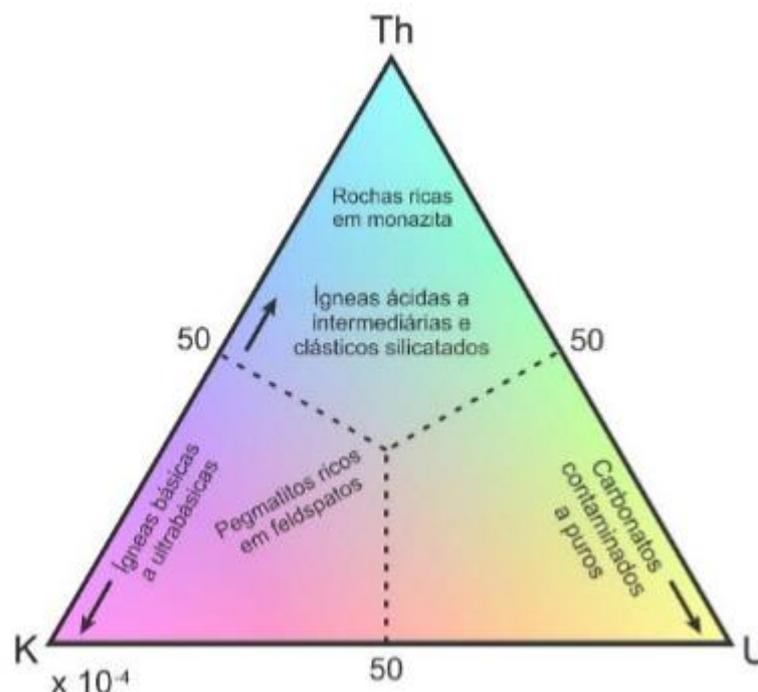


Figura 4.2 - O gráfico ternário mostrando a abundância relativa de elementos radioativos em diferentes tipos de rochas (modificado de Kearey *et al.* 2009).

A transformação das contagens por segundo em concentrações de K (potássio - %), eU (equivalente urânio - ppm) e eTh (equivalente tório - ppm) possibilita extração de informações que auxiliam, por exemplo, na identificação de áreas alteradas hidrotermalmente e explorar suas relações com os processos mineralizantes em vários ambientes geológicos (Dickson & Scott 1997).

Existem algumas relações para os tipos de rochas e presença de elementos radioativos, em rochas ígneas a presença dos mesmos pode ser correlacionada à presença de sílica (Figura 4.4), sendo que há maior presença de elementos radioativos em rochas ácidas, em relação às intermediárias, básicas e ultrabásicas. Andesitos com baixo teor em potássio, vulcânicas intermediárias e vulcânicas ácidas têm um relativo aumento no conteúdo de tório e baixos valores para urânio e potássio, ao passo que vulcânicas ultramáficas, vulcânicas máficas e intrusivas máficas têm baixos conteúdos de elementos radioativos, mas com relativo aumento no conteúdo de tório (Dickson & Scott 1997).

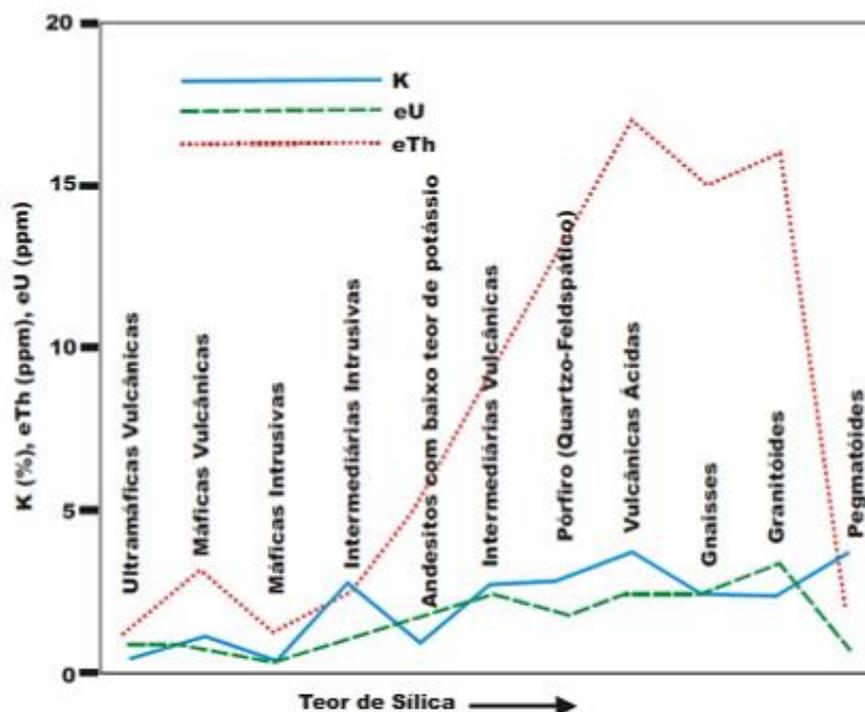


Figura 4.3 – Variação na média do conteúdo de K, eTh, eU para rochas ígneas intrusivas e extrusivas com aumento no conteúdo de sílica (modificado de Dickson & Scott 1997).

No caso de rochas sedimentares, elas geralmente refletem o conteúdo de radioelementos originados da rocha fonte. Nota-se que em sedimentos imaturos derivados de rochas graníticas pode-se esperar um aumento no seu conteúdo, mas em sedimentos imaturos ricos em quartzo podem-se esperar baixos valores. Os dados disponíveis para rochas metamórficas sugerem que, dependendo de qual

protólito originou-se a rocha o metamorfismo não afeta o conteúdo dos radioelementos. Em geral, a radioatividade em rochas sedimentares e sedimentos metamorfizados é mais alta que em rochas ígneas e outros tipos de metamórfica, com exceção de granitos ricos em potássio (Telford *et al.* 1990).

A relação entre radioelementos utilizados nos levantamentos e os minerais radioativos mais comuns e suas ocorrências (Tabela 4.4) foram categorizados e apresentados segundo Telford *et al.* (1990).

Tabela 4.4 - Principais minerais radioativos e modos de ocorrência (modificado de Telford *et al.* 1990).

Mineral Radioativo	Mineral	Ocorrência
Potássio (K)	Feldspato ortoclásio e microclínio	Principais constituintes em rochas ígneas ácidas e pegmatitos.
	Muscovita	
	Alunita	Alteração em rochas vulcânicas.
	Silvita, carnalita	Depósitos salinos em sedimentos.
Tório (Th)	Monazita	Granitos, pegmatitos, gnaisses.
	Torianita	Granitos, pegmatitos pláceres.
	Torita, uranotorita	
Urânio (U)	Uraninita	Granitos, pegmatitos, veios de Ag, Pb, Cu, etc..
	Carnotita	Arenitos.
	Gumita	Associação à uraninita.

O urânio primário pode ser encontrado em minerais à 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, descobertas em granitos, pegmatitos e veios hidrotermais; carnotita, que pode ocorrer em arenitos; gumita, produto de alteração da uraninita; folhelhos negros carbonosos; rochas sedimentares carbonáticas (Telford *et al.* 1990).

A monazita e o zircão são os principais minerais de tório, 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).

No que diz respeito à pesquisa mineral, a principal aplicação da radiometria é em prospecção de óleo e gás. A ferramenta mostra-se também bastante útil na prospecção de depósitos de elementos radioativos ou não radioativos com elementos radioativos associados. E, pode-se ainda, em associação com outros métodos geofísicos, identificar áreas com metamorfismo hidrotermal e explorar processos de mineralização em diferentes contextos geológicos (Telford *et al.* 1990).

CAPÍTULO 5

ANÁLISE QUALITATIVA

5.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a metodologia aplicada no processo de obtenção dos mapas geofísicos gerados, magnetométricos e radiométricos. Ainda, a análise qualitativa dos mesmos concomitantes à integração com os dados geológicos da região de estudo.

5.2 BANCO DE DADOS GEOFÍSICOS

O banco de dados aerogeofísicos utilizados no presente trabalho é resultado do Projeto Espírito Santo (Figura 5.1). Este projeto foi executado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), no qual foram levantados dados magnetométricos e radiométricos de uma área de aproximadamente 58.346km², escala 1:500.000. A altura de voo foi de 100m, com a direção das linhas de produção N-S e linhas de controle E-W. O intervalo entre as amostragens foi de 0.1s para magnetometria e 1s para gamaespectrometria.

O levantamento foi realizado pela empresa Prospectors Aerolevantamentos e Sistemas LTDA, contratada pela CPRM para execução do serviço, e aconteceu entre fevereiro e agosto de 2010.

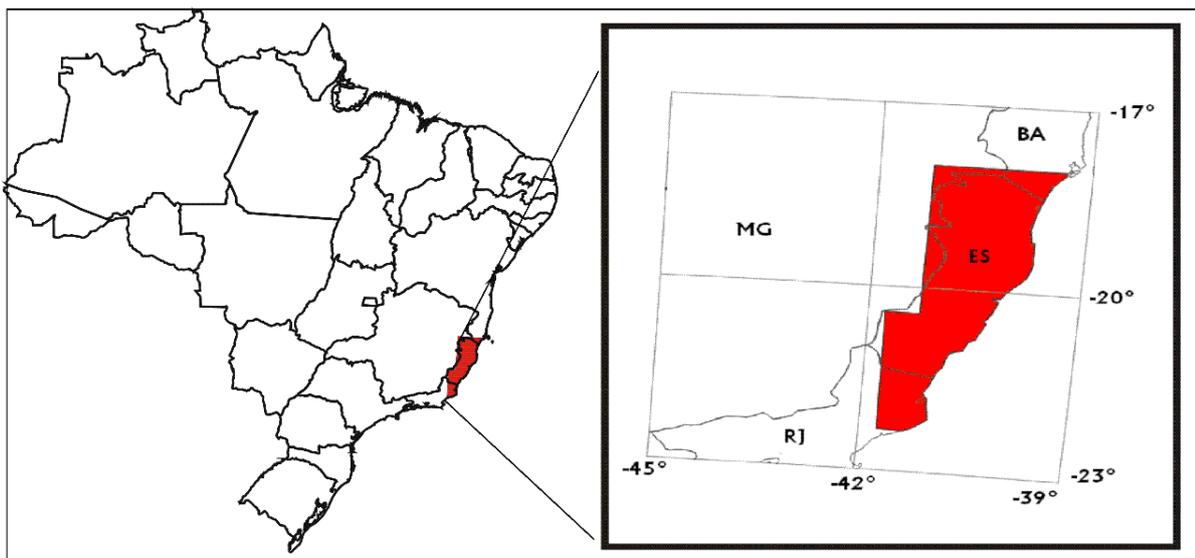


Figura 5.1 – Área englobada pelo Projeto Itabira Ferros (CPRM)

5.3 ANÁLISE MORFOESTRUTURAL

De acordo com Filho (2009), lineamentos morfoestruturais visualizados em mapas refletem fenômenos de subsuperfície, e os mesmos podem estar associados à geologia estrutural, como por exemplo, movimentos diferenciais de blocos falhados. Ao realizar a interpretação dos lineamentos de uma área, é possível reconhecer falhas no terreno, contribuindo para a compreensão do contexto geotectônico local.

Na área de estudo foram traçados 148 lineamentos (Figura 5.2), em que a direção preferencial é sudoeste-nordeste, mas com um grande lineamento cortando quase toda imagem sudoeste-noroeste. Os lineamentos centrais chamam muita atenção também por estarem truncados e possuírem boa concentração local, além de alguns apresentarem continuidade considerável, essa área é considerada uma área de interesse e será abordado durante as análises dos mapas geofísicos e também relacionado ao mapa geológico da CPRM (Figura 2.2).

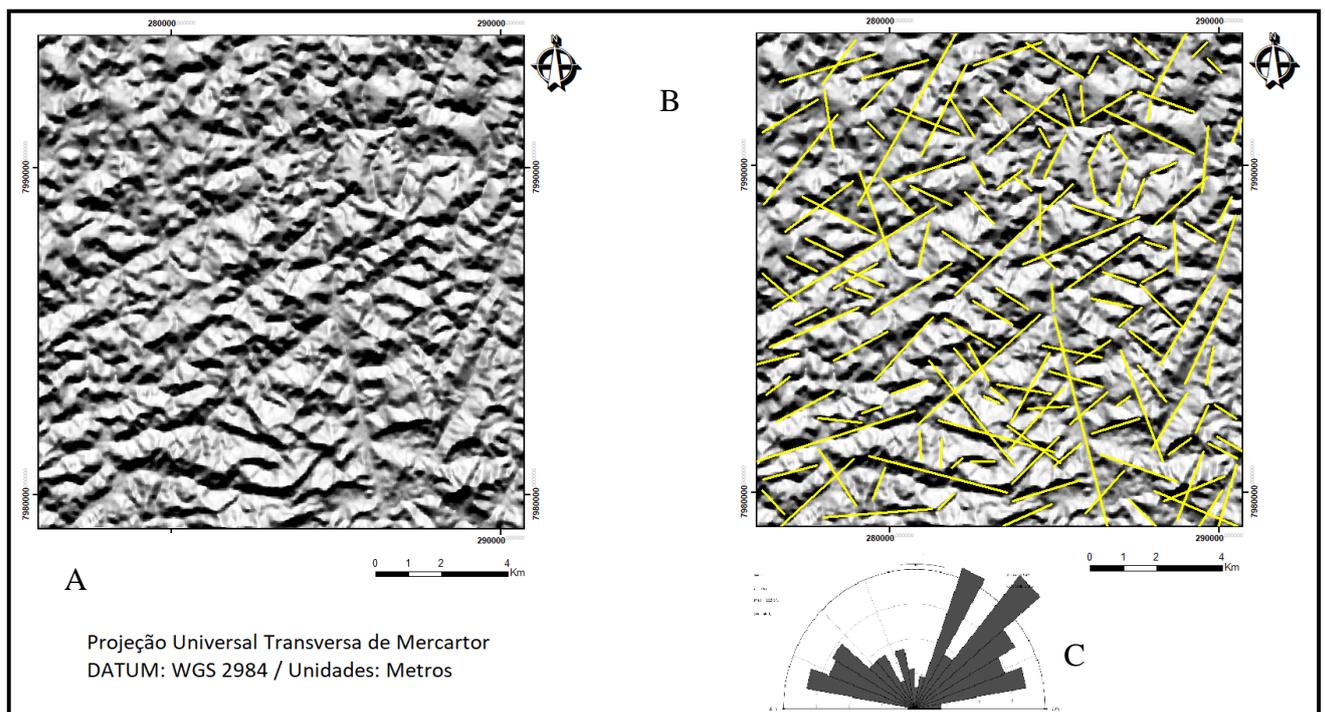


Figura 5.2 – Imagem TOPODATA original (A) e com lineamentos traçados (B) e roseta (C).

É possível verificar a presença de dois grandes lineamentos quase ininterruptos interceptando-se na porção centro leste da imagem, em direções opostas, o primeiro iniciando no extremo sudoeste do mapa, e estendendo-se para NE e ou outro para NW, sendo que o segundo é truncado com vários outros lineamentos menores com direções variadas e está na região de menor rugosidade da área. Nota-se

Froede, A.S. 2017. Análise Geofísica do Potencial Pegmatítico na região de Ataléia (MG).

ainda uma estrutura em “V” na porção leste-sul, formado pelo lineamento de grande continuidade NW citado anteriormente e um lineamento NE em direção oposta de grande extensão e relativa continuidade.

5.4 METODOLOGIA APLICADA NA GERAÇÃO E ANÁLISE DE MAPAS GEOFÍSICOS

Os mapas geofísicos gerados foram obtidos através do *Software* Oasis Montaj 7.0.1. Para os dados magnetométricos, primeiramente realizou-se a interpolação do grid de dados geofísicos de campo anômalo e, para a radiometria, os grids dos canais de K, Th, U e contagem total. A interpolação foi realizada pelo método de mínima curvatura em malha regular de 350m. Posteriormente, com a rotina MAGMAP do Oasis Montaj 7.0.1, aplicaram-se filtros sobre o mapa de campo anômalo para confecção dos mapas temáticos. Como produtos foram obtidos os mapas de amplitude do sinal analítico (ASA), derivada horizontal em x (Dx), derivada horizontal em y (Dy), derivada vertical de primeira ordem (Dz) e de segunda ordem (Dz²), continuação para cima de 500 (Up500), 2500 (Up2500) e 5000 (Up5000) (Figura 5.3). Para os mapas radiométricos os dados dos canais K, Th e U, foram processados matematicamente para obtenção dos mapas de razão Th/K, U/K, U/Th, Fator F (F) e da imagem ternária (Figura 5.4).

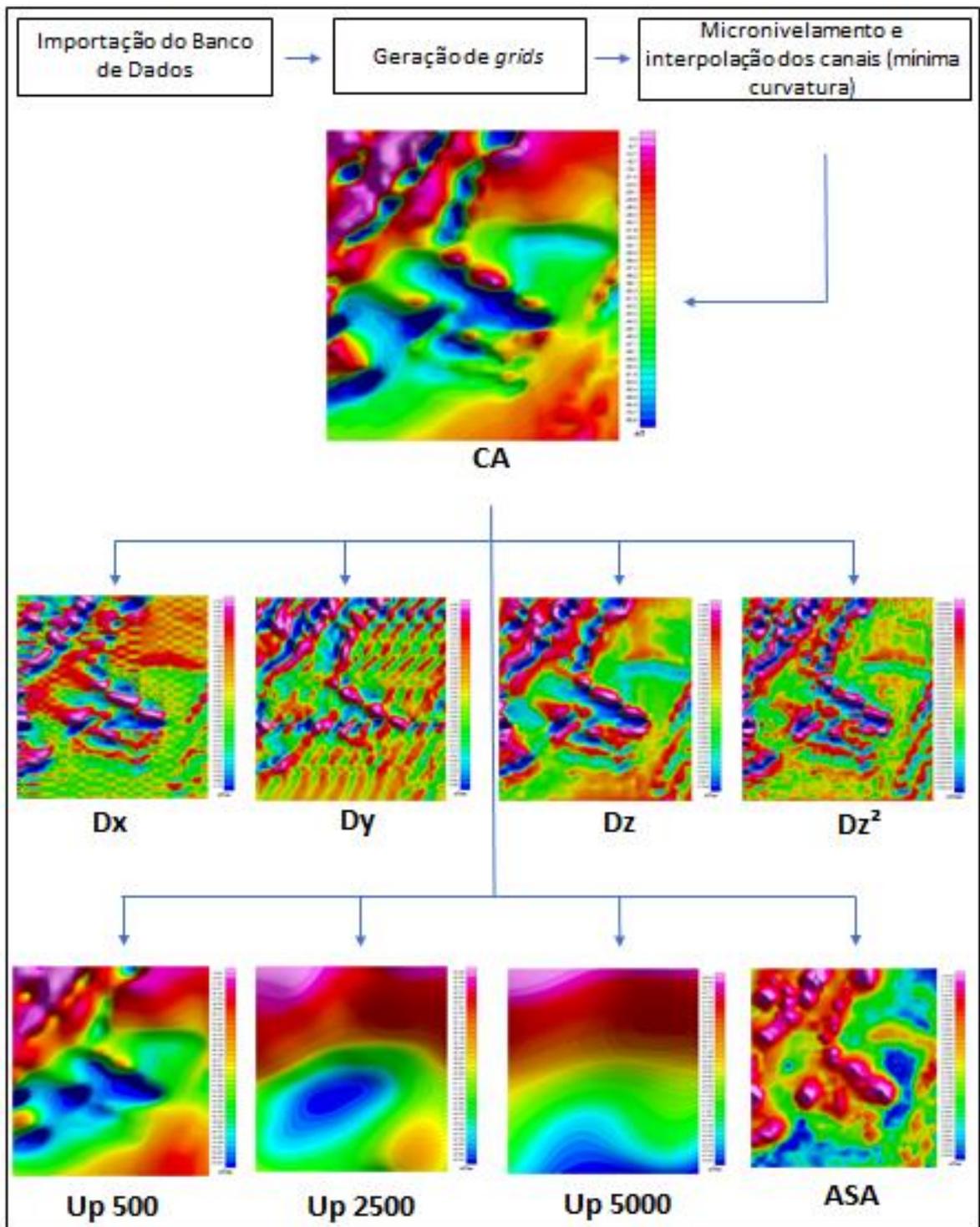


Figura 5.3 – Mapas magnetométricos gerados através do software OASIS MONTAJ 7.0.1.

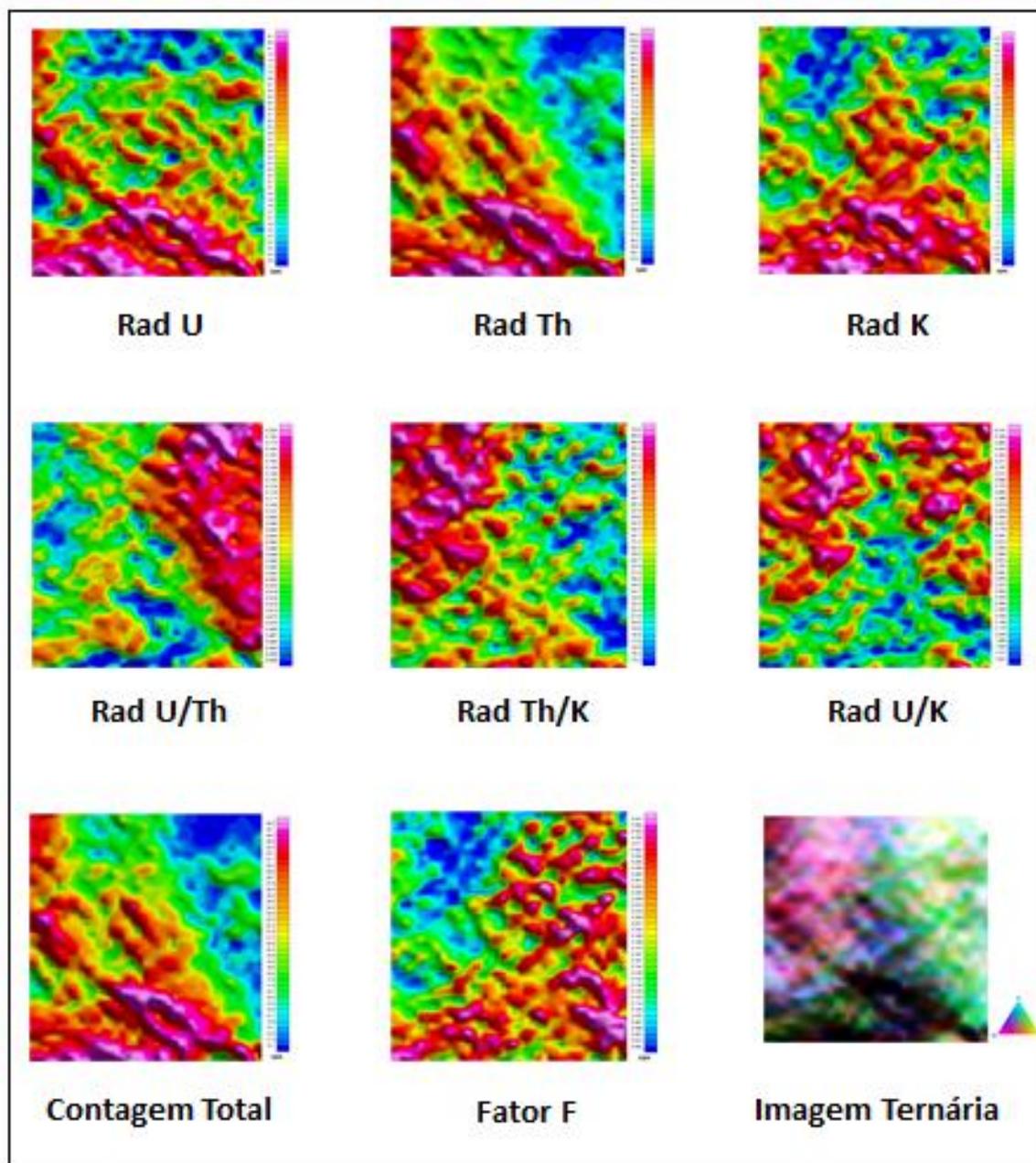


Figura 5.4 – Mapas radiométricos obtidos através do *software OASIS MONTAJ 7.0.1*.

5.5 ANÁLISE MAGNETOMÉTRICA

Os mapas magnetométricos fornecem informações sobre a magnetização das rochas e consequentemente a susceptibilidade magnética, e, ao analisá-los é possível traçar lineamentos, determinar possíveis estruturas geológicas evidentes e em subsuperfície, como falhas geológicas, fraturas e dobramentos.

A análise qualitativa magnetométrica deste trabalho teve como referência o mapa Amplitude do Sinal Analítico (ASA), uma vez que este possui característica monopolar, portanto, seu resultado independe dos parâmetros do campo magnético (latitude, por exemplo) e da direção da magnetização da fonte. Essa característica permite nitidez e precisão das feições anômalas, facilitando a análise.

Levando-se em consideração as diferentes frequências (amplitudes e compimentos de ondas) as anomalias observadas no mapa ASA, dividiu-se a área de estudo em três domínios (Figura 5.5), de acordo com sua frequência, denominadas Magnetofácies (Tabela 5.1), sendo a intensidade do sinal magnético representado em uma escala de cor, em que tons azulados indicam baixos magnéticos, os tons avermelhados a magenta indicam os altos magnéticos, e esverdeado a amarelado indicam valores magnéticos intermediários.

Ao comparar o mapa de ASA com o mapa geológico da CPRM (Figura 2.2) verifica-se que os altos valores de susceptibilidade magnética na porção central da área, relativas a magnetofácies 3 do mapa de domínios, são coincidentes com o contato litológico entre o leucogranito Carlos Chagas e o granito Ataléia. Este contato é definido no mapa geológico da CPRM como uma falha de empurrão. Atenta-se para a falta de continuidade da anomalia na região mais a sul-suldeste da área. Essa mesma magnetofácies ocorre na porção sudoeste e centro sul da área, sendo que na porção sudoeste esta anomalia está mapeada como intrusão granítica relativa ao granito Jaceguá. Entretanto, na porção centro-sul a anomalia é vista deslocada em relação ao mapa, sendo a intrusão granítica ocorrendo mais a sul e a anomalia a centro sul.

Ainda a magnetofácies 3 está presente na porção noroeste do mapa, com direção SW-NE e coincide com um lineamento obtido por magnetometria descrito pela CPRM, sem haver menção sobre qual tipo de estrutura está relacionada ao mesmo. Atenta-se para a ocorrência de amplitude de valor médio desta magnetofácies a leste, pois, de acordo com os dados disponíveis pela CPRM, há no local um ponto descrito como um milonito em uma zona de ambiente tectônico compressional. A magnetofácies 2 e 1, coincidentes com os corpos graníticos da área, sugerem uma maior profundidade dos topos magnéticos. Desta forma, entende-se as altas anomalias do domínio 3 como correspondentes a estruturas ou contatos tectônicos.

Tabela 5. 1. Magnetofácies e suas respectivas características e intensidades.

Magnetofácies	Características Fisiográficas	Intensidade [nT/m]
Magnetofácies 1	Anomalias de baixa amplitudes e grandes comprimentos de onda. Associação com estruturas de baixa resposta magnética.	0.0075 - 0.0034
Magnetofácies 2	Anomalias de intermediárias amplitudes e comprimento de onda. Associação com estruturas de resposta magnética mediana.	0.017 - 0.0075
Magnetofácies 3	Anomalias de altas amplitudes e baixos comprimentos de onda. Associação com estruturas de forte resposta magnética.	0.233 - 0.017

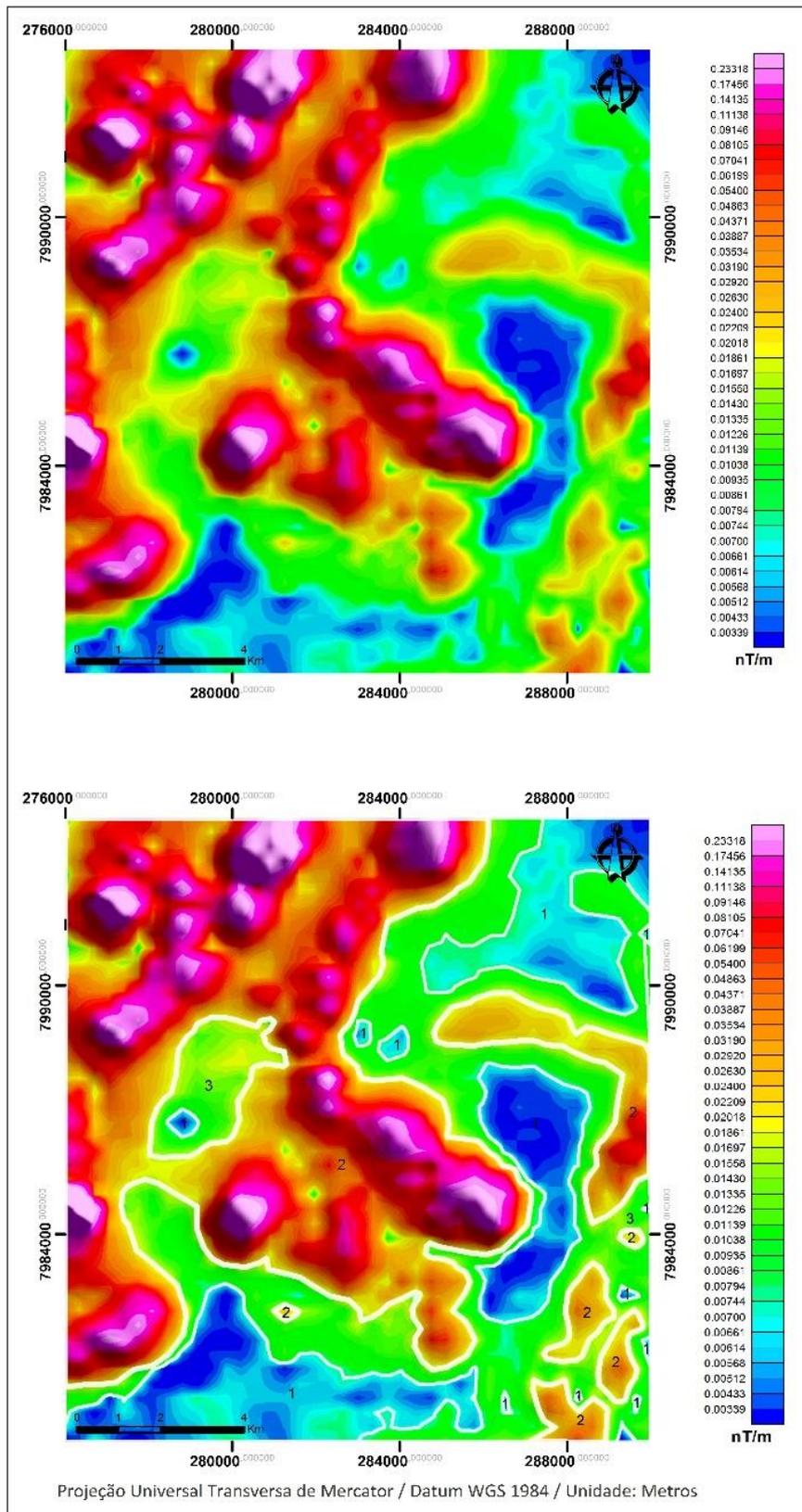


Figura 5.5 – Mapas magnetométrico Amplitude de Sinal Analítico (ASA), da área separada em 3 domínios, Magnetofácies (1), (2) e (3).

Foram traçados 62 lineamentos no mapa de Amplitude de Sinal Analítico (Figura 5.6). Como podem ser observados no diagrama de rosetas, esses lineamentos possuem direções preferencias para NNE e ainda uma segunda direção para NWW. Esses lineamentos possuem direções preferenciais coincidentes com os lineamentos morfoestruturais definidos Figura 5.2.

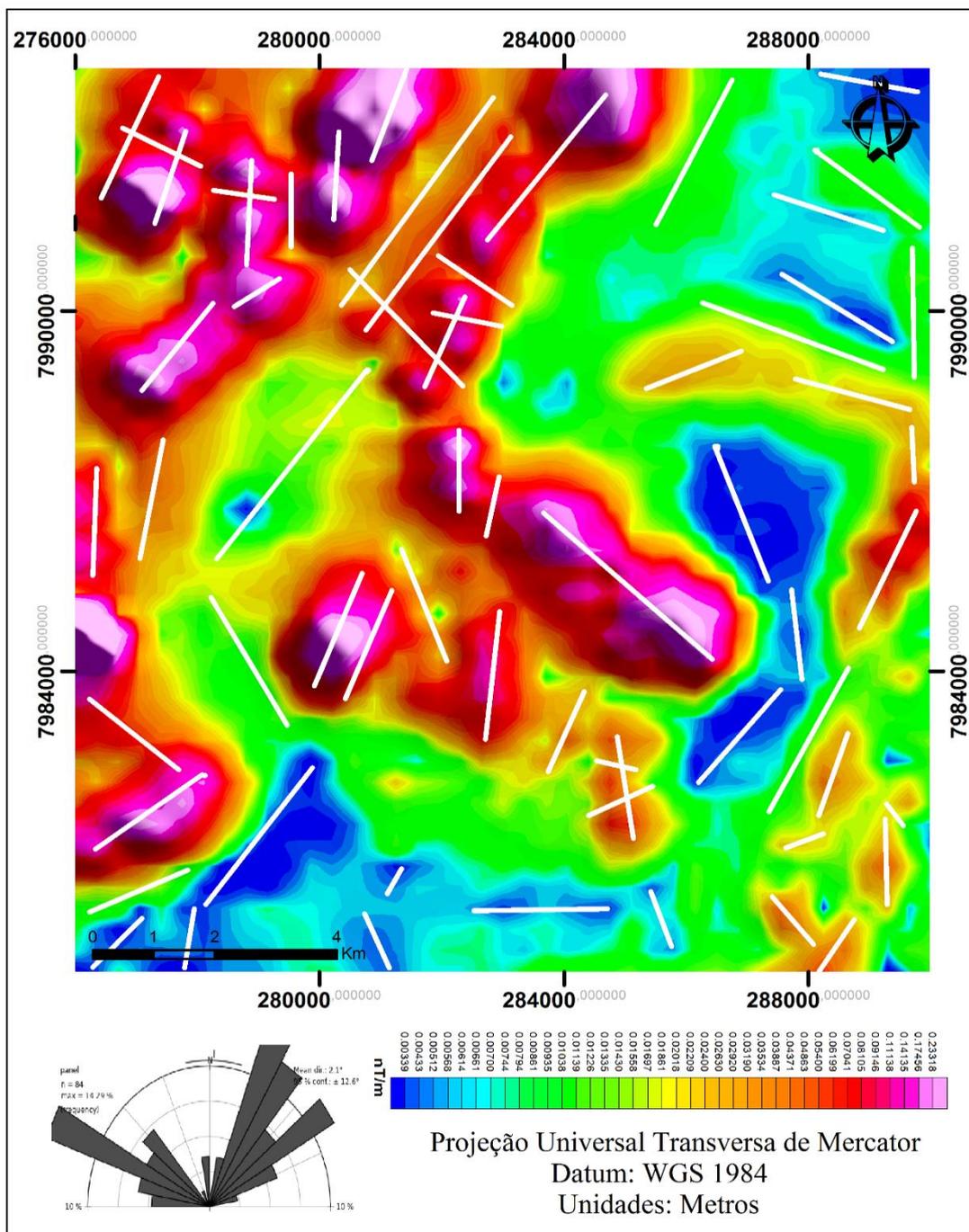


Figura 5.6 – Mapa de ASA com lineamentos traçados (em branco) e a roseta representando as direções preferenciais dos mesmos.

Dentre os métodos geofísicos empregados, a derivada vertical (Dz) remove as anomalias regionais e destaca as anomalias locais, e a segunda derivada vertical (D^2z) retira a influência das anomalias regionais, expressando apenas as estruturas superficiais (mapa residual).

Utilizando o mapa da segunda derivada vertical (D^2z) (Figura 5.7), foram traçados 282 lineamentos, com orientação preferencial NE e uma segunda direção para NW, como observado no diagrama de rosetas em anexo no mapa. Destacam-se no mapa o truncamento entre anomalias na porção central da imagem, formando uma estrutura em “Z”. Esta anomalia central possui continuidade a norte, coincidente com o contato litológico entre o leucogranito Carlos Chagas e o granito Ataléia, assim como interpretado no mapa ASA.

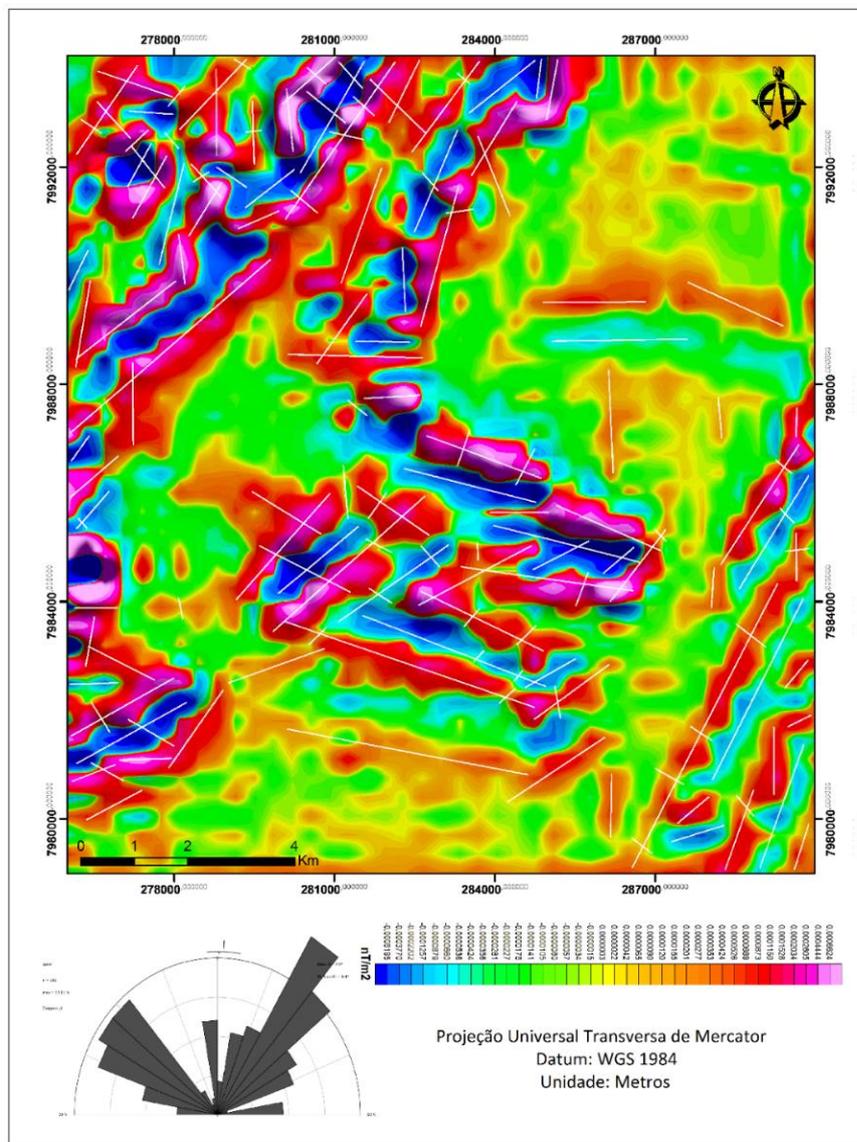


Figura 5.7 – Mapa de derivada segunda (Dz^2) com lineamento (em branco) traçados e suas direções representadas pelo diagrama de roseta.

5.6 RADIOMETRIA

A radiometria auxilia no mapeamento geológico, pois se trata de um método de baixa penetrabilidade e que mede a distribuição dos elementos U, Th e K em superfície, sendo esses isótopos litófilos. Os mapas temáticos radiométricos, a imagem ternária e o mapa de Fator F auxiliam na identificação de diferentes tipos de rochas, variações litológicas e na identificação de possíveis zonas de hidrotermalismo.

No presente estudo, foram gerados e utilizados mapas de concentração absoluta dos canais de K, Th e U, contagem total, razões Th/K, U/K, U/Th, imagem ternária e Fator F (Figura 5.4).

As diversas características de concentração dos isótopos (K, U e Th) podem ser agrupadas em radiofácies, que foram delimitadas no mapa ternário (Figura 5.8) da região de estudo. Classificaram-se em cinco radiofácies, de acordo com seus teores relativos de tório (Th), urânio (U) e potássio (K), quantificados em muito alto, alto, intermediário e baixo (Tabela 5.2).

Tabela 5. 2. Radiofácies identificadas e seus respectivos teores de Urânio, Tório e Potássio.

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

A radiofácies 1 ocorre em praticamente toda região leste da área, com seus limites próximos aos limites entre o Leucogranito Carlos Chagas e o Granito Ataléia, como proposto pelo mapa geológico da CPRM (Figura 2.2). A mesma feição pode ser visualizada também no mapa de razão U/Th (Figura 5.4), que também aparenta descrever esse mesmo contato litológico.

A radiofácies 2 coincide com o terreno ocupado pelo granito Ataléia, assim como a maior parte da radiofácies 3, esta última conta também com intrusões do granito Jaceguá. Entretanto há uma grande diferença de teores entre essas radiofácies, sendo a 2 rica em tório e a 3 rica em potássio e com quantidade pontualmente alta em tório. Tal observação somada as análises dos mapas magnetométrica sugere que as rochas presentes diferem ou possuem extensões inapropriadas em relação ao mapa geológico da CPRM.

A radiofácies 4 possui teores alto dos três radioelementos, tório, potássio e urânio, como pode ser confirmado pelos mapas de canal U, Th e K além do Contagem Total. O mapa geológico correlaciona essa área como sendo em parte o granito Ataléia e também como intrusão do granito Jaceguá. Atenta-se para o fato de que nos locais de coloração mais escura está a intrusão do granito Jaceguá, havendo uma grande disparidade de composição entre esta intrusão e a primeira ocorrida na radiofácies 3. Quanto a radiofácies 5 ela possui valores intermediários de urânio e tório e alto para potássio, sendo coincidente com o granito Ataléia e uma pequena área do granito Jaceguá.

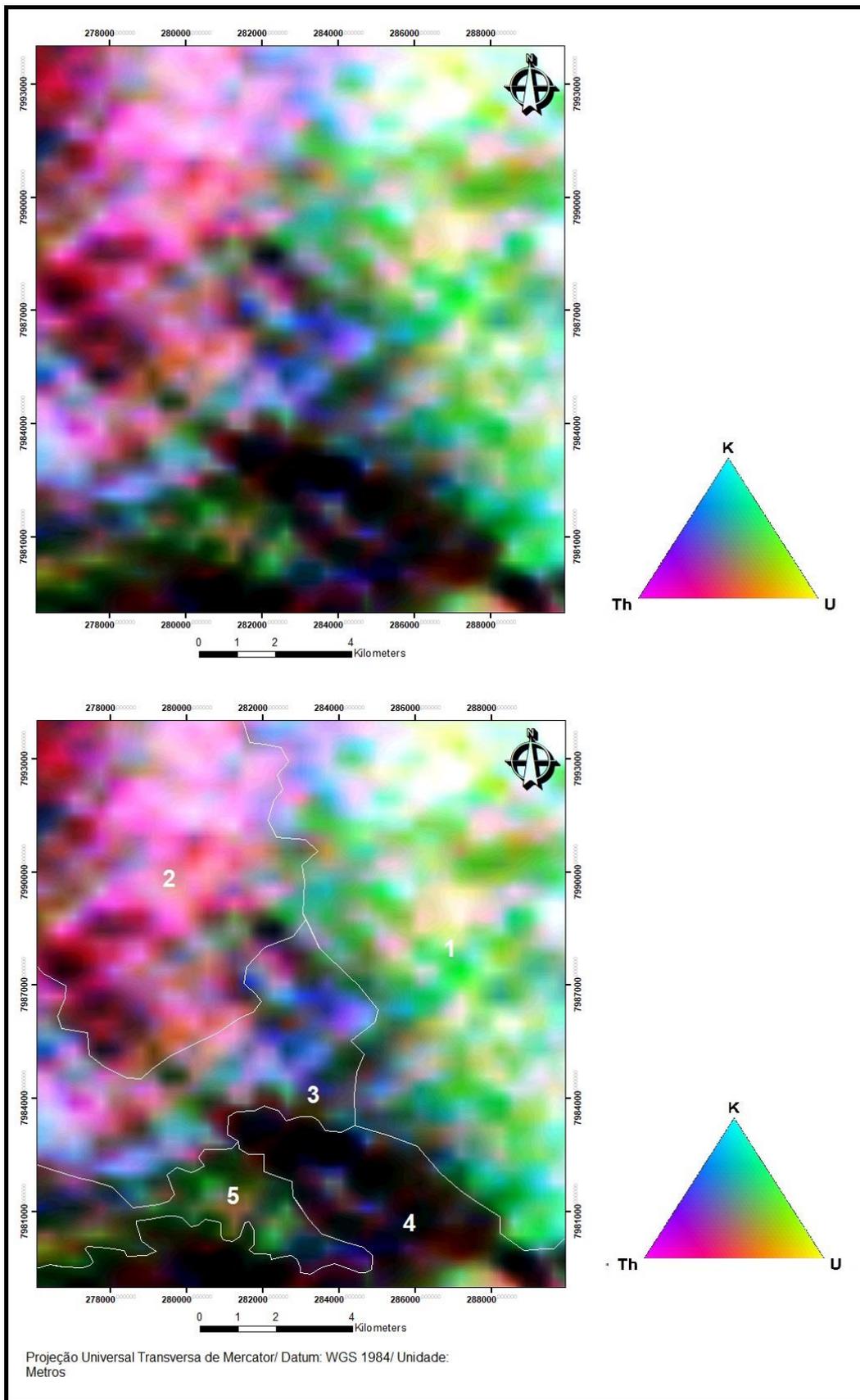


Figura 5.8 – Mapa Ternário original e em seguida o mesmo editado, separado em cinco domínios de radiofácies.

O mapa de Fator F ou Parâmetro F (Figura 5.9) auxilia na interpretação de zonas em que houve hidrotermalismo, sendo as regiões de anomalia positivas correspondentes a tais zonas. Anexo ao mapa está a roseta, indicando que os lineamentos presentes possuem direção preferencial NE e uma segunda direção NW. Nota-se que a maior parte dos lineamentos coincide com a área em que está presente o leucogranito Carlos Chagas, mas o que mais chama atenção são os lineamentos, em zonas de anomalia positiva, coincidentes com a estrutura em “Z” descrita na análise magnetométrica de derivada segunda (Dz^2) (Figura 5.7). Esse fato reforça a ideia de um mapeamento mais detalhado da área, visto que essa região possui anomalias que diferem das esperadas de acordo com o mapa geológico da CPRM.

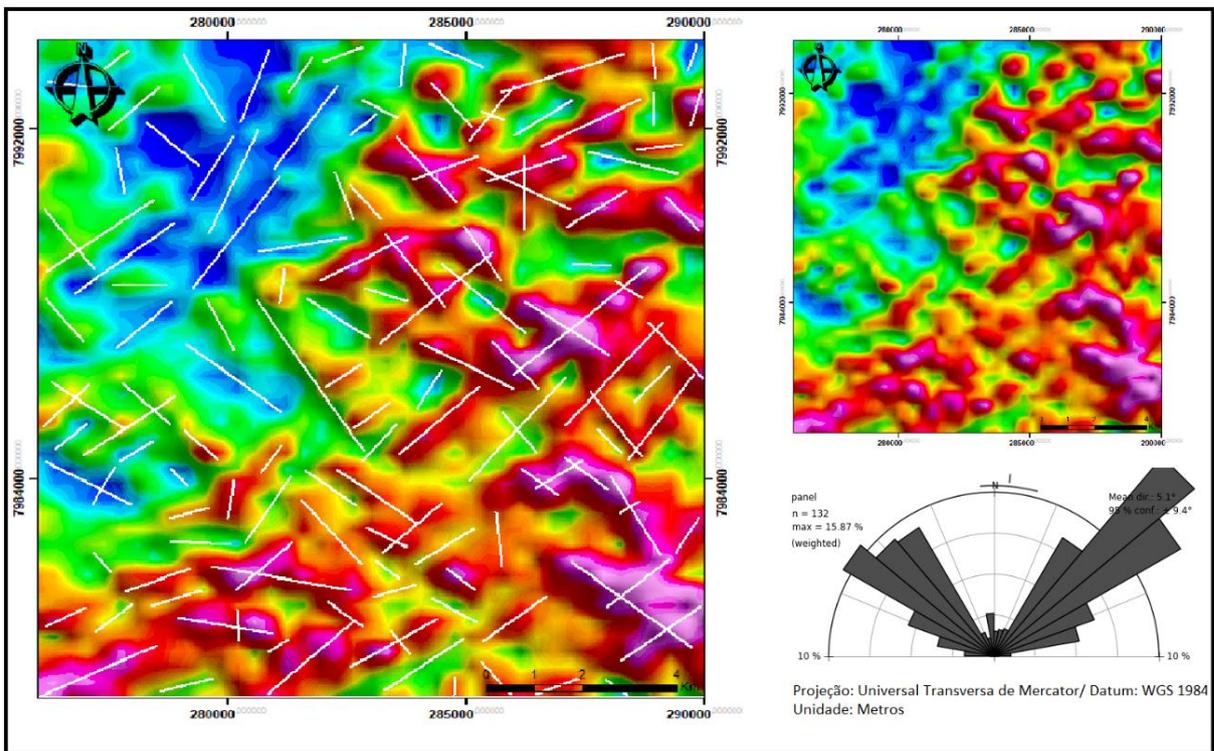


Figura 5.9 – Mapa de Fator F com lineamentos (em branco) traçados e suas direções preferenciais no diagrama de roseta.

CAPÍTULO 6

ANÁLISE QUANTITATIVA

6.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo objetiva apresentar as estimativas de profundidade das estruturas relativas à assinatura de susceptibilidade magnética a partir de dados obtidos pela Deconvolução de Euler. Este método se dá por uma sistemática aplicada a dados geofísicos através de homogeneização de funções matemáticas em coordenadas cartesianas. Nesse presente estudo, a análise quantitativa foi realizada através dos dados do mapa de amplitude do sinal analítico (ASA). Para tanto, foram utilizados os *softwares*: *Euler 1.0*; *Oasis Montaj Geosoft 7.0.1*; *ArcMap 10.3* e *ArcScene 10.3*.

6.2 METODOLOGIA

O primeiro passo consistiu na definição da malha de perfis traçados no *software ArcMap 10.3*. Uma vez que as feições magnéticas presentes no local de estudo estavam orientadas preferencialmente para norte sul, foram criadas 30 linhas perpendiculares com direção E-W a cada 500m, abrangendo uma área de 100km² (Figura 6.1).

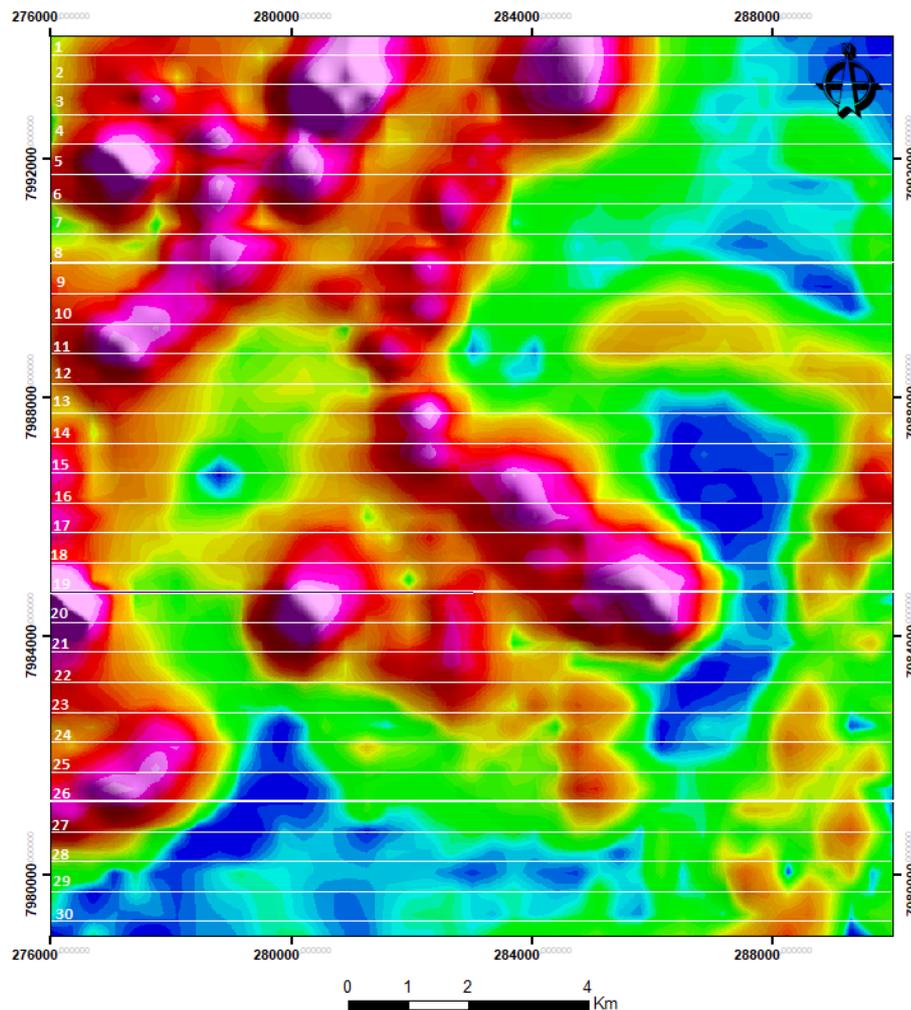


Figura 6.1 – 30 perfis E-W traçados no mapa de Amplitude e Sinal Analítico, enumerados de 1 a 30 como denota a figura.

No segundo momento, a *shape* de linhas criada foi importada para o *software OASIS MONTAJ 7.0.1* para a extração dos dados geofísicos ao longo da mesma. Através do *Geosoft*, foi criado um banco de dados com os valores obtidos pelos perfis magnetométricos, que foram exportadas como um arquivo do tipo “.csv”. Então, este arquivo foi trabalhado e transformado para o formato “.dta” e, então, utilizado no *software* livre Euler 1.0 desenvolvido na *School of Geosciences – University of the Witwatersrand* (Durrheim & Cooper 1998).

O trabalho realizado através do *software* Euler 1.0 consiste na realização da inversão dos dados geofísicos, executada com a inversão dos mínimos quadrados, da entrada de alguns dados magnetométricos (*inputs*) e dados da altura de voo, que no caso foi de 100m para o aerolevante utilizado. Para a inversão necessitou-se dos seguintes parâmetros: tamanho da janela, índice estrutural e profundidade, sendo o índice estrutural igual a 1, o tamanho das janelas com valores variando entre 7, 9 e 11, e profundidade máxima de 2000m. Uma vez processados os dados e tendo as coordenadas

Froede, A.S. 2017. Análise Geofísica do Potencial Pegmatítico na região de Ataléia (MG).

definidas, estes foram importados para o *ArcMap* afim de unificar os perfis traçados em uma única *shape* utilizando da rotina *merge*. A partir dessa *shape* unificada executou-se no *ArcScene* a interpolação de dados para geração de um modelo 3D, processo conhecido como *Krigagem*

6.3 RESULTADO DAS INVERSÕES PELA DECONVOLUÇÃO DE EULER

Depois de gerados, os perfis (2D), foram interpretados, sendo então possível observar e inferir sobre as profundidades das anomalias magnéticas ao longo da área de estudo e suas fontes geradoras. A profundidade máxima obtida pela deconvolução de Euler é de aproximadamente 13,5km, uma vez que as anomalias obtidas nos perfis gerados foram inferiores a 2km, pode-se afirmar que as anomalias da área de estudo são superficiais. Foram selecionados 3 perfis representativos como referência: os perfis 8, 19 e 25 como mostra a Figura 6.2.

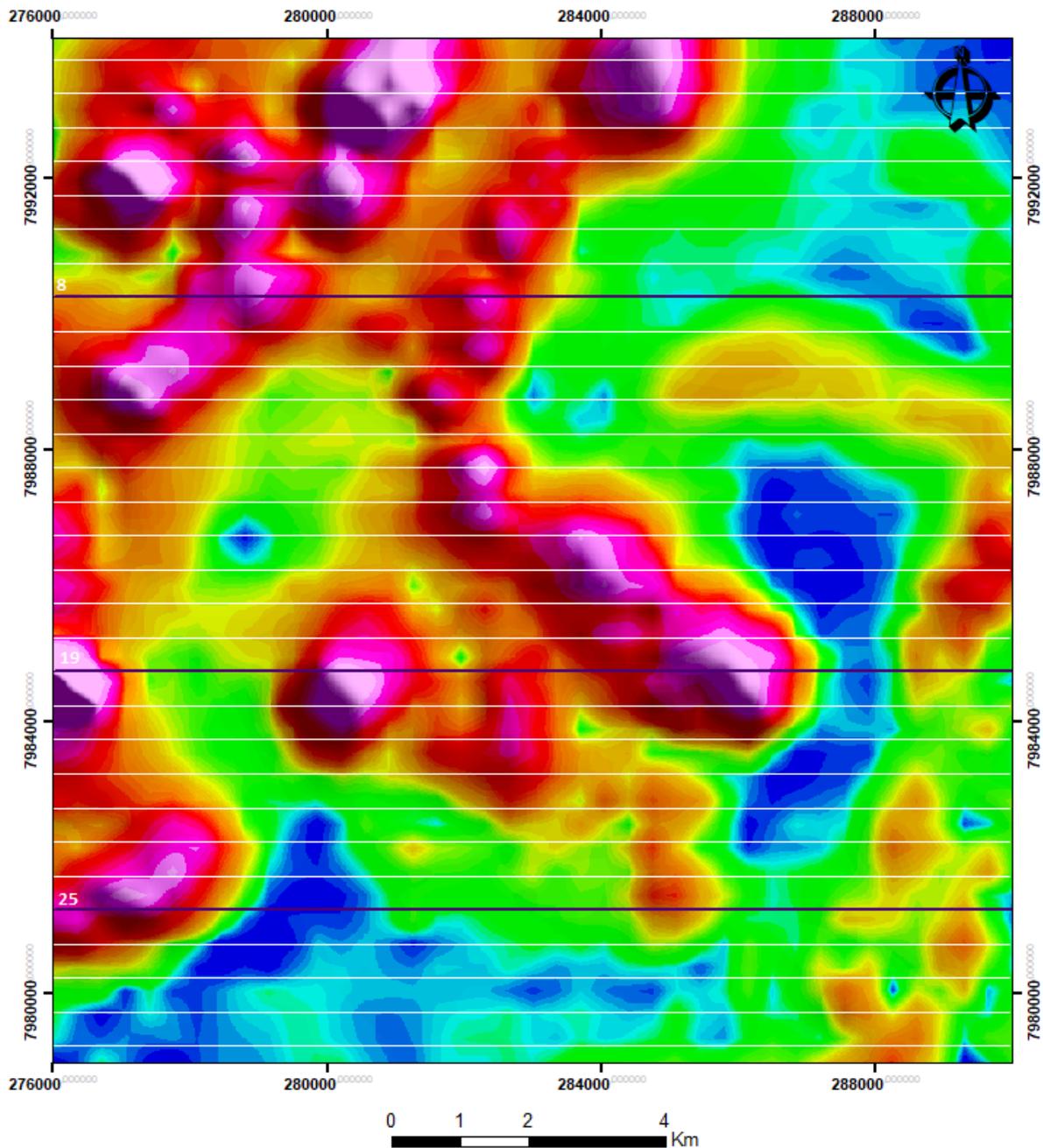


Figura 6.2 – Perfis 8, 19 e 25, respectivamente, selecionados para ilustração dos resultados obtidos.

O perfil 8 (Figura 6.3) está na porção norte da região de estudos e apresenta anomalias inferiores a 1km de profundidade. Observam-se na porção oeste da área altos valores de susceptibilidade magnética, coincidentes com os o lineamento obtido por magnetometria pela CPRM. Na porção central os valores de anomalia positiva coincidem com certa precisão com o contato do leucogranito Carlos Chagas e o granito Ataléia presentes na área, as anomalias possuem profundidade de cerca de 500m.

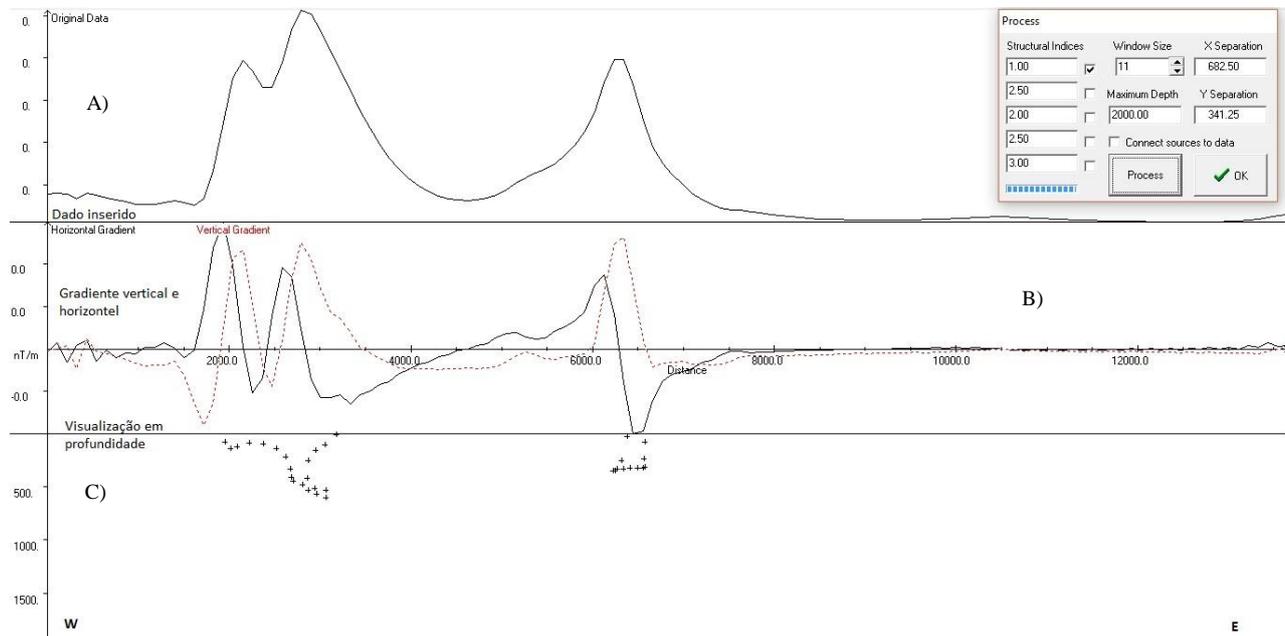


Figura 6.3 – Perfil 8 de Deconvolução realizado através do *software Euler 1.0* a partir do mapa de ASA. A) Dados gerados e inseridos a partir da anomalia magnética. B) Gradientes vertical e horizontal da anomalia. C) Estimativa de profundidade das fontes geradoras das anomalias magnéticas.

O perfil 19 (Figura 6.4) está localizado na porção centro-sul da área de estudo, e é marcado pela presença de duas anomalias situadas na porção oeste, e duas a leste no Perfil. A primeira anomalia está relacionada a variação de gradiente vertical e horizontal, foi interpretada como anomalia de borda, um ruído. A segunda anomalia possui mais de 500m de profundidade e não possui relações com o mapa geológico da CPRM, entretanto as anomalias apresentadas pelo mapa ASA e Dz^2 estão correlatas as dimensões desta, o que reforça a necessidade de revisão desta área em particular. Na porção leste, a primeira anomalia possui profundidade pouco maior que 500m e está relacionada ao contato litológico existente, enquanto a segunda anomalia está relacionada a uma anomalia positiva apresentada pelos mapas ASA e Dz^2 , sendo que existe ali um lineamento com direção preferencial para NE e não há correlação da mesma ao mapa da CPRM.

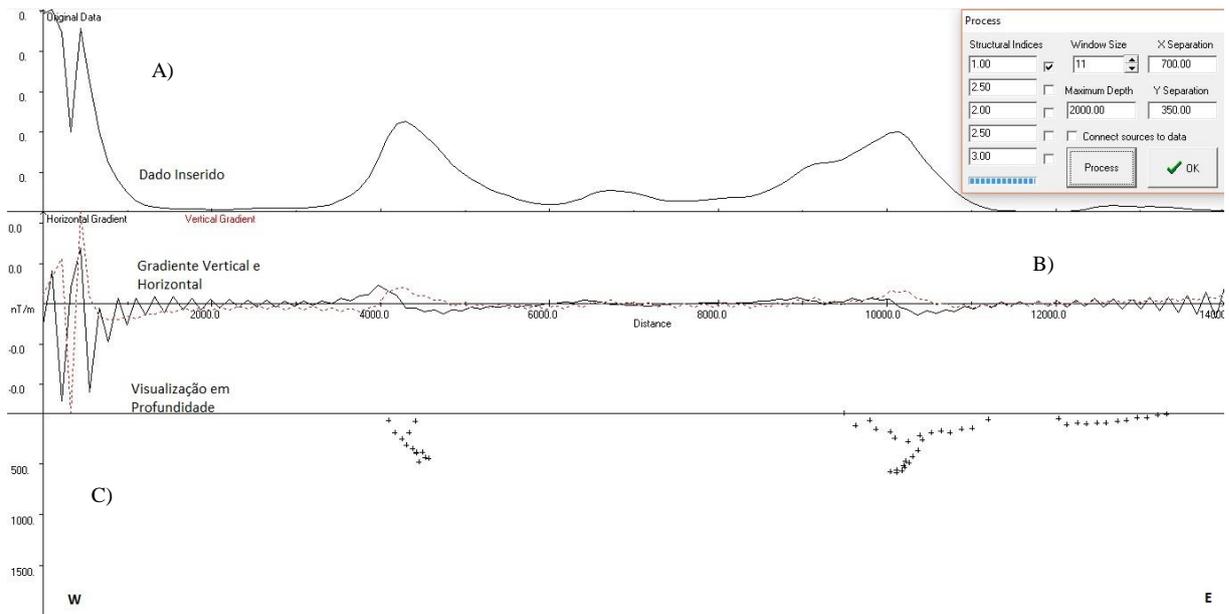


Figura 6.4 – Perfil 19 de Deconvolução realizado através do *software Euler 1.0* a partir do mapa de ASA. A) Dados gerados e inseridos a partir da anomalia magnética. B) Gradientes vertical e horizontal da anomalia. C) Estimativa de profundidade das fontes geradoras das anomalias magnéticas.

Por último, o Perfil 25 (Figura 6.5), traçado no sul da região de estudo, possui uma anomalia a oeste em que a profundidade é cerca de 500m e coincidente com a intrusão do granito Jaceguá de acordo com o mapa da CPRM e as anomalias positivas do mapa magnetométrico ASA. A anomalia central também é relativa ao granito Jaceguá e possui uma profundidade considerável, com quase 1km, ressalta-se que a relação de extensão dessa intrusão não é coincidente, o que fortalece a revisão dos contatos da mesma. A última anomalia, com profundidade inferior a 500m, é relativa ao contato litológico existente em toda quadrícula.

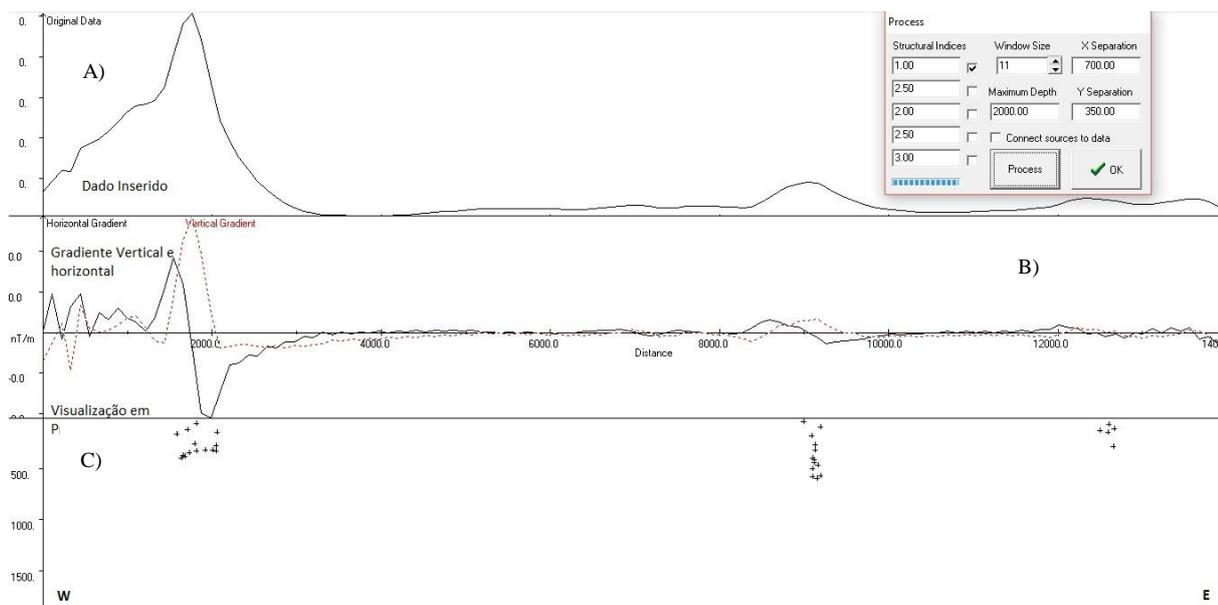


Figura 6.5 – Perfil 25 de Deconvolução realizado através do *software* Euler 1.0 a partir do mapa de ASA. A) Dados gerados e inseridos a partir da anomalia magnética. B) Gradientes vertical e horizontal da anomalia. C) Estimativa de profundidade das fontes geradoras das anomalias magnéticas.

6.3.1 Visualização em 3D

Realizada a Deconvolução de Euler nos 29 perfis traçados no sentido E-W, interpolou-se os dados obtidos com auxílio do método de “*krigagem*” pelo *software* ArcScene 9.3, gerando o modelo 3D que possibilitou a visualização das anomalias (Figura 6.6) e lineamentos existentes em profundidade, isso permitiu correlacionar as estruturas observadas em 2D. Este modelo permite também reproduzir a topografia média em profundidade das rochas.

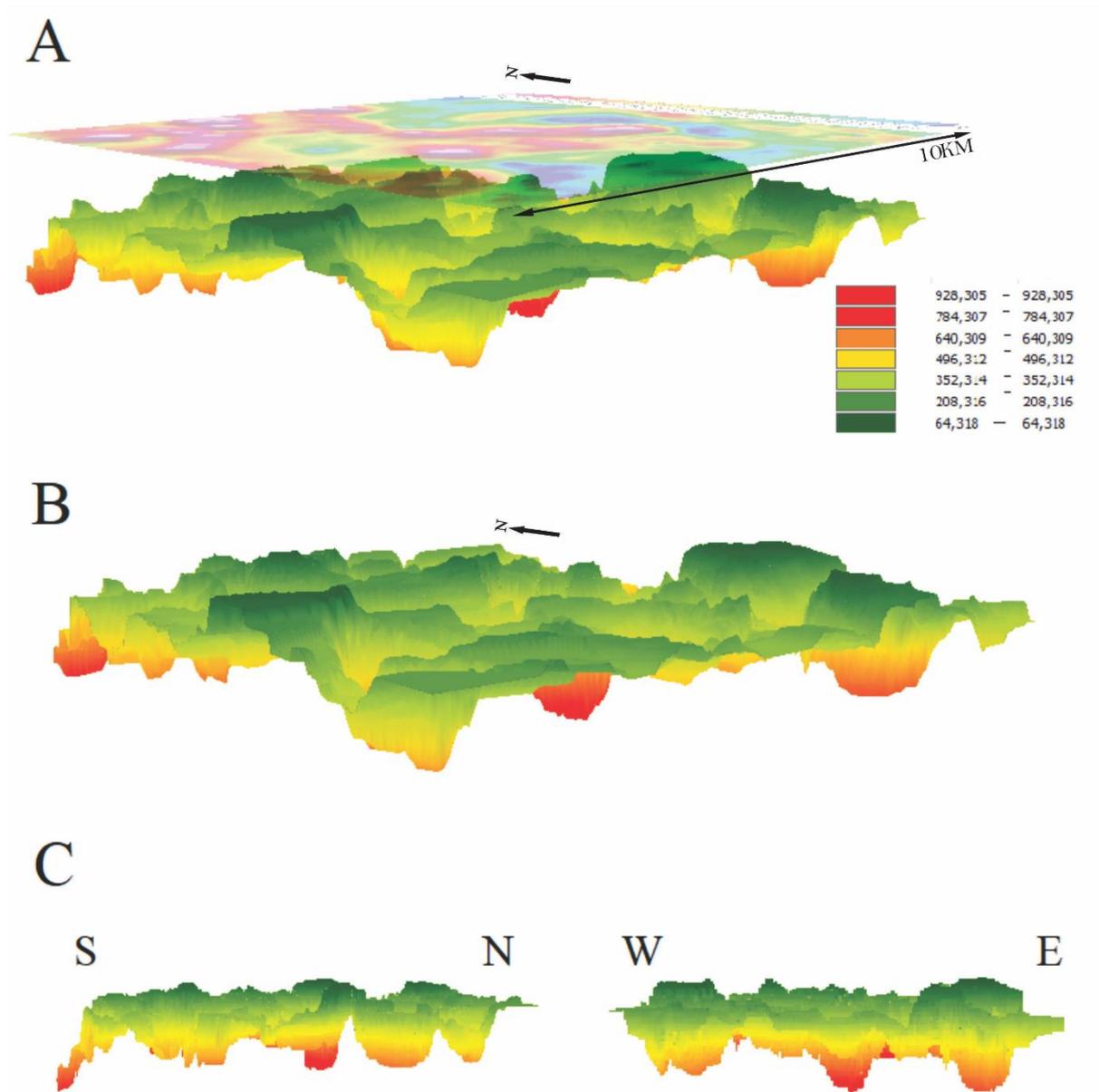


Figura 6.6 – Anomalias 3D obtidas através da deconvolução de Euler em relação ao mapa geofísico ASA.

6.4 DISCUSSÃO E RESULTADOS

Após O modelo 3D evidenciou os domínios com diferentes profundidades de topo das fontes das anomalias. De acordo com a Figura 6.6, observa-se que na porção NW as anomalias são coincidentes com o lineamento obtido por magnetometria descrito no mapa geológico da CPRM, mas de profundidade não uniforme e com lineamento em mais de uma direção do que foi proposto.

A Figura 6.7 evidencia a existência de uma zona falha marcada pelo contato litológico existente entre o leucogranito Carlos Chagas e o granito Ataléia, apesar de os contornos variarem um pouco daqueles propostos pelo mapa da CPRM, a precisão é satisfatória. Destaca-se com muito vigor

Froede, A.S. 2017. Análise Geofísica do Potencial Pegmatítico na região de Ataléia (MG).

a anomalia na porção central da área, de grande profundidade, extensão e coincidente com a estrutura em “Z” descrita no mapa de derivada segunda, que deve estar associada a algo além da falha/contato e não está definida pelo mapa geológico.

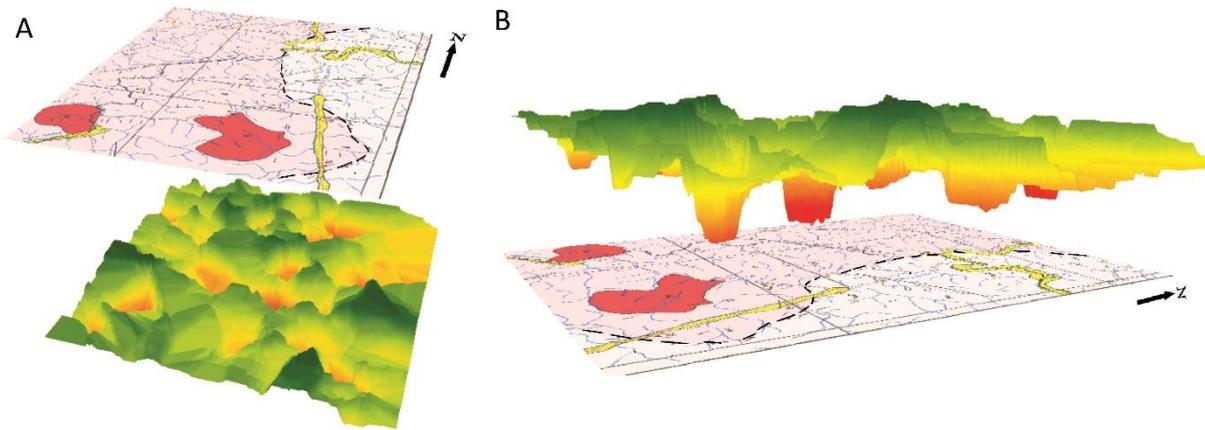


Figura 6.7 – Imagem 3D das anomalias em relação ao mapa local disponibilizado pela CPRM.

Além dessas anomalias, há uma anomalia de porte relevante e profundidade média a alta na porção sudoeste da área de estudo, a mesma coincide com a intrusão granítica do granito Jaceguá.

CAPÍTULO 8

CONCLUSÕES

O presente trabalho apresenta o resultado de um estudo geofísico qualitativo e quantitativo na região da Província Pegmatítica Oriental do Brasil, analisando o potencial pegmatítico da região de Ataléia - MG.

A análise de imagem SRTM e dos mapas geofísicos foi fundamental para reconhecimento de lineamentos e suas direções preferenciais, evidenciando estruturas geológicas relevantes. Através dos mapas magnetométricos (ASA, Dz^2) e radiométricos (ternário, fator F, razão U/Th) a análise qualitativa delimitou o contato litológico entre o leucogranito Carlos Chagas e o granito Ataléia. Além do contato entre a intrusão do granito Jaceguá com o granito Ataléia, que é bem definida na porção sudoeste e deslocada na porção central em relação ao mapa geológico proposto pela CPRM.

Os mapas de fator F, ASA e Dz^2 destacam a relação existente entre os lineamentos preferenciais da área, possivelmente hidrotermalizados, com a estrutura geológica existente, configurando um local de grande potencial, visto que as condições geológicas são propícias para a existência de mineralização e a direção preferencial dos lineamentos são coincidentes com os lineamentos vistos na literatura sobre corpos de minério na Província Pegmatítica Oriental.

A deconvolução de Euler mostrou-se um método eficaz no que diz respeito às estimativas de profundidade média das anomalias da área, sendo a profundidade máxima alcançada de cerca de 1500m. Destacando-se principalmente a grande susceptibilidade magnética existente ao longo de todo o contato do granito Ataléia e leucogranito Carlos Chagas, principalmente na porção central da área, onde a profundidade média de topo teve os maiores valores, chegando próximo de 1500m de profundidade, e profundidades médias entre 500m a 100m.

Como relatado na bibliografia levantada, os pegmatitos que contém água marinha estão relacionados a granitóides e granitos em zonas mais diferenciadas, onde as alterações químicas predominam. E, de acordo com o que o mapa de fator F, que apresenta uma possível hidrotermalização no contato do granito Ataléia e o leucogranito Carlos Chagas, somada as análises de magnetometria, morfoestrutural e das profundidades das anomalias, ressalta-se a área com a estrutura em “Z” o ponto de maior interesse nessa área de estudo, visto os critérios condicionantes para presença desta gema.

O presente trabalho também infere alguns pontos a serem levantados nos próximos estudos dessa região, são eles: mapeamento litológico de detalhe a fim de observar-se a relação de intrusão do granito Jaceguá sobre o granito Ataléia (estimando seus contatos e extensões com maior precisão),

estudos geofísicos como Ground Penetration Radar (GPR) e eletroresistividade. Por fim, um mapeamento de detalhe dos contatos entre o leucogranito Carlos Chagas e o granito Ataléia, e granito Ataléia e Granito Jaceguá visto que é uma área propensa a mineralização, pede-se maior detalhe e mais estudos sobre o mesmo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkmim, F.F., Marshak, S., Pedrosa-Soares, A.C., Peres, G.G., Cruz, S.C.P., Whittington, A. Kinematic evolution of the Araçuaí-West Congo orogen in and Africa: Nutcracker during the Neoproterozoic assembly of Gondwana. *Precambrian Research*. **149**: 43-64, 2006
- Alkmim, F. F.; Pedrosa-Soares, A. C. ; NOCE, C. M. ; CRUZ, S. Sobre a Evolução Tectônica do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. *Geonomos*. **15**: 25-43, 2007.
- Almeida, F.F.M. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*. **7**: 349–364, 1977
- Baltazar, O. F.; Silva, S. L.. *Mapa Geológico e Nota Explicativa da Folha São Gabriel da Palha*, 1:100.000. In: Folha São Gabriel da Palha. Programa Geologia do Brasil, CPRM. 2007.
- Bertoldo, A. L., Alkmim, F.F., Trouw, R.A., 1993. O comportamento estrutural das coberturas mesoeneoproterozóicas do Cráton do São Francisco nas Serras do Espinhaço Setentrional, Central e Palmas de Monte Alto (MG-BA). In: II Simpósio sobre o Cráton do São Francisco. Anais. Salvador: SBG/NBA-SE, p.205-207.
- Brito-Neves B.B., Campos-Neto M.C., Fuck R. From Rondinia to Western Gondwana: An approach to the Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage. Episodes. **22**, 155-199, 1999.
- Calmbach, W.F. von, 1938. Handbuch brasilianischer Edelstein und ihrer Vorkommen Medawar Ed., Rio de Janeiro, 220 p.
- Campos, J.C.S.; César-Mendes, J.; Scheller, T.; Costa, W. (1998). As ametistas da Serra do Sudário. In: Congresso Brasileiro de Geologia, XL. Anais. Belo Horizonte, SBG. **P** 266.
- Campos L., Mendes J.C., Ludka I.P., Medeiros S.R., Moura J.C., Wallfuss C.A review of the Brasiliano magmatism in southern Espírito Santo, Brazil, with emphasis on postcollisional magmatism. *Journal of Virtual Explorer*, **17**: 2004.
- Cassedanne, J. P. (1991). Tipologia das jazidas brasileiras de gemas. In: Schobbenhaus, C.; Queiroz, E. T. de; Coelho, C. E. S. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília: DNPM/CPRM, vol. 4. il. **p**. 17-36.
- Castañeda, C., Pedrosa-Soares, A.C., Belém, J., Vieira, V.S., Queiroga, G. (em preparação). *Geothermobarometry of metapelites and granites from the northern Araçuaí Orogen: implications for PTt paths in a confined orogen*.
- Castañeda, C., Pedrosa-Soares, A.C., Belém, J., Gradim, D., Dias, P.H.A., Medeiros, S.R., Oliveira, L. *Mapa Geológico e Nota Explicativa da Folha Ecoporanga*, 1:100.000. In: Folha Ecoporanga. Programa Geologia do Brasil, Contrato CPRM-UFGM, CDROM. 2006
- Chaves, M. L. S. C.; Coutinho, D. C. (1992). Nota sobre a Jazida de Ametista da Fazenda Sobrado (Felício dos Santos – MG). *Revista da Escola de Minas de Ouro Preto*, v. 45, n. 1 e 2. **P**. 194-195.
- Correia-Neves, J.M., Pedrosa-Soares, A.C. & Marciano, V.R. 1986. A Província Pegmatítica Oriental do Brasil à luz dos conhecimentos atuais. *Revista Brasileira de Geociências*, **16** (1): 106-118.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Projeto Itabira Ferros. 2010.
- Crocco-Rodrigues, F. A., Guimarães, M. L. V., Abreu, F. R., Belo de Oliveira, O. A., Greco, F. M., 1993. Evolução tectônica do Bloco Itacambira-Monte Azul entre Barroco e Porteirinha (MG). In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Belo Horizonte. *Sociedade Brasileira de Geologia*, **p**. 212-216.
- Cunningham, L. D. (2003). *Beryllium*. Mineral Commodity Summaries, annual, p.34-35.
- Deer, W. A.; Howie, R. A., Zussman, J. (1962) *Rock forming minerals*. V. 5 – Non-Silicates. London, Longmans. 371 p.
- Dickson B.L., Scott K.M. 1997. Interpretation of aerial gamma ray surveys-adding the geochemical factors. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*. **17**: 187-200.
- Dietrich, R.V., 1985. The tourmaline Group. Van Norstrand Reinhold. New York, 300p.
- DNPM- Departamento Nacional de Produção Mineral. Registro de ocorrências minerais no estado de Minas Gerais. Mapa do Brasil acessado em 06/11/2017.

- DNPM- Departamento Nacional de Produção Mineral. Registro de ocorrências minerais no estado de Minas Gerais. Arquivo shapefile extraído de <http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/> em 10/08/2017.
- Durrhein R.J & Cooper G.R.J., 1998. EULDEP: *a program for the Euler deconvolution of magnetic and gravity data*. Elsevier – Computer & Geosciences. **24**(6): 545-550
- Ferraz, L.C, 1929. *Compêndio dos minerais do Brasil em forma de Dicionário*. Imp. Nac., Rio de Janeiro, 645 p.
- Fontes, C.Q., Ferrari, P.G., Pereira, A.D.C., Netto, C., Pereira, F.S., Lima, L.O., Costa, M.R.A., Baltazar, O.F., Silva, S.L., Vieira, V.S., Ramalho, R. *Projeto Jequitinhonha, escala 1:250.000*. CPRM-DNPM, Belo Horizonte, 1978.
- FrondeL, C. (1962) *The system of mineralogy of J. D. Dana & E. S. Dana*, Yale University, 1837-1892 ed. 7 ed. John Wiley & Sons, Inc., New York. 334 p.
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A.C. CampoS-Neto, M.C., Silva, L.C., Trouw, R., Janasi, V.A. Província Mantiqueira. In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B. Brito-Neves (org.), *Geologia do Continente Sul-Americano*. São Paulo, Beca, cap. XIII, p. 203-234, 2004.
- Jahns, R. H., 1955. *The study of pegmatites*. In: Economic Geology, 50th. Anniversary. v.2, p.1025- 1130.
- Juchem, P. L., Hofmeister, T., Brum, T.M.M. (1990) Substâncias gemológicas no Rio Grande do Sul – modos de ocorrência e caracterização gemológica. In: Congresso Brasileiro de Geologia, XXXVI. Natal, 1990. Anais. v,3 p. 1436-1449
- Kearey P., Brooks M., Hill I. 2009. Geofísica de exploração. Tradução: Coelho M.C.M. Oficina de Textos, SãoPaulo, 438 p.
- Marques de Souza, C. J. (1999) Caracterização Mineralógica e Geoquímica dos Pegmatitos da Pederneira na Região de Santa Maria do Suaçuí, Minas Gerais. Belo Horizonte: UFMG-IGC/ CPRM, 1999.
- Martins V.T.S., Teixeira W., Noce C.M., Pedrosa-Soares A.C. Sr and Nd characteristics of Brasiliano/Pan-African granitoid plutons of the Araçuaí Orogen, Southeastern Brazil: tectonic Implications. *Gondwana Research*. **7**: 75- 89, 2004.
- Nalini-Júnior H.A., Bilal E., Paquette J.L., Pin C., Machado R. Geochronologie U–Pb et géochimie isotopique Sr-Nd des granitoides neoproterozoiques des suites Galiléia et Urucum, vallée du Rio Doce, Sud-Est du Brésil. *Compte Rendu Academie Science Paris*, **331**: 459-466, 2000.
- Nalini-Junior H.A., Machado R.M., Bilal E. Geoquímica e petrogênese da Suíte Galiléia: exemplo de magmatismo tipo I, metaluminoso, pré-colisional, neoproterozoico da região do Médio Vale do Rio Doce. *Revista Brasileira de Geociências*, **35** (suplemento 4): 23-24, 2005
- Netto, C.; Araújo, M. C. 1997. Projeto Leste, Minas Gerais: Cadastramento Mineral: blocos 1 e 2. Belo Horizonte: COMIG/CPRM. 74p. (Relatório preliminar).
- Netto, C. 1998. Projeto Leste, Minas Gerais: Cadastramento de Recursos Minerais. Belo Horizonte: CPRM/COMIG/ SEME.200p.
- Noce, C.M., Macambira, M.J.B., Pedrosa-Soares, A.C. Chronology of late Proterozoic-Cambrian granitic magmatism in the Araçuaí belt, eastern Brazil, based on dating by single zircon evaporation. *Revista Brasileira de Geociências* **30**: 25–29, 2000.
- O’ Donoghue, M. (1987) Quartz. London, Butterworth & Co. (Publishers) Ltd., 110p
- Pedrosa-Soares A.C., Monteiro R.L.B.P, Correia-Neves J.M., Leonardos O.H., Fuzikawa K. Metasomatic evolution of granites, northeast Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*.**17**(4):512-518, 1987.
- Pedrosa-Soares A.C., Alkmim F. F., Tack L., Noce C.M., Babinski M., Silva L.C., Martins-Neto M.A. Similarities and differences between the Brazilian and African counterparts of Neoproterozoic Araçuaí-West Congo orogen. In: Pankhrust R., Trouw R., Brito-Neves B B., Wit M. de. 2007. The Gondwana Pelecontinent in the South Atlantic Region *Special Publication; Geological Society of London*, 294 p, 2008
- Pedrosa-Soares, A.C.; Chaves, M.L.S.C.; Scholz, R. Field Trip Guide to Eastern Brazilian Pegmatite Province. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITIC PEGMATITES, 4, 2009, Recife. Special Paper Recife, 2009, p. 1-28.

Froede, A.S. 2017. Análise Geofísica do Potencial Pegmatítico na região de Ataléia (MG).

Pedrosa-Soares A.C., Noce C.M. Where is the suture zone of the Neoproterozoic Araçuaí-West Congo Orogen? In: *International Conference on Precambrian and Craton Tectonics – 14th International Conference on Basement Tectonics*. Ouro Preto, Abstracts, p.35-37, 1998.

Pedrosa-Soares A.C., Noce C.M., Wiedemann C., Pinto C.P. The Araçuaí- WestCongo Orogen in Brazil: An overview of a confined orogen formed during Gondwanaland Assembly. *Precambrian Research*, **110** (1-4): 307-323, 2001.

Pedrosa-Soares, A.C., Queiroga, G.N., Gradim. C.T., Roncato, J.G., Novo, T.A., Jacobsohn, T., Silva, K.L. *Nota Explicativa da Folha Mantena, 1:100.000*. In: Folha Mantena. Programa Geologia do Brasil, Contrato CPRM-UFGM, CD-ROM, 2006.

Pedrosa-Soares A.C & Wiedemann-Leonardos C.M. Evolution of the Araçuaí Belt and its connection to the Ribeira Belt, Eastern Brazil. In: Cordani, U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds) *Tectonic evolution of South America*. Rio de Janeiro, pp.: 265-285, 2000.

Pedrosa-Soares, A. C., Noce, C. M., Alkmim, F. F., Silva, L. C., Babinski, M., Cordani, U., Castañeda, C. Orógeno Araçuaí: Síntese do Conhecimento 30 anos após Almeida 1977. *Geonomos* **15**(1): 1 - 16, 2007

Pinto C.P., Drumond J.B.V., Féboli W.L., *Geologia. Nota explicativa do mapa geológico integrado. Etapa 1. Folhas SE 24-V, SE25-Z, SE24-Y (partes)*. Belo Horizonte, Projeto Leste, CPRM-COMIG, 12-18 p, 2001.

Putzer, H. 1976. Metallogenetic Provinces in Sdamerica. Stuttgart. E. *Schweizerbartische Verlagsbuchhandlung*. 318p.

Reid, A. B., Allsop, J. M., Granser, H., Millet, A. J., Somerton, I. W. 1990. *Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution*. *Geophysics*, **55**: 88-91.

Roncato, J. Pedrosa-Soares, A.C. Babinski, M., Jacobsohn, T., Queiroga, G., Castañeda, C., Greco, S. & Fanning, M. Heterogeneidade deformacional da Suíte Carlos Chagas (Orógeno Araçuaí) e a idade U-Pb SHRIMP do *Giallo Veneziano*. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 10, Diamantina. SBGMG, **Resumos**, 2007

Romeiro, J.C.P. 1998. Controle da mineralização de lítio em pegmatitos da Mina da Cachoeira, Companhia Brasileira de Lítio, Araçuaí, MG. MSc thesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

Silva, L.C., Armstrong, R., Noce, C.M., Pimentel, M.M., Pedrosa-Soares, A.C., Leite, C., Vieira, V.S., Paes, V. Reavaliação U-Pb SHRIMP em terrenos pré-cambrianos brasileiros. Parte II: Orógeno Araçuaí, Cinturão Mineiro e Cráton do São Francisco Meridional. *Revista Brasileira de Geociências*; **32**: 513-528, 2002.

Silva, L.C., Mcnaughton, N.J., Armstrong, R., Hartmann, L.A., Fletcher, I.R. The neoproterozoic Mantiqueira Province and its African connections: a zircon-based U–Pb geochronologic subdivision for the Brasiliano/Pan-African systems of orogens. *Precambrian Research*, **136**: 203–240, 2005.

Silva, J.M.R., LIMA, M.I.C., Veronese, V.F., Ribeiro JunioR, R.N. & SIGA-JR, O.. *Geologia. In: PROJETO RADAMBRASIL. Folha SE 24 Rio Doce*. IBGE, Rio de Janeiro, 1987.

Silva, L.C, Pinto, C.P., Gomes, A.C.B., Paes, V. Geocronologia U-Pb (LA-ICP-MS) e a cronoestratigrafia granítica no segmento norte do Orógeno Araçuaí (MG). In: *Simpósio de Geologia do Sudeste*, 10, Diamantina. SBGMG, **Resumos**, 2007.

Sinkankas, J., 1981. Emerald and other beryls. Chilton Books, Radnor PA, 665 p.

Streckeisen A.L. 1976. *To each plutonic rock its proper name*. Earth Science Review, **12**:1-33.

Svisero, D.P.; Franco, R. R. (1991) A Província Gemológica Brasileira. In: *Principais Depósitos Minerais do Brasil*, Volume IV – Parte A – Gemas e Rochas Ornamentais. DNPM – 1991. P. 9 – 16.

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

Tuller, M. P. PLGB. *Mapeamento geológico e cadastramento de rec.min. da reg.leste de MG.Folha Ataleia SE.24-Y-A.1:100.000*. DNPM/CPRM., 1997.

Tuller, M.P. 2000. *Folha Ataléia, escala 1:100.000*. In: C.P. Pinto *et al.* 2001. Projeto Leste. CD-ROM e mapas impressos, CPRM-CODEMIG, Belo Horizonte.

Vauchez, A.; Egydiosilva, M. ; Babinski, M. ; Tommasi, A. ; Uhlein, A. ; Liu, D. . Deformation of a pervasely molten middle crust: insights from the neoproterozoic RibeiraAraçuaí orogen (SE Brazil). *Terra Nova*, **19**: 278-286, 2007.

Vieira, V. S. *Significado do Grupo Rio Doce no contexto do Orógeno Araçuaí*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, UFMG, 2007.

Webster, R., 1983 – *Gems*. Butter worths. England. 1006 p.

Whittington A.G., Connelly J., Pedrosa-Soares A.C., Marshak S., Alkmim F.F. Collapse and melting in a confined orogenic belt: preliminary results from the Neoproterozoic Araçuaí belt of eastern Brazil. AGU Fall Meeteing, Abstract T32B-0895, *American Geophysical Union*, **82**: 1181-1182, 2001.

Wiedemann, C., The evolution of the early Paleozoic, late to post-collisional magmatic arc of the Coastal Mobile Belt, in the State of Espírito Santo, eastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **65**: 163-181, 1993.

Wiedemann, C., Mendes, J.C., MOURA, J.C., Costa-Nascimento, R.C. & Ludka, I.P. Granitoids of the Espírito Santo Magmatic Arc. SBG, International Symposium on Granites and Associated Mineralizations, 2, Salvador. *Excursions Guide*, 57-76, 1997.

Wiedemann, C.M., Medeiros, S.R., Mendes, J.C., Ludka, I.P., Moura, J.C. Architecture of Late Orogenic Plutons in the Aracuaí-Ribeira Folded Belt, Southeast Brazil. *Gondwana Research*, **5**(2): 381-399, 2002

